一〇七年補助研究報告

計畫編號：Y107-A7

新世代行動通信及物聯網技術發展之頻譜共享機制規範、頻譜整備與超寬頻技術設備監理制度研究

計畫補助機關：國家通訊傳播委員會

中華民國一〇七年十二月

一〇七年補助研究報告
計畫編號：Y107-A7
GRB 系統編號：PG10705-0139

新世代行動通信及物聯網技術發展之頻譜共享機制規範、頻譜整備與超寬頻技術設備監理制度研究

執行單位

財團法人電信技術中心

計畫主持人

王彥中

研究顧問

鄧添來

協同主持人

巫國豪、蔡奇霖

研究人員

陳人傑、殷其光、陳譽明、周傳凱、張簡耀暉、陳立修、邱儀萱
吳慈璇、余曜成、黃怡琇、李淑華、李佳欣、簡子翔

本報告不必然代表國家通訊傳播委員會意見
中華民國一〇七年十二月

目錄

提 要 XXVII
Abstract XXXVI
第壹篇 總綱.....1
第一章 緒論.....1
第一節 研究背景..... 1
第二節 研究動機與主題..... 3
一、 新世代行動通信技術與動態頻譜共享機制.....3
二、 新世代行動通訊與物聯網頻譜整備政策.....5
三、 無線麥克風設備監理制度研析.....5
第三節 執行進度與效益..... 6
一、 驗證我國動態頻譜共享運作機制，推升頻率使用效率.....8
二、 完善我國新世代行動通訊頻譜規管政策.....8
三、 完備我國無線麥克風設備管理機制規範.....9
四、 推動我國行動通訊產業發展與協助主管機關政策研議.....9
第貳篇 我國 5G 中頻段（3.5 GHz）可用性評估報告.....10
第二章 我國 5G 中頻段（3.5GHz）可用性評估.....10
第一節 緒論..... 10
第二節 我國 3.5GHz 頻段開放共用之評估測試..... 13
一、 量測設備與參數設定.....13
二、 量測場域佈署與相關參數.....16
三、 量測步驟.....18
四、 量測結果.....20
五、 抑制干擾所需保護距離之理論分析與量測結果對照.....23
第三節 增設干擾改善措施之評估測試..... 28
一、 實驗室測試.....31
二、 LNB 效能測試.....33
三、 BPF 效能測試.....36
第四節 實際場域測試..... 45

一、 測試方法與步驟 46
二、 量測結果 47
第五節 結果分析與建議 54
第參篇 頻譜共享接取系統進階概念驗證及免執照頻段異質系統共存實測分析與規範建議 57
第三章 動態頻譜共享接取系統進階概念驗證與規範建議 57
第一節 研析 CBSD 與 SAS 資料交換規範探討 57
一、 註冊請求 (Registration Request) 59
二、 頻道請求(Grant Request).....61
三、 傳輸請求(Heartbeat Request) 62
第二節 頻譜接取系統(SAS)對既有使用者(IA)及優先接取使用者(PAL)干擾管理規範 63
一、 國際間 SAS 對 CBSD 干擾管理限制與規範.....63
二、 環境感測能力(ESC) 64
第三節 其他國際頻譜共享技術發展 66
一、 歐盟 LSA.....66
二、 小結 67
第四節 使用小細胞平臺的干擾測試與效能量測 70
一、 測試環境與效能量測 70
二、 室內測試 77
三、 戶外干擾測試 88
四、 納入相關 TDD 系統相對於 FDD 系統干擾的要求與規範 95
五、 室內與室外 CBSD 的干擾測試分析結果.....96
第五節 使用 SNMP 實作 PAL 與 GAA 的頻段轉移 98
一、 實作環境 98
二、 實作方法 100
第六節 結果分析與建議 102
一、 一般接取使用者 GAA 頻道選擇與頻譜接取系統 SAS 干擾評估管理機制設計 102

二、 實作規劃 106
三、 3.5GHz CBSD 運作 109
四、 使用 SNMP 實作 PAL 與 GAA 的頻段轉移.....115
第四章 免執照頻段頻段異質系統共存實測分析與規範建議 117
第一節 使用 LAA 小細胞平臺做排程..... 117
一、 LAA 實驗環境 117
二、 LAA 排程演算法 118
第二節 LAA 與 WiFi 共存模擬模組建置..... 120
一、 五個區域平均 throughput 的比較.....122
二、 新的排程演算法 124
三、 以 Matlab 程式碼模擬 WiFi 與 LAA 共存問題.....125
第三節 LAA 與 WiFi 單一重疊區的共存模擬..... 132
一、 改變 LBT 的延遲時間(Td).....134
二、 改變 LAA 的封包長度 137
第四節 LAA 與 WiFi 的干擾測試與 QoS 分析..... 139
一、 測試環境 139
二、 iperf 測試方法 142
三、 iperf 測試結果 143
四、 VoD 測試方法.....144
五、 VoD 測試結果.....145
第五節 結果分析與建議..... 146
一、 LAA 與 WiFi 多個重疊區的共存模擬 146
二、 NS-3 模擬結果分析 148
三、 Matlab 模擬結果分析 149
第五章 概念驗證平臺系統運作概念驗證展示與建議 150
第一節 系統架構初步設計..... 150
一、 定義硬體架構 150
二、 整合觀測站(Observatory)於 ViSSA2.0 實驗平臺 152
三、 小細胞天線與頻譜 sector 之運用 157

第二節　GAA 與 PAL 間可行的頻譜共享展示 159
一、 實作系統 161
二、 實作 SAS Server.....162
三、 實作 CBRS client (Domain Proxy/CBSD) 164
第三節　LAA 與 WiFi 共存管理展示 172
一、 背景說明 172
二、 LAA 與 LBT 參數數學最佳化模組.....179
三、 LAA 與 LBT 參數自適性演算法最佳化模組.....180
第四節　LAA 與 LAA 共存干擾模擬顯示 184
一、 背景說明 184
二、 異質頻譜資源分配 186
三、 優先權重導向分配演算法 186
四、 效能分析 187
五、 微型業者協調室內授權輔助接取系統實作 189
六、 展示情境 190
七、 展示流程 191
第五節　資料庫擴展與資訊安全 194
一、 資料庫資訊安全 194
二、 資訊交流安全技術規格 195
三、 實作保護既有使用者之位置隱私 197
第六節　結果分析與建議 199
第肆篇 新世代行動通信及物聯網新興技術之頻譜整備與規管政策研析報告 200
第六章　新世代行動通訊及物聯網新興技術演進與應用趨勢 200
第一節　國際電信聯合會（ITU）之 5G 技術發展動態與趨勢 200
一、 5G 技術發展歷程.....200
二、 實現 IMT-2020 的技術構面.....214
三、 ITU 之 IMT 頻譜協調.....220
第二節　3GPP 之 5G 技術發展歷程 223

一、 3GPP 標準制定歷程及現況說明 223
二、 3GPP 之 5G 標準制定工作重心 226
三、 3GPP 之 5G 標準制定工作各階段內容 228
四、 3GPP 之 5G 技術與候選頻譜討論 231
五、 3GPP 之 LAA 標準制定 236
第三節 其他 5G 與新興技術簡介 238
一、 電氣與電子工程師協會（IEEE）之 5G 技術發展.....238
二、 C-V2X/DSRC 技術發展 244
第四節 應用發展趨勢與動態 254
一、 背景說明 254
二、 運動場館的 5G 與物聯網應用 255
三、 電競賽事的 5G 相關應用.....263
四、 智慧城市物聯網相關應用 265
五、 車聯網相關應用 271
六、 無人機相關應用 274
第五節 歐盟 5GPPP 垂直場域測試應用專案 281
一、 背景說明 281
二、 建構歐洲 5G 實驗場域.....286
三、 5G 垂直場域-實驗場域項目建立案例.....287
四、 歐盟 5GPPP 運動場館的 5G 應用 290
五、 歐盟 5GPPP 的 5G 試驗城市 291
六、 歐盟 5GPPP 實驗專案.....293
第六節 微型業者運作案例..... 313
一、 背景說明 313
二、 芬蘭 314
三、 法國 316
第七節 結果分析與建議..... 318
第七章 新世代行動通信及物聯網新興技術之頻譜整備與規管政策研析－國際政策研析 320

第一節　5G 頻譜整備與管制政策研析 320
一、 歐盟 320
二、 英國 352
三、 美國 378
四、 澳洲 398
五、 日本 424
六、 韓國 449
七、 德國 465
八、 愛爾蘭 481
九、 加拿大 495
第二節　物聯網頻譜整備與管制政策研析 532
一、 歐盟 532
二、 英國 546
三、 美國 556
四、 澳洲 564
五、 日本 578
第三節　結果分析與建議 607
一、 5G 頻譜整備與管制政策 607
二、 物聯網頻譜整備與管制政策 610
第八章　新世代行動通信及物聯網新興技術之頻譜整備與規管政策研析－我國政策研析 614
第一節　我國行動寬頻業務市場發展現況 614
第二節　5G 頻譜整備與管制政策分析 616
第三節　物聯網頻譜整備與管制政策建議 640
第四節　結果分析與建議 643
第伍篇 無線麥克風技術研析與管理機制研析報告 644
第九章　無線電麥克風技術研析與管理機制研析 644
第一節　先進國家無線麥克風使用頻率規範與管理措施 644
一、 美國 644
二、 歐盟 672

第二節　麥克風推薦頻段與我國頻譜使用狀況 700
一、 174-216 MHz 700
二、 470-608 MHz（歐盟為 470-694 MHz） 703
三、 特殊頻段之說明 (803 MHz) 706
四、 結論 707
第三節　數位增強無線通訊、白頻段設備之頻譜感測技術規範 ... 708
一、 白頻段設備感測技術規範 708
二、 數位增強無線通訊技術規範 710
第四節　麥克風設備干擾實驗 715
一、 無線麥克風設備所支援之操作頻段 715
二、 目前我國傳播數位電視的訊號格式與參數 718
三、 干擾實驗之概念說明 720
四、 干擾實驗情境一：同軸纜線（無接收天線） 721
五、 干擾實驗情境二：數位機上盒（有接收天線） 730
第五節　麥克風設備干擾實驗之結論 742
第六節　結果分析與建議 743
第十章　舉辦論壇等各項研究成果與結論 747
第一節　支援通傳會臨時交辦事項與執行成果 747
第二節　舉辦研討會與訪談會議執行成果 747
一、 執行成果概要 747
二、 執行內容簡述 748
第三節　結論與建議 752
一、 新世代行動通信技術與動態頻譜共享機制 752
二、 新世代行動通訊與物聯網技術與應用趨勢及頻譜整備 754
三、 無線麥克風設備監理制度研析 756
附錄一：中英文名詞對照 759
附錄二：審查會議與管考會議辦理情形 772
參考文獻 788
一、 中文文獻 788

二、 日、韓文文獻 790
三、 西文文獻 792
附件 1：LTE 系統與 FSS 系統干擾共存理論.....805
附件 2：Mipro 無線麥克風量測數據圖.....813
附件 3：出國報告（一）.....821
附件 4：出國報告（二）.....832

表目錄

表 2- 1：ST-2 衛星接收參數 13
表 2- 2：干擾訊號參數 14
表 2- 3：量測現場紀錄 17
表 2- 4：3657 MHz 頻段的量測結果及理論模型比較 25
表 2- 5：小細胞基站的佈建 (24dBm) 與干擾分析—實驗值 26
表 2- 6：小細胞基站的佈建 (24dBm) 與干擾分析—理論值 27
表 2- 7：我國與香港於 3.5GHz 頻段頻譜整備與實證量測之比較 29
表 2- 8：BPF 帶外抑制效能測試結果 32
表 2- 9：BPF 電壓駐波比效能測試結果 32
表 2- 10：BPF 帶內損耗效能測試結果 33
表 2- 11：BPF 低頻段抑制效能測試結果 33

表 3- 1：註冊請求階段傳送參數 59
表 3- 2：頻道請求階段傳送參數 61
表 3- 3：傳輸請求階段傳送參數 62
表 3- 4：同頻干擾源在 A 點(1.5 公尺) 79
表 3- 5：鄰頻干擾源在 A 點(1.5 公尺) 80
表 3- 6：A 點干擾源與 CPE-UE 在 A 點的 Iperf 量測 81
表 3- 7：A 點干擾源與 CPE-UE 在 B 點的 Iperf 量測 82
表 3- 8：A 點干擾源與 CPE-UE 在 C 點的 Iperf 量測 83
表 3- 9：同頻干擾源在 B 點(7 公尺) 84
表 3- 10：鄰頻干擾源在 B 點(7 公尺) 84
表 3- 11：B 點干擾源與 CPE-UE 在 A 點的 Iperf 量測 85
表 3- 12：B 點干擾源與 CPE-UE 在 B 點的 Iperf 量測 86
表 3- 13：B 點干擾源與 CPE-UE 在 C 點的 Iperf 量測 87
表 3- 14：戶外同頻干擾訊號的量測 89
表 3- 15：戶外鄰頻干擾訊號的量測 90
表 3- 16：戶外同頻使用 Iperf 的量測 92
表 3- 17：戶外鄰頻使用 Iperf 的量測 94
表 3- 18：CPE1 與 CPE2 對傳 Iperf 效能 96
表 3- 19：室內與室外沒有架設干擾源的結果分析 96

表 3- 20：室內架設干擾源且距離 CBSD 為 0.3 公尺時的結果分析 96
表 3- 21：室內架設干擾源且距離 CBSD 為 7 公尺時的結果分析 96
表 3- 22：室外架設干擾源且距離 CBSD 為 0.3 公尺時的結果分析 97

表 4- 1：模擬拓樸的五個區域 122
表 4- 2：模擬參數的設定 122
表 4- 3：參數設定 127
表 4- 4：LAA 參數 128
表 4- 5：在 NS-3 模擬參數的設定 134
表 4- 6：ITRI-LAA 與 WiFi 使用的參數 140
表 4- 7：UE 端 LAA 與 WiFi 的 RSRP 與 RSRQ 訊號比較 141
表 4- 8：LAA 與 WiFi 的四種測試結果 143
表 4- 9：改變 WiFi 的 data rate 對 LAA 與 WiFi Throughput 的影響 ... 144
表 4- 10：VoD 測試結果(LAA Only) 145
表 4- 11：VoD 測試結果(WiFi Only) 145
表 4- 12：VoD 測試結果(LAA + WiFi) 146
表 4- 13：情境一模擬結果 149
表 4- 14：情境二模擬結果 149

表 5- 1： 模擬參數設定 174
表 5- 2：比較不同最佳化目標的系統效能 182
表 5- 3：供不應求情境參數設定 187

表 6- 1：ITU-R 研究小組(SGs)主要研究領域 201
表 6- 2：ITU-R 第 5 研究組(SG 5)主要工作領域 201
表 6- 3： 3G、4G 和 5G 系統性能比較 211
表 6- 4：ITU WRC-15 在低、中、高範圍頻譜的重要行動 220
表 6- 5：FR1 及 FR2 操作頻段範圍 233
表 6- 6：FR1 中 5G 操作頻段及其類型 234
表 6- 7：FR2 中 5G 操作頻段及其類型 236
表 6- 8：車聯網技術比較表 252
表 6- 9：歐洲 5G 實驗專案 289

表 7- 1：CEPT 之 5G 發展規劃 321
表 7- 2：歐洲 5G 實驗專案 328
表 7- 3：ECC 發布之 5G 頻譜整備相關技術文件 332
表 7- 4：歐洲於 2016 年調查 3.4-3.8 GHz 頻段之使用狀態分布情形 . 337
表 7- 5：ECC 整理之三種執照優缺點 338
表 7- 6：非主動式與主動式基站之基準區域與過度區域功率限制 346
表 7- 7：未同步與半同步 MFNC 之限制基準功率 348
表 7- 8：3400MHz 以下頻段於特定情境下之基站額外基準功率限制 348
表 7- 9：3800MHz 以上頻段既有業務之基站額外基準功率限制 349
表 7- 10：帶內情境下之功率限制 350
表 7- 11：美國 FCC 24GHz 以上頻段整備歷程 384
表 7- 12：FCC 近期核配之 28GHz 實驗執照適用範圍 388
表 7- 13：28GHz 與 24GHz 頻段釋出規劃 394
表 7- 14：3.6 GHz 頻段的近期規劃 401
表 7- 15：26 GHz 頻段三種可能的商業模式類型 413
表 7- 16：3.6 GHz 頻段拍賣時程 419
表 7- 17：日本確保行動通訊使用頻譜的措施 427
表 7- 18：總務省之 5G 頻譜分配一覽表 429
表 7- 19：5G 綜合實證試驗實施概要（2017 年） 430
表 7- 20：5G 綜合實證試驗實施概要（2018 年） 432
表 7- 21：5G 候選頻段（3.7 與 4.5GHz）有相衝突的系統 437
表 7- 22：5G 候選頻段（28GHz）有相衝突的系統 438
表 7- 23：與 5G 頻譜有相衝突的系統/設備 439
表 7- 24：1.7 與 3.4GHz 審查結果 442
表 7- 25：3.7/4.5GHz 頻段 5G small cell 基地臺（傳輸端）數據規格 444
表 7- 26：3.7/4.5GHz 頻段 5G small cell 基地臺（接收端）數據規格 444
表 7- 27：4.5GHz 頻段 5G macro cell 基地臺（傳輸端）數據規格 445
表 7- 28：4.5GHz 頻段 5G macro cell 基地臺（接收端）數據規格 446
表 7- 29：28GHz 頻段 5G 基地臺（傳輸端）數據規格 446
表 7- 30：28GHz 頻段 5G 基地臺（接收端）數據規格 447
表 7- 31：韓國 5G 頻譜配置推動時程 451

表 7- 32：韓國的 5G 實驗情形 453
表 7- 33：韓國的 5G 展示場域 456
表 7- 34：5G 候選頻段原分配業務 457
表 7- 35：第一階段拍賣區段之標價 461
表 7- 36：第二階段拍賣頻譜位置與標價 461
表 7- 37：競標者之總競標價 462
表 7- 38：年度建設網路之義務 462
表 7- 39：3500MHz 頻段既有使用狀態 473
表 7- 40：愛爾蘭 3.6GHz 與 26GHZ 拍賣比較 482
表 7- 41：既有已核發之實驗和場測許可執照 484
表 7- 42：3.6GHz 既有分配狀態 486
表 7- 43：26GHz 既有分配狀態 486
表 7- 44：愛爾蘭 3.6GHz 頻段釋出結果 488
表 7- 45：愛爾蘭 26GHz 釋出頻塊劃分 490
表 7- 46：英國國內輕度執照可使用之頻率（頻寬為 12.5 kHz） 550
表 7- 47：涉及安全之 ITS 設備使用 5875-5905 MHz 頻段之最低要求 554
表 7- 48：FCC 規劃免執照頻譜使用 6 GHz 頻段之管理架構 561
表 7- 49：日本各地區 IoT 導入路徑進度報告 580
表 7- 50：車聯網社會實現計畫 585
表 7- 51：頻段與使用狀況 587
表 7- 52：與 IoT 頻譜有相衝突的設備 592
表 7- 53：全球 LPWA 案例 593
表 7- 54：京瓷的 sigfox 實證案例 595
表 7- 55：日本 LoRa 實證案例 595
表 7- 56：低功率無線台的相關說明 597
表 7- 57：主動型低功率無線台在修正後的天線功率與增益值 598
表 7- 58：自動駕駛系統的市場化／服務預期實現表 598
表 7- 59：日本國內使用小型無人機所使用的主要無線通訊頻段 601
表 7- 60：各國 5G 政策重心比較 607
表 7- 61：各國 5G 候選頻段規劃 608
表 7- 62：各國 5G 執照管理與規範架構比較 610
表 7- 63：各國物聯網政策發展 611

表 7- 64：各國物聯網頻段使用現況 611
表 7- 65：各國物聯網執照架構與規範義務 612

表 8- 1：3GPP 5G NR 運作頻段（摘錄） 623
表 8- 2：LTE FDD 頻段支援設備數量（摘錄） 624
表 8- 3：LTE TDD 頻段支援設備數量（摘錄） 624
表 8- 4：通傳會規劃與本計畫建議之 5G 候選頻段比較 627
表 8- 5：各國 5G 候選頻段之既有衛星業務處理方式 629
表 8- 6：各國移頻損失補償機制比較表 632
表 8- 7：本計畫分析移頻補貼選項之優缺點比較表 635
表 8- 8：國際創新應用執照制度規範 637
表 8- 9：國際物聯網通訊頻譜比較 640
表 8- 10：國際物聯網通訊頻譜比較 642

表 9- 1：美國所制定電視頻道與操作頻段關係表 646
表 9- 2：白頻段資料庫管理者資訊 650
表 9- 3：無線麥克風設備已拍賣之操作頻段 656
表 9- 4：持有執照之無線麥克風設備可操作頻段 (Unit: MHz)..... 657
表 9- 5：用於保護電視站的保護曲線、場強輪廓與傳播曲線限制值. 658
表 9- 6：用於保護操作於 600 MHz 頻段通訊服務之操作距離限制值 669
表 9- 7：美國無線麥克風設備之操作頻段彙整 670
表 9- 8：歐盟無線麥克風操作頻段之彙整 674
表 9- 9：手持式麥克風設備發射功率限制值 678
表 9- 10：穿戴式麥克風設備發射功率限制值 679
表 9- 11：PMSE 設備操作頻段（790-862MHz）和限制功率 682
表 9- 12：操作於 1350-1400 MHz 頻段上的各類射頻設備 683
表 9- 13：無線麥克風設備發射功率與頻寬限制值 683
表 9- 14：無線麥克風與各射頻設備之間的使用限制 684
表 9- 15：操作於 1452-1525 MHz 頻段上的各類射頻設備 686
表 9- 16：無線麥克風與各射頻設備之間的使用限制 687
表 9- 17：手持式無線麥克風於 1785-1804.8 MHz 頻段之參數限制值 690
表 9- 18：穿戴式無線麥克風於 1785-1804.8 MHz 頻段之參數限制值 690

表 9- 19：類比式無線麥克風設備之量測設置 693
表 9- 20：操作頻段低於 1 GHz 數位式無線麥克風設備之量測設置 .. 694
表 9- 21：操作頻段高於 1 GHz 數位式無線麥克風設備之量測設置 .. 695
表 9- 22：無線麥克風混附發射（spurious emissions）(ERP)限制值 .. 697
表 9- 23：美國與歐盟無線麥克風設備各操作頻段之推薦度 698
表 9- 24：我國現今低功率無線麥克風設備之操作頻段 702
表 9- 25：中華民國無線電頻率分配表 (174 -235 MHz)..... 702
表 9- 26：通傳會廣播電視事業許可家數統計（每月統計） 702
表 9- 27：中華民國無線電頻率分配表 (470-610 MHz)..... 705
表 9- 28：中華民國無線電頻率分配表部分修正內容 (MHz)..... 707
表 9- 29：嘉強電子無線麥克風設備之發射頻段 717
表 9- 30：台灣數位電視協會官方網站上之數位電視頻道列表 718
表 9- 31：目前我國傳播數位電視的訊號格式與參數－民視 719
表 9- 32：目前我國傳播數位電視的訊號格式與參數－台視 719
表 9- 33：目前我國傳播數位電視的訊號格式與參數－華視 720
表 9- 34：DekTec DTU-315 電視訊號產生器輸出功率之補償校正值 722
表 9- 35：DekTec DTU-315 電視訊號產生器輸出功率設定值..... 723
表 9- 36：電磁耐受度測試等級 724
表 9- 37：Enclosure Port 電視設備的電磁耐受性 725
表 9- 38：數位電視電磁耐受性為 1 (EMS, V/m)之使用安全距離..... 727
表 9- 39：數位電視電磁耐受性為 3 (EMS, V/m)之使用安全距離..... 728
表 9- 40：嘉強電子無線麥克風設備操作於各頻道的安全計算距離... 729
表 9- 41：使用同軸電纜傳遞電視訊號之干擾量測結果 729
表 9- 42：Shielding Box 量測路徑損耗校正值 732
表 9- 43：無線麥克風干擾路徑損耗校正值 732
表 9- 44：類比麥克風干擾載噪比(C/N Ratio)與 Guard Band 量測 735
表 9- 45：數位麥克風干擾載噪比(C/N Ratio)與 Guard Band 量測 736
表 9- 46：數位麥克風干擾載噪比(C/N Ratio)與 Guard Band 量測值 .. 736
表 9- 47：數位電視設備使用天線接收訊號之無線麥克風干擾量測結果 739
表 9- 48：考慮低纜線損耗與保護頻段之無線麥克風干擾量測結果... 740
表 9- 49：波束夾角與無線麥克風操作於波束前方之機率關係表..... 741

表 9- 50：高增益指向性天線與無線麥克風安全使用距離表..... 741

表 10- 1：本計畫辦理研討會與訪談會議與談對象與討論主題..... 748

圖目錄

圖 1-1：本計畫今年度執行進度 7
圖 1-2：本計畫中長期進度規劃 8

圖 2-1：ST-2 下鏈頻率範圍 10
圖 2-2：3.5GHz 頻段對於 ST-2 衛星可能影響 11
圖 2-3：實驗一之 ST-2 衛星觀測站 13
圖 2-4：衛星節目頻寬 14
圖 2-5：向量訊號產生器 14
圖 2-6：QPSK 調變訊號 15
圖 2-7：小細胞基站全向天線場型 15
圖 2-8：臺大校園干擾源與 FSS 地面站位置圖 16
圖 2-9：干擾源低於或高於 FSS 之干擾模型 16
圖 2-10：量測流程 19
圖 2-11：IMT 基站與 FSS 地面站共存之干擾緩解選項 28
圖 2-12：BPF 參數測試架構 31
圖 2-13：LNB 效能測試架構 33
圖 2-14：LNB 訊號放大增益測試結果 35
圖 2-15：LNB 3.55GHz P1dB 測試結果 35
圖 2-16：LNB 3.59GHz P1dB 測試結果 35
圖 2-17：LNB 3.8GHz P1dB 測試結果 36
圖 2-18：BPF 參數測試架構 36
圖 2-19：基地臺帶外輻射產生同頻干擾現象 38
圖 2-20：加裝 BPF 基地臺帶外輻射產生同頻干擾現象 39
圖 2-21：ST-2 接收功率(-81.43dBm/36MHz)互調變影響 39
圖 2-22：ST-2 接收功率(-78.43dBm/36MHz)互調變影響 40
圖 2-23：ST-2 接收功率(-84.43dBm/36MHz)互調變影響 41
圖 2-24：ST-2 接收功率(-81.43dBm/36MHz)之基地臺影響 ST-2 41
圖 2-25：ST-2 接收功率(-78.43dBm/36MHz)基地臺影響 ST-2 42
圖 2-26：ST-2 接收功率(-84.43dBm/36MHz)基地臺影響 ST-2 42
圖 2-27：ST-2(-81.43dBm/36MHz)加裝 BPF 後之基地臺影響 43

圖 2- 28：ST-2(-78.43dBm/36MHz)加裝 BPF 後之基地臺影響..... 43
圖 2- 29：ST-2(-84.43dBm/36MHz)加裝 BPF 後之基地臺影響..... 44
圖 2- 30：實際場域測試環境..... 45
圖 2- 31：BPF 參數測試架構..... 45
圖 2- 32：ST-2 因同頻干擾造成 C/N 下降現象..... 47
圖 2- 33：實際場域偏軸角 44.5^{o} 條件下，5G 基地臺影響 48
圖 2- 34：實際場域偏軸角 44.5^{o} 條件下，加裝 BPF 5G 基地臺影響 48
圖 2- 35：實際場域偏軸角 58^{o} 條件下，5G 基地臺影響 49
圖 2- 36：實際場域偏軸角 58^{o} 條件下，加裝 BPF 5G 基地臺影響 49
圖 2- 37：實際場域偏軸角 71^{o} 條件下，5G 基地臺影響 50
圖 2- 38：實際場域偏軸角 71^{o} 條件下，加裝 BPF 5G 基地臺影響 50
圖 2- 39：實際場域偏軸角 44.5^{o} 條件下，改善措施之影響..... 51
圖 2- 40：實際場域偏軸角 58^{o} 條件下，改善措施之影響..... 52
圖 2- 41：實際場域偏軸角 71^{o} 條件下，改善措施之影響..... 53
圖 2- 42：ST-2 接收加裝 BPF 所需護衛頻寬..... 54
圖 2- 43：5G 基地臺降低 ST-2 同頻干擾安全距離推估 55
圖 2- 44：5G 基地臺與 ST-2 地面站共存干擾協調區域 56

圖 3- 1：CBRS 的三層式管理架構..... 57
圖 3- 2：CBSD 與 SAS 資料交換程序之示意圖..... 58
圖 3- 3：註冊請求階段..... 59
圖 3- 4：頻道請求階段..... 61
圖 3- 5：傳輸請求階段..... 62
圖 3- 6：PAL 保護範圍..... 63
圖 3- 7：ESC 感知，SAS 清空與重新配置頻段流程圖..... 65
圖 3- 8：中山大學 CBRS 測試實驗室..... 71
圖 3- 9：商用 eNB 當作 CBSD 的 CBRS 測試架構..... 72
圖 3- 10：Iperf 與 UE 訊號品質 73
圖 3- 11：網路測試工具..... 74
圖 3- 12：向量訊號產生器..... 74
圖 3- 13：天線規格..... 75
圖 3- 14：簡易型頻譜分析儀..... 75

圖 3- 15：無干擾的 3.5GHz CBSD 的頻譜 76
圖 3- 16：加入同頻訊號的頻譜 76
圖 3- 17：干擾源在 A 點(離 eNB 基站約 1.5 公尺)..... 77
圖 3- 18：使用 iperf 做 UE 三個位置的量測 78
圖 3- 19：干擾源在 B 點(離 eNB 基站約 7 公尺)..... 79
圖 3- 20：戶外測試架構 88
圖 3- 21：CPE1 與 CPE2 上傳與下載的架構..... 95
圖 3- 22：正文科技兩台 CBSD 主機..... 98
圖 3- 23：GAA 與 PAL 的網路架構 99
圖 3- 24：CBSD1 與 CBSD2 的頻率設定 99
圖 3- 25：GAA 的操作流程..... 100
圖 3- 26：PAL 的操作流程..... 101
圖 3- 27：SNMPSET 指令修改頻率參數 101
圖 3- 28：整體系統(SAS-CBSD)參考架構圖 103
圖 3- 29：ViSSA2.0-臺大動態頻譜接取實驗室-軟硬體架構圖 104
圖 3- 30：CBRS 參考系統架構圖 105
圖 3- 31：CBRS 建議參考之功能架構..... 105
圖 3- 32：設計之 CBRS 功能架構(含頻道選擇功能)..... 106
圖 3- 33：ViSSA2.0-臺大動態頻譜接取實驗室-軟硬體架構圖 107
圖 3- 34：初始階段 107
圖 3- 35：註冊請求階段示意圖 108
圖 3- 36：頻道請求階段示意圖 108
圖 3- 37：傳輸請求示意圖 108
圖 3- 38：CBRS Client 網頁介面示意圖 109
圖 3- 39：商用的 eNB 參數設定..... 110
圖 3- 40：商用設備的清空與重啟介面 111
圖 3- 41：商用設備的撰寫 script 的介面 111
圖 3- 42：正文提供 X-Cell 的 CBRS firmware 112
圖 3- 43：mib browser 擷取 eNB 參數..... 113
圖 3- 44：mib browser 設定 eNB 開關機..... 113
圖 3- 45：mib browser 針對頻率參數做設定..... 114
圖 3- 46：snmpwalk 指令擷取 eNB 的參數..... 114

圖 3- 47：snmpwalk 指令擷取 eNB 的參數 115
圖 3- 48：snmpwalk 指令擷取 eNB 的參數 115
圖 3- 49：snmpwalk 指令擷取 eNB 的參數 116
圖 3- 50：網頁介面控制兩個 CBSD 的頻段切換 116

圖 4- 1：LAA Small Cell 與 WiFi 的架構 118
圖 4- 2：LAA Small Cell 拓樸架構 119
圖 4- 3：LAA 分流機制演算法 120
圖 4- 4：使用 NS-3 模擬 LAA 與 Wi-Fi 共存的拓樸 121
圖 4- 5：5 個區域的平均 throughput 123
圖 4- 6：UE 是否傳下載資料 – UE PHY 層 124
圖 4- 7：判斷 eNB 分配給 UE 執照頻譜的資源是否足夠使用 125
圖 4- 8：使用 LBT 判斷頻道的狀態 125
圖 4- 9：PHY 層封包格式 126
圖 4- 10：Data field 126
圖 4- 11：modulation and coding schemes 127
圖 4- 12：802.11ac 流程圖 128
圖 4- 13：LAA 流程圖 129
圖 4- 14：保留 Dummy signal 通道偵測圖 129
圖 4- 15：通道運作示意圖 130
圖 4- 16：模擬情境圖 131
圖 4- 17：情境一示意圖 131
圖 4- 18：情境二模擬圖 132
圖 4- 19：情境二模擬時刻放大圖 132
圖 4- 20：使用 NS-3 模擬 LAA 與 WiFi 共存的拓樸 133
圖 4- 21：改變 Td 對 LAA 與 WiFi 競爭 unlicensed band 的影響 135
圖 4- 22：改變 Td: LAA UE 的平均 Throughput 136
圖 4- 23：改變 Td: WiFi UE 的平均 Throughput 136
圖 4- 24：改變 MCOT 對 LAA 與 WiFi 競爭 unlicensed band 的影響 .. 137
圖 4- 25：改變 LAA 的封包大小對 Throughput 的影響 138
圖 4- 26：改變 LAA 封包大小對 WiFi UE 平均 Throughput 的影響 139
圖 4- 27：ITRI-LAA 與 WiFi 實體設備 140

圖 4- 28：LAA 在 UE 端的 RSRP 與 RSRQ 訊號 141
圖 4- 29：使用 iperf 的測試架構 142
圖 4- 30：使用 VoD 的測試架構 144

圖 5- 1：CBRS 的三層式管理架構 150
圖 5- 2：ViSSA 實驗平臺 v2.0 架構 151
圖 5- 3：頻譜觀測站系統架構 152
圖 5- 4：頻譜觀測站之實驗硬體 153
圖 5- 5：實際量測接收功率(3400-4200 MHz) 154
圖 5- 6：中新二號轉頻器頻率表 154
圖 5- 7：EXPLOSA 平臺 observatory 網頁介面 155
圖 5- 8：預期 observatory 系統架構 156
圖 5- 9：整合 Observatory 於 EXPOLSA 平臺 156
圖 5- 10：使用 Observatory 資料的各種做圖 157
圖 5- 11：使用指向型天線將區域進一步劃分 158
圖 5- 12：實裝指向型天線於 Small Cell 158
圖 5- 13：ViSSA2.0-台大動態頻譜接取實驗室-軟硬體架構圖 159
圖 5- 14： CBRS 參考系統架構圖 160
圖 5- 15：CBRS 建議參考之功能架構 160
圖 5- 16：設計之 CBRS 功能架構(含頻道選擇功能) 161
圖 5- 17：ViSSA2.0-台大動態頻譜接取實驗室-軟硬體架構圖 162
圖 5- 18：SAS 監控介面 163
圖 5- 19：SAS 監控介面之 CBSD 狀態圖 163
圖 5- 20：CBRS Client 網頁介面示意圖 164
圖 5- 21：情境一流程圖 165
圖 5- 22：情境一 PAL 狀態初始化 166
圖 5- 23：營運商頻道選擇介面 166
圖 5- 24：頻道選擇結果 167
圖 5- 25：SAS 監控介面之 CBSD 狀態-頻道選擇結果 167
圖 5- 26：情境二流程圖 169
圖 5- 27：情境一 PAL 狀態初始化 169
圖 5- 28：NTU 營運商頻道選擇介面 169

圖 5- 29：NTU2 營運商頻道選擇介面 170
圖 5- 30：兩個營運商的頻道選擇結果 170
圖 5- 31：SAS 頻道分配介面 171
圖 5- 32：SAS 頻道分配結果 171
圖 5- 33： SAS 監控介面-頻道分配後結果 171
圖 5- 34：LAA 技術與 Wi-Fi 共存的問題 172
圖 5- 35：3GPP TR 36.889 所提出的 LAA LBT 機制 173
圖 5- 36：網路模擬器的 LAA LBT 機制驗證 173
圖 5- 37：LAA LBT 機制的馬可夫鍊數學模型 174
圖 5- 38：馬可夫練數學模型驗證 175
圖 5- 39：LAA&Wi-Fi 共存網路與 Wi-Fi 網路總吞吐量的比較 175
圖 5- 40：LAA&Wi-Fi 共存網路和 Wi-Fi 網路 Wi-Fi 吞吐量比較 176
圖 5- 41：情境一 177
圖 5- 42：情境二 177
圖 5- 43：LAA LBT 參數最佳化系統架構圖 178
圖 5- 44：LAA LBT 參數最佳化系統流程圖 178
圖 5- 45：LAA 參數數學最佳化模組運作架構圖 179
圖 5- 46：LAA LBT 參數自適性演算法最佳化模組運作架構圖 180
圖 5- 47：複雜拓樸的免執照頻譜共存網路 181
圖 5- 48：LAA LBT 參數自適性演算法最佳化模組最大化頻譜效率 . 181
圖 5- 49：LAA LBT 參數自適性演算法最佳化模組 182
圖 5- 50：LAA 之網路架構圖 184
圖 5- 51：異質頻譜分配順序 186
圖 5- 52：μO 分配 Unlicensed band 之 RB 流程圖 187
圖 5- 53：在供不應求之情境兩種方法分配 Unlicensed band 之結果 .. 188
圖 5- 54：在供不應求下不同方法可滿足之 Non-GBR 人數 189
圖 5- 55：系統架構圖 190
圖 5- 56：展示情境圖 191
圖 5- 57：展示流程圖 191
圖 5- 58：MNO 提交資訊之控制圖形介面 192
圖 5- 59：LB & UB 估計器運算結果之圖形介面 193
圖 5- 60：Unlicensed band 分配結果之圖形介面 193

圖 5- 61：資料庫資安金鑰架構 195
圖 5- 62：雙層資料庫資安模型 196
圖 5- 63：K-anonymity Noise 和 IBA 產生假資料之結果 197
圖 5- 64：系統架構流程圖 198
圖 5- 65：預期實作結果示意圖 198

圖 6- 1：國際行動電信系統(IMT)開發和部署的時間表 203
圖 6- 2：ITU-R 制定 IMT-2020 系統規格整體期程表 204
圖 6- 3：ITU WP5D 工作小組設定之 IMT-2020 技術發展時程 206
圖 6- 4：ITU-R IMT-2020 標準化進程 207
圖 6- 5：ITU-R IMT-2020 主要應用情境 208
圖 6- 6：ITU-R IMT-2020 主要關鍵績效指標 209
圖 6- 7：因應 IMT-2020 不同使用場景之關鍵績效指標 212
圖 6- 8：5G 網路切片系統架構圖 213
圖 6- 9：巨量天線（Massive MIMO）應用情境 215
圖 6- 10：全雙工技術(Full Duplex)示意圖 216
圖 6- 11：非正交多重存取技術(NOMA)示意圖 216
圖 6- 12：傳統網路與軟體定義網路（SDN）架構示意圖 218
圖 6- 13：雲端無線接取網路(CloudRAN)示意圖 219
圖 6- 14：3GPP 現行 5G 技術標準發展時程 224
圖 6- 15：3GPP-5G 開發及規劃的時程規劃 225
圖 6- 16：3GPP Release 15 和 Release 16 時間表 225
圖 6- 17：ITU-R WRC-19 的 5G 候選頻段（2019 年 11 月） 232
圖 6- 18：各國 5G 頻率的分配狀態 232
圖 6- 19：IEEE 5G Initiative 組織結構圖 239
圖 6- 20：IEEE 技術路線圖工作小組架構圖 240
圖 6- 21：IEEE 開發 5G 相關領域標準 240
圖 6- 22：IEEE 802.11 工作小組開發的新技術標準 242
圖 6- 23：IEEE 802.11ax 於 5G 免執照頻段（5G-U）範例 243
圖 6- 24：國際 V2X 無線通訊技術路線 245
圖 6- 25：美規及歐規之車聯網 DSRC 系統標準架構 246
圖 6- 26：3GPP 支援的 V2X 車輛通訊應用服務 248

圖 6- 27：3GPP 定義的 C-V2X 系統架構 250
圖 6- 28：未來 V2X 發展的演進路線 250
圖 6- 29：平昌奧運的無人機展示秀 256
圖 6- 30：平昌冬奧閉幕式 257
圖 6- 31：Intel 5G 無人機 257
圖 6- 32：Intel True VR 攝影機 260
圖 6- 33：5G 應用－平板體驗與實機展示 261
圖 6- 34：5G 應用－VR 展示 262
圖 6- 35：5G 應用－基地臺與各類創新應用 263
圖 6- 36：TELIA 結合 5G 技術於電競賽事之實驗場域 265
圖 6- 37：日本結合 5G 技術於車聯網的應用 272
圖 6- 38：美國和歐洲車聯網頻段規劃 273
圖 6- 39：預測無人機未來收入 274
圖 6- 40：無人機物流運用 275
圖 6- 41：3D Robotics 無人機飛行 278
圖 6- 42：Amazon 無人機送貨 278
圖 6- 43：Google X 無人機 279
圖 6- 44：Aquila 無人機 280
圖 6- 45：歐盟 5G 實驗發展路徑規劃策略藍圖 283
圖 6- 46：歐盟 5GPPP 實驗路徑規劃時程 284
圖 6- 47：歐盟 5GPPP 垂直場域策略－合作之垂直場域與協會組織 . 285
圖 6- 48：VirtuWind 的 SDN 和 NFV 生態系統 294
圖 6- 49：5G-XHaul 網路部署 297
圖 6- 50：METIS-II WP 架構圖 299
圖 6- 51：5G CAR 車道合併用例 300
圖 6- 52：5GCAR 合作感知用例 301
圖 6- 53：5GCAR HD 自主導航案例 301
圖 6- 54：5GCAR 遠程駕駛用例 302
圖 6- 55：5G CAR 項目架構圖 303
圖 6- 56：5GCity 項目架構圖 305
圖 6- 57：5GTANGO 在智慧製造的流程圖 307
圖 6- 58：5GTANGO 在沈浸式媒體之場域 307

圖 6- 59：主要設施站點和實驗設施站點的 5G-VINNI 設施 310
圖 6- 60：5G-VINNI 專業概念 E2E 設施架構..... 311
圖 6- 61：5G-VINNI 測試框架..... 312

圖 7- 1：歐盟 3.4-3.8GHz 於 2016 年之使用情形調查 336
圖 7- 2：ECC 建議之 3400-3800MHz 協同一致頻率配置方式..... 344
圖 7- 3：ECC 建議之 24.25-27.5 GHz 協同一致頻率配置方式..... 345
圖 7- 4：ECC 2014 年決議文件對 TDD 基地臺功率限制示意圖 346
圖 7- 5：3.4 GHz 頻譜拍賣結果與分配狀態..... 358
圖 7- 6：5G 測試平台及試驗計畫之第一階段計畫 361
圖 7- 7：英國 5G 頻譜規劃 367
圖 7- 8：混合授權方法範例..... 372
圖 7- 9：頻譜轉移、再編制的循環..... 424
圖 7- 10：日本 5G 進展時程 426
圖 7- 11：日本 5G 技術報告時程（至 2018 年 7 月）..... 426
圖 7- 12：1.7 與 3.4GHz 頻段分配狀態..... 428
圖 7- 13：總務省之 5G 頻譜分配圖 430
圖 7- 14：東京晴空塔市鎮的實證..... 434
圖 7- 15：廣域監視有關之實證..... 435
圖 7- 16：遠距醫療相關之實證..... 435
圖 7- 17：東武鐵道日光線中的高速移動體超高畫質影像傳輸試驗... 436
圖 7- 18：3.7 與 4.5GHz 頻段使用現狀..... 437
圖 7- 19：28GHz 頻段使用現狀..... 438
圖 7- 20：韓國 3.5 與 28GHz 頻段標出情形..... 452
圖 7- 21：韓國 5G 測試發展歷程 454
圖 7- 22：德國 5G 實驗案例分布圖 468
圖 7- 23：德國 2.3 GHz 與 3.6GHz 頻段使用情形 475
圖 7- 24：競價規則之頻塊大小示意..... 477
圖 7- 25：愛爾蘭 26GHz 頻段競價流程..... 487
圖 7- 26：愛爾蘭 3.6GHz 釋出結果與各業者得標頻率位置 488
圖 7- 27：愛爾蘭 26GHz 頻段既有使用情形..... 490
圖 7- 28：愛爾蘭 26GHz 頻段競價頻譜劃分方式規劃 490

圖 7- 29：加拿大 28GHz 頻段分配示意圖 507
圖 7- 30：加拿大 37-40GHz 頻段分配示意圖 509
圖 7- 31：加拿大 37-40GHz 頻段既有分配狀態 510
圖 7- 32：加拿大 64-71GHz 頻段分配示意圖 511
圖 7- 33：加拿大移頻情境 513
圖 7- 34：加拿大 28GHz 頻段既有分配示意圖 516
圖 7- 35：加拿大 28GHz 頻段規劃分配方式示意圖 516
圖 7- 36：加拿大 37-40GHz 頻段規劃分配方式示意圖 520
圖 7- 37：加拿大 38.6-40GHz 頻段既有分配示意圖 521
圖 7- 38：600MHz 頻段配置規劃 527
圖 7- 39：RSPG IoT 頻譜接取規劃路徑 537
圖 7- 40：英國物聯網頻譜架構 546
圖 7- 41：物聯網應用適用之頻譜 556
圖 7- 42：美國 6GHz 頻段核配情形 560
圖 7- 43：建立 IoT 新時代的未來檢討委員會之組織架構 579
圖 7- 44：IoT 檢討委員會之 2017 年 11 月~2018 年 6 月的時程規劃 .. 580
圖 7- 45：日本低功率 LPWA 的制度修正 583
圖 7- 46：日本車聯網的政策路徑 584
圖 7- 47：5.2GHz 頻段的使用狀況 589
圖 7- 48：中輸出型主動低功率無線系統修正 590
圖 7- 49：LPWA 的頻譜範圍 597

圖 8- 1：我國行動寬頻業務頻譜資源核配現況 614
圖 8- 2：我國 4G 數據用戶每月平均數據傳輸量發展趨勢 615
圖 8- 3：我國行動通訊數據傳輸量發展趨勢 615
圖 8- 4：各國 5G 政策核心 617
圖 8- 5：本計畫建議之我國 5G 頻譜政策核心 619
圖 8- 6：國際 5G 釋照辦理時程與後續規劃 620
圖 8- 7：國際 5G 中頻段候選頻段 621

圖 9- 1：瀏覽無線麥克風設備（低功率輔助站）於白頻段資料庫 653
圖 9- 2：614-698 MHz 頻段之頻譜分配圖 657

圖 9- 3：694-791 MHz 頻段之頻譜分配圖 677
圖 9- 4：790-862 MHz 的頻譜分配圖（優先統一選擇的 FDD 頻譜） 681
圖 9- 5：790-862 MHz 的頻譜分配圖（TDD 頻譜） 681
圖 9- 6：歐盟彙整各國的 PMSE 設備所制定的操作頻段與執照需求 692
圖 9- 7：類比式無線麥克風設備之發射遮罩 694
圖 9- 8：操作頻段低於 1 GHz 數位式無線麥克風設備之發射遮罩 695
圖 9- 9：操作頻段高於 1 GHz 數位式無線麥克風設備之發射遮罩 696
圖 9- 10：國內廠商嘉強電子(MIPRO)之無線麥克風設備 715
圖 9- 11：無線麥克風干擾實驗之概念說明圖 721
圖 9- 12：數位電視使用同軸電纜傳輸數位電視訊號之干擾實驗設置721
圖 9- 13 DekTec DTU-315 電視訊號產生器校正設置圖..... 722
圖 9- 14：嘉強電子無線麥克風設備於無反射室之量測設置圖..... 728
圖 9- 15：數位電視使用天線接收數位電視訊號之干擾實驗設置圖... 731
圖 9- 16：Shielding Box 量測路徑損耗校正圖 731
圖 9- 17：無線麥克風干擾路徑損耗校正圖 732
圖 9- 18：使用金屬屏蔽盒量測電視設備載噪比之量測設置圖..... 733
圖 9- 19：使用金屬屏蔽盒量測電視設備載噪比量測設置圖..... 734
圖 9- 20：控制數位電視接收訊號強度為最低法定值-76 dBm..... 737
圖 9- 21：無線數位機上盒之通道干擾理論計算參數示意圖..... 738
圖 9- 22：高增益指向性天線場形示意圖 741
圖 9- 23：無線麥克風干擾實驗會議簽到單..... 745
圖 9- 24：無線麥克風干擾實驗設置照片 745
圖 9- 25：無線麥克風干擾實驗展示說明會照片 746

圖 10- 1：8/17 研討會議剪影 749
圖 10- 2：10/26 研討會議剪影 750

提 要

關鍵詞：頻譜共享機制、第五代行動通訊技術、物聯網、頻譜政策、頻譜重整、無線麥克風、干擾、數位電視、車對萬物通訊、商業驗證、無人機、3.3-4.2GHz、28GHz

一、研究緣起

3.3 - 4.2 GHz 頻段具備足夠連續頻寬，不但滿足 5G 新世代行動通訊對更高傳輸速率的需求，更兼具實現訊號覆蓋和系統容量之相對優勢，特別是 3.5GHz 頻段（泛指 3.4-3.6GHz）已被許多國家正式規劃為 5G 頻段，其重要性不言而喻。為支援我國產業發展 5G 技術與應用服務，於進一步規劃整備該頻段之前，亟需藉由客觀、實證的科學方法進行測量分析，確認我國在該頻段之衛星下鏈、微波鏈路或雷達等既有使用者狀態，並對開放供 5G 和諧共用之頻譜可用性展開評估。

國際上對於頻率之使用，基本原則首在追求頻率使用效率、效益最大化，進而達致公共利益或國家利益最大化之實現。為能適時滿足 5G 頻寬需求，針對動態頻譜共享接取技術的研究也逐漸成為當今熱門課題。從國際發展經驗來看，無論是美國或歐盟所提出的頻譜共享機制，最優先要處理的都是對頻譜既有使用者的保護。如何從技術上克服並降低妨害性干擾發生的機率，協助主管機關實現干擾處理成本最小化，將成為未來朝向彈性化頻譜管理發展的一大重點。

為更進一步掌握 5G 網路情境下之監理制度發展，本計畫觀測 5G 技術發展路徑、5G 應用情境於各產業之推動情形，以及研析先進國家之 5G、IoT 與 ITS 頻譜整備政策發展趨勢，頻譜重整、執照條件相關監理制度發展以及相關應用之實驗進度等措施，再依據我國國情，提出適合我國創新應用服務與與生態體系發展所需之頻譜政策建議。

本計畫檢視先進國家對於 5G 與物聯網頻譜政策制訂，掌握該國頻譜政策發展、頻譜整備與規管架構之趨勢，相關政策研究成果則更進一步按照我國市場環境與國情條件，分析現有頻譜使用狀態與監理規管制度後，提出我國於 5G 與物聯網趨勢下可採行之政策建議。

根據我國低功率射頻電機技術規範 4.6 節規定，所開放的頻段只有相當窄的操作頻寬，因家庭式與消費者個人使用的無線麥克風設備，以目前低功率射頻電機技術規範所制定的 510~530 MHz 頻段已

經足夠使用，但針對大型集會場合中無線麥克風設備頻段仍然不敷使用，是以在無線麥克風系統不干擾現行各類射頻系統的前提下，本計畫將依循國際間對於無線麥克風系統的技術管理規範提出建議，以公正的立場開放更多的無線麥克風操作頻段並與通訊干擾取得平衡，協助主管機關未來制定無線麥克風設備的相關法規。

二、研究方法及過程

本計畫透過實驗法評估 3.5GHz 頻段使用狀況量測，並發展動態頻譜共享機制，同時透過文獻分析法，研析國際頻譜共享機制與各國 5G、物聯網頻譜整備相關政策，透過焦點團體法與專家座談方式蒐集專家學者與產業利害關係人對本案研究議題之看法。本計畫執行之研究工作項目包括以下：

- 3.5GHz 頻段使用狀況量測與可用性評估；
- 需執照頻段之動態頻譜共享進階概念驗證；
- 動態頻譜接取技術於免執照頻段使用之干擾分析。
- 研蒐國際間 5G、物聯網技術演進與應用發展趨勢。
- 研蒐各國對於 5G、物聯網頻譜整備與規管制度相關政策發展。
- 研提我國新興技術發展與監理制度研析。
- 研蒐國際上美國和歐盟先進國家對對無線麥克風等低功率射頻電機之使用頻率、功率等規定及管理措施。
- 參酌國際經驗、國內現況及研析國際使用無線麥克風之低功率射頻電機相關技術規範（草案）。
- 無線麥克風設備操作於實際場域的干擾試驗。

三、重要發現

(一)新世代行動通信技術與動態頻譜共享機制

1、 我國 5G 中頻段可用性評估

進行 3.5GHz 頻段 5G 行動通訊與固定衛星服務（FSS）共存之可行性評估。初步量測結果發現在無任何改善措施下，兩者幾無共存空間。

接續發展提升 FSS 地面站衛星接收設備之抗干擾性能量測，於實驗室內以衛星接收設備加裝特規帶通濾波器 (Band Pass Filter, BPF) 進行實證分析，量測結果發現抑制效果於護衛頻寬達 34 MHz 之後趨於穩定，且加裝 BPF 後，可縮短保護距離 100 倍。

使用既存有線電視衛星接收站進行實際場域量測，進一步掌握實務上 5G 基站與衛星接收站相對位置高低對干擾影響的變化，量測結果顯示在偏軸角 44.5 度情境下，護衛頻寬至少需要 40MHz，若偏軸角大於 50 度情境，則至少需要 10MHz 護衛頻寬。

綜合分析前項實驗室數據與實際場域量測結果，發現衛星接收設備之 LNB 飽和，以及 IMT 訊號進入衛星接收頻道的混附發射 (Spurious emission) 上升而造成衛星接收 C/N 下降等現象，均為影響收訊品質之主因。

2、 需執照頻段之動態頻譜共享進階概念驗證

研析美國 CBRS 頻段有關 CBSD 之干擾管理限制與規範，主要包括：既有使用者（美國海軍）於使用位置半徑 80 公里內不得有其他使用者使用相同頻段；可藉由環境感測能力系統 (Environmental Sensing Capability, ESC) 負責判斷訊號範圍，有效減少干擾半徑。既存 FSS 接收站半徑 150 公里內之所有 CBSD 造成的干擾不能超過-129 dBm/MHz。

針對 CBSD 與 SAS 間之資料交換規範進行實作，完成包括註冊請求、頻道請求以及傳輸請求等處理程序，已能在不特定數量之 CBSD 間進行頻道選擇與動態指配。

3、 動態頻譜接取技術於免執照頻段使用之干擾分析

增建 LAA 小細胞基站測試環境於頻譜共享接取實驗平臺，已可進行 LAA 與 WiFi 共存之干擾量測與 QoS 分析。

針對 LAA 對於 WiFi 干擾議題之模擬評估與探討，利用同樣採取先聽後送（Listen-before-Talk, LBT）通道存取機制的 LAA 競爭窗口參數設計，開發可選擇公平共存（Fairness）或效能（Efficiency）優先模式之網管系統。

(二)新世代行動通訊與物聯網頻譜整備政策

針對5G技術觀測與應用發展趨勢部份，本計畫研析ITU提出的IMT-2020計畫，5G標準制定將於2020年完成。3GPP目前5G技術標準發展時程，已於去（2017）年底在澳洲布里斯本會議時初步完成 Release 15 非獨立組網（Non-Standalone，NSA）標準草案制定，今年6月完成 Release 15 獨立組網（Standalone）版本制定。5G NR中主要特徵技術即是採用大規模 MIMO 技術，且運作於6 GHz 以下頻段、超過6 GHz頻段甚至毫米波頻段。預計在2019年即可佈建5G。

為確保及時回應產業對 5G 及新興技術之需求，歐洲（5G PPP）積極投入下一代通信網路和服務之發展，深入研究5G通訊基礎設施的解決方案、架構、技術以及標準等。5G PPP 的目標是保持和提高歐洲資訊與通信科技（Information and Communication Technology, ICT）產業的競爭力，並確保歐洲社會能夠享受這些未來網路帶來的經濟和社會效益。5G PPP 計劃將加強歐洲產業，以成功在全球市場上競爭並開闢新的創新機會，包含創造智慧城市，電子醫療，智能交通，教育、娛樂和媒體等新市場領域，能成為全球領導地位。

未來 5G 佈建預計利用更高的頻段，勢將帶來更多小細胞基地臺的需求，也將導致現有網路基站數量的增加。然而行動基礎設施的建設通常具有高額沉沒成本，業者在小細胞基地臺布建上可能面臨網路營運層面(如室內維運困難)、技術資源層面(頻譜趨向共享)、基站規管層面(如全國涵蓋義務)等不同面向的困境與挑戰，因此近來國外產學業界推出「微型業者(Micro-operator)」概念，希冀藉助網路切片和頻譜共享技術，在特定場域布建小細胞基站，提供具有服務等級(QoS)的 5G 整合性應用服務，滿足用戶對室內覆蓋的需求。

為了解國際間5G與物聯網頻譜政策及相關法規之發展，本計畫針對國際5G頻譜政策研析，總共蒐集包括歐盟、英國、美國、澳洲、日本、韓國、德國、愛爾蘭與加拿大共九個國家之5G頻譜整備與監理政策，比較各國 5G 政策重心、5G 候選頻段以及執照管理與規範義務等。物聯網部份，本計畫則蒐集包括歐盟、英國、美國、澳洲與日本共五個國家之物聯網與車聯網頻譜政策規範，同時也研析無人載具使用頻段之相關政策。相關比較分析則作為我國新世代行動通訊與物聯網新興技術頻譜政策之參考。

本計畫認為，基於確保創新應用擁有可用頻譜資源，以及維護電信監理秩序與以市場機制反應商用頻譜價值等理由，現階段我國主管機關已於2018年10月公告將修正「學術教育或專為網路研發實驗目的之電信網路設置使用管理辦法」草案，未來將可適度引入評估新商業模式之商業驗證（Proof of Business, PoB），反映小規模之創新業者需求。

本計畫認為，5G 執照架構應以能提供彈性化頻譜接取為主。另外有關創新應用垂直場域執照議題，本計畫建議藉由放寬商業實驗驗證規範，短期內應可符合創新垂直應用業者之需求，長期則視國際發展趨勢，再行評估是否劃定特定頻譜供垂直創新產業之專網使用。

對於物聯網、車聯網與無人機使用頻譜，經過調查後，現階段仍多以免執照為主，儘管已有部份主管機關開始討論無人機使用免執照頻譜時，可能限縮應用範圍及帶來干擾風險，然而，目前尚無訂定無人機專用頻譜之實際案例，因此，本計畫建議持續觀察新興物聯網應用之發展趨勢，定期檢討、整備適當之頻譜資源。

本計畫認為，現階段物聯網、車聯網與無人機通訊等新興應用，仍多仰賴既有行動通訊業者之執照，或使用免執照頻譜資源。若基於促進物聯網發展之考量，認為有必要以專用執照規管，以避免干擾風險時，本計畫建議主管機關可參考英國與澳洲案例，建立專用輕度執照架構，或以技術規範方式，設定僅限特定技術使用。

(三)無線麥克風設備監理制度研析

1、 若無使用數位電視天線（情境一），則：

（電視訊號使用 Cable、第四台、天線於屋頂等，符合大部分使用情況）

(1)無線麥克風使用時，建議距離數位電視設備 20 cm 以上。

2、 若附近有數位電視天線（情境二），則：

（無線麥克風設備操作時，電視接收天線位於附近，同時看電視且使用麥克風的少部分實際使用情況）

(1) 評估最短距離時，應以電視天線至無線麥克風之間的距離。

(2) 若數位電視接收天線為全向性天線(2 dBi)時：

當無線麥克風設備操作於數位電視訊號 Band-Edge 頻率（鄰頻 Guard Band 300kHz 以內）與 In-Band 6 MHz (數位電視使用頻段)，無線麥克風設備至少必須離數位電視天線 30 公尺。

當無線麥克風之中心頻率操作離數位電視訊號 400 KHz 以上（即數位麥克風訊號離數位電視頻帶邊緣 300 KHz 以上），則無線麥克風設備至少必須離數位電視天線 5 公尺以上。

(3) 若數位電視接收天線為高增益指向性天線時：

- 無線麥克風設備的安全距離必須依據計畫內容中所示。
- 無線麥克風設備操作於天線波束前方之機率可參考計畫內容中所示。
- 無線麥克風設備操作於天線波束後方時，可依據計畫內容中不同的增益而使用合適的安全距離。

(4) 操作於 530-608 MHz 頻段的無線麥克風設備發射功率最高上限應為 10 mW (ERP)。

四、主要建議事項

本計畫除針對 3.5G 頻段之 FSS 地面站衛星接收設備增設干擾改善措施進行實際場域測試，並將動態頻譜共享相關功能實作於前期計畫產出之 ViSSA 頻譜共享接取實驗平臺（Virtual Lab of Shared Spectrum Access），成功於 10 月 26 日頻譜管理論壇進行實機運作展示。希藉由交流互動廣蒐各界意見，持續進行技術優化，接續於下階段將實驗平臺拓展連結至場域實證及頻譜共享試行運作，提升本案社會及產業實質效益。

針對 5G 頻譜整備制度，本計畫提出我國 5G 頻譜政策行動策略建議，包括：積極整備與釋出頻譜資源、現代化監管制度、促進創新應用以及鼓勵投資等，我國 5G 頻譜政策思維，應著重於推動 5G 對整體經濟與生活帶來之向上提升，使全體國民均可獲得 5G 所帶來之利益。同時，本計畫提出我國 5G 候選頻段建議，並依時程分為立即可行與中長期建議。

有關創新應用垂直場域執照議題，本計畫建議藉由放寬商業實驗驗證規範，短期內應可符合創新垂直應用業者之需求，長期則視國際發展趨勢，再行評估是否劃定特定頻譜供垂直創新產業之專網使用。

基於物聯網、車聯網與無人機使用之頻譜資源，現階段仍多以免執照為主，因此，本計畫建議持續觀察新興物聯網應用之發展趨勢，定期檢討、整備適當之頻譜資源。現階段物聯網、車聯網與無人機通訊等新興應用，仍多仰賴既有行動通訊業者之執照，或使用免執照頻譜資源。若基於促進物聯網發展之考量，認為有必要以專

用執照規管，以避免干擾風險時，本計畫建議主管機關可參考英國與澳洲案例，建立專用輕度執照架構，或以技術規範方式，設定僅限特定技術使用。

本計畫已完成無線麥克風設備干擾實驗，並於 2018 年 10 月 19 日於高雄路竹電信技術中心二樓舉辦展示說明會，該說明會邀情各界電視先進、無線麥克風廠商、實驗室與國家通訊傳播委員會，分享。

(一)立即可行之建議

1、 為確保 3.5GHz 頻段固定衛星服務（FSS）於所建議之護衛頻寬及保護距離下仍能正常運作，對衛星接收端加裝濾波器實為必要；另考量 5G 訊號進入衛星接收頻道的混附發射亦為影響主因，建議以 FSS 地面站為中心之半徑 150 公尺區域設定為干擾保護協調區，視實際需求同步於 5G 基站傳送端加裝濾波器，或規範帶外輻射限值為-52dBm/MHz，以充分滿足共存所需條件。

2、 確立我國 5G 頻譜政策重心，使全體國民均可獲得 5G 所帶來之利益。

3、 積極整備我國 5G 第一階段釋出頻譜，候選頻段包括 3300-3570MHz 與 27-29.5 GHz 頻段，另外，建議主管機關可一併考慮釋出 1775-1785/1870-1880 MHz 以及 2355-2390 MHz。

4、 放寬商業實驗驗證規範，鼓勵 5G 創新垂直應用案例發展。

5、 持續觀察新興物聯網應用之發展趨勢，定期檢討、整備適當之頻譜資源。

6、 因家庭式與消費者個人所使用的無線麥克風設備，以目前低功率射頻電機技術規範所制定的 510~530 MHz 頻段已經足夠使用，本干擾實驗主要乃針對大型集會場合中無線麥克風設備頻段不敷使用而作探討。

7、 當附近無數位電視接收天線時（或接收天線在極遠處），則無線麥克風設備使用時，應距離數位電視設備 20 cm 以上。

8、 操作於 530-608 MHz 頻段的無線麥克風設備萬一發生干擾，監理機關有權廢除該無線麥克風設備之型式認證。

(二) 中長期性建議

1、為完成將動態頻譜共享機制納為我國彈性化頻譜監理可用工具、進一步提升頻譜使用效率之準備，仍需兼顧技術面、法規面、市場需求及成本效益等綜合因素。

2、除辦理產業需求及對動態頻譜共享機制參與意願之調查外，研究並建議針對 5G 通訊系統多樣化接取技術對頻譜管理帶來之挑戰與因應對策，持續探討頻譜動態配置等有助實現彈性化頻譜管理新機制之配套措施，並以共享頻率資料庫為基礎，進行干擾防範處理技術與方法之評估研究，結合具一定規模之示範場域，進行應用情境模擬之實測驗證，充分落實以實證實務 (Evidence-based) 為新世代頻譜監理之基礎，確保法制政策、管理規則及技術規範之妥適性與可行性。

3、本計畫建議我國 5G 第二階段候選頻段，低頻段可檢視 600MHz 與 800MHz，中頻段則可研析 3.8-4.2GHz 採共享機制釋出之可能性，以及整備 1.5GHz 與 4.5-5GHz，高頻段部份整備 24.25-26GHz 與 37-40GHz，並探討以免執照方式釋出 64-71GHz 之可能性。

4、持續觀察國際間 5G 垂直創新應用之發展趨勢，再行評估是否劃定特定頻譜供垂直創新產業之專網使用。

5、持續觀察物聯網等新興應用之發展，若未來認為有必要以專用執照規管，以避免干擾風險時，建議可參考英國與澳洲案例，建立專用輕度執照架構，或以技術規範方式，設定僅限特定技術使用

6、考量電視業者對無線麥克風設備操作於 530-608 MHz 頻段仍有疑慮，會後經詢問相關麥克風設備業者，建議無線麥克風設備可操作於 614-703 MHz，該頻段於低功率射頻技術規範 2.7 節中並未禁用，且交通部頻率分配表中該頻段並無射頻業務，雖未來交通部可能規劃供行動寬頻業務使用，惟依 794-806 MHz 前於低功率射頻技術規範規定供無線麥克風使用，後於「實際場域」行動寬頻業務使用其中 794-803 MHz，並未發生「實際場域」使用 794-803 MHz 之無線麥克風干擾行動寬頻業務情形(但測試環境手機接收信號顯示約 1 格之區域且 RSRP > -96dBm，使用 794-803 MHz 之無線麥克風與手機距離大約 3 公尺處，則手機仍可與基地臺維持通訊。亦即，手機接收信號顯示 1 格以上之格區，手機與無線麥克風之距離將可小於 3 公尺)，僅有行動寬頻業務干擾使用 794-803 MHz 無線麥克風情形，爰依低功率電波輻

射性電機管理辦法第 14 條規定「低功率射頻電機之使用不得影響飛航安全及干擾合法通信；經發現有干擾現象時，應立即停用，並改善至無干擾時方得繼續使用。前項合法通信，指依電信法規定作業之無線電通信。低功率射頻電機須忍受合法通信或工業、科學及醫療用電波輻射性電機設備之干擾。」，建議可提請交通部開放無線麥克風設備使用(614-703 MHz 無線麥克風最高發射限制值為 10 mW ERP)，以解決大型集會場合中無線麥克風設備頻段不敷使用問題。但考量若未來交通部可能規劃 614-703 MHz 供行動寬頻業務使用，致行動寬頻業務可能有干擾使用 614-703 MHz 無線麥克風情形，建議於 614-703 MHz 無線麥克風之包裝盒及說明書標示該辦法第 14 條，及電信法第 48 條第 3 項「國家通訊傳播委員會為整體電信及資訊發展之需要，應對頻率和諧有效共用定期檢討，必要時並得調整使用頻率或要求更新設備，業者及使用者不得拒絕或請求補償。」等規定，以兼顧決解大型集會場合中無線麥克風設備頻段不敷使用，及消費者保護等問題。

Abstract

Keyword：Spectrum sharing mechnism、The fifth mobile generation network (5G)、Internet of things (IoT)、Spectrum policy、Spectrum refarming, Wireless microphone, Interference, Digital Television, Vechile-to-everything (V2X), Proof of Business , unmanned aerial vehicles (UAVs), 3.3-4.2GHz, 28GHz.

The fifth-generation (or "5G") of mobile broadband technologies will bring faster speeds and improved network capacity and efficiency. New spectrum is critical for the success of 5G services. Globally, there are significant on-going activities to identify suitable spectrum, including bands that can be used in as many countries as possible to enable global roaming and economies of scale. Various efforts around the world are underway to find harmonization around spectrum to be used for 5G.

Notably, the range 3.3 - 4.2 GHz consists a large amount of continuous spectrum, enabling wide channel bandwidth. Spectrum in this frequency range allows for wide area coverage and high data speed, rendering it most suitable for the provision of 5G services. A challenge is that the 3.4 - 4.2 GHz band, commonly known as the C-Band, has been allocated to downlinks of fixed satellite service (FSS).

In view of the possible interference problems between future 5G and FSS systems, this research conducts theoretical analysis and calculation for the protection distance between different scenarios, and analyzes the appropriate conditions for interference suppression when the two systems coexist. The measurement results show that it is impossible to coexist between 5G and FSS if no improvements are made.

Furthermore, it affirmed that with the implementation of appropriate mitigating measures, such as band-pass filter (BPF), FSS systems operating in the 3.61 - 3.71 GHz band can co-exist with systems of future 5G services operating in the 3.3 – 3.57 GHz band, based on the laboratory and field experiment performed.

The findings along with the proposed mitigating measures are summarized as follows:

a) In order to reduce the interference between 5G and FSS systems operating in adjacent frequency bands an additional filtering is

included to improve the transmitter Adjacent Channel Interference (ACLR).

b) In general, the 5G base stations may be require antenna adjustment, additional filtering and site engineering to facilitate coexistence and sharing between 5G and FSS systems.

c) Further coordination required for 5G base stations deployed within the interference coordination zone up to a radius of 150 meters.

The explosive emergence of wireless technologies and standards, covering licensed and unlicensed spectrum bands has triggered the appearance of a huge amount of wireless technologies, with many of them coexisting in the same band. As such, there is a need to introduce more advanced techniques to access and share the wireless medium, either to improve the coordination within a given band, or to explore the possibilities of intelligently using unused spectrum in underutilized (e.g., licensed) bands.

There are many questions yet to be answered by future research, experiment and demonstration regarding dynamic spectrum sharing technologies, architectures, operation models, and associated regulatory policies. This year's work completed and was detailed in Final Report with suggestions provided to existing technical specifications and regulations for spectrum sharing.

a) Design of PoC for Dynamic Spectrum Sharing in Licensed Bands
This study continues to follow the development of international dynamic spectrum sharing mechanisms, especially focusing on the laws and regulations, and the development of industrial ecosystems of the Citizen Band Radio Service (CBRS) in the United States. First, the Citizen Band Radio Service Device (CBSD) needs to be assigned by the Spectrum Access System (SAS) to obtain the right for spectrum usage. Restrictions and specifications of interference management for CBSD include: (1) within the radius of 80 km centered by Incumbent (IA), no other users are allowed to use the band of same frequency; (2) the Environmental Sensing Capability System (ESC) can be used to determine the signal range to effectively reduce the interference

radius; (3) Within the radius of 150 km centered by an existing FSS, all CBSDs using the band of same frequency cannot induce interferences more than -129 dBm/MHz. This study also implements the specifications of data exchange between CBSD and SAS, including the operations of registration requests, channel requests and transmission requests, and channel selection and dynamic assignment among a certain number of CBSDs.

b) Design of PoC for Dynamic Spectrum Sharing in License-free Bands

In view of the evolutionary development of the license-assisted access (LAA) technology in the 3rd Generation Partnership Project (3GPP), this study used LAA Small Cell to build a test environment for coexisted LAA and Wi-Fi in a Shared Spectrum Access experiment platform to measure interferences and analyze the corresponding Quality-of-Service (QoS). The Team conducted simulation experiments to study the inferences on Wi-Fi due to LAA. Based on the Listen-Before-Talk (LBT) channel access mechanism, the Team experimented and designed the settings of LAA competition window parameters, and developed a scheduling algorithm and an effective spectrum management system to improve the fairness and spectrum utilization in both licensed and license-free spectrums.

c) ViSSA2.0 Demo

We have integrated and demonstrated the PoC operations of the ViSSA 2.0 platform. Continuing the development of the Virtually Shared Spectrum Access (ViSSA) platform for dynamic spectrum sharing management, this study implemented both deliverables in b) (Design of PoC for Dynamic Spectrum Sharing in Licensed Bands) and c) (Design of PoC for Dynamic Spectrum Sharing in License-free Bands) by simulating several scenarios of various use cases. The platform is also presented in the Annual Spectrum Management Forum on October 26, 2018 to demonstrate its feasibility and effectiveness. Opinions and suggestions from different viewpoints are thus gathered through information exchange and people's interactions to continuously optimize the platform. In the next phase, we plan to validate the ViSSA2.0 platform with field trials to demonstrate its ability to effective spectrum sharing management.

In order to understand the development of the regulation of 5G, we analyze the roadmap of 5G technology, the innovation application for vertical industries, and the 5G spectrum policy and license scheme in 9 comparative countries, including the European Union, United Kingdom, United states of America, Australia ,Japan ,Korea, Germany, Ireland and Canada.

We also analyze the spectrum policy for IoT, ITS and unmanned aerial vehicles (UAVs) in 5 comparative countries, including the European Union, United Kingdom, United states of America, Australia and Japan.

We study the IMT-2020 project proposed by the ITU, the 5G technology specifications will be completed in 2020. 3GPP formula the 5G technology specifications, they completed the Release 15 Non-Standalone (NSA) draft specifications in 2017. Then completed the Release 15 Standalone network specifications in June 2018. The main feature technology in 5G NR is the use of massive MIMO technology, operating in the frequency band below the 6 GHz, over the 6 GHz band and even the millimeter wave band. It is expected the launch time for 5G will be in 2019.

We research the mobile market status and 5G development in Taiwan. The results of comparative countries help us to provide the advices for the spectrum policy and license scheme of 5G ,IoT, ITS and UAVs in Taiwan.

In order to provide sufficient spectrum resource for innovative application, NCC announced the draft of the "Administrative Regulations on The Establishment And Operation of Telecommunications Network for the Academic and Educational purpose or Dedicated Experiment, Research and Development purpose" in Oct 2018. The innovator can through the proof of business (PoB) to evaluate the opportunity for business trial. We believe this measure can help innovator get the right to spectrum access, meet current requirements from innovator and operator of vertical sector. In the long term, we advise continuing to observe the international trends on the spectrum need for vertical industry.

This research recommends the candidate band for 5G spectrum in Taiwan, we recommend the first step release band for 5G should include 1775-1785/1870-1880 MHz , 2355-2390MHz, 3300-3570MHz and 27-29.5 GHz. Then the next step for the second release band should review the opportunity for release 600MHz, 800MHz, 1.5GHz and 4.5-5GHz. We advise the regulator can research spectrum sharing mechanism on 3.8-4.2 GHz. In the high band, the candidate band should be 24.25-26GHz and 37-40GHz. We also recommend 64-71GHz can be unlicensed band.

This research also analysis the spectrum policy for IoT, ITS and UAVs. At this moment, the most license schemes on those applications still adopt unlicensed spectrum. We advise the regulator should continue observe the development trends for IoT, ITS and UAVs.

There are some countries like UK and Australia already set up the light license regime for IoT. It can promote the development of the innovation and lower the risk of interference. The light license regime might be the option for the regulator in the future.

Wireless microphone devices are primarily used to transmit sound to recording or amplifier equipment and are widely used in communications companies, broadcast sports events, news gathering, theaters, schools, public events and video programming, etc. Under the license and management of the Commission, FCC, depending on the user's identity and the wireless microphone application context, Licensed and Unlicensed can be obtained separately, mainly operating in the available spectrum of the TV band. It must comply with the relevant technical specifications of 47 CFR Part 74, Subpart H - Low Power Auxiliary Stations and 47 CFR 15.236. It is known from the technical specifications that wireless microphone devices are defined as Low Power Auxiliary Stations (LPAS). The relevant technical specifications and operational principles should be established without affecting television equipment (and other licenses in this band). The premise of the device, to protect the TV broadcast and other secondary operations, is the focus of the wireless microphone interference.

According to the previous report, allow the operating frequency band of less than 50 MHz for use by wireless microphone devices in Taiwan, and other communication service devices (such as 4G) are in use in the operating frequency band, and because wireless microphone devices are exempt from license in Taiwan. Equipment, in terms of operational priority, is equal to other licensed RF equipment. Under the double restriction, the current wireless microphone equipment in Taiwan is seriously affected. According to the press release issued by the competent authority on 2014, NCC will search for the appropriate frequency band to provide domestic. The wireless microphone is used and continues to be negotiated with relevant frequency users and operators. Therefore, the plan proposes the

following three-point planning objectives to evaluate whether the wireless microphone operating frequency band has open space, in order to effectively manage the wireless microphone device and other RF. Interference issues between devices. First, research and development measures on the frequency and power of low-power RF motors such as wireless microphones in the advanced countries of the United States and the European Union. Second, discretion of international experience, domestic status and analysis of relevant technical specifications (draft) for low-power RF motors using wireless microphones. Third, the wireless microphone device operates in the actual field of interference test.

第壹篇 總綱

第一章　緒論

第一節　研究背景

隨著數位化時代的來臨，除改變人們從事的經濟、社交及工作等行為，也縮短全球參與者彼此間的距離，開啟了一個嶄新面貌的經濟系統。時值新型態數位經濟崛起，為有效推動我國數位經濟發展政策，行政院公布「數位國家‧創新經濟發展方案（2017-2025年）」（簡稱 DIGI+方案），從國家策略角度預作規劃與整備，俾能因應數位創新所需之超寬頻基礎建設與資通訊科技發展。

「數位創新基礎環境行動計畫」為 DIGI+方案的主軸之一。其政策目標希冀推動我國數位基磐建設發展，提昇寬頻基礎建設，研析前瞻頻譜創新應用規劃；當中又以推動我國 B4G、5G、IoT 新興技術發展與持續釋出無線頻譜資源供產業技術發展與應用服務推動，為實現數位經濟下創新服務之重點工作目標之一。

本計畫旨在整合推動頻譜使用效率之提升，工作範圍主要包括：進行我國頻譜現狀量測與頻譜共享實地驗證、研析 5G 與物聯網等新興技術發展趨勢、頻譜整備與監理制度，以及研議無線麥克風技術發展與管理機制。期藉由研析國際間頻譜共享機制、新興技術與應用以及無線麥克風設備技術規範後，提出適合我國創新應用服務發展、健全生態體系之政策建議與實地驗證成果。

針對 5G 新世代通訊標準之制定，自 2015 年國際電信聯合會（International Telecommunication Union, ITU）公布 IMT-2020 標準以來，先進國家紛紛大力投入 5G 新世代行動通信、物聯網技術、新興技術與應用的發展，包括 5G 標準規格制定、應用情境、產業特性與設備生態體系發展等。

5G 網路下將具備三大應用場景，包括進階型行動寬頻（enhanced Mobile BroadBand，eMBB）、極低延遲與高可靠度通訊（ultra-Reliable and Low Latency Communications，uRLLC）以及巨量物聯網通訊（massive Machine Type Communication，mMTC），各

場景可能包括多種使用案例，例如在進階型行動寬頻場景下可適用案例包括高畫質影音、3D、虛擬實境、擴增實境與連網車輛等。在極低延遲與高可靠度通訊場景下可適用之案例包括工業自動化、智慧醫療與自駕車等，而巨量物聯網通訊可能之使用案例則包括智慧家庭、智慧辦公室與智慧城市等。由於 5G 與物聯網可創造出的各種新興應用服務，因而各國均持續推動 5G 創新服務之發展，整備 5G 與物聯網頻譜資源，並積極建立適合新興服務使用之監理架構。

鑑於國際間正積極合作發展 5G 新世代通訊技術。各主要國家皆於訂定 5G 政策方向後，接續提出 5G 規模化試驗計畫和商用時間表，並開始聚焦於 5G 高、中、低頻段之整備規劃。考量 3.3 至 4.2 GHz 成為各國所廣泛認同的 5G 中頻段主要候選頻率範圍，為能與國際趨勢接軌，於進一步規劃整備該頻段之前，亟需藉由客觀、實證的科學方法加以測量分析，以確認我國在該頻段之衛星下鏈、微波鏈路或雷達等既有使用者狀態，並對開放供 5G 和諧共用之頻譜可用性展開評估。

藉由 5G、物聯網技術之跨產業應用，將能為全體國民帶來更加便利、智慧的數位服務。歐美國家經發展頻譜共享之政策及技術多年，已初步獲致重要成果，並有落實商用化的準備。為讓有限之頻譜使用更有效率及彈性，並與國際頻譜共享架構與應用趨勢接軌，實有必要持續深入研究，透過更進階的動態頻譜共享概念驗證，以及同、異質網路共存效能與干擾評估，掌握技術發展趨勢，俾能提供我國政府及資通訊產業參考，合力推動智慧多元化頻譜管理機制之發展策略。

無線麥克風設備主要用於將聲音傳輸至錄音或放大器設備，被廣泛使用在傳播公司、轉播體育賽事、新聞採集、劇院、學校、舉辦公共活動和視頻節目等，在 FCC 的許可與管理下，依據使用者身分與無線麥克風應用情境的不同，可分別取得持有執照和免執照的操作資格，主要操作於電視頻段的可用頻譜，且必須依循 FCC 管理規章第 74 章第 H 節(47 CFR Part 74, Subpart H - Low Power Auxiliary

Stations)[1]與 47 CFR 15.236[2]相關技術規範。由技術規範中得知，無線麥克風設備被定義為低功率輔助無線電站(Low Power Auxiliary Stations, LPAS)，相關技術規範與操作的原則應建立在不影響電視設備（以及該頻段上其他持有執照之設備）的前提下來進行，進而保護電視廣播與其他次要操作，是以無線麥克風的干擾影響為本計畫所相當重視的一環。值得注意的是，根據我國低功率射頻電機技術規範 4.6 節[3]規定，所開放的頻段只有相當窄的操作頻寬，總共 49.8 MHz (227.1 MHz-227.4 MHz、229.4 MHz-230.0 MHz、231.0 MHz-231.9 MHz、510 MHz-530 MHz、748 MHz-758 MHz、803 MHz-806 MHz、1790 MHz-1805 MHz) 可供我國民眾使用，相對於國際上所制定的相關技術規範差距甚大，同時也限縮了無線麥克風的各項應用產品與技術研發，是以在無線麥克風系統不干擾現行各類射頻系統的前提下，本計畫將依循國際間對於無線麥克風系統的技術管理規範提出建議，以公正的立場開放更多的無線麥克風操作頻段並與通訊干擾取得平衡，協助主管機關未來制定無線麥克風設備的相關法規。

第二節　研究動機與主題

一、 新世代行動通信技術與動態頻譜共享機制

[1] 47 CFR Part 74—Experimental Radio, Auxiliary, Special Broadcast and Other Program Distributional Services, Subpart H, available at: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=9782529bdb285d192053c53f9b212ade&mc=true&n=pt47.4.74&r=PART&ty=HTML#sp47.4.74.h

[2] 47 CFR 15.236 - Operation of wireless microphones in the bands 54-72 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz, 470-608 MHz and 614-698 MHz. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=87420ebd2544faccbe8066460091c6e3&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.15_1236

[3] 中華民國低功率射頻電機技術規範第 4.6 節

經觀測國際動態頻譜共享機制之主要發展，如歐盟 LSA 與美國 CBRS 在法規架構方面均較完整，惟在細部技術規範之發展上仍配合該國家或區域之特性各有不同。

歐盟 LSA 機制從 2.3GHz 頻段進行規劃，係考量該頻段兼具電波涵蓋及系統容量上之相對優勢，且 3GPP Band 40 之商用網路與終端設備支援都非常豐富；CEPT/ECC 亦已將 LSA 機制延伸應用到 3600-3800MHz 頻段之共享釋出。

美國將 3550-3700MHz（Citizen Broadband Radio Service, CBRS）定為創新頻段，提出頻譜接取系統（Spectrum Access System）。以三個優先序（IA/PA/GAA），用頻譜與監理政策來引導並促進產業與應用的創新。另在 24GHz 及 28GHz 頻段規劃政策上，FCC 認為與 3.5GHz 頻段所需處理之既有使用者保護與頻率協調指配等複雜程度不同，倘若應用於毫米波頻段，將更具挑戰且未有明確之效益，故目前未予同意業界建議採 SAS 為基礎之管理作法。

綜合來說，頻譜共享接取系統架構融合包括無線異質共存、創新接取需求、頻譜偵測、頻譜使用資料庫、協調管理最佳化機制等概念，以達和諧共用及對既有業者保障之目的。其中異質、創新需求包括 WiFi 等免執照或 IoT 等低度管制之授權接取、行動通訊接取、政府服務以及各式新興商務模式崛起等等需求，故相關之科研與探討仍是各先進國家持續投入的領域。

在研究之執行規劃上，為能更進一步研析動態共享頻率分配情境，經研析美國 3.5 GHz 頻段 CBRS 技術規範，本計畫進行共享頻率資料庫與共享頻率設備間介面協定之研發，以及動態調整共享頻率設備操作參數來避免使用者間干擾之進階實驗設計。

綜上，本分項之研究主題包括：

- 5G 中頻段使用狀況量測與可用性評估；
- 需執照頻段之動態頻譜共享進階概念驗證；
- 動態頻譜接取技術於免執照頻段使用之干擾分析；
- 彈性化頻譜管理機制場域實驗之規劃設計；
- 持續觀測國際動態頻譜共享技術法規發展動態；以及

- 針對我國共享頻率管理機制下所需建立之程序，提出規劃建議。

二、 新世代行動通訊與物聯網頻譜整備政策

為更進一步掌握 5G 網路情境下之監理制度發展，本計畫持續觀測 5G 技術發展路徑、5G 應用情境於各產業之推動情形，以及研析先進國家之 5G、IoT 與 ITS 頻譜整備政策發展趨勢，頻譜重整、執照條件相關監理制度發展以及相關應用之實驗進度等措施，再依據我國國情，提出適合我國創新應用服務與與生態體系發展所需之頻譜政策建議。

基於 5G 網路具備三大應用場景，包括進階型行動寬頻、低延遲高可信賴通訊以及巨量物聯網通訊。本計畫從三大應用場景創造之各種新興應用服務角度切入，盤點目前 5G 與物聯網應用型態，了解各項新興應用的發展進程；隨著 5G 與物聯網技術的制訂逐漸成熟，亦需要研析持續發展、演進之技術。

本計畫檢視先進國家對於 5G 與物聯網頻譜政策制訂，掌握該國頻譜政策發展、頻譜整備與規管架構之趨勢，相關政策研究成果則更進一步按照我國市場環境與國情條件，分析現有頻譜使用狀態與監理規管制度後，提出我國於 5G 與物聯網趨勢下可採行之政策建議。

綜上，本分項之研究主題包括：

- 研蒐國際間 5G、物聯網技術演進與應用發展趨勢。
- 研蒐各國對於 5G、物聯網頻譜整備與規管制度相關政策發展。
- 研提我國新興技術發展與監理制度研析。

三、 無線麥克風設備監理制度研析

依據先前所述，我國只開放了不到 50 MHz 的操作頻段供無線麥克風設備使用，且其操作頻段上還有其他通訊服務設備（如 4G）正在使用，並因為無線麥克風設備在我國屬於免執照設備，在操作優

先度上均次於其他持有執照的射頻設備，雙重限制下我國目前無線麥克風設備受干擾程度相當嚴重，根據主管機關於 2014 發布的新聞稿指出，NCC 將尋找適當頻段提供國內無線電麥克風使用，並持續與相關頻率使用者及業者協商[4]。2017 年於金曲獎進行時，因舞臺上無線射頻器材種類數量繁多，無線麥克風設備因為遭到蓋臺而被消音[5]；2018 年臺北市長出席教育局舉辦的活動致詞時，無線麥克風設備同樣受到干擾[6]。這些案例均直接與間接暴露了無線麥克風操作頻段的不足，因此本計畫以評估無線麥克風操作頻段是否有開放空間為前提，提出下列三點計畫目標，以期能有效管理無線麥克風設備與其他射頻設備彼此之間的干擾議題

綜上，本分項之研究主題包括：

- 研蒐國際上美國和歐盟先進國家對對無線麥克風等低功率射頻電機之使用頻率、功率等規定及管理措施。
- 參酌國際經驗、國內現況及研析國際使用無線麥克風之低功率射頻電機相關技術規範（草案）。
- 無線麥克風設備操作於實際場域的干擾試驗。

第三節　執行進度與效益

本計畫為通傳會持續檢討、發展 5G 與動態頻譜共享之研究計畫，去年度已分別完成靜態頻譜共享概念驗證以及國際 B4G/5G、IoT 與 M2M 技術及頻段觀測，並研究歐盟、英國、美國、澳洲與日本之頻譜政策。今年度因應許多國家規劃釋出 5G 頻譜執照，故研究國家除

[4]通傳會(2014)。為 4G 部分頻段與無線電麥克風頻段重疊疑慮，NCC 積極辦理相關配套措施，參見: https://www.ncc.gov.tw/chinese/print.aspx?table_name=news&site_content_sn=8&sn_f=32092

[5]中國時報(2017)，陶喆金曲超糗！「連 3 麥克風被消音」原因找到了，參見：http://www.chinatimes.com/realtimenews/20170701003025-260404

[6]蘋果日報(2017)，1999 當機竟達 2 小時 柯：最好的醫生開刀死亡率也不是零，https://tw.appledaily.com/new/realtime/20180310/1311956/

原先五個國家以外，另外新增德國、愛爾蘭、韓國與加拿大之 5G 頻譜整備政策，以掌握相關國家之 5G 頻譜整備與釋照規範。

今年度亦開始執行 5G 中頻段使用狀態量測，以釐清行動網路與衛星業務於鄰頻或同頻使用時，可能存在之干擾議題。藉由量測結果，可幫助主管機關制定 5G 頻譜釋出政策與護衛頻帶等相關政策。在頻譜共享機制上，今年則著重於進階頻譜概念驗證施行與共存效能分析。本計畫今年度之執行進度如下圖 1-1。

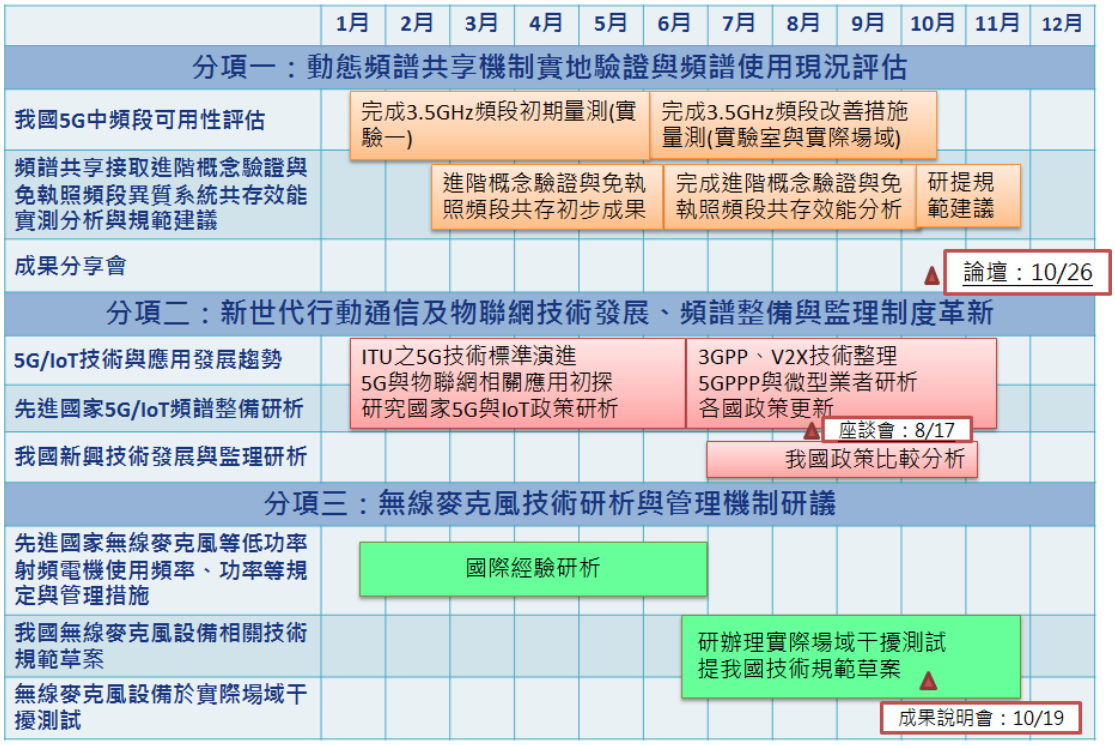


圖 1-1：本計畫今年度執行進度

為實現行政院「數位國家 • 創新經濟發展方案（2017-2025 年）」相關政策目標，本計畫持續研析 5G 頻譜整備與頻譜共享機制，持續追蹤、掌握國際間對於 5G 頻譜及頻譜共享之相關發展，整體中長期計畫執行進度規劃如下圖 1-2。

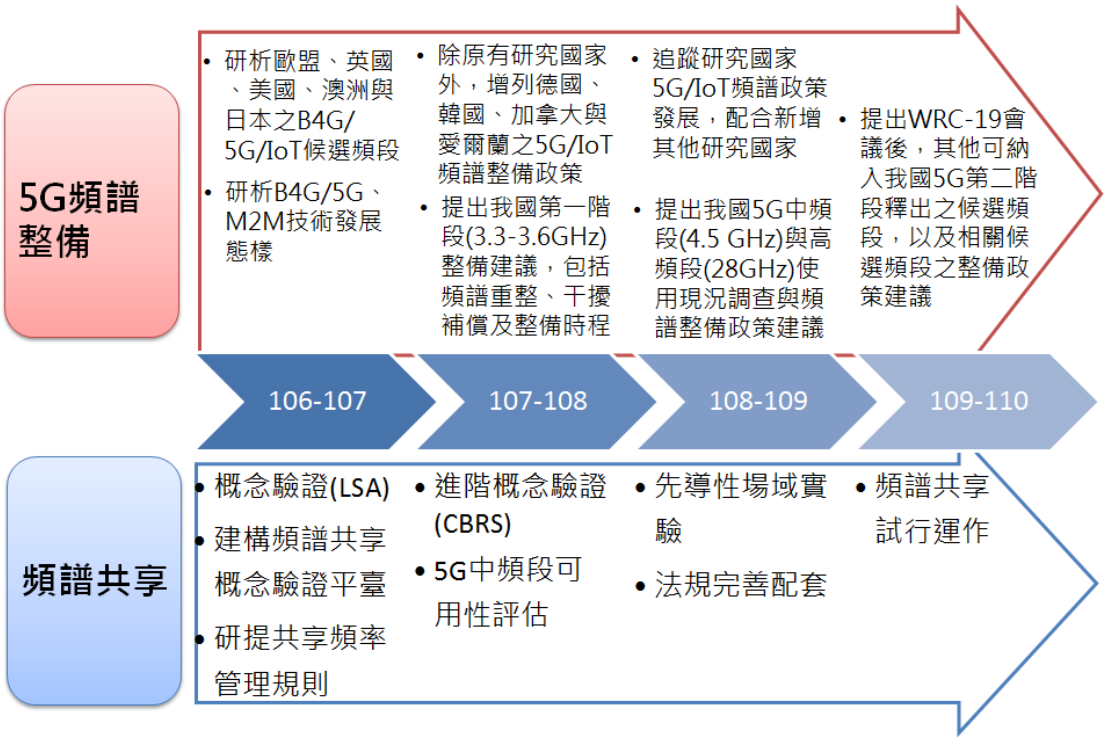


圖 1-2：本計畫中長期進度規劃

本計畫主要研究成果與效益如下。

一、 驗證我國動態頻譜共享運作機制，推升頻率使用效率

本計畫協助主管機關在動態頻譜共享監理與產業政策上，保持緊密跟隨國際發展趨勢；若輔以匯流角度創造誘因環境，應可結合我國資通訊產業及國際設備大廠在 LSA 與 CBRS 等已漸成形的設備生態鏈，除有利於我國推動落實具彈性的共享頻率管理機制，也可及時掌握 5G 與物聯網之頻譜需求與設備生態鏈發展的契機。

二、 完善我國新世代行動通訊頻譜規管政策

本計畫協助主管機關蒐集與掌握新世代行動通訊與物聯網技術與頻譜整備趨勢，了解國際間 5G 技術標準制定進度與應用發展趨勢。同時，本計畫協助蒐集先進國家對於 5G 與物聯網頻譜整備制度與規管政策研析內容，包括候選頻段、規管架構發展、執照制度與輕度許可等相關內容，相關研究成果可作為本計畫提出適合我國 5G 與物聯網頻譜整備與規管制度之參考。

本計畫亦協助主管機關辦理多場公開諮詢會議與舉辦研討會，蒐集國內產業利害關係人對相關議題之看法，以了解國內產業對於5G之規劃與想法，據以提出符合我國市場需求之5G頻譜政策。

三、 完備我國無線麥克風設備管理機制規範

本計畫協助主管機關分析、評估未來因應市場所需開放的無線麥克風設備操作頻段，並重新審視我國現行低功率射頻電機技術規範中的無線麥克風設備章節是否有須增修之處，進而研擬既與國際接軌並適合我國國情的技術規範草案。

四、 推動我國行動通訊產業發展與協助主管機關政策研議

本計畫已藉由訪談產業利害相關人、舉辦論壇、研討會或座談會等方式，蒐集各界對於本案研究範圍與工作項目之意見，使本計畫擬定我國相關政策建議時，能更契合產業需求、學術研發與政府規管之需要。同時，本計畫於執行期間，就研究範圍內協助主管機關針對相關政策研析之臨時支援需求，包括提供5G國際監理發展快訊、干擾重整分析、補償機制方案等多項專業分析與建議。

第貳篇 我國 5G 中頻段（3.5 GHz）可用性評估報告

第二章　我國 5G 中頻段（3.5GHz）可用性評估

第一節　緒論

國際間常見的 5G 候選頻段，依頻段性質可區分為 1GHz 以下低頻段、1-6GHz 中頻段及 6GHz 以上高頻段。鑑於 3.4 - 3.6 GHz 頻段（另稱 3.5 GHz 頻段）有足夠連續頻寬來支援更大容量、更高傳輸速率，兼具實現覆蓋和容量的平衡，滿足 5G 某些特定場景需求之特性，已成為目前國際主流 5G 候選中頻段之一。

在我國，未來開放 3.5 GHz 頻段建置 5G 網路，首先面臨的將是基地臺電波對於 3.4-4.2 GHz 衛星 C 頻段的影響。以國內目前使用的「中新二號」地球同步衛星（即 ST-2）為例，ST-2 頻段包含 Extended C-band 及 Ku Band，其中 Extended C-band 使用 3528-3700 MHz (下鏈) / 6553-6725 MHz (上鏈)，每個頻道 36 MHz，發射功率 (Equivalent Isotropically Radiated Power，EIRP) 約 45.9 dBW，到達地面的電波強度約 -119 dBm，地面接收站須以高增益的碟盤指向性天線接收信號。其 1A 頻道及 2B 頻道將與 3.5 GHz 頻段重疊，3A 頻道及 3B 頻道與 3.5 GHz 頻段之間隔頻寬為 14 MHz，如圖 2- 1。

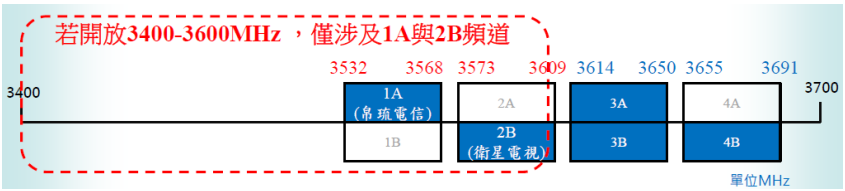


圖 2- 1：ST-2 下鏈頻率範圍

資料來源：本計畫整理

若以現行基地臺最大允許發射功率 57 dBM（約 500W）之規範，基地臺鄰近 ST-2 衛星接收天線，衍生之帶外輻射 (spurious emission) 功率（目前規範限值為 -13 dBm/MHz 以下）洩漏至衛星工作頻段，對於訊號功率低於 -120 dBm/36MHz（未經天線增益放大前）之衛星訊號，將可能造成同頻干擾；當基地臺同時發射多頻段，不同頻段所產生的互調變 (intermodulation) 現象，亦可能造成同頻干擾情況。

再則，衛星接收端用於將衛星訊號降頻和放大的低雜訊降頻放大器(Low Nosic Block downconverter，LNB)，頻率工作範圍通常為 3.4-4.2 GHz，若 3.5 GHz 頻段基地臺訊號功率大於 LNB 動態輸入範圍，將會對 LNB 產生電路飽和現象，造成鄰頻干擾，如圖 2- 2。

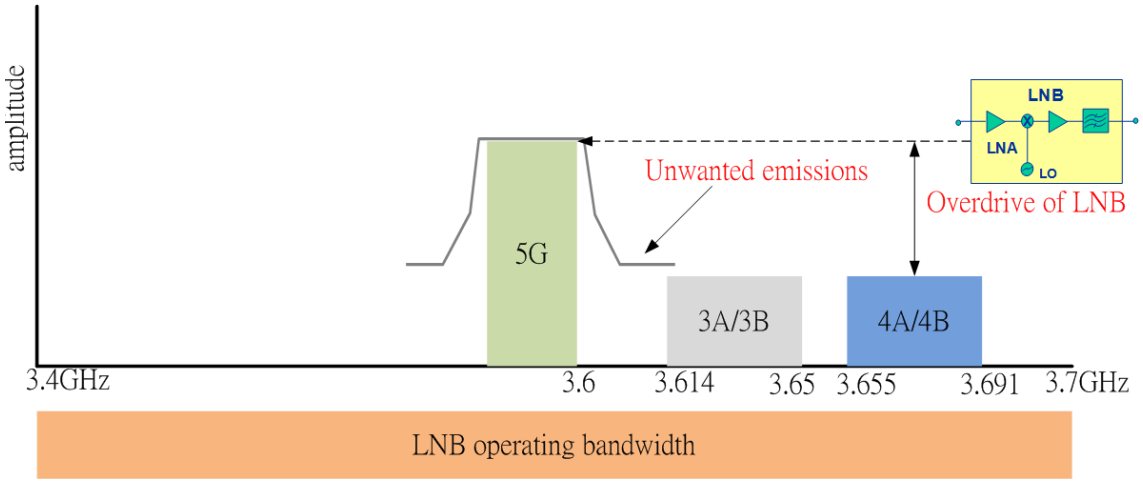


圖 2- 2：3.5GHz 頻段對於 ST-2 衛星可能影響

資料來源：本計畫整理

為確保未來 3.5GHz 頻段開放 5G 使用，基地臺電波對 ST-2 衛星通訊服務的影響最小化，本計畫依序進行我國 3.5GHz 頻段開放共用之評估測試（實驗一，於本章第一節詳述），以及增設干擾改善措施之評估測試（實驗二及實驗三，於本章第二節詳述）等量測實驗，俾了解 3.5GHz 頻段 5G 與既有衛星通信業務間之鄰頻共存之可能性及其限制，推算在限制 5G 發射功率條件下與衛星通訊鄰頻共存所需之護衛頻段 (Guard Band) 及地理上的共存安全距離 (Geo Distance)，並嘗試將實測分析結果轉化為日後 5G 基地臺設置配套條件限制之相關建議。

由於商用 5G 基地臺、終端設備尚無法取得，5G 基地臺合規測試標準（3GPP TS 38.141）亦尚未到位，各項實驗僅能使用 4G LTE 基地臺或 LTE、5G NR 信號產生器進行控制，產生一定頻率、相位、幅度的射頻信號，故在結果解釋及推論上僅根據實測分析所得數據，此為本研究的限制。

第二節　我國 3.5GHz 頻段開放共用之評估測試

一、 量測設備與參數設定

本實驗主要為進行實際場域量測行動通信訊號對於現有衛星接收設備，藉由量測實驗數據與理論模型估算，對兩系統相互間可能產生的干擾程度及共存可行性提出初步分析。

在衛星接收設備的選用上，本實驗透過臺大頻譜觀測站系統，如圖 2- 3，結合 1.2m 直徑的 C 頻段碟型天線接收，搭配 Rohde & Schwarz FSV4 全頻段之頻譜分析儀，進行頻帶使用狀態之蒐集，並使用尋星儀接收無鎖碼的新唐人節目進行觀察，相關衛星參數設定如下表 2- 1，接收頻譜如圖 2- 4 所示。



圖 2- 3：實驗一之 ST-2 衛星觀測站

資料來源：本計畫

表 2- 1：ST-2 衛星接收參數

下行頻率	3657MHz	**中頻**	1493MHz
LNB 本振頻率	5150MHz	**極化**	水平
方位角	231.2°	**測試頻道**	新唐人
仰角	40.3°	**頻道帶寬**	4MHz
高度	27m	**天線直徑**	1.2m



圖 2- 4：衛星節目頻寬

資料來源：本計畫

干擾源使用 KEYSIGHT E4438C ESG 向量訊號產生器，如圖 2-5，干擾參數設定如下表 2-2，搭配增益 5dBi 之全向天線，訊號頻寬為 10MHz 之 QPSK 調變訊號，訊號頻譜如**圖 2- 6** 所示，其目的是為了模擬小細胞基站之寬頻訊號作為 FSS 地面站的干擾。

表 2- 2：干擾訊號參數

儀器	KEYSIGHT E4438C ESG
天線增益	5dBi
調變訊號	QPSK
訊號頻寬	10MHz



圖 2- 5：向量訊號產生器

資料來源：本計畫



圖 2- 6：QPSK 調變訊號

資料來源：本計畫

本實驗在小細胞基站天線運用上，使用 5dBi 之全向天線，其場型如圖 2-7 所示，而增益大小是根據干擾源相對的佈建位置，對 FSS 地面站的干擾方向會有不同的仰角，由天線垂直方向特性[7]計算該佈建位置的天線增益，是影響 FSS 地面站收到來自干擾源干擾功率的因素之一。

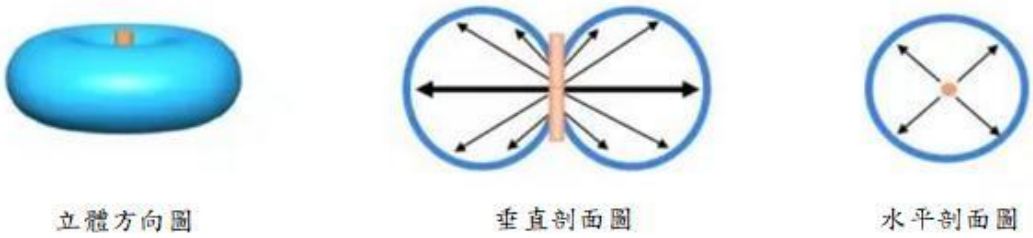


圖 2- 7：小細胞基站全向天線場型

資料來源：本計畫

[7] 參見前揭註 345。

二、 量測場域佈署與相關參數

本實驗選定臺灣大學博理館頂樓作為衛星訊號的接收端，如圖 2- 8 所示。

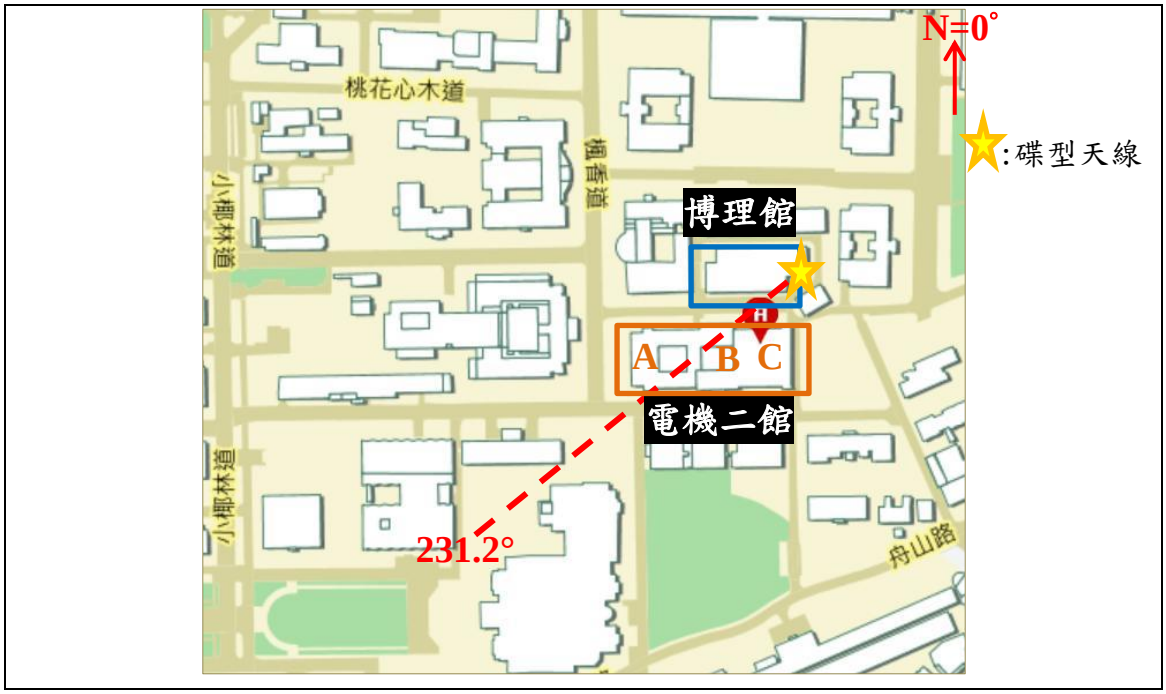


圖 2- 8：臺大校園干擾源與 FSS 地面站位置圖

資料來源：本計畫繪製

干擾源與 FSS 系統間的干擾模型，如圖 2- 9 所示。

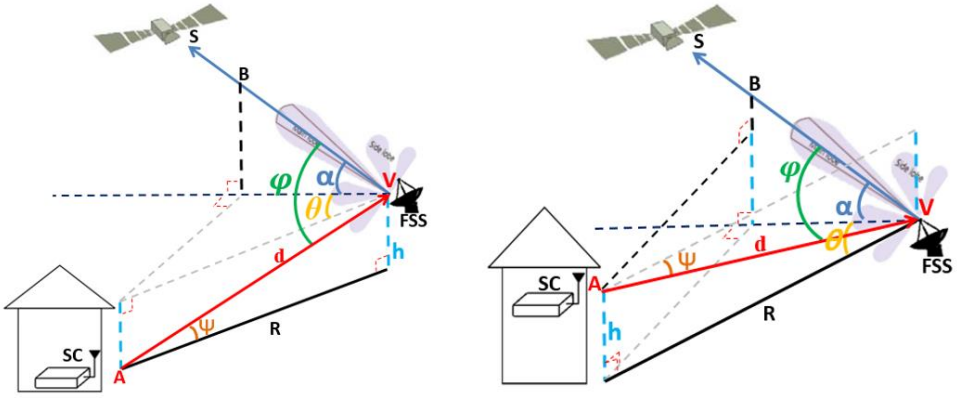


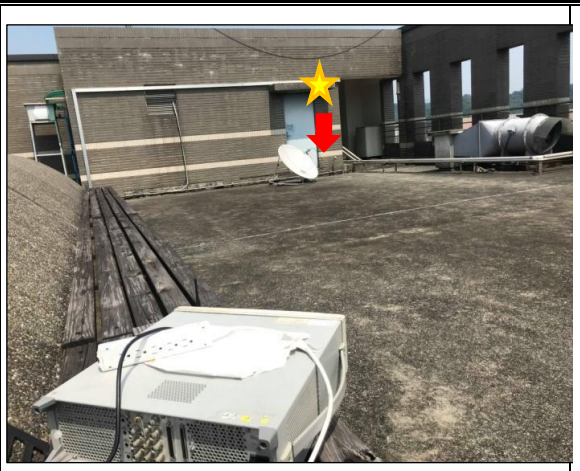
圖 2- 9：干擾源低於或高於 FSS 之干擾模型

干擾源的部分，在 Non Line of Sight (NLOS) 環境，選定在電機二館 B/C 棟的實驗室外走廊，Line of Sight (LOS)環境則選定在與 FSS

地面站相同平面的博理館頂樓，其相關相對位置資訊如下表 2- 3 所示。

表 2- 3：量測現場紀錄

干擾源量測場域名稱	量測現場記錄（紅色箭頭為 FSS 地面站設置點）	量測場域部署相關參數
場景一 電機二館 B 棟		• 環境:NLOS • 水平距離(**R**):75m • FSS 方位角:231.2˚ • FSS 高度:27m • 干擾源高度:15m • 高度差(**h**):12m • 水平角差(θ):20˚ • 偏軸角(φ):**53˚**
場景二 電機二館 C 棟		• 環境:NLOS • 水平距離(**R**):55m • FSS 方位角:231.2˚ • FSS 高度:27m • 干擾源高度:15m • 高度差(**h**):12m • 水平角差(θ):51.2˚ • 偏軸角(φ):**71˚**

場景三 博理館頂樓		• 環境:LOS • 水平距離(**R**):10m • FSS 方位角:231.2˚ • FSS 高度:27m • 干擾源高度:27m • 高度差(**h**):0m • 水平角差(θ):60˚ • 偏軸角(φ):**68˚**

三、 量測步驟

5G 中頻段使用狀況量測步驟如下。

1. 依據量測系統架構圖建置完整 ST-2 衛星接收系統與干擾設備並利用高度尺(手機 APP)量出兩系統各架設位置的高度與 GPS 定位量出兩系統間的水平距離(**R**)。
2. 開啟尋星儀，設定欲接收之頻道(e.g.新唐人電視臺在 3657MHz)，接著調整碟形天線對 ST-2 的角度(**α**)及利用指南針調整方位角，觀察尋星儀上的 C/N 值，當尋星儀發出嗶嗶聲(角度對得愈準確提示聲愈緊促)，表示角度已對上，記下 C/N 最大值，並將功能切至電視節目觀察畫面接收品質。
3. 利用指南針以碟型天線為原點量出兩系統之間的水平角差(θ)，開啟干擾設備設定干擾訊號參數(e.g 訊號調變模式、訊號頻寬)，將功率設定為最大 24dBm，發射頻率從同頻開始，觀察 C/N 值並拍下畫面品質。
4. 將功率逐漸調降，同時觀察節目畫面是否出現干擾現象(e.g. 畫面疊影、殘影、斷訊)並拍下畫面狀態，當功率向下調整直到節目可以正常收看(確定畫面品質無干擾現象)，該功率即為干擾功率臨界值，紀錄該功率臨界值同時記錄 C/N 值。
5. 將干擾設備發射功率之功能關閉，暫時不發射功率以確認電視畫面是否為正常接收狀態。
6. 改變發射頻率範圍，並重複步驟 3-5。

7. 改變干擾設備場域，並重複步驟 3-6。

8. 改變接收頻道，並重複步驟 3-7。



圖 2- 10：量測流程

資料來源：本計畫繪製

四、 量測結果

(一) 場景一：干擾源於電機二館 B 棟

狀態：NLOS, 水平距離 75m, 偏軸角 53°

干擾源			ST-2 接收			
干擾頻率 (MHz)	干擾功率 (dBm)	干擾 EIRP (dBm)	接收中頻(1493MHz)干擾功率 (dBm)	接收干擾功率理論值 (dBm)	C/N (dB)	畫面品質
	無干擾		-76.45		12.6	正常
3607	24	27.9	-76.77	-149.6	12.5	正常
3617	24	27.9	-76.69	-149.64	12.5	正常
3627	24	27.9	-76.02	-149.69	12.5	正常
3637	24	27.9	-76.84	-149.73	12.5	正常
3647	24	27.9	-76.58	-149.77	12.5	正常
3652	24	27.9	-76.34	-109.79	12.5	正常
3655	24	27.9	-76.22	-109.81	9.7	偶爾斷訊
	10	13.9	-76.06	-123.81	11.4	正常
3657	24	27.9	-76.46	-109.81	9.2	偶爾斷訊
	10	13.9	-76.89	-123.81	11.4	正常
3659	24	27.9	-76.11	-109.82	10.8	偶爾疊影
	12	15.9	-76.59	-121.82	11.3	正常
3662	24	27.9	-76.84	-109.84	12.4	正常
3667	24	27.9	-76.61	-149.86	12.5	正常
3677	24	27.9	-76.01	-149.9	12.6	正常
3687	24	27.9	-76.52	-149.94	12.5	正常
3697	24	27.9	-76.61	-149.98	12.5	正常
3707	24	27.9	-76.44	-150.03	12.4	正常

註:橘色底之範圍內屬同頻干擾

(二) 場景二：干擾源於電機二館 C 棟

狀態：NLOS, 水平距離 55m, 偏軸角 71°

干擾源			ST-2 接收				
干擾頻率 (MHz)	干擾功率 (dBm)	干擾 EIRP (dBm)	接收中頻(1493MHz) 干擾功率 (dBm)	接收干擾功率理論值 (dBm)	C/N (dB)	畫面品質	保護距離 (m)
	無干擾		-76.45		12.6	正常	
3607	24	27	-76	-146.5	12.3	正常	
3617	24	27	-76.54	-145.54	12.3	正常	
3627	24	27	-76.62	-145.59	12.2	正常	
3637	24	27	-76.06	-145.63	12.5	正常	
3647	24	27	-76.51	-145.67	12.2	正常	
3652	24	27	-76.06	-105.69	11.4	正常	
3655	24	27	-69.11	-105.71	0	完全斷訊	953
	-5	-2	-76.45	-134.71	11.4	正常	
3657	24	27	-69.45	-105.71	0	完全斷訊	
	-6	-3	-76.2	-135.71	11.4	正常	
3659	24	27	-69.88	-105.72	0	完全斷訊	
	-5	-2	-76.56	-134.72	11.6	正常	
3662	24	27	-76.82	-105.73	12.2	正常	
3667	24	27	-76.71	-145.74	12.4	正常	
3677	24	27	-76.23	-145.77	12.4	正常	
3687	24	27	-76.85	-145.81	12.5	正常	
3697	24	27	-76.51	-145.85	12.5	正常	
3707	24	27	-76.43	-145.9	12.5	正常	

註:橘色底之範圍內屬同頻干擾

(三) 場景三：干擾源於博理館頂樓

狀態：LOS, 水平距離 10m, 偏軸角 68°

干擾源			ST-2 接收				
干擾頻率(MHz)	干擾功率(dBm)	干擾EIRP(dBm)	接收中頻(1493MHz)干擾功率(dBm)	接收干擾功率理論值(dBm)	C/N(dB)	畫面品質	保護距離(m)
	無干擾		-76.45		12.6	正常	
3407	24	29	-76.1	-82.99	10.7	偶爾疊影	
	10	15	-76.74	-96.99	11.4	正常	
3507	24	29	-76.56	-83.36	10.3	偶爾疊影	1378~1433
	8	13	-75.7	-99.36	11.5	正常	
3557	24	29	-76.91	-83.55	10.3	偶爾疊影	
	10	15	-76.49	-97.55	11.3	正常	
3607	24	29	-76.81	-83.73	9.2	偶爾疊影	
	6	11	-76.63	-101.73	11.6	正常	
3655	24	29	-41.93	-43.9	0	完全斷訊	89125
	-31	-26	-76.53	-98.9	11.3	正常	
3657	24	29	-47.24	-43.91	0	完全斷訊	
	-32	-27	-76.13	-99.91	11.4	正常	
3659	24	29	-42.8	-43.92	0	完全斷訊	
	-32	-27	-76.28	-99.92	11.7	正常	
3707	24	29	-76.24	-84.09	10.4	偶爾疊影	1306~1327
	4	9	-76.55	-104.09	11.3	正常	
3757	24	29	-76.24	-84.26	10.5	偶爾疊影	
	12	17	-76.15	-96.26	11.4	正常	

註:橘色底之範圍內屬同頻干擾

五、 抑制干擾所需保護距離之理論分析與量測結果對照

(一) 分析抑制 Small Cell 系統干擾 FSS 地面站的保護距離

1. 保護距離分析步驟

(1) 依據量測系統計算出兩系統間的直線距離，推算干擾設備發射源到達 ST-2 衛星接收系統之路徑損失。

(2) 依據干擾量測結果（干擾功率臨界值），選擇在 ST-2 衛星接收系統無影響情況下，最大之小細胞基站發射功率，並將小細胞基站發射功率轉換為 dBm/1 MHz。

(3) 計算出在 ST-2 衛星接收系統無影響情況下，位於碟型天線 LNB 焦點上之功率大小。

(4) 回推計算出小細胞基站最大功率下之保護距離。

(5) 改變干擾設備場域，並重複(1)~(4)。

2. 在 NLOS 環境下的保護距離分析

(1) 場景一：干擾源於電機二館 B 棟

此佈建環境干擾源與 FSS 地面站之間的水平距離 75 公尺，屬於偏軸角為 53 度的 NLOS 環境。在無干擾的情況下，C/N 為 12.6dB。

實驗將干擾訊號頻寬設定為 10MHz，從 3652MHz~3662MHz 皆屬於同頻干擾。干擾功率為 24dBm 時，C/N 值約為 9.5dB，畫面出現偶爾疊影的現象，顯示 FSS 地面站受到些微干擾。將干擾功率調降至 10dBm 時，C/N 值才高於 11dB，畫面品質回復正常，表示此為最大干擾臨界功率值，未對 FSS 地面站造成干擾。經公式推算，當小細胞基站最大發射功率為 24dBm/20MHz 時，該 NLOS 情境下抑制小細胞基站對 FSS 地面站之同頻干擾保護距離約需 160 公尺。

另在干擾頻率非為 3652MHz~3662MHz，屬於鄰頻干擾部分，由於干擾功率為 24dBm 時，C/N 值皆高於 11dB 且畫面品質正常，表示 FSS 地面站未受到干擾。

(2) 場景二：干擾源於電機二館 C 棟

此佈建環境干擾源與 FSS 地面站之間的水平距離 55 公尺，屬於偏軸角為 71 度的 NLOS 環境。在無干擾的情況下，C/N 為 12.6dB。

實驗將干擾訊號頻寬設定為 10MHz，從 3652MHz~3662MHz 皆屬於同頻干擾。干擾功率為 24dBm 時，C/N 值為 0，畫面完全斷訊，表示干擾嚴重。將干擾功率調降至-6dBm 時，C/N 值才高於 11dB，畫面品質回復正常，表示此為最大干擾臨界功率值，未對 FSS 地面站造成干擾。經公式推算，當小細胞基站最大發射功率為 24dBm/20MHz 時，該 NLOS 情境下抑制小細胞基站對 FSS 地面站之同頻干擾保護距離約需 339 公尺。

另在干擾頻率非為 3652MHz~3662MHz，屬於鄰頻干擾部分，由於干擾功率為 24dBm 時，C/N 值皆高於 11dB 且畫面品質正常，同樣地表示 FSS 地面站未受到干擾。

3. 在 LOS 環境下的鄰頻保護距離分析

場景三：干擾源於博理館頂樓

此佈建環境干擾源與 FSS 地面站之間的水平距離 10 公尺，屬於偏軸角為 68 度的 LOS 環境。在無干擾的情況下，C/N 為 12.6dB。

實驗將干擾訊號頻寬設定為 10MHz，從 3652MHz~3662MHz 皆屬於同頻干擾。干擾功率為 24dBm 時，C/N 值為 0，畫面完全斷訊，表示干擾嚴重。將干擾功率調降至-32dBm 時，C/N 值才高於 11dB，畫面品質回復正常，表示此為最大干擾臨界功率值，未對 FSS 地面站造成干擾。經公式推算，當小細胞基站最大發射功率為 24dBm/20MHz 時，該 NLOS 情境下抑制小細胞基站對 FSS 地面站之同頻干擾保護距離約需 2.56 公里。

另在干擾頻率非為 3652MHz~3662MHz，屬於鄰頻干擾部分，將干擾功率調降至 4dBm 時，C/N 值才高於 11dB，畫面品質回復正常，表示此為最大干擾臨界功率值，未對 FSS 地面站造成干擾。經公式推算，當小細胞基站最大發射功率為 24dBm/20MHz 時，該 NLOS 情境下抑制小細胞基站對 FSS 地面站之同頻干擾保護距離約需 59 公尺。

(二) 量測結果與理論模型之比較

綜合前揭量測結果及其理論模型的比較顯示，如下表所示，在評估小細胞基站對 FSS 地球站的干擾時，理論模型比實際量測結果更為保守，因為理論模型無法考量到實際系統的所有層面，包括建物的阻隔大小與多重傳輸路徑的衰落等。這意味著在訂定保護頻寬及保護距離政策時需要再以實際商用設備多進行一些實測驗證，以避免過度高估小細胞基站對 FSS 的有害干擾，從而浪費珍貴的頻譜資源或是降低頻譜的價值。

表 2- 4：3657 MHz 頻段的量測結果及理論模型比較

干擾情況 / 偏軸角 φ	同頻干擾保護距離(公尺)		鄰頻干擾保護距離(公尺)	
	理論值	量測值	理論值	量測值
NLOS 53°	640	160	52	0
NLOS 71°	640	339	52	0
LOS 68°	39,000	2,560	597	59

進一步分析實驗結果，小細胞基站應避免應佈建於與 FSS 地面站相同高度或更高的位置，該情況通常為 LOS 環境，因此即使兩系統間存在 100MHz 的保護頻寬，干擾仍然存在。相對的，當小細胞基站佈建之高度低於 FSS 地面站 15 公尺處或是佈建於 NLOS 的環境，於該情況下，即使兩系統間僅有 10 MHz 的保護頻寬，FSS 地面站仍不易受到干擾。

此外，由於偏軸角與直觀上實際場域仍有落差，本實驗另行以干擾源與衛星接收站間的高低差及水平干擾保護距離，綜整出實驗所得數據適用之共存情況與干擾減緩措施，其中會選擇 3657MHz 為工作頻點之原因為 3657MHz 為實際量測數據，而 3614 MHz 則為 ST-2 的 3A 頻道及 3B 頻道與 3.4-3.6 GHz 頻段之間隔頻寬為 14 MHz，故選擇 3614MHz 為理論分析的工作頻點，如表 2- 5、表 2- 6 所示。

表 2- 5：小細胞基站的佈建 (24dBm) 與干擾分析—實驗值

FSS 地面站工作於 3657MHz	
情境一. 小細胞基站與 FSS 地面站位於相同高度 (LOS) – 兩系統相距 10 公尺處	
不可共存情況	小細胞基站工作於 3557MHz FSS 地面站仍會受到鄰頻干擾 (保護頻寬 100MHz)
減緩措施	N/A
情境二. 小細胞基站高度低於 FSS 地面站 12 公尺處 (NLOS)	
不可共存情況	小細胞基站工作於 3647-3667MHz 時， FSS 地面站會受到干擾 (保護頻寬 10MHz)
減緩措施	根據量測結果，小細胞基站與 FSS 地面站之間水平距離大於 55 公尺即可

表 2- 6：小細胞基站的佈建 (24dBm) 與干擾分析—理論值

FSS 地面站工作於 3614MHz	
情境一. 小細胞基站與 FSS 地面站位於相同高度 (LOS)	
	小細胞基站工作於 3514MHz (保護頻寬 100MHz)
不可共存情況	兩系統間偏軸角小於60度時，FSS地面站會受到干擾
減緩措施	將小細胞基站佈建於 FSS 地面站東南方(方位角 170 度)或西北方(方位角 290 度)水平距離 600 公尺處
情境二. 小細胞基站高度低於 FSS 地面站 (NLOS)	
	小細胞基站工作於 3604MHz (保護頻寬 10MHz)
不可共存情況	兩系統間偏軸角小於 60 度、高度差低於 15 公尺時，FSS 地面站會受到干擾
減緩措施	將小細胞基站佈建於 FSS 地面站東南方(方位角 170 度)或西北方(方位角 290 度)水平距離 52 公尺處
情境三. 小細胞基站高度高於 FSS 地面站 (LOS)	
	小細胞基站工作於 3514MHz (保護頻寬 100MHz)
不可共存情況	兩系統間高度差低於 235 公尺時，FSS 地面站會受到干擾
減緩措施	將小細胞基站佈建於 FSS 地面站東南方(方位角 170 度)或西北方(方位角 290 度)水平距離 600 公尺處

第三節　增設干擾改善措施之評估測試

為使行動通訊系統 (International Mobile Telecommunications, IMT) 與固定衛星服務 (Fixed Satellite Service, FSS) 於同頻段內共存，其所需必要條件包括：在 FSS 地面站周遭一定距離內限制其他業務基站布建，或是在兩系統間劃設一定數量之護衛頻段，都可以一定程度上緩解干擾問題。如**圖 2- 11** 所示。

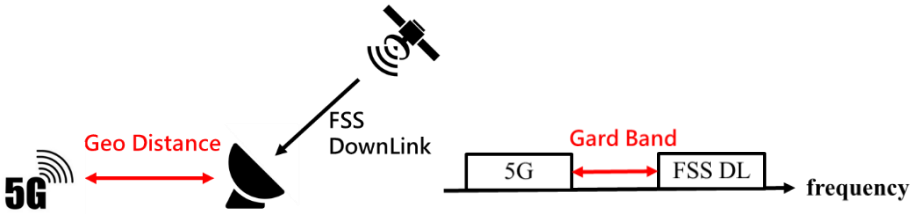


圖 2- 11：IMT 基站與 FSS 地面站共存之干擾緩解選項

資料來源：本計畫繪製

無論是利用增加系統間距或保護頻帶，仍會造成行動網路布建的限制，以及頻率資源的額外浪費。因此，在抑制系統間干擾的方法選擇上，除了綜合考量各項因素，尚可於 FSS 地面站提高其濾波精度，亦即，利用帶通濾波器 (Band-pass Filter, BPF) 來作為濾除帶外訊號的干擾改善措施。

香港監理機關於 2018 年 3 月發布評估報告，主要針對衛星 C 頻段開放行動通信共用之干擾保護議題進行研究，該報告提出設置 100MHz 之保護頻寬，於衛星地面接收站增設帶通濾波器作為干擾抑制措施，以及 5G 基站設置規範等相關建議。本計畫綜整我國與香港於 3.5GHz 頻段頻譜整備之各層面考量因素，以及進行實證測試之綜合比較，如表 2- 6 所示。

表 2- 7：我國與香港於 3.5GHz 頻段頻譜整備與實證量測之比較

	我國	香港	備註
既有業務使用現況			
衛星接收天線大小	9 成以上為 3m/3.7m (使用者多數為視訊供應事業)	態樣多元 (使用者可能以個人家庭為主)	
衛星接收天線地理分佈稠密情形	1/(53.82 Km^2) 等同 1/(7.33km*7.33km) 註：扣除山地 (佔 7 成)	1/(1.72125 Km^2) 等同 1/(1.31km*1.31km) 註：未扣除大埔等偏僻區	台灣衛星接收天線處所不超過 200 個；**香港則為 1600 多個。**
IMT 基站與 FSS 地面站之接收天線相對高度分佈情形	• 以「IMT 基站天線較 FSS 地面站接收天線高度為低」情形為主 • 絕大多數為 NLOS	• 高、中、低皆具，且無明顯分佈落差 (參附圖) • 多數為 LOS	香港由於衛星接收天線地理分佈稠密，在實務上難以藉個案方式改善，以消除其中之一情境之可能。
頻譜整備			
Extended C Band 之衛星用途	保留 ST-2 部份轉頻器	退至 3.7-4.2GHz	
護衛頻帶設置	希能縮減至低於 50MHz 頻寬	100MHz 頻寬 (3.6-3.7GHz)	

	我國	香港	備註
實證測試			
BPF 規格	• Pass band: 3.61-3.71GHz (for ST-2) • 3.4-3.61GHz 帶外訊號抑制 60dB (使用 40MHz) • Insertion loss: 0.5dB	• Pass band: 3.7-4.2GHz • 3.4-3.6GHz 帶外訊號抑制 55dB (使用 100MHz) • Insertion loss: 0.5dB	• 香港使用標準規格 BPF，較易自市場取得。 • 我國因考量 ST-2 使用頻率範圍與用途，需委託廠商訂製特規 BPF。
量測主要設備與步驟	• DBV-S 信號產生器 • 頻譜分析儀 • 干擾源：信號產生器為主	• DBV-S 信號產生器 • 頻譜分析儀 • 干擾源：信號產生器為主	所使用儀器設備、量測作法與步驟均大致相同或類似（具可比較性）。
量測主要項目	• IMT/FSS 保護間距 (單/兩干擾源) • BPF 性能測試	• IMT/FSS 保護間距(單/兩干擾源) • BPF 性能測試 • LNB 性能比較	• 干擾源方面均有 5G NR 不同頻寬，並考量到大型基站之信號強度。 • BPF 性能測試均包含實驗室及實際環境。 • 香港提出建議僅應強制加裝 BPF、無須更換較佳性能 LNB。

本計畫經與主管機關及產業專家共同進行研析，已參酌相關量測作法，採 3.4 - 3.6 GHz 頻段未來提供 5G 行動寬頻服務使用，並加強 FSS 地面站濾除帶外干擾改善措施之前提下，進行相關干擾評估及實證量測作業。除了對於未來 IMT 基站實際布建規範之擬定提供參考外，針對 ST-2 制定 BPF 規格，亦可達到縮減保護頻帶、藉以求取頻段可整備釋出最大頻寬之重要參據。

一、 實驗室測試

(一) BPF 參數測試

本測項為測試特製的 3.61~3.71GHz 帶通濾波器 (BPF)，電壓駐波比 (Voltage Standing Wave Ratio，VSWR) 帶內損耗與帶外抑制效能，測試架構如**圖 2- 12**。

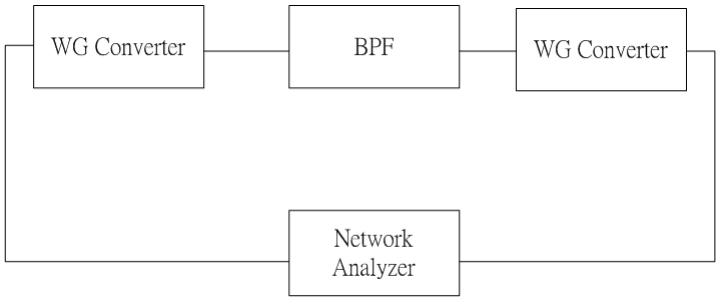


圖 2- 12：BPF 參數測試架構

資料來源：本計畫整理

BPF 參數測試所用設備包括：

- 網路分析儀(Network Analyzer)：Anritsu MS46524A。
- 待測物(BPF)：Pass band 3.61~3.71GHz。
- 導波管轉換器(WG converter)。

1、 測試方法與步驟

本測項測試步驟說明如下：

(1) 網路分析儀預先熱機，並執行設備自我調校。
(2) 網路分析儀設置量測頻率範圍與頻率步階大小(或點數)。

(3) 依據待測物端口數量進行雙埠校正。
(4) 修正校正設定以符合目前使用的校正套件類型以及使用埠組合。
(5) 依據每一量測埠執行 short、load、thru/Recip 及 Isolation (依指定量測埠同時連接 Load 裝置)，最後再以 Done 完成校正程序，建立參考面。
(6) 為確保校正的準確性，以校正件 Open、Short、Load 連結回電纜終端，檢視 Smith Chart(Trace \ Display \ Trace Format \ Smith (R+jX))是否趨向於合理。
(7) 連結上待測物進行路徑損耗(S21、S12)與反射(S11、S22)量測。

2、 測試結果

本計畫特製的 BPF 在低頻段的 3dB 抑制頻點為 3598MHz、20dB 抑制頻點為 3590MHz、60dB 抑制頻點為 3598MHz，高頻段的 3dB 抑制頻點為 3730MHz、20dB 抑制頻點為 3765MHz，如表 2- 8；電壓駐波比(VSWR)測試結果最高為 1.26，代表電波在通過 BPF 時最差情況下傳輸功率為 98.68%、反射功率為 1.32%，如表 2- 9；帶內損耗測試結果最高為 0.49dB，代表衛星訊號在通 BPF 時，最差情況下會有損失 0.49dB 的功率強度，如表 2- 10；低頻段抑制測試結果最低為 63.76dB，代表 3.5GHz 頻段基地臺訊號在通過 BPF 時，至少被抑制 63.76dB 的功率強度，如表 2- 11，BPF 詳細測試結果參照附錄一。

表 2- 8：BPF 帶外抑制效能測試結果

3400-3800MHz	Lower@MHz			Upper@MHz		
	60 dB cutoff	20 dB cutoff	3 dB cutoff	3 dB cutoff	20 dB cutoff	60 dB cutoff
S21/S12	3575	3590	3598	3730	3765	N/A

資料來源：本計畫整理

表 2- 9：BPF 電壓駐波比效能測試結果

3610-3710MHz	VSWR

	MAX	MIN	AVG
S11	1.2610	1.0166	1.1587
S22	1.2557	1.0142	1.1461

資料來源：本計畫整理

表 2- 10：BPF 帶內損耗效能測試結果

3610-3710MHz	Insertion Loss(dB)		
	MAX	MIN	AVG
S11	0.4979	0.1986	0.2736
S22	0.4984	0.1978	0.2769

資料來源：本計畫整理

表 2- 11：BPF 低頻段抑制效能測試結果

3400-3569MHz	Insertion Loss(dB)		
	MAX	MIN	AVG
S11	92.4045	63.7603	73.1503
S22	91.3082	63.7968	73.0791

資料來源：本計畫整理

二、 LNB 效能測試

本測項為測試計畫中使用的 LNB 訊號放大增益及放大失真點(the 1dB Compression Point，P1dB)，測試架構如圖 2- 13。



圖 2- 13：LNB 效能測試架構

資料來源：本計畫整理

LNB 效能測試所用設備包括：

- 訊號產生器(SG): R&S SMBV100B。
- 網路分析儀(SA): Keysight MXA (N9020B)。
- 待測物(LNB): Pass band3.4~4.2GHz。

- 導波管轉換器(WG converter)：CPR 229。
- 匹配器(matching pad)：75/50Ω。

1、 測試方法與步驟

本測項測試步驟說明如下：

(1) SG 設定測試訊號：CW，頻率範圍：3.36~3.8GHz，發射功率：-70dBm。

(2) 進行各頻率點放大增益測試，並記錄 SA 接收功率。

(3) SG 設定測試訊號：CW，測試頻率範圍：3.55GHz、3.59GHz 及 3.8GHz，發射功率範圍：-45~-80dBm。

(4) 進行 P1dB 測試，並記錄 SA 接收功率。

(5) 重複步驟 3-4。

2、 測試結果

本計畫使用的 LNB 在 ST-2 3A 頻段(3.614~3.650GHz)訊號放大增益約為 61dB，5G 3.5GHz 頻段(3.4~3.6GHz) 訊號放大增益範圍為 55~62dB，如圖 2- 14 所示。訊號放大失真點(P1dB)在 3.55GHz 輸入功率為-56.31dBm、在 3.59GHz 輸入功率為-56.11dBm、在 3.8GHz 輸入功率為-57.13dBm，如圖 2- 15~圖 2- 17。

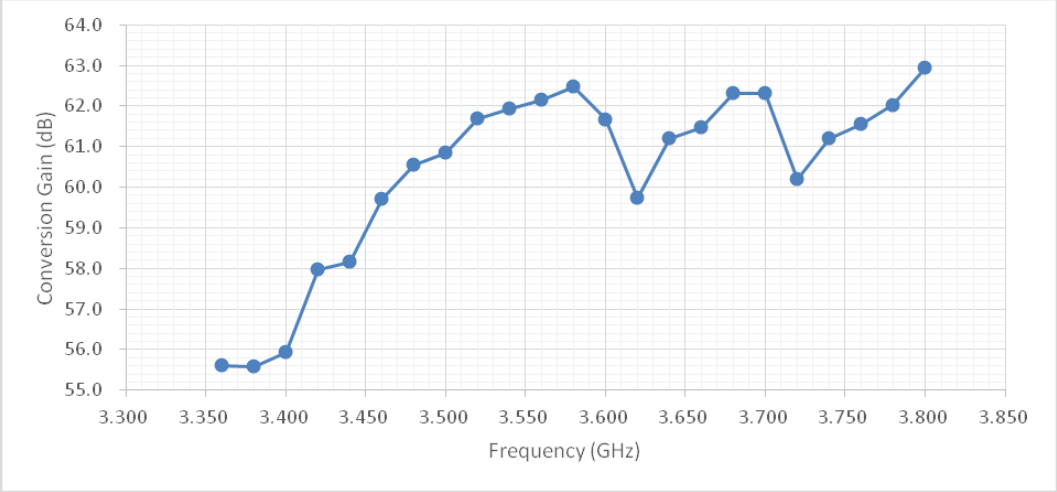


圖 2- 14：LNB 訊號放大增益測試結果

資料來源：本計畫整理

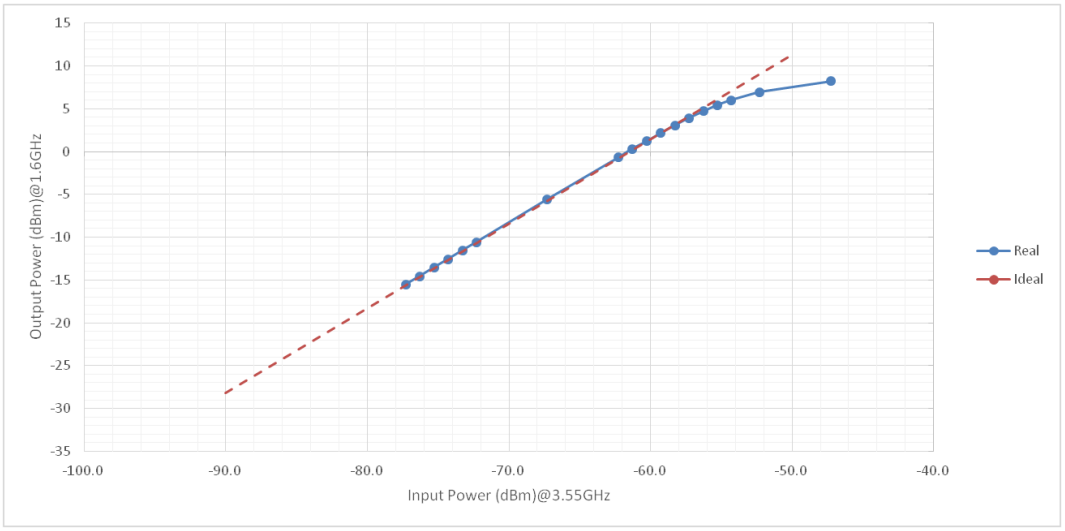


圖 2- 15：LNB 3.55GHz P1dB 測試結果

資料來源：本計畫整理

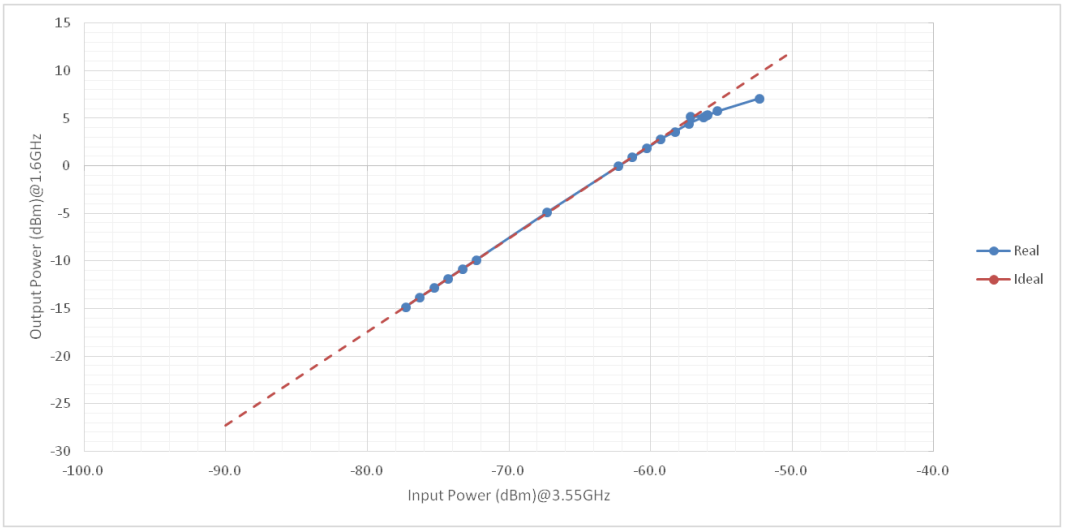


圖 2- 16：LNB 3.59GHz P1dB 測試結果

資料來源：本計畫整理

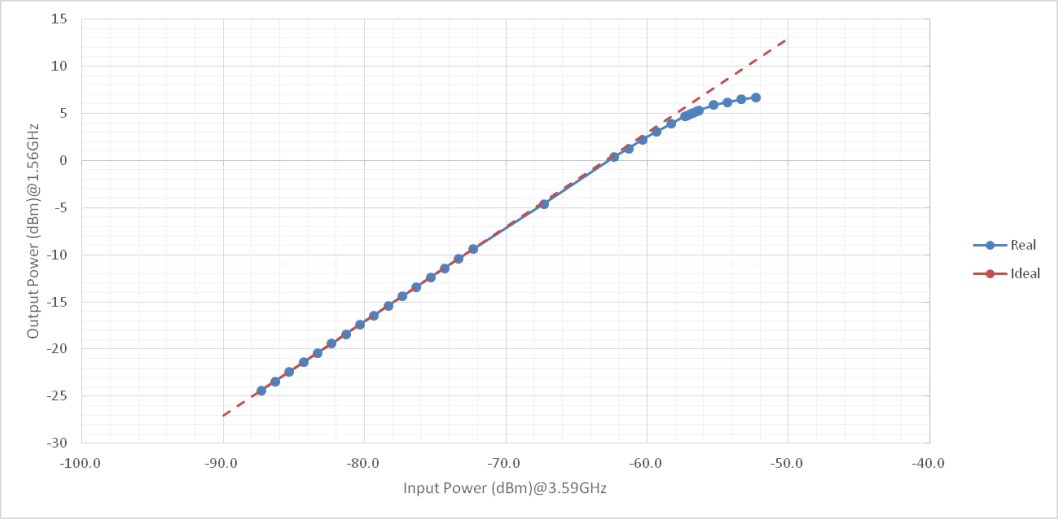


圖 2- 17：LNB 3.8GHz P1dB 測試結果

資料來源：本計畫整理

三、 BPF 效能測試

本測項為利用衛星電視訊號(DVB-S2)及行動通訊基地臺訊號(5G NR)產生器，搭配 LNB、衛星電視訊號接收器(Integrated Receiver Decoder，IRD)及頻譜分析儀等設備，模擬 ST-2 與 5G 系統共存環境，以國聲有線電視股份有限公司衛星地面站接收 ST-2 3A 頻段(緯來)訊號強度(-81.43dBm/36MHz)為基礎，測試 5G 基地臺對 ST-2 使用頻段衛星電視訊號同頻及鄰頻影響狀況，以及加裝特製的 3.61~3.71GHz 帶通濾波器(BPF)後，干擾改善狀況，測試架構圖 2-18。

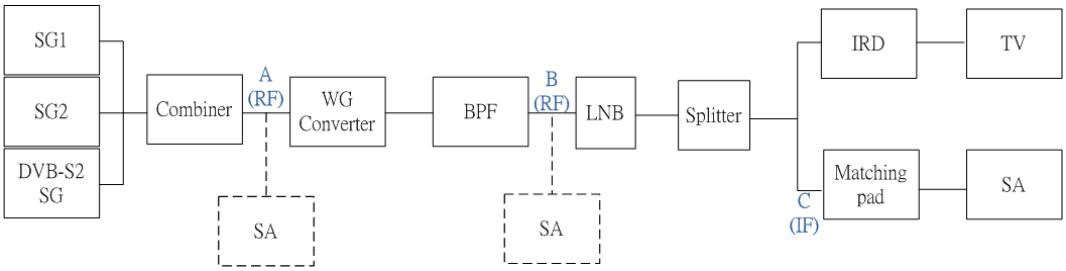


圖 2- 18：BPF 參數測試架構

資料來源：本計畫整理

BPF 參數測試所用設備包括：

- 5G NR 訊號產生器(SG1): R&S SMBV100B。
- 4G LTE 訊號產生器(SG2): R&S SMU-200A。
- DVB-S2 訊號產生器(SG)G: Keysight MXG(N5182B)。
- 網路分析儀(Signal Analyzer): Keysight MXA (N9020B)。
- 待測物(BPF): Pass band 3.61~3.71GHz。
- 結合器(Combiner)。
- 導波管轉換器(WG converter)。
- 衛星電視訊號接收器(IRD): Proview 8100。
- 低雜訊降 頻放大器(LNB)。
- 分離器(Splitter)。
- 匹配器(matching pad)：75/50Ω。
- 電視螢幕(TV)。

1、 測試方法與步驟

(1) 設定 DVB-S2 SG 發射頻率：3.632GHz，設定發射功率，進入 LNB 前接收功率組合：-81.43dBm/36MHz(戶外場域衛星接收功率)、-78.43dBm/36MHz 及-84.43dBm/36MHz。

(2) 設定 SG1 發射頻寬(20、40、60、80 及 100MHz)，頻段組合：中心頻率 3.36~3.59GHz(10MHz/step)，設定 SG2 發射頻寬 20MHz，頻段組合：中心頻率 3.35~3.55GHz(10MHz/step)。

(3) 觀察 TV 節目影像品質正常，調高 SG1 及 SG2 發射功率，直到影像無法解碼，調低 SG1 及 SG2 發射功率，直到影像可解碼，記錄測試點 A-C ，DVB-S2 訊號功率、 C/N、MER 、5G 及 LTE 訊號功率。

(4) 調整 SG1 及 SG2 發射頻率，重複步驟 1-3。

(5) 安裝 BPF，重複步驟 1-4。

2、 測試結果

(1) 同頻影響

在兩系統共存環境下，基地臺使用 3.4~3.6GHz 頻段發射時，除產生使用頻段訊號功率外，衍生的帶外輻射亦會進入 ST-2 使用頻段z(3.614~3.650GHz)，如圖 2- 19 所示，圖中綠色線條為 5G 基地臺模擬器尚未發射前，ST-2 訊號及背景雜訊功率值；藍色線條為 5G 基地臺模擬器發射後 5G 訊號、ST-2 訊號及背景雜訊功率值，從量測結果可發現當基地臺使用 3.4~3.6GHz 頻段發射時帶外輻射將造成 ST-2 使用頻段背景雜訊功率值上升，造成同頻干擾現象。

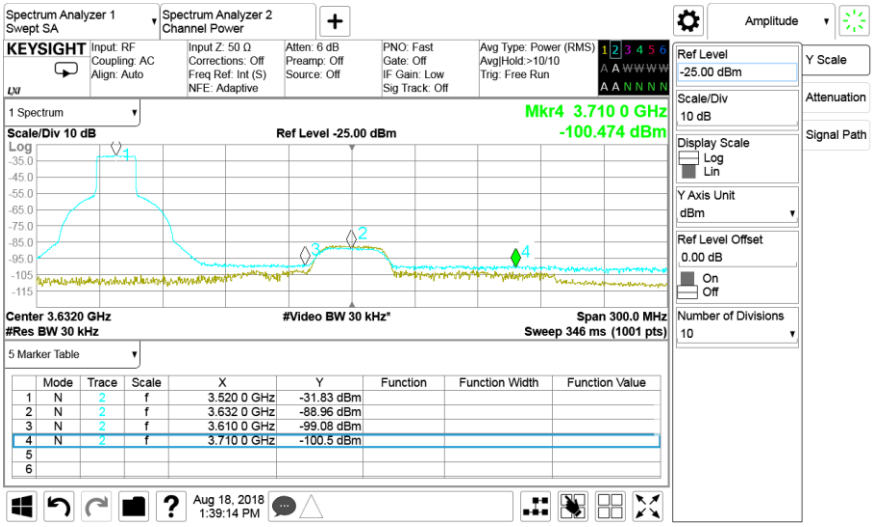
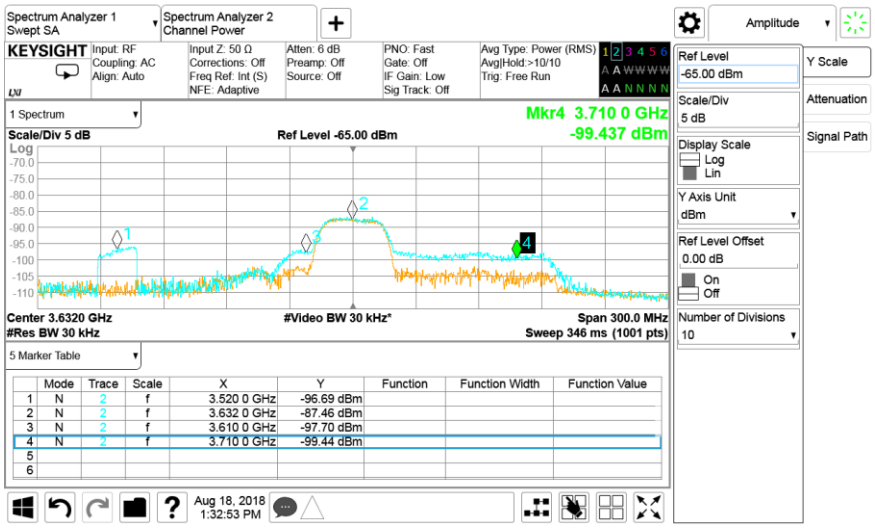


圖 2- 19：基地臺帶外輻射產生同頻干擾現象

資料來源：本計畫整理

加裝本計畫特製的 3.61~3.71GHz 帶通濾波器(BPF)後，可抑制 60dB 以上基地臺訊號功率，但無法抑制帶外輻射進入 ST-2 操作頻段內，造成 ST-2 使用頻段背景雜訊功率值上升現象，如圖 2- 20 所示。



	Mode	Trace	Scale	X	Y	Function	Function Width	Function Value
1	N	2	f	3.520 0 GHz	-96.69 dBm			
2	N	2	f	3.632 0 GHz	-87.46 dBm			
3	N	2	f	3.610 0 GHz	-97.70 dBm			
4	N	2	f	3.710 0 GHz	-99.44 dBm			
5								
6								

圖 2- 20：加裝 BPF 基地臺帶外輻射產生同頻干擾現象

資料來源：本計畫整理

在模擬基地臺同時發射兩個互調頻率落在 ST-2 接收頻段，以及 ST-2 訊號戶外接收功率強度(-81.43dBm/36MHz)條件下，ST-2 訊號對於鄰近頻段(3.35~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-68.67~-72.73dBm 區間，加裝 BPF 後 ST-2 訊號對於 BPF 抑制 20dB 頻段內(3.58~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-46.72~-61.73dBm 區間、抑制 60dB 頻段內(3.35~3.58GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率約在-31dBm，如圖 2- 21 所示。

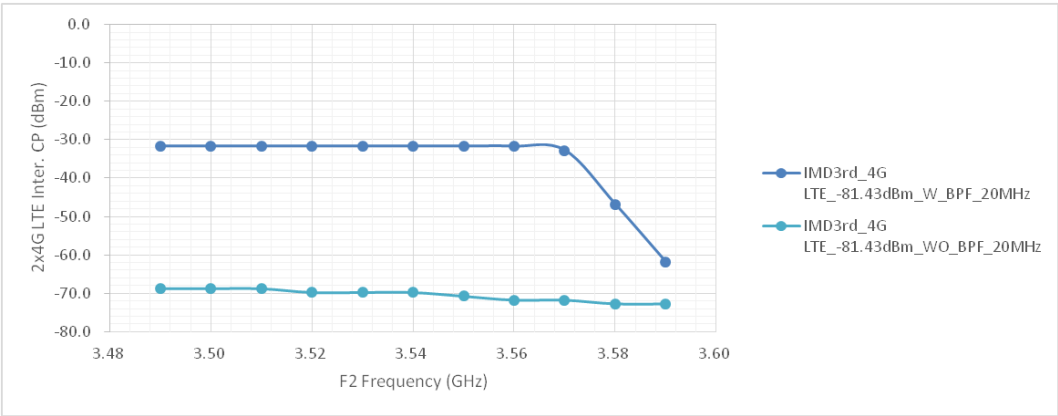


圖 2- 21：ST-2 接收功率(-81.43dBm/36MHz)互調變影響

資料來源：本計畫整理

在模擬基地臺同時發射兩個互調頻率落在 ST-2 接收頻段，以及 ST-2 訊號戶外接收功率強度(-78.43dBm/36MHz)條件下，ST-2 訊號對於鄰近頻段(3.35~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-67.67~-70.73dBm 區間，加裝 BPF 後 ST-2 訊號對於 BPF 抑制 20dB 頻段內(3.58~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-46.72~-61.73dBm 區間、抑制 60dB 頻段內(3.35~3.58GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率約在-29dBm，如圖 2- 22 所示。

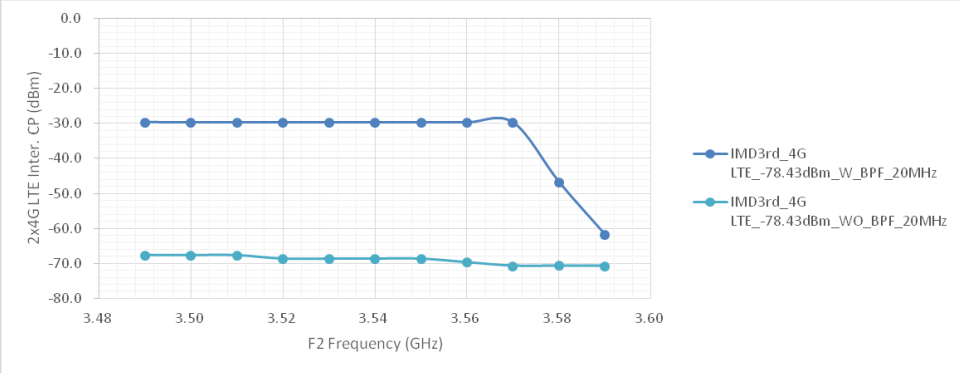


圖 2- 22：ST-2 接收功率(-78.43dBm/36MHz)互調變影響

資料來源：本計畫整理

在模擬基地臺同時發射兩個互調頻率落在 ST-2 接收頻段，以及 ST-2 訊號戶外接收功率強度(-84.43dBm/36MHz)條件下，ST-2 訊號對於鄰近頻段(3.35~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-69.67~-73.73dBm 區間，加裝 BPF 後 ST-2 訊號對於 BPF 抑制 20dB 頻段內(3.58~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-47.72~-62.73dBm 區間、抑制 60dB 頻段內(3.35~3.58GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率約在-35dBm，如圖 2- 23 所示。

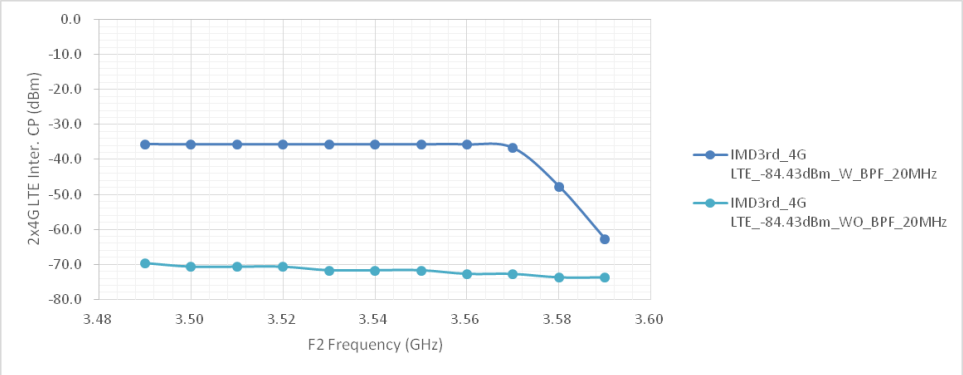


圖 2- 23：ST-2 接收功率(-84.43dBm/36MHz)互調變影響

資料來源：本計畫整理

2. 鄰頻影響

在模擬 ST-2 訊號戶外接收功率強度條件下(-81.43dBm/36MHz)，ST-2 訊號對於鄰近頻段(3.35~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-53.22~-68.31dBm 區間；當 ST-2 訊號接收功率比戶外環境增加 3dB 條件下(-78.43dBm/36MHz)，ST-2 訊號對於鄰近頻段(3.35~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-51.22~-68.31dBm 區間；當 ST-2 訊號接收功率比戶外環境降低 3dB 條件下(-78.43dBm/36MHz)，ST-2 訊號對於鄰近頻段(3.35~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-55.22~-71.31dBm 區間，如圖 2- 24~圖 2- 26 所示。兩系統使用頻率越接近， 5G 基地臺訊號功率對於 ST-2 訊號對於影響越明顯。

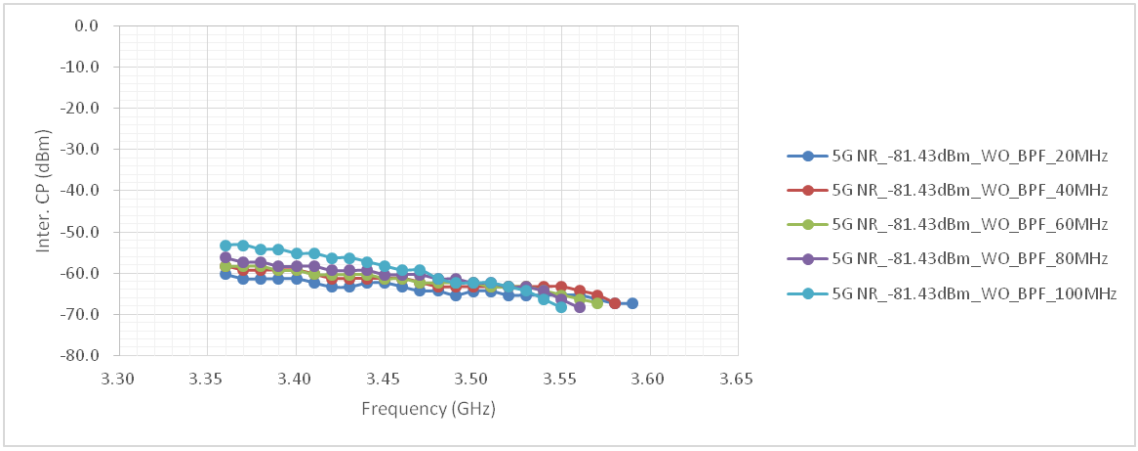


圖 2- 24：ST-2 接收功率(-81.43dBm/36MHz)之基地臺影響 ST-2

資料來源：本計畫整理

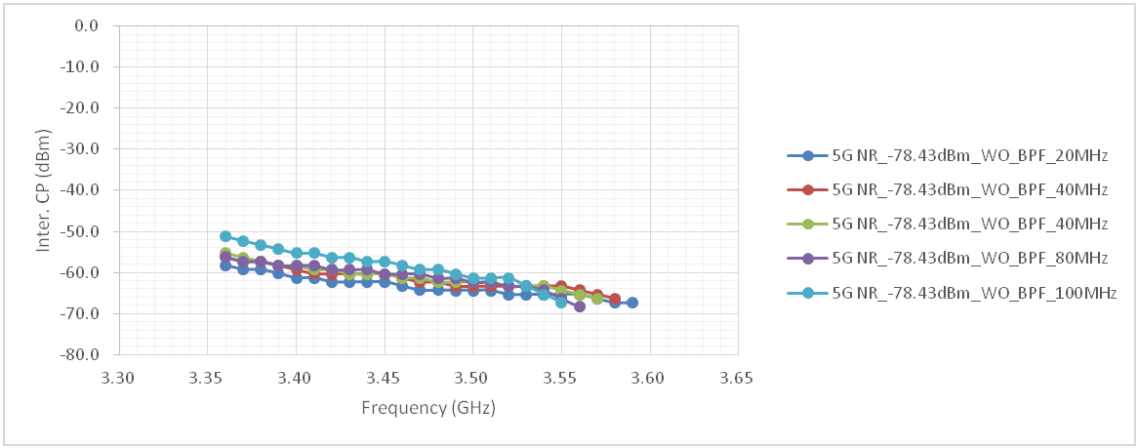


圖 2- 25：ST-2 接收功率(-78.43dBm/36MHz)基地臺影響 ST-2

資料來源：本計畫整理

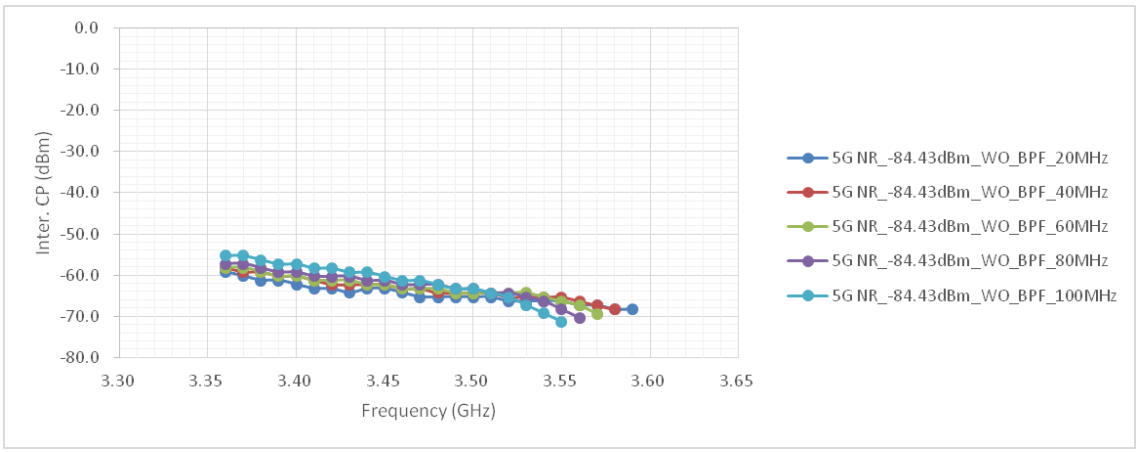


圖 2- 26：ST-2 接收功率(-84.43dBm/36MHz)基地臺影響 ST-2

資料來源：本計畫整理

加裝本計畫特製的 3.61~3.71GHz 帶通濾波器(BPF)後，在模擬 ST-2 訊號戶外接收功率強度條件下(-81.43dBm/36MHz)，ST-2 訊號對於 BPF 抑制 20dB 頻段內(3.58~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-45.3~-61.31dBm 區間、抑制 60dB 頻段內(3.35~3.58GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率約在-28dBm；當 ST-2 訊號接收功率比戶外環境增加 3dB 條件下(-78.43dBm/36MHz)，ST-2 訊號對於 BPF 抑制 20dB 頻段內(3.58~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-45.3~-61.31dBm 區間、抑制 60dB 頻段內(3.35~3.58GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率約在-24dBm；當 ST-2 訊號接收功率比戶外環境降低 3dB 條件下(-78.43dBm/36MHz)，ST-2 訊號對於 BPF 抑制 20dB 頻段內

(3.58~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-46.3~-62.31dBm 區間、抑制 60dB 頻段內(3.35~3.58GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-29~-30dBm 區間，如圖 2- 27~圖 2- 29 所示。

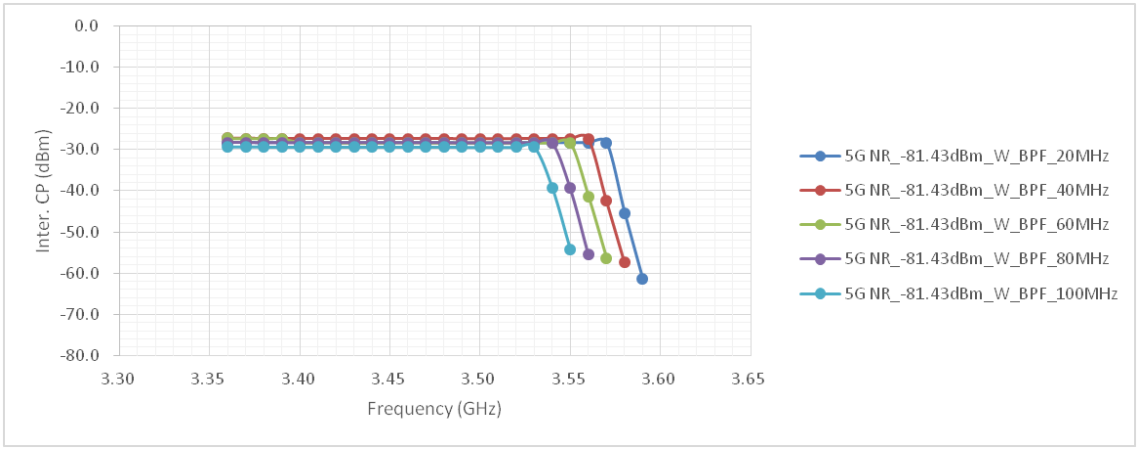


圖 2- 27：ST-2(-81.43dBm/36MHz)加裝 BPF 後之基地臺影響

資料來源：本計畫整理

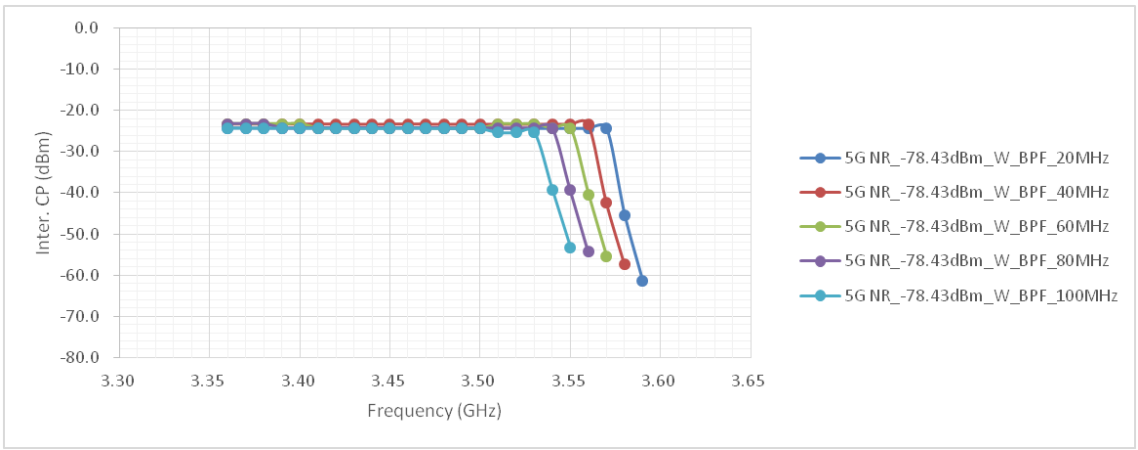


圖 2- 28：ST-2(-78.43dBm/36MHz)加裝 BPF 後之基地臺影響

資料來源：本計畫整理

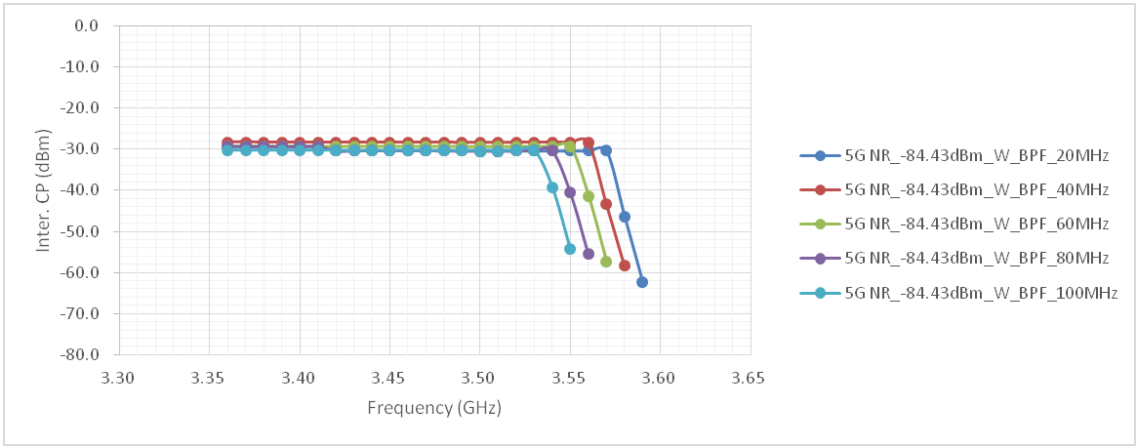


圖 2- 29：ST-2(-84.43dBm/36MHz)加裝 BPF 後之基地臺影響

資料來源：本計畫整理

第四節　實際場域測試

本測項為利用國聲有線電視股份有限公司 ST-2 衛星地面站，搭配本計畫行動通訊基地臺訊號(5G NR)產生器、LNB、衛星電視訊號接收器(Integrated Receiver Decoder，IRD)及頻譜分析儀等設備，如圖 2- 30，測試 5G 基地臺對 ST-2 使用頻段衛星電視訊號同頻及鄰頻影響狀況，以及加裝特製的 3.61~3.71GHz 帶通濾波器(BPF)與 IMT BPF 等改善措施效益，測試架構圖 2- 30。



圖 2- 30：實際場域測試環境

資料來源：本計畫整理

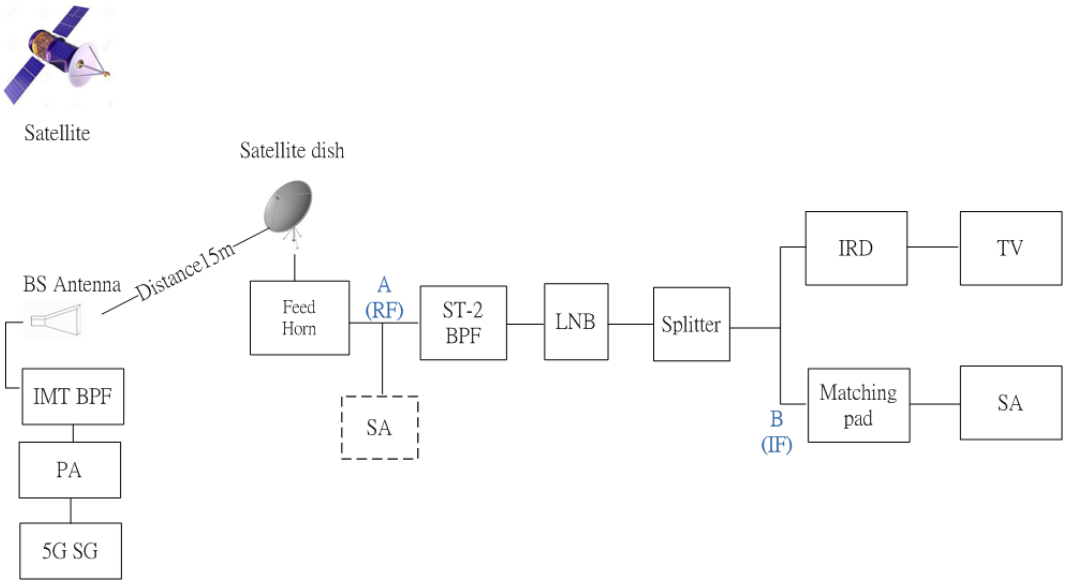


圖 2- 31：BPF 參數測試架構

資料來源：本計畫整理

實際場域測試所用設備包括：

- 衛星(Satellite)：ST-2。
- 衛星接收天線(Satellite dish)：C band(3M)。
- 5G NR 訊號產生器(5G SG): R&S SMBV100B。
- 功率放大器(PA)：Milmega AS 2560-30(45dB)。
- 基地臺天線(BS Antenna)：Schwarzbeck BBHA 9120D。
- 網路分析儀(SA1)：Anritsu MS2720T。
- 網路分析儀(SA2): Keysight MXA (N9020B)。
- ST-2 BPF: Pass band 3.61~3.71GHz。
- IMT BPF: Pass band 3.4~3.6GHz。
- 結合器(Combiner)。
- 導波管轉換器(WG converter)。
- 衛星電視訊號接收器(IRD): Proview 8100。
- 低雜訊降 頻放大器(LNB)。
- 分離器(Splitter)。
- 匹配器(matching pad)：75/50Ω。
- 電視螢幕(TV)。

一、 測試方法與步驟

(1) 量測位置(以衛星天線為基準)：偏軸角 44.5^{o}、58^{o}及 71^{o}，距離 15 公尺。

(2) 記錄測試點 A ST-2 衛星接收訊號功率、 C/N、MER，及電視影像品質。

(3) 設定 5G SG 發射頻段 3.614~3.650GHz，訊號類型 AWGN。

(4) 調高 5G SG 發射功率，直到 IRD 影像無法解碼，調低 5G SG 發射功率，直到影像可解碼，記錄測試點 A：DVB-S2 訊號功率。

(5) 設定 5G SG 發射頻段 3.58-3.60GHz(10MHz/step) ，訊號類型 5G NR。

(6) 調高 5G SG 發射功率，直到 IRD 影像無法解碼，調低 5G SG 發射功率，直到影像可解碼，記錄測試點 A：5G 訊號功率及

測試點 B：DVB-S2 訊號功率、C/N、MER。

(7) 更換 5G SG 發射頻段，重複步驟 6。

(8) 加裝 BPF，重複步驟 5-7。

(9) 更換量測位置，重複步驟 2-8。

二、 量測結果

(一)同頻影響

在實際場域環境下，基地臺衍生的帶外輻射進入 ST-2 使用頻段(3.614~3.650GHz)，將造成 ST-2 接收訊號 C/N 下降，若 C/N 低於 8dB 以下時 DVB-S2 節目將無法正常收視，如圖 2- 32 所示。

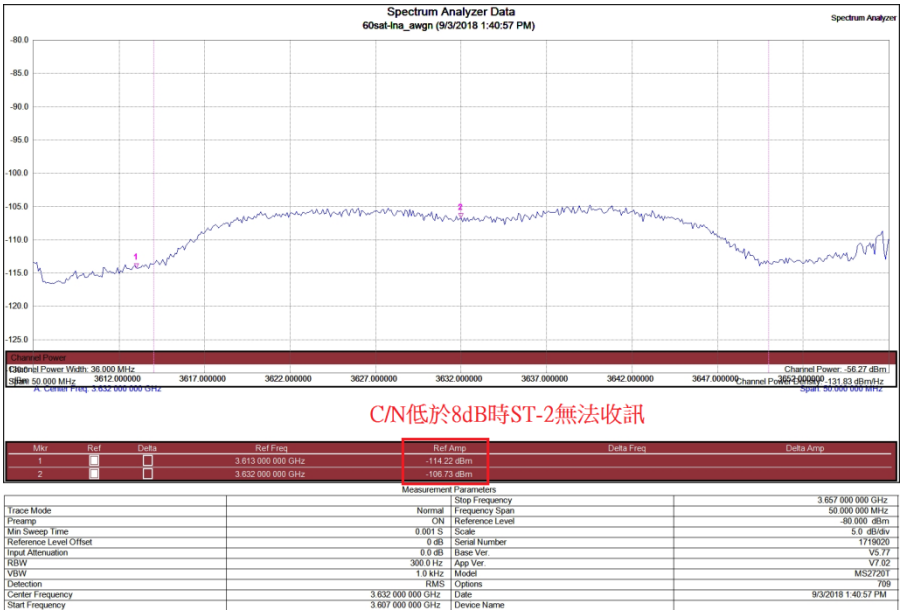


圖 2- 32：ST-2 因同頻干擾造成 C/N 下降現象

資料來源：本計畫整理

(二)鄰頻影響

在實際場域環境下，使用 5G SG 發射 5G NR 訊號，基地臺天線位置與 ST-2 接收天線偏軸角相差 44.5° 條件下，ST-2 訊號對於鄰近頻段(3.35~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-48.02~-59.86dBm 區間，如圖 2- 33 所示。加裝 BPF 後 ST-2 訊號對於 5G 基地臺訊號干擾耐受功率約在-41.25~-65.32dBm 區間，如圖 2- 34 所示。

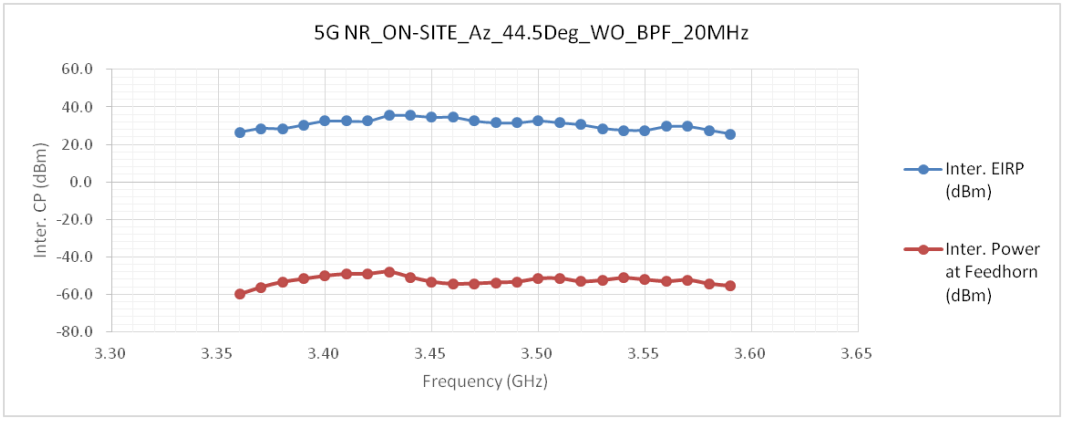


圖 2- 33：實際場域偏軸角 44.5º 條件下，5G 基地臺影響

資料來源：本計畫整理

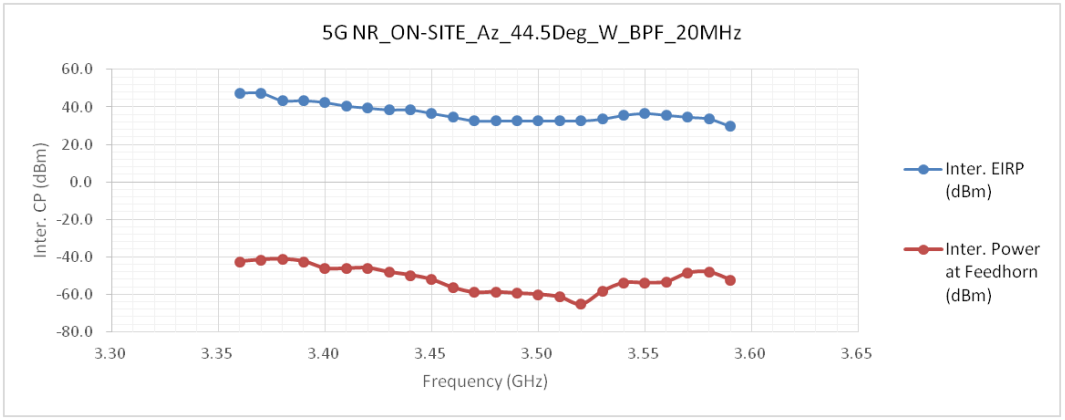


圖 2- 34：實際場域偏軸角 44.5º 條件下，加裝 BPF 5G 基地臺影響

資料來源：本計畫整理

在實際場域環境下，使用 5G SG 發射 5G NR 訊號，基地臺天線位置與 ST-2 接收天線偏軸角相差 58º 條件下，ST-2 訊號對於鄰近頻段(3.35~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-41.42~-55.87dBm 區間，如圖 2- 35 所示。加裝 BPF 後 ST-2 訊號對於 5G 基地臺訊號干擾耐受功率約在-40.95~-52.27dBm 區間，如圖 2- 36 所示。

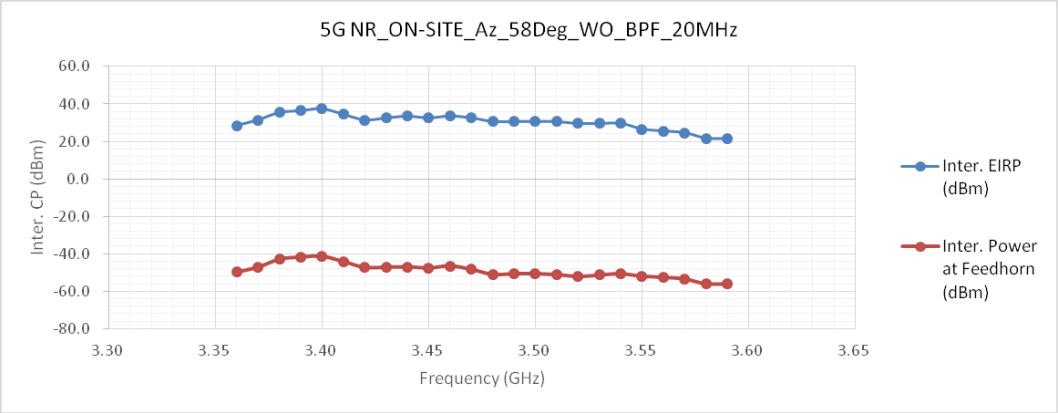


圖 2- 35：實際場域偏軸角 58º 條件下，5G 基地臺影響

資料來源：本計畫整理

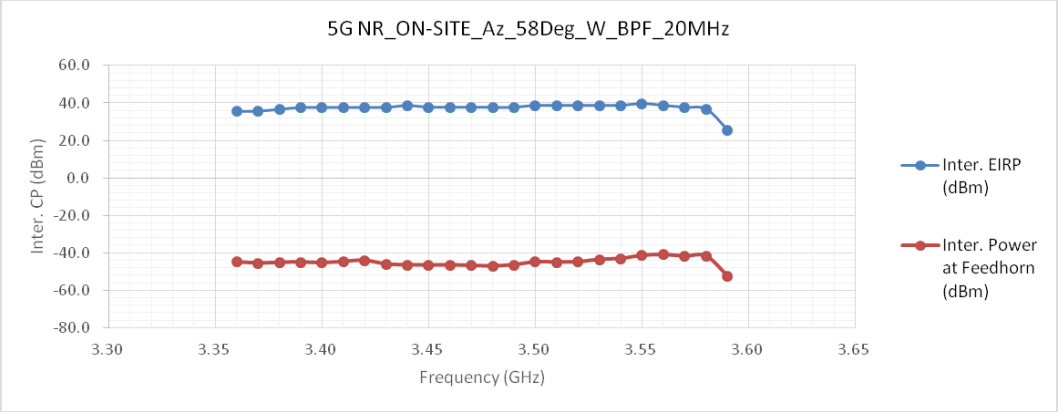


圖 2- 36：實際場域偏軸角 58º 條件下，加裝 BPF 5G 基地臺影響

資料來源：本計畫整理

在實際場域環境下，使用 5G SG 發射 5G NR 訊號，基地臺天線位置與 ST-2 接收天線偏軸角相差 71º 條件下，ST-2 訊號對於鄰近頻段(3.35~3.6GHz)5G 基地臺訊號干擾耐受功率在-51.19~-69.86dBm 區間，如圖 2- 37 所示。加裝 BPF 後 ST-2 訊號對於 5G 基地臺訊號干擾耐受功率約在-29.49~-43.87dBm 區間，如圖 2- 38 所示。

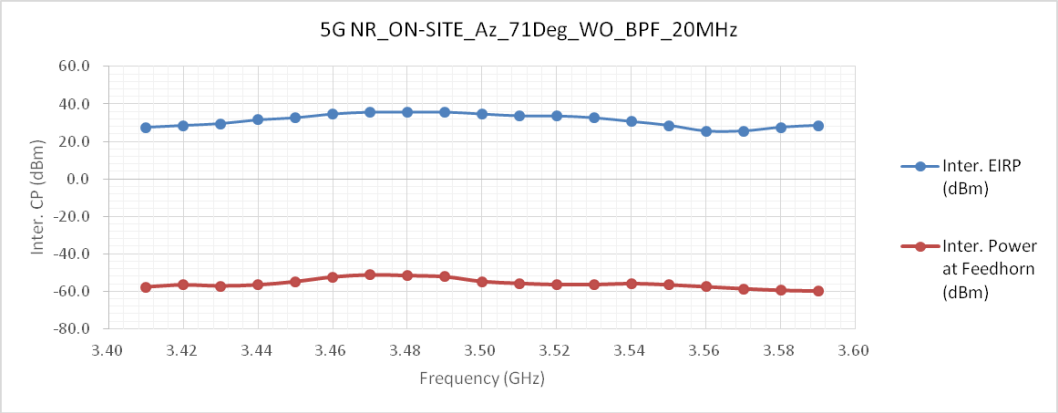


圖 2- 37：實際場域偏軸角 71º 條件下，5G 基地臺影響

資料來源：本計畫整理

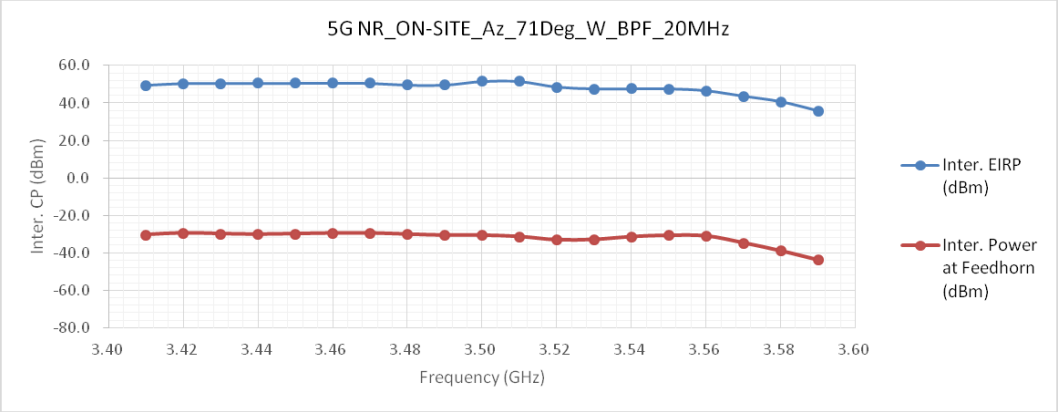


圖 2- 38：實際場域偏軸角 71º 條件下，加裝 BPF 5G 基地臺影響

資料來源：本計畫整理

(三)改善措施效益比較

在實際場域環境下，比較無任何改善措施、ST-2 接收端加裝 BPF、5G 基地臺加裝 BPF 及 ST-2 接收端與 5G 基地臺同時加裝 BPF 等改善措施，對於 5G 基地臺發射功率影響效益；在基地臺天線位置與 ST-2 接收天線偏軸角相差 44.5º 條件下，ST-2 接收端在無任何防護措施情況下，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 24~38dBm(0.25~6.3W)；ST-2 接收端加裝 BPF 情況下，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 27~39dBm(0.5~7.94W)；5G 基地臺加裝 BPF 情況下，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 27~37dBm(0.5~5W)；ST-2 接收端與 5G 基地臺同時加裝 BPF 情況下，

5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 39~66dBm(7.94~3,981W)如圖 2- 39 所示。

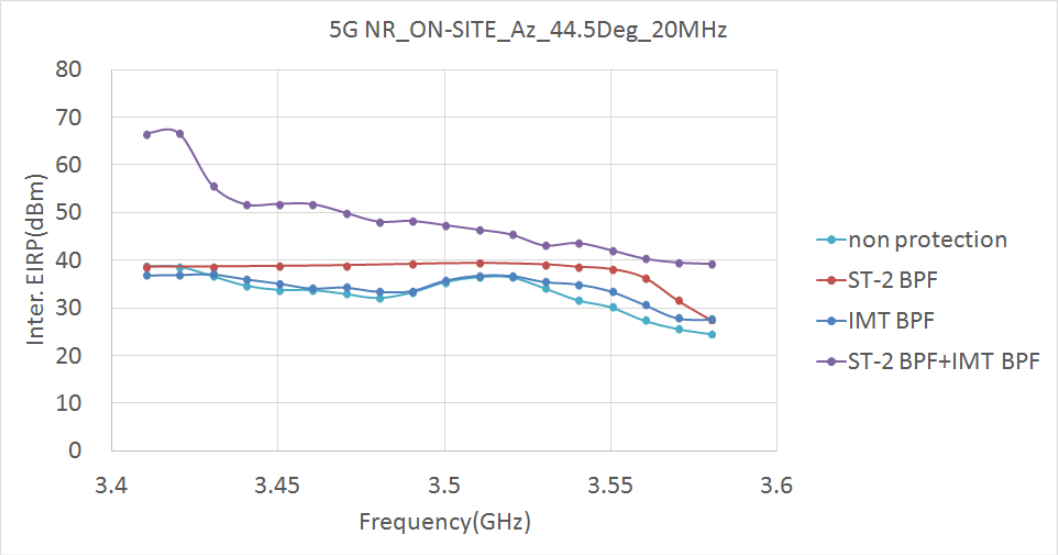


圖 2- 39：實際場域偏軸角 44.5º條件下，改善措施之影響

資料來源：本計畫整理

在基地臺天線位置與 ST-2 接收天線偏軸角相差 58º條件下，ST-2 接收端在無任何防護措施情況下，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 34~39dBm(2.5~7.94W)；ST-2 接收端加裝 BPF 情況下，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 38~39dBm(6.3~7.94W)；5G 基地臺加裝 BPF 情況下，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 31~36dBm(1.25~3.98W)；ST-2 接收端與 5G 基地臺同時加裝 BPF 情況下，，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 49~67dBm(79.43~5,011W)如圖 2- 40 所示。

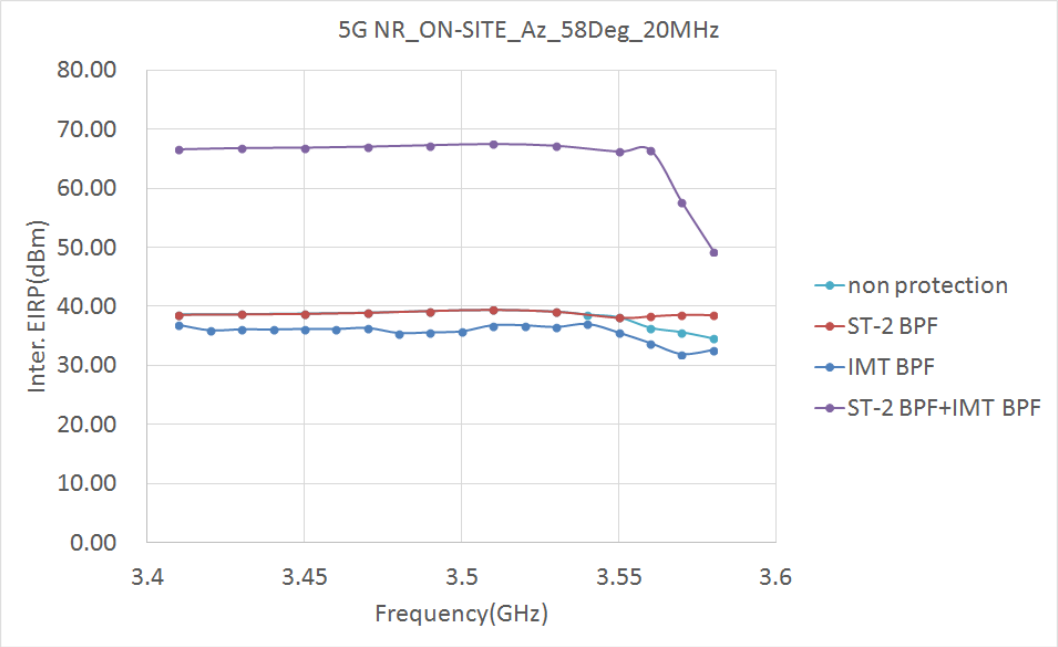


圖 2- 40：實際場域偏軸角 58º條件下，改善措施之影響

資料來源：本計畫整理

在基地臺天線位置與 ST-2 接收天線偏軸角相差 71º條件下，ST-2 接收端在無任何防護措施情況下，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 24~38dBm(0.25~6.3W)；ST-2 接收端加裝 BPF 情況下，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 38~39dBm(6.3~7.94W)；5G 基地臺加裝 BPF 情況下，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 22~34dBm(0.16~3.98W)；ST-2 接收端與 5G 基地臺同時加裝 BPF 情況下，，5G 基地臺不影響 ST-2 收訊發射功率(EIRP)約為 41~67dBm(12.6~5,011W)如圖 2- 41 所示。

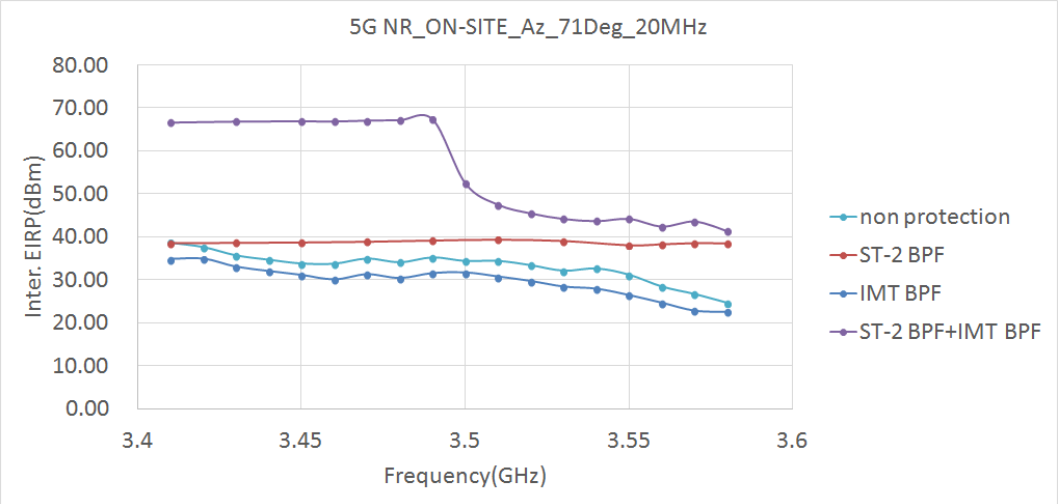


圖 2- 41：實際場域偏軸角 71º 條件下，改善措施之影響

資料來源：本計畫整理

第五節　結果分析與建議

依據實驗室與實際場域量測結果評估改善措施，對於 ST-2 接收同頻及鄰頻改善效果，ST-2 若任何改善措施情況下，對於 5G 基地臺訊號耐受功率強度約在-60～-70dBm(通道功率)，兩系統使用頻率越遠，干擾程度越小；ST-2 接收端若加裝本計畫特製 BPF，對於使用 3.58~3.6GHz 頻段 5G 基地臺訊號耐受功率強度約在-50～-60dBm，使用 3.58GHz 以下頻段 5G 基地臺訊號耐受功率強度可至-30dBm 以上。因此，ST-2 接收端若加裝 BPF，並將 3.58~3.6GHz 指配為兩系統護衛頻段，可有效降低 ST-2 鄰頻干擾風險，如圖 2- 42 所示。

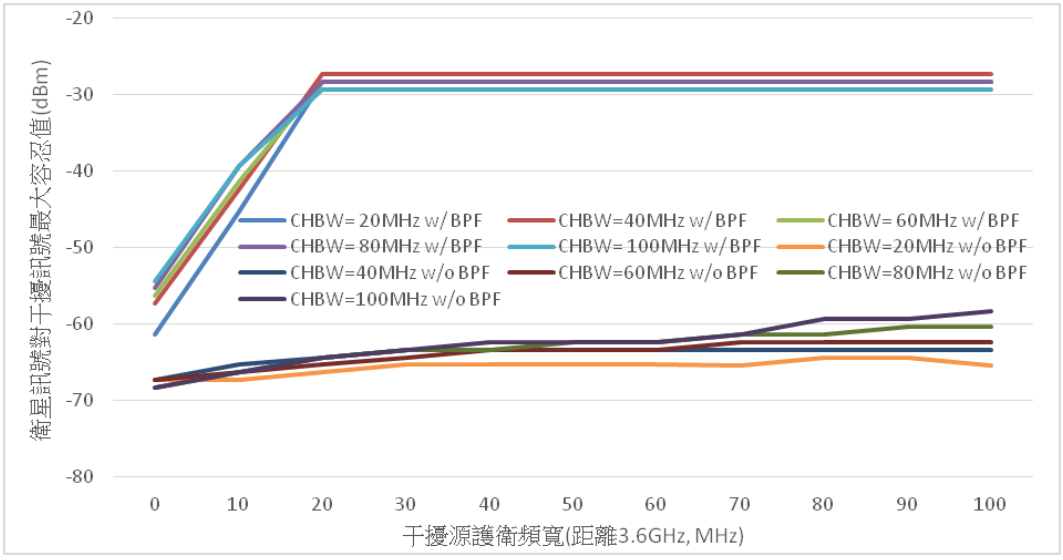


圖 2- 42：ST-2 接收加裝 BPF 所需護衛頻寬

資料來源：本計畫整理

5G 基地臺發射時所衍生之帶外輻射(spurious emission)及同時發射多頻段所產生的互調變(intermodulation)現象，所造成的同頻干擾現象，可藉由 5G 基地臺加裝 3.4~3.6GHz 頻段 BPF 或建立兩系統共存安全距離等措施，降低同頻干擾風險。

兩系統共存安全距離之推估，根據國際電信聯盟 ITU-R F.758-6 建議書，在固定衛星地面站干擾信號限值為其接收系統雜訊干擾減 10dB，超過該限值的干擾信號可能造成有害干擾，如公式(1)所計算 ST-2 訊號接收最大干擾容忍值為-108.29 dBm/36MHz。

I_{max}=10*log*(kTB)-10(*dB*W) ……(1)

K:Boltzmann’ s constant(1.38*10^{-23} J/K)

T : 絕對溫度(298K=攝氏 24.85 度)

B : 衛星通道頻寬(36MHz)

若以 ST-2 接收端加裝 BPF，5G 基地臺最大發射功率為 57dBm(500W)、發射頻率 3.57GHz 使用 20MHz 頻寬之情境下，評估不同干擾源在不同偏軸角情境下，安全距離推估，以偏軸角為 44.5^{o} 為例，兩系統共存安全距離為 100 公尺以下，且偏軸角 44.5^{o} 以上，ST-2 收訊影響趨緩，如圖 2- 43 所示。

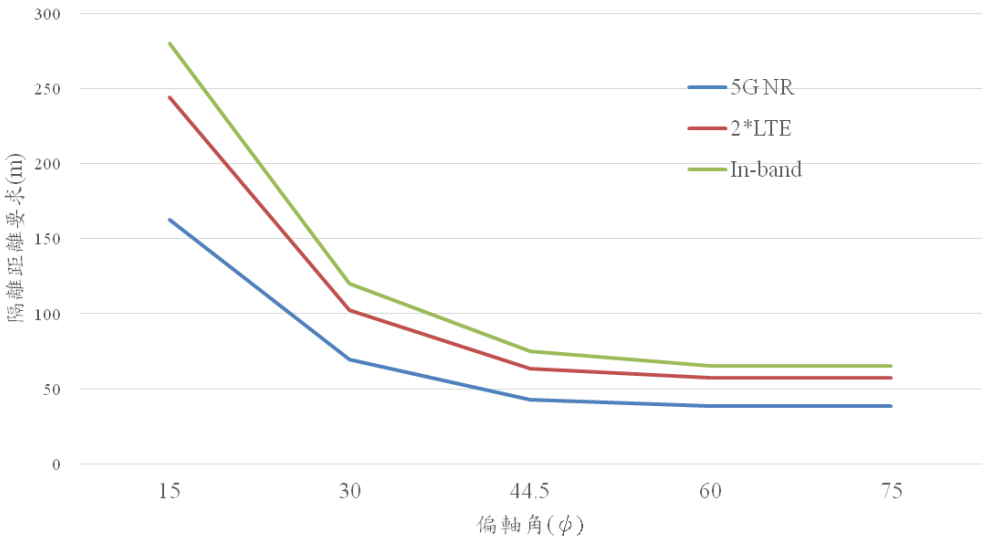


圖 2- 43：5G 基地臺降低 ST-2 同頻干擾安全距離推估

資料來源：本計畫整理

考量實際場域不易精準掌握 5G 基地臺天線與 ST-2 地面站天線 3 維空間偏軸角度，本計畫建議以 2 維空間水平距離評估兩系統共存安全距離，若考慮實務上甚為極端情形，5G 基地臺與 ST-2 地面接收站同站空曠地區，5G 基地臺使用 45 公尺鐵塔高度 45m(一般基站常用高度)，ST-2 地面站天線在平地，基地臺最大發射功率為 57dBm(500W)條件下，以 ST-2 地面站為中心，需要約 110 公尺方能確保 ST-2 地面站不受影響；為確保兩系統共存時有足夠緩衝空間協商設置，建議以 ST-2 地面站為中心半徑 150 公尺方圓規劃為干擾協調區域，如圖 2- 44 所示。

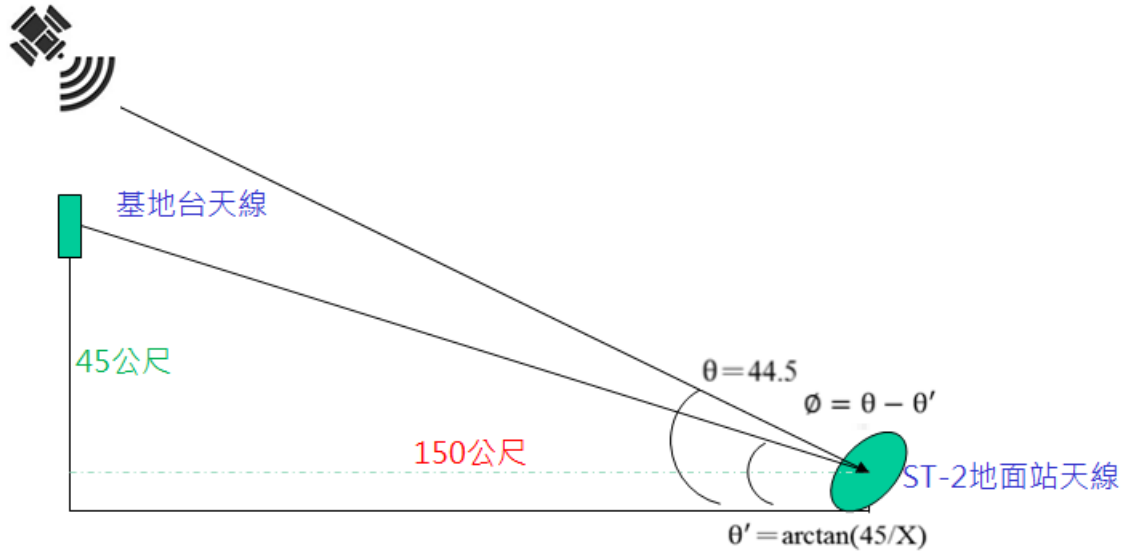


圖 2- 44：5G 基地臺與 ST-2 地面站共存干擾協調區域

資料來源：本計畫整理

綜整上述，為降低未來 5G 中頻段 3.5GHz 網路布建影響既有 ST-2 地面站收訊，本計畫建議未來 5G 中頻段 3.5GHz 網路建置前 ST-2 地面站加裝 3.61~3.71GHz 頻段 BPF，並以 ST-2 地面站為中心半徑 150 公尺方圓規劃為干擾協調區域，提供電信業者建置前與 ST-2 收訊戶協商基地臺建置位置。另外，本計畫於實際場域測試時，發現 ST-2 接收端 LNB 若位處 3.4~4.2GHz 高功率電波環境下，LNB 電路會產生耦合現象，建議主管機關未來可研究目前 ST-2 收訊戶使用的 LNB 電磁耐受性(Electro-Magnetic Susceptibility，EMS)，以降低 5G 中頻段 3.5GHz 網路布建後干擾 ST-2 收訊風險。

第參篇 頻譜共享接取系統進階概念驗證及免執照頻段異質系統共存實測分析與規範建議

第三章　動態頻譜共享接取系統進階概念驗證與規範建議

第一節　研析 CBSD 與 SAS 資料交換規範探討

我國對於三層式頻譜共享機制的運作並無前例，若想要推動我國使用三層式的頻譜共享架構機制，先參照國際(美國、歐盟)通訊組織在三層式的頻譜共享架構的資料交換項目及格式，並探討有無資料須增減的可能性，能讓我國更加瞭解此機制的運作方式，提供我國未來在建立此系統時有更國際化的規格品質。

美國聯邦通訊委員會（Federal Communications Commission，FCC）於 2015 年釋出 3550-3700MHz 的頻譜資源供未來商業化使用，此共享頻段稱為公民無線寬頻服務（Citizens Broadband Radio Service，CBRS），為三層式共享架構[8]，如圖 3- 1 所示。

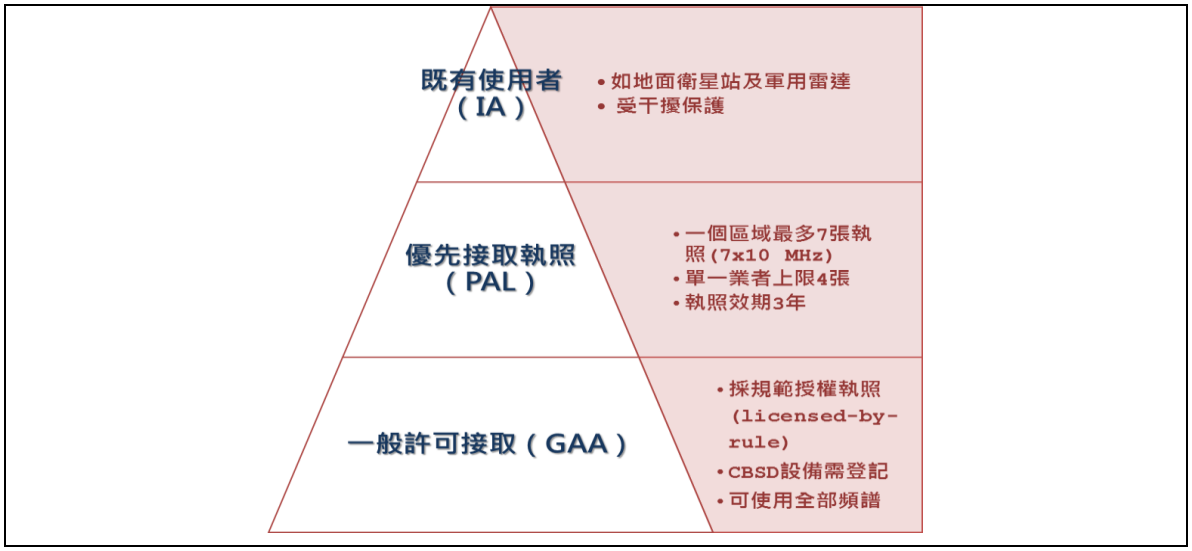


圖 3- 1：CBRS 的三層式管理架構

資料來源：FCC，本計畫整理

[8] Legal Information Institute, “Part 96 - CITIZENS BROADBAND RADIO SERVICE” - https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/part-96

然而，我國目前還未有使用三層式架構頻譜共享的先例，因此需先研究目前國際規範在 CBSD (Citizens Broadband Radio Service Device) 與 SAS (Spectrum Access System) 之間的資料規範及項目[9]，如圖 3- 2 所示，以提供我國未來在建立系統時的資料規範參考及確認概念的可行性。

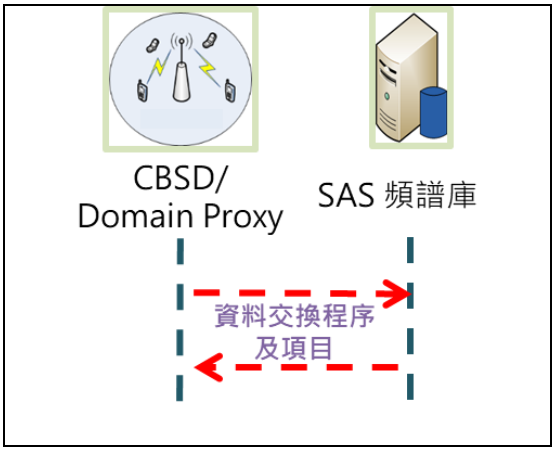


圖 3- 2：CBSD 與 SAS 資料交換程序之示意圖

資料來源：FCC，本計畫整理

本項目將探討國際 Wireless Innovation Forum(WINNF)所訂定之資料交換規範[10]，包含資料的項目、格式及交換程序之目的等等。將本項目資料交換彙整後，建立部分資料交換程序在 ViSSA2.0 平臺上，供未來我國在 3.5GHz 概念驗證使用。

根據 WINNF-TS-0016 規範，CBSD 得到頻譜授權前之程序主要有三項，依序為：

1. 註冊請求(Registration Request)
2. 頻道確認請求(Grant Request)
3. 傳輸請求(Heartbeat Request)

[9] Wireless Innovation Forum (2017), “Spectrum Access System (SAS) - Citizens Broadband Radio Service Device (CBSD) Interface Technical Specification”, Document WINNF-TS-0016, Jul. 2017.
[10] 同前註。

當傳輸請求被 SAS 授權通過後，CBSD 即可在被授權之頻道上傳輸，以下將描述每個程序之部分資料，且將建立部分資料交換程序在 ViSSA2.0 平臺上，供未來我國在 3.5GHz 概念驗證使用。

一、 註冊請求 (Registration Request)

- 資料傳送方式: HTTP POST method,
- 編碼方式(encode): JSON

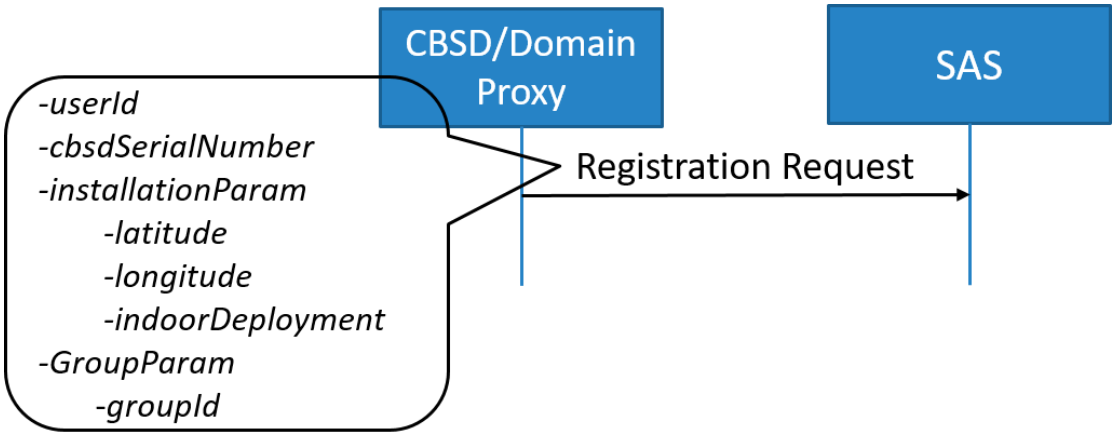


圖 3- 3：註冊請求階段

資料來源：WINNF

傳送參數如下表 3- 1。

表 3- 1：註冊請求階段傳送參數

Parameter	**Description**
NAME: *userId* DATA TYPE: string	User-ID
NAME: *cbsdSerialNumber* DATA TYPE: string	Each CBSD has a single cbsdSerialNumber.
installationParam	
NAME: *latitude* DATA TYPE: number	The allowed range is from - 90.000000 to +90.000000
NAME: *longitude* DATA TYPE: number	The allowed range is from -180.000000 to +180.000000.
NAME: *indoorDeployment* DATA TYPE: boolean	Whether the CBSD antenna is indoor or not. True: indoor. False: outdoor.

NAME: *groupId* DATA TYPE: string	This field specifies the identifier for this group of CBSDs.

二、 頻道請求(Grant Request)

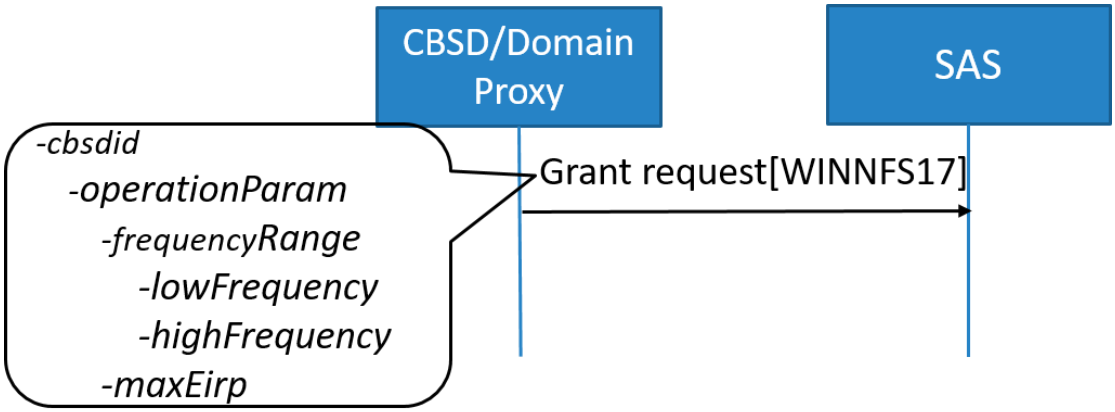


圖 3- 4：頻道請求階段

資料來源：WINNF

傳送參數如下表 3- 2。

表 3- 2：頻道請求階段傳送參數

Parameter	**Description**
NAME: *grantRequest* DATA TYPE: array of object: *GrantRequest*	
NAME: *cbsdId* DATA TYPE: string	This is a CBRS-wide unique identifier for this CBSD.
NAME: *operationParam* DATA TYPE: object: *OperationParam*	This data object includes operation parameters of the requested Grant.
OperationParam	
NAME: *maxEirp* DATA TYPE: number	The maximum EIRP is an integer with a value between -137 and +37 (dBm/MHz)
NAME: *operationFrequencyRange* DATA TYPE: object: *FrequencyRange*	This parameter is frequency range of a contiguous segment.

三、 傳輸請求(Heartbeat Request)

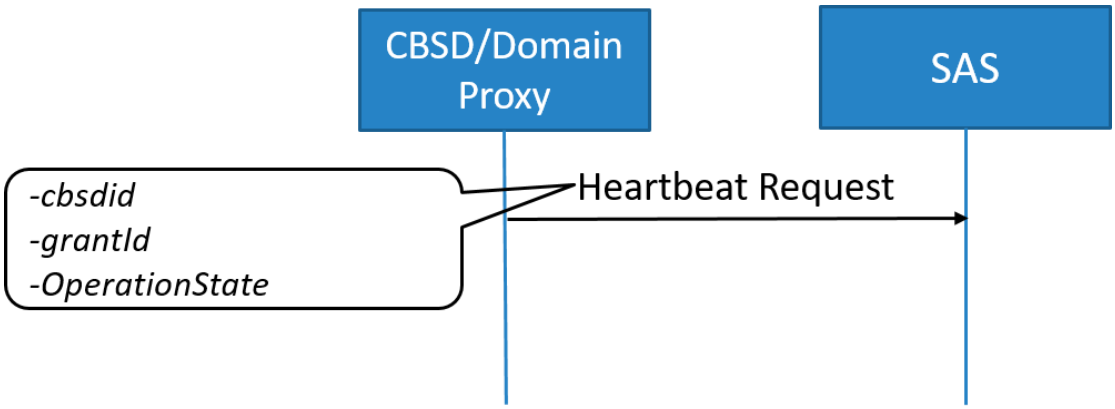


圖 3- 5：傳輸請求階段

資料來源：WINNF

傳送參數如下表 3- 3。

表 3- 3：傳輸請求階段傳送參數

Parameter	**Description**
NAME: heartbeatRequest DATA TYPE: array of object: HeartbeatRequest	
NAME: cbsdId DATA TYPE: string	This is a CBRS-wide unique identifier for this CBSD.
NAME: grantId DATA TYPE: string	The CBSD shall set this parameter to the value of the Grant identity of this Grant.
NAME: operationState DATA TYPE: string	This parameter contains the CBSD operation state (“AUTHORIZED” or “GRANTED”).

本計畫將參照 WINNF 訂立之資料交換規範，在未來實作其部分資料規範且加入頻道選擇的功能在未來 ViSSA 2.0 平臺上。

第二節　頻譜接取系統(SAS)對既有使用者(IA)及優先接取使用者(PAL)干擾管理規範

一、國際間 SAS 對 CBSD 干擾管理限制與規範

我國對於三層式頻譜共享機制的運作並無前例，若想要推動我國使用三層式的頻譜共享架構機制，可參考國際通訊組織目前對既有使用者及優先接取使用者的干擾規範，使得我國更瞭解此機制之干擾限制及運作規則，做為我國未來在建立此三層式共享機制系統規範時的參考準則。

CBRS 是美國 FCC 新的頻譜共享方式，無論是其三層式的管理架構或 SAS 系統，在概念上均是非常創新的發展。然而，為了保護既有使用者(IA)不受優先接取使用者(PAL)及一般接取使用者(GAA)干擾，及優先接取使用者(PAL)不受 GAA 干擾，必須先釐清既有使用者及優先接取使用者的干擾忍受大小及範圍，故本計畫將研讀國際間 SAS 對既有使用者(IA)及優先接取使用者(PAL)之干擾管理規範[11]及現有試驗[12]，統整規範裡對 Incumbent 和 PAL 的干擾限制，如圖 3- 6 所示，以提供我國干擾管理上之參考與建議。

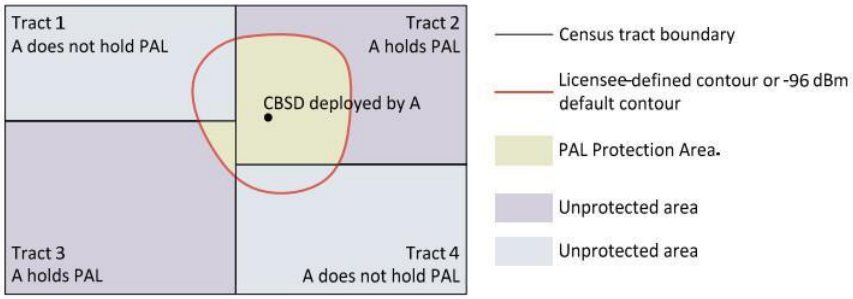


圖 3- 6：PAL 保護範圍[13]

資料來源：FCC

[11] Legal Information Institute, "Part 96 - CITIZENS BROADBAND RADIO SERVICE" - https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/part-96;Wireless Innovation Forum (2017), "Requirements for Commercial Operation in the U.S. 3550-3700 MHz Citizens Broadband Radio Service Band", Document WINNF-TS-0112, Sep. 2017.

[12] Marko Palola, et al. (2017), "Field trial of the 3.5 GHz citizens broadband radio service governed by a spectrum access system (SAS)" Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), 2017 IEEE International Symposium on. IEEE, 2017.

[13] FCC (2016), "Amendment of the commissions rules with regard to commercial operations in the 3550-3650 MHz band" Doc. No. 12-354, May. 2016

現階段國際間對 Incumbent 及 PAL 的干擾管理規範如下:

(一) 既有使用者 Incumbent

目前美國在 CBRS 頻段主要的既有使用者分別為美國海軍及固定衛星服務(FSS)，其海軍主要之干擾防護範圍在沿海地區，當海軍有在使用時，其位置之半徑 80 公里內之所有使用者將不能使用與海軍相同頻段，若是環境感測能力(ESC)經由偵測訊號判斷干擾範圍，則干擾半徑將可以變小。

固定衛星服務(FSS)主要傳輸的頻率範圍落在 3600-3700 MHz，CBSD 若使用與 FSS 之同頻段，則半徑 150 公里內之所有 CBSD 造成 FSS 的干擾不能超過-129 dBm/MHz。

(二) 優先接取使用者(PAL)

PAL 之保護範圍如圖 3- 6 所示，根據 FCC 規定 PAL 保護範圍(PAL Protection area)之半徑可被計算為接收功率為 CBSD 預設之靈敏度:-96 dBm/10MHz，一旦該 PAL 之保護範圍算出，則一般授權接取使用者(GAA)及其他 PAL 使用者若想使用與該 PAL 之同頻道，則其干擾在 PAL 干擾範圍內不能超過 -80dBm /10MHz。

本計畫將參照 FCC 訂立之干擾管理限制，實作 CBRS 系統並加入頻道選擇之功能在未來 ViSSA 2.0 平臺上。

二、環境感測能力(ESC)

環境感測能力 (Environmental Sensing Capability，ESC) 是 CBRS 中重要的一環，由於擁有最高優先權的既有使用者 (Incumbent) 為美國軍方，必須維護其保密性，因此當軍方的船艦靠近海岸線時，ESC 必須要能感測到既有使用者之頻道使用情形，並向 SAS 發出告警，由 SAS 使下層的用戶 CBSD (Citizens Broadband radio Service Device) 由相關頻道退讓。

本小節研讀目前現有規範及國際試驗對 ESC 的功能探討及建置方法，如下圖為 CORE++計畫試驗當中，ESC 感知且重新配置給 CBSD 頻段之流程圖[14]：

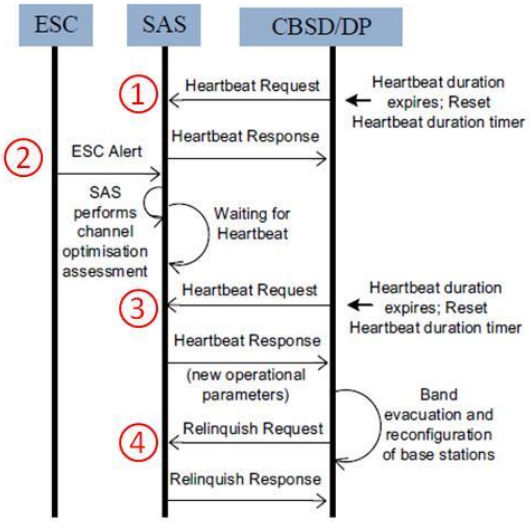


圖 3- 7：ESC 感知，SAS 清空與重新配置頻段流程圖

資料來源：Marko Palola, et al.

流程說明如下：

1. SAS 授權 CBSD 可使用該頻段之特定頻道；
2. ESC 感測到既有使用者之頻道使用情形，並向 SAS 告警；
3. SAS 撤銷特定頻道的 CBSD 使用權，並回傳 CBSD 做新的配置頻段；
4. CBSD 回報成功自特定頻道退讓。

除探討 ESC 相關需求，本計畫亦針對保護既有使用者之位置隱私，提出設計來實現部分概念在 ViSSA 2.0 實驗平臺。

[14] Marko Palola, et al. (2017), "Field trial of the 3.5 GHz citizens broadband radio service governed by a spectrum access system (SAS)" Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), 2017 IEEE International Symposium on. IEEE, 2017.

第三節　其他國際頻譜共享技術發展

ITU-R M.2370-0 報告指出，至 2020 年全世界整年度將有 744EB 之傳輸量，至 2030 年則會達到 60,192EB 之傳輸量。為處理未來龐大之數據傳輸量，除了頻譜資源之釋出、壓縮技術之演進、Off-loading 應用之普及與 Small Cells 與 Femto Cells 之佈建外，頻譜共享亦是目前先進國家在探討與實驗之作法，以期將頻譜資源之效益發揮到最大化。

一、歐盟 LSA

歐洲預期在 2020 年時將會有約 1500MHz 之商用頻譜需求，其缺口無法僅使用執照頻段來補足，因此思考兩種頻譜共享之方式：提供所有使用者於特定頻譜共享的 Collective Use of Spectrum (CUS)與提供使用者於特定頻譜接取權之 Licensed Shared Access (LSA)。前者 CUS 模式簡單而言，就是目前 Wi-Fi 頻段、ITS 應用等模式，擁有較低的規範限制，但同時隱含著個別使用者對於共享與干擾有更高的責任。後者的 LSA 模式則是近年來持續被討論中，雖然尚未有明確的定案，但亦被視為未來潛在的重要共享方式。透過執照的發放與規範保證接續與品質，但因此干擾管理的責任便在頻譜管理單位身上，所以這也就是此模式的相關配套仍在熱烈討論的重要原因。

LSA 主張將非商用之頻譜在保留優先使用者權利之前提下與其他用途共享。相較於傳統的頻譜使用方式，LSA 允許一頻段在不同的時間、地點協調用戶，在不干擾既有使用者之前提下使用未指配之頻道，減少頻譜閒置的浪費情形；因此適用於已指配給專用電信之頻段，其所佔之使用時間短或範圍具地域性，而其移頻或是重新規劃有困難者。具代表性之例子為法國 2.3-2.4GHz，指配作為軍用雷達之頻段。其使用區域僅有沿海之小範圍地區。

近年歐洲國家持續進行 LSA 之實驗。根據 ECC 之報告，自 2015 年 10 月之後有進行相關測試之國家包含： 西班牙、芬蘭、法國、義大利與荷蘭。各國均應用 CEPT 決議開放之 2.3-2.4GHz 頻段進行與既有使用者之共享試驗，大多數國家之共享對象為 PMSE

(Progarmme Making Special Events)應用。然而，因為資料庫等機制尚未明確，因此，各國先行規劃各自共享不干擾之機制，例如：荷蘭最初是要求 PMSE 使用者預事先上網預約使用，由系統發給特定地區與時間的頻譜使用執照後使用；今年則開始探討手動預約以外之作法。

2017 年 4 月，European Telecommunications Standards Institute (ETSI)宣布完成 LSA 之規範，將能實現頻譜共享和提高服務品質。ETSI TS 103 379 解決了 2.3-2.4GHz 頻段之 LSA 機制的訊息元素與協議，提出名為 LSA1 之協議標準，負責 LSA Controller 與 LSA Repository 及相關訊息內容之定義。期待未來能應用到其他的頻段，擴大 LSA 機制之實際使用。

另外，英國 Ofcom 亦從 2016 年積極討論 3.8-4.2GHz 頻段之共享可能性。遵循 Ofcom 於 2014 年提出之頻譜管理策略 (Spectrum Management Strategy)，尋找潛在可規劃作為共享之頻段。原先鎖定 3.6-4.2GHz，但考慮頻段上之既有使用者，現階段以 3.8-4.2GHz 為主要討論範圍。此頻段上之既有使用者包含：固定衛星服務、固定服務與由 UK Broadband 提供之行動無線接取服務。不過固定衛星與固定服務一直以來只在離散之區域提供服務，因此 Ofcom 期待將此頻段規劃做為共享頻段，提供行動通訊及相關新創應用服務使用。初步規劃為三層授權架構，包含：第一層之既有執照使用者、第二層之特定地理區域執照使用者、第三層之機會接取者。目前因為頻段同樣為 5G 重點潛在頻段，因此仍在探討如何進行相關規劃，以利未來 5G 或物聯網之創新應用服務得以取得合適之頻譜提供服務。

二、小結

歐盟之 LSA 共享機制與美國之 CBRS 機制初步鎖定之頻段分別是 2.3-2.4GHz 與 3.5GHz 頻段。主因歐盟國家的 2.3-2.4GHz 有許多國家目前是軍方在部分區域或 PMSE 在特殊時間特殊地點才會使用的頻段，因此，為解決未來頻譜短缺之困境，又期待達到區域頻譜

使用和諧之目的，積極推動 2.3-2.4GHz 頻段之共享。雖然共享機制尚未完全底定，但英國已計畫釋出 2.3GHz 及 3.5GHz，待未來機制明確後再行導入；同時探討 3.8-4.2GHz 作為共享創新頻段之可能性。美國率先選擇 3.5GHz 頻段則是因為既有使用者僅環繞海邊區域，幅員廣大的內陸應可好好活用此頻段；同時，期待透過此頻段之小區域動態共享之方式，帶動產業創新與新型態應用服務之推出。對於同樣面臨數據傳輸量爆炸性成長的我國而言，未來將也會面臨到頻譜短缺之課題，甚至是未來在追求國際頻譜規劃和諧的過程中，也會面臨到該頻譜上有無法搬遷的既有使用者之難題，因此，應積極進行共享機制與規範之探討，此部分長久以來一直有相關研究計畫進行著。因此，於本計畫中，研究團隊將不討論相關機制或規範之制定，而是關注適合共享之頻段。目前在歐美進行測試之 2.3GHz 與 3.5GHz 在國內均有既存使用者的頻段，因此，建議這兩個頻段可作為共享機制實驗之主要頻段，釐清國內共享機制之實作方式，協助擬定相關規則與規範，並明確未來是否實際導入歐盟或美國之共享方式。

但 3.5GHz 頻段同時為未來 5G 重要之潛在頻段，未來是否要想辦法清頻以完整乾淨之頻譜釋出，或是採共享方式釋出，仍需要持續觀察國際動向，並且與國內既存使用者之探討。不過，在 5G 潛在頻段中，亦存在許多共享頻段之可能性，除了追蹤各國對於 5G 頻譜釋出方式之規劃外，國內應採開放之態度進行共享之實驗，讓國內盡早建立基本資料庫與累積經驗，才不會於未來可釋出 5G 頻譜時無法真正落實共享機制。

面對國際為了 4G 品質提升或 5G 創新創新，而積極發展之動態共享，研究團隊建議國內短期應持續開放國際動態共享之熱門頻段 2.3GHz、3.5GHz 頻段進行之共享實驗，以掌握我國是否適合進行動態頻譜共享，及若要執行動態頻譜共享之相關重要條件或潛在課題。同時，追蹤歐美共享機制之發展動向，以瞭解國際推動方向與做法，作為國內未來實際導入時之參考。並且盤點國內其他潛在可做為共享之頻段，待國際共享機制較為成熟且國內實驗有一定成果後，正

式探討國內哪些頻段適合做為未來頻譜共享之資源，再偕同監理機關共同制定相關機制（包含頻譜資料庫等），一舉於國內展開動態共享之導入。此外，透過實驗場域之規劃與相關共享實驗之推動，除了對於未來制度建立有所貢獻外，亦可協助相關產業在追隨國際動態共享發展腳步，進行相關技術研發與產品製造實證。

另一方面，除了於單一頻段上導入新興共享架構之頻譜共享作法外，國際上亦積極發展將 LTE 技術活用於免執照頻段上與 Wifi 等技術共享頻段。主要分成 LTE-U (LTE in Unlicensed band) 與 LAA (Licensed Assisted Access,LAA)兩大發展方向。LTE-U 是 基於 3GPP Rel-12 發展，不具有 Listen-before-talk 規範，主要在美國、中國、韓國、印度等國家。LAA 則是規範於 3GPP Rel-13，具備 Listen-before-talk 規範，主要在歐洲與日本發展，不過美國 AT&T 認為此標準較完整較具有發展潛力。理論上此兩種技術可用於各種免執照頻段，不過目前以頻寬較大之 5GHz 為主。除了 美國 T-mobile 已於 2017 年 6 月商轉 LTE-U 之服務外，其他國家 尚在規劃階段。

近來國內已有部分業者積極期待國內亦將免執照頻段開放給 LTE 技術使用。從國際經驗來看，過去 WiFi 聯盟有提出 LTE 技術與 WiFi 共存之質疑，但經多次實驗測試，因 LTE-U 技術會優先尋找空閒頻道、或限制本身使用頻寬，因此對 WIFI 影響有限，甚至可增加 WIFI 使用體驗。因此，建議國內亦可積極整備相關管理辦法，探討優先將 5GHz 頻段開放給業者進行 LTE-U 或 LAA 之技術導入。

第四節　使用小細胞平臺的干擾測試與效能量測

美國聯邦通訊傳播委員會(FCC)於 2015 年 4 月宣布將釋出位在 3,550～3,700MHz，頻寬為 150MHz 的市民寬頻無線電服務(Citizens Broadband Radio Service, CBRS)頻段。值得注意的是，FCC 採用三層式頻譜接取架構釋出該頻段使用權，這意味著任何人都有機會利用該頻段。

為了評估室內型 3.5GHz 的 CBSD(Citizens Broadband Radio Service Device)在固定衛星業務(FSS)的下行鏈路的所產生的干擾，研究團隊採用商用室內型的小細胞基站來做 CBSD 的干擾測試，並分析整體的效能。對 FSS 系統主要考慮同頻干擾和鄰頻干擾，研究團隊會使用 3.5GHz 的小細胞基站當作 CBSD，研究團隊針對室內/室外的 CBSD 進行干擾測試與效能量測，主要分成兩個部分：

室內: 一個小細胞基站當作 CBSD 與使用訊號產生器做干擾測試

- CBSD 與訊號產生器使用相同頻率來分析小細胞基站的干擾狀況。
  - ■ 調整 CPE-UE 與小細胞基站(CBSD)的距離。
- CBSD 與訊號產生器使用鄰頻頻率來分析小細胞基站的干擾狀況。
  - ■ 調整 CPE-UE 與小細胞基站(CBSD)的距離。

室外: 一個小細胞基站當作 CBSD 與使用訊號產生器做干擾測試

- 調整 CBSD 的 Power 並讓訊號產生器使用相同頻率來分析小細胞基站的干擾狀況。
- 調整 CBSD 的 Power 並讓訊號產生器使用鄰頻頻率來分析小細胞基站的干擾狀況。

一、測試環境與效能量測

本計畫於中山大學行動寬頻實驗室室內中使用小細胞基站來建置 CBRS 的干擾測試環境，並使用訊號產生器做干擾來源，主要使用有支援 3.5GHz 的小細胞作為實驗平臺。使用相同頻率的干擾來量測一個小細胞基站的效能，另外使用鄰頻頻率的干擾來量測一個小細胞基站的效能，如圖 3- 8 所示。

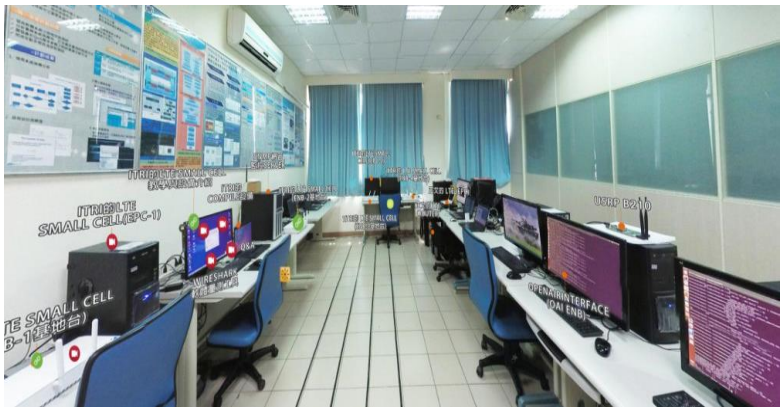


圖 3- 8：中山大學 CBRS 測試實驗室

資料來源：本計畫

本計畫使用一台小細胞來做 CBRS 與使用訊號產生器做干擾測試，一台 CPE 連接筆電當作 UE 端，各自連接到一台商用的 eNB 當作 CBSD，eNB 的頻率與訊號產生器都設定為 3.5GHz 讓它產生干擾，eNB 連接到 Switch，再連接到商用的一台 Router，內部網路 IP 為 10.102.81.254，外部網路 IP 為 140.117.89.81，主要用來做 NAT 網路位址轉換，再連接到中山大學機房的 Router，IP 為 140.117.89.254。商用 eNB 的 type 為 home eNB，UE 的內部網路 IP 位址從 10.111.0.1 開始分配。

3.5GHz 小細胞基站 CBSD 與訊號產生器使用相同頻率來分析小細胞基站的干擾狀況，調整 CPE-UE 與小細胞基站(CBSD)的距離。使用商用的 Small Cell 要調整 Auto 參數必須開啟工程模式頁面在停用狀態下才可調整。干擾測試部份本計畫使用 iperf 軟體來產生流量。戶外測試是將一個小細胞基站 CBSD 與 CPE-UE 搬至戶外與使用訊號產生器做干擾測試，並調整 CBSD 的 Power 並讓訊號產生器使用相同/鄰頻頻率來分析干擾情況，在兩個同頻頻率或鄰頻頻率的 eNB(CBSD)與訊號產生器干擾範圍之間做傳輸，觀察 UE 端 iperf 統計的訊號品質參數，例如 SINR、RSRP、RSRQ 等。在 UE 端使用 iperf 軟體觀察幾個效能評估參數，例如 Throughput、Packet Loss、Jitter 等參數。

本計畫 iperf 測試地點分別為 A、B、C 點，移動 CPE 與 UE 進行測試，eNB 與 CPE 之間的距離分為 A 點(0.5 公尺)、B 點(7 公尺)、C 點(14 公尺)，將向量訊號產生器(干擾源)與 eNB(CBSD)基站之間的距離分別為 A 點(1.5 公尺)、B 點(7 公尺)的兩個地點，EPC 透過 iperf DL 到 UE 端，CPE 與 UE 之間是使用 UTP 連接，測試架構如圖 3- 9 所示。

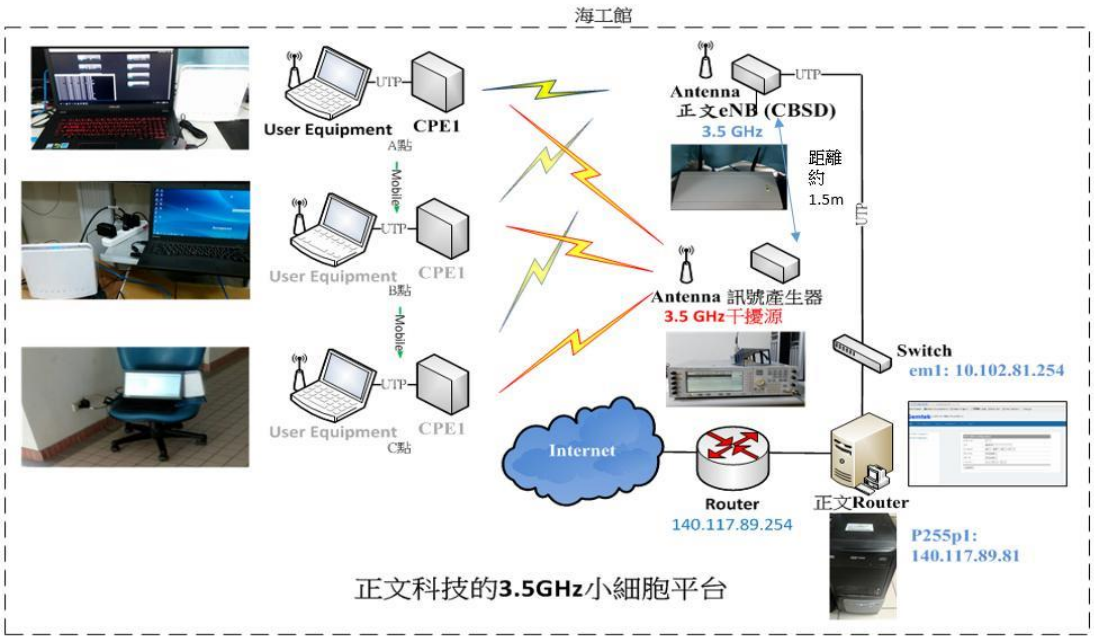


圖 3- 9：商用 eNB 當作 CBSD 的 CBRS 測試架構

資料來源：本計畫

本計畫運用小細胞基站來建置 CBRS 的測試架構，使用頻率都設定為同頻與鄰頻，使其產生干擾來進行測試，主要使用 iperf 來產生流量，測試在不同的干擾參數下所能傳輸最大的 Capacity，如 iperf 工具，來進行 eNB 的效能(Packet Delay、Throughput、Packet Loss、Jitter)進行量測，並有助於提升其效能改善，如下圖 3- 10 與圖 3- 11 所示。

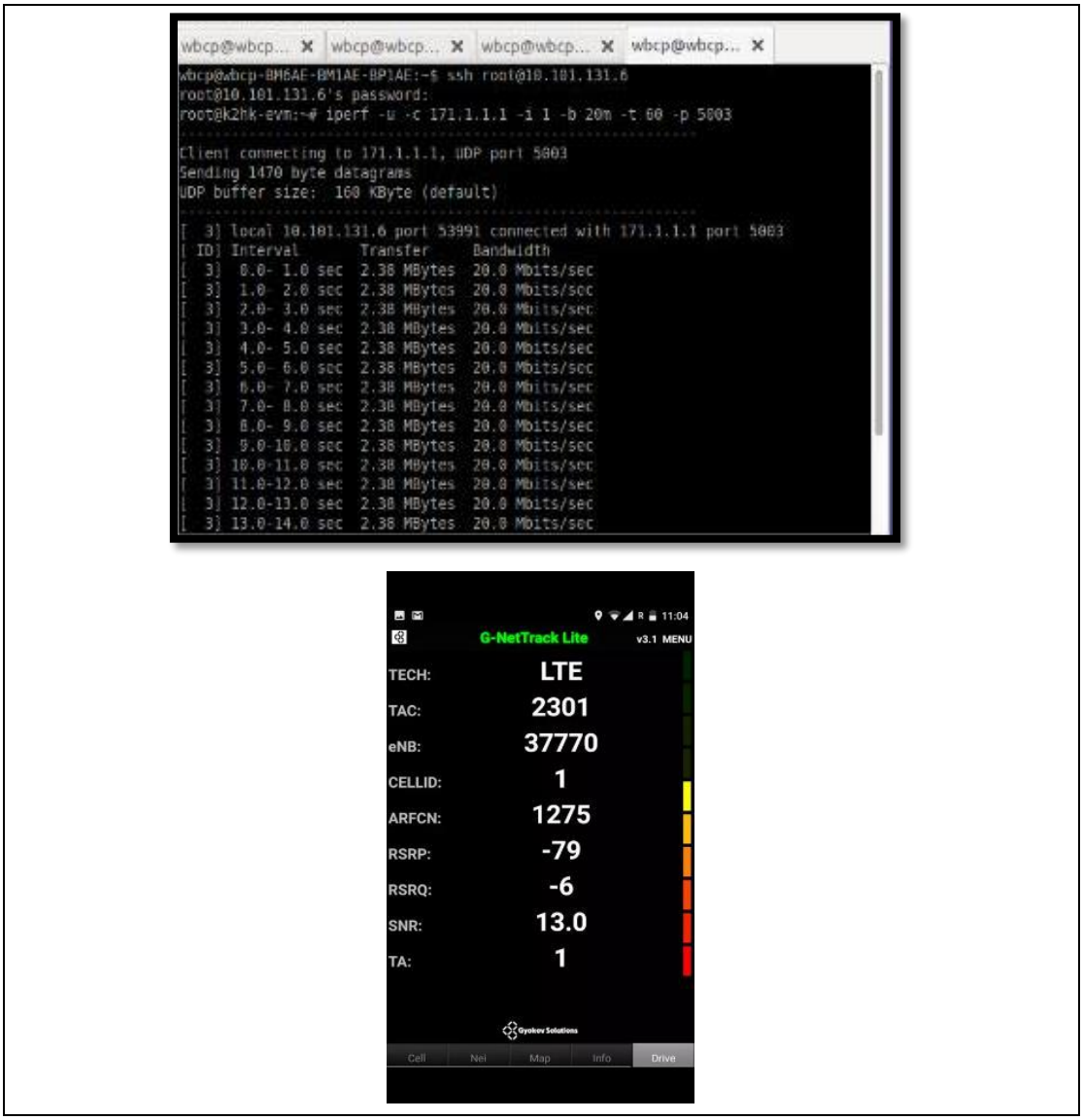


圖 3- 10：Iperf 與 UE 訊號品質

資料來源：本計畫



圖 3- 11：網路測試工具

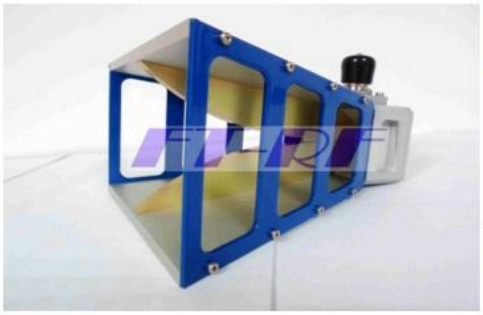
資料來源：本計畫

本計畫透過向量訊號產生器(E4438C ESG)（如下圖 3- 12 與圖 3- 13 所示）產生 3.5GHz 同頻與鄰頻的干擾源，經由干擾源來干擾 CPE-UE 端的訊號，由於向量訊號產生器(E4438C ESG)只支援最大 4MHz 的干擾頻寬，故研究團隊將設定訊號產生器產生的功率分別為 -10dBm 與 0dBm 兩種。向量訊號產生器所接的天線是指向性天線，其天線可支援 2GHz~18GHz 的寬頻天線，天線 Gain 6-20dBi，天線輻射垂直角 25 度、天線輻射水平角 39 度，所以使用的時候會轉向天線角度對目的地進行干擾。



圖 3- 12：向量訊號產生器

資料來源：本計畫



天線規格	
Frequency Range	2GHz - 18GHz
Gain	6-20 dBi
Vertical Beam-width	25 Deg
Horizontal Beam-width	39 Deg

圖 3- 13：天線規格

資料來源：本計畫

本計畫透過使用簡易型的頻譜分析儀來量測正文的 eNB(CBSD)與訊號產生器的頻率，如圖 3- 14 與圖 3- 15 所示。

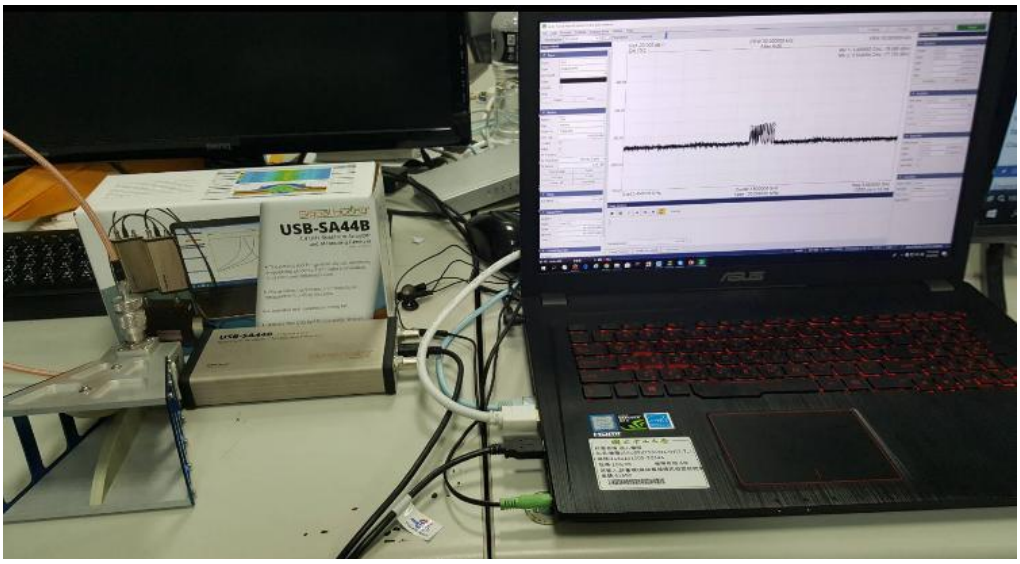


圖 3- 14：簡易型頻譜分析儀

資料來源：本計畫

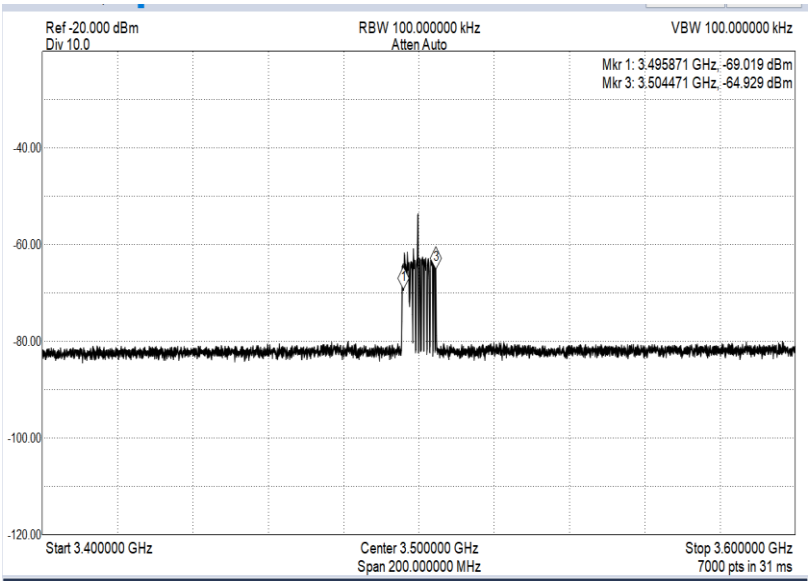


圖 3- 15：無干擾的 3.5GHz CBSD 的頻譜

資料來源：本計畫

本計畫使用正文基地臺在無干擾情況下的頻譜，其量測到的頻寬為 10MHz。若加入同頻的訊號產生器下頻譜可量測到的頻寬為 4MHz，如圖 3- 16。若開啟數位調變模式可以支援 10MHz。

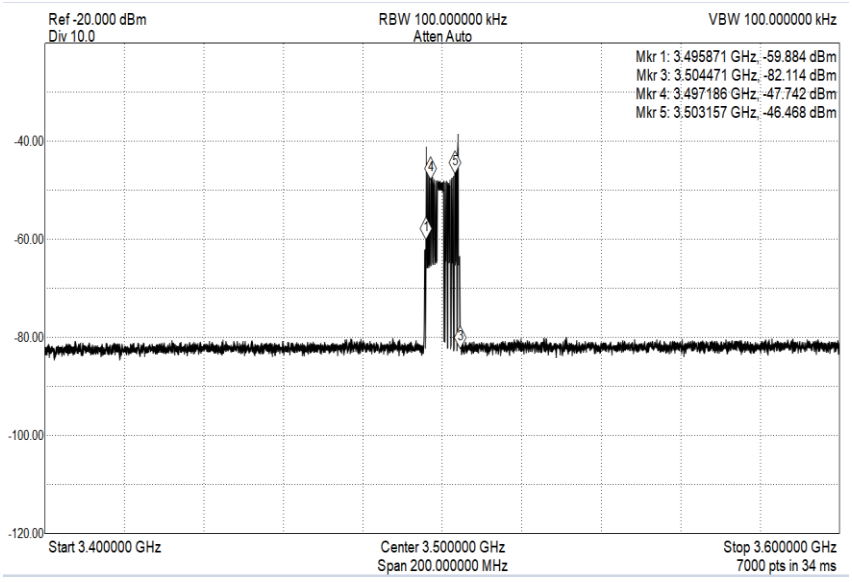


圖 3- 16：加入同頻訊號的頻譜

資料來源：本計畫

二、室內測試

(一) 測試方法

本計畫室內平面測試時，使用 3.5GHz 的 CBSD 與一台向量訊號產生器同頻與鄰頻進行干擾，透過 CPE-UE 接收訊號與效能量測，CBSD 的頻寬為 10MHz(3.495~3.505GHz)、power 設定為 17dBm，訊號產生器頻寬為 4MHz(同頻 3.498~3.502GHz)、(鄰頻 3.491~3.495GHz)其涵蓋範圍重疊，將分別測試 A、B 兩點的干擾源的同頻與鄰頻的干擾(RSRP、RSRQ、SINR)。如下圖 3- 17 所示。



圖 3- 17：干擾源在 A 點(離 eNB 基站約 1.5 公尺)

資料來源：本計畫

本計畫另調整 CPE-UE 與小細胞基站(CBSD)的距離（如下圖 3-18 所示），設計將 CPE-UE 放置在 A 點、B 點、C 點，距離基站 eNB 約 0.5 公尺，其距離基站 eNB 約 1.5 公尺(A 點)、7 公尺(B 點)、14 公尺(C 點)， 在 EPC 用 iperf 持續傳送一分鐘，其傳送為 22 Mbps，測試 UE 在 iperf 效能(Throughput、Packet Loss Ratio、Jitter)。

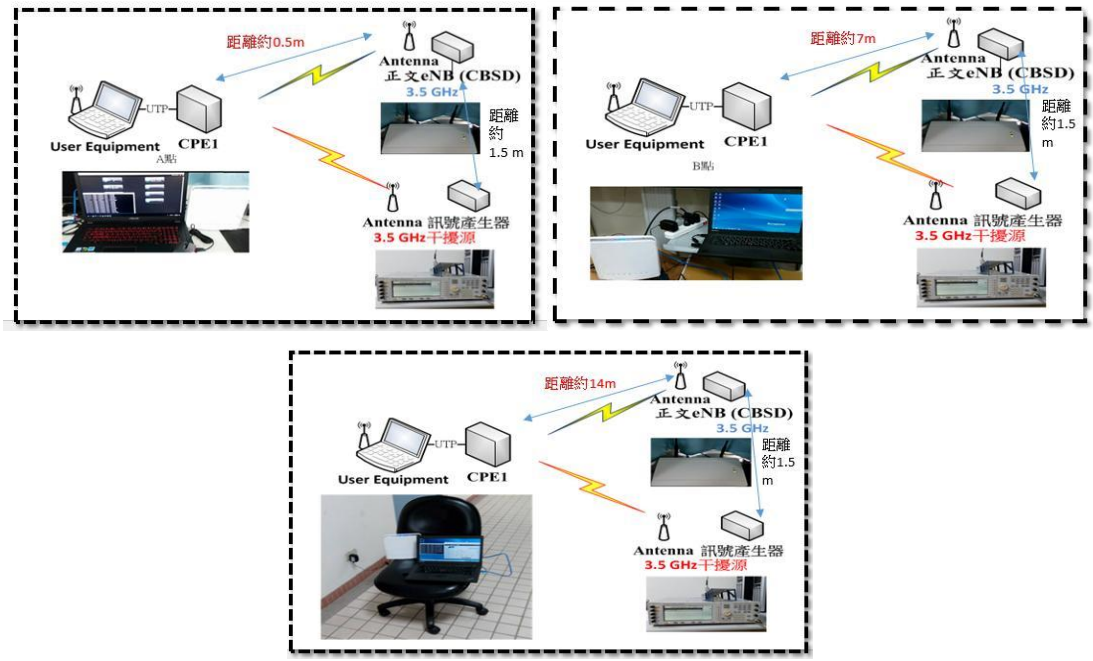


圖 3- 18：使用 iperf 做 UE 三個位置的量測

資料來源：本計畫

接著，研究團隊改變干擾源的位置，干擾源放置在 B 點，一樣進行移動到 CPE-UE 的 A、B、C 三點（如下所示），在 CBSD 使用預設 Power 為 17dBm 與訊號產生器頻率設定同頻與鄰頻進行干擾，其 Power 為-10dBm 與 0dBm，分別記錄 B 點的 CPE-UE 所量測到的 RSRP、SINR。

調整 CPE-UE 與小細胞基站(CBSD)的距離，將 CPE-UE 放置在 A 點、B 點、C 點，距離基站 eNB 約 07 公尺，干擾源放置在 A 點，其距離基站 eNB 約 1.5 公尺(A 點)、7 公尺(B 點)、14 公尺(C 點)， 在 EPC 用 iperf 持續傳送一分鐘，其 Transmission 為 22 Mbps，測試 UE 在 iperf 效能(Throughput、Packet Loss Ratio、Jitter)。

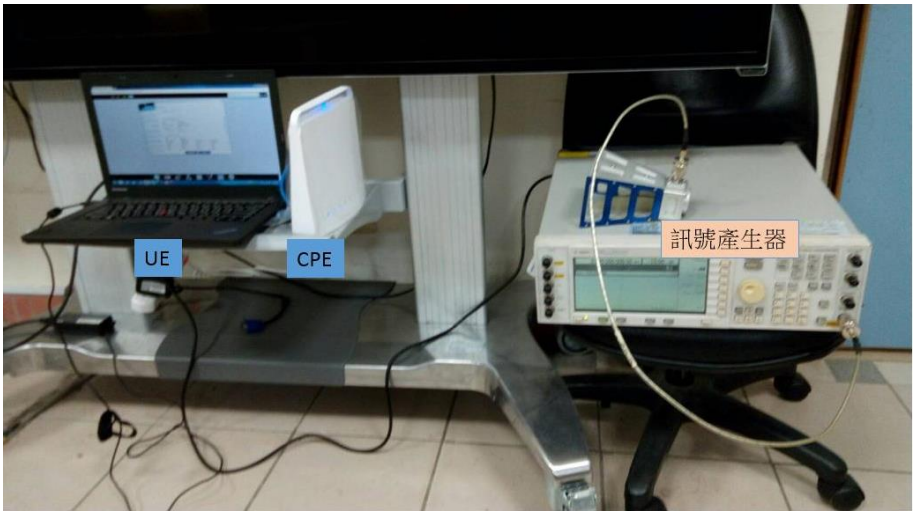


圖 3- 19：干擾源在 B 點(離 eNB 基站約 7 公尺)

資料來源：本計畫

(二) 測試結果

研究團隊針對 A 點進行量測基地臺 eNB(CBSD)與干擾源，進行移動到 CPE-UE 的 A、B、C 三點，在基地 eNB(CBSD)預設 Power 為 17dBm 與訊號產生器頻率設定同頻與鄰頻，其 Power 為-10dBm 與 0dBm，在沒有傳送 iperf 的情況下，分別記錄 CPE-UE 所量測到的 RSRP、SINR，量測結果如下表 3- 4、表 3- 5。

表 3- 4：同頻干擾源在 A 點(1.5 公尺)

同頻干擾源 (3.498~3.502GHz)	CPE-UE 在 A 點 (沒有 iperf)	CPE-UE 在 B 點 (沒有 iperf)	CPE-UE 在 C 點 (沒有 iperf)
基地臺 17dBm (全向性) (3.495~3.505GHz) 無干擾源	RSRP=-50 dBm SINR=30 dB	RSRP=-73 dBm SINR=30 dB	RSRP=-99 dBm SINR=22 dB
干擾源-訊號產生器 -10dBm(指向性)	RSRP=-50 dBm SINR=26 dB	RSRP=-74 dBm SINR=22 dB	RSRP=-99 dBm SINR=21 dB
干擾源-訊號產生器 0dBm(指向性)	RSRP=-50 dBm SINR=19 dB	RSRP=-71 dBm SINR=15 dB	RSRP=-100 dBm SINR=20 dB

表 3- 5：鄰頻干擾源在 A 點(1.5 公尺)

鄰頻干擾源 (3.491~3.495GHz)	CPE-UE 在 A 點 (沒有 iperf)	CPE-UE 在 B 點 (沒有 iperf)	CPE-UE 在 C 點 (沒有 iperf)
基地臺 17dBm (全向性) (3.495~3.505GHz) 無干擾源	RSRP=-50 dBm SINR=30 dB	RSRP=-73 dBm SINR=30 dB	RSRP=-99 dBm SINR=22 dB
干擾源-訊號產生器 -10dBm(指向性)	RSRP=-53 dBm SINR=28 dB	RSRP=-75 dBm SINR=28 dB	RSRP=-100 dBm SINR=20 dB
干擾源-訊號產生器 0dBm(指向性)	RSRP=-53 dBm SINR=28 dB	RSRP=-83 dBm SINR=28 dB	RSRP=-100 dBm SINR=19 dB

研究團隊觀察到在同頻無干擾的情況下，A、B 兩點在訊號干擾品質 SINR 在 30 dB 表示良好，再調整 CPE-UE 距離，距離越遠訊號強度 RSRP 越差，在干擾源-10 dBm 影響比干擾源 0 dBm 在 SINR 有很明顯的差距，表示干擾在干擾源 0 dBm 影響很大。

比較鄰頻干擾源時，A、B、C 三點的 RSRP 與同頻干擾源數值相差不多，在 SINR 影響沒有同頻干擾源的大。

1、 A 點干擾源測試

研究團隊測試 A 點的 Downlink (設定 AMC、Time：60 s)，使用 iperf 分別實際測試 5 次，以便於干擾比較，結果如表 3- 6 所示。於 eNB (CBSD) 無干擾的情況測試在 UE 的 Throughput 是 22Mbps，Packet Loss ratio 是 0.00036%，測試-10dBm 同頻干擾源在 UE 的 Throughput 是 3.596Mbps，Packet Loss ratio 是 82%，測試 0dBm 同頻干擾源在 UE 的 Throughput 是 3.506Mbps，Packet Loss ratio 是 82.4%，測試-10dBm 鄰頻干擾源在 UE 的 Throughput 是 7.336Mbps，Packet Loss ratio 是 61.4%，測試 0dBm 鄰頻干擾源在 UE 的 Throughput 是 7.682Mbps，Packet Loss ratio 是 64.4%。

表 3- 6：A 點干擾源與 CPE-UE 在 A 點的 Iperf 量測

A 點 eNB downlink CPE-UE					
Bandwidth : 10 MHz Transmission = 22 Mbps					
Iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
無干擾 RSRP: -59 ~ -60 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 29~30 dB	22 Mbps	0.8924 ms	0.4	112351	0.00036 %
同頻干擾源-10dBm RSRP: -54 ~ -55 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 24~29 dB	3.596 Mbps	2.2962 ms	92314.8	112354.2	82%
同頻干擾源 0dBm RSRP: -45 ~ -54 dBm RSRQ: -8~ -9 dB SINR: 19~27 dB	3.506 Mbps	2.6268 ms	92456.4	112354.8	82.4%
鄰頻干擾源-10dBm RSRP: -53~ -54 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 27~28 dB	7.336Mbps	1.616ms	69902.2	112351.4	61.4%
鄰頻干擾源 0dBm RSRP: -53 ~ -58 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 28~29 dB	7.682Mbps	1.6224ms	72463.2	112348.6	64.4%

研究團隊測試 B 點，使用 iperf 分別實際測試 5 次，如表 3- 7 所示，在 eNB(CBSD)無干擾的情況測試在 UE 的 Throughput 是 21.98 Mbps，Packet Loss ratio 是 0.256%，測試同頻有干擾源-10dBm 在 UE 的 Throughput 是 4.16Mbps，Packet Loss ratio 是 77.6%，測試同頻有干擾源 0dBm 在 UE 的 Throughput 是 0.525Mbps，Packet Loss ratio 是 95.6%，測試鄰頻有干擾源-10dBm 在 UE 的 Throughput 是 17.82Mbps，Packet Loss ratio 是 17.76%，測試鄰頻有干擾源 0dBm 在 UE 的 Throughput 是 17Mbps，Packet Loss ratio 是 21.4%。

表 3- 7：A 點干擾源與 CPE-UE 在 B 點的 Iperf 量測

B 點 eNB downlink CPE-UE					
Bandwidth : 10 MHz Transmission = 22 Mbps					
Iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
無干擾 RSRP: -74 ~ -76 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 28~29 dB	21.98 Mbps	1.176 ms	268.2	112350.8	0.256%
同頻干擾源-10dBm RSRP: -69 ~ -70 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 14~24 dB	4.16 Mbps	5.8538 ms	87454.2	112354.6	77.6%
同頻干擾源 0dBm RSRP: -72 ~ -76 dBm RSRQ: -7~ -12 dB SINR: 5~14 dB	0.525 Mbps	45.031 ms	107431.6	112363.8	95.6%
鄰頻干擾源-10dBm RSRP: -82 ~ -84 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 27~28 dB	17.82Mbps	1.1318ms	19809.6	112347.6	17.76%
鄰頻干擾源 0dBm RSRP: -83 ~ -85 dBm RSRQ: -8~ -9 dB SINR: 27~ 28 dB	17Mbps	1.162ms	24146.8	112346.4	21.4%

研究團隊測試 C 點，使用 iperf 分別實際測試 5 次，如表 3- 8 所示，在 eNB(CBSD)無干擾的情況測試在 UE 的 Throughput 是 21.22 Mbps，Packet Loss ratio 是 3.13%，測試有干擾源-10dBm 在 UE 的 Throughput 是 6.426Mbps，Packet Loss ratio 是 68.4%，測試有干擾源 0dBm 在 UE 的 Throughput 是 5.848Mbps，Packet Loss ratio 是 72.4%，測試鄰頻有干擾源-10dBm 在 UE 的 Throughput 是 21.74Mbps，Packet Loss ratio 是 0.998%，測試鄰頻有干擾源 0dBm 在 UE 的 Throughput 是 21.78Mbps，Packet Loss ratio 是 1.052%。

表 3- 8：A 點干擾源與 CPE-UE 在 C 點的 Iperf 量測

C 點 eNB downlink CPE-UE					
Bandwidth : 10 MHz Transmission = 22 Mbps					
Iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
無干擾 RSRP: -102 ~ -105dBm RSRQ: -8~ -10 dB SINR: 15~17 dB	21.22 Mbps	1.1678 ms	3520.4	112352.8	3.13 %
同頻干擾源-10dBm RSRP: -99 ~ -102dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 17~22 dB	6.426 Mbps	3.465 ms	770009.4	112351.2	68.4%
同頻干擾源 0dBm RSRP: -107~111 dBm RSRQ: -8~ -9 dB SINR: 9~10 dB	5.848 Mbps	2.5248 ms	81146.6	112352	72.4%
鄰頻干擾源-10dBm RSRP: -100 ~ -103dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 18~20 dB	21.74Mbps	1.0004ms	1123	112350.8	0.998%
鄰頻干擾源 0dBm RSRP: -97~100 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 19~22 dB	21.78Mbps	0.9664ms	1191.8	112350.8	1.052%

2、 B 點干擾源測試

研究團隊比較 B 點的同頻干擾源，在 A、B、C 三點的 RSRP 與 SINR，有很明顯的差距，因在 B 點干擾源與 B 點的 CPE-UE 最近，干擾情況尤其嚴重，與 CPE-UE 在 C 點都有嚴重的干擾，導致開啟干擾源 10dBm 與 0dBm 的時候，會發生無法連線的情況，如表 3- 9 與表 3- 10。

表 3- 9：同頻干擾源在 B 點(7 公尺)

同頻干擾源 (3.498~3.502GHz)	CPE-UE 在 A 點	CPE-UE 在 B 點	CPE-UE 在 C 點
基地臺 17dBm (全向性) 無干擾源	RSRP=-54 dBm SINR=30 dB	RSRP=-73 dBm SINR=29 dB	RSRP=-102 dBm SINR=15 dB
干擾源-訊號產生器 -10dBm(指向性)	RSRP=-53 dBm SINR=27 dB	RSRP=X SINR=X	RSRP=-100 dBm SINR=4 dB
干擾源-訊號產生器 0dBm(指向性)	RSRP=-54 dBm SINR=23 dB	RSRP=X SINR=X	RSRP=X SINR=X

表 3- 10：鄰頻干擾源在 B 點(7 公尺)

鄰頻干擾源 (3.491~3.495GHz)	CPE-UE 在 A 點 (沒有 iperf)	CPE-UE 在 B 點 (沒有 iperf)	CPE-UE 在 C 點 (沒有 iperf)
基地臺 17dBm (全向性) (3.495~3.505GHz) 無干擾源	RSRP=-50 dBm SINR=30 dB	RSRP=-73 dBm SINR=30 dB	RSRP=-99 dBm SINR=22 dB
干擾源-訊號產生器 -10dBm(指向性)	RSRP=-51 dBm SINR=28 dB	RSRP=-77 dBm SINR=29 dB	RSRP=-100 dBm SINR=23 dB
干擾源-訊號產生器 0dBm(指向性)	RSRP=-50 dBm SINR=29 dB	RSRP=-77 dBm SINR=29 dB	RSRP=-102 dBm SINR=21 dB

研究團隊 B 點的鄰頻干擾源，在開啟干擾源的時候，CPE-UE 在 A 點、B 點、C 點都有一些干擾的情況， SINR 都有下降 1~2dB 的趨勢。

研究團隊在 B 點進行干擾源測試，在 A 點的 CPE-UE 測試，使用 iperf 分別實際測試 5 次，如表 3- 11、表 3- 12 與表 3- 13 所示。在 eNB(CBSD)無干擾的情況測試在 UE 的 Throughput 是 22 Mbps，Packet Loss ratio 是 0.00036 %，測試同頻有干擾源-10dBm 在 UE 的 Throughput 是 22 Mbps，Packet Loss ratio 是 0.00089%，測試同頻有干擾源 0dBm 在 UE 的 Throughput 是 10.37 Mbps，Packet Loss ratio 是

53%，有兩次連線失敗，測試鄰頻有干擾源-10dBm 在 UE 的 Throughput 是 21.62 Mbps，Packet Loss ratio 是 0.733%，測試鄰頻有干擾源 0dBm 在 UE 的 Throughput 是 16.52 Mbps，Packet Loss ratio 是 23%。

表 3- 11：B 點干擾源與 CPE-UE 在 A 點的 Iperf 量測

A 點 eNB downlink CPE-UE					
Bandwidth : 10 MHz Transmission = 22 Mbps					
Iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
無干擾 RSRP: -59 ~ -60 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 29~30 dB	22 Mbps	0.8924 ms	0.4	112351	0.00036 %
同頻干擾源-10dBm RSRP: -54 ~ -55 dBm RSRQ: -9~ -10 dB SINR: 27~28 dB	22 Mbps	0.641ms	1	112361	0.00089%
同頻干擾源 0dBm RSRP: -54 ~ -55 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 20 ~ 23 dB	10.37 Mbps	0.772ms	60155	112350	53% (2 次無法連線)
鄰頻干擾源-10dBm RSRP: -51 ~ -62 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 28~29 dB	21.62Mbps	0.713ms	829.6	112350	0.733%
鄰頻干擾源 0dBm RSRP: -48 ~ -64 dBm RSRQ: -8~ -9 dB SINR: 28~29 dB	16.52Mbps	0.7578ms	25925.2	112352	23%

研究團隊在B點的CPE-UE測試，使用 iperf 分別實際測試5次，如表 3- 12 所示，在 eNB(CBSD) 無干擾的情況測試時，UE 的 Throughput 是 21.98 Mbps，Packet Loss ratio 是 0.256 %，測試同頻有干擾源-10dBm 在 UE 的 Throughput 是一直斷線，無法量測 Packet Loss ratio，測試同頻有干擾源 0dBm 在 UE 的 Throughput 也是一直斷線，測試鄰頻有干擾源-10dBm 在 UE 的 Throughput 是 13.04 Mbps，Packet Loss ratio 是 39.2%，測試鄰頻有干擾源 0dBm 在 UE 的

Throughput 是 6.414 Mbps，Packet Loss ratio 是 68.6%，可以發現在 B 點干擾最嚴重，C 點干擾次之，鄰頻的干擾也最嚴重。

表 3- 12：B 點干擾源與 CPE-UE 在 B 點的 Iperf 量測

B 點 eNB downlink CPE-UE					
Bandwidth : 10 MHz Transmission = 22 Mbps					
Iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
無干擾 RSRP: -59 ~ -60 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 29~30 dB	21.98 Mbps	1.176 ms	268.2	112350.8	0.256%
同頻干擾源-10dBm RSRP: X ~ X dBm RSRQ: X dB SINR: X dB	一直斷線	一直斷線	一直斷線	一直斷線	一直斷線
同頻干擾源 0dBm RSRP: X ~ X dBm RSRQ: X dB SINR: X dB	一直斷線	一直斷線	一直斷線	一直斷線	一直斷線
鄰頻干擾源-10dBm RSRP: -77 ~ -81 dBm RSRQ: -8~ -9 dB SINR: 27~29 dB	13.04Mbps	1.4112ms	42134	112351.4	39.2%
鄰頻干擾源 0dBm RSRP: -75 ~ -81 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 27~29 dB	6.414Mbps	3.3778ms	77345.4	112348	68.6%

研究團隊在 C 點的 CPE-UE 測試，使用 iperf 分別實際測試 5 次，如表 3- 13 所示，在 eNB(CBSD) 無干擾的情況測試在 UE 的 Throughput 是 21.22 Mbps，Packet Loss ratio 是 3.13 %，測試同頻有干擾源-10dBm 在 UE 的 Throughput 是 22 Mbps，Packet Loss ratio 是 0.00089%，測試同頻有干擾源 0dBm 在 UE 的 Throughput 也是一直斷線，測試鄰頻有干擾源-10dBm 在 UE 的 Throughput 是 20.82 Mbps，Packet Loss ratio 是 5%，測試鄰頻有干擾源 0dBm 在 UE 的 Throughput 是 19Mbps，Packet Loss ratio 是 12.54%。

表 3- 13：B 點干擾源與 CPE-UE 在 C 點的 Iperf 量測

C 點 eNB downlink CPE-UE					
Bandwidth : 10 MHz Transmission = 22 Mbps					
Iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
無干擾 RSRP: -102 ~ -105dBm RSRQ: -8~ -10 dB SINR: 15~17 dB	21.22 Mbps	1.1678 ms	3520.4	112352.8	3.13 %
同頻干擾源-10dBm RSRP: -97 ~ -99 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 18~21 dB	22 Mbps	0.641	1	112361	0.00089%
同頻干擾源 0dBm RSRP: X ~ X dBm RSRQ: X dB SINR: X dB	一直斷線	一直斷線	一直斷線	一直斷線	一直斷線
鄰頻干擾源-10dBm RSRP: -99 ~ -100 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 21~23 dB	20.82Mbps	1.0488ms	5632.4	112350.2	5%
鄰頻干擾源-10dBm RSRP: -99 ~ -102 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 19~21 dB	19Mbps	0.946ms	14300	112346.8	12.54%

三、戶外干擾測試

(一) 測試方法

研究團隊在戶外進行測試，由於在戶外可以收到不同的頻率，中山大學鄰近海邊，附近有漁船與衛星接收站頻率為 3.4 GHz ~ 4.2 GHz 的頻段，所以有可能會對 CBSD 有干擾的情況。

研究團隊測試將 CBSD 與 CPE-UE 放置戶外，使用向量訊號產生器做同頻與鄰頻的干擾測試，CBSD 的頻寬 10MHz(3.495~3.505GHz)、Power 設定為 17dBm，訊號產生器頻寬為 4MHz(同頻 3.498~3.502GHz)、(鄰頻 3.491~3.495GHz)其涵蓋範圍重疊，將測試同頻與鄰頻的干擾(RSRP、RSRQ、SINR) 。

研究團隊將 CPE-UE 與(CBSD)的距離相差 3 公尺，向量訊號產生器放置在 A 點，使用 iperf 持續傳送一分鐘，一樣傳送 22 Mbps 到 UE，調整 CBSD 的 Power 分別為 17dBm 與 0.78dBm，並讓訊號產生器使用相同頻率來分析小細胞基站的干擾狀況，測試 UE 在 iperf 測量效能(Throughput、Packet Loss Ratio、Jitter)。

另外研究團隊也測試調整 CBSD 的 Power 並讓訊號產生器使用鄰頻頻率來分析小細胞基站的干擾狀況，測試 UE 在 iperf 測量效能(Throughput、Packet Loss Ratio、Jitter)。



圖 3- 20：戶外測試架構

資料來源：本計畫

(二) 測試結果

研究團隊比較戶外的同頻干擾源，如表 3- 14 所示，在 A、B、C 三點的 RSRP 與 SINR，在戶外與室內的 RSRP 與 SINR 就相差很多，在室內的 SINR 為 30dB，與戶外相差 2 dB 左右，將戶外的 CBSD Power 改成 0.78dBm，SINR 下降到 22dB，接著比較開啟干擾源 10dBm 與 0dBm，SINR 下降 18dB，可以看出干擾的嚴重性，在戶外 CBSD Power 0.78dB 會無法連線的情況。

研究結果顯示 A、B、C 三點的 RSRP 與同頻干擾源數值相差不多，在 SINR 影響沒有同頻干擾源的大，如下表 3- 14 與表 3- 15。

表 3- 14：戶外同頻干擾訊號的量測

同頻干擾源(3.498~3.502GHz)	窗外 CPE-UE
戶外基地臺(全向性) (3.495~3.505GHz)Power:17dBm 有戶外干擾源	RSRP=-83 dBm SINR8=28 dB
戶外基地臺(全向性) (3.495~3.505GHz)Power:0.78dBm 有戶外干擾源	RSRP=-100 dBm SINR=22 dB
干擾源-訊號產生器:-10dBm(指向性) 基地臺 Power:17dBm	RSRP=-88 dBm SINR=27 dB
干擾源-訊號產生器:0dBm(指向性) 基地臺 Power:17dBm	RSRP=-91 dBm SINR=9 dB
干擾源-訊號產生器 -10dBm(指向性) 基地臺 Power:0.78dBm	RSRP=-107 dBm SINR=11 dB
干擾源-訊號產生器 0dBm(指向性) 基地臺 Power:0.78dBm	RSRP= X dBm SINR=X dB

表 3- 15：戶外鄰頻干擾訊號的量測

鄰頻干擾源(3.491~3.495GHz)	窗外 CPE-UE
戶外基地臺(全向性) (3.495~3.505GHz)Power:17dBm 有戶外干擾源	RSRP=-83 dBm SINR=28 dB
戶外基地臺(全向性) (3.495~3.505GHz)Power:0.78dBm 有戶外干擾源	RSRP=-100 dBm SINR=22 dB
干擾源-訊號產生器:-10dBm(指向性) 基地臺 Power:17dBm	RSRP=-88 dBm SINR=27 dB
干擾源-訊號產生器:0dBm(指向性) 基地臺 Power:17dBm	RSRP=-89 dBm SINR=26 dB
干擾源-訊號產生器 -10dBm(指向性) 基地臺 Power:0.78dBm	RSRP=-104 dBm SINR=18 dB
干擾源-訊號產生器 0dBm(指向性) 基地臺 Power:0.78dBm	RSRP=-104 dBm SINR=18 dB

1、戶外同頻干擾測試

研究團隊測試戶外同頻干擾與調整 Power，使用 iperf 分別實際測試 5 次，以便於干擾比較。如表 3- 16 所示。

在 eNB(CBSD) Power 17 dBm 無干擾的情況測試在 UE 的 Throughput 是 21.88 Mbps，Packet Loss ratio 是 0.696%，在 eNB(CBSD) Power 0.78 dBm 無干擾的情況，Throughput 是 21.16 Mbps，Packet Loss ratio 是 3.278%。

接著比較 eNB(CBSD) Power 17 dBm，同頻干擾源-10dBm 的 Throughput 是 9.534 Mbps，Packet Loss ratio 是 55.4%，同頻干擾源 0dBm 的 Throughput 是 5.282 Mbps，Packet Loss ratio 是 74.2%，兩者比較 Throughput 相差 4 Mbps，Packet Loss ratio 相差約 20%，在戶外 CBSD 0.78 dBm，同頻干擾源-10dBm 的 Throughput 是 7.094 Mbps，Packet Loss ratio 是 65.6%，戶外 CBSD 0.78dBm，同頻干擾源 0dBm 會一直斷線。

表 3- 16：戶外同頻使用 Iperf 的量測

戶外 eNB downlink CPE-UE					
Bandwidth : 10 MHz Transmission = 22 Mbps					
Iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
戶外無干擾 CBSD 17 dBm RSRP: -83 ~ -84 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 27~28 dB	21.88Mbps	3.0804ms	795.2	112355.8	0.696%
戶外無干擾源 CBSD 0.78dBm RSRP: -100~ -101dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 21~22 dB	21.16Mbps	1.2402ms	3691.4	23369.2	3.278%
戶外 CBSD 17 dBm 同頻干擾源-10dBm RSRP: -88~ -90dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 25~27dB	9.534Mbps	2.1992ms	62353.2	112355.4	55.4%
戶外 CBSD 17 dBm 同頻干擾源 0dBm RSRP: -88 ~ -91 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 7~11 dB	5.282Mbps	4.8944ms	83124	112354.2	74.2%
戶外 CBSD 0.78 dBm 同頻干擾源-10dBm RSRP: -107 ~ -108dBm RSRQ: -8~ -9 dB SINR: 3~11 dB	7.094Mbps	4.0036ms	73831.6	112352.4	65.6%
戶外 CBSD 0.78dBm 同頻干擾源 0dBm RSRP: x dBm RSRQ: x dB SINR: x dB	一直斷線	一直斷線	一直斷線	一直斷線	一直斷線

2、戶外鄰頻干擾測試

研究團隊同時測試戶外鄰頻干擾與調整 Power，使用 iperf 分別實際測試 5 次，以便於干擾比較。如表 3- 17 所示。

在 eNB(CBSD) Powe17 dBm 無干擾的情況測試在 UE 的 Throughput 是 21.88 Mbps，Packet Loss ratio 是 0.696%，在 eNB(CBSD) Powe0.78 dBm 無干擾的情況，Throughput 是 21.16 Mbps，Packet Loss ratio 是 3.278%，接著比較 eNB(CBSD) Powe17 dBm，鄰頻干擾源-10dBm 的 Throughput 是 21.82 Mbps，Packet Loss ratio 是 0.894%，鄰頻干擾源 0dBm 的 Throughput 是 21.7 Mbps，Packet Loss ratio 是 1.478%，在戶外 CBSD 0.78 dBm，同頻干擾源-10dBm 的 Throughput 是 20.66 Mbps，Packet Loss ratio 是 6.28%，戶外 CBSD 0.78dBm，同頻干擾源 0dBm 的 Throughput 是 17.5 Mbps，Packet Loss ratio 是 18.8%。

表 3- 17：戶外鄰頻使用 Iperf 的量測

A 點 eNB downlink CPE-UE					
Bandwidth : 10 MHz Transmission = 22 Mbps					
Iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
無干擾 CBSD 17 dBm RSRP: -83 ~ -84 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 27~28 dB	21.88Mbps	3.0804ms	795.2	112355.8	0.696%
無干擾源 CBSD 0.78dBm RSRP: -100~ -101dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 21~22 dB	21.16Mbps	1.2402ms	3691.4	23369.2	3.278%
CBSD 17 dBm 鄰頻干擾源-10dBm RSRP: -88~ -90dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 26~27dB	21.82Mbps	0.9976ms	982.6	112353.6	0.894%
CBSD 17 dBm 鄰頻干擾源 0dBm RSRP: -88 ~ -89 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 25~27 dB	21.7Mbps	0.6328ms	1671.4	112351	1.478%
CBSD 0.78 dBm 鄰頻干擾源-10dBm RSRP:-103 ~ -104 dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 18~20 dB	20.66Mbps	0.76ms	7100.8	112352.8	6.28%
CBSD 0.78dBm 鄰頻干擾源 0dBm RSRP: -103 ~ -104dBm RSRQ: -7~ -9 dB SINR: 17~18 dB	17.5Mbps	1.006ms	17003	112351.2	18.8%

四、納入相關 TDD 系統相對於 FDD 系統干擾的要求與規範

本計畫於西子灣海景餐廳有架設正文的 LTE FDD 設備做 IP Cam 的直播，在上傳下載各別使用不同的頻段，雖然所佔的頻寬需求比較大，但是在上傳與下載時的干擾情況比較小。

本計畫使用 3.5GHz 的正文 X-Cell 基站設備，它只支援 LTE TDD，為了凸顯 TDD 與 FDD 的不同，研究團隊在實驗中架設兩台 CPE-UE 透過 X-Cell 基站進行上傳與下載，如圖 3- 21 所示，如果只有一台 CPE-UE 使用 iperf 透過 EPC 下載資料(Down link)則可以傳送 22 Mbps，但是如果是兩台 CPE-UE 對傳(一台上傳一台下載)的情況下，CPE1 與 CPE2 的距離相距約 7 公尺，如表 3- 18 所示，CPE1 傳給 CPE2 的 Iperf 的 Throughput 只剩下 3 Mbps，因為 packet loss ratio 只有 0.0158 %，研究團隊推論得到在 TDD 的環境下訊號干擾情況也是很小，而 Throughput 由 22 Mbps 降為 3 Mbps 的主要原因有兩點，第一點是因為 CPE 上傳(Uplink)到 X-Cell 基站的效能不佳，第二點是因為 X-Cell 基站在轉傳封包時的效能不佳。

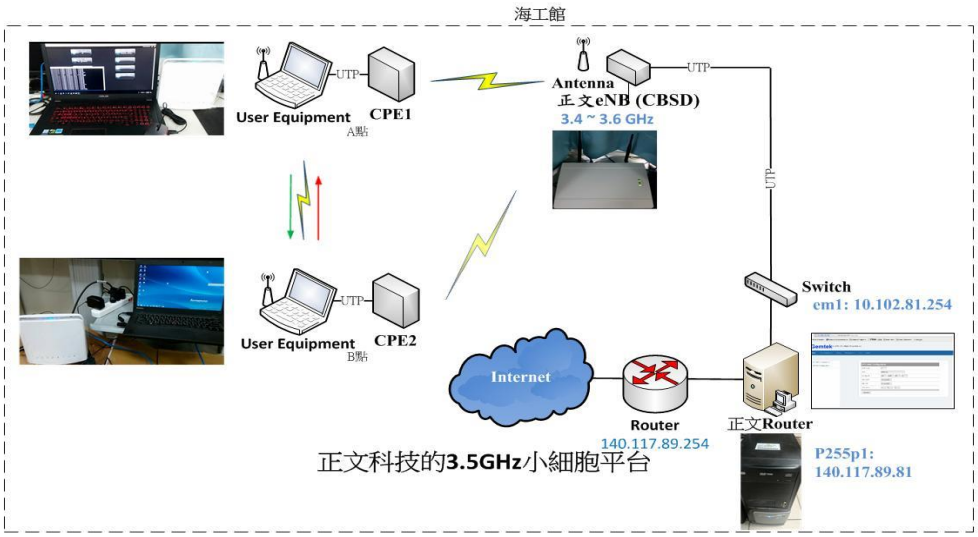


圖 3- 21：CPE1 與 CPE2 上傳與下載的架構

資料來源：本計畫

表 3- 18：CPE1 與 CPE2 對傳 Iperf 效能

A 點 eNB downlink CPE-UE					
Bandwidth : 10 MHz Transmission = 22 Mbps					
Iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
無干擾 CBSD 17 dBm RSRP: -61 ~ -62 dBm RSRQ: -7~ -8 dB SINR: 29~30 dB	3 Mbps	6.1692ms	2.4	15303.6	0.0158 %

五、室內與室外 CBSD 的干擾測試分析結果

表 3- 19：室內與室外沒有架設干擾源的結果分析

項目	結果分析
室內沒有架設干擾源	因為室內沒有架設干擾源，所以 CBSD 與 CPE 的距離增加到 14 公尺時，PLR 只略微增加 3%。
室外沒有架設干擾源	雖然室外無干擾源，但是因為有其他的雜訊干擾，所以 PLR 比室內高 10%。

表 3- 20：室內架設干擾源且距離 CBSD 為 0.3 公尺時的結果分析

項目	結果分析
同頻干擾的 PLR	不論 0dBm 或-10dBm 的干擾源， CBSD 只有在與 CPE 距離 7 公尺時，PLR 才會比較大。
鄰頻干擾的 PLR	不論 0dBm 或-10dBm 的干擾源，PLR 會隨 CBSD 與 CPE 的距離越遠而趨近於 0。
同頻干擾與鄰頻干擾 PLR	同頻比鄰頻干擾的 PLR 在 CBSD 與 CPE 距離 7 公尺時呈現 4 倍的差距。

表 3- 21：室內架設干擾源且距離 CBSD 為 7 公尺時的結果分析

項目	結果分析

同頻干擾的 PLR	不論 0dBm 或-10dBm 的干擾源，在 CBSD 與 CPE 距離 7 公尺時，完全無法進行連線，但是在-10dBm 的干擾源下，都會連線成功。
鄰頻干擾的 PLR	0dBm 干擾源的 PLR 比起-10dBm 干擾源的 PLR 大 1.5~2 倍。
同頻干擾與鄰頻干擾的 PLR	同頻比鄰頻干擾的 PLR 在 CBSD 與 CPE 距離 0.3 公尺時呈現 1 倍的差距。

表 3- 22：室外架設干擾源且距離 CBSD 為 0.3 公尺時的結果分析

項目	結果分析
同頻干擾的 PLR	干擾源-10dBm，CBSD 在 17dBm 時比起在 0.78dBm 時的 PLR 小 10%。 干擾源 0dBm，CBSD 在 17dBm 時 PLR 約 74%，而在 0.78dBm 時無法連線成功。
鄰頻干擾的 PLR	鄰頻干擾比同頻干擾的 PLR 小 55%。

表 3- 19 為室內與室外沒有架設干擾源的結果分析，表 3- 20 為室內架設干擾源且距離 CBSD 為 0.3 公尺時的結果分析，表 3- 21 為室內架設干擾源且距離 CBSD 為 7 公尺時的結果分析，表 3- 22 為室外架設干擾源且距離 CBSD 為 0.3 公尺時的結果分析。

結論：從測試的結果中，本計畫建議可以降低干擾的方式

1. 在室內時，當 CBSD 與 UE 端距離為 7 公尺時，將 CBSD 的 Power 提高 17dBm，UE 端量測的 SINR 為 30dB 以上，可以有效降低干擾。
2. 在室外時，當 CBSD 與 UE 端距離為 0.3 公尺時，將 CBSD 的 Power 提高 17dBm 與鄰頻的 Power 相差約 20~30dBm 干擾時，UE 端量測的 SINR 為 25~27dB 以上，可以有效降低干擾。

第五節　使用 SNMP 實作 PAL 與 GAA 的頻段轉移

一、實作環境

如圖 3- 22 所示，研究團隊在海工館實驗室建置兩台正文科技的 X-Cell 小基站作為 CBSD 設備。使用一台 CBSD1 當作 GAA(General Authorized Access)為一般資源存取，一台 CBSD2 當作 PAL(Priority Access License)為優先存取授權在頻譜資源使用上有高使用權，另外包含有兩台 CPE(Customer Premise Equipment)可以跟 X-Cell 連線測試。



圖 3- 22：正文科技兩台 CBSD 主機

如圖 3- 23 所示，在網路架構圖中研究團隊使用兩台正文的 X-Cell 機器來實作 GAA 與 PAL 使用頻率的轉移，研究團隊預設 CBSD1(GAA)正在使用 3.5 GHz，當 CBSD2(PAL)需要使用該頻率時就可以將 CBSD1(GAA)使用的 3.5 GHz 頻率強制執行釋放，讓 CBSD2(PAL)來使用此頻率。

研究團隊使用 SNMP(Simple Network Management Protocol)簡易網路管理功能，修改兩台 CBSD 的設定頻率，來對 GAA 強制執行頻率釋放，再將釋放的頻率提供給 PAL 使用。

研究團隊會使用 CPE 設備連接筆電，在筆電上觀看 CPE 畫面顯示的頻率與 IP 參數，檢視 CPE 從 GAA 基地台連線中斷後是否有連線至 PAL 基地台。

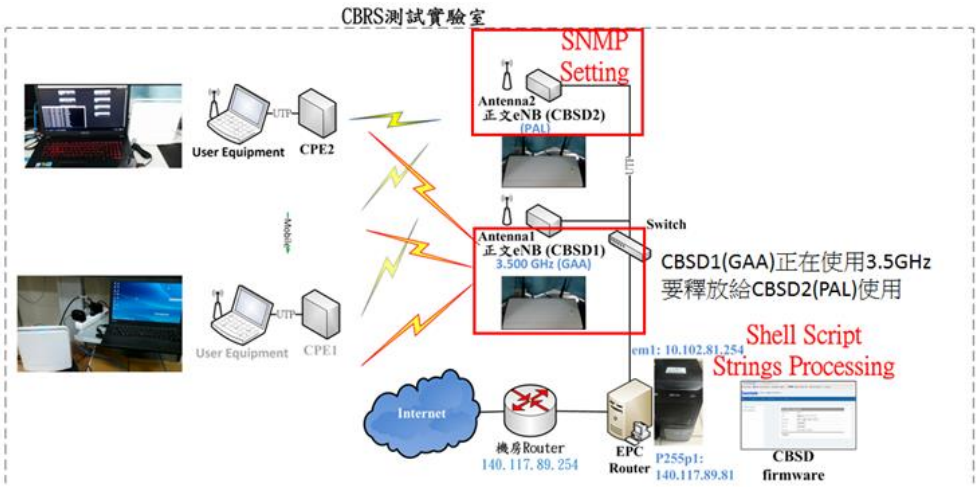


圖 3- 23：GAA 與 PAL 的網路架構

如圖 3- 24 所示，在 X-Cell 網頁控制介面有個 DL EARFCN(E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number)參數表示正在使用中的頻率，研究團隊設定為 42590 的參數代表 X-Cell 正在使用 3.5 GHz，Frequcncy Band 為 42，Bandwidth 預設使用 10 MHz，可用頻率範圍為 3.4 GHz – 3.6 GHz，正文的 X-Cell 可以從設定介面修改頻率來達到 GAA 與 PAL 的頻率轉移。

研究團隊兩台 X-Cell 的中心頻率設定為 3500 MHz，頻寬設定為 10 MHz，在 CBSD1 的訊號設定 TX Power 為 20 dBm，在 CBSD2 的訊號設定 TW Power 為 24 dBm。

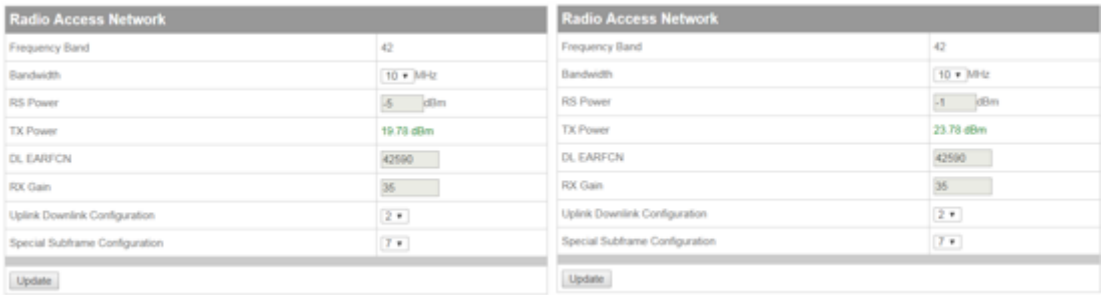


圖 3- 24：CBSD1 與 CBSD2 的頻率設定

二、實作方法

如圖 3- 25、3.5.5 所示，研究團隊實驗室使用的設備有一台 EPC，一台資料庫，兩台正文的 X-Cell 設備，一台 Monitor。GAA 的頻率釋放操作流程是 1~5，PAL 的頻率使用操作流程是 6~8，

為系統架構的流程圖：

(一) GAA 釋放使用中的頻率：

(1) 研究團隊在 EPC 上去設定 GAA 頻率為 3500 MHz，Monitor 顯示 GAA 使用 3500 MHz

(2) 當在 Monitor 網頁上點擊按鈕時，要求 EPC 控制 GAA 執行頻率釋放

(3) 在 EPC 上用 SNMP 指令修改 GAA 頻率(強制清空)

(4) EPC 將 GAA 執行頻率釋放的參數寫入資料庫

(5) Monitor 網頁上顯示 GAA 使用頻率已釋放

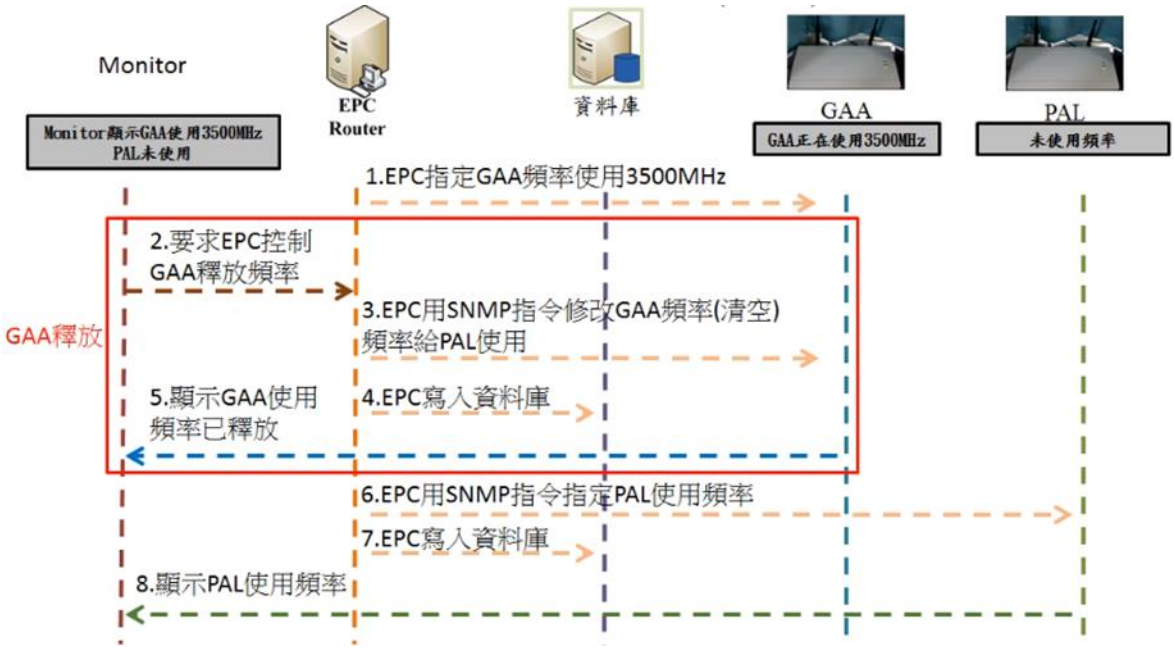


圖 3- 25：GAA 的操作流程

(二) PAL 強制使用 GAA 的釋出頻率：

1. 在 EPC 上用 SNMP 指令將 GAA 所釋放的頻率指定給 PAL 使用
2. EPC 將 PAL 已使用此頻率的參數寫入資料庫

3. Monitor 網頁上顯示 PAL 已使用 GAA 所釋放的頻率

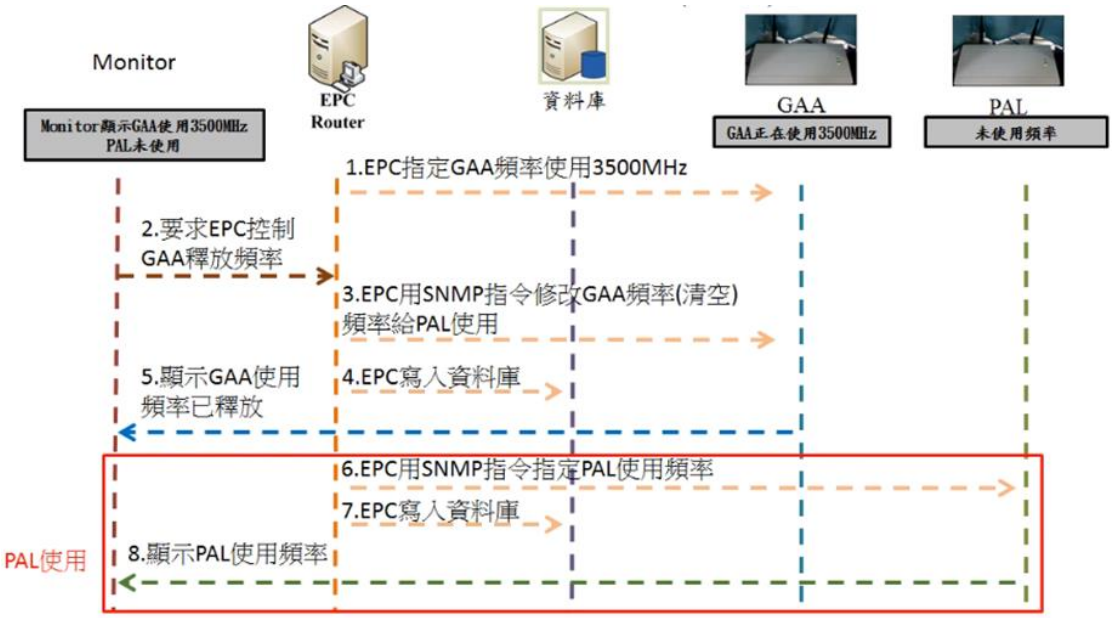


圖 3- 26：PAL 的操作流程

如圖 3- 27 所示，研究團隊可以結合程式做控制，在 X-Cell 軟體中有提供 SNMP 軟體，所以研究團隊用 SNMP 指令來對 X-Cell 做頻率控制，研究團隊使用 SNMPSET 指令碼來對 X-Cell 修改指定的頻率，此指令必須附帶相關參數如下：

1. -v :版本
2. -c :公開安全性
3. IP : Agent 設備的 IP
4. OID : 要指定的參數
5. S : 參數值類型

設定成功則會提示此 OID 的參數值類型與目前的設定值。

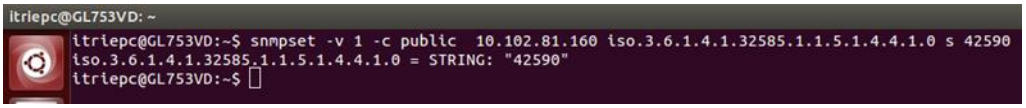


圖 3- 27：SNMPSET 指令修改頻率參數

第六節　結果分析與建議

一、一般接取使用者 GAA 頻道選擇與頻譜接取系統 SAS 干擾評估管理機制設計

經探討國際目前三層式的頻譜架構之相關規範及研究，目前國際學術上並無研究讓一般使用者 GAA 頻道選擇之功能，然而建立此功能必須先探討幾個問題以提供更合理之功能設計，其問題如下：

1. 一般使用者 GAA 該從 SAS 得到哪些資訊？
2. 如何從得到的資訊為一般使用者 GAA 建立頻道選擇功能使它的選擇最好？
3. SAS 該制定哪些新規則或是採取哪些策略以使 GAA 不會干擾到 IA 和 PAL、引導 GAA 選擇更好的頻道以及避免 GAA 都使用同一頻道？
4. 設計之頻道選擇機制效能如何，該如何建置在實際的系統上？

為了考慮到機制的可行性，本小節也探討國際目前參考架構圖，並探討所設計之頻道選擇機制設計功能應放在現有參考架構中的那些部分，提供更完整之架構圖建議，如 3- 28 所示。最後將設計簡單的情境來驗證此機制設計的結果並期望加入未來的 ViSSA2.0 試驗平臺上。此外，根據先前義大利 LSA 試驗裡，其 LTE 硬體設備使用指向型天線進行傳輸，此研究也會探討使用指向型天線之 CBSD 對 IA、PAL 的干擾範圍改變的可能性。

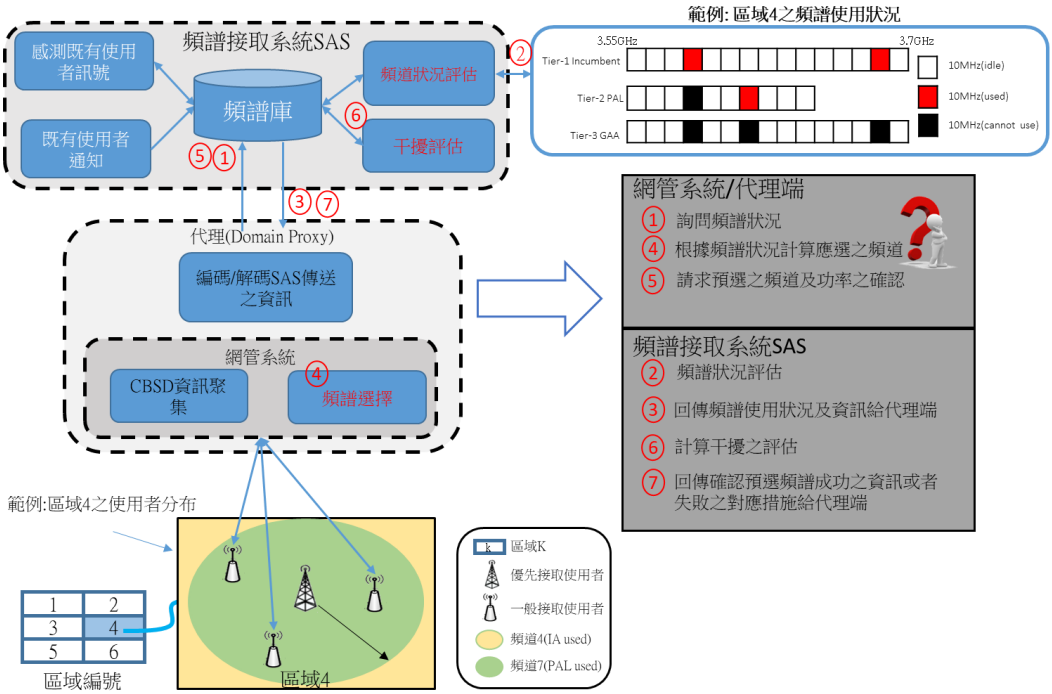


圖 3- 28：整體系統(SAS-CBSD)參考架構圖

資料來源：本計畫

註：架構包含新設計之頻道選擇及干擾評估功能

根據前二節內容，本計畫將結合 WINNF 訂立之資料交換規範及 FCC 規定之干擾管理設計實作頻道選擇機制在 CBRS 系統並整合至 ViSSA2.0 平臺上，其概念架構圖如圖 3- 29 所示，以及臺大動態頻譜接取實驗室裡在本計畫裡的軟硬體設備及關係架構圖。軟體部分，預計將設計之 GAA 頻道選擇機制建置在網頁上呈現，硬體設備部分將使用正文科技 Gemtek 的 X-Cell 當作 CBSD 傳輸在 Band 42 上。

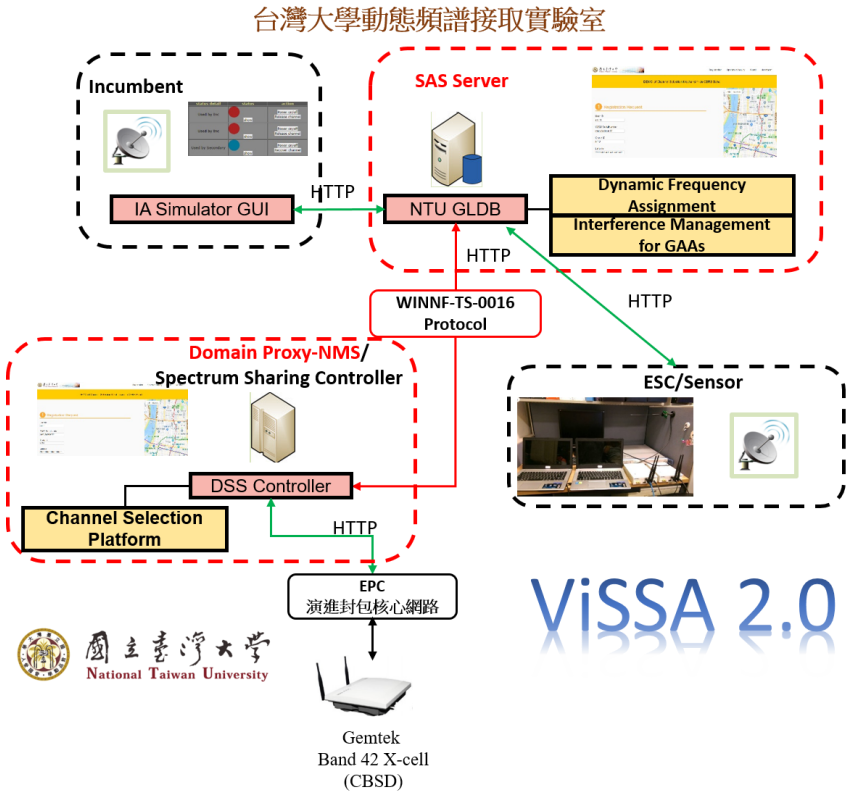


圖 3- 29：ViSSA2.0-臺大動態頻譜接取實驗室-軟硬體架構圖

資料來源：本計畫

根據 WinnF 提出之 CBRS 建議參考架構（如圖 3- 30），及研究學者提出之功能性架構[15]（如圖 3- 31），研究團隊參照其參考架構設計為一般授權接取使用者(GAA)之頻道選擇功能，其設計之整合功能架構如圖 3- 32 所示。

[15] Sohul, Munawwar M., et al.(2015), "Spectrum access system for the citizen broadband radio service." IEEE Communications Magazine 53.7 (2015): 18-25.

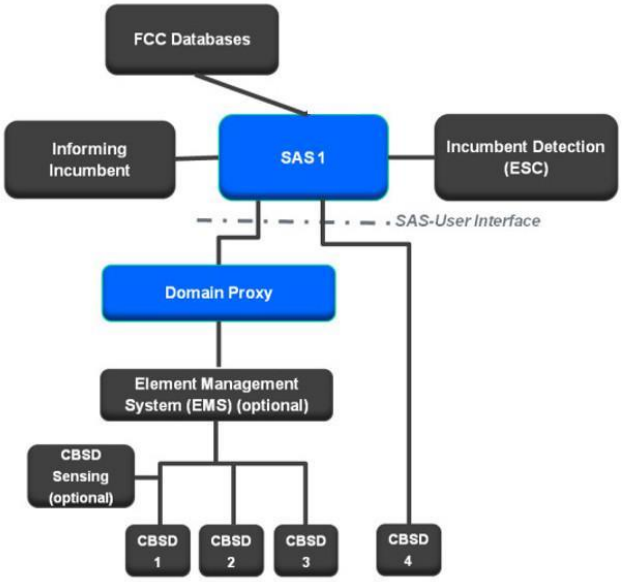


圖 3- 30：CBRS 參考系統架構圖

資料來源：WINNF

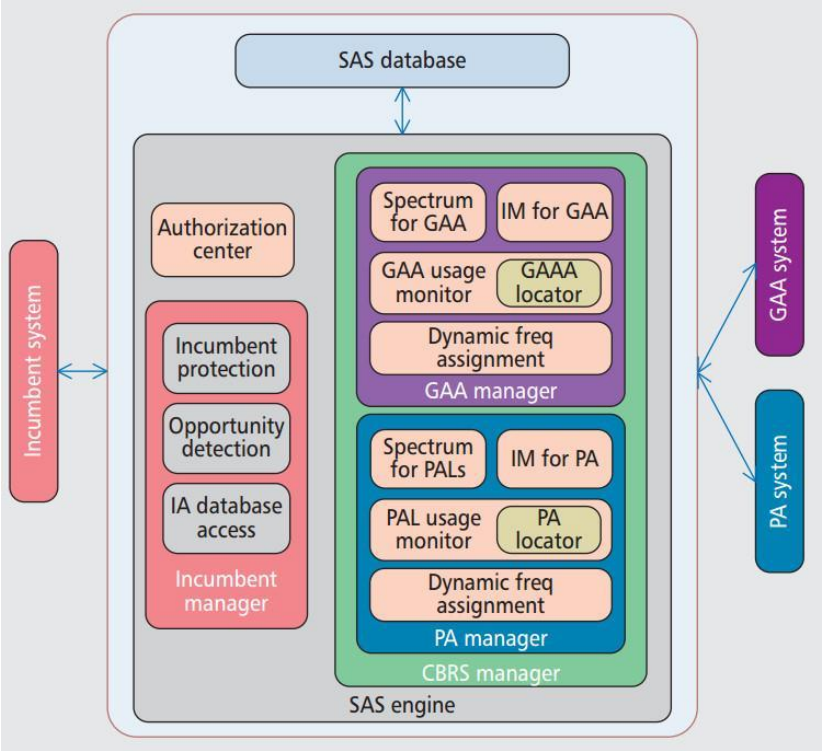


圖 3- 31：CBRS 建議參考之功能架構

資料來源：Sohul, Munawwar M., et al

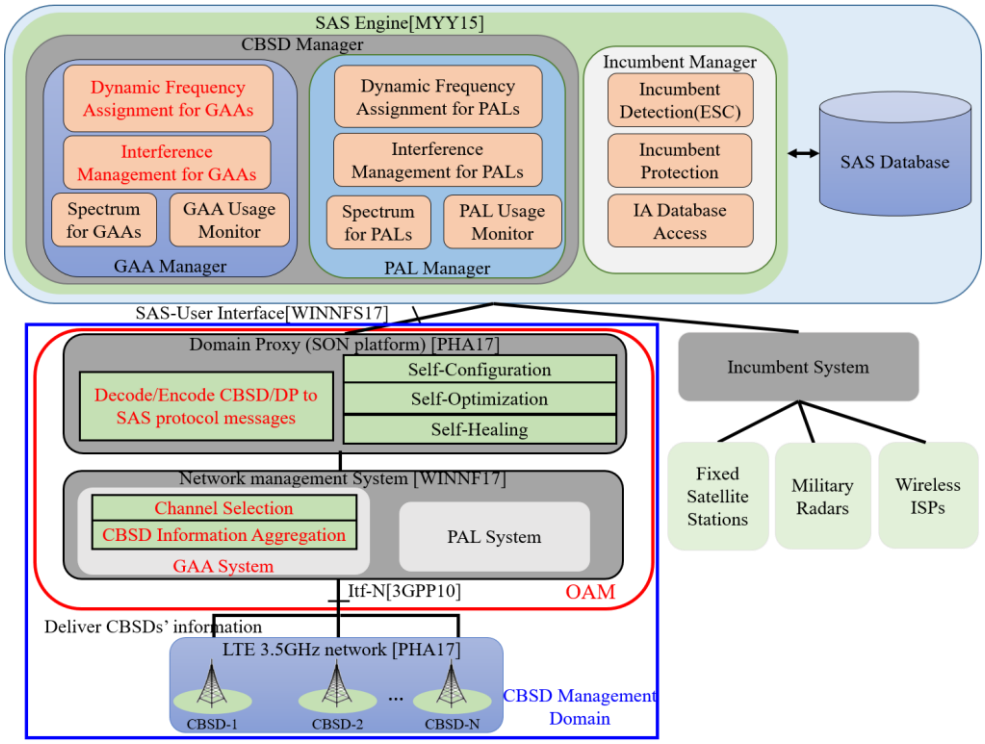


圖 3- 32：設計之 CBRS 功能架構(含頻道選擇功能)

資料來源：本計畫整理

研究團隊提出將設計之頻道選擇功能加入網路管理系統(NMS)，並由代理人(Domain Proxy)將算出之頻道組合傳送頻道請求給 SAS，且在 SAS 端，有為 GAA 設計之干擾管理機制及最後授權給 GAA 之頻譜分配功能。後續將整合其設計之功能到 ViSSA2.0 平臺上。

二、實作規劃

本計畫焦點放在實作 SAS Server 以及 Spectrum Sharing Controller 上，其中 SAS 與 Domain Proxy/CBSD 間的溝通，研究團隊也將參照 WINNF-TS-0016 規範裡的程序，來實作其部分資料交換的溝通程序，整體架構如下圖 3- 33。

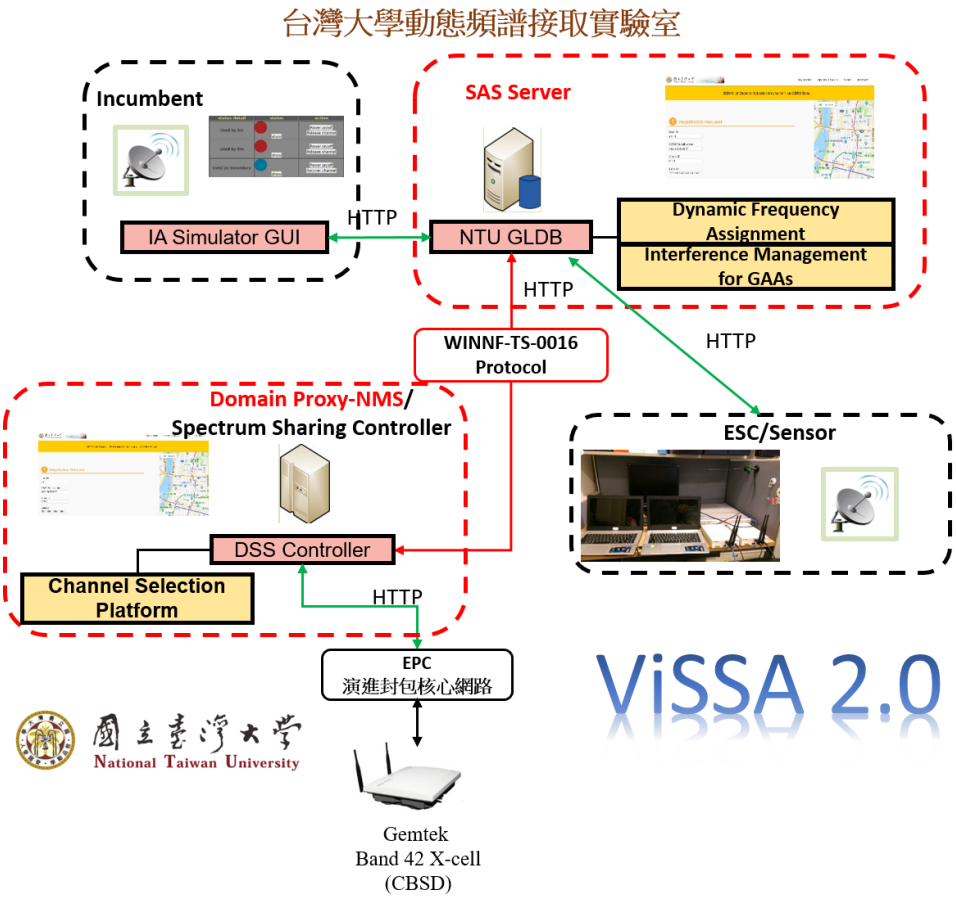


圖 3- 33：ViSSA2.0-臺大動態頻譜接取實驗室-軟硬體架構圖

資料來源：本計畫

(一) 實作 SAS Server

在 SAS server 裡主要有保護 PAL 使用之功能，以及將實作一個網頁監控畫面，能看到各個 CBSD 目前的程序狀態、頻譜使用狀態及頻譜使用權到期時間，如圖 3- 34 至圖 3- 37 為 GAA-1 註冊使用之程序狀態改變圖，GAA-1 最後使用 3565 頻段來傳輸。

1. 初始階段➔尚未註冊

說明：PAL-1 在 3555 頻段上傳輸，GAA-1 未註冊。

CBSD	Operation State					Central Frequency	Transmit Expiredtime
	Registered	Granting	Granted	Authorizing	Authorized		
PAL-1	✓	→	✓	→	✓	3555	2018-07-31 20:16:09.000000
GAA-1	✗	→	✗	→	✗	N/A	N/A

圖 3- 34：初始階段

資料來源：本計畫

2. 步驟 1：註冊請求

➔註冊（Registered）：PAL-1 在 3555 頻段上傳輸，GAA-1 已註冊成功

CBSD	Operation State					Central Frequency	Transmit Expiredtime
	Registered	Granting	Granted	Authorizing	Authorized		
PAL-1						3555	2018-07-31 20:16:09.000000
GAA-1						N/A	N/A

圖 3- 35：註冊請求階段示意圖

資料來源：本計畫

3. 步驟 2：頻道請求

➔Granted：PAL-1 在 3555 頻段上傳輸，GAA-1 已註冊成功且完成頻道確認程序。

CBSD	Operation State					Central Frequency	Transmit Expiredtime
	Registered	Granting	Granted	Authorizing	Authorized		
PAL-1						3555	2018-07-31 20:16:09.000000
GAA-1						N/A	N/A

圖 3- 36：頻道請求階段示意圖

資料來源：本計畫

4. 步驟 3：傳輸請求

➔授權（Authorized）

➔開始傳輸（Strat transmission）：PAL-1 在 3555 頻段上傳輸，GAA-1 完成授權程序後在 3565 頻段上傳輸。

CBSD	Operation State					Central Frequency	Transmit Expiredtime
	Registered	Granting	Granted	Authorizing	Authorized		
PAL-1						3555	2018-07-31 20:16:09.000000
GAA-1						3565	2018-05-27 16:19:54.000000

圖 3- 37：傳輸請求示意圖

資料來源：本計畫

其中為程序未成功通過，為程序通過，可進行下一階段的程序，當三個程序都通過以後 CBSD 即可在選擇之頻道上傳輸，監控端可在中間頻率（Central Frequency）上看到 CBSD 在哪個頻段傳輸和頻段使用權到期時間（Transmit Expiredtime）。

(二) 實作 CBRS client (Domain Proxy/CBSD)

本計畫在 Spectrum Access Controller 上也實作了 Domain Proxy/CBSD 之網頁介面，作為傳送註冊請求、頻道確認請求、傳輸請求給 SAS 之媒介，如圖 3- 38 所示，其左下角紅色框框為傳送給 SAS 對應請求之部分資料格式。

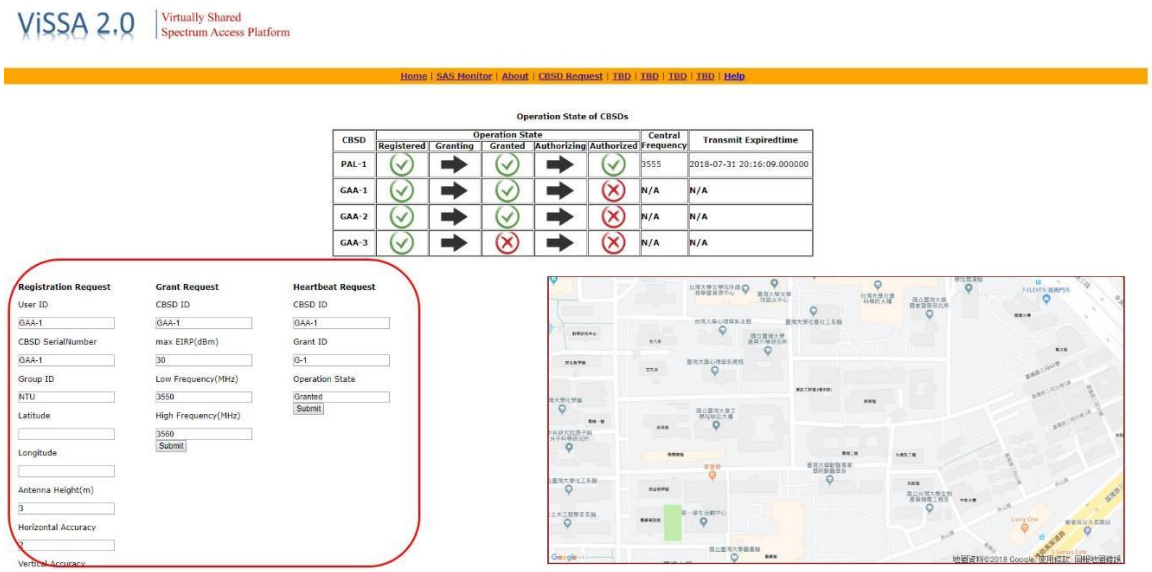


圖 3- 38：CBRS Client 網頁介面示意圖

資料來源：本計畫

三、3.5GHz CBSD 運作

(一) PAL 與 GAA 的清空與重啟

1. 3.5GHz CBSD 的清空與重啟

為了讓 CBSD 共用 3.5GHz 的頻段，並且讓某些 CBSD 可以直接存取 SAS1，而某些 CBSD 必須透過 Domain Proxy 才能存取 SAS1，本計畫使用商用的 3.5GHz 的 eNB 當作 CBSD 來做頻段的清空與重啟，其目的是為了驗證一個 CBSD 是否可以透過 Domain Proxy 或直接透過 SAS1 來共享 3.5GHz 的頻段。

2. PAL 與 GAA 的清空與重啟

在 SAS-CBSD 的系統架構圖中，有些 CBSD 必須透過 Domain Proxy(DP)才能進入 SAS1，但是有些 CBSD 可以直接連到 SAS1，研究團隊將整合商用 3.5GHz Small Cell(當作 CBSD)於 ViSSA 2.0 來展示 SAS 在 CBRS Incumbent 與 PAL 與 GAA 的清空與重啟，當 PAL 有頻段需求時可以先清空並轉移 GAA 的使用權。

透過 eNB 網頁介面設定頻段參數，網頁燈號顯示啟用與停用(軟體開關機)，如圖 3- 39 所示，在停用狀態中可更改以下參數:

- TX Power：設定 Power 參數
- DL EARFCN：設定 eNB 使用頻段

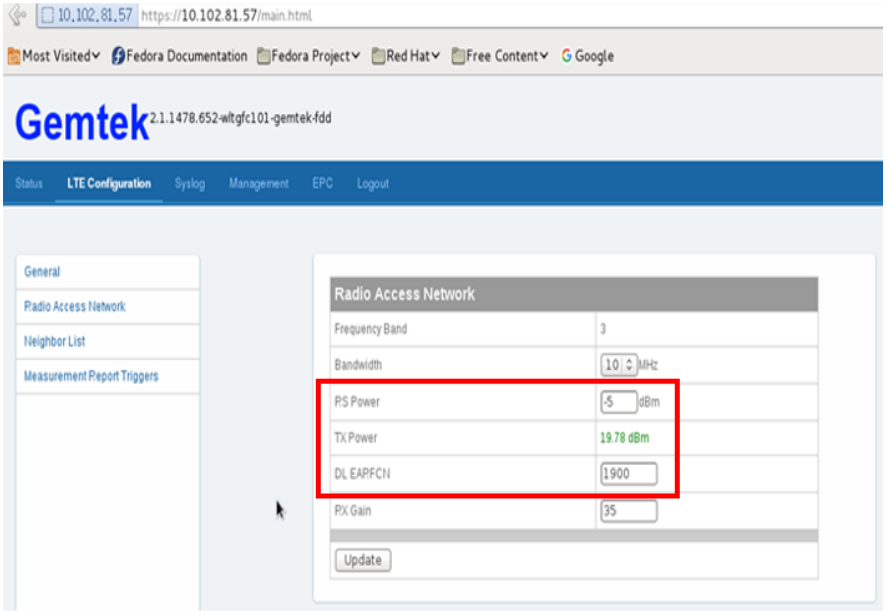


圖 3- 39：商用的 eNB 參數設定

資料來源：本計畫

本計畫將整合商用 3.5GHz Small Cell (當作 CBSD)於 ViSSA 2.0 來展示 SAS 在 CBRS Incumbent 與 PAL 與 GAA 的清空與重啟，當 PAL 有頻段需求時可以先清空並轉移 GAA 的使用權。清空與重啟待解決的問題如下：

1. 商用 3.5GHz Small Cell (當作 CBSD)無法釋出原始碼可供修改與控制器的介接，因此展示清空與重啟部分需要進一步研究，透過

網頁按鈕可以控制 CBSD 的清空與重啟，如圖 3-40 所示為商用設備的清空與重啟介面。

2. 設備只有提供網頁介面設定，因此研究團隊要撰寫 script。研究團隊將嘗試請 Small cell 的廠商協助開啟指令模式，用 script 擷取 CBSD 可使用的參數，如所示為商用設備的 script 介面。

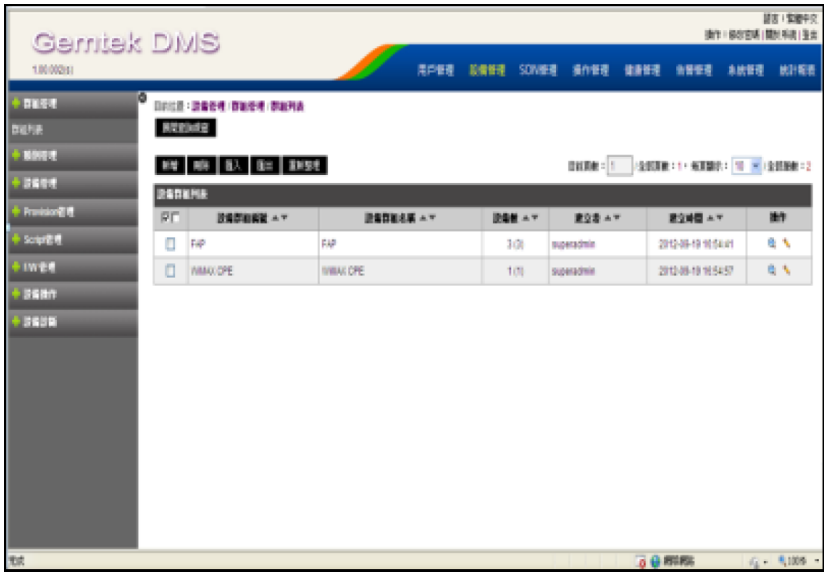


圖 3-40：商用設備的清空與重啟介面

資料來源：本計畫

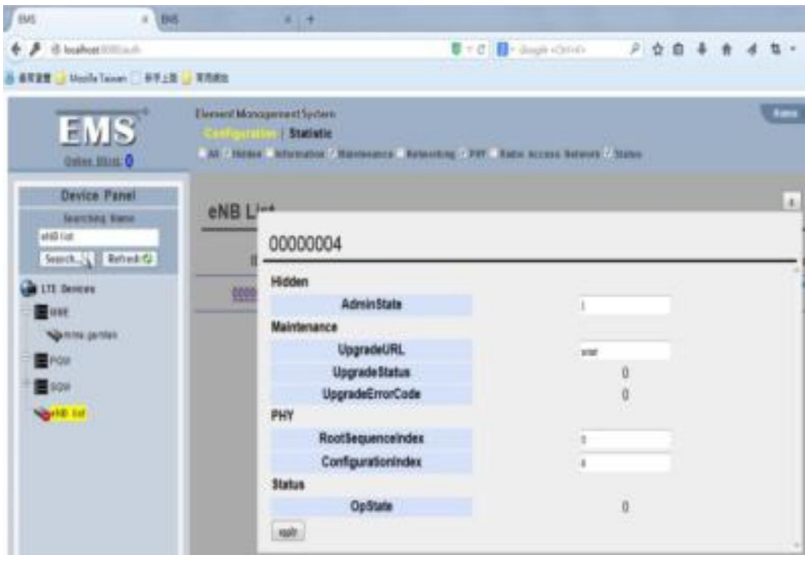


圖 3-41：商用設備的撰寫 script 的介面

資料來源：本計畫

本計畫使用正文科技提供 X-Cell 的 CBRS firmware 套件當作 CBSD client，來展示 SAS1 在 CBRS Incumbent 的 PAL 與 GAA 的清空與重啟，當 PAL 有頻段需求時可以優先轉移 GAA 的使用權。研究團隊將依據頻譜資料庫參數來清空與轉移 GAA 使用權。

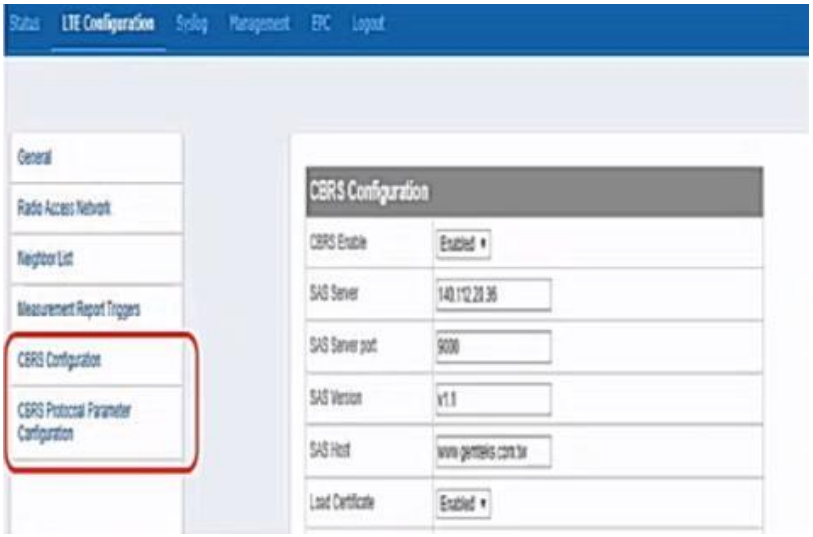


圖 3- 42：正文提供 X-Cell 的 CBRS firmware

資料來源：本計畫

正文科技針對 X-Cell 提供給本計畫簡易網路管理 SNMP 的 MIB 資料檔，可以使用 mib browser 對 eNB 的設定功能做控制(查詢或修改並更新)，研究團隊將會透過 MIB 資料中需要擷取的選項去對 X-Cell 做控制，例如頻段參數修改、Power 修改、開關機等，如圖 3- 43 所示。

主要設定參數如下：

(1) AdminState：設定開啟或關閉訊號

(2) EARFCNDL：設定 eNB 使用頻段

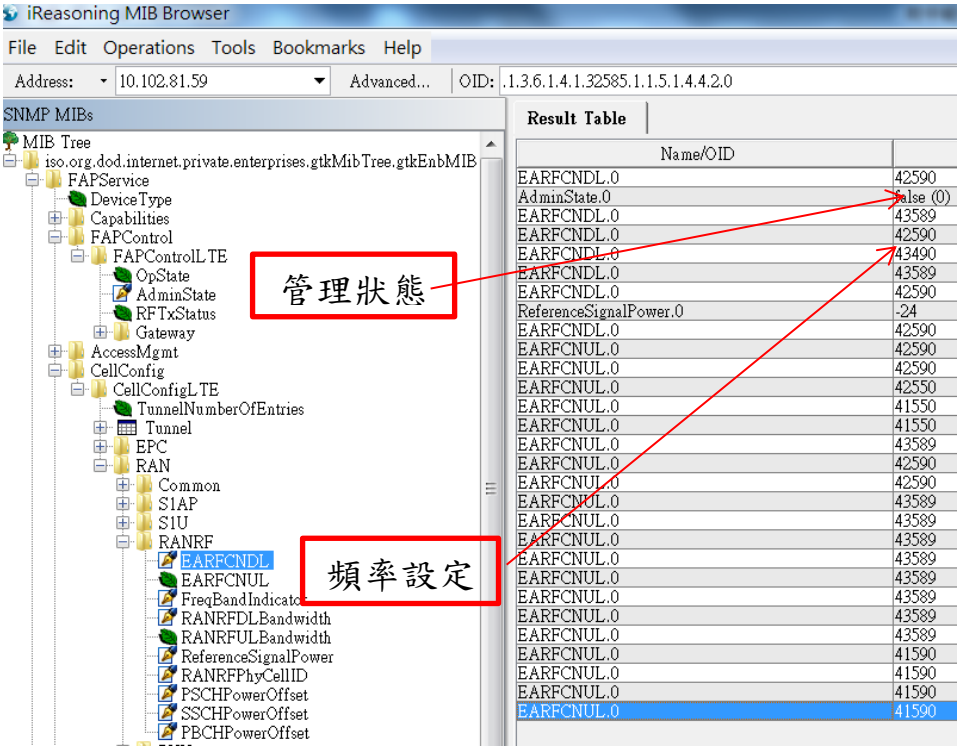


圖 3- 43：mib browser 擷取 eNB 參數

資料來源：本計畫

研究團隊使用 mib browser 去對 eNB 的相關參數做設定，正文的 eNB 在修改參數之前必須先將 AdminState 參數設為 0(表示關閉訊號)、1 表示開啟訊號。將此參數設為 0 後才能修改數值，如圖 3- 44 所示。

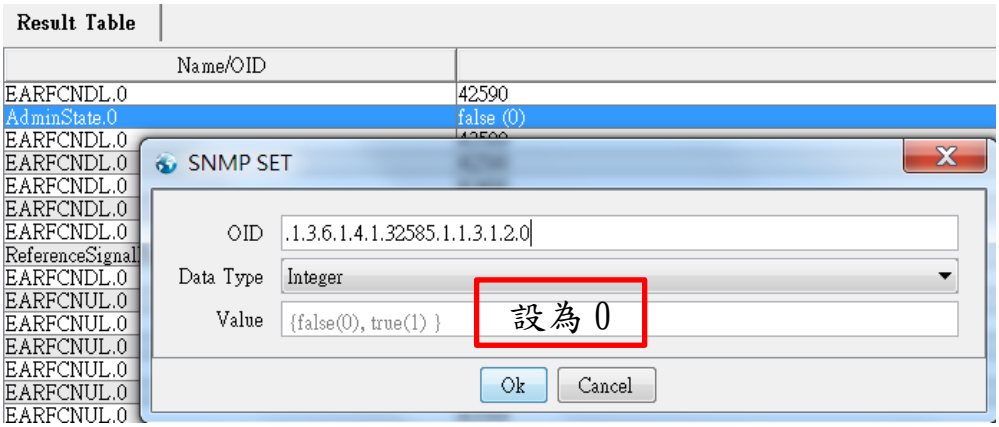


圖 3- 44：mib browser 設定 eNB 開關機

資料來源：本計畫

當 PAL 有優先頻段使用需求時，就可以將 EARFCNDL 頻率參數設定為 42590(表示使用 3.5GHz 頻段)去對 X-Cell 做設定，如圖 3-45 所示。

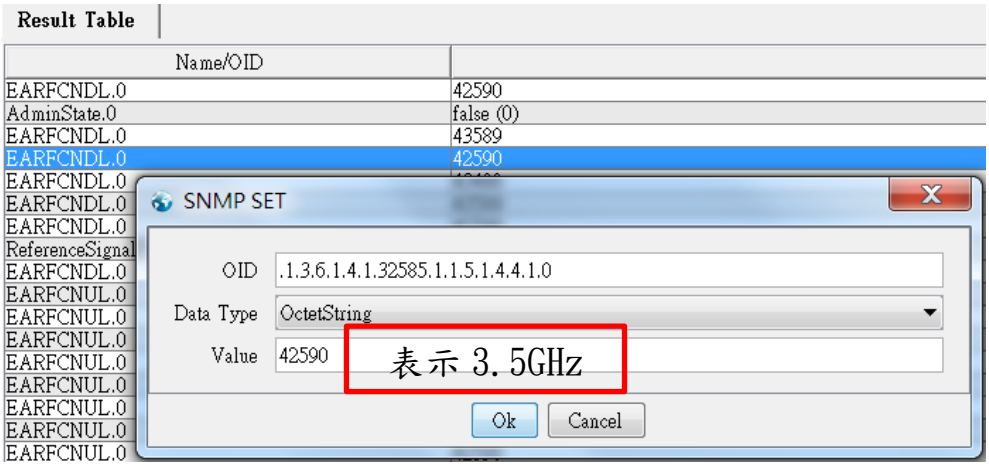


圖 3-45：mib browser 針對頻率參數做設定

資料來源：本計畫

研究團隊將正文提供的 mib 資料檔作為 eNB 的設定參數依據，嘗試在 Linux 系統中撰寫 script 執行，當 PAL 有優先的頻段需求時可以在程式中透過頻譜資料庫擷取需要的參數，來執行清空與轉移 GAA 的使用權，如圖 3-46 所示。



圖 3-46：snmpwalk 指令擷取 eNB 的參數

資料來源：本計畫

研究團隊使用正文提供的 mib 資料檔來針對 CBSD 實作頻段清空與重啟，目前已測試使用 mib browser 來對 X-Cell 做參數的控制，接著研究團隊已測試在 Ubuntu 系統中使用 snmpset 命令來修改 X-Cell 的使用頻率參數，預計要將 snmpset 命令整合成 Shell Script 程

式。在程式中將連接頻譜資料庫去擷取相關頻率、使用優先權等參數，並回傳到 Shell Script 程式中，再透過 snmpset 命令來對 X-Cell 做使用頻段的控制設定。

四、使用 SNMP 實作 PAL 與 GAA 的頻段轉移

如圖 3- 47、圖 3- 48 所示，切換頻率後研究團隊使用 CPE 設備連接筆電，從筆電端來觀察 CPE 連線資訊，從 Cell ID 可以看到 CPE 已從 GAA 設備離線，並已連接到 PAL 設備的使用頻率。



圖 3- 47：snmpwalk 指令擷取 eNB 的參數

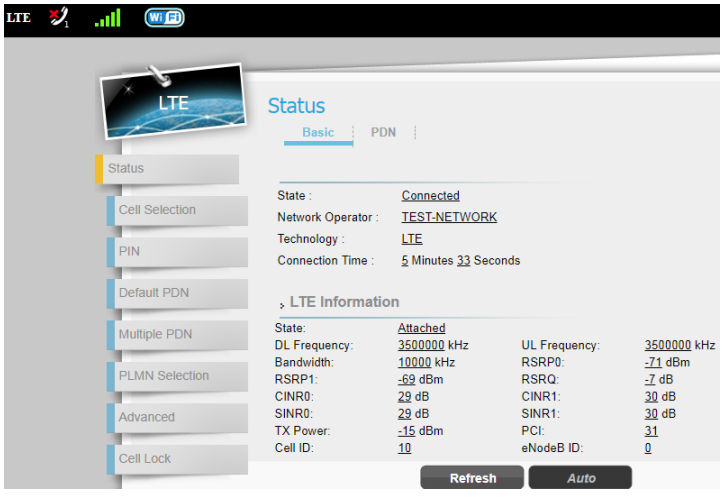


圖 3- 48：snmpwalk 指令擷取 eNB 的參數

研究團隊使用一個網頁介面與頻譜分析儀來觀察兩台 CBSD 設備發出的訊號，中心頻率設定為 3500 MHz，頻寬設定為 10 MHz，左圖為 CBSD1 的訊號設定 TX Power 為 20 dBm，頻譜分析儀觀察的編號 M4 中心點的 Power 約為-66.2 dBm，右圖為 CBSD2 的訊號設定 TW Power 為 24 dBm，頻譜分析儀觀察的編號 M 中心點的 Power 約為-56.4 dBm。

CBSD1(GAA)使用頻率釋放給 CBSD2(PAL)使用後分析儀顯示訊號的變化，如圖 3- 49 所示。



圖 3- 49：snmpwalk 指令擷取 eNB 的參數

如圖 3-50 所示，研究團隊已設計一個網頁操作介面，讓使用者可以從網頁上的按鈕觸發，研究團隊把一台 CBSD 視為 GAA 一般使用權，一台 CBSD 視為 PAL 高優先使用權，而 GAA 正在使用 3500 MHz 頻率，當 PAL 要使用此頻率時系統可以強制將 GAA 使用的頻率收回，指定給 PAL 自己來使用。兩台 CBSD 設備的使用頻率可以互相切換。

X-Cell Monitor Interface

Gemtek X-Cell	Frequency	status detail	status	action
NSYSU CBSD1	3500MHz	已釋放		release channel
NSYSU CBSD2	3500MHz	使用中		release channel

圖 3- 50：網頁介面控制兩個 CBSD 的頻段切換

第四章　免執照頻段頻段異質系統共存實測分析與規範建議

第一節　使用 LAA 小細胞平臺做排程

LAA 技術促使 LTE 與現行免執照 Wi-Fi 共用免執照頻段，如 2.4GHz 及 5GHz，故系統公平共存極為重要。LAA 採用先聽後送（Listen Before Talk, LBT） 機制，先對欲使用的免執照頻段進行偵測，無其他設備佔用時才會進行連線，是為了與既有 Wi-Fi 服務於免執照頻段中公平共享與共存，並提升頻譜使用效率。

研究團隊使用工業技術研究院（ITRI）的 LAA 小細胞平臺來研發一個排程演算法，其目的是為了改進一個 UE 在 LAA 環境中使用執照頻譜與免執照頻段時與 WiFi 的 UE 之間的公平性，本 LAA 排程機制可以提升需要申請執照頻譜與免申請執照頻譜間的使用率，並提供一個有效的頻譜管理系統。

LAA 與 WiFi 共存的拓樸主要分成兩個部分，一個 UE 使用 eNB 的兩個頻段，分別為執照頻譜(2.6 GHz) 與免執照頻譜 (5 GHz)，另外一個 UE 只使用 WiFi 的免執照頻譜 (5 GHz)。LTE 的 UE 可以藉由 LBT (Listen Before Talk)演算法跟其它使用 WiFi 的 UE 競爭免執照頻譜的頻寬。

一、 LAA 實驗環境

本實驗平臺規劃使用之設備架構（如下圖 4- 1 所示），在中山大學無線寬頻通信協定跨校研究中心的海工館實驗室進行規劃建置一套 LAA-Small Cell 測試場域，其設備為一台 EPC、一台 Switch、一台 LAA 的 eNB 與使用一台 5GHz 的 WiFi 與一台 UE。 EPC 內有兩張網卡分別為 eth0 和 eth1，eth0 負責連到 Internet (public IP)以及 eth1 負責跟 eNB 溝通(private IP)，EPC 的 eth0 連到中山大學機房再連上 Internet，而 EPC 的 eth1 連到一台 Switch，再由 Switch 連接兩台 eNB，eNB 使用的頻率為 5 GHz，測試用的 UE 必須是具有支援 LAA 設備功能的手機，且需要工研院所提供特製的 SIM 卡才能跟 eNB 連線。

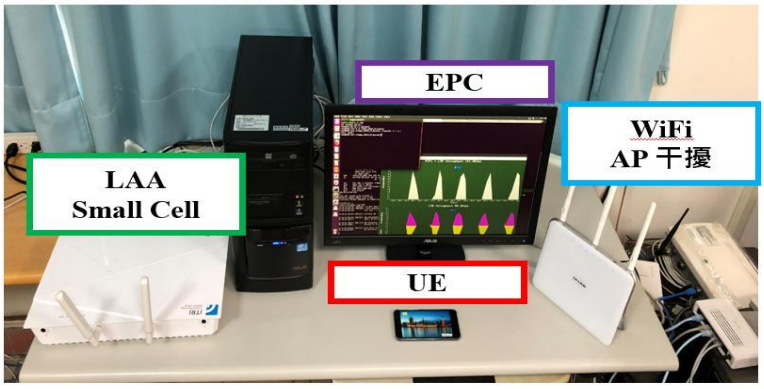


圖 4- 1：LAA Small Cell 與 WiFi 的架構

資料來源：本計畫

二、 LAA 排程演算法

LAA 與 WiFi 共存的拓樸架構，主要分成兩個部分（如下圖 4- 2 所示），左邊是一個 UE 使用 eNB 的兩個頻段，分別為需執照頻譜(2.6 GHz) 與免執照頻譜(5 GHz)，右邊是另外一個 UE 使用 WiFi 的免執照頻譜(5 GHz)。在 LAA 的架構中，當一個 UE 只使用執照頻譜傳輸時，可能無法滿足其數據傳輸速率的需求，此時這個 UE 可以藉由 LBT (Listen Before Talk)演算法跟其它使用 WiFi 的 UE 競爭免執照頻譜的頻寬，藉由競爭免執照頻譜的頻寬可以提升一個 UE 整體的數據傳輸速率。

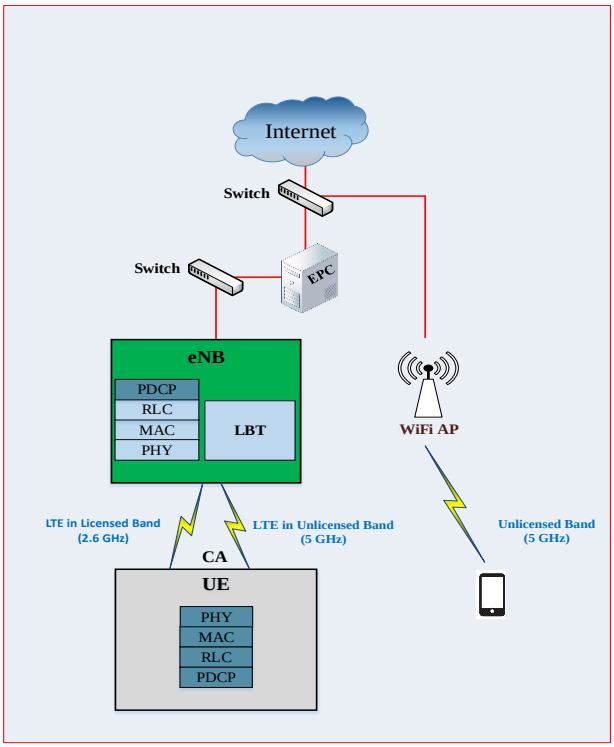


圖 4- 2：LAA Small Cell 拓樸架構

資料來源：本計畫

eNB 的 LAA 層級從上到下包含 Packet Data Convergence Protocol (PDCP)層、Radio Link Control (RLC)層、Media Access Control (MAC)層、Physical (PHY)層。PDCP 層自上層無線承載(Radio Bearer)取得資料後，會將資料傳送到 RLC 子層與 MAC 子層，再由 MAC 子層進入實體層(Physical Layer)進行無線傳輸。上層資料在各個子層中進行相對應的封裝，例如 RLC 層從 PDCP 層收到的資料視為此子層的服務資料單元(Service Data Unit, SDU)，經過子層封裝的資料稱為協定資料單元(Protocol Data Unit, PDU)，RLC 層主要負責 PDU 的切割與重組(Segmentation and Reassembly)並使用邏輯通道(Logical channel)與 MAC 層溝通。MAC 層主要負責排程、多工與 HARQ (Hybrid ARQ)，其主要功能是將切割後的 PDU 排入一個 OFDMA frame 的實體通道(Physical Channel)做傳輸。PHY 層提供能量偵測(Energy Detection, ED)，用來判斷免執照頻譜的頻道中是否有其它的 UE 正在使用，另外，PHY 層還要將執照頻譜和免執照頻譜兩個不同頻段的載波做載波聚合(Carrier Aggregation, CA)。

研究團隊提出的 LAA 分流機制演算法如下所示。首先 UE 會向 eNB 提出傳輸數據的要求，接著 eNB 判斷此要求是否大於 eNB 在執照頻譜所能分配給此 UE 的 data rate，若否，則 eNB 只需要分配執照頻譜的資源區塊(resource blocks, RB)給此 UE；若是，則代表 eNB 在執照頻譜的頻寬不夠分配給此 UE 使用，為了滿足此 UE 的數據傳輸需求，eNB 必須啟動 LBT 演算法，其運作方式如下，eNB 先使用 PHY 層的 ED 去判斷免執照頻譜的頻道是否有其它的 UE 正在使用，ED 使用所偵測免執照頻譜的訊號能量與一個預設的能量臨界值(threshold)做比較，若偵測到的能量超過此一預設的臨界值，則代表 WiFi 的頻道是處於忙碌狀態(busy state)，反之則表示 WiFi 的頻道是處於空閒狀態(idle state)，此時 UE 可以使用執照頻譜和免執照頻譜的頻寬來同時傳送資料以增加數據傳輸率。最後，UE 端會使用 CA 將不同頻段的資料結合在一起後再送給 MAC 層作處理。

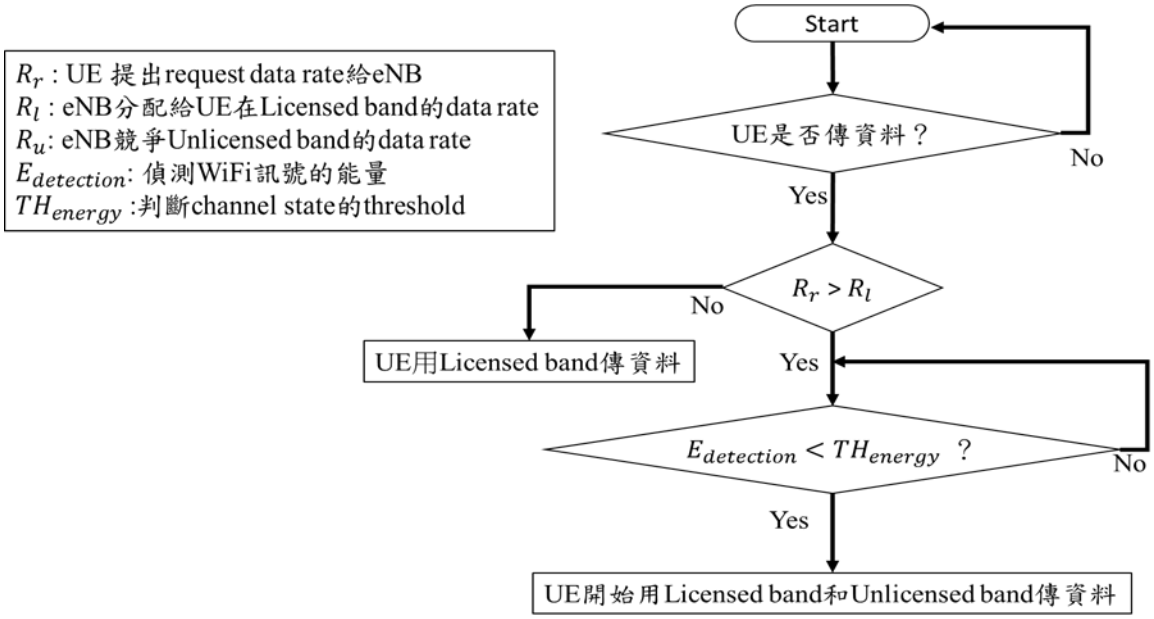


圖 4- 3：LAA 分流機制演算法

資料來源：本計畫

第二節　LAA 與 WiFi 共存模擬模組建置

本計畫所模擬的 LAA 與 WiFi 共存的環境拓樸，為長 120 公尺與寬 120 公尺的空間（如下圖 4- 4 所示），分別放置 3 個 LAA 基地台、1 個 Wi-Fi AP 與 1 台影音伺服器，並在每個 LAA 基地臺涵蓋範

圍隨機擺放 16 支 UE，接著設定 LAA 基地臺傳輸半徑為 40 公尺與 Wi-Fi AP 傳輸半徑為 35 公尺，這樣的配置可以讓 LAA 及 Wi-Fi 產生多個重疊區，使用的 Wi-Fi 標準為 802.11n，而設定 LAA 和 Wi-Fi 可以共同使用的免執照頻譜為 band 36 (中心頻率為 5.18 GHz)。

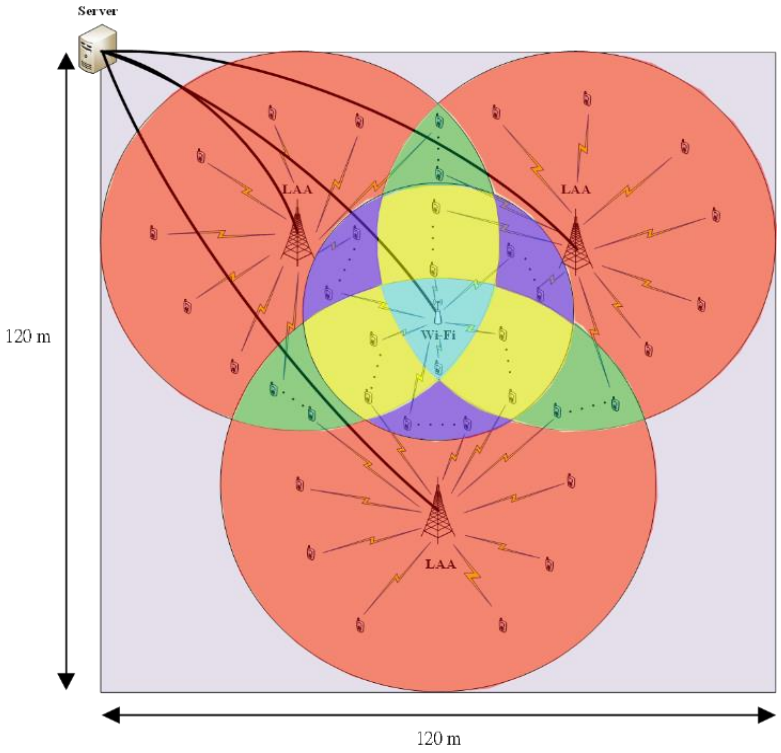


圖 4- 4：使用 NS-3 模擬 LAA 與 Wi-Fi 共存的拓樸

資料來源：本計畫

NS-3 模擬的情境是由每一個 UE 同時向影音伺服器經由 LAA 基地臺或是 Wi-Fi AP 下載一條影音串流（video stream），在下載的過程中，LAA 基地臺會使用 LBT (Listen Before Talk)跟 Wi-Fi AP 競爭免執照頻譜 (5.18 GHz)的資源，並且在無法爭取到足夠頻寬時，LAA 基地臺會使用執照頻譜(2.6 GHz)進行載波聚合(Carrier Aggregation)，最後將此一 video stream 下傳給 UE。

NS-3 模擬環境中有 LAA 與 Wi-Fi 的重疊區與非重疊區，因為每一重疊區與非重疊區各有不同的 LAA 與 Wi-Fi 個數，研究團隊將其分為 5 個區域，如表 4- 1 所示，這 5 個區域分別使用不同的顏色來表示，模擬中總共產生 64 個 UE，因為 UE 是 NS-3 隨機產生的，因此每一個區域的 UE 數目並不相同。

表 4- 1：模擬拓樸的五個區域

Area	Area number
	Area 1 (1個LAA , 27 UEs)
	Area 2 (2個LAA, 7 UEs)
	Area 3 (1個LAA, 1個Wi-Fi, 7 UEs)
	Area 4 (2個LAA, 1個Wi-Fi, 16 UEs)
	Area 5 (3個LAA, 1個Wi-Fi, 7 UEs)

研究團隊希望藉由模擬結果來分析 LAA 與 WiFi 相互干擾與競爭免執照頻譜資源的情形，並藉此提出新的 LAA 排程演算法，使整體的吞吐量(throughput)或是整體網路效能(例如封包遺失率、封包延遲等等)可以更好。

一、 五個區域平均 throughput 的比較

下表 4- 2 為 NS-3 中的模擬參數設定，研究團隊假設 video stream 的封包大小為 1000 bytes，調變技術為 ACM (Adaptive Coding and Modulation)。

表 4- 2：模擬參數的設定

Parameter	Value
Simulation time	1000 s
Simulation area	120 m ×120 m
Number of LAA	3
Number of Wi-Fi APs	1
LAA transmission radius	40 m
Wi-Fi transmission radius	35 m
Wi-Fi standard	802.11n
Total UEs	64
UE position allocator	Uniform Random
Packet size	1000 bytes
Total Bandwidth	20 MHz
Modulation	ACM
Licensed band	Band 7 (2.6 GHz)
Unlicensed band	Band 36 (5.18 GHz)

計算後，研究團隊得到 5 個區域 UE 的平均吞吐量(throughput)（如下圖 4- 5），這是在每一條 video data rate (UDP stream)設為 1 Mbps 的情況下進行，並讓 64 個 UE 隨機分布在 LAA 基地臺和 Wi-Fi AP 的傳輸範圍內。

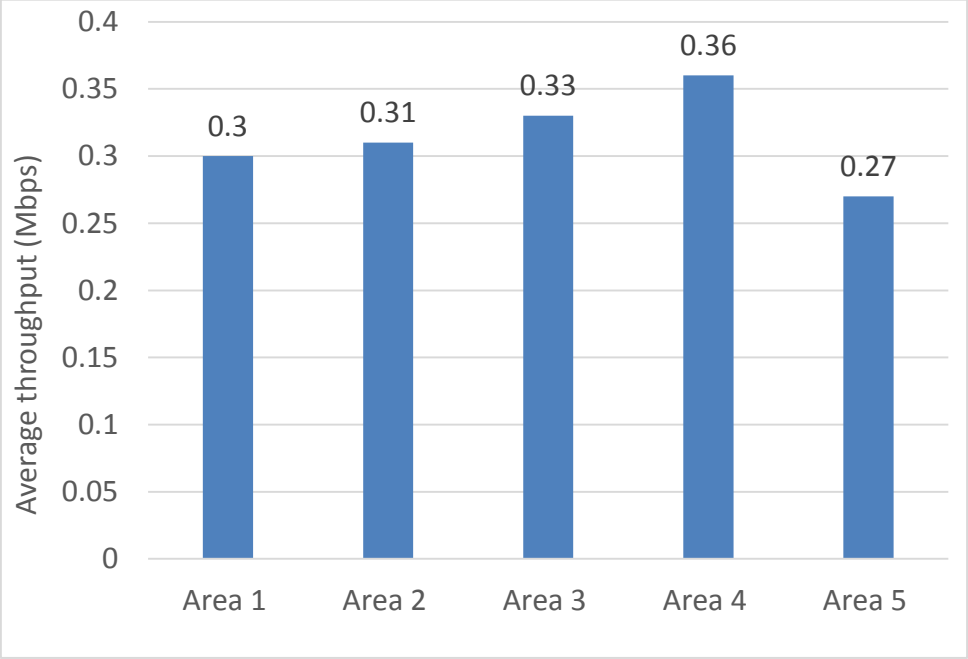


圖 4- 5：5 個區域的平均 throughput

資料來源：本計畫

從圖 4- 5 中可以看到區域 5 的平均吞吐量比起其他區域的平均吞吐量還低，這是因為區域 5 是 3 個 LAA 與 Wi-Fi 的重疊區域，這是重疊區域最多的地方，干擾情況特別嚴重導致平均吞吐量最低。

區域 4 為 2 個 LAA 與 1 個 Wi-Fi 的重疊區域，比區域 5 少一個 LAA 干擾，因此它的平均吞吐量會比區域 5 來的高，再加上區域 4 的 LAA 比區域 3 與區域 1 來的多，相對來說，它能競爭到免執照頻譜的資源比較多，所以區域 4 的平均吞吐量會比區域 3 與區域 1 來的高，另外，也由於區域 4 比區域 2 多了 1 個 Wi-Fi 可以傳輸資料，所以區域 4 平均吞吐量就會比區域 2 來的高。

區域 3 為 1 個 LAA 與 1 個 Wi-Fi 的重疊區，從圖 4- 5 中結果可以看到區域 3 的平均吞吐量比區域 2 高一些，其原因可能是多人在使用 LAA，而在這樣的情形之下區域 3 的 UE 可以選擇使用 Wi-Fi，但

區域 2 的 UE 卻只能連接 LAA，這才導致區域 2 的平均吞吐量會比區域 3 來的低。

最後比較區域 2 與區域 1，區域 2 與區域 1 的差別在於多一個 LAA，這代表若其中一方的 LAA 很壅塞的情況下，就還能選擇連接另外一個 LAA 的基地臺進行傳輸，所以區域 2 的平均吞吐量會比區域 1 的平均吞吐量稍微高一些。

二、 新的排程演算法

根據 NS-3 LAA 的程式碼中，研究團隊可以修改排程演算法以進一步改進圖 4- 5 所顯示的平均 throughput。在新的排程演算法中，一開始 LAA 會先判斷一個 UE 是否有資料要接收，因此在 UE PHY 層找到傳給 eNB 的控制的訊息，如下圖 4- 6 黃色框所示，藉由傳給 eNB 的控制訊息去判斷 UE 是否需要下載資料。

```
void
LteUePhy::GenerateCqiRsrpRsrq (const SpectrumValue& sinr)
{
  NS_LOG_FUNCTION (this << sinr);

  NS_ASSERT (m_state != CELL_SEARCH);
  NS_ASSERT (m_cellId > 0);

  if (m_dlConfigured && m_ulConfigured && (m_rnti > 0))
    {
      // check periodic wideband CQI
      if (Simulator::Now () > m_p10CqiLast + m_p10CqiPeriocity)
        {
          Ptr<LteUeNetDevice> thisDevice = GetDevice ()->GetObject<LteUeNetDevice> ();
          Ptr<DlCqiLteControlMessage> msg = CreateDlCqiFeedbackMessage (sinr);
          if (msg)
            {
              DoSendLteControlMessage (msg);
            }
          m_p10CqiLast = Simulator::Now ();
        }
      // check aperiodic high-layer configured subband CQI
      if  (Simulator::Now () > m_a30CqiLast + m_a30CqiPeriocity)
        {
          Ptr<LteUeNetDevice> thisDevice = GetDevice ()->GetObject<LteUeNetDevice> ();
          Ptr<DlCqiLteControlMessage> msg = CreateDlCqiFeedbackMessage (sinr);
          if (msg)
            {
              DoSendLteControlMessage (msg);
            }
          m_a30CqiLast = Simulator::Now ();
        }
    }
```

圖 4- 6：UE 是否傳下載資料 – UE PHY 層

接著 eNB 從 UE 接收到控制訊息(如下紅色框框處)後，判斷目前分配給 UE 的執照頻譜資源是否足夠使用，如果不夠使用就使用 LBT 的機制去跟 Wi-Fi 競爭免執照頻譜，若足夠使用則繼續使用執照頻譜傳送資料。在原本 LAA 的 LBT 機制中並沒有加入這樣的判斷，因此研究團隊會在此修改程式碼。

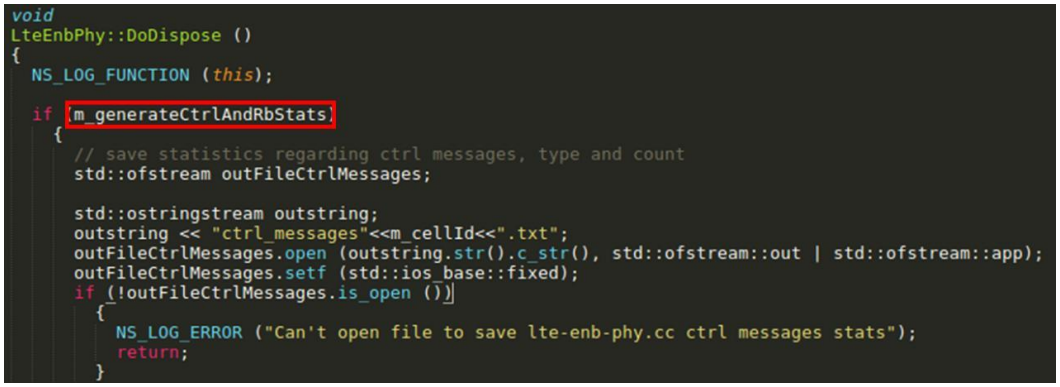


圖 4- 7：判斷 eNB 分配給 UE 執照頻譜的資源是否足夠使用

圖 4- 8 為判斷頻道的狀態，在 LBT 一開始時，會先判斷頻道中所偵測到的能量是不是小於設定的 threshold (在 NS-3 裡設定為-62 dB，如圖 21 紅色框框處所示)，如果是就代表頻道是空閒狀態，可以使用免執照頻譜來下載資料，若否，則繼續偵測頻道狀態，直到頻道是空閒狀態。

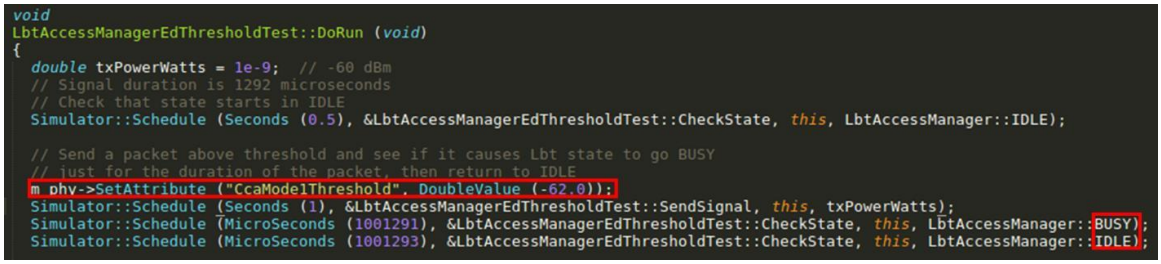


圖 4- 8：使用 LBT 判斷頻道的狀態

最後 LAA 讓分配到的免執照頻譜和原本的執照頻譜做載波聚合，研究團隊會在 NS-3 的程式碼進行修改來完成新的排程演算法，最後希望當 LAA 與 Wi-Fi 共存時，此新的排程演算法可以大大的提升整體網路的效能。

三、 以 Matlab 程式碼模擬 WiFi 與 LAA 共存問題

(一) 802.11ac 與 LAA 封包與參數設計

除了使用 NS-3 模擬以外同時根據工研院提供之小基站規格以 Matlab 程式碼撰寫模擬程式並針對 802.11ac 與 LAA 共存問題作分析。傳輸封包根據 IEEE 802.11ac-2013 文件中之 PHY 層規格且其封包格

式如圖 4- 9，其中 VHT-LTF field 傳輸 Symbol 數量取決於所使用之 MIMO 技術種類，於爾後設定位元速率時會說明此欄位長度設定。

在 Data field 部分如圖 4- 10 所示包含 Service、PSDU、Tail、Pad 四個部分，其中 Service 使用 2 Bytes；PSDU 依據傳輸之 Frame 種類有不同區別，其種類包含資料封包與 Ack 確認封包，若傳輸封包為資料封包(假設 Body 為 11426 Bytes)，則能計算出 PSDU 總長度為 11466 Bytes，而若傳輸封包為 Ack 確認封包則僅包含 Frame control、ID、Reciever address 以及 FCS Fields，故 PSDU 總長度為 20 Bytes；Tail 與 Pad 則分別設定為 1 Byte。

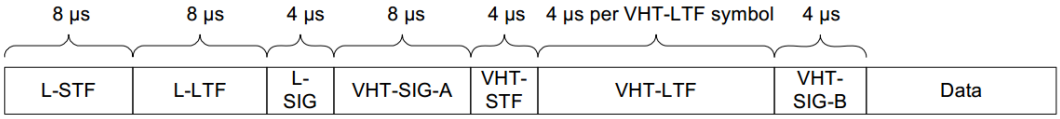


圖 4- 9：PHY 層封包格式

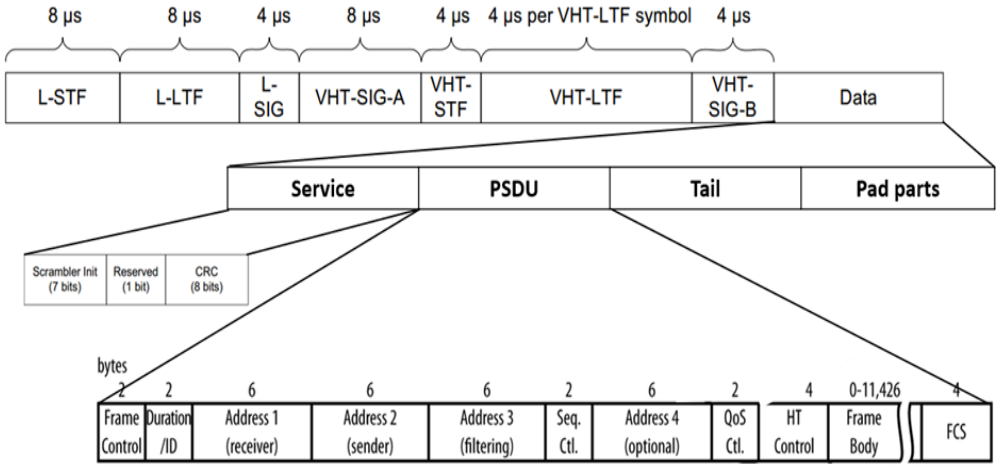


圖 4- 10：Data field

根據圖 4- 11 考慮較常使用之位元速率，選擇模擬使用之 MIMO 空間流數量為 3、調變技術為 64-QAM、位元速率為 156 Mbits/s，因為 MIMO 數量為 3 故設定 PHY 層封包格式中 VHT-LFT field 長度為 3 個 Symbols。

藉由位元速率可推算：若為資料封包則 Data field 傳輸時間為 588 us，而若為 Ack 確認封包則 Data field 傳輸時間為 1us，得到 Data field 之後可推算 PHY 層之封包傳輸時間分別為 636 us 以及 49 us。其

餘 802.11ac 之參數設定如下表 4- 3 所示，其中 BE 值從 0~ (2CW-1) 中隨機選取。

Modulation and coding schemes

Spatial Streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mbit/s)[10][b]							
			20 MHz channels		40 MHz channels		80 MHz channels		160 MHz channels	
			800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
2	64-QAM	3/4	117	130.3	243	270	526.5	585	1053	1170
2	64-QAM	5/6	130	144.4	270	300	585	650	1170	1300
2	256-QAM	3/4	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
2	256-QAM	5/6	N/A	N/A	360	400	780	866.7	1560	1733.4
3	BPSK	1/2	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	QPSK	1/2	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
3	QPSK	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
3	16-QAM	1/2	78	86.7	162	180	351	390	702	780
3	16-QAM	3/4	117	130	243	270	526.5	585	1053	1170
3	64-QAM	2/3	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
3	64-QAM	3/4	175.5	195	364.5	405	N/A	N/A	1579.5	1755
3	64-QAM	5/6	195	216.7	405	450	877.5	975	1755	1950
3	256-QAM	3/4	234	260	486	540	1053	1170	2106	2340
3	256-QAM	5/6	260	288.9	540	600	1170	1300	2340	2600
4	BPSK	1/2	26	28.8	54	60	117.2	130	234	260

圖 4- 11：modulation and coding schemes

表 4- 3：參數設定

參數名稱	數值
DIFS	18 us
SIFS	9us
CWmin	4
CWmax	10

在 LAA 所傳輸之資料封包根據 Ericsson, 3GPP 規範時間長度為 1 ms，而若傳輸封包為 Ack 確認封包則設定與 802.11ac 同為 49 us，其於 LAA 參數如表 4.4 所示：優先權愈大則偵測通道時間 (即 Td) 愈短且 CWmin 與 CWmax 愈小，因為 CW 值愈小則有較大機率選擇較小之 BE 值進行 Listen-Before-Talk 協調機制。

表 4- 4：LAA 參數

Priority class	Td (us)	CWmin	CWmax
1	25	2	3
2	25	3	4
3	43	4	6
4	79	4	10

(二) 802.11ac 與 LAA 協定流程圖

在 802.11ac 流程如圖 4.2.9 所示。若有資料需要傳輸，則第一筆資料會選擇直接送出封包並不會偵測通道 DIFS 時間；送出封包後等待 SIFS 時間準備接收 Ack，若成功接收則判定傳輸成功，反之則判斷失敗；若成功則直接隨機選擇 BE 值並進入 Backoff 階段，若失敗則紀錄重傳次數再進入 Backoff 階段，一旦重傳次數過多則放棄此封包；進入 Backoff 階段之後，傳輸端將偵測通道 DIFS 時間後才能遞減 BE 值，且若遞減 BE 值時通道偵測為 Busy 則必須等待通道 Idle 之後，再偵測 DIFS 時間確認通道閒置後方可遞減 BE 值。

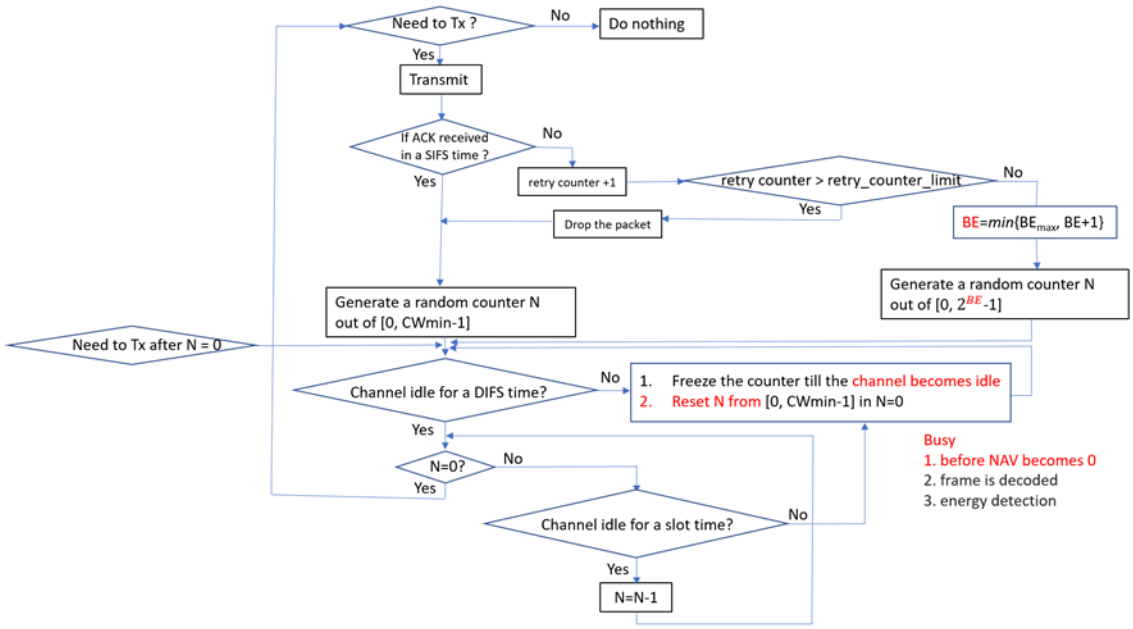


圖 4- 12：802.11ac 流程圖

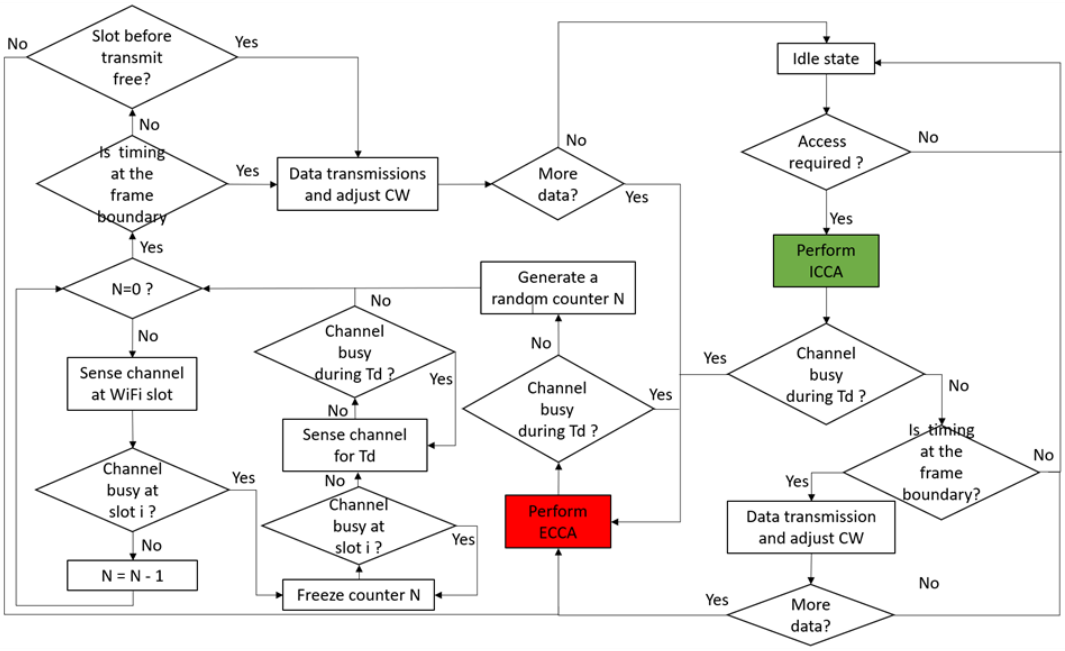


圖 4- 13：LAA 流程圖

LAA 流程如圖 4- 13 所示：LAA 分為兩種模式包含 Initial Clear Channel Assessment (ICCA) 與 Extended Clear Channel Assessment (ECCA)。當 LAA 小基站尚未進行傳輸之前其模式為 ICCA，而若傳輸過程不成功或有更多封包需要被傳輸則進入 ECCA 模式。

假設目前模式為 ICCA 且有封包需要傳輸則傳輸端會偵測通道 Td 時間，若偵測通道 Busy 則進入 ECCA 模式，若偵測通道為 Idle 則會判斷此刻為是否 Subframe Boundary，若此刻非 Subframe Boundary 則以 Dummy signal 保留通道如下圖 4- 14 所示：假設在 T+Td 時間並非 Subframe Boundary 且目前為 ICCA 模式，則 LAA 小基站可打出 Dummy signal 保留通道直到 Subframe Boundary 時間。

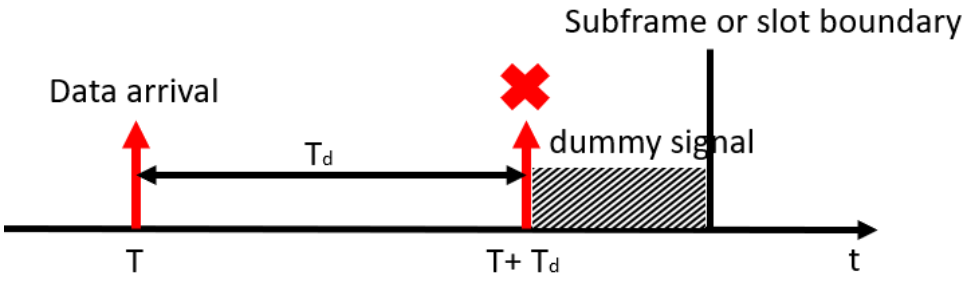


圖 4- 14：保留 Dummy signal 通道偵測圖

假設小基站已進入 ECCA 模式且有封包需要被傳輸，則會先偵測通道 Td 時間判斷通道是否為 Idle，若為 Idle 則隨機選擇 N 值，其功能與 802.11ac 中 BE 值相同；進入 Backoff 階段之後，小基站將偵測通道 Td 時間後方遞減 N 值，若遞減 N 值時通道偵測為 Busy 則必須等待通道 Idle 之後，再偵測 Td 時間通道確認後方繼續遞減 N 值；一旦 N 值為 0 小基站不能直接於此刻傳輸封包，必須判斷此刻是否為 Subframe Boundary；若此刻為 Subframe Boundary 則可傳輸封包，若此刻非 Subframe Boundary 則如下圖 4- 15 所示：假設在 T 時間小基站進入 ECCA 模式且選擇到之 N 值為 5，因為在 T 值 T+Td 時間偵測通道為 Idle 因此開始遞減 N 值，在 T、時間因為通道為 Busy 因此 N 值停止遞減直到 T、+Td 時間才可繼續遞減 N 值至 0，此刻必須判斷是否為 Subframe Boundary，若為 Subframe Boundary 則可傳輸封包，若不為 Subframe Boundary 則必須於 Subframe Boundary 前再偵測長度為 9 us 的 slot 確認通道為 Idle 方可傳輸封包。

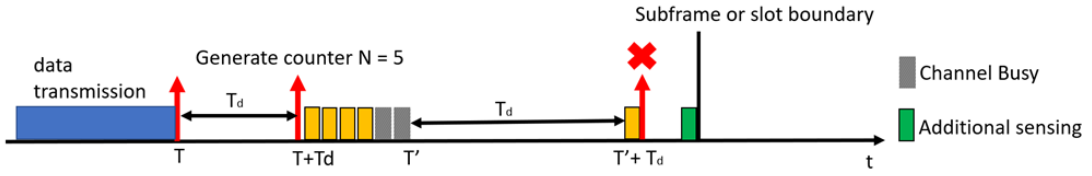


圖 4- 15：通道運作示意圖

(三) 模擬情境設計

模擬程式中分為兩種情境。情境一為只有單對 802.11ac 傳輸與接收站並以此作為判定基準，爾後若 LAA 小基站加入通道則可比較對於 802.11ac 傳輸與接收站影響程度。情境二考慮有兩對傳輸與接收站，分別為 802.11ac 傳輸與接收端與 LAA 小基站，其模擬情境如圖 4- 16 所示：假設 TA 與 TB 同時開啟且彼此之間並非 Hidden node，傳輸封包部分假設封包持續傳輸封包藉此計算若兩傳輸端與接收端在極限設定下爭搶通道之情形。

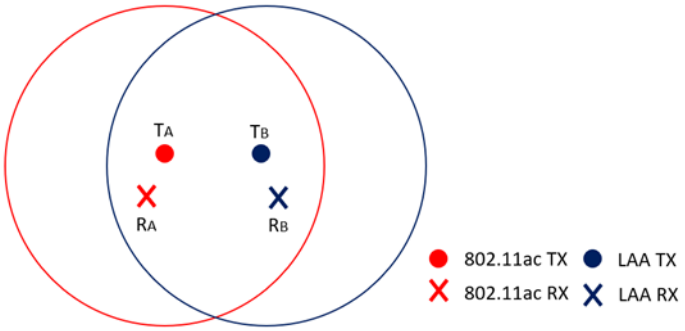


圖 4- 16：模擬情境圖

(四) 模擬結果正確性判斷與理論值預測

情境一因為只有單對 802.11ac 接收站，可以將其行為視為重複 5 個行為如下圖 4-17 所示：在此情形下若以長期觀察角度切入，因為只有一傳輸端因此不會發生碰撞故一次循換內傳輸端狀態為 Backoff 平均時間長為 7.5*9 us，並可以藉由推算方式算出理論 Air time 值應為：

$$\frac{636}{18 + 7.5 * 9 + 636 + 9 + 49} \triangleq 0.815$$

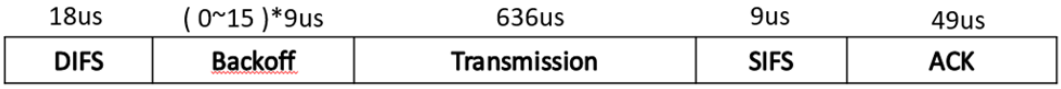


圖 4- 17：情境一示意圖

情境二加入一對 LAA 小基站與 802.11ac 傳輸與接收站同頻接取通道，由觀察結果可知如圖 4- 18：情境二模擬圖與圖 4- 19 所示：在圖 4- 18 中研究團隊觀察一秒內 LAA 成功接取通道時 802.11ac 之行為，其每一段綠色對應紅色之時刻放大圖如圖 4- 19 所示；由圖 4- 18：情境二模擬圖可知一秒內 LAA 傳輸端約成功接取通道 40 次，而 802.11ac 也於對應時刻判斷通道為 Busy。因為 802.11ac 協定其 CW 值遞增僅發生於成功接取通道但無法正確收到 Ack 時刻，故期望看到模擬結果為 802.11ac 佔空比有些微下降幅度但與 LAA 總佔空比總和超過情境一單對 802.11ac 之傳輸接收站。

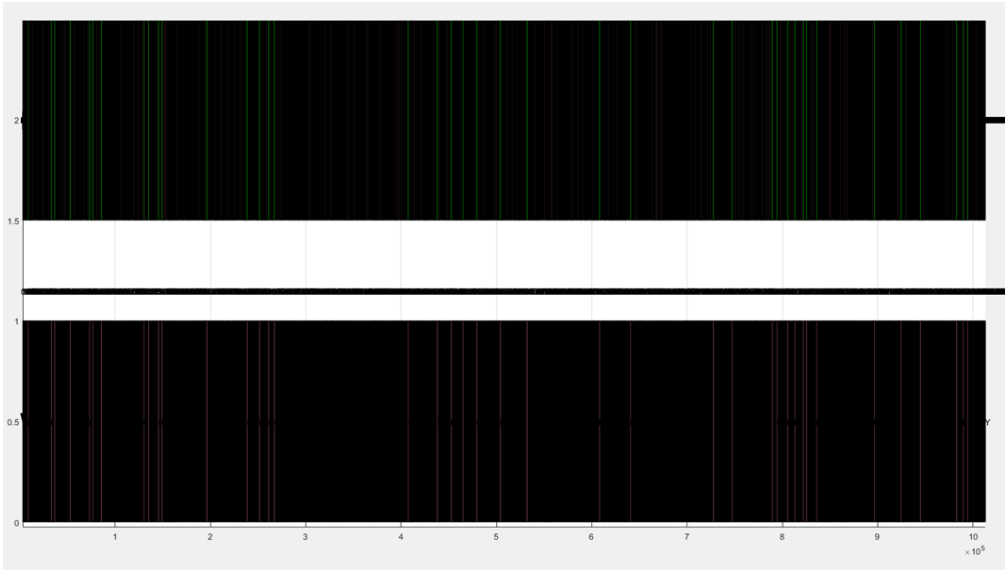


圖 4- 18：情境二模擬圖

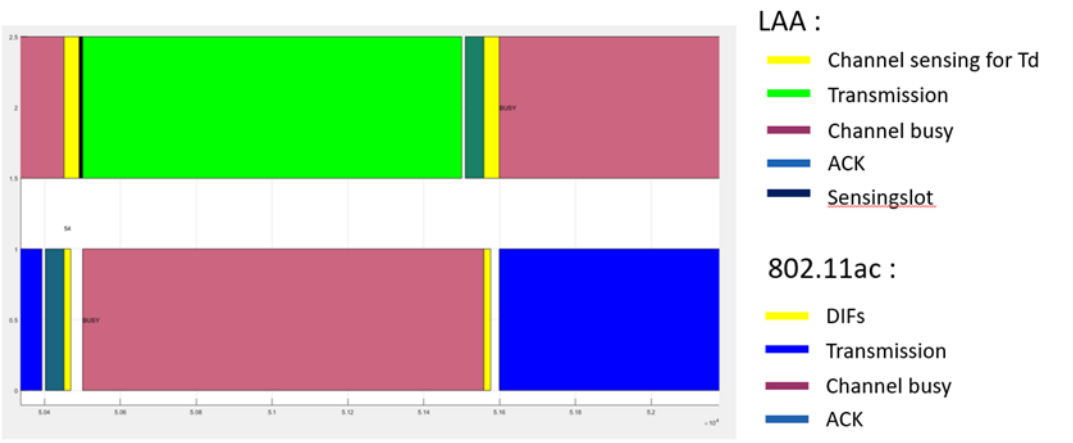


圖 4- 19：情境二模擬時刻放大圖

第三節　LAA 與 WiFi 單一重疊區的共存模擬

如圖 4-20 所示，研究團隊所模擬的 LAA 與 WiFi 共存的環境拓樸為長 120 公尺與寬 120 公尺的空間，分別放置 1 台 Video Server、1 個 LAA 基地台與 1 個 Wi-Fi AP，並在 LAA 和 WiFi 重疊區擺放 3 支 UE，2 支連上 WiFi 而 1 支連上 LAA，另外，在 LAA 非重疊區的涵蓋範圍擺放 1 支 UE 連上 LAA，接著研究團隊設定 LAA 基地台傳輸半徑為 40 公尺與 WiFi AP 傳輸半徑為 35 公尺，這樣的配置可以模擬一個重疊區的情形。

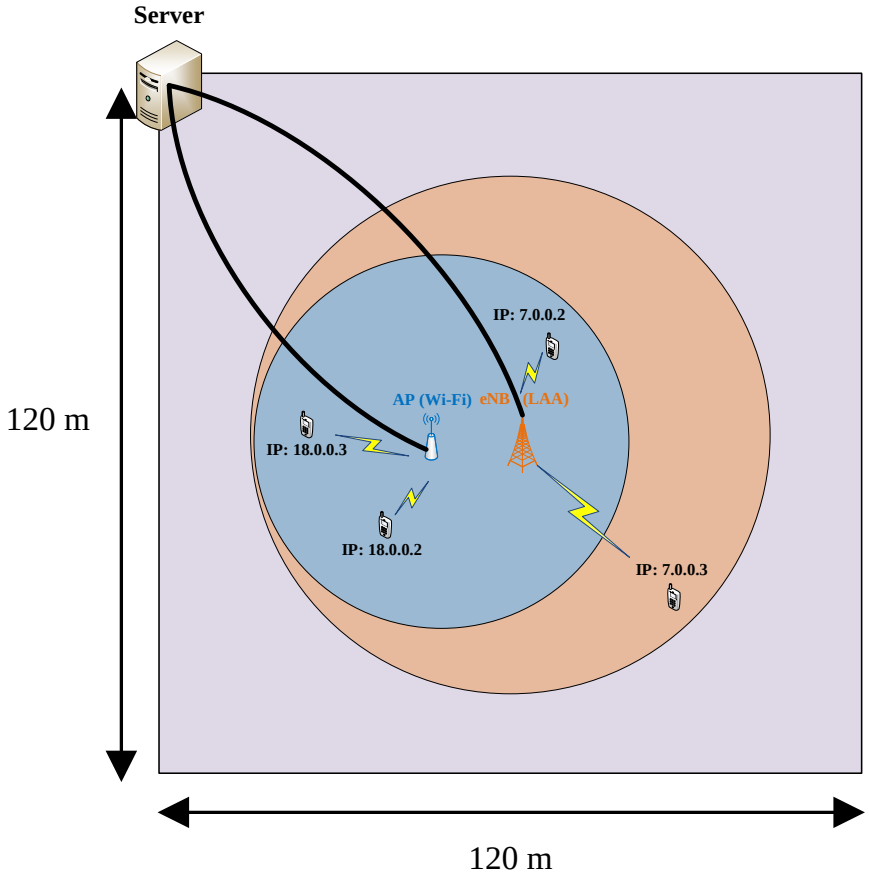


圖 4- 20：使用 NS-3 模擬 LAA 與 WiFi 共存的拓樸

NS-3 模擬的情境是從每一支 UE 同時向 Video Server 經過 LAA 基地台或是 Wi-Fi AP 下載一條 video stream，在下載的過程中，LAA 基地台會使用 LBT (Listen Before Talk)跟 Wi-Fi AP 競爭 unlicensed band (5.18 GHz)的資源，並且在無法爭取到足夠頻寬時，LAA 基地台會使用 licensed band (2.6 GHz)進行載波聚合，最後將此一 video stream 下傳給 UE。

研究團隊改變 LBT 參數，分別是 defer duration (Td)與 Channel Occupancy Time (COT)，並想藉由模擬結果來分析改變 LBT 內部參數會對 LAA UE 與 WiFi UE 產生什麼影響，同時研究團隊也比較其他論文針對 LBT 參數的調整所得出的結果跟研究團隊模擬結果的差異，接著思考可以用什麼方法調整 LBT 參數讓 LAA 與 WiFi 共存的整體網路效能(例如封包遺失率、封包延遲等等)或是整體的 Throughput 可以更好。

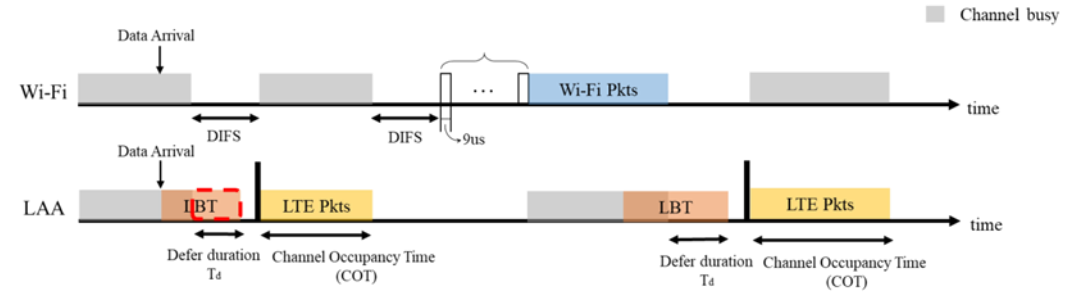
表 4-5 為 NS-3 設定的模擬參數，研究團隊使用 Wi-Fi 標準為 802.11n，UE 都是固定位置，而調變技術為 ACM (Adaptive Coding and Modulation)，並在未調整 LBT 內部參數的情況下，研究團隊設 Td 為 43us 以及 LAA 封包大小為 1000 bytes。

表 4- 5：在 NS-3 模擬參數的設定

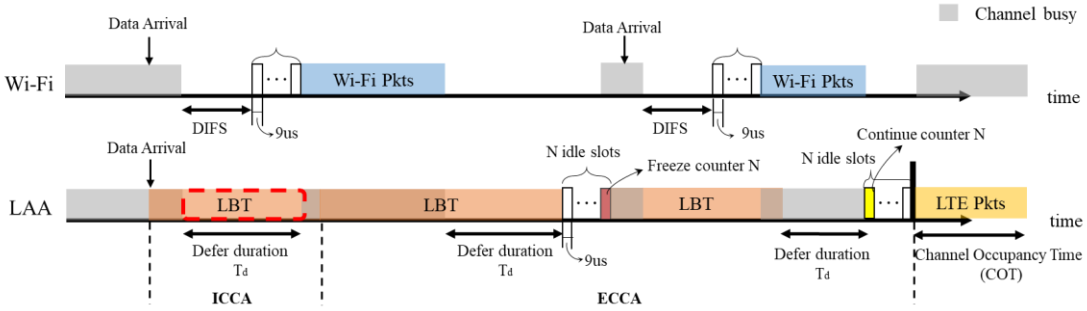
Parameter	Value
Simulation time	30 sec
Simulation area	120 m × 120 m
LAA transmission radius	40 m
Wi-Fi transmission radius	35 m
Wi-Fi standard	802.11n
Total UEs	4
UE position allocator	Constant position
Total Bandwidth	20 MHz
Modulation	ACM
Licensed center frequency	2.6 GHz
Unlicensed center frequency	5.18 GHz
Base station Tx Gain	5 dB
Base station Rx Gain	5 dB
Base station Tx Power	18 Bm

一、 改變 LBT 的延遲時間(Td)

圖 4-21 (a)為 Td 原本的時間長度，圖 4-21 (b)則是將 Td 的時間增長(紅色虛線的框框處)，研究團隊推測 LAA 監聽通道的時間越久，LAA 越容易進入 ECCA (Extended CCA)越難競爭到 unlicensed band 的資源傳輸資料，而 WiFi 更加容易用載波偵測到通道為空閒狀態並傳輸資料。



(a) Td 比較小: LAA 容易競爭到 unlicensed band



(b) Td 比較大: WiFi 容易競爭到 unlicensed band

圖 4- 21：改變 Td 對 LAA 與 WiFi 競爭 unlicensed band 的影響

如圖 4-22 所示，當 UDP data rate 為 1 Mbps 到 3 Mbps 時，研究團隊改變 Td 時間的長短，結果是沒有顯著的影響到 LAA UE 的 Throughput，但是當研究團隊增加 UDP data rate 為 4 Mbps 與 5 Mbps 傳輸資料時，研究團隊發現 Td 的時間越長，LAA UE 的平均 Throughput 越低，這代表越高的 UDP data rate 改變 Td 的時間所造成的影響越明顯。

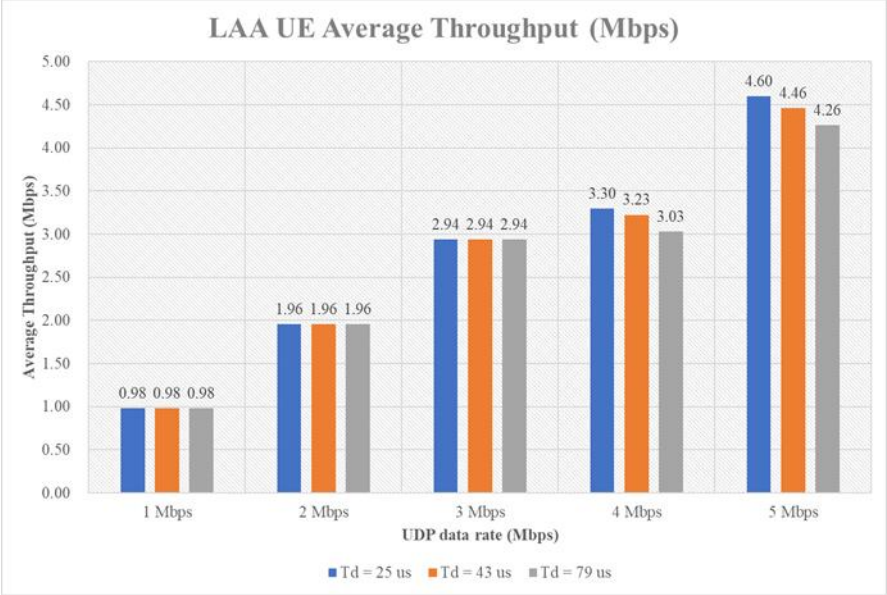


圖 4- 22：改變 Td: LAA UE 的平均 Throughput

如圖 4-23 所示，當 UDP data rate 為 1 Mbps 到 3 Mbps 傳輸資料時，研究團隊雖然改變 Td 但是對 WiFi UE 的平均 Throughput 幾乎沒影響，但是當研究團隊增加 UDP data rate 為 4 Mbps 與 5 Mbps 時，研究團隊發現 Td 的時間越長，WiFi UE 的平均 Throughput 會越高，這就表示 LAA 監聽通道的時間越長可以讓 WiFi 比 LAA 更有機會使用 unlicensed band 來傳輸資料。

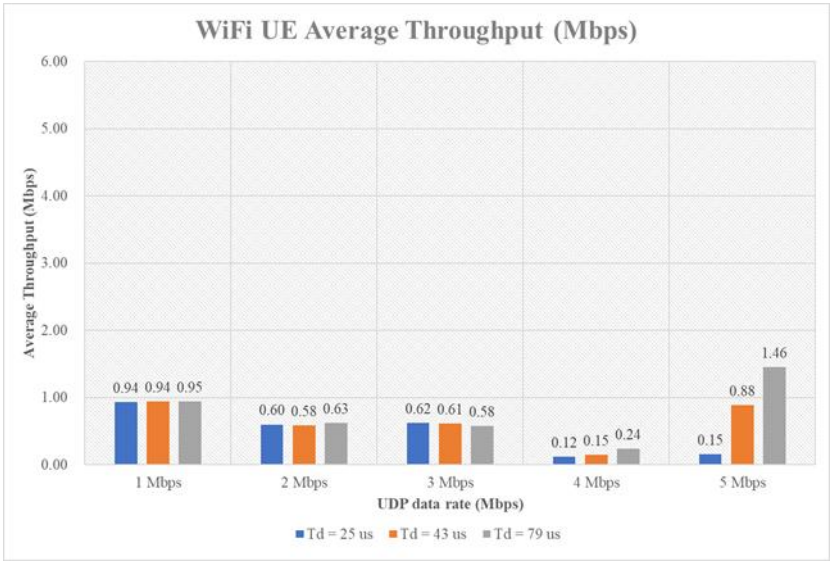
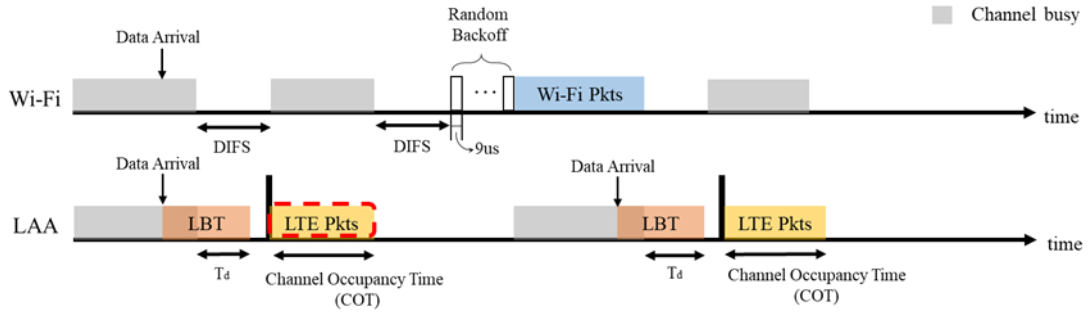


圖 4- 23：改變 Td: WiFi UE 的平均 Throughput

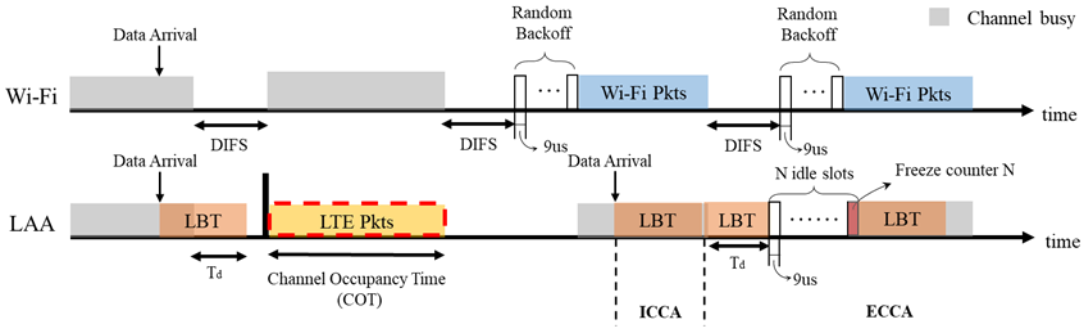
研究團隊也參考了 Morteza Mehrnoush 等人的論文來比對研究團隊的模擬結果，他們增加 Td， LAA UE 的 Throughput 越低，WiFi UE 的 Throughput 越高，這也驗證了研究團隊模擬的結果。

二、 改變 LAA 的封包長度

如圖 4-24 (a)與圖 4-24 (b)所示，研究團隊參考 Jaehong Yi 等人的論文，他們改變的是最大通道佔有時間(Maximum Channel Occupancy Time, MCOT)，他們得出的結果是 MCOT 值越大，LAA 的 Throughput 越高。另外，研究團隊參考 Massimiliano Maule 等人的論文，他們探討的是 LAA 封包每次傳送的間隔時間(mean session interarrival time)，他們發現 LAA 的封包間隔時間越長，LAA 的 Throughput 越低，WiFi 的 Throughput 越高。



(a) MCOT 比較短: WiFi 競爭到 unlicensed band 的機率大



(b) MCOT 比較長: WiFi 競爭到 unlicensed band 的機率小

圖 4- 24：改變 MCOT 對 LAA 與 WiFi 競爭 unlicensed band 的影響

如圖 4- 20，研究團隊使用 NS-3 做 LAA 與 WiFi 在單一重疊區的共存模擬，在模擬的過程中，研究團隊固定 MCOT 的值，藉由改變 LAA 傳輸的封包大小來分析 WiFi 的 throughput。研究團隊增加 LAA 傳輸封包的長度，這樣可以讓 LAA 的 UE 一次可以傳輸較多的資料

量，如圖 4- 25 所示，研究團隊將 LAA 的封包大小從 500 bytes 增加到 1500 bytes，研究團隊可以觀察到當 LAA 的封包越長，UE 的平均 Throughput 反而越小，這是因為在固定的傳輸時間內，如果 LAA 的封包長度超過 MCOT，它能競爭到 unlicensed band 的機率反而越低。雖然小封包一次傳的資料量不多，但是它相對能競爭到 unlicensed band 的機率比較大，整體的傳輸量會比使用長封包時來得大，因此如圖 4- 25 所示，當 LAA 使用短封包傳輸時，UE 的 Throughput 反而會比使用長封包傳輸時高，研究團隊同時也發現當 UDP 的 data rate 增加時，LAA 的封包大小對 UE Throughput 的影響會變大。

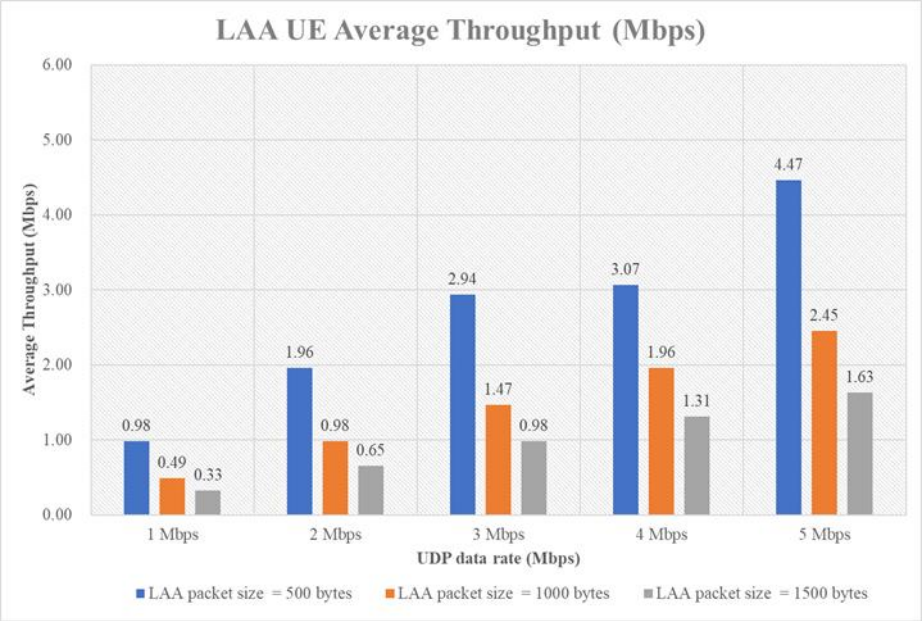


圖 4- 25：改變 LAA 的封包大小對 Throughput 的影響

另外，如圖 4- 26 所示，當 UDP data rate 為 1 Mbps 到 3 Mbps 時，研究團隊發現改變 LAA 的封包大小對 WiFi UE 的平均 Throughput 影響比較小，但是當研究團隊增加 UDP data rate 到 4 Mbps 與 5 Mbps 時，LAA 的封包越長，WiFi UE 的 Throughput 反而越高，因為此時 WiFi 比 LAA 更有機會競爭到 unlicensed band，研究團隊也發現當 UDP data rate 較高時，調整 LAA 的封包大小會讓 WiFi 的 Throughput 的變化加大。

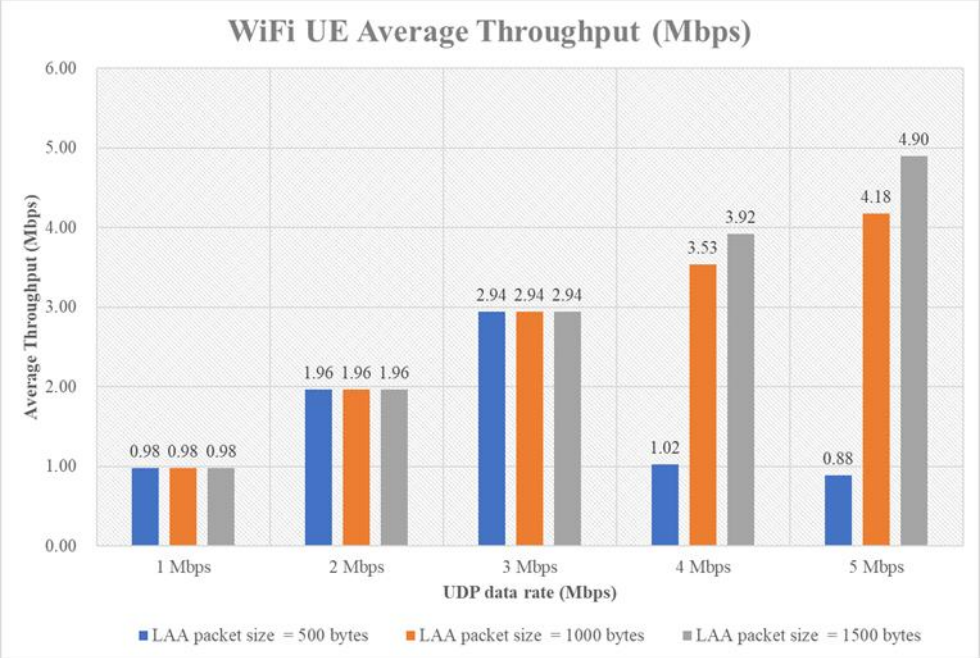


圖 4- 26：改變 LAA 封包大小對 WiFi UE 平均 Throughput 的影響

第四節　LAA 與 WiFi 的干擾測試與 QoS 分析

一、 測試環境

如圖 4- 27 所示，研究團隊在海工館實驗室建置一套 LAA-Small Cell 測試場域，其設備為一台 EPC、兩台 Switch、一台 LAA 的 eNB 與使用一台 5GHz 的 WiFi 與兩台 UE 與一台 Iperf Generator 與一台 VoD server。綠色框為 LAA 的設備，紅色框為 WiFi 的設備，LAA 設備的 EPC 內有兩張網卡分別為 eth0 和 eth1，eth0 負責連到 Internet (public IP)以及 eth1 負責跟 eNB 溝通(private IP)，EPC 的 eth0 連到中山大學機房再連上 Internet，而 EPC 的 eth1 連到一台 Switch，再由 Switch 連接一台 eNB，eNB 使用的頻率為 5 GHz，測試用的 UE 必須是具有支援 LAA 設備功能的手機，且需要工研院所提供特製的 SIM 卡才能跟 eNB 連線。

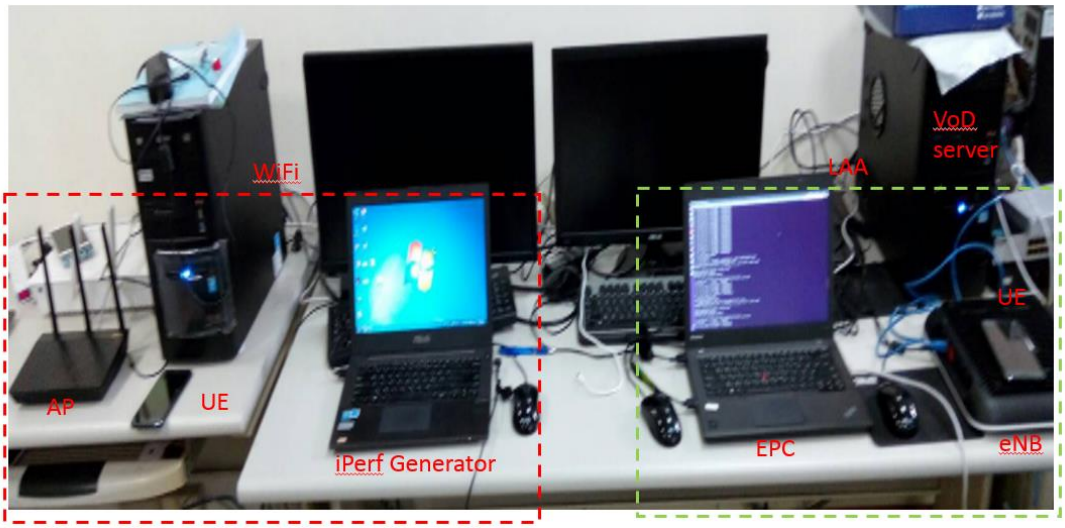


圖 4- 27：ITRI-LAA 與 WiFi 實體設備

在 LAA 與 WiFi 的干擾測試，研究團隊會針對 ITRI-LAA 與 WiFi 的設定相關參數進行實際量測統計，如表 4- 6 所示，其 ITRI-LAA 的有兩個 band7(FDD)、band46(TDD)，研究團隊使用 ITRI 的預設值在 Licensed band 為 2.6GHz 與 Unlicensed band 為 5.24GHz，研究團隊設定 uplink 的 Modulation 為 QPSK，Downlink 的最大值的 Modulation 為 64-QAM，只打開 LAA 的實際量測值的 Max Throughput 為 220~230Mbps。研究團隊參照 NS-3 模擬去設定 Wi-Fi (802.11n)使用 Unlicensed band(TDD)，研究團隊將頻率設定為 5.24GHz，設定 Modulation 為 64-QAM，只打開 Wi-Fi 的實際量測值的 Max Throughput 為 50~60Mbps。

如表 4- 7 所示，研究團隊將 UE 端連上 LAA 與 WiFi 所量測到的 RSRP、RSRQ 訊號進行記錄，如圖 4- 28 所示，研究團隊先使用手機安裝 APP(G-NetTrack Lite)來量測訊號，UE 端接收 LAA 的訊號為 RSRP:-59~-62dBm、RSRQ:-9~-11dB，UE 端接收 WiFi 的訊號為-75~-83dBm、RSRQ:-9~-11dB。

表 4- 6：ITRI-LAA 與 WiFi 使用的參數

	ITRI-LAA		Wi-Fi (802.11n)
	Licensed band	Unlicensed band	Unlicensed band
Band number	Band 7	Band 46	X
Mode	FDD	TDD	TDD
Uplink	2.5 ~ 2.57 GHz (70 MHz)	5.15 ~ 5.925 GHz	5.1-5.8 GHz
Downlink	2.62 ~ 2.69 GHz (70 MHz)		
Center frequency (uplink bandwidth)	2.525 GHz (2.515~2.535 GHz)	5.24 GHz (5.23~5.25 GHz)	5.24 GHz (5.23~5.25 GHz)
Center frequency (downlink bandwidth)	2.645 GHz (2.635~2.655 GHz)		
Modulation	Uplink: QPSK Downlink: 64-QAM		64-QAM
Max Throughput	220-230 Mbps (只打開LAA的實際量測值)		50-60 Mbps (只打開WiFi的實際量測值)

表 4- 7：UE 端 LAA 與 WiFi 的 RSRP 與 RSRQ 訊號比較

	UE 端 LAA	UE 端 WiFi
RSRP	-59~-62dBm	-75~-83dBm
RSRQ	-9~-11dB	-11~-13dB



圖 4- 28：LAA 在 UE 端的 RSRP 與 RSRQ 訊號

二、 iperf 測試方法

如圖 4- 29 所示，iperf 的測試架構，測試研究團隊經過調整與測試 LAA 設備與 WiFi 設備的相對距離約 240 公分，研究團隊使用 LTE-LAA 是 Licensed band 為 2.6GHz 與 Unlicensed band 5.24GHz，與 WiFi 之間進行干擾測試，在 LTE-LAA 的 EPC 用 iperf 持續傳送 10 秒，測試使用一台手機 iperf 來測量一台 eNB 的效能(Throughput、Packet Loss Ratio、Jitter)， Iperf Generator 同樣傳送 10 秒到手機來測量 eNB Downlink 的效能，在手機部分可以安裝 G-NetTrack Lite 的 APP 可以觀看 RSRP 與 RSRQ、SNR 的資訊。

研究團隊分別測試 LAA Only、WiFi Only、LAA + WiFi 來量測其效能，接著研究團隊使用 iperf 在 LAA 固定傳送 250 Mbps，調整 WiFi 的傳送 10 ~ 40 Mbps 來進行效能測試(Throughput、Packet Loss Ratio、Jitter)。

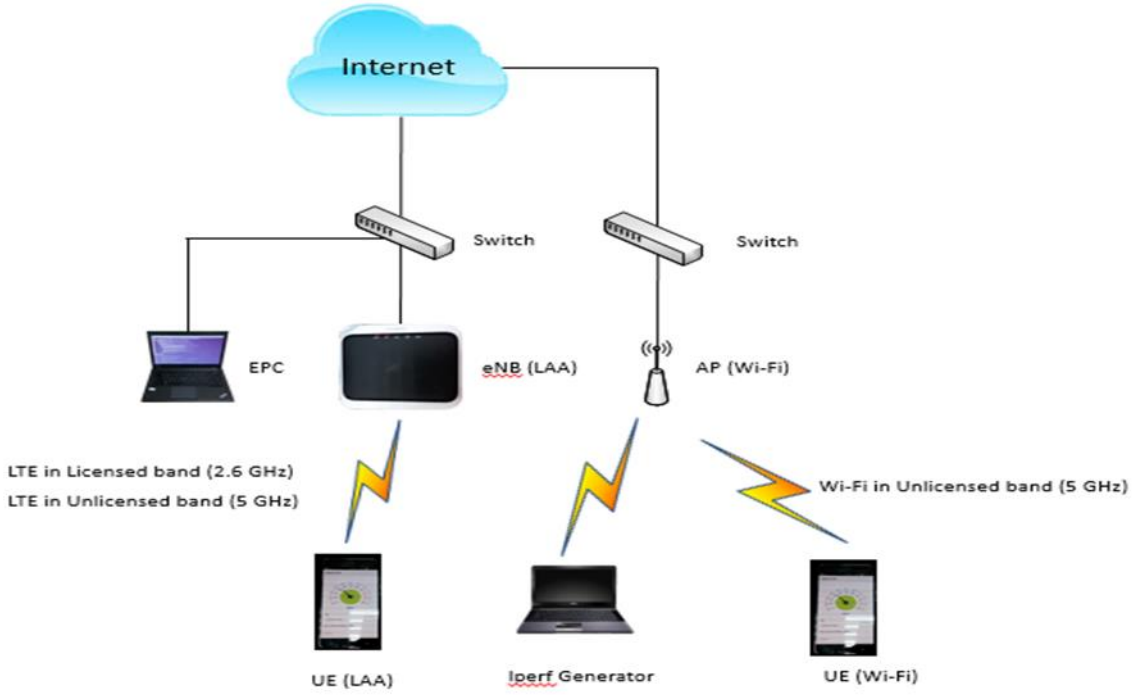


圖 4- 29：使用 iperf 的測試架構

三、 iperf 測試結果

研究團隊是測試 LAA 的 Downlink (Modulation:64-QAM)使用 iperf 分別實際測試 5 次，以便於 ITRI-LAA 與 WiFi 的干擾比較。如表 4- 8 所示，研究團隊在 LAA 固定傳送 250 Mbps，WiFi 固定傳送 100 Mbps，測試 LAA only 的 Throughput 約 145Mbps，Packet Loss ratio 是 42%，在 WiFi only 的 Throughput 約 59Mbps，Packet Loss ratio 是 3.44%，使用 LAA only (Licenced + Unlicenced)的 Throughput 約 230Mbps，Packet Loss ratio 是 9.46%，在同時開啟 LAA + WiFi 的 LAA Throughput 約 183Mbps，Packet Loss ratio 是 28%，WiFi 的 Throughput 約 11Mbps，Packet Loss ratio 是 19.5%。

表 4- 8：LAA 與 WiFi 的四種測試結果

I. LAA only (Licensed band)

iPerf = 250 Mbps Duration = 60 sec			
	Throughput	Jitter	PLR
Average	145 Mbps	0.12 ms	42 %

II. WiFi only

iPerf = 100 Mbps Duration = 60 sec			
	Throughput	Jitter	PLR
Average	59 Mbps	0.78 ms	3.44 %

III. LAA only (Licensed + Unlicensed)

iPerf = 250 Mbps Duration = 60 sec			
	Throughput	Jitter	PLR
Average	230 Mbps	0.05 ms	9.46 %

IV. LAA + WiFi

iPerf (LAA) = 250 Mbps, iPerf (WiFi) = 100 Mbps Duration = 60 sec						
	LAA Throughput	LAA Jitter	LAA PLR	WiFi Throughput	WiFi Jitter	WiFi PLR
Average	183 Mbps	0.08 ms	28 %	11 Mbps	1.07 ms	19.5 %

如表 4- 9 所示，研究團隊做另外一個測試，在 LAA 固定傳送 250 Mbps，調整 WiFi 的傳送 10～40 Mbps，在 LAA 的 Throughput 約 196~217Mbps 左右，Packet Loss ratio 約 13~22%，在 WiFi 的 Throughput 約 9.1~14Mbps 左右，Packet Loss ratio 約 5.9~70%。

表 4- 9：改變 WiFi 的 data rate 對 LAA 與 WiFi Throughput 的影響

iPerf (LAA) = 250 Mbps, Duration = 10 sec						
	LAA Throughput (Mbps)	LAA Jitter (ms)	LAA PLR (%)	WiFi Throughput (Mbps)	WiFi Jitter (ms)	WiFi PLR (%)
WiFi = 10 Mbps	206	16.04	16	9.1	0.94	5.9
WiFi = 20 Mbps	196	0.04	22	14.0	0.98	42
WiFi = 30 Mbps	202	15.66	17	13.5	0.69	52
WiFi = 40 Mbps	217	0.04	13	10.8	1.10	70

四、 VoD 測試方法

如圖 4- 30 所示，研究團隊使用 VoD 進行量測，研究團隊壓製兩部相同影片分別為 10M、20M 的影片，影片時間為 128 秒，放置到 VoD Server 上，在 LTE-LAA 的 UE 接收 VoD Server 影片，同時 WiFi 的 UE 接收 VoD Server 上影片，測試 LAA 手機來測量一台 eNB 的影片畫面情況(停格、馬賽克)，WiFi 的筆電透過 wireshark 來測量 Downlink 的效能，研究團隊分別測試 LAA Only、WiFi Only、LAA + WiFi 來量測其效能。

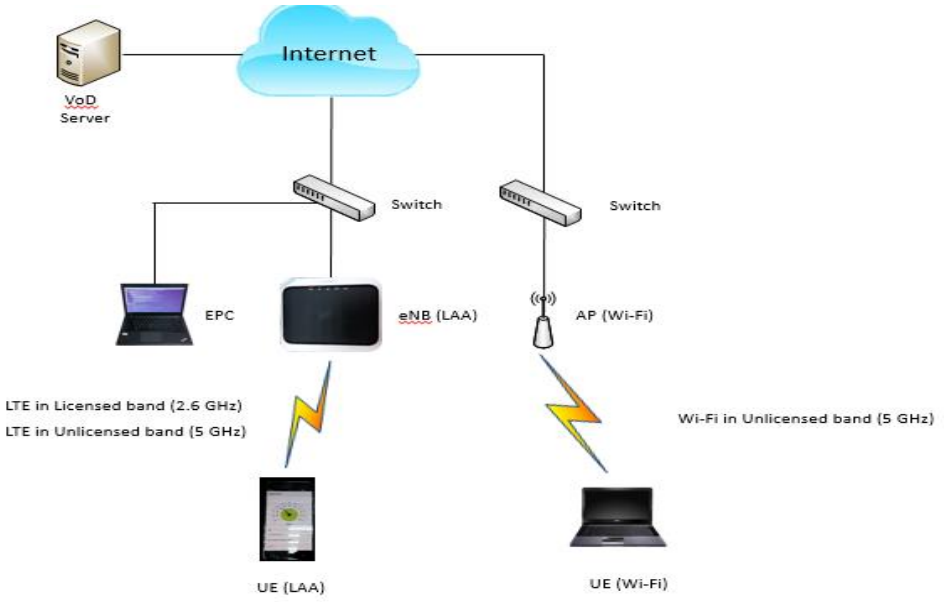


圖 4- 30：使用 VoD 的測試架構

五、 VoD 測試結果

研究團隊是測試 LAA 的 Downlink (設定 Modulation:64-QAM、Time : 128 s) 使用 VoD 分別實際測試 5 次，以便於 ITRI-LAA 與 WiFi 的干擾比較。如表所示，研究團隊測試 LAA Only 時，因為手機沒有辦法統計 Throughput 的 APP，所以只能以影片的畫面進行分析，分別為手機馬賽克(描述一張畫面的馬塞克四種情況：沒有、少量、中等、嚴重)、手機停格(統計每次停格共幾秒)。

如表 4- 10 所示，LAA Only 在 10 Mbps 影片的手機停格約 4 sec、馬塞克畫面少量，在 20 Mbps 影片的手機停格約 8sec、馬塞克畫面中量。

表 4- 10：VoD 測試結果(LAA Only)

LAA Only Duration = 128 sec		
EBR	手機 停格	手機 馬塞克
10 Mbps	4 sec	少量
20 Mbps	8 sec	中等

如表 4- 11 所示，WiFi Only 是使用筆電，可以透過 wireshark 來測量，在 10 Mbps 影片的 Throughput 約 10Mbps，Packet Loss ratio 是 0.4%，在 20 Mbps 影片的 Throughput 約 18Mbps，Packet Loss ratio 是 10.4%。

表 4- 11：VoD 測試結果(WiFi Only)

WiFi Only Duration = 128 sec		
EBR	筆電 (wireshark 量測) Throughput (Mbps)	筆電 (wireshark 量測) Loss (%)
10 Mbps	10 Mbps	0.4 %
20 Mbps	18 Mbps	10.4%

如表 4- 12 所示，在 LAA + WiFi 同時播放影片時，LAA 在 10 Mbps 影片的手機停格約 8 sec、馬塞克畫面少量，WiFi 的 wireshark 量測到 Throughput 約 9.69Mbps，Packet Loss ratio 是 5.0%。LAA 在 20 Mbps 影片的手機停格很嚴重、馬塞克畫面嚴重，WiFi 的 wireshark 量測到 Throughput 約 13.6Mbps，Packet Loss ratio 是 20.8%。

表 4- 12：VoD 測試結果(LAA + WiFi)

LAA + WiFi Duration = 128 sec				
EBR	LAA 手機 停格	LAA 手機 馬塞克	WiFi 筆電 (wireshark 量測) Throughput	WiFi 筆電 (wireshark 量測) Loss
10 Mbps	8 sec	少量	9.69 Mbps	5.0 %
20 Mbps	嚴重	嚴重	13.6 Mbps	20.8 %

* 馬塞克：描述一張畫面的馬塞克四種情況：沒有, 少量, 中等, 嚴重

* 停格 ：統計每次停格共幾秒。

* EBR = Encoding Bit Rate

第五節　結果分析與建議

一、 LAA 與 WiFi 多個重疊區的共存模擬

研究團隊在 NS-3 的模擬中分析 LAA 與 WiFi 共存的 5 個區域的 UE 平均吞吐量(throughput)，在每一條 video data rate (UDP stream)設為 1 Mbps 的情況下，當有三個 LAA 與一個 WiFi 重疊時，因為 LAA 與 WiFi 彼此間的干擾特別嚴重，所以其平均吞吐量比起其他區域的平均吞吐量減少約 30%。

研究團隊在 NS-3 的模擬中分析 LAA 與 WiFi 共存的 5 個區域的 UE 平均吞吐量(Throughput)，在每一條 video data rate (UDP stream)設為 1 Mbps 的情況下，當有三個 LAA 與一個 WiFi 重疊時，因為 LAA 與 WiFi 彼此間的干擾特別嚴重，所以其平均吞吐量比起其他區域的平均吞吐量減少約 30%。

(一) LAA 與 WiFi 單一重疊區的共存模擬

研究團隊在 NS-3 模擬中改變 Td 與 LAA 封包的大小，研究團隊發現 UDP data rate 越高，Td 對 LAA 與 WiFi Throughput 的影響就會越顯著。另外，研究團隊還改變 LAA 封包的長度，研究團隊發現當 UDP data rate 較高時，調整 LAA 的封包大小會讓 WiFi 的 Throughput 的變化加大。

最後，研究團隊建議在 LBT 機制中，加入研究團隊所提出的排程演算法，如圖 4-3 所示，此方法會依 UE 所要求的 data rate 先判斷 LAA 的 licensed band 是否可提供足夠的頻寬，如果所能提供的頻寬不夠時，LAA 再使用 LBT 演算法去跟 WiFi 競爭 unlicensed band 的頻寬資源，這個新的排程演算法可以讓 LAA 與 WiFi 在共存時，WiFi 的 Throughput 不致因為 LAA 的加入而產生劇烈的變化。

(二) Iperf

研究團隊在 LAA 與 WiFi 的干擾測試使用 iperf 的測試結果，先進行四種測試，研究團隊從工研院提供給研究團隊的 LAA 設備，可以發現 LAA only 能測到 Throughput 約 145Mbps 趨近於 150Mbps 上限。在 WiFi(802.11n) 頻寬 20MHz 能測到 Throughput 約 59 Mbps 趨近於 65Mbps 上限。在 LAA only (Licenced + Unlicenced)的 Throughput 約 230Mbps 趨近於 250Mbps 上限。在同時開啟 LAA + WiFi 的 LAA Throughput 約 183Mbps，WiFi 的 Throughput 約 11Mbps，很明顯在同

時開啟 LAA + WiFi 的時候，WiFiAP 和 LAA 同時訊號傳輸造成碰撞，WiFi 所受到的干擾很嚴重，若是 LAA 干擾 WiFi AP，WiFi AP 應該會偵測到訊號停止傳輸，研究團隊與工研院討論，工研院懷疑 WiFi AP 的 CSMA 機制可能過於 aggressive。

研究團隊使用 iperf 在 LAA 固定傳送 250 Mbps，調整 WiFi 的傳送 10 ~ 40 Mbps，WiFi 的 Throughput 有很明顯的上升趨勢，所以結果是 LAA 的 Throughput 影響不大，但是在 WiFi 會因為 Throughput 變大而影響其效能。

建議測試 iperf 時，研究團隊調整 LAA 設備與 WiFi 設備的相對距離約 240 公分最合適，研究團隊改變 WiFi 的功率大小與 LAA 功率相近的情況下，會對 WiFi AP 的減少干擾並提升效能的情況。

(三) VoD

研究團隊在 LAA 與 WiFi 使用 VoD 進行量測，分別測試 LAA Only、WiFi Only、LAA + WiFi 來量測其效能，LAA Only 在 10 Mbps 影片的手機停格約 4 sec、馬塞克畫面少量，在 20 Mbps 影片的手機停格約 8sec、馬塞克畫面中量，發現在 20Mbps 影片比 10Mbps 影片的停格時間多一倍，馬塞克情況比較嚴重，Loss 相對嚴重。

WiFi Only 是使用筆電，可以透過 wireshark 來測量，在 10 Mbps 影片的 Throughput 約 10Mbps，在 20 Mbps 影片的 Throughput 約 18Mbps，可以發現 20 Mbps 影片 Loss 約 2Mbps。

LAA + WiFi 相互比較 10 Mbps 與 20 Mbps，LAA 在 20 Mbps 影片的手機停格很嚴重、馬塞克畫面嚴重，不管是 LAA 馬塞克、停格與 WiFi 的 Throughput、Packet Loss ratio 都變的很差。

建議測試 VoD 時，需要調整 LAA 基站與 WiFi 的 AP 的距離，並在壓製 VoD 影片 10M、20M，選擇動態影片對於靜態影片，在馬塞克、停格會比較清楚，以便於統計資料。

二、 NS-3 模擬結果分析

研究團隊在 NS-3 的模擬中分析 LAA 與 WiFi 共存的 5 個區域的 UE 平均吞吐量(throughput)，在每一條 video data rate (UDP stream)設為 1 Mbps 的情況下，當有三個 LAA 與一個 WiFi 重疊時，因為 LAA

與 WiFi 彼此間的干擾特別嚴重，所以其平均吞吐量比起其他區域的平均吞吐量減少約 30%。

三、 Matlab 模擬結果分析

情境一模擬結果如表 4- 12：所示：模擬時間以事件數量為基準故有些微起伏，結果可看到單對 802.11ac 傳輸接收站其佔空比與理論值相符，可確立模擬結果正確性並以此最為後續比較之基準。

情境二模擬結果如表 4- 13 所示：在 802.11ac 佔空比與情境一模擬結果下降約 7%，對 802.11ac 影響並不劇烈，而總佔空比平均值約 82% 較情境一模擬結果 81.5% 有些微幅度提升。

表 4- 13：情境一模擬結果

Order	Simulation time (s)	802.11ac air time(us/s)
1	25.9824	8.1593e+05
2	25.9819	8.1594e+05
3	25.9824	8.1593e+05
4	25.9824	8.1593e+05
5	25.9824	8.1593e+05
Average	25.9823	8.1593e+05

表 4- 14：情境二模擬結果

Order	Simulation time (s)	802.11ac air time(us/s)	LAA air time(us/s)	Total air time(us/s)
1	15.3466	7.8430e+05	3.5773e+04	820073e+05
2	15.3150	7.8584e+05	3.4019e+04	819859e+05
3	15.3058	7.8635e+05	3.3582e+04	819932e+05
4	15.3112	7.8769e+05	3.2329e+04	820029e+05
5	15.3455	7.8725e+05	3.2778e+04	820028e+05
Average	25.9823	7.86286e+05	3.36962e+04	81998+e+05

第五章　概念驗證平臺系統運作概念驗證展示與建議

第一節　系統架構初步設計

一、 定義硬體架構

隨著物聯網(IoT)和智慧城市發展，越來越多人關注頻譜共享技術，其是穩定並可行的系統，有效地減輕頻譜稀少性的問題。而 FCC 於 2015 年釋出 3550-3700MHz 的頻譜資源供未來商業化使用，此共享頻段稱為公民無線寬頻服務（Citizens Broadband Radio Service，CBRS），為三層式共享架構，如下圖 5- 1 所示。

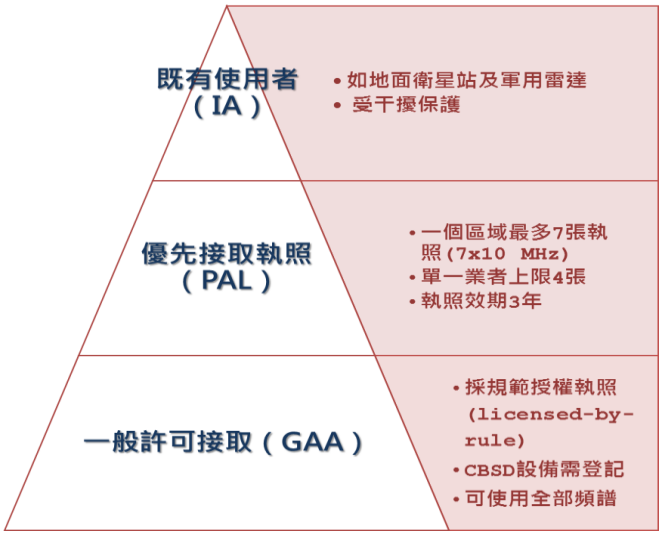


圖 5- 1：CBRS 的三層式管理架構

在 CBRS 架構下，提供在主要使用者(Primary User)沒有使用的情況下，次級使用者(Secondary Users)可以接取頻譜。次級使用者分為兩種：優先接取使用者(Primary Access License user，PAL)和一般接取使用者(General Authorized Access user，GAA)，其中 PAL 的頻譜使用權大於 GAA，若 GAA 使用 PAL 要用的頻道，必須強制跳頻至其他頻道，因此需要一個穩定的系統來做頻譜分配(spectrum allocation)、跳頻(channels evacuation)和使用優先權管理等等。

本計畫將整合 CBRS 的新架構於研究團隊的 ViSSA 實驗平臺當中，具體的研究流程為：1、研讀 GAA 要接取頻道時所需遵守的規範；2、研讀當 PAL 收回頻道時，GAA 跳頻所需遵守的規範；3、概

念實行的情境設計；4、CBRS 平臺建置；5、CBRS 平臺與原 ViSSA 系統整合。預計呈現的 ViSSA 系統架構如下圖 5- 2 所示。

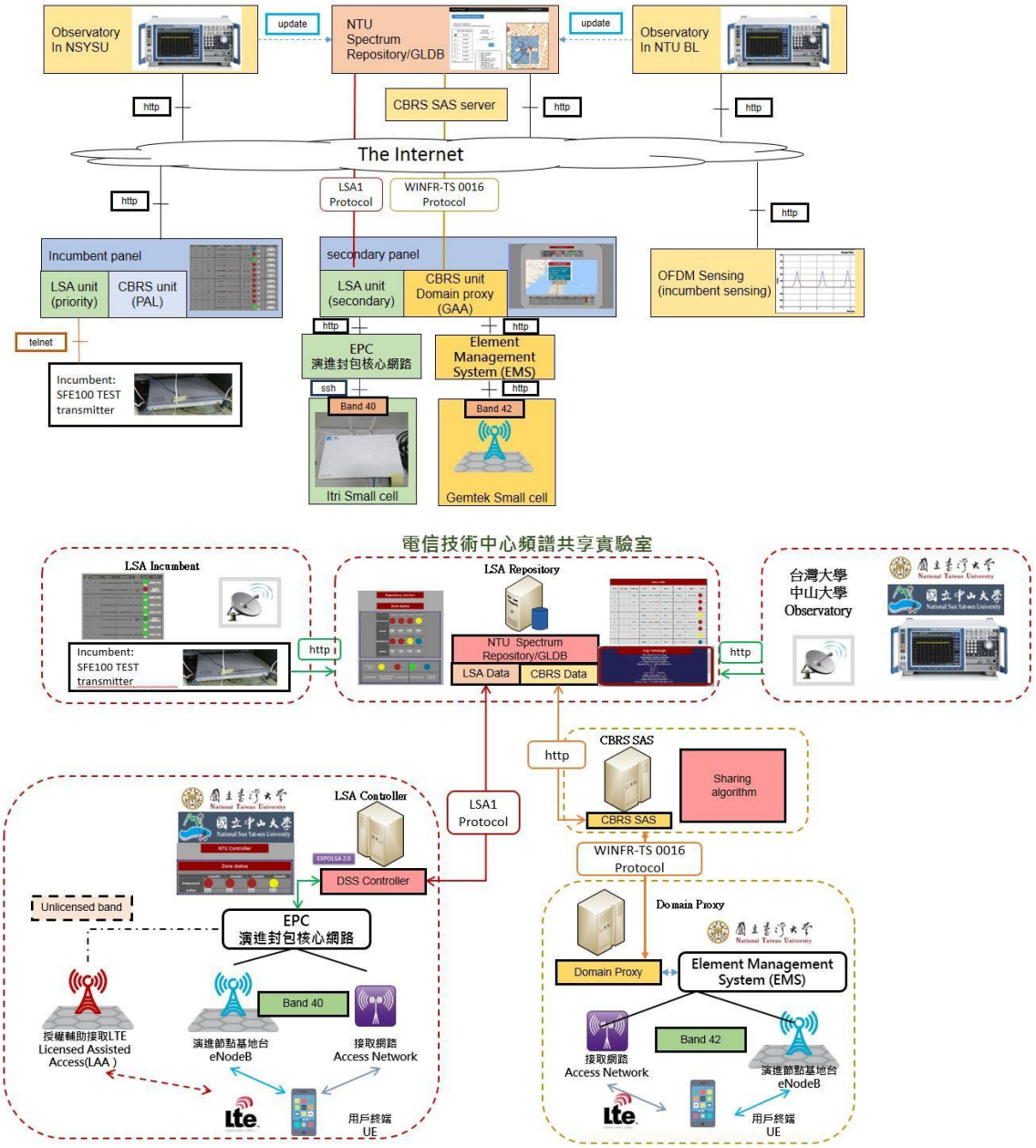


圖 5- 2：ViSSA 實驗平臺 v2.0 架構

整體 CBRS 的實作流程，將在一台電腦上建置管理系統來代表 SAS，並能處理 GAA 和 PAL 不同的的請求以及讀寫資料庫的資料；兩個資料庫，一個須包含頻譜分配的資料，另一個須包含 PAL 的使用者列表以及擁有那些執照頻譜；透過軟體來實行 PAL、GAA 和

SAS 之間的接取規範；至少兩個裝置能與 SAS 溝通來模擬 GAA 接取頻道、跳頻以及 PAL 的接取頻道，且必須通過軟體實行優先權的概念。

二、 整合觀測站(Observatory)於 ViSSA2.0 實驗平臺

針對全時監控技術與系統，將分為三項工作項目執行：

1. 既有之頻譜狀況觀測站(NTU observatory) 全時蒐集 3400 MHz 至 4200 MHz 的頻帶使用情形
2. 整合所蒐集之資料庫至 EXPLOSA 平臺以做為 CBRS 所需之 Spectrum Access System 建置。
3. 中山大學 observatory 系統建置。

針對工作項目(1)：observatory 頻譜觀測系統(如圖 5-3 所示)經由臺大博理館頂樓之頻譜分析儀量測衛星訊號功率，針對 3400 至 4200MHz 頻段以 MATLAB 程式操作進行全時資料蒐集與分析，每隔 10kHz 掃描頻譜狀況並記錄觀察到之地點、時間、功率最大值、功率最小值與功率平均值，全範圍掃描並利用 FTP 協定回傳頻譜資訊至 MySQL 資料庫儲存與更新約 180 秒完成，而對於資料庫的查詢方式，則以網站呈現，欲查詢者可以選擇自己要的時間以及頻譜範圍進而得到對應色圖。

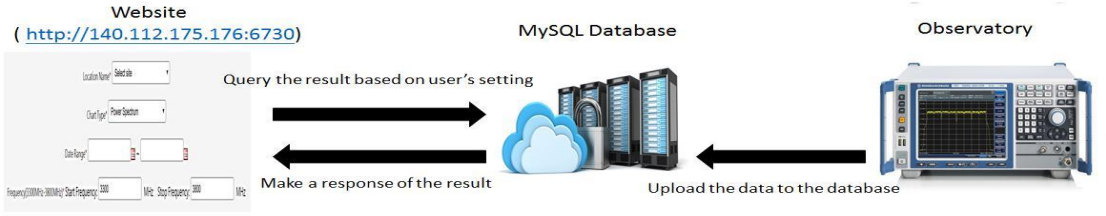


圖 5-3：頻譜觀測站系統架構

在觀測方面頻譜分析儀之衛星訊號來源及方式如**圖 5-4** 所示，地面接收站觀測中新二號之下行發射功率，並利用 LNB 觀察其中頻功率，而 LNB 和 CBRS 碟型指向性天線都存在放大增益因此將對其修正呈現原始下行功率的地面接收值。

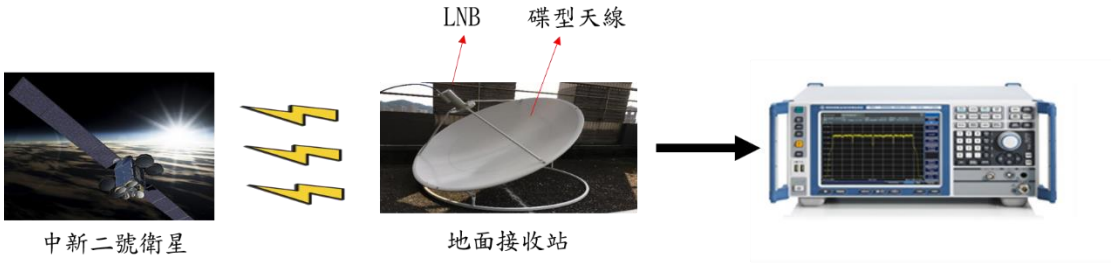


圖 5- 4：頻譜觀測站之實驗硬體

圖 5- 5 顯示實際量測 3400-4200MHz 頻帶之接收功率，根據中新二號衛星之轉頻器頻率分配表(如**圖 5- 6** 所示)，我國可接收之下鏈頻段為**圖 5- 5** 所示之，以中心頻率分別為 3550、3591、3632 與 3673 MHz 的四個頻段。舉例來說，中心頻率為 3591MHz 之下鏈頻段接收功率約為-115 dBm，該頻率之理論接收功率可估算如下：

- 轉頻器每個頻道 36MHz，發射功率(EIRP)約為 46dBw，也就是 76dbm；
- 經自由空間傳播路徑損失約 196dB；
- 饋線損失約 5dB~8dB；
- 碟型天線增益放大 65dB；

因此收到之訊號強度每 100Hz 為：

-116dBm = (76 - 10log36 - 40) - 196 -5 + 65

由上可知，臺大頻譜觀測站所觀察之中心衛星下鏈頻帶接收功率的確與理論值相符，可驗證觀測站系統之正確性，其餘下鏈頻帶可用相同之方法驗證，證明觀測系統至全頻譜正確性。

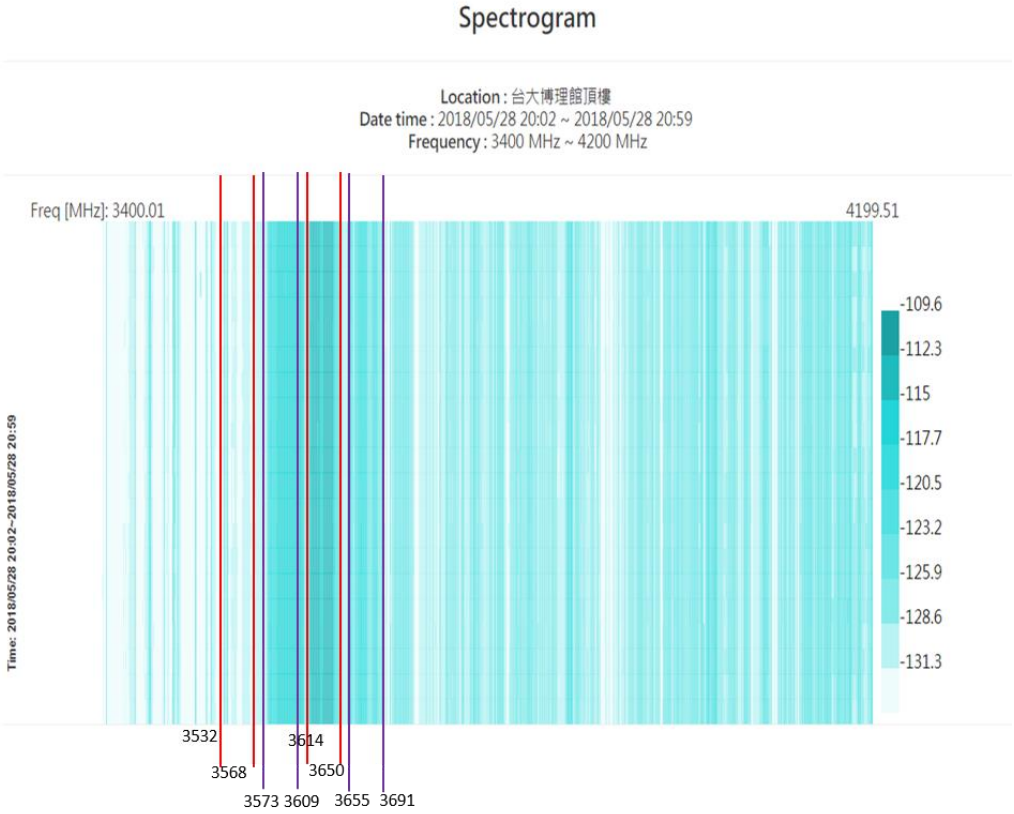


圖 5- 5：實際量測接收功率(3400-4200 MHz)

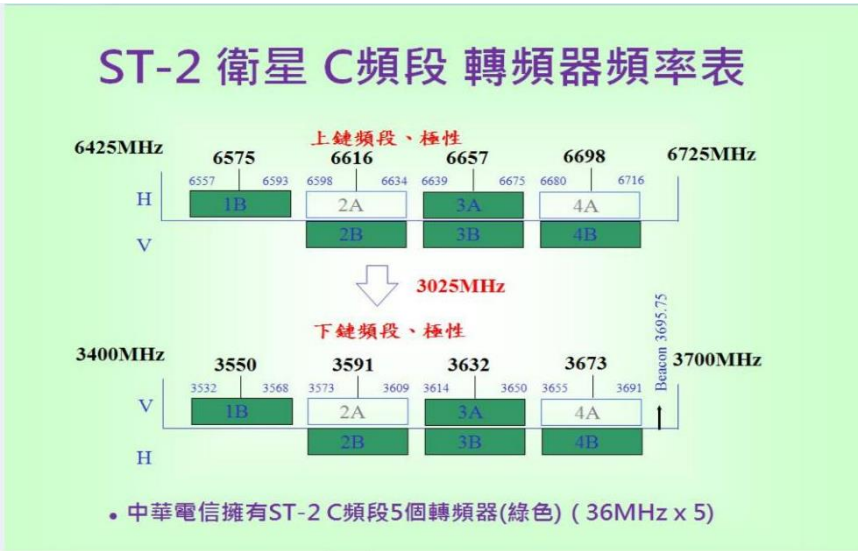


圖 5- 6：中新二號轉頻器頻率表

此外量測結果也顯示，中心衛星二號下鏈之接收功率隨時間變動情形非常微小。

針對工作項目(2)：開發 EXPLOSA 2.0 平臺專屬網站介面，由介面後端直接向 observatory 之 MySQL 資料庫查詢量測資料，能夠將欲

觀察者給定的時間以及頻率範圍即時呈現，同時也可以設定門檻值過濾量測功率過大之頻段針對通道被占用與否作圖(如圖 5- 7)。

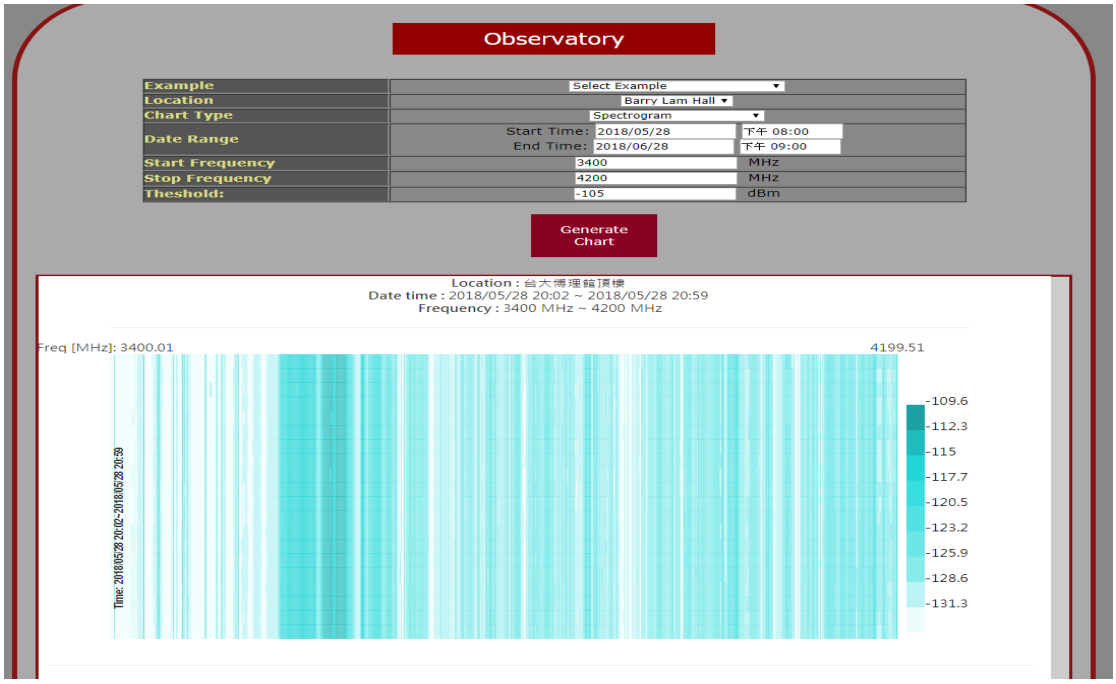


圖 5- 7：EXPLOSA 平臺 observatory 網頁介面

Observatory 系統整合至 EXPLOSA 2.0 平臺使之得以從 EXPLOSA 2.0 端直接進入資料庫查詢即時 3400MHz 至 4200MHz 的頻譜狀況。日後可透過實驗分析當無線寬頻小基站於室內以及室外使用對現有地面固定衛星接收站的干擾，提供未來規管制訂與參數設計。

針對工作項目(3)，將於中山大學頂樓建置 observatory 觀測站，系統架構同於臺大 observatory 觀測站，因此若要全時監控中山大學地區則在硬體部分需要另一台頻譜分析儀、一座碟型天線與資料庫伺服器，軟體部分則根據臺大現有部分作修改包含 MATLAB 與 NI488.2，其預期之架構如圖 5- 8 所示，第一步：碟型天線會收到來自中興衛星的下鏈發射功率，第二步：頻譜分析儀將得到碟型天線觀測功率大小，第三步：小型操作電腦藉由 MATLAB 程式以及 NI488.2 得到頻譜分析儀觀測功率，第四步：將結果匯入資料庫作儲存，而對於資料庫的呈現方式預計將以網頁方式呈現同臺大觀測站。

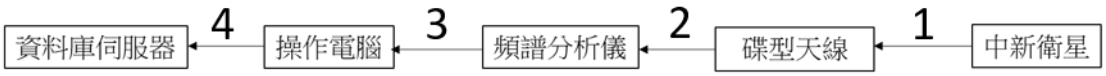


圖 5- 8：預期 observatory 系統架構

在 EXPLOSA 實驗平臺當中加入 Observatory 模塊，可以從模塊當中設定地點時間以及預觀測的頻譜範圍產生圖表，目前可以產生的圖表為 1、頻譜佔用比率(Spectral Occupancy Rate)；2、頻譜能量圖(Power Spectrum)；3、頻譜佔用狀況圖 (Occupancy Status) 及 4、頻譜狀況圖(Spectrogram) ，所有的圖表都是借由於臺灣大學博理館頂樓的觀測站蒐集的數據製作而成，於博理館頂樓的觀測站會將蒐集到頻譜能量以及干擾資料匯入資料庫，而研究團隊的實驗平臺會去接取資料庫的資料並且視覺化之後做成圖表呈現於網頁介面。

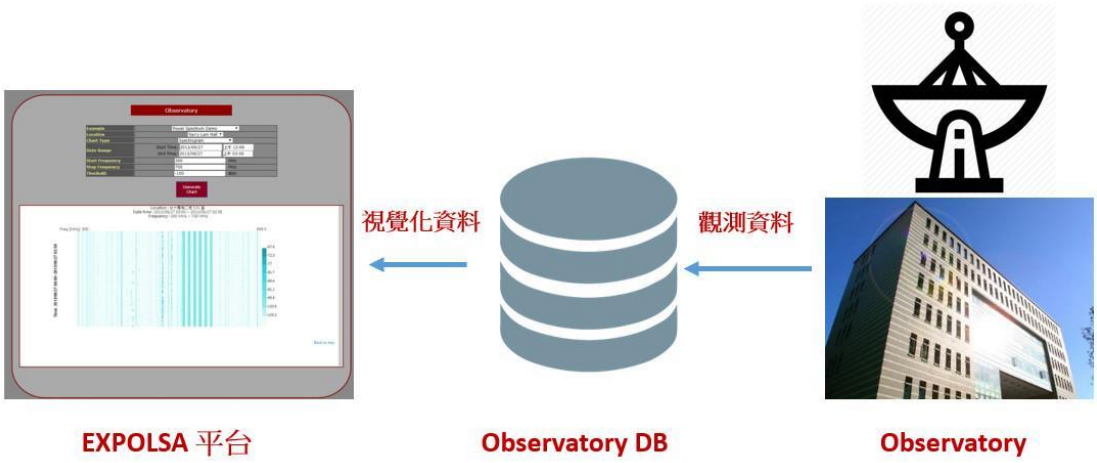


圖 5- 9：整合 Observatory 於 EXPOLSA 平臺

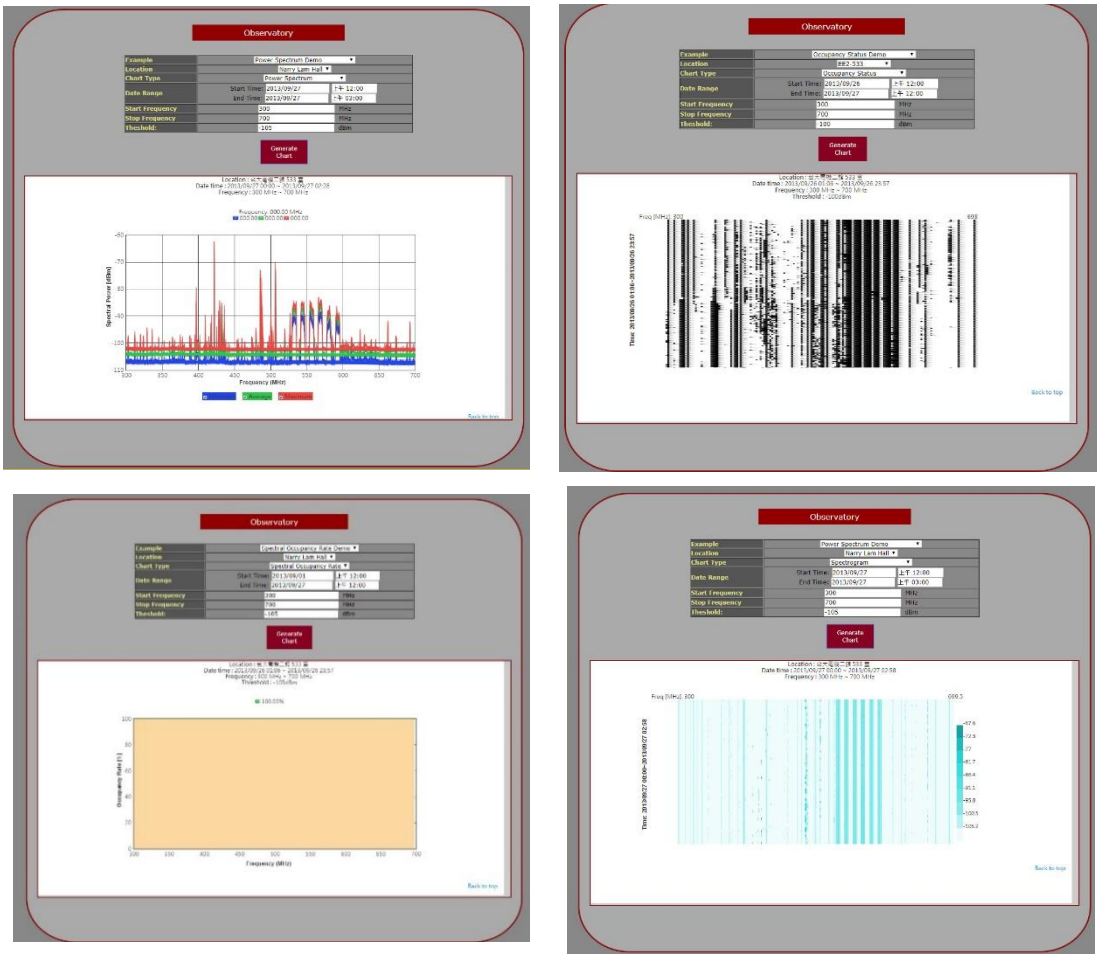


圖 5- 10：使用 Observatory 資料的各種做圖

研究團隊將在中山大學海工館頂樓建置 observatory，並進行頻譜掃描，對西子灣附近的電波訊號進行測試分析，觀察中山大學西子灣附近場域的各種電波訊號，針對 3.3GHz-4.2GHz 進行電波的掃描量測，並收集相關數據資料。研究團隊會透過頻譜分析儀量測頻率範圍內隨時間變化的輸入訊號強度，主要用於分析已知及未知訊號的功率。

三、 小細胞天線與頻譜 sector 之運用

頻譜地理區域的劃分藉由小細胞的指向行天線加以切割，可以使區域的資源分配更加精細，如圖 5- 11 所示可以將原本的大區域劃分為更多的小區域來提升頻譜的使用效率，此外借由 sector 的運用可以使服務更加貼近個別的使用者需求，在干擾方面借由 sector 的運用可以藉由安排不同方向的天線，從而有效的降低不必要的干擾。

在運用面來說sector可以更大化的增加頻譜出借者的利益，原本整個區域的頻譜出借在藉由指向型天線分割後可以指出借需要的sector保留自身所需的部分，從而提供更佳的頻譜使用效率。

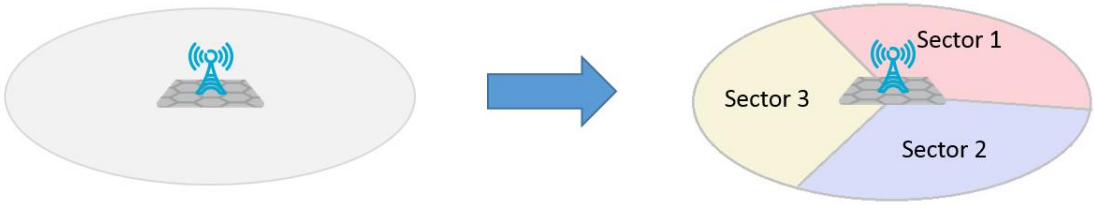


圖 5- 11：使用指向型天線將區域進一步劃分

研究團隊已將指向型天線時裝於系統中的 ITRI Small Cell 之中（圖 5- 12），等待系統對於 Sector 天線做出配置即可提供空間面向的多工，服務更多的用戶。



圖 5- 12：實裝指向型天線於 Small Cell

第二節　GAA 與 PAL 間可行的頻譜共享展示

研究團隊結合 WINNF 訂立之資料交換規範及 FCC 規定之干擾管理設計實作頻道配選機制在 CBRS 系統並整合至 ViSSA2.0 平台上，圖 5- 13 為台大動態頻譜接取實驗室裡在本計畫裡的軟硬體設備及關係架構圖，本計畫之焦點放在實作 SAS Server 以及 Domain Proxy-NMS 上。軟體部分，預計將設計之 GAA 頻道選擇機制建置在網頁上呈現，硬體設備部分將使用正文科技 Gemtek 的 X-Cell 當作 CBSD 傳輸在 Band 42 上。

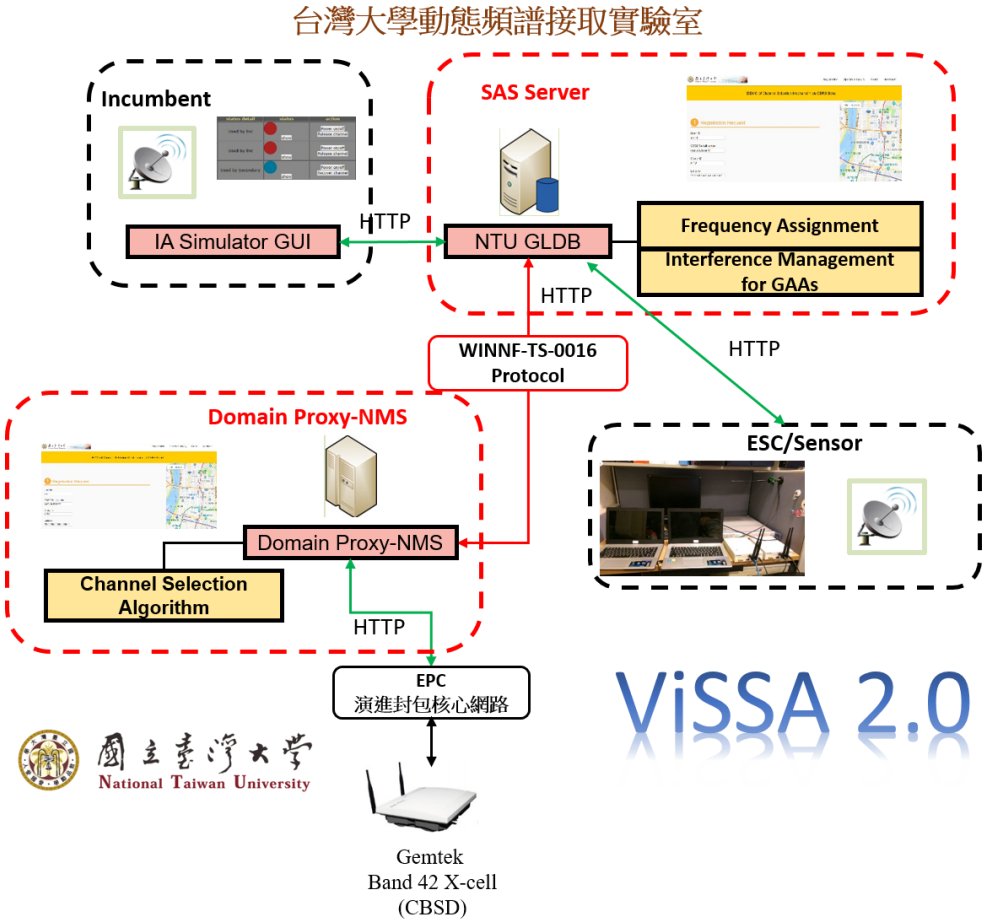


圖 5- 13：ViSSA2.0-台大動態頻譜接取實驗室-軟硬體架構圖

根據 WinnF 提出之 CBRS 建議參考架構，如圖 5- 14，及研究學者提出之功能性架構，如圖 5- 15，研究團隊參照其參考架構設計為一般授權接取使用者(GAA)之頻道選擇功能，其設計之整合功能架構如圖 5- 16 所示。

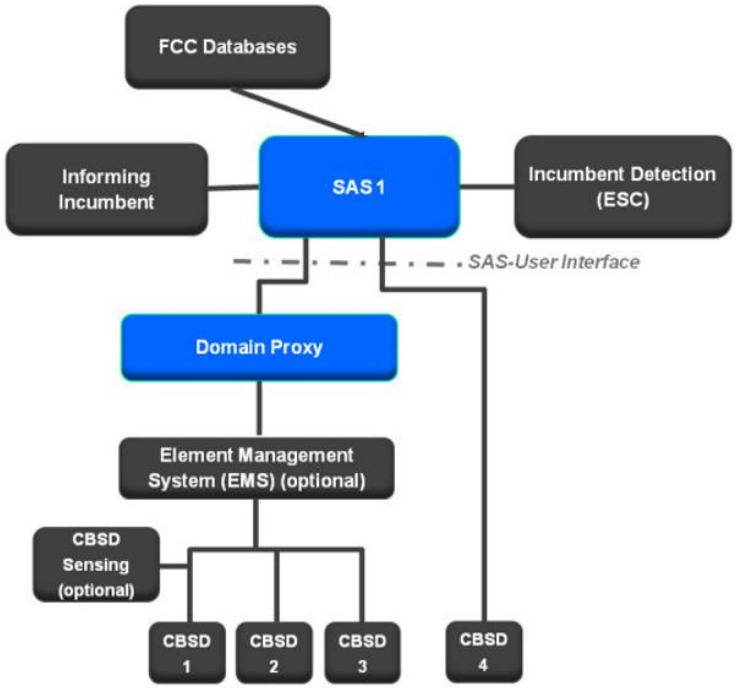


圖 5- 14： CBRS 參考系統架構圖

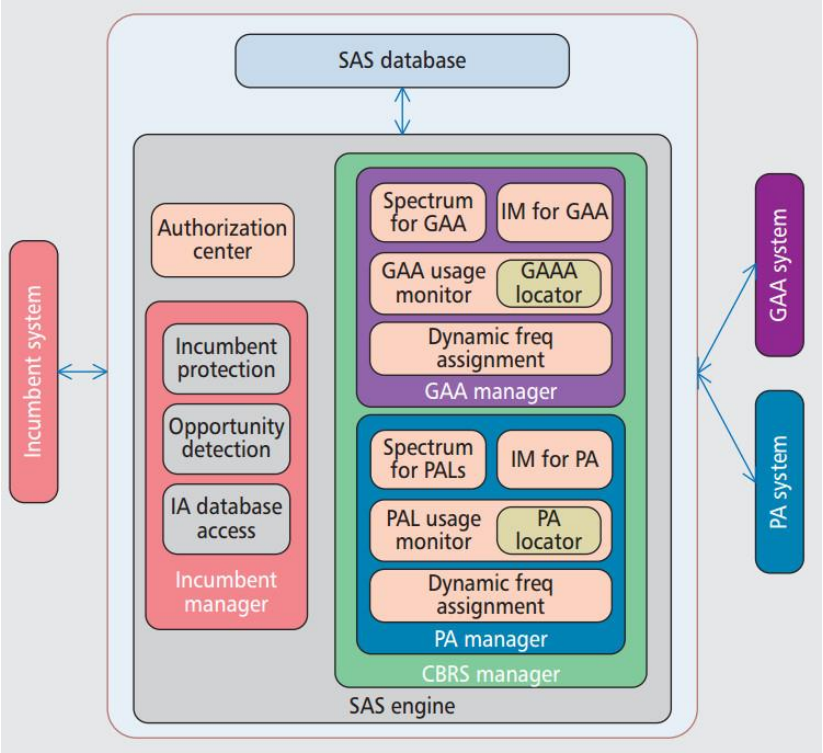


圖 5- 15：CBRS 建議參考之功能架構

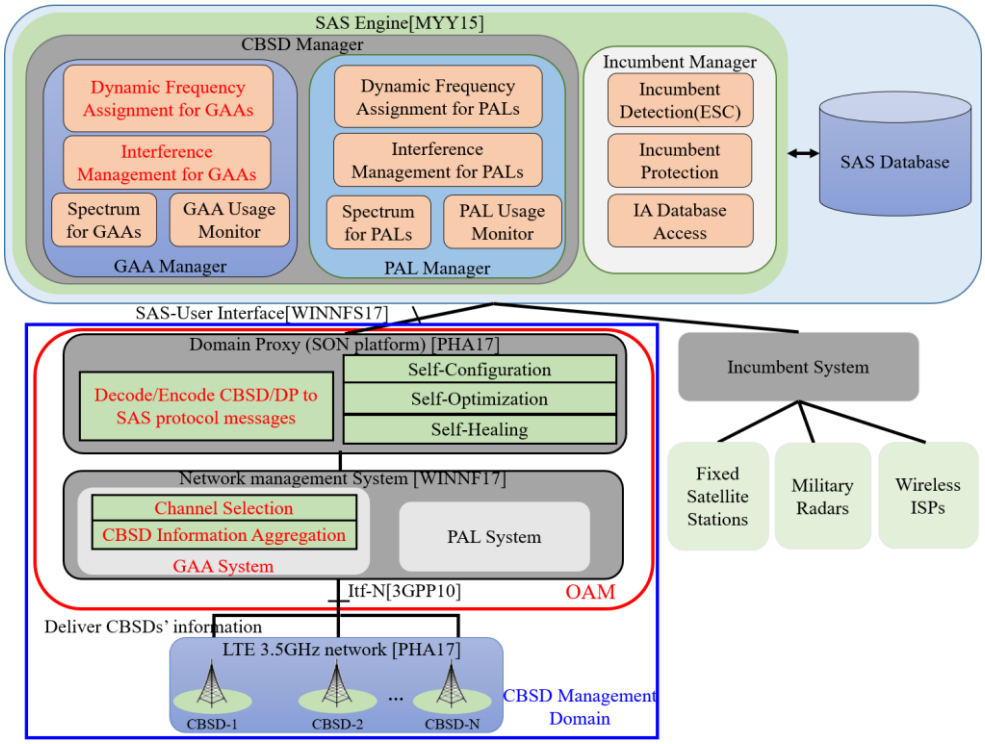


圖 5- 16：設計之 CBRS 功能架構(含頻道選擇功能)

如圖 5- 16：，研究團隊提出將設計之頻道選擇功能加入網路管理系統(NMS)，並由代理人(Domain Proxy)將算出之頻道組合傳送頻道請求給 SAS，且在 SAS 端，有為 GAA 設計之干擾管理機制及最後授權給 GAA 之頻譜分配功能。研究團隊將整合其設計之功能到 ViSSA2.0 平台上。

一、 實作系統

如圖 5-17 為 ViSSA 2.0 之軟硬體架構圖，本計畫之焦點放在實作 SAS Server 以及 Domain Proxy-NMS 上，其中 SAS 與 Domain Proxy/CBSD 間的溝通研究團隊也將參照 WINNF-TS-0016 規範裡的程序，來實作其部分資料交換的溝通程序。

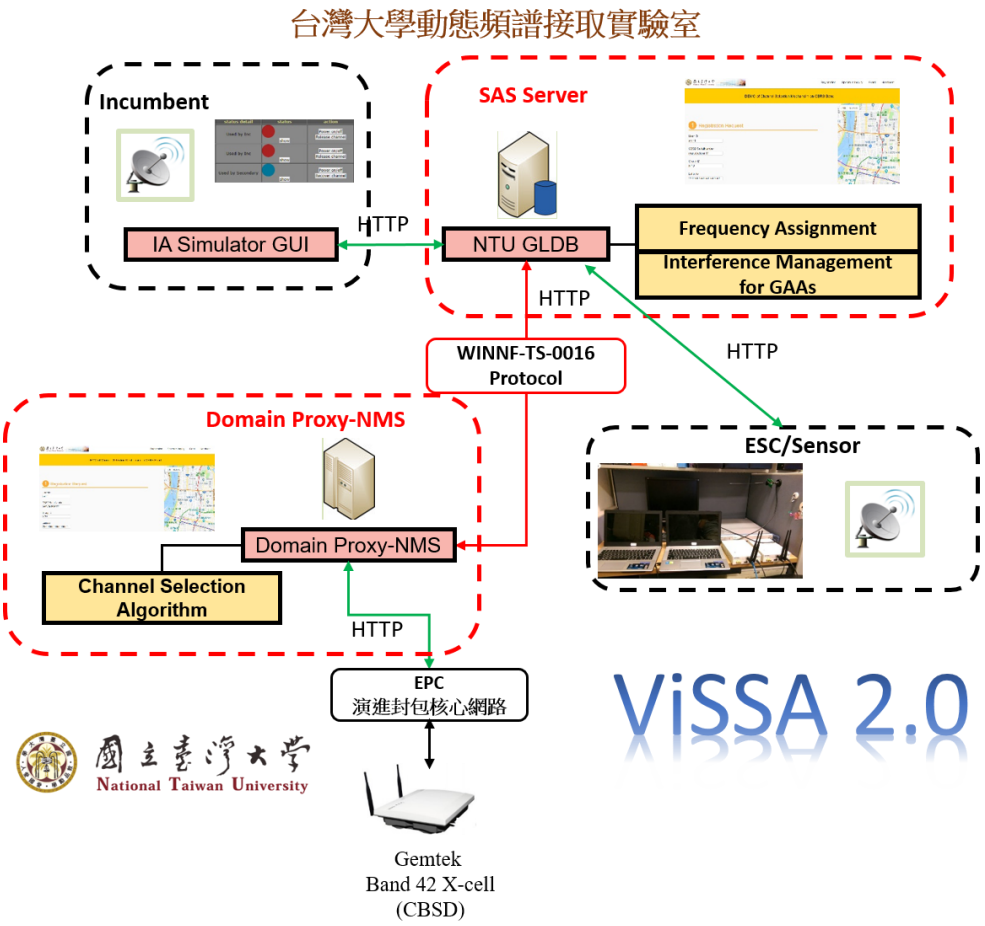


圖 5- 17：ViSSA2.0-台大動態頻譜接取實驗室-軟硬體架構圖

二、 實作 SAS Server

在 SAS server 裡主要有保護 PAL 使用及頻道分配之功能，以及研究團隊將實作一個網頁監控畫面，能看到各個 CBSD 目前的程序狀態、頻譜使用狀態及頻譜使用權到期時間，如圖 5- 18 為 SAS 監控網頁介面。

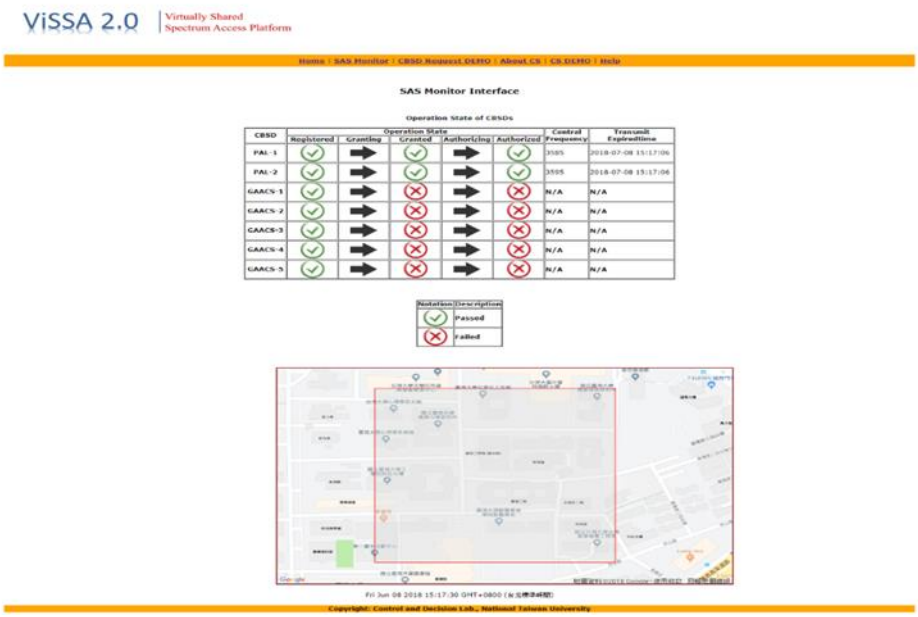


圖 5- 18：SAS 監控介面

在 SAS 監控介面裡，可以看到目前 CBSD 的狀態，如圖 5-19 所示，根據 WINNF 的規範共有三個主要的狀態，分別為已註冊(Registered)、已確認(Granted)、已授予(Authorized)三個狀態，當三個程序都通過以後 CBSD 即可在選擇之頻道上傳輸，其中  為程序未成功通過，  為程序通過，當前一程序通過後即可進行下一階段的程序。此外在監控畫面上可在 Central Frequency 上看到 CBSD 在哪個頻段傳輸和頻段使用權到期時間 Transmit Expiredtime。

SAS Monitor Interface

Operation State of CBSDs

CBSD	Operation State					Central Frequency (MHz)	Transmit Expiredtime
	Registered	Granting	Granted	Authorizing	Authorized		
PAL-1	✓	→	✓	→	✓	3595	2018-09-10 14:25:42
GAANTU-1	✓	→	✓	→	✓	3575	2018-08-10 20:27:11
GAANTU-2	✓	→	✓	→	✓	3585	2018-08-10 20:27:11
GAANTU2-1	✓	→	✓	→	✓	3555	2018-08-10 20:27:11
GAANTU2-2	✓	→	✓	→	✓	3565	2018-08-10 20:27:12

圖 5- 19：SAS 監控介面之 CBSD 狀態圖

三、 實作 CBRS client (Domain Proxy/CBSD)

在 Spectrum Access Controller 上研究團隊也實作了 Domain Proxy/CBSD 之網頁介面，作為傳送註冊請求(Registration request)、頻道確認請求(Grant request)、傳輸請求(Heartbeat request)給 SAS 之媒介，如圖 5- 20 之示意圖所示，其左下角紅色框框為傳送給 SAS 對應請求之部分資料格式，詳細的請求功能之說明請見 3.1。

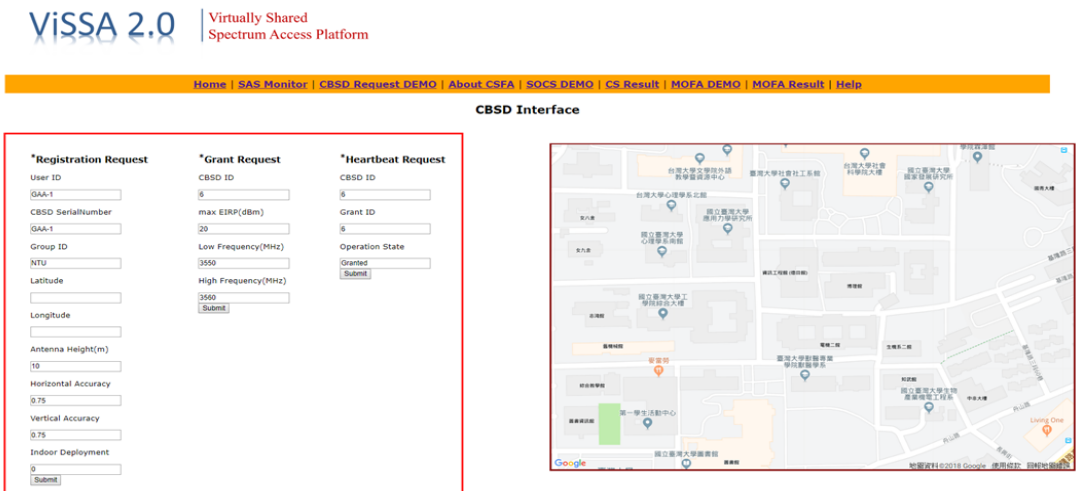


圖 5- 20：CBRS Client 網頁介面示意圖

實作 GAA 頻道選擇及 SAS 頻道分配，本計畫根據所設計之頻道選擇及頻道分配機制，實作在 ViSSA 2.0 平台上來概念驗證所設計之系統可行性，其中頻道選擇功能是為其有需求的 CBSD 選擇最佳的頻道組合使營運商的總通道容量(Shannon Capacity)最大化，頻譜分配功能則為調和營運商間的頻道選擇，讓營運商間的總容量最大化且滿足一定的公平性，同時保障 PAL 使用者的接取使用品質。本計畫分別設計兩個情境來萃取頻道選擇及頻道分配的特性，以下為兩個展示情境之說明:

(一) 情境一：單一營運商藉由頻道選擇模組選擇頻道及根據選擇結果設定 Gemtek X-cell 傳輸頻段

此情境主要展示頻道選擇的特色，本計畫設計之頻道選擇的原則為最大化營運商的總 shannon capacity(通道容量)，透過頻道選擇模組，來為營運商有需求的 CBSD 選擇最佳的頻道使用，且在與 SAS

溝通的三個程序皆通過後，營運商的 Domain Proxy-NMS 會自動控制 X-cell 在選擇的結果上傳輸。

此展示情境的預設環境設定為:

(1) GAA 頻道使用範圍為 3550-3600 MHz

(2) 每個頻道為 10 MHz

(3) 頻道 index: ch1 (3550-3560 MHz), ch2 (3560-3570 MHz), ch3 (3570-3580 MHz), ch4 (3580-3590 MHz), ch5 (3590-3600 MHz)

(4) 營運商有三個有需求的 CBSD，其編號及位置分別為: GAACS-1@電機二館、 GAACS-2@博理館、GAACS-3@活動中心

(5) PALs 在使用 3570-3600 MHz

(6) 2 個可用的頻到給 GAA (ch1, ch2)

(7) 每個有需求的 CBSD 的頻道需求數為 1 個

(8) X-cell 作為 GAACS-1 (其餘為模擬的 CBSD)

(9) 每個 CBSD 的傳輸功率為 20dBm

圖 5- 21 為情境一的流程圖，一開始先做初始化的設定(PAL 使用 3570-3600 MHz 之設定)，做完後會在 SAS 監控介面看到 PAL 的狀態，如圖 5- 22。接著在營運商的頻道選擇介面做註冊及頻道選擇的計算，如圖 5- 23。

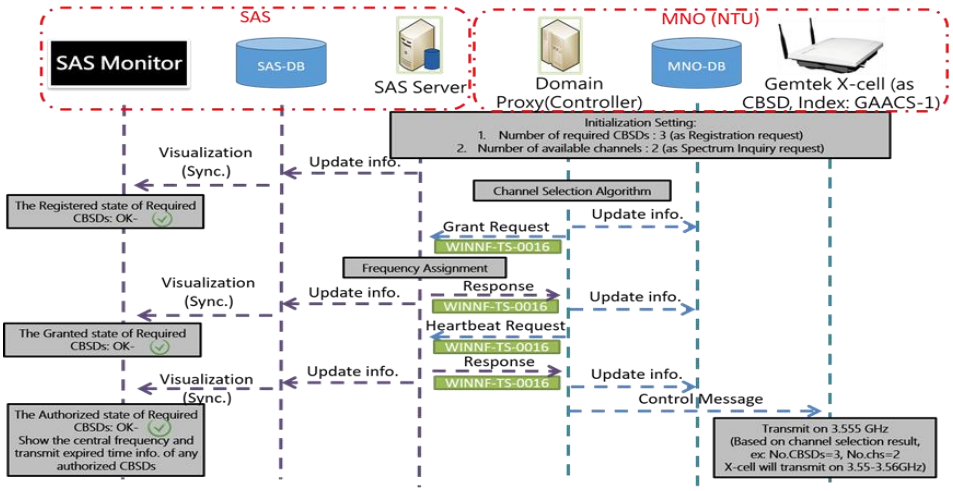


圖 5- 21：情境一流程圖

SAS Monitor Interface

Operation State of CBSDs

CBSD	Operation State					Central Frequency (MHz)	Transmit Expiredtime
	Registered	Granting	Granted	Authorizing	Authorized		
PAL-1	✓	→	✓	→	✓	3595	2018-09-10 15:25:56
PAL-2	✓	→	✓	→	✓	3585	2018-09-10 15:25:56
PAL-3	✓	→	✓	→	✓	3575	2018-09-10 15:25:56

圖 5- 22：情境一 PAL 狀態初始化

Channel Selection(CS) Interface

Registration Request

The number of required CBSDs 3

Submit



Channel Selection

Start Channel Selection Procedure

圖 5- 23：營運商頻道選擇介面

按下頻道選擇的按鈕(“Start channel selection procedure”)後，自動跳到等待演算法結果的頁面，當演算法完成後，會 show 出 operator 為 GAACS-1~3 所選之頻道頻率等等資訊(如圖圖 5- 24)，且會自動傳送訊息給 SAS。

※若系統為第一次執行演算法，則所需時間會稍久一點(因網頁後台呼叫程式的關係)

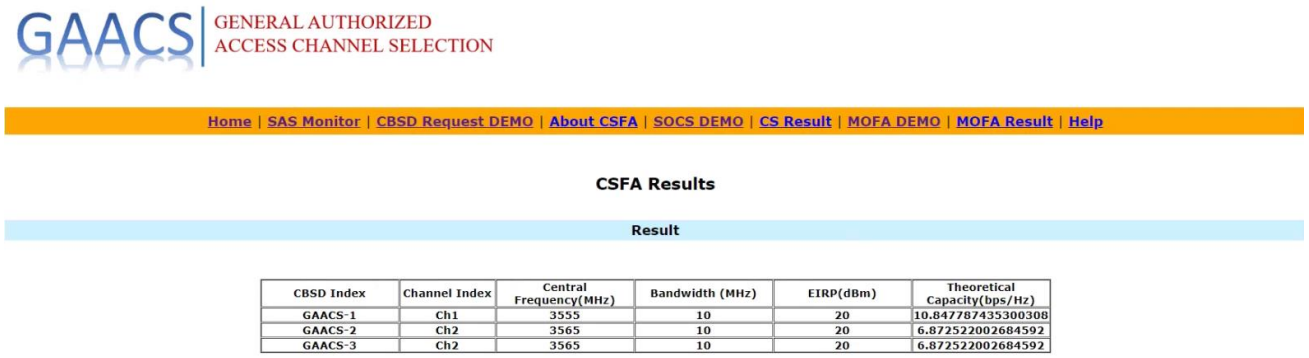


圖 5- 24：頻道選擇結果

當頻道選擇演算法完成後，回到 SAS Monitor 頁面，將看到 GAACS-1~3 的三個狀態皆成功(如圖 5- 25)，此時若有與 x-cell 做連結，將自動控制 X-cell 在 GAACS-1 的頻段上傳輸，此情境完成。此展示情境整體程序約為 28 秒，其中演算法計算時間在 1 秒內 而傳送 request 跟 response 的總時間花費約為 2 秒，而控制 X-cell 開啟的時間大約為 25 秒。

※此情境為單一營運商，故營運商選擇的頻道只要不干擾到 PAL 的傳輸，則 SAS 將授予營運商為其 CBSD 所選的頻道使用

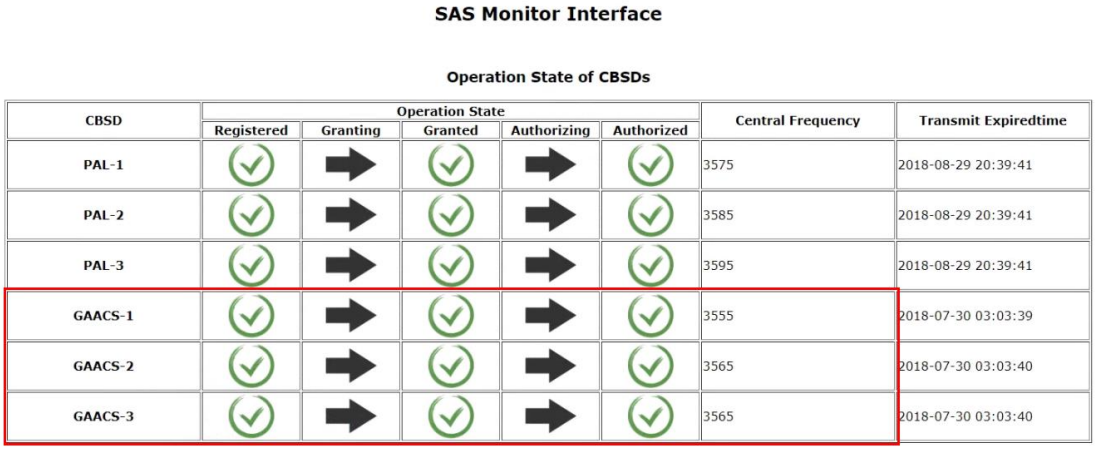


圖 5- 25：SAS 監控介面之 CBSD 狀態-頻道選擇結果

(二) 情境二:SAS 藉由頻道分配協調兩個營運商之頻道選擇及根據頻道分配結果設定 X-cell 傳輸頻率

此情境主要展示頻道分配的特色，本計畫所設計之頻道分配的原則為最大化總營運商的總 shannon capacity(通道容量)並滿足每個營運商該有的基礎容量，透過頻道分配模組，來協調營運商的頻道選擇。且在與 SAS 溝通的三個程序皆通過後，營運商的 Domain Proxy-NMS 會自動控制 X-cell 在分配的結果上傳輸。

此展示情境的預設環境設定為:

1. GAA 頻道使用範圍為 3550-3600 MHz
2. 每個頻道為 10 MHz
3. 頻道 index: ch1 (3550-3560 MHz), ch2 (3560-3570 MHz), ch3 (3570-3580 MHz), ch4 (3580-3590 MHz), ch5 (3590-3600 MHz)
4. NTU 營運商有兩個有需求的 CBSD，其編號及位置分別為: GAANTU-1@電機二館、 GAANTU-2@活動中心
5. NTU2 營運商有兩個有需求的 CBSD，其編號及位置分別為: GAANTU2-1@博理館、 GAANTU-2@心理系館
6. PAL 在使用 3590-3600 MHz
7. 4 個可用的頻到給 GAA (ch1, ch2, ch3, ch4)
8. 每個有需求的 CBSD 的頻道需求數為 1 個
9. X-cell 作為 GAANTU-1 (其餘為模擬的 CBSD)
10. 每個 CBSD 的傳輸功率為 20dBm
11. 兩個營運商將選擇到相同的頻道給它們的 CBSD
12. SAS 透過頻道分配協調營運商的頻道選擇

圖 5-26 為情境二之流程圖，一開始先做初始化的設定(PAL 使用 3590-3600 MHz 之設定)，做完後會在 SAS 監控介面看到 PAL 的狀態，如圖 5-27。接著分別在 NTU 及 NTU2 營運商的頻道選擇介面做註冊及頻道選擇的計算，如圖 5-28、5-29。

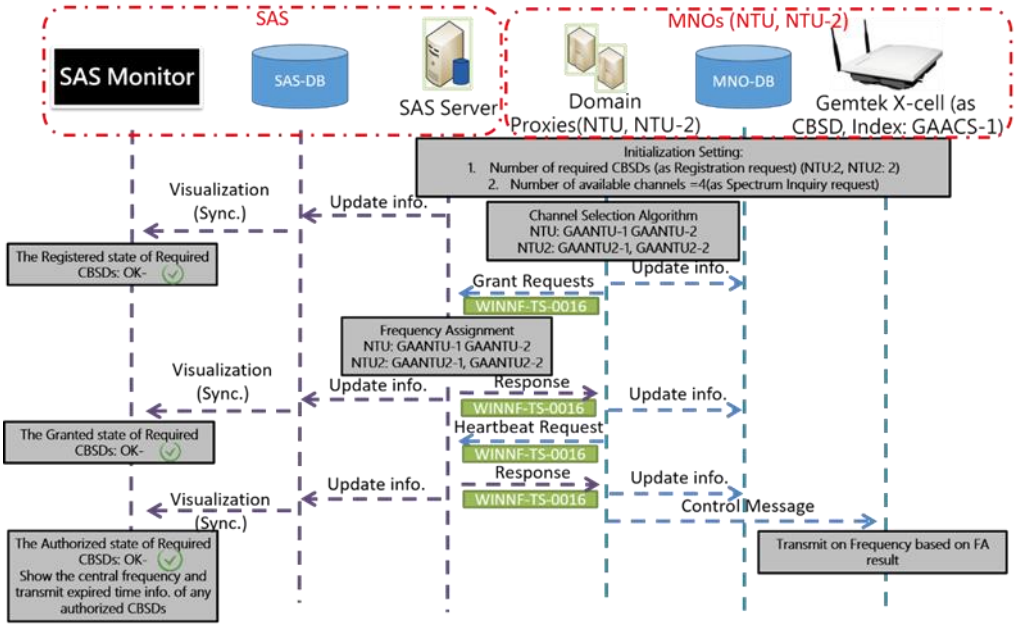


圖 5- 26：情境二流程圖

SAS Monitor Interface

Operation State of CBSDs

CBSD	Operation State					Central Frequency (MHz)	Transmit Expiredtime
	Registered	Granting	Granted	Authorizing	Authorized		
PAL-1	✓	→	✓	→	✓	3595	2018-09-10 15:45:15

圖 5- 27：情境一 PAL 狀態初始化

NTU Operator Channel Selection(CS) Interface

Registration Request

The number of required CBSDs 2

Submit



圖 5- 28：NTU 營運商頻道選擇介面

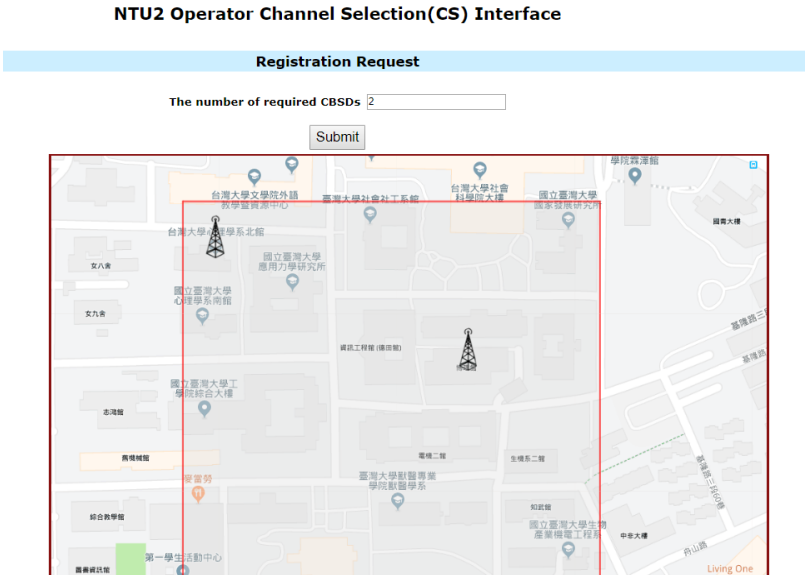


圖 5- 29：NTU2 營運商頻道選擇介面

分別在 NTU 及 NTU2 之頁面按下頻道選擇按鈕後，當演算法計算完後，自動跳到結果頁面，如圖 5-30，此時看到兩個營運商選擇相同的頻道給它們的 CBSD，接著研究團隊在 SAS 頻道分配介面按下”Start frequency assignment procedure”開始 SAS 頻道分配的計算，如圖 5-31，當頻道分配演算法完成後將看到頻道分配的結果，如圖 5-32。

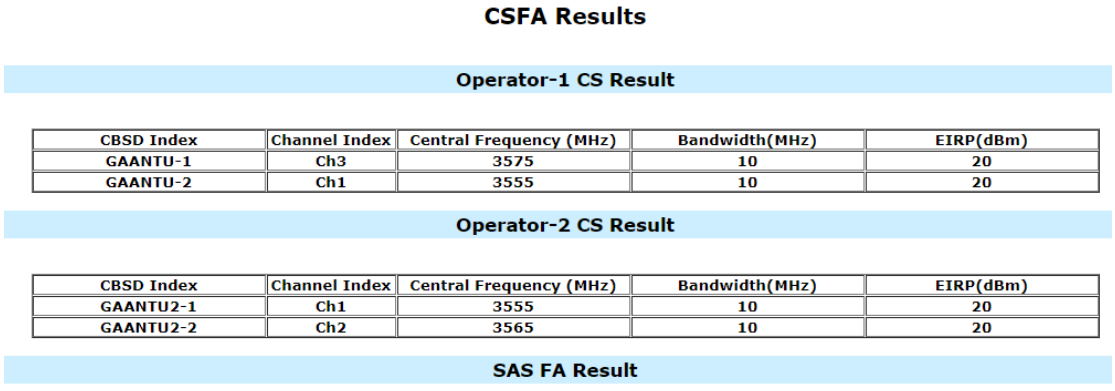


圖 5- 30：兩個營運商的頻道選擇結果

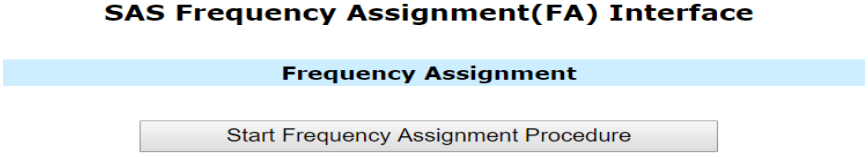
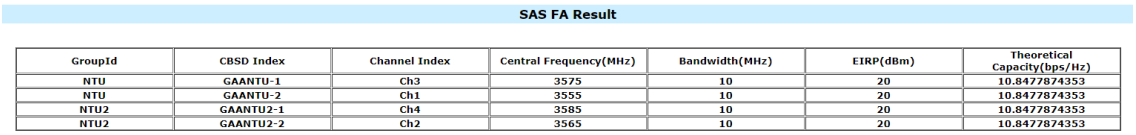


圖 5- 31：SAS 頻道分配介面

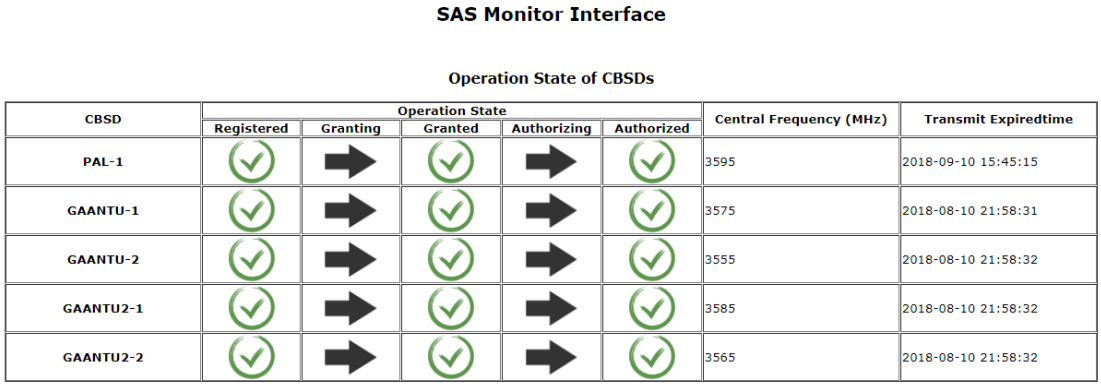


SAS FA Result

GroupId	CBSD Index	Channel Index	Central Frequency(MHz)	Bandwidth(MHz)	EIRP(dBm)	Theoretical Capacity(bps/Hz)
NTU	GAANTU-1	Ch3	3575	10	20	10.8477874353
NTU	GAANTU-2	Ch1	3555	10	20	10.8477874353
NTU2	GAANTU2-1	Ch4	3585	10	20	10.8477874353
NTU2	GAANTU2-2	Ch2	3565	10	20	10.8477874353

圖 5- 32：SAS 頻道分配結果

當頻道分配完成後，回到 SAS Monitor 頁面，將看到 GAANTU-1~2、GAANTU2-1~2 的三個狀態皆成功(如圖 5- 33)，此時若有與 x-cell 做連結，將自動控制 X-cell 在 GAANTU-1 的頻段上傳輸，此情境完成。



SAS Monitor Interface

Operation State of CBSDs

CBSD	Operation State					Central Frequency (MHz)	Transmit Expiredtime
	Registered	Granting	Granted	Authorizing	Authorized		
PAL-1	✓	→	✓	→	✓	3595	2018-09-10 15:45:15
GAANTU-1	✓	→	✓	→	✓	3575	2018-08-10 21:58:31
GAANTU-2	✓	→	✓	→	✓	3555	2018-08-10 21:58:32
GAANTU2-1	✓	→	✓	→	✓	3585	2018-08-10 21:58:32
GAANTU2-2	✓	→	✓	→	✓	3565	2018-08-10 21:58:32

圖 5- 33： SAS 監控介面-頻道分配後結果

※每次選擇的結果跟分配的結果可能不一樣，但是最後分配的結果以總可用頻道數為 4、總有需求 CBSD 數 4 為例，一定是每個 CBSD 獨占一頻道。

※此機制設計為 SAS 每隔一定的時間(設計為 6 小時)分配一次頻道給有需求的 CBSD 使用，故在頻道分配之前，會先收集營運商的頻道選擇在進行頻道分配的計算。

第三節　LAA 與 WiFi 共存管理展示

一、 背景說明

在未來共存分享議題當中，除了 CBRS 的頻譜共存分享之外，3GPP 提出了未來與 Wi-Fi 裝置共存於 5GHz 免執照頻譜的(Licensed Assisted Access)LAA 技術，LAA 使用載波聚合(Carrier Aggregation)技術來整合執照頻譜(licensed band)以及 5GHz 免執照頻譜(unlicensed band)頻譜資源，增加可用頻譜以及系統容量。然而使用免執照頻譜時，在 5GHz 免執照頻譜當中，LAA 也無可避免的與免執照頻譜的 Wi-Fi 產生共存分享問題。

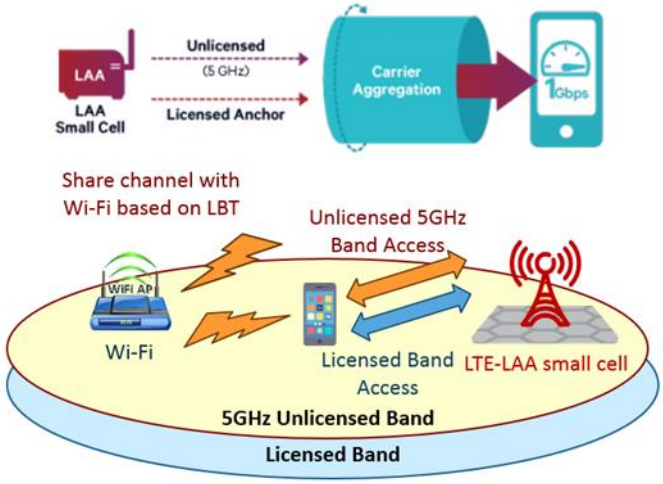


圖 5- 34：LAA 技術與 Wi-Fi 共存的問題

為了評估 LAA 與 Wi-Fi 之間的干擾共存問題，研究團隊對於 3GPP TR36.889 LAA 規範中提出的 LAA MAC (Listen) LBT 機制進行研究，針對 LAA 與 Wi-Fi 的共存網路發展了網路模擬器進行效能干擾的評估，而後為了針對 LAA 與 Wi-Fi 的共存干擾效能進行快速的評估，本團隊延伸 Wi-Fi LBT 馬可夫鍊(Markov-Chain)模型，加入 CCA 機制相關的狀態(state)及狀態轉換流程(transition flow)發展出 LAA 與 Wi-Fi 共存網路的數學模型。

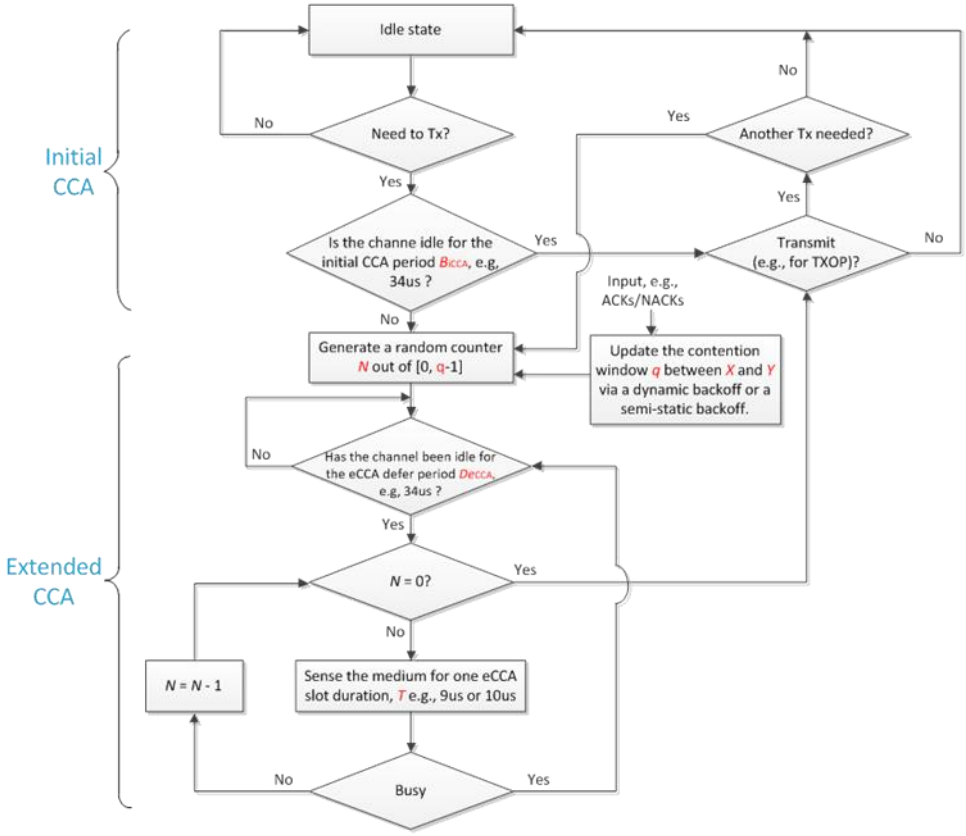


圖 5- 35：3GPP TR 36.889 所提出的 LAA LBT 機制

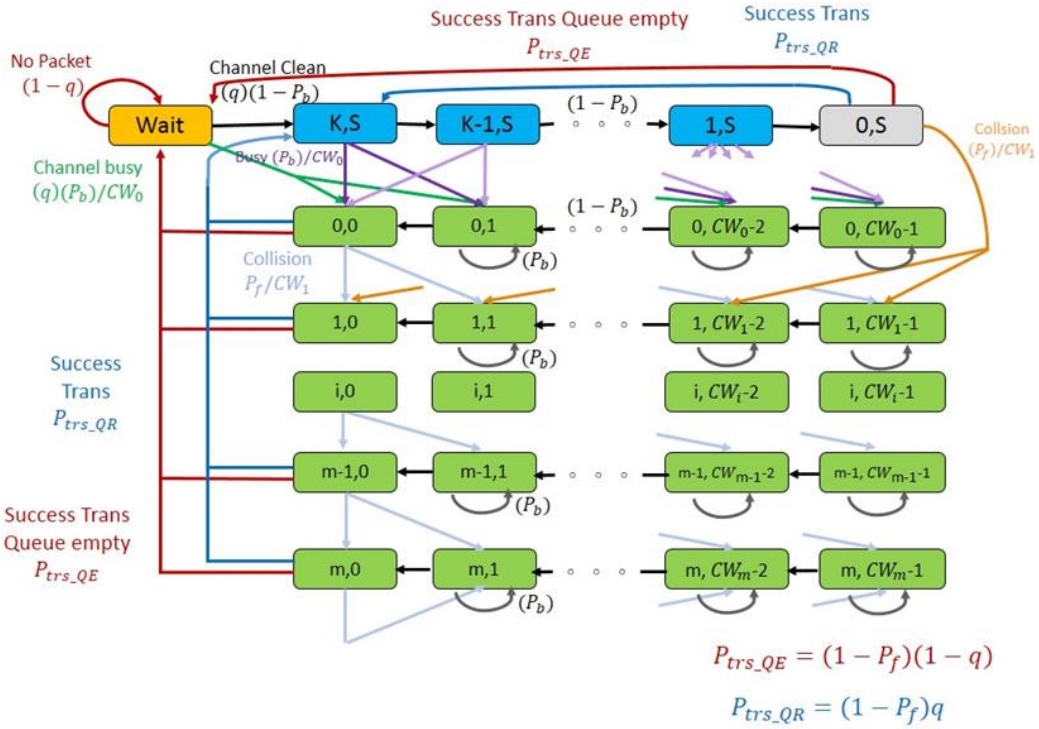


圖 5- 36：網路模擬器的 LAA LBT 機制驗證

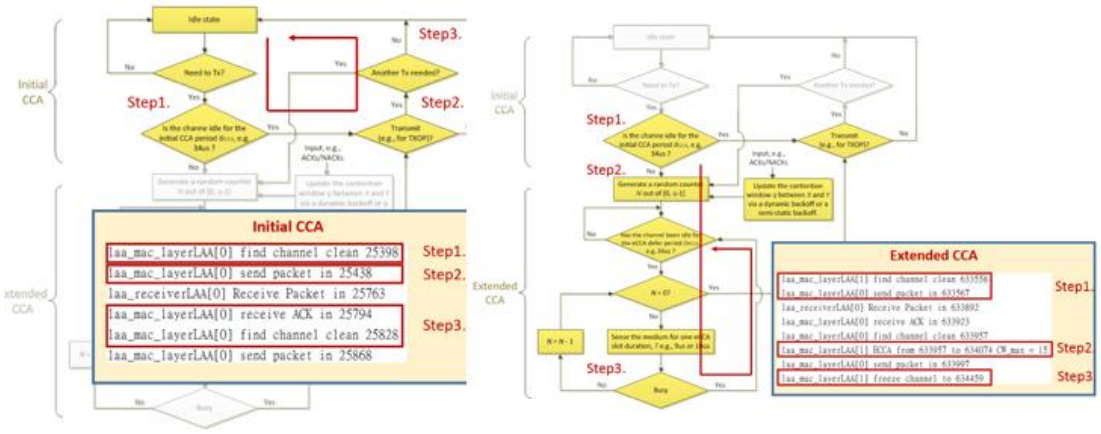


圖 5- 37：LAA LBT 機制的馬可夫鍊數學模型

使用馬可夫練模型可以針對不同數量、LBT 參數配置的 LAA 與 Wi-Fi 網路進行效能評估，而評估可以在 2s 以內完成，而在本計畫下一章節將會利用本數學模型進行 LAA 的參數最佳化，使免執照頻譜的運用可以更加的有彈性以及效率，以下也針對馬可夫練的數學模型進行驗證，結果顯示馬可夫練模型可以小誤差的情況下掌握 LAA 與 Wi-Fi 網路的共存情形。

表 5- 1： 模擬參數設定

Parameter	Value	Parameter	Value
LAA Bit Rate	80 Mbit/s (64 QAM SISO)	Slot time	9μs
Wi-Fi Bit Rate	45 Mbit/s (64 QAM SISO)	Propagation delay	1μs
Total Bandwidth	20MHz	Initial contention windows	16
LAA Traffic Load	45 Mbit/s	Back-off stage	6
Wi-Fi Traffic Load	80 Mbit/s	MAC Header	272 bit
LAA Packet size	3200 bytes	PHY Header	128 bit
Wi-Fi Packet size	1600 bytes	Acknowledgement (ACK)	112 + PHY Header bit
CCA	40μs	RTS	160 + PHY Header bit
DIFS	34μs	CTS	112 + PHY Header bit
SIFS	28μs		

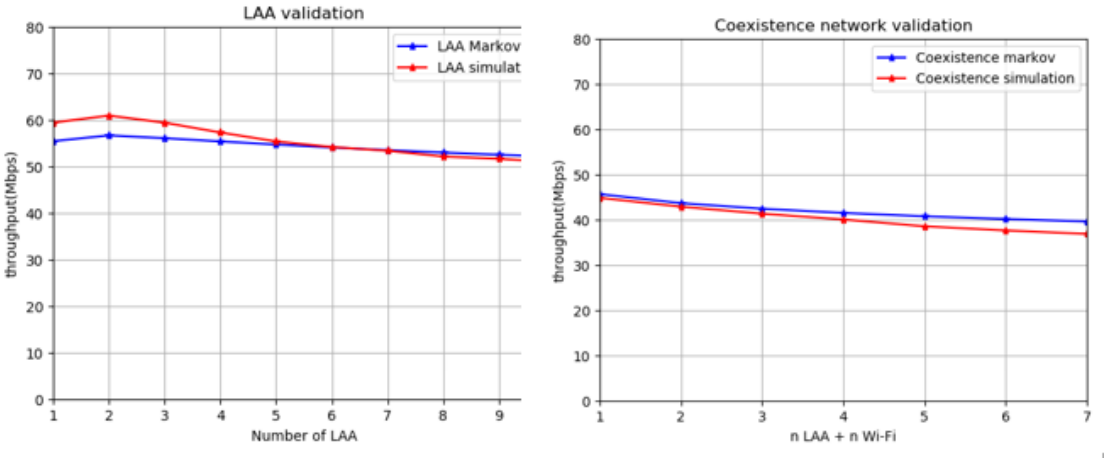


圖 5- 38：馬可夫練數學模型驗證

由上圖所示結果，可以知道 LAA 在行為方面與 Wi-Fi 相似隨著 LAA 基站數量的增加總系統的吞吐量會有些為的下降，因為 LBT 機制的關係，所以 LAA 與 Wi-Fi 一樣在共存時不會產生嚴重的碰撞，每個站台還是可以一定程度的分享頻譜，而 LAA 因為在有使用 Initial CCA 機制所以當 LAA 基站在 LAA 獨占頻譜資源時可以較有效率的使用頻譜。

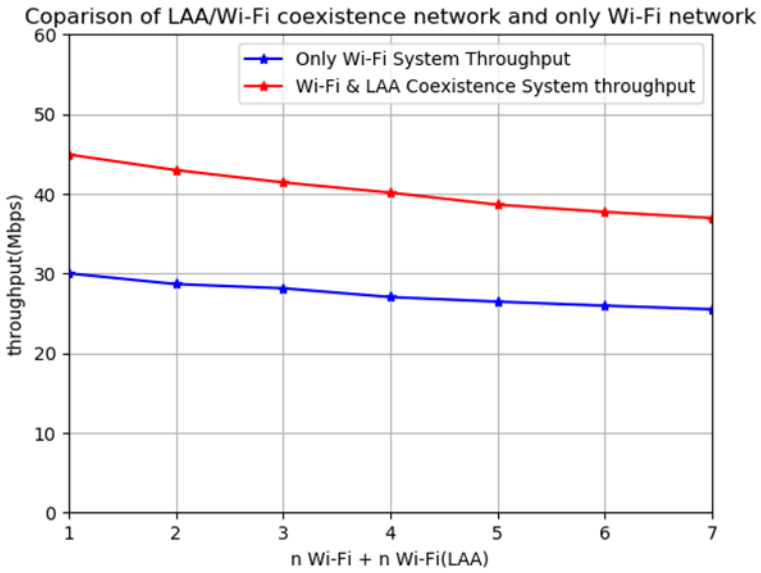


圖 5- 39：LAA&Wi-Fi 共存網路與 Wi-Fi 網路總吞吐量的比較

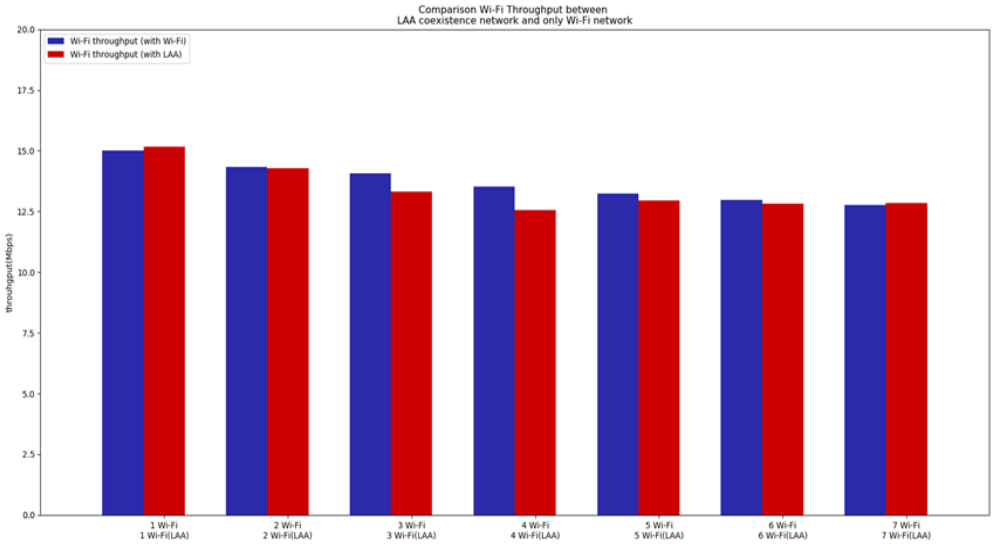


圖 5- 40：LAA&Wi-Fi 共存網路和 Wi-Fi 網路 Wi-Fi 吞吐量比較

未來 LAA 小細胞引進 5GHz 免執照頻譜時，是必會與舊有的 Wi-Fi 裝置共存，從圖 5- 39 的結果看來引進 LAA 的小細胞的確有助於增加免執照頻譜的頻譜效率，而針對 LAA 引進之後對於現存 Wi-Fi 影響可以在圖 5- 40 當中觀察，因為 LAA 與 Wi-Fi 使用相似的 LBT 機制進行頻譜的接取，所以 LAA 的加入並不會對 Wi-Fi 個別的吞吐量產生明顯的影響。

因為任何人都有權限可以接取免執照頻譜關係，所以免執照頻譜上的裝置使用構成複雜，會有許多裝置共用的情形產生，因此本團隊針對如何調整 LAA LBT 參數來達到更好的頻譜運用效率以及公平性做探討，在本計畫當中，研究團隊設計了兩種主要情境，第一種情境為目前僅單一營運商(Operator)裝置接取免執照頻譜，這時候 LAA LBT 參數設定以最大化頻譜使用效率讓營運商可以給予用戶更高的吞吐速率、以及服務更多的用戶。而第二種情境為目前由多個營運商、裝置在接取免執照頻譜，因為免執照頻譜為公用頻段，在多人使用的情況之下，需要保證個別裝置的接取，因此於此情境，LAA 的參數設定需以保證多個裝置都有公平接取免執照頻譜的權力來做配置。



圖 5- 41：情境一

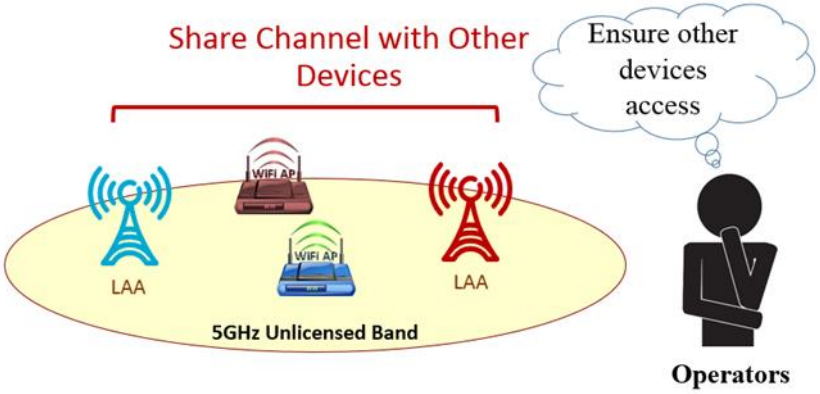


圖 5- 42：情境二

針對如何達到 LAA 的參數設定以達到兩個情境中最佳化頻譜效率及頻譜接取公平性，本團隊設計了最佳化 LAA MAC LBT 參數系統，以達到上述兩個情境的目標，在 ViSSA2.0 頻台的控制器當中加入 LAA LBT 參數數學最佳化模組以及 LAA LBT 參數自適性最佳化演算法模組，並連接本團隊開發的網路模擬器做概念性的驗證，營運商可以借由最佳化的 GUI 圖形化介面依照不同的網路環境進行 LAA 的參數配置，來達到最佳的頻譜資源分配方式。

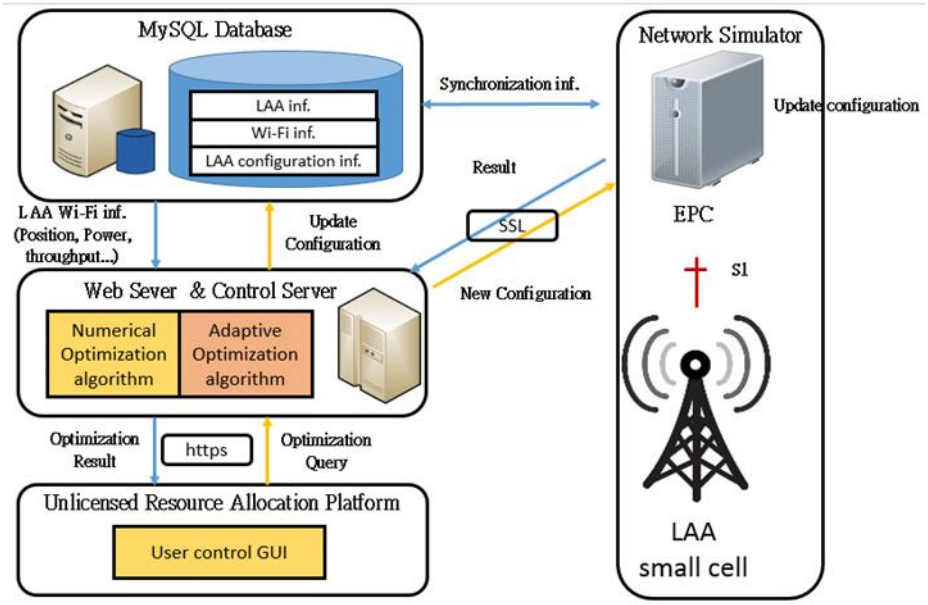


圖 5- 43：LAA LBT 參數最佳化系統架構圖

而整體系統運作的流程如下圖。

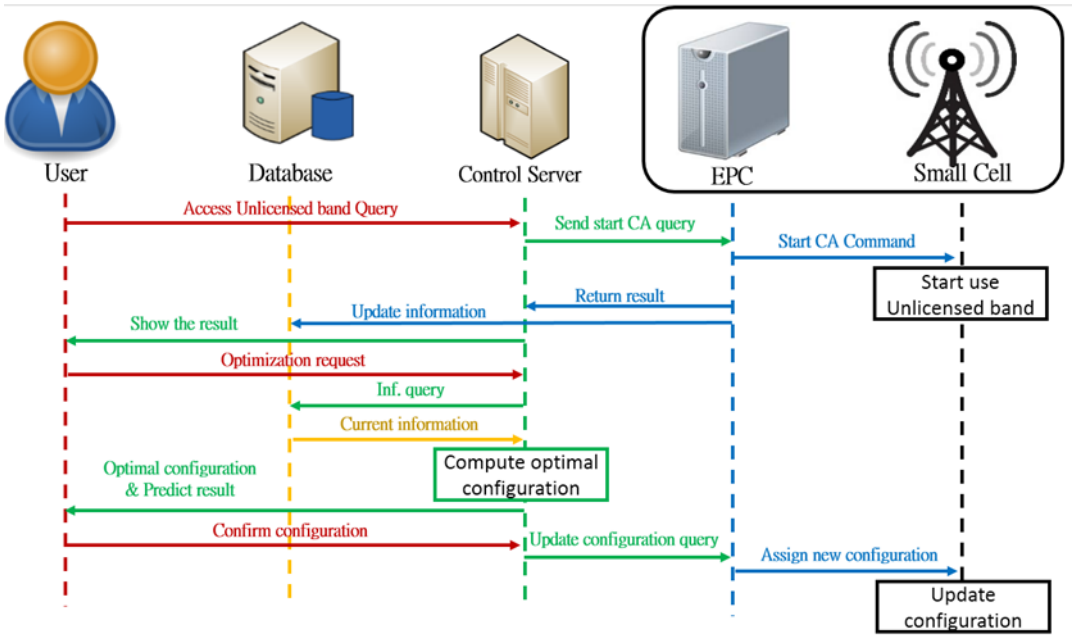


圖 5- 44：LAA LBT 參數最佳化系統流程圖

1. 營運商連接至控制器開啟 LAA 載波聚合(Carrier Aggregation)模組接取免執照頻譜
2. 控制器伺服器連接資料庫取得 LAA 運行資料以及相關參數配置呈現於網頁介面

3. 營運商依目前免執照頻譜環境選擇最佳化模組以及設定最佳化方式(頻譜效率、或頻譜接取公平性)
4. 控制器開始計算最佳配置，呈現配置結果以及預期結果於網頁介面
5. 營運商確認配置結果，控制器對 LAA 小細胞基站做參數配置，蒐集完數據後呈現於網頁介面

本系統具有兩種不同的 LAA LBT 參數最佳化模組分別為(1) LAA LBT 參數數學最佳化模組以及(2)LAA LBT 參數自適性演算法最佳化模組，LAA 參數數學最佳化模組使用於較小範圍的共存網路，借由馬可夫鍊模型進行快速的效能估計並找出最佳的參數配置以達到網路配置目標。而 LAA 參數自適性演算法最佳化模組可適用於較大範圍有複雜拓樸的共存網路，借由強化學習(Reinforcement Learning)演算法使 LAA 基站可依周圍環境以及目前網路狀況做學習，找出最佳的 LAA LBT 參數配置。

二、 LAA 與 LBT 參數數學最佳化模組

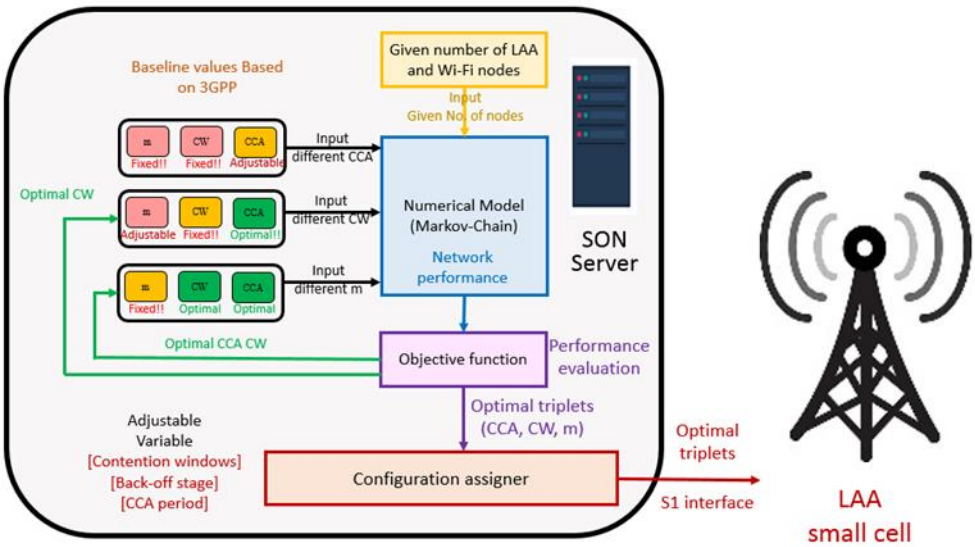


圖 5- 45：LAA 參數數學最佳化模組運作架構圖

對於 LAA LBT 參數數學最佳化模組，本團隊設計了展示流程展現 LAA LBT 參數數學最佳化模組針對單一營運商獨占免執照頻譜(情境一)以及多營運商、裝置分享頻譜(情境二)的運作。

三、 LAA 與 LBT 參數自適性演算法最佳化模組

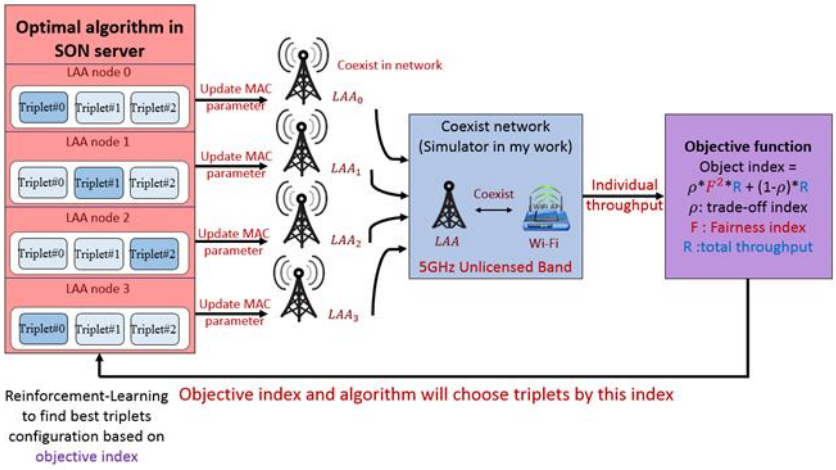


圖 5- 46：LAA LBT 參數自適性演算法最佳化模組運作架構圖

LAA LBT 參數自適性演算法設計基於強化學習演算法，LAA 小細胞基站每一次的 LBT 參數配置時都會做一次學習，經過一定數量的參數學習之後，LAA 小細胞基站就可以借由自適性演算法的更新找出系統的最佳配置，而自適性演算法模組適用於無法以數學評估網路效能的較複雜的網路環境，因為自適性演算法是借由每次網路共存的結果進行最佳化而非複雜的數學評估，所以自適性演算法可以處理較複雜的網路拓墣、環境，在這個小節本團隊設計了較為複雜的網路拓樸環境觀察 LAA LBT 參數自適性演算法模組如何於不同系最佳化求進行 LAA 參數的最佳化。

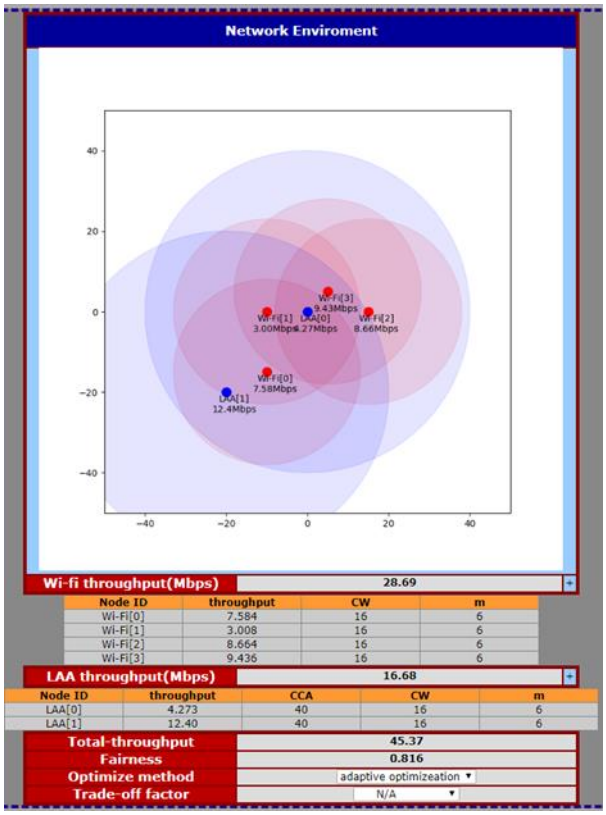


圖 5- 47：複雜拓樸的免執照頻譜共存網路

(一) 情境一、單一營運商獨占免執照頻譜

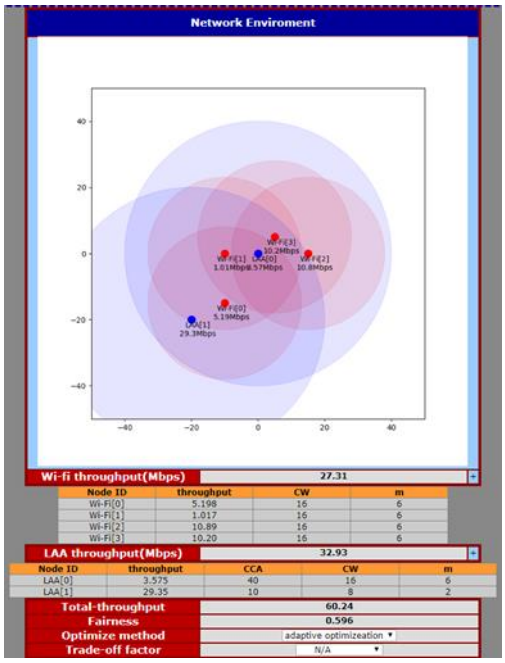


圖 5- 48：LAA LBT 參數自適性演算法最佳化模組最大化頻譜效率

比較圖 5- 47 原有網路的設置，研究團隊可以觀察到處於干擾較小區域的 LAA 因為頻道中共存裝置較少，還有頻譜資源可以使用，所以 LAA 調降了(CCA, CW, m)來提升頻譜接取機率，以此來增加頻譜效能，而處於干擾較大區域的 LAA[0]則選擇原有的參數配置以免發生更嚴重的碰撞(Collision)，經過最佳化模組的配置之後系統總吞吐量較原有的系統提升了 30%(45→60)。

(二) 情境二、多營運商、裝置分享頻譜

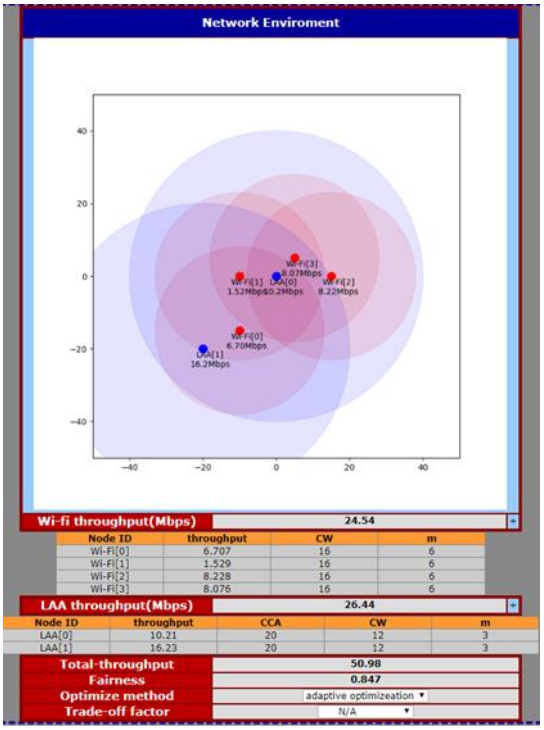


圖 5- 49：LAA LBT 參數自適性演算法最佳化模組

相較於圖 5- 48 最佳化頻譜效率的配置，最佳化頻譜接取公平性時，處於干擾較小區域的 LAA 不會把 LBT 參數(CCA, CW, m)降到最低，而會留一些接取空間給干擾較大區域的裝置，而處於干擾較大區域的 LAA 不在像圖 5- 48 最佳化效率時一樣放棄爭取頻譜，而會再碰撞機率可接受的情況下增加頻譜接取的機率，提升吞吐量來達到其他裝置較為相信的效能。

表 5- 2：比較不同最佳化目標的系統效能

Performance/Trade-off factor	Baseline	Trade-off factor = 1 (Optimal Fairness)	Trade-off factor = 0 (Optimal Efficiency)
Wi-Fi throughput	28.69	24.54	27.31
LAA throughput	16.68	46.44	32.93
Total throughput	45.37	50.98	60.25
Fairness index	0.81	0.85	0.6

經由本最佳化系統的展示，驗證未來在使用免執照頻譜資源時可能可以借由動態的接取參數配置來增加免執照頻譜的使用效能，當免執照頻譜較為空閒的時候可以增加頻譜接取的機率來更完整的運用頻譜，而當頻譜資源較多人分享時也可藉由參數的配置達到最公平的系統分配，甚至於降低不同裝置間碰撞的情形發生。

第四節　LAA 與 LAA 共存干擾模擬顯示

一、 背景說明

微型營運商(Micro operator，μO)的概念乃因電信業者(Mobile network operator, MNO)在未來 5G 時代，對於無線接取網路(Radio access network, RAN)大量需求而生。μO 洽商建物管理者同意佈建 RAN 並加以管理，而 MNO 只要向μO 租用 RAN，即可服務自己的用戶，這樣不僅能節省每個 MNO 在空間上重複佈建 RAN，也可能具潛力降低MNO 的資本和維運成本。在頻譜需求方面，則考慮新的 RAN 技術——輔助授權接取(Licensed assisted access, LAA)[3GPP15]，除了能接取 MNO 的執照頻譜(Licensed band)外，還能透過載波聚合(Carrier aggregation)接取免執照頻譜(Unlicensed band)，以提供更高的吞吐量(Throughput)。μO 如何運用執照和免照頻譜資源，有效滿足 MNO 不同服務品質需求的用戶，以及在考慮多個 MNO 多重接取μO 的 LAA 下，探討如何分配免執照頻譜給 MNO 的問題，如下圖 5- 50。

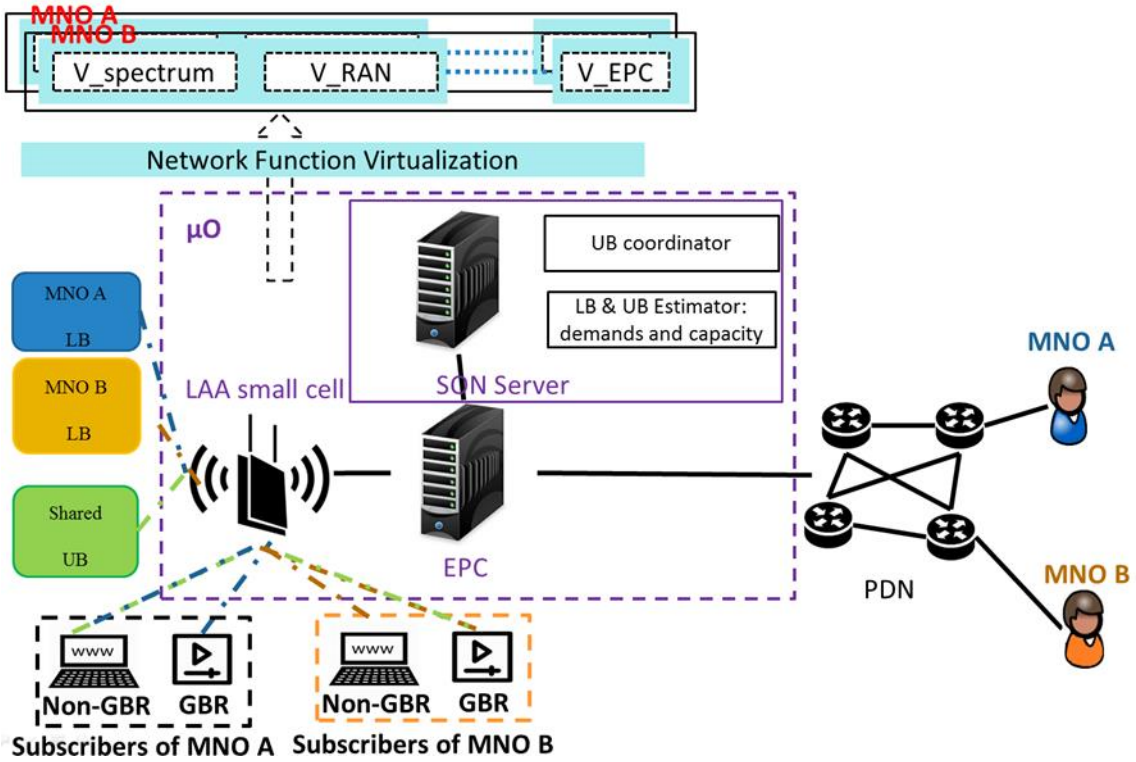


圖 5- 50：LAA 之網路架構圖

二、 異質頻譜資源分配

根據 3GPP 之文獻中將用戶分為兩種類型：保證速率(Guaranteed bit rate, GBR，如：商務使用者)和無速率保證(Non-GBR，如：個人使用者)。由於 GBR 需保證較嚴格服務品質，本計畫按照 3GPP 規範設計製作異質頻譜資源分配模擬模組，如下圖 5- 51，優先將 GBR 需求分配使用執照頻譜；而 Non-GBR 則因其服務品質較寬鬆，雖然使用執照或免照頻譜皆可以，但優先使用免照頻譜。為保證每個 GBR 和 Non-GBR 用戶所對應之最高延遲(Delay)或最低吞吐量(Throughput)。

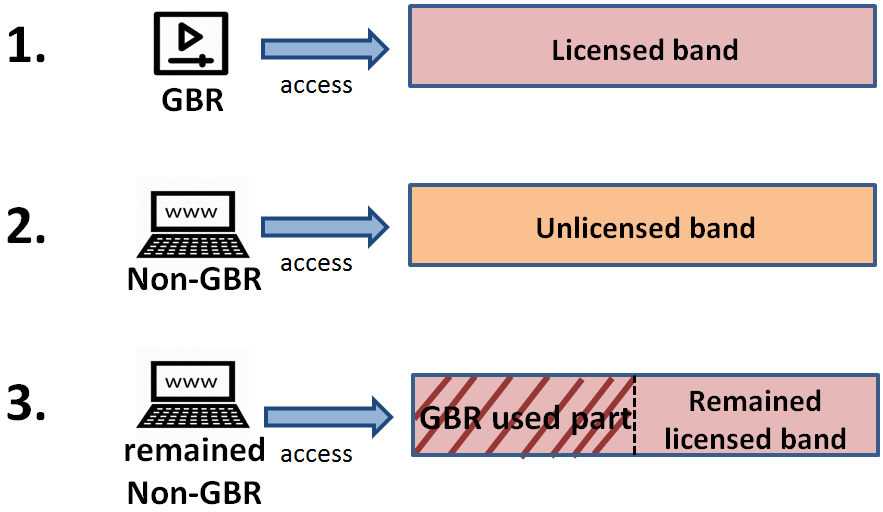


圖 5- 51：異質頻譜分配順序

三、 優先權重導向分配演算法

為協調 MNO 間之免照頻譜，本計畫創新之優先權重導向分配演算法(Priority-oriented UB allocation algorithm, POUBA)來分配免照頻譜，如下圖 5- 52。藉由頻譜資源可等分成資源區塊(Resource block, RB)的特性，一一根據 MNO 之演算法設計的優先權重大小，將 RB 分配給 MNO，MNO 之優先權重考慮兩點：(一) 為能提升整體頻譜效率，當 MNO 扣除其 GBR 用戶使用部分之所剩執照頻譜越多，降低其接取免照頻譜優先權重；(二) MNO 之優先權重會隨已拿到越多 RB 而調降，讓其他拿較少 RB 的 MNO 有機會得到資源。

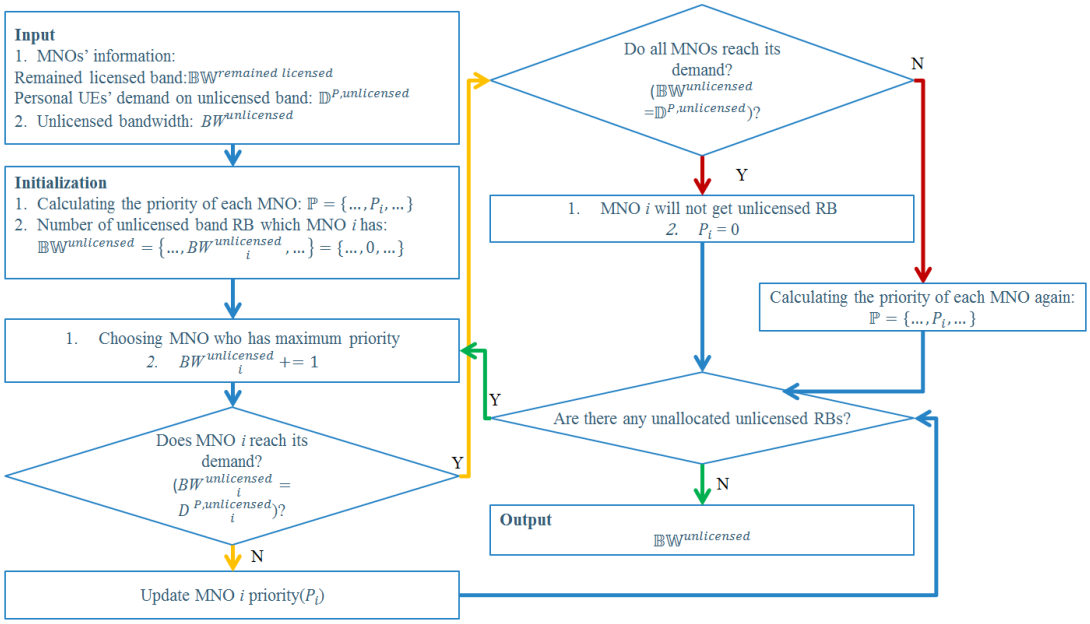


圖 5- **52**：μO 分配 Unlicensed band 之 RB 流程圖

四、 效能分析

對於本計畫設計的 POUBA，與均分法相比可滿足 Non-GBR 人數，並設計兩個 MNO 在 Unlicensed band 供不應求情境之參數設定如下。兩個 MNO 的 Non-GBR 人數皆為 80，根據 LB & UB 估計器算出所需要的 Unlicensed band 頻寬($D_i^{P,unlicensed}$)皆為 69 RB，但 MNO_1 還剩餘 10 RB 單位的 Licensed band ($BW_i^{remained\ licensed}$)還尚未使用。

表 5- 3：供不應求情境參數設定

	$BW_i^{remained\ licensed}$ (RB)	$D_i^{P,unlicensed}$ (RB)
MNO_1	10	69 (80 人)
MNO_2	0	69 (80 人)

優先權重導向演算法和均分法分配 Unlicensed band 之結果，如下圖 5- 53。

分析一、從圖 5- 53 之綠色直方圖顯示，本計畫所提之方法會分配給 MNO_1 較少 Unlicensed band RB (31 RB)。儘管兩個 MNO 之需求皆為 69 RB(藍色直方圖)，但 MNO_1 所剩餘之 Licensed band 較多 (10 RB)， 因此分配給 MNO_1 的頻寬較少。

分析二、從圖 5- 53 之橘色直方圖顯示，均分法分配每個 MNO 都拿到一樣的頻寬(50 RB)。

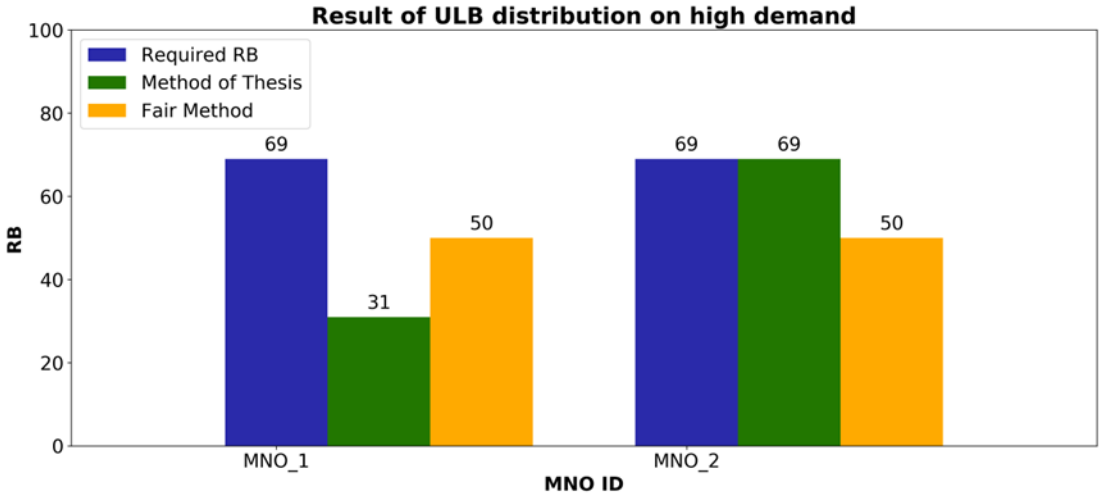


圖 5- 53：在供不應求之情境兩種方法分配 Unlicensed band 之結果

在供不應求下，不同方法可滿足之個人使用者人數，如下圖 5- 54。

- 分析一：從圖 5- 54 之左邊直方圖顯示，本計畫方法能滿足各別 MNO 所需求的 RB，因此能滿足所有 MNO 個人使用者用戶(160 人)。儘管 MNO_1 在 Unlicensed band 沒拿到所需頻寬，但因 MNO_1 還有剩餘的 Licensed band 可使用，可去滿足在 Unlicensed band 無法滿足的個人使用者用戶，最後 MNO_1 也可滿足其所有個人使用者用戶。
- 分析二：從圖 5- 54 之右邊直方圖顯示，均分法下總滿足 Non-GBR 人數較少。因 MNO_2 沒有多餘的 Licensed band 去滿足在 Unlicensed band 無法滿足的 Non-GBR 用戶，因此 MNO_2 在部分 Non-GBR 用戶無法滿足下，總滿足的用戶較少。

根據兩種方法可滿足人數的結果，驗證本計畫設計的 POUBA 來分配 Unlicensed band 的效果較佳。

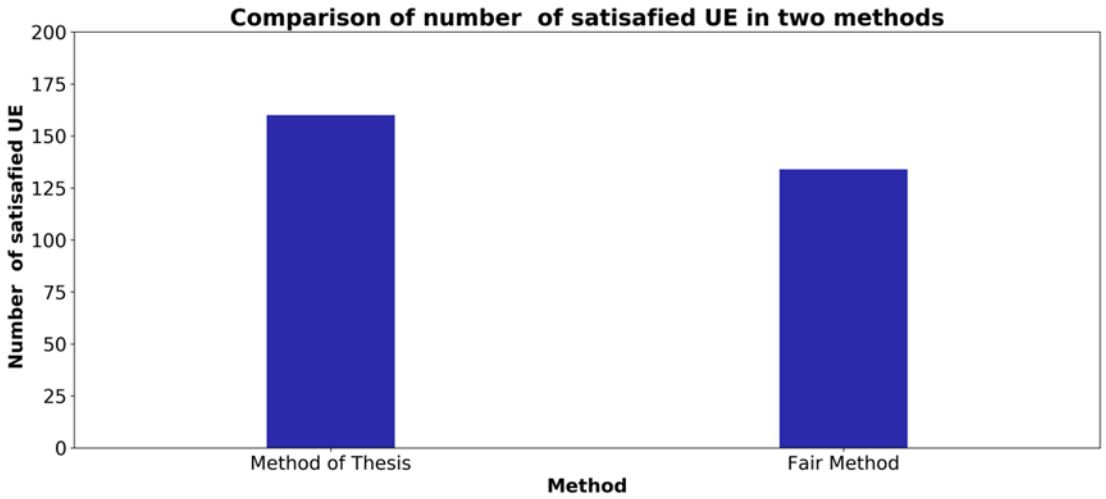


圖 5- 54：在供不應求下不同方法可滿足之 Non-GBR 人數

五、 微型業者協調室內授權輔助接取系統實作

本計畫實作微營運商協調室內授權輔助接取系統，將μO 協調 LAA 模組(μO’s LAA coordination module)置於 VISSA 2.0 控制器(Controller)，目的在於概念性驗證微營運商協調室內授權輔助接取。系統架構圖如下圖 5- 55，主要分為四個部分：

1. 網路瀏覽器：在其上運行 MNO 圖形化控制介面，提供 MNO 輸入自己的資訊。其包含商務和個人使用者的用戶數量，以及擁有的 Licensed band 頻寬。
2. 伺服器：負責 Unlicensed band 的分配以及下達指令給 LAA。經由 MNO 在圖形化控制介面提供的資訊，透過 LB & UB 估計器(LB utilization & UB demand estimator)估算每個 MNO Licensed band 的使用狀況以及對於 Unlicensed band 的需求，接著使用 POUBA 來分配 Unlicensed band。根據 Unlicensed band 的分配結果來估算其吞吐量後，下達指令給 LAA。
3. 資料庫：儲存 MNO 及 LAA 相關資訊。LAA 的資訊包含其功率大小、環境參數、路徑損耗模型等，以提供 LB & UB 估計器做運算；而除了儲存 MNO 在圖形化控制介面提供的資訊外，也會儲存在伺服器分配 Unlicensed band 完之結果等。
4. 工研院 LAA： 依伺服器的指令設定 MNO 的 UE 在 Unlicensed band 的吞吐量(Throughput)。

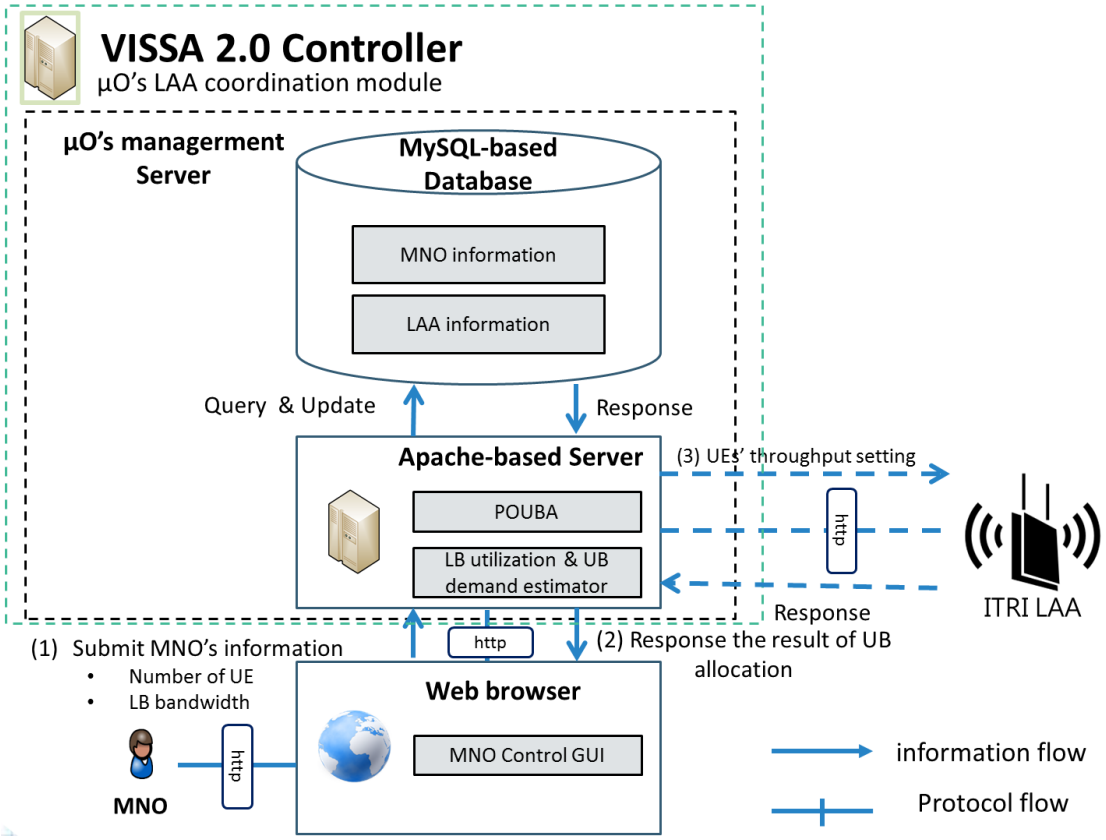


圖 5- 55：系統架構圖

六、 展示情境

兩個 MNO 提出超過供給的需求，μO 協調設定 LAA 小型基站 UB 頻寬。本展示情境設定存在兩個 MNO，並設定兩個 MNO 之個人使用者用戶對於 Unlicensed band 的總需求超過 Unlicensed band 服務容量大小，而 μO 來協調設定 LAA 小型基站之 MNO 分別可使用的 Unlicensed band 頻寬大小，如圖 5- 56。

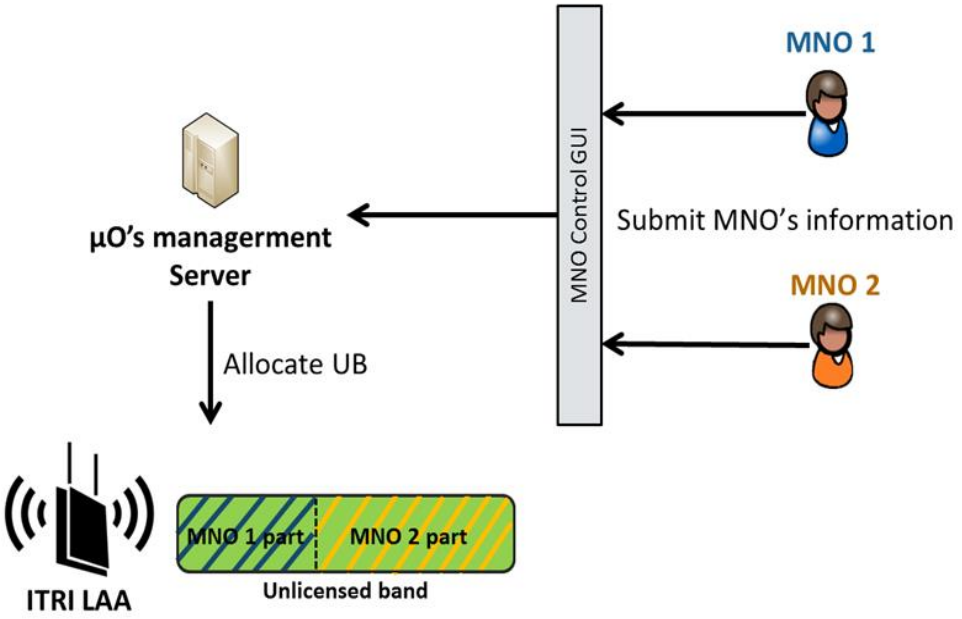


圖 5- 56：展示情境圖

七、 展示流程

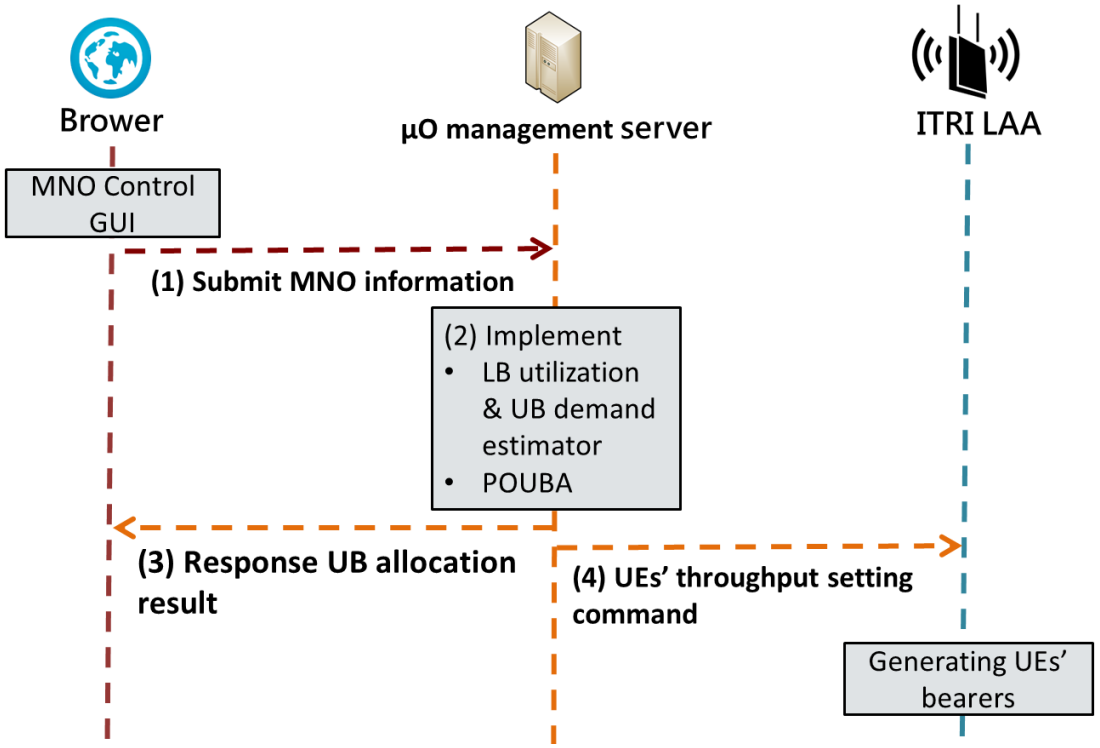


圖 5- 57：展示流程圖

MNO 透過控制圖形介面提交自己的資訊，如圖 5- 58。

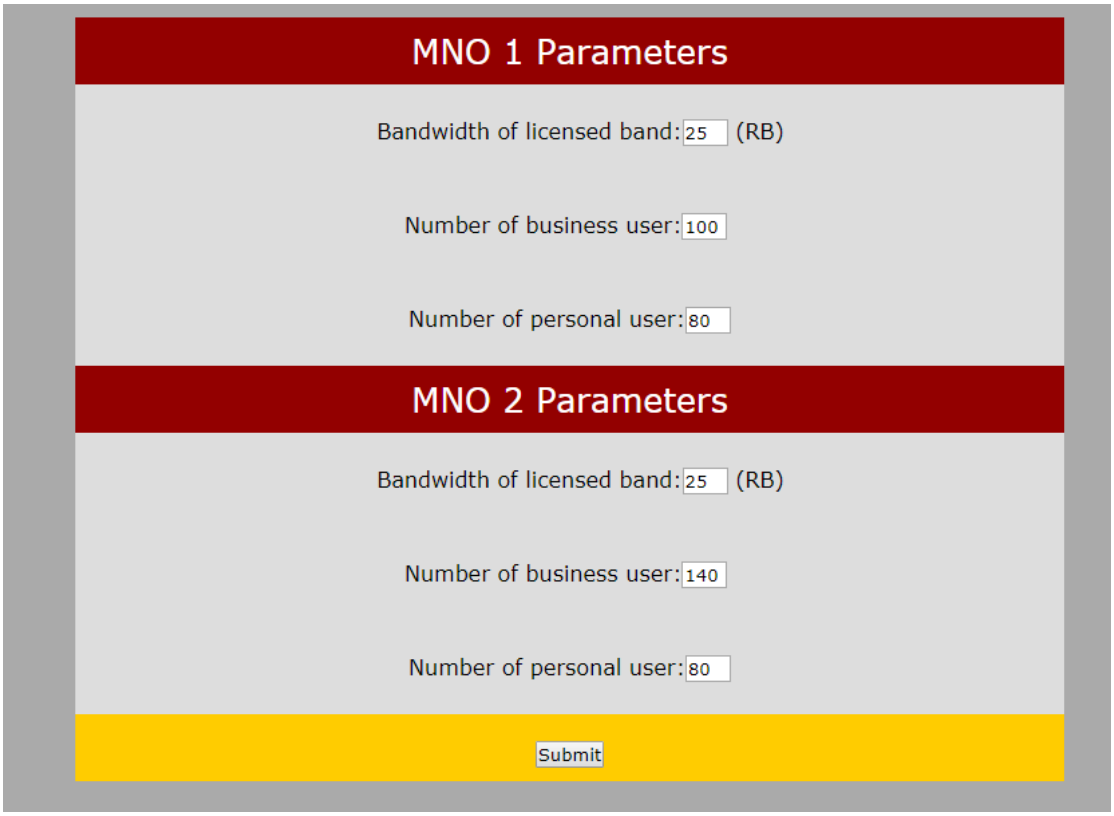


圖 5- 58：MNO 提交資訊之控制圖形介面

Step1.：伺服器會透過 LB & UB 估計器，依照異質頻譜分配運算每個 MNO 的 Licensed band 滿足完商務使用者後的剩餘量 (Remained licensed band)，和個人使用者對於 Unlicensed band 的需求，如圖 5- 59。因 MNO_1 的商務使用者較少，因此還剩 7 RB 單位的 Licensed band 可以給個人使用者使用，而 MNO_1 的商務使用者較多，已沒有剩下的 Licensed band。

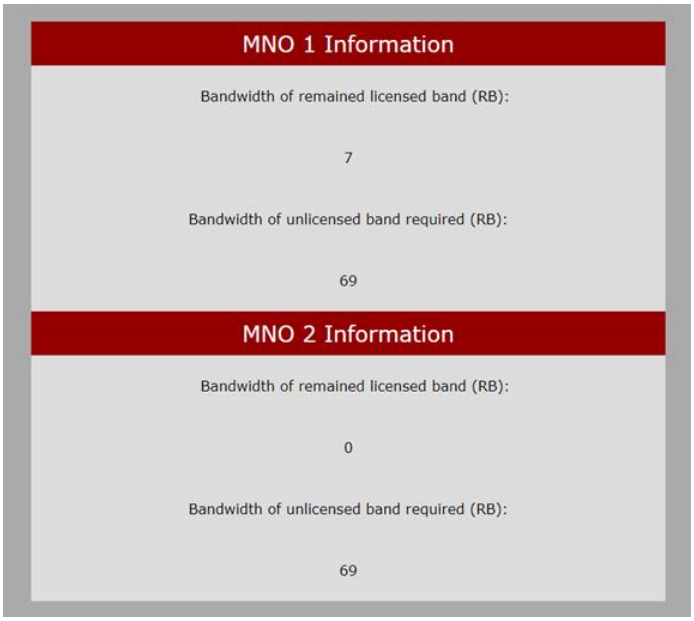


圖 5- 59：LB & UB 估計器運算結果之圖形介面

Step2.：根據 LB & UB 估計器所算之參數，執行 POUBA 演算法來分配 Unlicensed band，而 MNO 可從控制圖形介面看到其結果，如圖 5- 60。因 MNO_1 所剩餘之 Licensed band 較多(10 RB)，本計畫所提之方法會分配給 MNO_1 較少 Unlicensed band RB (31 RB)，而 MNO_2 會拿到較多資源(69 RB)。

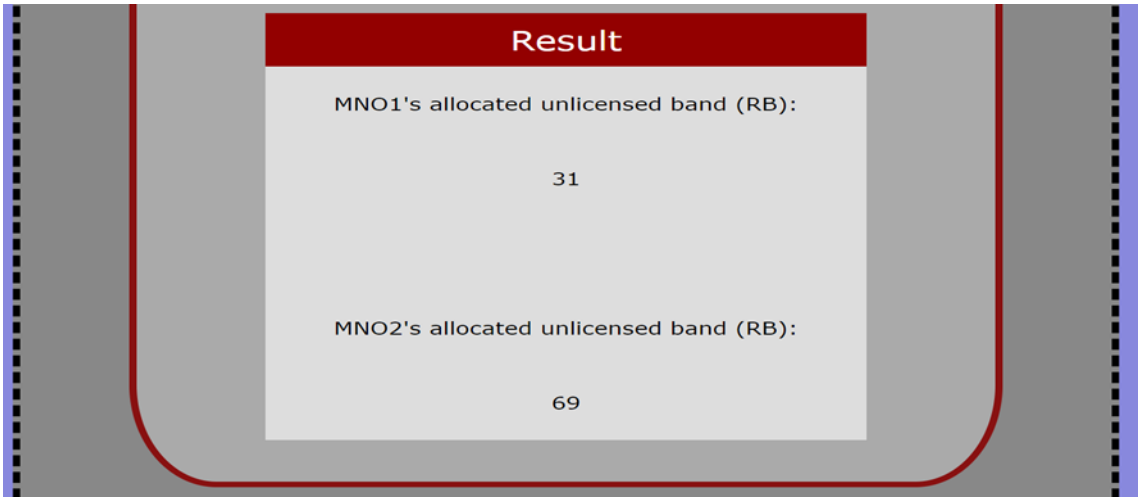


圖 5- 60：Unlicensed band 分配結果之圖形介面

Step3.：最後 μO 根據 Unlicensed band 分配結果下達指令給 LAA。

第五節　資料庫擴展與資訊安全

一、 資料庫資訊安全

SAS 技術的使用帶來新的資安議題，相對應的對策需被考慮，特別是在文獻所提到的[16]，有可能找出有關業者安全的規格與要求，根據此文獻，每個在 SAS 系統的個體(entity)必須小心地儲存資訊，並提供合理的安全等級。

因為 SAS 系統主要的安全威脅為電波干擾攻擊(inference attack)和洩漏主要使用者(incumbent)的隱私資訊，一些關於攻擊者的能力範圍可以被假設，攻擊者可能能做以下幾點事情：

1. 利用 GAA 的身分註冊；
2. 用多方 IP 位址請求使用多個 GAA 的使用權；
3. 統計分析主要使用者使用特徵；
4. 對網路連結的裝置使用 DoS 或 DDoS 攻擊。

除此之外，為了保護主要使用者位置或移動的隱私和保密性，ESC 業者和 SAS 管理者必須從攻擊者會如何攻擊的角度設計他們的系統。

通過滿足其他類型的要求也可以達成抵禦攻擊的效果，如為了抵抗可能入侵系統的惡意軟體，需設定 ESC 系統的感測器為不能完全被重新配置，或限制對系統的遠端存取。

為了保護主要使用者，FCC 可以隨時間動態調整或新增禁用區或保護區 (exclusion or protection zones)。

SAS 亦需限制 CBSD 請求的數量，理想上是同樣一個頻道對同一個裝置，除此之外，CBSD 不應被分配超額所需的頻道。且 SAS 須保護主要使用者使用的頻率資訊，藉著傳送可用頻道時，夾雜些假的隨機資訊，來有效地抵擋對於電波干擾的攻擊。

---

[16] CBRS Operational Security Document, WINNF-TS-0071 Version V1.0.0, winnforum, available at: https://workspace.winnforum.org/higherlogic/ws/public/download/4487/WINNF-TS-0071-V1.0.0%20CBRS%20Operational%20Security.pdf

二、 資訊交流安全技術規格

因技術的成熟與發展，應探討有關如何有效滿足業者安全需求的論文，特別是目前可達成的安全技術和攻擊者能力等相關論文，需制定相對應的對策來減輕攻擊者的威脅，同時，對於每個對策的優缺點以及安全等級需被考量。

為了提供一定的資訊交流安全等級，文獻提出在頻譜分享系統中需使用公眾金鑰設施(public key infrastructure)[17]，建議一個可以發行金鑰的憑證機構(Certificate Authorities，CA)之分層架構，如下圖 5- 61。

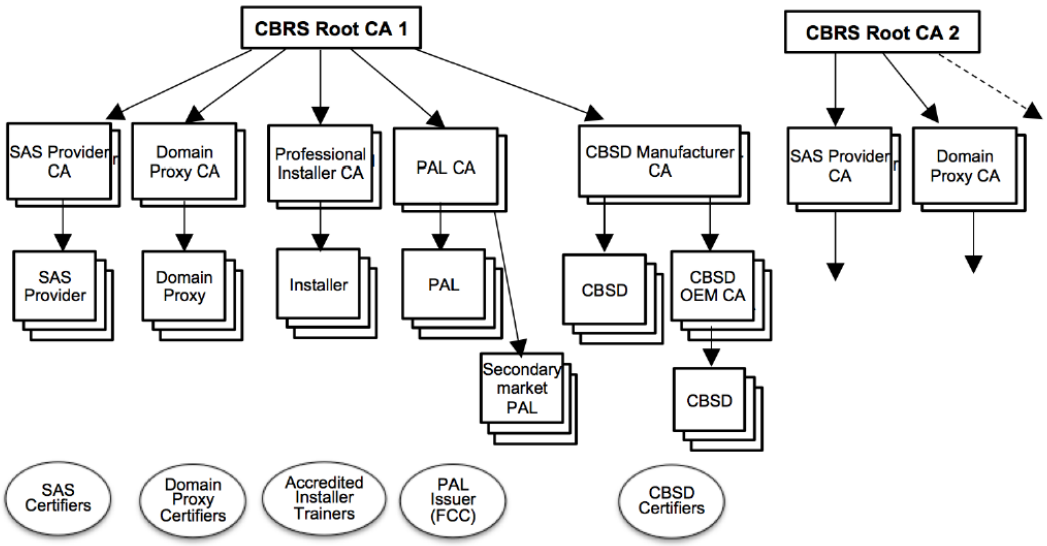


圖 5- 61：資料庫資安金鑰架構

在此文獻中，對於不同使用目的憑證的金鑰，定義有關其使用、儲存、管理、產生、生命週期等。

[17] CBRS Communications Security Technical Specification Document, WINNF-15-S-0065 Version V2.0.0, winnforum, available at: https://workspace.winnforum.org/higherlogic/ws/public/document?document_id=4486&wg_abbrev=SSC

除此之外，也需要所有個體在實行這些技術過程中，避免洩漏金鑰和縮小洩漏金鑰的損失。為了滿足所有現實生活情境的要求，還需更深度的研究探討。

兩層資料庫模型為了在保證 CBSD 可以接取 SAS 資料庫的頻譜使用資訊並同時保護主要使用者的資訊，雙層的資料庫模型被提出。這種雙層模型將資料化分為兩種層級如下圖 5- 62 所示。

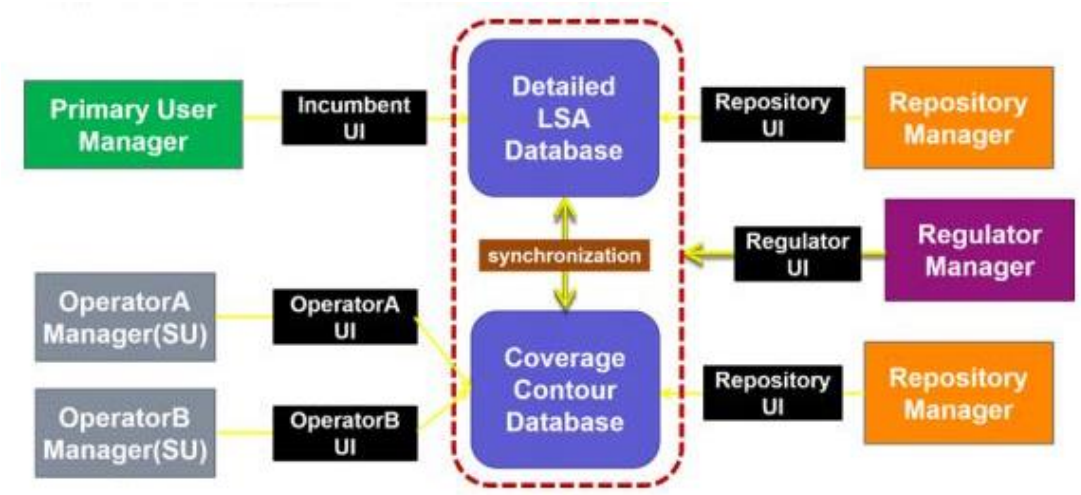


圖 5- 62：雙層資料庫資安模型

在 ViSSA 2.0 系統中，研究團隊將實裝包含兩大部分 (完整 LSA 資料庫 - detailed LSA database 與頻譜涵蓋範圍資料庫 - coverage contour database) 的雙層架構。路由器會借由請求的種類將他引導到正確的資料庫，同時公開的頻譜涵蓋範圍資料庫將會使用 K-匿名雜訊及模糊演算法保護。

第一部分為只能由頻譜擁有者接取的完整 LSA 資料庫 (detailed LSA database)，另一部分的頻譜涵蓋範圍資料庫(coverage contour database)則是開放的可由CBSD接取。一個需要考慮的點為推理攻擊(inference attack)的防護。為了解決這種攻擊手段，K-匿名雜訊(k-anonimity noise)跟資訊模糊演算法(Information Blurred Algorithm)被提出。K-匿名雜訊會再主要使用者使用時製造出k-1個假資料串，而

資訊模糊演算法則會謊報擴大的原本訊號的涵蓋範圍，上述的兩種方法都可以對抗推理攻擊。[18]

三、 實作保護既有使用者之位置隱私

文獻提出透過 Incumbent 的頻譜及位置假資料，來讓推斷式攻擊誤判，有兩種演算法來產生 Incumbent 的假資料：K-anonymity Noise 和 Information Blurred Algorithm (IBA)。前者為在 Incumbent 的真實訊號附近產生假的訊號，讓推斷式攻擊誤判假資料為真實訊號；而後者則是透過膨脹 Incumbent 的真實訊號，讓推斷式攻擊更難以確認訊號範圍內 Incumbent 的真實位置。

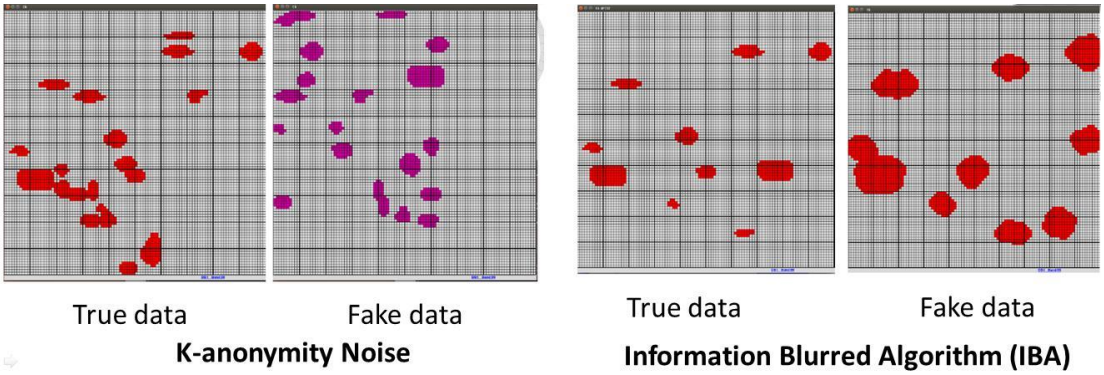


圖 5- 63：K-anonymity Noise 和 IBA 產生假資料之結果

圖 5- 64 為系統架構之流程圖：

1. Server 從資料庫取得真實 Incumbent 資料，如訊號範圍、頻段、時間等等。
2. Server 根據 K-anonymity Noise 和 IBA 產生假資料。
3. 將最後結果呈現在管理介面之網頁上，

[18]吳禎庭, "共享頻譜資料庫對推斷式攻擊之位置隱私保護方法研究", 臺灣大學電信工程學研究所學位論文, 2016, 1-77

因推斷式需要至少花 2~3 天才有較準確的預測結果，因此在此架構中每天更新一次假資料即可。

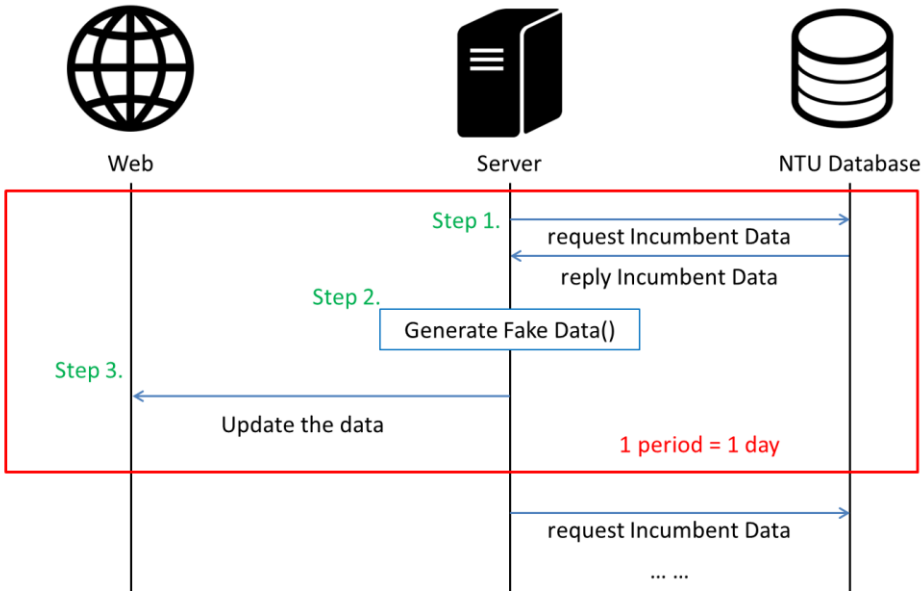


圖 5- 64：系統架構流程圖

在管理介面上如圖 5- 65，左欄可以選擇要查看原本的真實資料或是假資料，上方則是可以選擇要查看的頻段，中間為 Google 地圖圖形化介面呈現真實資料或是假資料的結果。

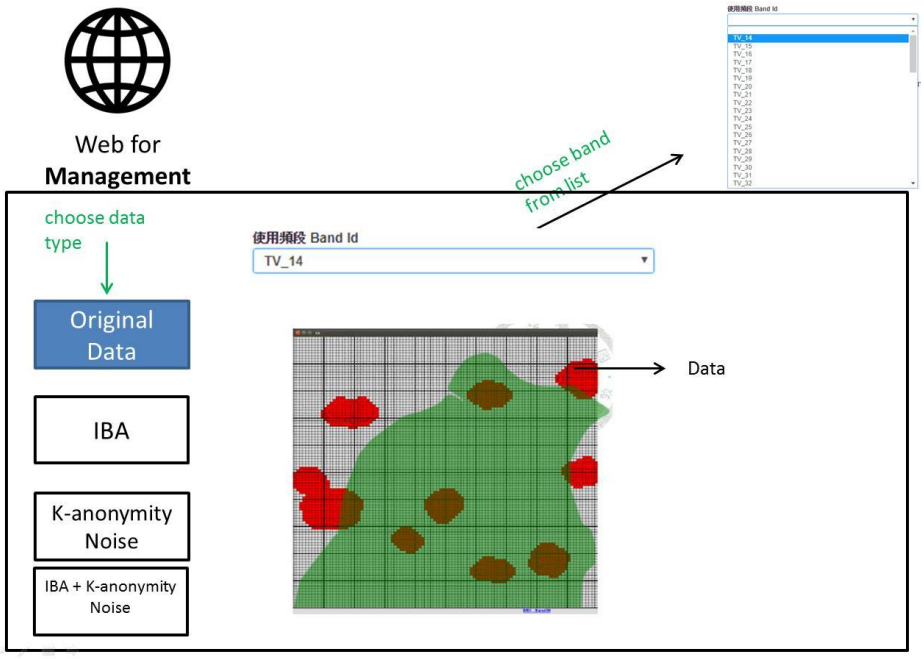


圖 5- 65：預期實作結果示意圖

第六節　結果分析與建議

本章第一節擴充了 ViSSA 平臺的功能模組，增加的系統的真實性。說明 ViSSA 系統整合了目前美國三層式頻譜共享架構，給予頻譜運用新的可能性，同時對於我國開放 3.4GHz 頻譜給了前瞻性試驗，目前 CBRS 屬於獨立模組還處於測試階段，未來已經規劃整合入 ViSSA 平臺當中。

另外 ViSSA 實驗平臺已經將 Observatory 整合於系統當中，於 Observatory 增加了系統的真實性，配合本計畫中的干擾量測可以理解如果有適當的中央控制平臺，可以達到在增加整體頻譜使用率下保護現有主要使用者，配合 Observatory 可以進一步的保護主要用戶的使用，藉由即時的頻譜觀測同時上傳於資料庫，可以第一時間的完成頻譜狀況的掌握，從而做出相應的動作。

此外，本章研讀標準發展出了 GAA、SAS 與 PAL 之間的軟體架構，本註冊程序符合美國 CBRS 之標準，因此本系統除了是一個實驗平臺外，於未來因為符合規範，所以可以進一步的做擴充以及嫁接，未來將在測試階段做分析及處理進一步的改良系統。同時，研究團隊引入了指向型天線，藉由指向型天線，可以頻譜做地域上新圍度的劃分，同時增加頻譜的容量，給予了在未來做更小單位的頻譜租借的可能性。

針對資訊安全議題，ViSSA 系統對於系統安全做進一步的補強，有鑒於 ViSSA 所蘊含的資訊增加，相對的需要增強系統整體安全性，因此研究團隊引入了 K-anonymity Noise 和 Information Blurred Algorithm (IBA)演算法對頻譜資料做進一步的加密以及保護，同時藉由保護的演算法，可以增加惡意使用者攻擊系統的難度，未來整合保護演算法於 ViSSA 平臺後，將會讓系統的實用性進一步的提升。

未來 ViSSA 系統平臺將以更加真實的方向做進一步的加強，預計將 3.5GHz 的基地臺與小細胞 LTE LAA 整合進系統，進一步的增加系統的功能以及真實度。

第肆篇 新世代行動通信及物聯網新興技術之頻譜整備與規管政策研析報告

第六章　新世代行動通訊及物聯網新興技術演進與應用趨勢

第一節　國際電信聯合會（ITU）之 5G 技術發展動態與趨勢

隨著行動通信及智慧手機和平板電腦的廣泛使用，促使行動網路數據流量持續增長，手機及其應用已成為民眾日常生活的一部分。但仍然無法滿足人們對於高速行動傳輸的需求，也還不能實現萬物聯網的理想，例如：自駕車、智慧城市、智慧工廠等，這些需要透過萬物溝通的技術應用，使資料中心建置及聯網裝置越來越多，原有 4G 已經無法負荷這樣的數據吞吐量，唯有發展第五代行動通訊（5G）才能滿足各式新興科技應用，因此，下一代 5G 標準的制定工作已在國際間緊鑼密鼓的進行，產業也全力投入技術、設備與應用的發展，預期 2020 年 5G 時代將正式來臨。

一、 5G 技術發展歷程

(一) 國際電信聯盟無線電通信部門(ITU-R)及研究小組(SG)

國際電信聯盟-無線電通信部門（ITU Radiocommunication, ITU-R）是 ITU 為無線電通信系統制定法規和標準的主要部門，對於確定管理全球一級新一代 IMT（國際行動通信）的技術和標準至關重要。目前全球所有的 3G、4G 和 5G 行動寬頻系統均基於 ITU-R 制定的 IMT 標準。ITU-R 轄下設有研究小組(Study Groups, SGs)配置六大專業研究領域，包括:第 1 研究組(頻譜管理)、第 3 研究組(無線電波傳播)、第 4 研究組(衛星業務)、第 5 研究組(地面業務)、第 6 研究組(廣播業務)以及第 7 研究組(科學業務)，負責制定 ITU 會員國核准之各業務建議書草案。各研究組還成立工作小組（Working Parties, WP）和任務小組（Task Groups, TG）分配不同研究小組的課題。ITU-R 的 6 個 SG 的結構和範圍，如表 6- 1 所示。

表 6- 1：ITU-R 研究小組(SGs)主要研究領域

	主要工作範圍
第 1 研究組(SG 1) 頻譜管理	頻譜管理原則和技術、總體共用原則、頻譜監測、頻譜使用的長期策略、國家頻譜管理的經濟方式、自動化技術和與電信發展部門合作為發展中國家提供幫助。
第 3 研究組(SG3) 無線電波傳播	電離層及非電離層媒介中無線電電波傳播和無線電雜訊的特性，目的是為了改進無線電通信系統。
第 4 研究組(SG4) 衛星業務	衛星固定業務、衛星移動業務、衛星廣播業務和衛星無線電測定業務的系統和網路。
第 5 研究組(SG5) 地面業務	固定、移動、無線電測定、業餘和衛星業餘業務的系統和網路。
第 6 研究組(SG6) 廣播業務	無線電通信廣播，包括主要向公眾傳輸的視頻、聲音、多媒體和資料業務。
第 7 研究組(SG7) 科學業務	標準頻率和時間信號、空間研究（SRS）、空間操作、衛星地球探測（EESS）、衛星氣象（MetSat）、氣象輔助（MetAids）和無線電天文（RAS）業務。

資料來源：ITU-R

第 5 研究組(SG 5)研究範圍主要是固定、行動、無線電測定、業餘和衛星業餘業務的系統和網路，另分為四個工作組研究課題，以及一個任務組(TG 5/1)進行有關 WRC-19 議項 1.131 的研究，如表 6-2 所示。

表 6- 2：ITU-R 第 5 研究組(SG 5)主要工作領域

	主要研究課題
WP 5A 工作組	30 MHz 以上的陸地行動服務（不包括 IMT）；固定服務中的無線接取；業餘和衛星業餘服務；
WP 5B 工作組	包括全球水上遇險和安全系統（GMDSS）在內的水上行動服務；航空行動服務和無線電測定服務；
WP 5C 工作組	固定無線系統；高頻（HF）和 30 MHz 以下頻段的其它固定和陸地行動服務系統；
WP 5D 工作組	國際行動通信（IMT）系統；

TG 5/1 任務組	WRC-19 議項 1.13 – 根據第 238 號決議（ WRC-15），審議為國際行動通信（ IMT） 的未來發展確定頻段， 包括為作為主要服務的行動服務做出附加劃分的可能性；

資料來源:ITU-R

其中，5D 工作組(WP5D)是 ITU-R 研究國際行動通信（International Mobile Telecommunication system, IMT）地面部分總體無線系統問題的工作組，主要針對 IMT-2000 系統、IMT 先進（IMT-Advanced）系統和 IMT-2020 系統，設計發展未來 IMT 系統指標的技術、IMT 無線介面、IMT 頻譜配置和其他系統相容性等相關問題，以及制定新 IMT 主題有關的 ITU-R 決議，ITU-R 建議書和 ITU-R 報告，並就涉及 IMT 網路標準化問題與 ITU-T 進行聯絡協調。同時，WP5D 與 IMT 衛星部分相關問題與 4B 和 4C 工作組密切開展合作外，也與外部組織及知名標準制定組織開展有力的合作。而 TG 5/1 任務組則就 WRC-19 議項 1.13 – 根據第 238 號決議（ WRC-15），審議為國際行動通信（ IMT） 的未來發展確定頻段， 包括為作為主要業務的移動業務做出附加劃分的可能性。

(二) ITU-R IMT-2020 系統發展進程與現況

隨著產業對未來行動技術需求的殷切，各方期盼在 2020 年和以後的時間內建立一個無縫連接社會，在智慧網路通信環境中將人員、事物、資料、應用、交通系統和城市匯流一起。國際電信聯盟(ITU)及合作夥伴意識到國際行動電信系統 (International Mobile Telecommunication system, IMT)和 5G 的重要性，ITU 繼確立用於 3G 的 IMT-2000 及用於 4G 的 IMT-Advanced 詳細規範後，2012 年 ITU-R 開始實施 “2020 年及以後的 IMT(“IMT for 2020 and beyond)”計劃。ITU 計劃到 2020 年完成該工作，以便能夠滿足 ITU 會員和組織希望盡快部署 5G 的最迫切需要。這是更具挑戰性的，因為發展階段僅有 5 年，而 IMT-2000 為 15 年，IMT-Advanced 為 9 年。如圖 6- 1 所示。

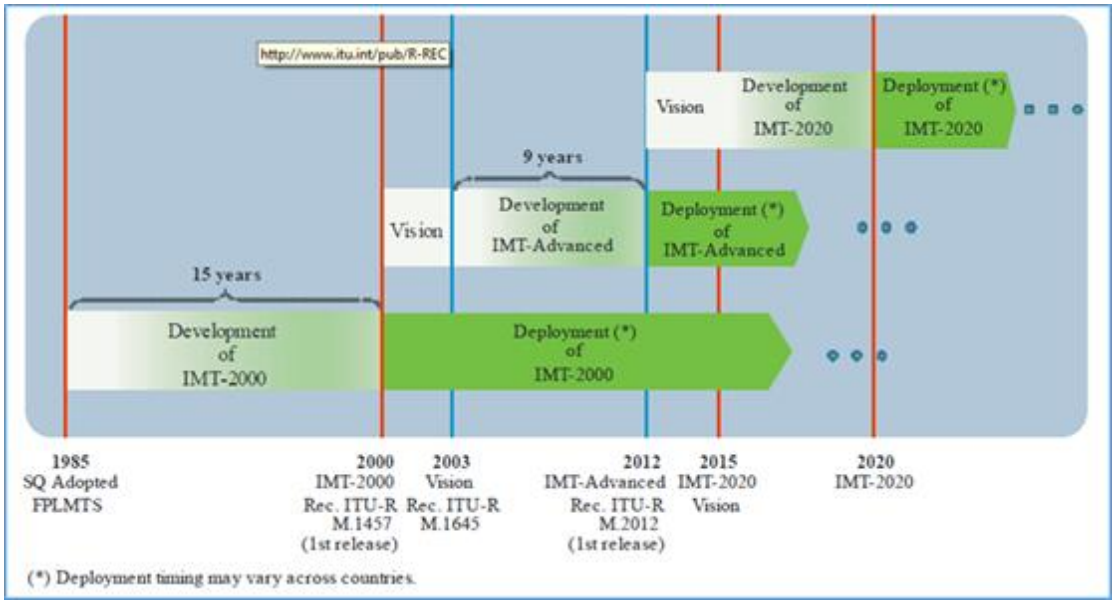


圖 6- 1：國際行動電信系統(IMT)開發和部署的時間表

資料來源:ITU-R M.2083

2012 年 ITU-R 開始進行 IMT-2020 系統規格制定工作，並透過第 5D 工作組（Working Party 5D, WP 5D）制定 IMT 未來發展的工作計劃、時間表、流程和必要交付的成果，同時這些成果也須在 2020 年的時間框架內提供，以支持下一代行動寬頻通信系統的進程。ITU-R 並在 WP 5D＃20 會議中，確定最終的整體 IMT-2020 時間表，為全球新興 5G 研究活動奠定基礎，同時預計在 2019 年 10 月召開 2019 年世界無線電通信大會（WRC-19），如圖 6- 2 所示。

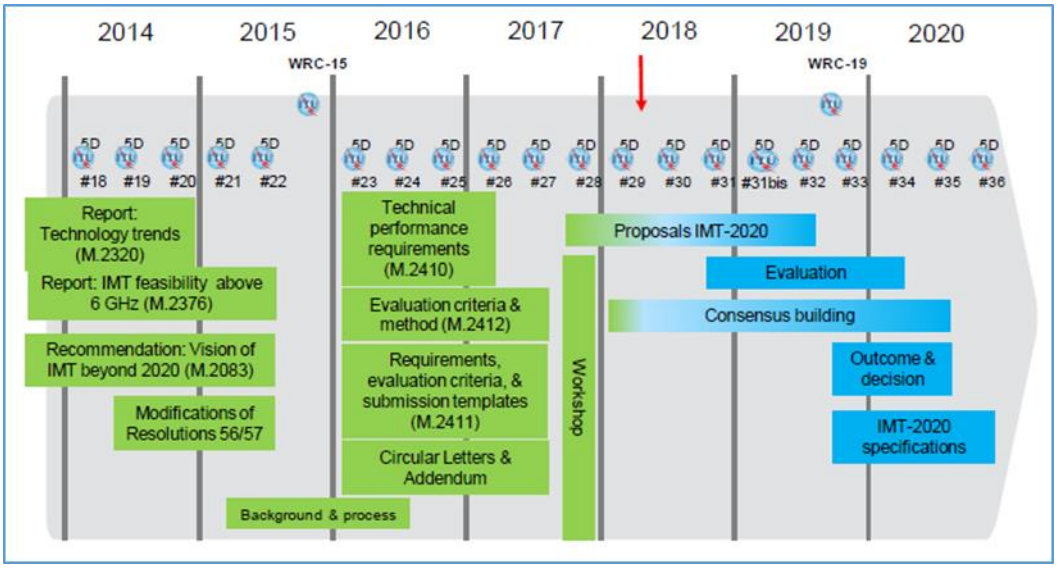


圖 6- 2：ITU-R 制定 IMT-2020 系統規格整體期程表

資料來源:ITU-R

根據 ITU-R 第 56-2 號決議所定義的，國際行動通信-2020（IMT-2020）系統支援包括 IMT-2000 和 IMT-Advanced 系統外的新功能新無線介面行動系統。面對 2020 年及未來國際行動通信 IMT-2020 系統（5G）的終極目標，ITU-R 為解決地面 IMT 技術問題及考慮 2015-2020 年以後的系統部署，首先於 2014 年 11 月發布 ITU-R M.2320 號有關地面 IMT 系統的未來技術趨勢(Future technology trends of terrestrial IMT systems)報告，將 WRC-15 有關地面 IMT 系統，納入其研究範圍一部分。其後，ITU 在 2015 年世界無線電通信大會（RA-15）核准一系列新興技術相關的建議書和決議，並啟動與全球行動寬頻通信發展（IMT-2020）相關的進一步研究以及涉及無線系統和應用的研究，以促進物聯網（IoT）的發展。ITU 在 2015 年 7 月發布 ITU-R M.2376 報告，提供 6 GHz 以上頻段 IMT 技術可行性分析；並在 2015 年 9 月完成 5G 行動寬頻互聯社會的願景(Vision)，同時發布 ITU-R M.2083 建議書-IMT 願景(IMT Vision) – 擘劃 2020 年及以後 IMT 未來發展的框架和總體目標確定 IMT-2020 的功能。ITU-R 並於 2015 年 11 月 3 日發佈的 ITU-R 第 65 號決議，確立 IMT 未來（2020 年及其後）發展進程的原則(Principles for the process of future

development of IMT for 2020 and beyond)，並概述制定 IMT-2020 建議書和報告過程中的基本標準和原則。

同時，為對候選 IMT-2020 無線介面技術(radio interface technologies, RIT) /無線介面技術集（Set of radio interface technologies, SRIT）的最低技術性能要求有一致性定義、規範和評估方法，ITU-R WP5D 工作小組於 2017 年 10 月完成最低技術性能需求、評估標準與方法和提案提交模板等文件報告，包括：

- ITU-R M.2410 有關 IMT-2020 無線介面技術性能的最低要求。

  ITU-R M.2410 報告描述 IMT-2020 候選無線介面技術最低技術性能相關的關鍵要求，並提供有關個別需要及所選項目和價值理由等必要的背景資訊。這些關鍵的技術性能要求也用於制定 ITU-R M.2412-0 報告。這份報告基於外部研究和技術組織正在進行的開發活動。

- ITU-R M.2411 發展 IMT-2020 的要求、評估標準和提交模板

  ITU-R M.2411 涵蓋制定有關 IMT-2020 的建議書和報告的要求、評估標準和提交模板，如 IMT 2020 的詳細規範。它提供服務、頻譜和技術 IMT 2020 的候選無線介面技術（RIT）/無線介面技術集（SRIT）的性能要求。

- ITU-R M.2412 IMT-2020 無線介面技術評估指南

  M.2412 報告提供評估候選 IMT-2020 無線介面技術（RIT）/無線介面技術集（SRIT）用於多種測試環境中的程序、方法和標準（技術、頻譜和服務）的指導原則。這些測試環境的選擇模擬更嚴格的無線操作環境。評估程序的設計方式使得候選 RITs / SRITs 的整體表現可以在技術基礎上得到公平和平等的評估，確保滿足 IMT-2020 的總體目標。

依據 ITU WP5D 工作小組設定 IMT-2020（5G）技術發展時程，自 2017 年 10 月第＃28 次會議提出 IMT-2020 規劃建議書後，各會員國即可陸續提出各自定義之 5G 標準規範，並在 2019 年 7 月第＃32 次會議前截止收件，同時 ITU WP5D 再將各會員國所提建議交由獨立外部評估小組審查與驗證後，確認是否符合 IMT-2020 所需要達到技術指標，整體時程預計最晚於 2020 年底前可完成，如圖 6- 3 所示。



圖 6- 3：ITU WP5D 工作小組設定之 IMT-2020 技術發展時程

資料來源:ITU-R

目前 ITU-R 在 IMT-2020 標準化進程所開展的工作，正遵循 WP5D 設定路線規畫圖進行，完成的階段用綠色表示，藍色表示將進行的階段。其中，2018-2019 年標準化階段 ITU-R 現正進行有關 5G 不同技術研究和提案的評估及 WRC-19 的準備作業，如圖 6- 4 所示。整個過程計劃於 2020 年完成，屆時將在 ITU-R 內提交新的無線介面詳細規範的新 ITU-R 建議書草案。

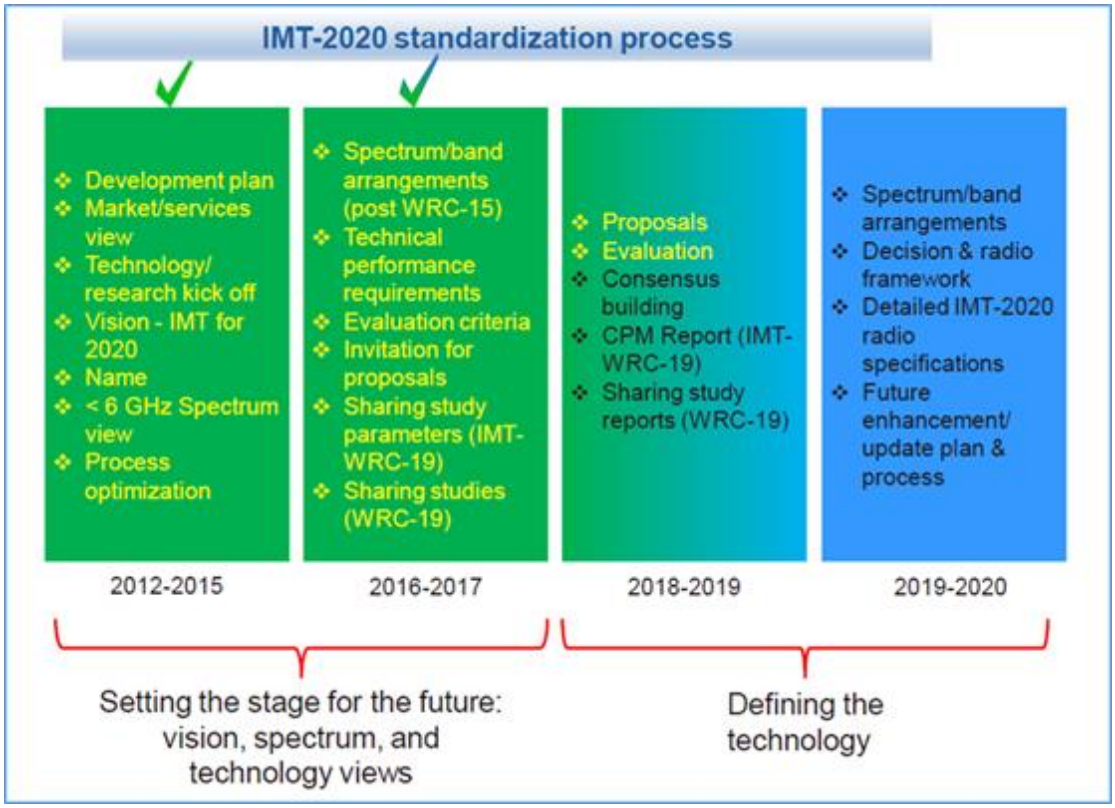


圖 6- 4：ITU-R IMT-2020 標準化進程

資料來源:ITU-R

(三) ITU 2020 年及之後 IMT 的應用場景

根據 ITU-R M.2083 願景，ITU 在 IMT-2020 定義的三個主要應用情境，以滿足特定產業的需求，包括:增強型行動寬頻（enhanced mobile broadband, eMBB），超可靠和低延遲通信（ultra-reliable and low-latency communications, URLLC）以及大型機器類型通信（massive machine type communications, mMTC），如圖 6- 5 所示。

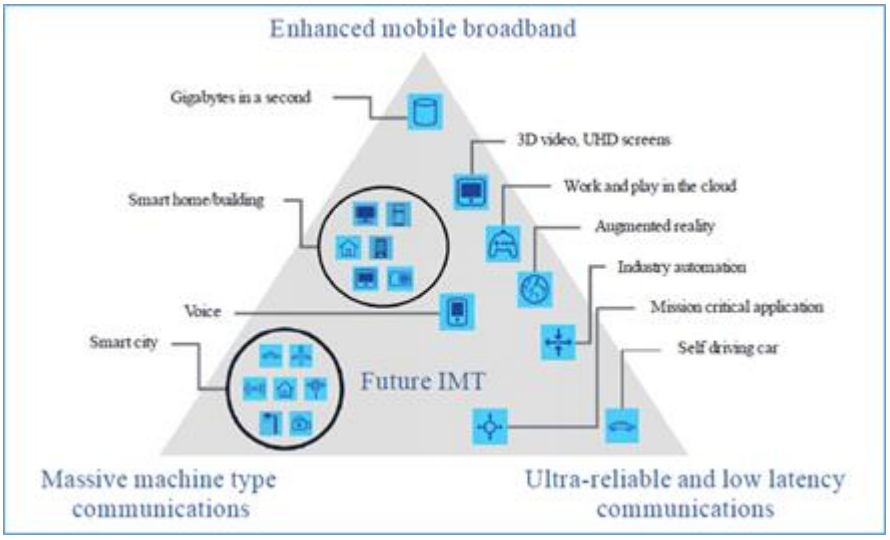


圖 6- 5：ITU-R IMT-2020 主要應用情境

資料來源:ITU-R M.2083

- 增強型行動寬頻(eMBB)：增強室內和室外具超高速連接，即使在細胞邊緣也有一致的服務品質。eMBB 著重在以人為中心的使用案例，將涉及到所有需要越來越快連接的內容、應用和服務的接取，例如觀賞超高清（4K/8K）視訊或 VR/AR 的應用。

- 超可靠和低延遲通信(uRLLC)：此使用案例對延遲和封包遺失等功能有十分嚴格的要求，以確保提高反應能力。所應用的領域有：工業製造或生產流程的無線控制、遠端手術、智慧電網配電自動化以及運輸安全等。

- 大規模機器類型通信(mMTC)：此使用案例的特點是，連接設備數量龐大，這些設備通常傳輸相對少量的非延遲敏感性資料。設備成本需要降低，電池續航時間需要大幅延長。由於這些服務需要廣泛的覆蓋範圍、較低的能耗和較低的傳輸速度。與現有技術相比，5G 能跨越既有區域以非常密集方式提供物件連接的能力。

(四) ITU 2020 之特性

為滿足實現 IMT-2020 定義的三種應用情境，ITU 建立 8 項關鍵績效指標（KPI）規範、量化和衡量，IMT-2020（5G）系統的特點，如圖 6- 6 所示：

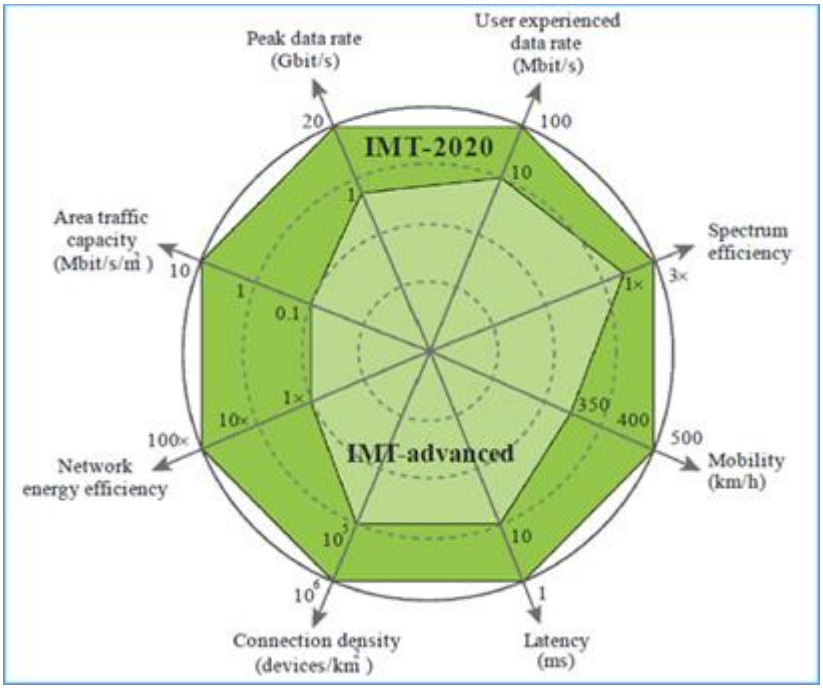


圖 6- 6：ITU-R IMT-2020 主要關鍵績效指標

資料來源:ITU-R M.2083

- **峰值資料速率(Peak data rate)**

每名使用者/每台設備理想條件下可獲取的最大資料速率（單位：Gbit/s）。就 IMT-2020 而言，其增強型移動寬頻的峰值資料速率將達到 10Gbit/s。不過，在某些條件和場景下，IMT-2020 將支援多達 20 Gbit/s 的峰值資料速率。

- **用戶體驗資料速率(User experienced data rate)**

行動用戶/設備在覆蓋區域內隨處可獲取的可用資料速率（單位：Mbit/s 或 Gbit/s）。IMT-2020 將在各類增強型移動寬頻環境內支援不同的使用者體驗資料速率。就廣域覆蓋的案例而言，城市和郊區使用者有望獲得 100 Mbit/s 的使用者體驗資料速率。在熱點案例中，使用者體驗資料速率值將可提升（如在室內達到 1 Gbit/s）。

- **延遲時間(Latency)**

無線電網路對信源開始傳送資料包到目的地接收資料包的經過時間造成的延遲（單位：ms）。IMT-2020 能實現 1ms 的空中下載延遲，支持極低延遲要求的服務。

- **移動性(Mobility)**

屬於不同層和/或無線電接入技術（多層/多種無線接入技術）的經界定 QoS 和無縫轉換能夠達到的最快速度（單位：km/h）。IMT-2020 將實現高達 500 km/h 的高移動性，同時確保可接受服務。這是專門為高速鐵路設計的服務。

- **連接密度(Connection density)**

每單位面積內連接設備和/或可訪問設備的總數（單位：每 km^2）。IMT-2020 將支持高達 10^6/km^2 的連接密度，以適用於大規模機器類型通信場景。

- **能源效率(Energy efficiency)**

能源效率包括兩個方面：

  - 在網路層面上，係指無線接入網路（RAN）之單位能耗的使用者傳輸或接收的資訊位元數量（單位：bit/Joule）；
  - 在設備層面上，系指通信模組之單位能耗的資訊位元數量（單位：bit/Joule）。

IMT-2020 的網路能效的增強幅度可達 IMT-Advanced 的 100 倍增幅。

- **頻譜效率**

頻譜效率係指的單位頻譜資源和每細胞的平均數據輸送量（單位：bit/s/Hz）。為實現增強型移動寬頻，IMT-2020 的頻譜效率將比 IMT-Advanced 高 3 倍，在部分場景的頻譜效率可增長達 5 倍。

- **區域通信能力**

系指服務於每個地理區域的總通信輸送量（單位：Mbit/s/m2）。以熱點為例，IMT-2020 還將支援 10 Mbit/s/m2 的區域通信能力。

總結現有的 3G (IMT-2000)、4G (IMT-Advanced) 和 5G (IMT-2020) 系統性能，如表 6- 3 所示：

表 6- 3： 3G、4G 和 5G 系統性能比較

	Rec. ITU-R M.1645 (IMT-2000)	**Rep. ITU-R M.2134 (IMT-Advanced)**	**Rec. ITU-R M.2083 (IMT-2020)**
核定年度	2003	2008	2015
Mobility	250 km/h	350 km/h	500 km/h
Peak data rate	0.1~1Gbit/s	1 Gbit/s	20 Gbit/s
User data rate	-	10 Mbit/s	100Mbit/s~1Gbit/s
Connection density	-	10^5/km^2	10^6/km^2
Latency	-	10ms	1ms
Network energy efficiency	-	-	IMT-Advanced 的 100 倍
Spectrum efficiency	-	-	IMT-Advanced 的 3~5 倍
Area traffic capacity	-	0.1Mbit/s/m^2	10M/s/m^2

資料來源:ITU M.2083、NTTdocomo，本計畫整理

雖然 IMT-2020 關鍵技術特性對大部分使用案例均十分重要，但在不同的使用案例/情境中，某些關鍵特性的相關性具有顯著差異，如圖 6- 7 所示。

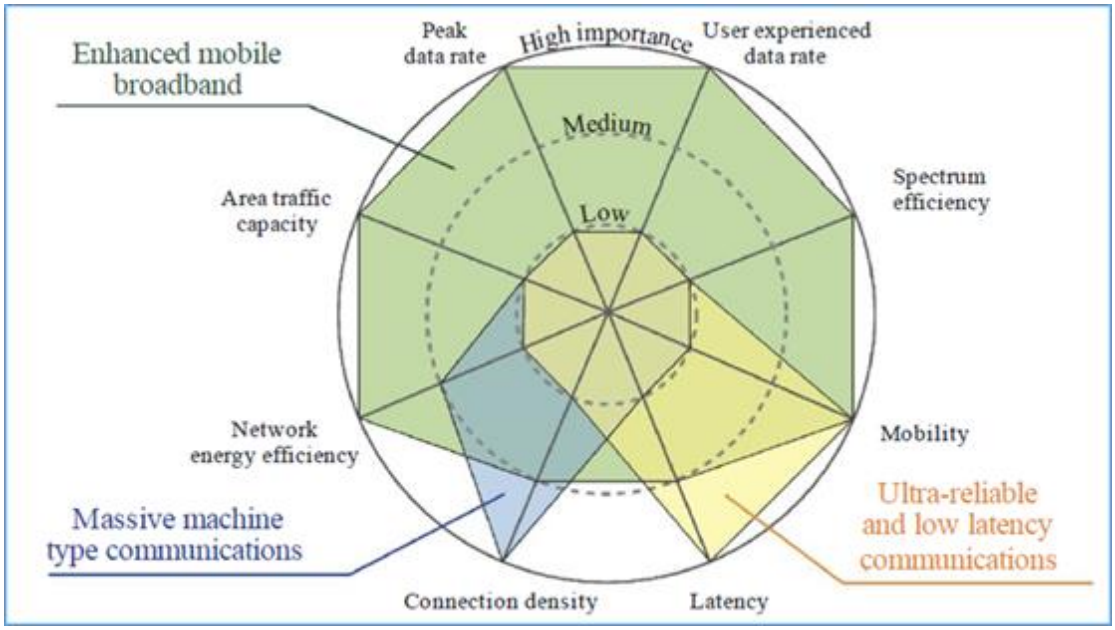


圖 6- 7：因應 IMT-2020 不同使用場景之關鍵績效指標

資料來源:ITU-R M.2083

例如:在增強型行動寬頻(eMBB)場景中，使用者體驗資料速率、區域通信能力、峰值資料速率、移動性、能效和頻譜效率都具有很高的重要性，但是移動性和使用者體驗資料速率並非同時在所有使用案例中同等重要。例如，與廣域覆蓋案例相較，熱點需要的是更高的使用者體驗資料速率和更低的移動性。

而在一些超可靠和低延遲通信(uRLLC)情境中，為滿足安全苛求應用之要求，低延遲是最為重要的特性。在一些高移動性案例（如運輸安全）中同樣需要這一特性，但在中高數據速率等特性的重要性則相對較低。

另在大規模機器類型通信(mMTC)情境中，高連接密度是支援網路中（該類網路可能僅僅偶爾傳輸、傳輸位元速率低、移動性低或沒有移動性）大量設備所不可或缺的。具有較長運行壽命之低價設備，對這類使用情境而言至關重要。

(五) 網路切分

由於5G服務的多樣性，對於mMTC、eMBB和uRLLC等用例，並非每個需求都完全能兼容，因此在定義各自具有的性能範圍、使

用類別時需要權衡；這也意味著每種 5G 服務型態都可有其相對應的網路功能，且這些網路功能可組合成一個獨立的網路切片(Network Slicing)，而每個切片都有自己一套 KPI，在 5G 系統上網路屬性需要適應所選環境。同時，所有的網路切片均源自於相同的網路基礎設施，進而將可極大幅度地減小 5G 網路營運商建設多業務網路的投資。此外，所有的網路切片在邏輯上是分離的，彼此將相互獨立，從而使得每一類 5G 業務均可獨立地運行及維護，如圖 6- 8 所示。

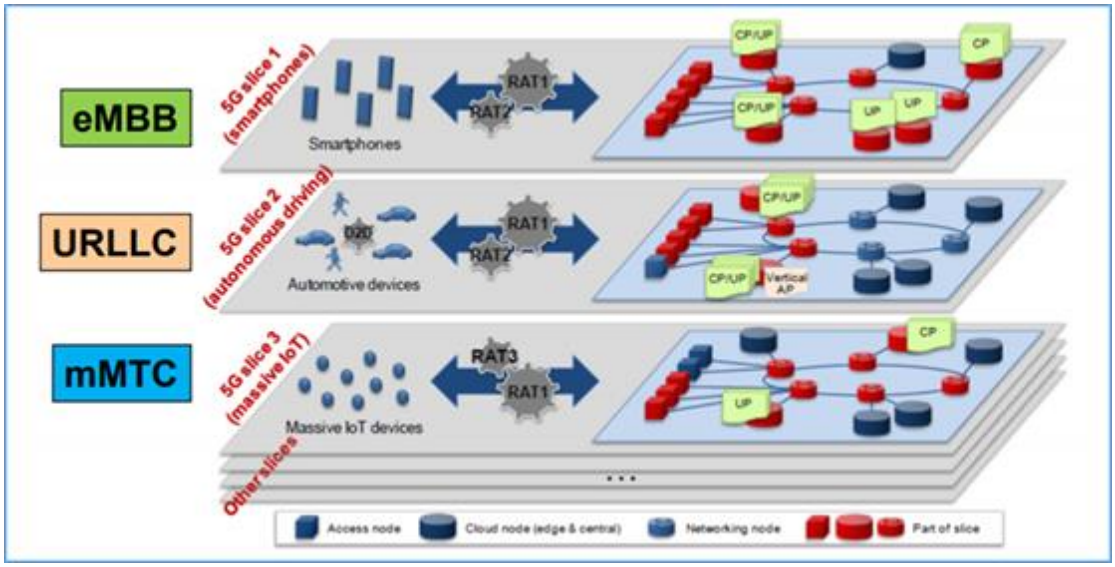


圖 6- 8：5G 網路切片系統架構圖

資料來源:KDDI

由於這種**網路切分(network slicing)**所帶來的靈活性或適應能力，只能透過大量網路元件的軟體化(softwarisation)和虛擬化(virtualisation)來實現，這個過程被稱為軟體定義網路（Software-Defined Networking, SDN）和網路功能虛擬化（Network Function Virtualization, NFV）。為此，ITU-T 於 2017 年 9 月發布一系列有關 IMT-2020 網路定義、需求及管理等建議書[19]，包括:ITU-T Y.3100 有

[19] https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/sp/T-SP-OB.1133-2017-OAS-PDF-C.pdf

關 IMT-2020 網路術語和定義；ITU-T Y.3110 有關 IMT-2020 網路管理及調度要求；ITU-T Y.3111 有關 IMT-2020 網路管理及調度框架；ITU-T Y.3516 有關雲端、雲際運算的功能架構等建議書。期使盡可能地使用通用和可重新配置的網路元件，而非針對特定任務來制定元件，達到真正融合的、可無縫地支援各種新型網路部署的網路。

二、 實現 IMT-2020 的技術構面

目前有許多競爭的無線接取技術正在審查研究中，有些設備製造商更預先實施與進行場測試驗，依照目前研究現況，5G 系統所採用的關鍵技術，主要包括：

(一) 空中介面端

3、 毫米波頻率(Millimetre wave frequencies)：

毫米波頻率的使用構成顛覆性(disruptive)的 5G 技術之一。毫米波頻率係指 6 GHz 以上的頻率，由於技術成熟度和傳播品質的原因，過去這些頻率從未考慮在行動前端網路(mobile fronthaul network)推出。然而，為滿足日益增長的資料速率和流量需求，需要使用非常寬通道（每個用戶超過 100 MHz）的新頻段：毫米波頻率可以提供這種頻譜資源，達到 5G 應有的資料速率。

特別是，由於毫米波傳播品質差，每個細胞的覆蓋範圍有限，因此需要使用波束成形（beamforming）機制來更好地集中天線發射的功率。

4、 巨量天線（Massive MIMO）

巨量天線（Massive MIMO）技術是使用位於同一面板上的大量智慧微天線（介於 8 至 128 個微天線之間，當使用 6 GHz 以上頻率時數量會增加）。運用巨量 MIMO 的主要原因：由於 Massive MIMO 使用時空多工(spatiotemporal multiplexing)技術，可提高資料速率；

同時，通過波束成形可以將能量集中在設備上，以改善鏈路預算(link budget)。應用情境如下圖 6- 9。

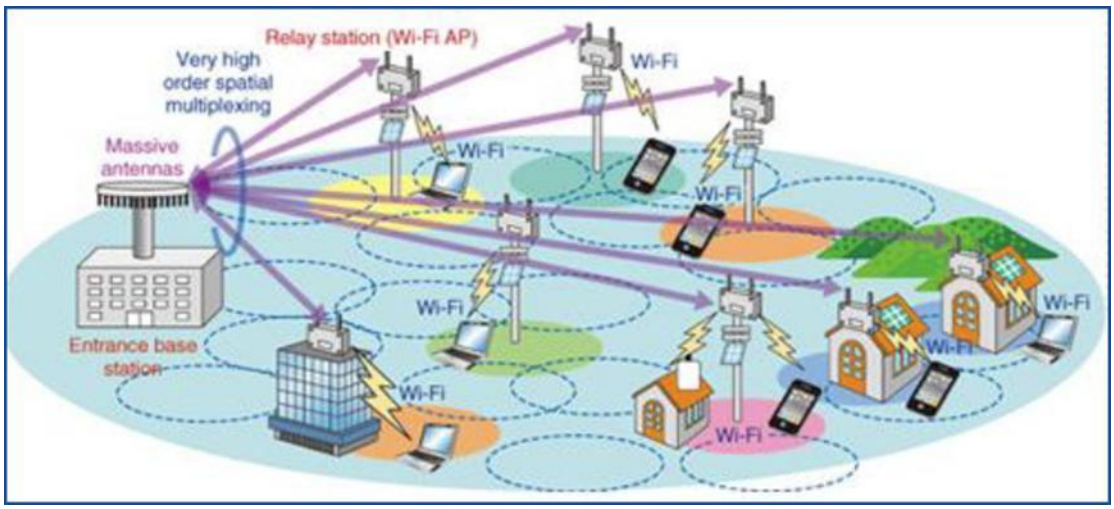


圖 6- 9：巨量天線（Massive MIMO）應用情境

資料來源:ARCEP

5、 全雙工無線電技術(Full Duplex Radio)

現行通訊系統均採用半雙工(Half duplex)技術，即以時間或頻率區分上行(Uplink)與下行(Downlink)。然而全雙工(Full duplex)技術可在同時間與頻率下支援傳送與接收以增加頻譜效益、提高數據傳輸量，是 5G 行動寬頻技術中重要的發展技術之一。然而，此技術待克服是自身干擾(Self-interference)問題，即接收機同時接收到自身信號產生干擾，且由於傳送與接收距離極近，此干擾信號強度較欲接收信號強度大上許多，技術示意如下圖 6- 10。

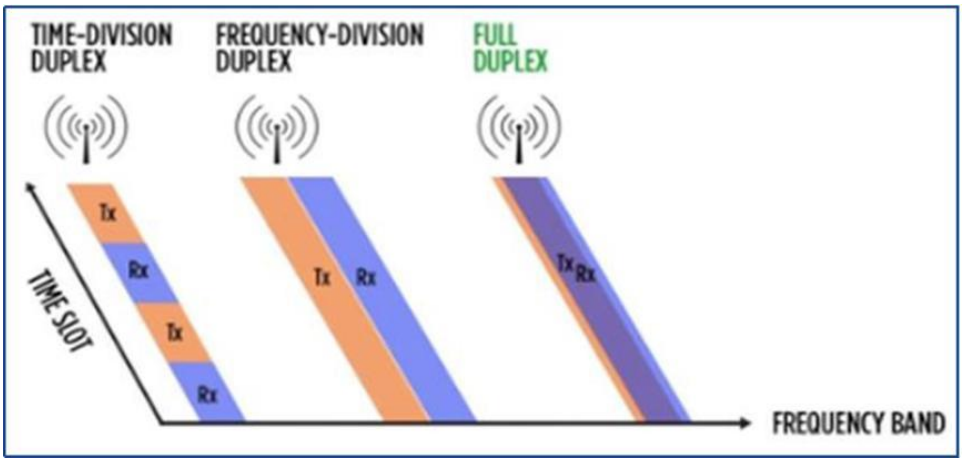


圖 6- 10：全雙工技術(Full Duplex)示意圖

資料來源:ARCEP

6、 非正交多重存取技術(Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA)

LTE 使用正交多工(orthogonal multiplexing)技術，每個設備在任何給定時間以獨特的方式使用一部分資源塊(resource blocks)。5G 為了提供比 4G 更高的頻譜效率，計劃使用非正交多工(non-orthogonal multiplexing)方法，使多個用戶可以在同一時間使用相同的頻率。無論是通過為每個用戶分配不同的代碼區分多個用戶的 3G 分碼多重接取（CDMA）和 4G 正交分頻多重接取（OFDMA），或者通過用戶信噪比(signal to noise ratios)差異的非正交多工（NOMA）方式，這些是為 NR 選擇的方法，如下圖 6- 11。

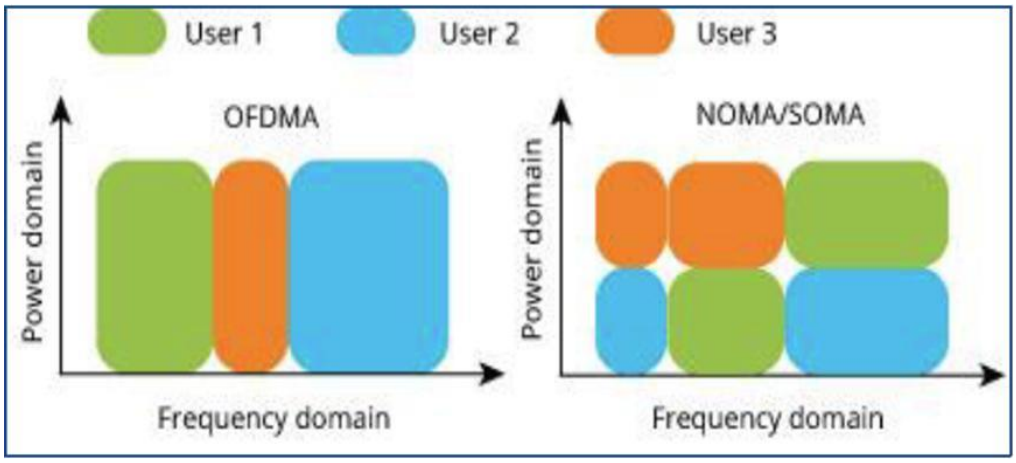


圖 6- 11：非正交多重存取技術(NOMA)示意圖

資料來源:Anritsu

7、 QAM256 調變

與許多現代通信系統一樣，4G 使用正交幅度調變（quadrature amplitude modulation, QAM）。 在 4G 中，這種調變可以實現 64 QAM，這意味著在任何給定時間內可傳輸 6 個位元訊息（2^6 = 64）。在無線系統中，QAM 順序的主要限制是信噪比(signal to noise ratio)：當大量訊息一次發送時，其傳輸對中斷非常敏感。通過天線或信號處理技術的提升，進而改善鏈路預算(link budget)，因此 5G 調變可以達到 256 QAM，即可在任何給定時間傳輸 8 位元訊息，這理想條件下轉化最大容量增加 33%。這種改善的調變方式也將用於先進的 4G 系統。

(二) 5G 網路架構端

與空中介面一樣，新的 5G 網路架構也在探索中。軟體定義網路（SDN）和網路功能虛擬化（NFV）這兩個功能本身超出 5G 網路的範圍，但它們是整體網路升級過程的一部分，並已經可以使用在 4G 技術（4.9G），不過仍然是 5G 的關鍵推動力。

1、 軟體定義網路（SDN）

SDN 旨在將網路的控制平面(control plane)與資料平面(data plane)分離，傳統上這兩個平面在網路中以集合方式進行鏈接和分布，如圖 6-12 所示。其中，控制網路(先前是分配給專用和不可擴展硬體元件的一項任務)，它以軟體形式集中在功能更強大的伺服器，因此理論上可免受設備製造商規格的制約，使得可以部署許多高附加值服務（負載平衡、智慧路由、動態配置等）在不同環境中。

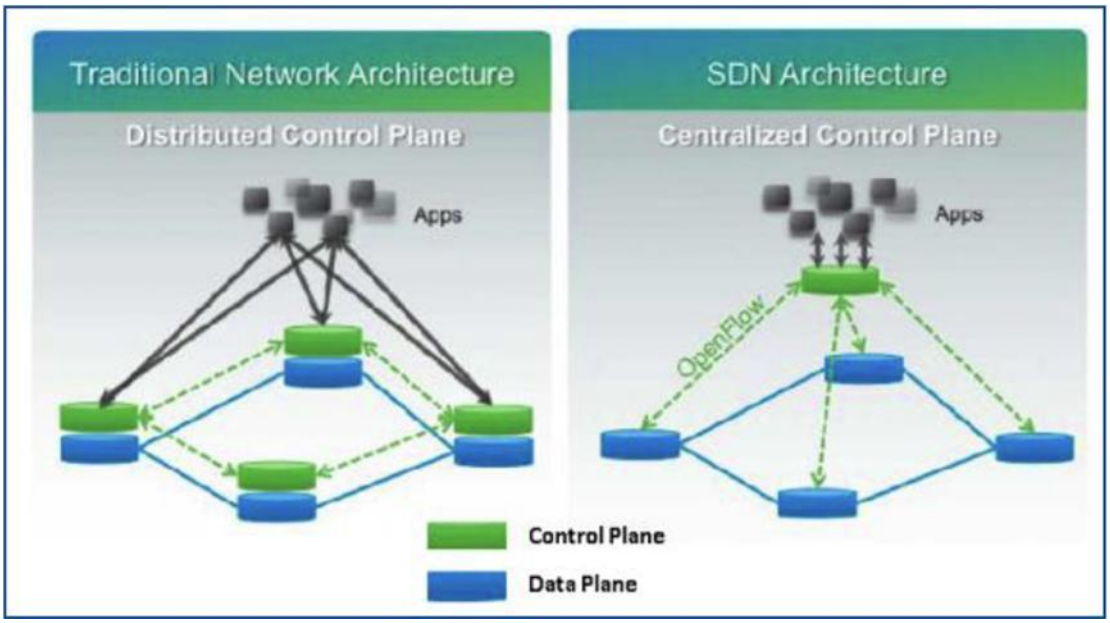


圖 6- 12：傳統網路與軟體定義網路（SDN）架構示意圖

資料來源:ARCEP

2、 網路功能虛擬化（NFV）

NFV 是基於 SDN 構建用於虛擬化，主要是以伺服器上的軟體來執行某些關鍵網路功能（如防火牆、網路核心、不同系統之間的介面）取代原來專用的硬體，以加速鋪設並實現快速變更和升級。

3、 雲端無線接取網路(CloudRAN)

雲端無線接取網路(CloudRAN)也稱為集中式 RAN(centralized-RAN)，是 SDN 的演進：基站上的信號處理單元將被移到雲端網路並集中處理。他們通過光纖網路（光纖無線技術）與靠近天線的網路無線頭端進行通信。透過這種集中管理，可以全面了解部署的所有站點，協調信號處理並管理細胞和設備之間的干擾，如圖 6- 13 所示。

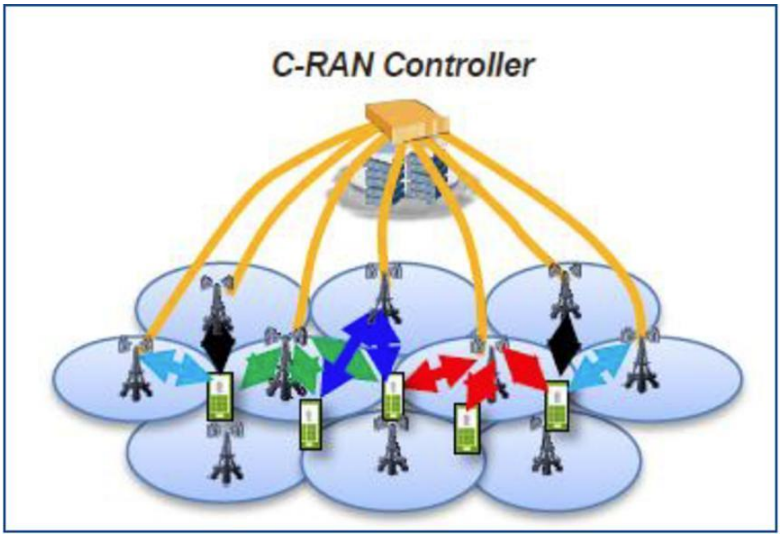


圖 6- 13：雲端無線接取網路(CloudRAN)示意圖

資料來源:5G PPP

4、 行動內容交付網路(Moblie CDN)

使用行動內容交付網路（行動 CDN）優化內容交付，對應於一組伺服器透明共同合作，透過無線（行動或 Wi-Fi）網路，以高可用性和高性能方式，優化內容提供給最終用戶。使用 5G，這些 CDN 的目標是暫存靠近用戶的內容，特別是受益於預測演算法，可從網路中卸載流量並減少延遲。

5、 行動邊際運算（Mobile Edge Computing）

MEC 是行動 CDN 的演進，除了使資料更接近設備外，其目的還在於為特定應用領域提供具有非常低延遲的可接取運算能力。這項技術可使基站級的網路智慧定位（管理本地關鍵應用和效能分析）成為可能。”天線”將能夠分析一定數量的資料，進而可以快速做出決策。

6、 設備到設備(Device-to-device, D2D)

D2D 是兩個鄰近設備間直接通信的形式，資料不需要通過行動網路傳輸。4.9G 及後續 5G 網路將推出一種新的網狀網路技術：LTE-direct。該技術遠比其前身更節能，範圍可高達 500 公尺，並具有地理定位(geolocation)功能，可實現通信。該技術對於低延遲 V2V

（車對車）或 V2X（車到其他事物）通信以及某些公共安全相關用途非常有用。

三、 ITU 之 IMT 頻譜協調

5G 是使用低範圍頻譜（f <3 GHz）、中範圍頻譜（3 GHz <f <6 GHz）和高範圍頻譜（f> 6 GHz）的新興技術。由於每段頻譜範圍都有特定特徵，適用不同的部署場景。例如，低範圍頻譜有較好的傳播特性可用於大面積覆蓋，但因可用頻譜稀缺和元件設計考慮因素，使其容量有限。中範圍頻譜能在城市部署提供更可行的覆蓋範圍，並提高容量。而高範圍頻譜的覆蓋範圍有限，有許多未使用的頻譜數量，可提供非常高的容量。隨著高、中、低頻譜範圍的不同特點及其對不同應用場景的適用性，以及考慮到未來應用的多樣性，沒有某個單一頻段可以滿足 5G 所有的應用要求。因此，目前除了繼續處理在 2019 年世界無線電通信大會（WRC-19）正在研究的議程項目 1.13 中確定的 24-86 GHz 範圍的頻段外，世界各地政策決策者也在廣泛全球統一頻段內考量國家特定的使用配置。

WRC 主要負責審查及修訂全球國際電信聯盟（ITU）無線電頻譜條約的無線電規則（Radio Regulations, RR）。WRC 對 5G 執行兩項重要功能：一是可將某些頻段指定分配給行動通信；二是可以「識別」用於 IMT-2020 特定頻段的頻譜。目前在 2015 年確定的一些頻段已經在世界許多地區部署用於 4G 網路。隨著 5G 標準和技術的不斷成熟，營運商網路從 4G 過渡到 5G，已經用於 4G 的頻段將演變為 5G 頻段。WRC-15 在低、中、高頻譜上採取的重要行動，如表 6- 4 所示。

表 6- 4：ITU WRC-15 在低、中、高範圍頻譜的重要行動

頻段	動態	未來規劃

低範圍頻譜（f <3 GHz）		
470-698 MHz	14 國家已配置與確認給 IMT 應用。	WRC-2023 將研究在第 1 區為 IMT 運用可能性。
698-790 MHz	在第 1 區確認用於 IMT，幾近全球共識。	
1427-1518 MHz	部分頻段或所有確認為 IMT 應用。	研究第 1&3 區 1452-1492MHz 之 IMT 應用的相容性。
中範圍頻譜（3 GHz <f <6 GHz）		
3300-3400 MHz	近 50 國家已配置與確認給 IMT 應用。	
3400-3600 MHz	在全球範圍內配置給行動通信並確認用於 IMT。	
3600-3800 MHz	4 國確認將 3600-3700MHz 用於 IMT。	
5150-5925 MHz	提交給 WRC-19 的議程項目	是否將部分頻段擴展或修改行動配置。
高範圍頻譜（f> 6 GHz）		
24.25-27.5 GHz	既有基礎上配置給行動通信。	為 IMT 識別應用進行共享和兼容性研究
31.8-33.4 GHz		考慮配置給行動，標識為 IMT 應用。
37-40.5 GHz	既有基礎上配置給行動通信。	
40.5-42.5 GHz		
42.5-43.5 GHz	既有基礎上配置給行動通信。	
45.5-47 GHz	既有基礎上配置給行動通信。	
47-47.2 GHz		
47.2-50.2 GHz	既有基礎上配置給行動通信。	
50.4-52.6 GHz	既有基礎上配置給行動通信。	
66-76 GHz	既有基礎上配置給行動通信。	
81-86 GHz	既有基礎上配置給行動通信。	

資料來源:ITU WRC-15

為實現 5G 願景中增強型移動寬帶系統支援 10 ~20 Gbit/s 的峰值速率、100 Mbit/s～1 Gbit/s 的用戶體驗速率的需求，原有低頻段的頻寬資源已遠遠不能滿足其要求，而考慮到在高頻段範圍內尋找連續

大頻寬比在低頻段內尋找具有更大的可能性。 經過 WRC-15 的多次討論和協調，並根據大多數國家和組織意願，會議通過了 WRC-19 第 1.13 議題。ITU-R WP5D 將根據 WRC-15 第 238 號決議為國際行動通信（IMT）的未來發展進行有關**頻譜需求、技術和運作特性及保護標準**，以及 **IMT 地面的部署場景**等研究，並將這些研究結果報告給 TG 5/1。同時，應在 WRC-19 前開展並及時完成適當研究，以確定在 24.25～86 GHz 頻率範圍內 IMT 地面部分的頻譜需求、共享和相容性以及對這些頻段內主要服務提供保護。

第二節　3GPP 之 5G 技術發展歷程

一、 3GPP 標準制定歷程及現況說明

國際電信聯盟（ITU-R）於 2015 年 6 月公佈 IMT-2020（5G）技術標準化時間表，根據 ITU 提出的 IMT-2020 計畫，5G 標準制定將於 2020 年完成。實際上，ITU 並不具體制定 5G 標準，相關具體技術工作是由 3GPP、IEEE 等產業標準組織完成。現 ITU 已確定 5G 的技術要求，接續由成立於 1998 年之標準制定組織 3GPP 制定後續技術規範，3GPP 擁有來自 40 多個國家及超過 550 家公司的成員，所有成果都依賴於 3GPP 各會員組織的研發工作、技術發明與相互協作。以下將針對 3GPP 標準制定歷程以及現況進行介紹。

(一) 3GPP 之 5G 標準發展歷程

3GPP 推動技術標準制定的能力，來自於不同工作組共同努力的成果，包括無線接取網路工作組（Radio Access Network, RAN）、業務與系統工作組（System Aspects, SA）及核心網路及終端工作組（Core network & Protocols ,CP）。

3GPP 目前 5G 技術標準發展時程，已於去（2017）年底在澳洲布里斯本會議時初步完成 Release 15 非獨立組網（Non-Standalone，NSA）標準草案制定，原先規劃於今年第三季完成 Release 15 獨立組網（Standalone）版本制定，最終則至提早於今年 6 月完成。5G NR 中主要特徵技術即是採用大規模 MIMO 技術，且運作於 6 GHz 以下頻段、超過 6 GHz 頻段甚至毫米波頻段。3GPP 發展時程如下圖 6- 14。

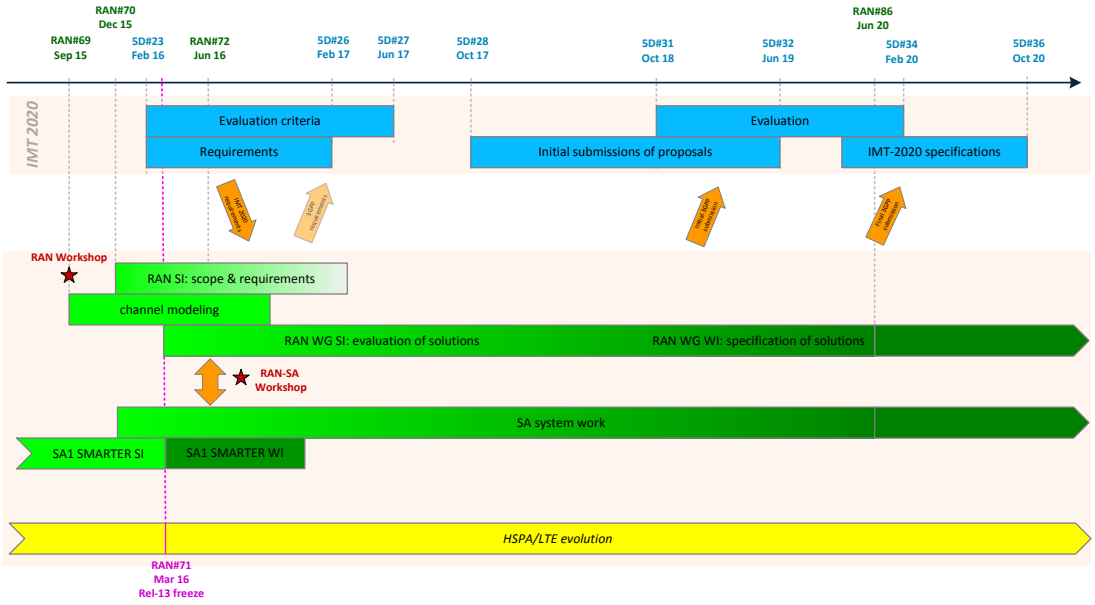


圖 6- 14：3GPP 現行 5G 技術標準發展時程

資料來源：3GPP(SP-150149)。

隨著 5G NR 逐步演進至 3GPP Release 16+的下一階段，首個無線工業物聯網案例已於 2018 年 2 月公佈，主要展示 5G NR URLLC 之運作狀態。強大的 5G 生態系統正在迅速凝聚，此為一系列密切相關的共生關係，包括電信商、大型基礎設施供應商（如愛立信、諾基亞及三星）、半導體供應商（如英特爾及高通）、IT 基礎設施供應商（如思科及 Mavenir）、天線系統提供商（如 Commscope 及 Kathrein）、標準組織（如 3GPP 及 ITU）、協會（5G Americas、5GPPP、5MF、5G Forum、IMT-2020，下世代行動網路聯盟（NGMN））、學術界以及政府等。

按照過往發展經驗，相關產業於標準完成後，約需要 18 個月才能開始佈建網路及部署設備，但在 5G NSA 的情況下，電信業者以及設備製造商都希望可壓縮時程，並預計能將在 2019 年即可佈建，有些廠商/業者甚至在 2018 年末即開始佈建。3GPP 之 5G 標準制定、開發與規劃之時程如下圖 6- 15。

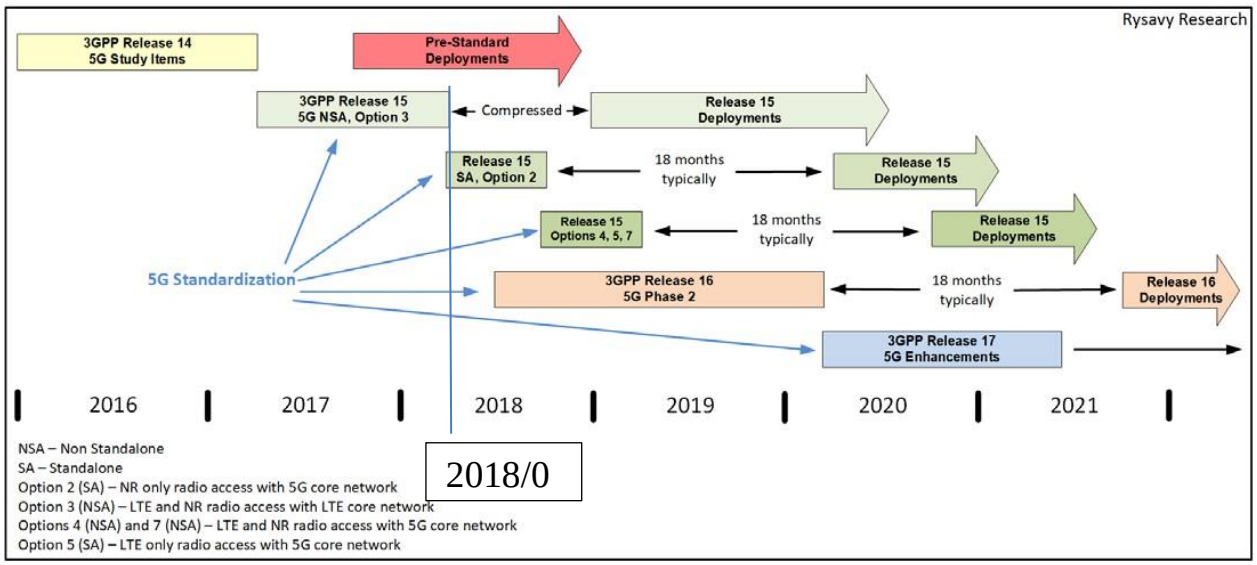


圖 6- 15：3GPP-5G 開發及規劃的時程規劃

資料來源：5G Americas Whitepaper (2018.10)；本計畫增修。

(二) 3GPP 之標準時程制定規劃

3GPP 規劃於 2019 年完成 5G 標準制定，時程如下圖 6- 16 所示。

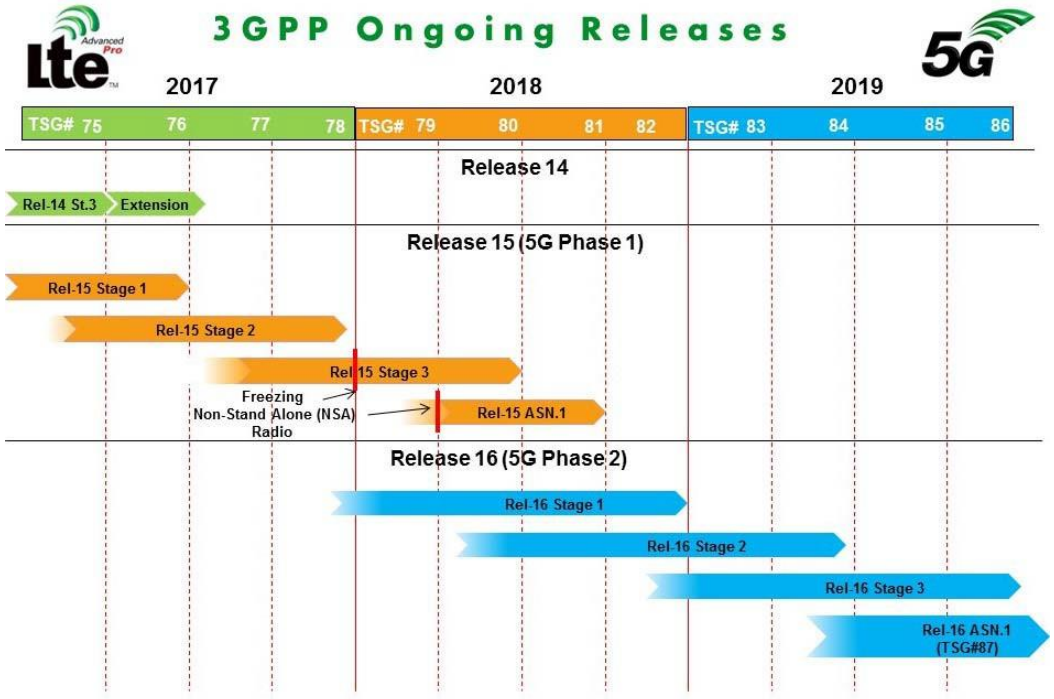


圖 6- 16：3GPP Release 15 和 Release 16 時間表

資料來源：3GPP

2018 年 6 月 14 日，3GPP 在美國召開 3GPP 第 80 次 Plenary 會議，全球各大電信業者、終端設備業者、手機業者、晶片業者以及研究單位等，共同完成 5G 標準第一個版本 Rel-15。本次會議主要討論 5G NR 增強型移動寬頻（eMBB）性能提升，包含連接終端功耗改善、NR 間雙連線以及網路干擾、MIMO 提升；有關擴展工業物聯網（IIoT）的 5G NR 私網及 URLLC 案例，這部分為 3GPP SA 工作組正在進行的一些專案，如使用 CoMP 技術，並在一定時延限制內提供足夠的可靠性，討論基於 5G NR 上佈建之無線工業乙太網及系統架構的協定層；5G NR 的行動車聯網（C-V2X）亦為 Release 16 之重要專案，藉以應對自動駕駛等案例。

在免執照頻譜部分，後續工作將持續探索適合之候選頻段；有關 5G 大數據物聯網，3GPP 已經制訂技術路線圖以支援基於 LTE IoT 的大數據物聯網，包括兩項互補性窄頻技術—NB-IoT 及 eMTC；至於 5G 廣播，3GPP 在 Release 14 中引入用於數位電視廣播的 LTE EnTV 技術。在後續 Release 16 將再次評估 LTE EnTV，並且可能增強，以滿足 5G 廣播的需求。有關 5G 定位技術，在 Release 15 中之 5G NR 已支援基本定位技術，後續新研究將著眼於如何利用 5G NR 接取支援那些需要更精確定位的全新商業案例；有關 5G NR 朝向非地面佈建，則項目著眼於如何能夠利用 5G NR 技術支援非地面無線佈建，例如低軌道衛星等。

二、 3GPP 之 5G 標準制定工作重心

3GPP 於今年 3 月完成之 5G 非獨立組網版本，從架構選項中，最終實現了架構選項 3，該架構支持 4G LTE 及 5G NR 接取 LTE 核心網路。其後 3GPP 在 9 月發布另一版本的 Release 15 規範，支持架構選項 2（僅 5G NR 接取 5G 核心網路），預計於 2019 年 3 月發布 Release 15 規範的最終版本，該最終版本將支持架構選項 4 及 7（對 5G 核心網路 LTE 及 NR 無線接取）及選項 5（僅限 LTE 的無線接取 5G 核心網路）。前述階段為 3GPP 之 5G 標準制定第一階段。

3GPP 之 5G 第二階段標準制定則規劃於 Release 16 版本進行，時間點預計為 2020 年初完成。Release 16 標準制定後，預計在 2021 年進行布建。3GPP 規劃於 2020 年時，將開始開展 Release 17 版本相關工作，其中包括未知的功能。以下將針對各版本主要標準制定內容進行說明：

1. Release 14
   - 本版本完成時間：2017 年 6 月完成；
   - 本版本功能與內容：
     - 納入 LTE 授權輔助接取技術(Licensed-Assisted Access, LAA)的上行鏈路運作（增強型 LAA）；
     - 增強的全方位 MIMO，最多可達 32 個天線元件；
     - 在非共置節點上許可及未許可之雙連線作業；
     - 車輛到車輛及車輛到基礎設施（V2X）—係基於版本 12 的基礎架構之上進行標準制定；
     - 共享 LTE 廣播，不同業者於相同的頻道上廣播相同的內容；
     - 用於物聯網的非 IP 行動相關標準；
     - 下行鏈路之多用戶疊加傳輸（Multi User Superposition Transmission, MUST）；
     - 增強型 LTE 與 WiFi 載波聚合（LTE WLAN Aggregation, LWA）；
     - LTE 網路的語音通話服務(Voice over Long-Term Evolution, VoLTE)增強，增強型 LWA 以及 LWIP 協議(LTE WLAN Radio Level Integration with IPsec Tunnel；
     - 增強型 eMBMS (Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service)；
     - NB-IoT 增強功能及 LTE 延遲降低等。
2. Release 15：
   - 本版本時程：
     - 依照原定進度於 2018 年 9 月完成，但架構選項 4、5 將在

2019 年 3 月更新的規範中提供之。

- 非獨立（使用 LTE 核心網路）架構選項已於 2018 年 3 月完成。

- 本版本功能與內容：
  - 此版本主要執行 5G 標準第一階段制定，在 52.6 GHz 以下頻率制定的標準包含 NR 無線電、4G-5G 相通、5G 載波聚合、MIMO /波束成形、5G / LTE 雙連接，以及 5G 獨立組網與非獨立組網版本等。
  - 此外，亦包括更進一步的 LTE 增強功能，例如超可靠的低延遲通信、增強型 NB-IoT、LAA 及 V2X、下行 1024 QAM 調變、CoMP(Coordinated Multi-Point)協調增強，及 LTE / 5G 核心網路等功能。

3. Release 16：

- 本版本時程：預計於 2020 年 3 月完成。
- 本版本功能與內容：
  - 本版本主要執行 5G 標準第二階段的制定作業，增加 uRLLC、未授權頻譜及整合、52.6 GHz 頻段以上的標準制定、基於 NR 發展之 C-V2X、商業及管制用途之定位（位置）、整合接取及回傳、載波聚合之增強、增強型 MIMO、降低 UE 功耗，MIMO 增強功能、美國功能信號增強、非正交多重存取(Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA)以及多種增強功能之研究。
  - 本階段主要為針對定位、NB-IoT、MIMO、eMBMS 及高速 LTE 增強功能之相關標準制定。

三、 3GPP 之 5G 標準制定工作各階段內容

以下更進一步說明 3GPP 之 5G 標準制定各階段重點工作內容。

1. Release 14 標準制定

3GPP 在 Release 14 之 5G 工作內容，側重於新的無線接入網路（RAN）技術及新的系統架構（SA）。針對 5G 的新 RAN 技術的研究稱為新無線電（NR），其重點是定義一種足夠靈活的新無線接取技術，以支持從低於 6 GHz 到毫米波（mmWave）頻段的更廣泛頻寬，例如最高達 100 GHz 以上之頻率範圍。

為支持這些載波頻率，因而將 OFDM 作為 5G NR 研究項目的一部分，並研究了所有訊號框架架構、編碼、調變、MIMO 及波束成形等技術。3GPP 5G NR 中的大部分重點是訊號通道建模及無線接取功能，旨在解決毫米波頻譜下之通訊特性。

2. 5G 第一階段標準制定（Release 15）

Release 15 為 3GPP 開始研究 5G 的第一階段，3GPP 升級 Release 15 非獨立組網（5G NR NSA）的時程規劃，已於 2017 年 12 月完成，獨立組網（5G NR SA）規格於 2018 年 6 月完成。3GPP 於 Release15 第一階段之重點工作內容包括以下：

- 能夠在任何頻段運行，包括低、中、高頻段；
- 該網路可以支持 LTE 及 5G NR，包括雙連接，設備可以同時連接到 LTE 及 NR。
- 該系統架構，可支持使用不同接取系統（如 WLAN）的用戶服務。
- 初始版本中下行連結峰值容量為 5 Gbps。
- 下行連結及上行連結中可支援 OFDMA，上行還可選用載波分頻多工（SC-FDMA）以做支援。在 Release 16 中將定義 uRLLC 的無線電方法，Release 15 僅提供物理結構及參數集。
- 大規模 MIMO 及波束成形。數據、控制及廣播頻道都將採波束成形。
- 能夠支持 5G 無線電頻段的 FDD 或 TDD 模式。

- 2N x 15 kHz 的編號，子載波間隔高達 120 kHz(data)或 240 kHz(control)。
- 可擴展的 OFDM 方法，支持窄頻無線電頻道（例如，1MHz）或更寬之頻道（每個載波高達 400MHz）。第一階段可能支持最大 400 MHz 頻寬，子載波為 240KHz 之間隔。
- 最多 16 個 NR 載波的 CA。
- 彙集高達約 1 GHz 的頻寬。
- 通道編碼，用於數據傳輸的低密度同位檢查碼（LDPC）進行檢查，比在更高數據速率下的 LTE turbo 碼更有效。控制通道使用 Polar 代碼。
- 基於 Cloud RAN 標準，指定封包資料匯聚通訊協定(Packet Data Convergence Protocol, PDCP)及無線電連結控制（Radio Link Control, RLC）協定之間的劃分。
- 整合子訊框，結合了調度、數據及確認等功能，其優勢包含快速 TDD 切換、較低的延遲以及高效率大規模的 MIMO 等。
- 透過提供靈活的無線電架構，使兼容性藉以支持未來的未知服務，例如版本 16 中指定的 URLLC 和未授權/共享頻譜。(經確認，僅美國部分才有)
- 彈性的傳輸時間間隔，藉由短時間間隔、低延遲及更長的時間間隔，實現更高的頻譜效率。
- 使用新的服務品質(QoS)模型。
- 與 LTE 動態共存在相同的無線電通道中。
- 網路切片(核心網路)。

3. 5G 第二階段標準制定（Release 16）

為滿足 ITU 對於 IMT-2020 之發展時程規劃與技術規範需求，3GPP 持續推動 Release 16 的標準制定工作。3GPP 於 2018 年 7 月按期完成研究項目及工作項目的定義，此階段為 5G 第二階段，主要解決 Release 15 中的顯著問題、擴展 5G 技術功能及提高 5G 效率。相關 5G 技術領域擴展將包括基於 NR 的 C-V2X 功能、工業物聯網、增

強 uRLLC，以及在免執照頻譜及超過 52.6 GHz 以上頻段之 5G 運作。另外，5G 效率改善將包括增強 5G 自我組織網路（SON）及大數據功能、MIMO 增強功能、改善功耗等。3GPP 每個版本都以不同的方式添加新功能，並改進現有技術/功能的性能。

根據 3GPP 於 2018 年 6 月的決議，Release16 第二階段之重點工作內容及增加項目包括以下：

- 研析 uRLLC。
- 7 GHz 以下頻段之免執照頻譜運作，可能參考當前的 LTE 方法，例如 LAA。
- 整合接取以及回傳。
- 基於 NR 的 C-V2X 標準。
- NR 版的相關定位技術支援。
- 用於非地面網路的 NR 探討，包括衛星。
- 研析 52.6 GHz 以上的無線電頻段。
- 雙載波、載波聚合及移動性增強。
- UE 功耗降低。
- NR MIMO 的增強。

四、 3GPP 之 5G 技術與候選頻譜討論

3GPP 於今年 10 月 24 及 25 日，在布魯塞爾召開「3GPP Workshop on 5G submission towards IMT-2020」，報告 3GPP 的 IMT-2020 提案，包含 5G 技術特色、提交樣本、自我評估結果、最終遞交的 R15/R16 內容及整體系統說明。3GPP 希望能藉此提供第三方獨立評估小組(目前已有 10 餘個，包含歐、美、中、日、韓、加、印、埃、台各方)足夠資訊，以順利評估 3GPP 在 IMT-2020 的提案，滿足 IMT-2020 的時程。

本次會議中，由廠商三星電子提供之文件中提到，在 2015 年世界無線通訊大會（WRC-15）期間，ITU-R 同意研究 5G99 的一組全球頻率，這些頻率將在 2019 年的下屆世界無線通訊大會上作出決議

（WRC-19），其規劃之 5G 的候選頻段，如圖 6- 17 所示，包括 24.25–27.5GHz、31.8–33.4GHz、37–40.5GHz、40.5–42.5 GHz、42.5-43.5 GHz、45.5–50.2 GHz、50.4–52.6 GHz、66–76 GH 以及 81–86 GHz。

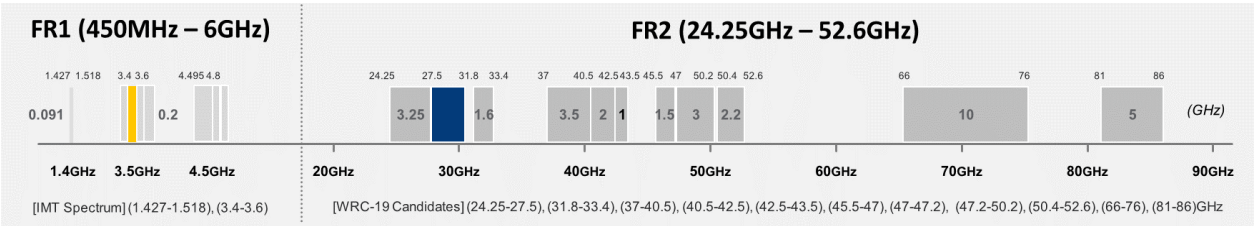


圖 6- 17：ITU-R WRC-19 的 5G 候選頻段（2019 年 11 月）

資料來源：ITU。

先進國家對於 5G 頻率的分配狀態，則如圖 6- 18 所示。

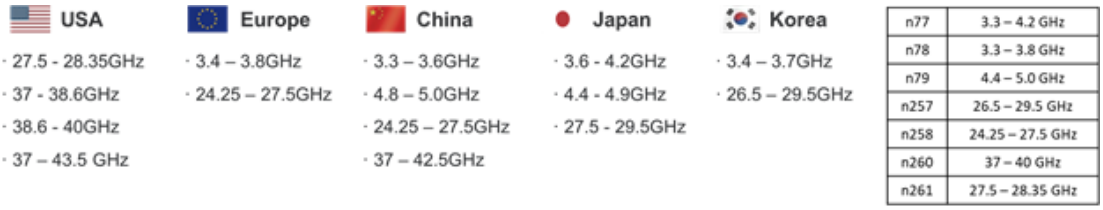


圖 6- 18：各國 5G 頻率的分配狀態

資料來源：Samsung

3GPP 目前的頻段規劃，係依據今年 9 月發布之 TS 38.104 文件，隨著無線電技術的發展，5G 可以處理更高的頻率，並且使用更大的頻寬。原先 1G 系統使用 30 kHz 無線電載波，2G 時代於 GSM 中使用 200 kHz 載波，3G UMTS 使用 5 MHz 載波，而 4G LTE 使用載波最高 20 MHz。3GPP 規定 5G NR 在 6 GHz 頻段以下，可使用最高達 100 MHz 頻寬的載波，在毫米波頻段中則可使用最高達 400 MHz 的頻寬。擁有載波聚合技術將可更廣泛地使用頻譜，尤其在毫米波頻段中，可使用的頻譜有十倍或更多，最終將比目前的執照頻譜：600 MHz 至 2.5 GHz 頻段還要更寬。

根據 3GPP TS 38.104 V15.3.0 (2018-09)文件提及 5G 操作頻段及頻段配置規劃，定義 FR1 及 FR2 頻段範圍如下表 6- 5，操作頻段如表 6- 6 與表 6- 7 所示。

表 6- 5：FR1 及 FR2 操作頻段範圍

頻段組合	頻率範圍
FR1	450 MHz – 6000 MHz
FR2	24250 MHz – 52600 MHz

資料來源：3GPP(TS 38.104)

表 6- 6：FR1 中 5G 操作頻段及其類型

NR 操作頻段	上行頻率範圍 (MHz)	下行頻率範圍 (MHz)	多工模式
n1	1920 MHz – 1980	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
n38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
n50	1432 MHz – 1517 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	TDD
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz – 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD
n75	N/A	1432 MHz – 1517 MHz	SDL

n76	N/A	1427 MHz – 1432 MHz	SDL
n77	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz – 3800 MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD
n79	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD
n80	1710 MHz – 1785 MHz	N/A	SUL
n81	880 MHz – 915 MHz	N/A	SUL
n82	832 MHz – 862 MHz	N/A	SUL
n83	703 MHz – 748 MHz	N/A	SUL
n84	1920 MHz – 1980 MHz	N/A	SUL
n86	1710 MHz – 1780 MHz	N/A	SUL

資料來源：3GPP(TS 38.104)

表 6- 7：FR2 中 5G 操作頻段及其類型

NR 運作頻段	上行頻率與下行頻率	多工模式
n257	26500-29500 MHz	TDD
n258	24250-27500 MHz	TDD
n260	37000-40000 MHz	TDD
n261	27500-28350 MHz	TDD

資料來源：3GPP(TS 38.104)

2018 年下半年接續進行項目的目標有增強 NR MIMO、多重-TRP/Panel 傳送以及多波束的運作；增強 NR V2X、工業物聯網等相關標準以及 eURLLC 上如 PDCCH、UCI、PUSCH，並降低 UE 在 RRM 量測下的功耗等。探討 LTE V2X 及 NR V2X 之共存、基站間強干擾之改善機制。此外，由於在今年 3 月 RANPlenary 會議中提到未來在朝向物聯網的發展上，將不會發展 LPWA 的相關技術研究與制定以 NR 為基礎之解決方案。並持續強化 LTE 的 NB-IoT 及 eMTC，此部分亦將在 Release 16 持續演進，成為 3GPP 5G 提案的一部分，所以未來仍需討論與 NR 的共存性。

五、 3GPP 之 LAA 標準制定

Release 15 功能於 2017 年 12 月完成。其主要來自新的頻譜分配以及 3550-3700 MHz 頻段（US / FCC，自 2015 年）的商業用途要求，以支持名為「Citizens Broadband Radio」的行動寬頻業務服務（CBRS）。該標準工作旨在定義 3550-3700 MHz 中 LAA / eLAA（即 LTE 子訊框結構）的使用，並為 LAA 以及該頻段的 eLAA 操作定義相關要求。此階段完成指定的新頻段特徵/並安排引入 Band 49 頻段，其目標及規範成果如下：

- 針對 3550-3700 MHz 頻段（美國），指定 LTE 接取子訊框結構；
- 頻段內的下行鏈路（LAA）接取，或；
- 頻段內的上行鏈路及下行鏈路（eLAA）接取；

- 定義頻段的核心及性能要求；
- 適用性僅限於 CBSD，最大傳導發射功率為 24 dBm，最大等效全向幅射功率(effective isotropic radiated power, EIRP)為 30 dBm（10 MHz）；
- 支持的通道頻寬為：10MHz 及 20MHz；
- 支持 Band 之間的 E-UTRA 載波聚合（2DL / 2UL）。

第三節　其他 5G 與新興技術簡介

一、 電氣與電子工程師協會（IEEE）之 5G 技術發展

電機電子工程師學會(IEEE)成立於 1963 年 1 月 1 日，IEEE 是一國際性電子技術與電子工程師協會，擁有來自 175 個國家的 36 萬會員。IEEE 致力於電機、電子、計算機工程、通訊、以及其他與科學有關領域的開發和研究，是目前全球最大的非營利性專業學術組織。

(一) IEEE 之 5G 計畫簡介

5G 技術和未來新世代連接技術在 2020 年部署時，將提供比目前的 4G 技術更高的頻寬和更低的延遲，並為數十億設備提供連接。許多新興技術有望實現新的基礎應用，從而改變人類生活、工作和環境。IEEE 會員及社團意識到實現 IEEE 5G 和未來願景的技術破壞性，以及實現的重大技術障礙。為此，IEEE 未來指導委員會（Future Direction Committee, FDC）的 5G 指導委員會(5G Steering Committee)，於 2016 年 8 月發起 IEEE 5G 計劃(IEEE 5G Initiative)。IEEE 透過成立技術團體，藉以促進想法交流、共享研究成果、制定標準以及識別、開發和成熟系統驅動程序、系統規格、使用案例以及支援的應用程序。同時，IEEE 5G 計劃旨在通過中立論壇促進全球產業合作並將學術界連接到 IEEE 的專家和資源，一方面強調業界所需要的新興應用例如 SDN/NFV、IoT、M2M、和 eHealth 等，另一方面協助建立一個有活力的 5G 生態系統，進而推動 5G 的發展。IEEE 並於 **2017 年 10 月發表 5G 技術白皮書**[20]，結合各界共同努力面對 5G 的挑戰，實現技術的潛力。

IEEE 5G 計劃的主要目標如下：

- 促進協作並將技術和商業界連接到 IEEE 5G 專家和資源。

[20] IEEE 5G and beyond technology roadmap," white paper, IEEE, 04 October 2017.

- 作為 5G 的 IEEE 跨社會活動(cross-society activities)的催化劑。
- 確立 IEEE 為 5G 領域的前瞻領導與至關重要的。
- 5G 成果為工業、學術和政府相關工程和技術專業人員的首選資源。
- 為 5G 領域開發和推廣有價值的計劃、產品和服務。
- 呈現單一的 IEEE 訊息通道到 5G 市場。
- 成為真正的全球 5G 計劃，以滿足全球所有地區的需求。
- 創建一個中立平台/論壇(platform/forum)，讓 5G 感興趣者可參與並合作。

(二) IEEE 之 5G 計畫組織架構

IEEE 5G 計劃是由指導委員會負責管理，委員會轄下設有不同工作小組(WG)包括:標準、教育、出版、會議、內容開發、社群發展、產業推廣和技術路線圖等，每個工作組由 10-20 名成員組成。IEEE 5G 和 Beyond Initiative 組織結構，如圖 6- 19 所示。

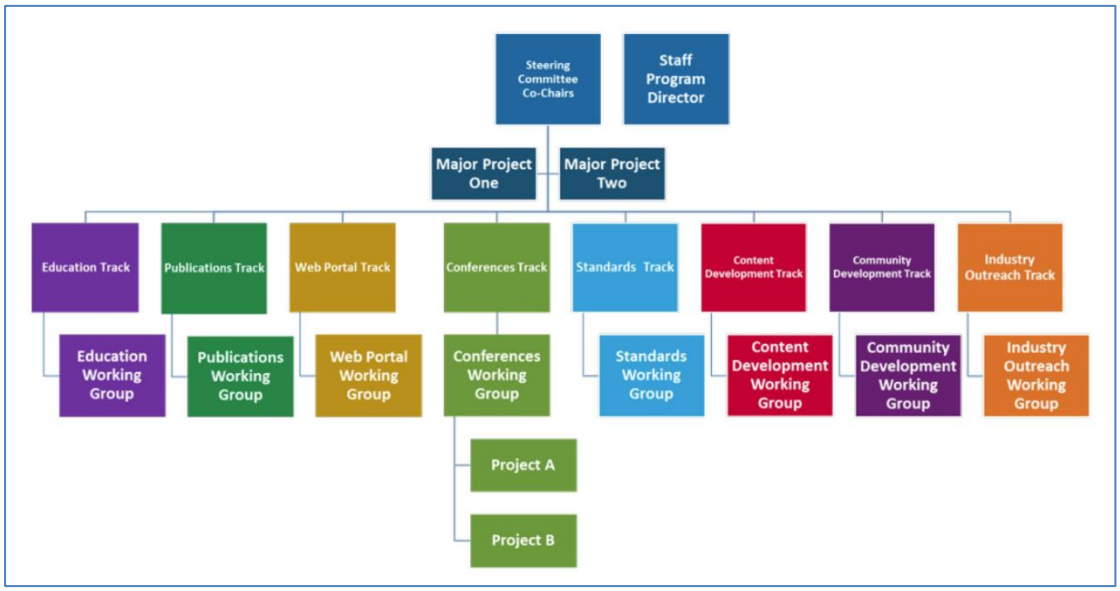


圖 6- 19：IEEE 5G Initiative 組織結構圖

資料來源：IEEE

其中，技術路線圖工作小組於 2017 年 10 月發布相關研究重點，包括:標準化、MIMO、毫米波(mmWave)、硬體、安全，邊緣自動

化平台(Edge Automation Platform, EAP)、應用、衛星和測試平台等主題，如圖 6- 20 所示。

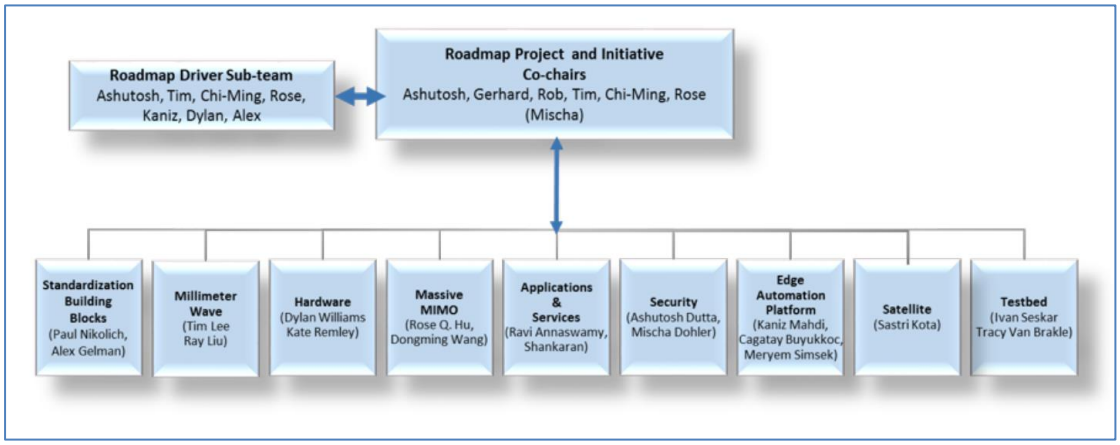


圖 6- 20：IEEE 技術路線圖工作小組架構圖

資料來源:IEEE

同時，IEEE 重視標準制定工作，在 5G 計劃中設有 IEEE 標準化工作小組，相關領域包括: WiFi、SDN / NFV、綠色 ICT、IoT、FrontHaul 介面、霧網路(Fog networking)等，如圖 6- 21 所示。

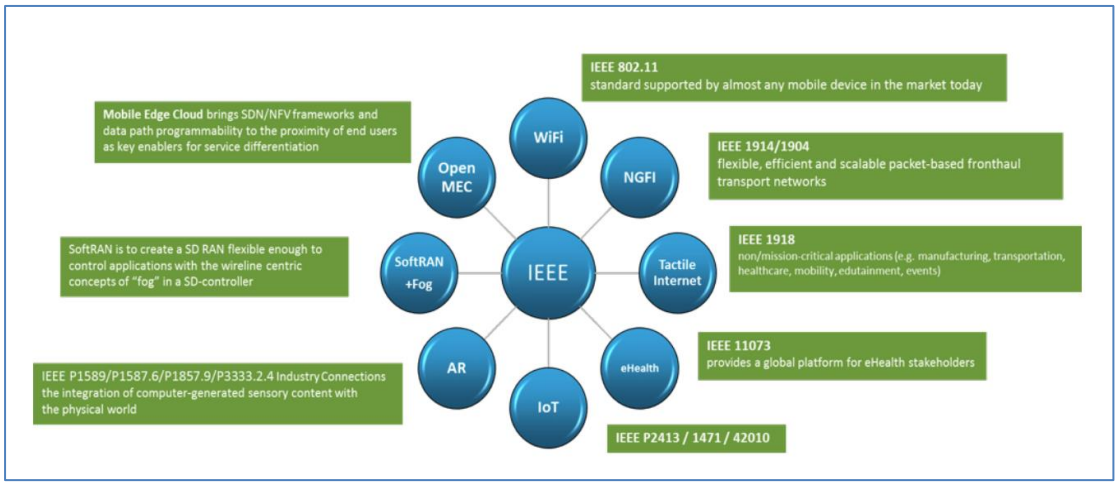


圖 6- 21：IEEE 開發 5G 相關領域標準

資料來源:IEEE

(三) IEEE 5G 計劃期程框架

IEEE 5G 計劃的技術路線目標確認通信生態系統，並區分為短期（～3 年）、中期（～5 年）和長期（～10 年）的研究創新和技術趨勢。

1、 短期計劃：

與生態系統合作，以獲得更清晰確切的路線規劃；發展穩定版本的工作計劃來制定路線圖；根據商定的內容起草白皮書，然後發布全面交互 IEEE 5G 的第一版目錄和超越技術路線發展文獻。

2、 中期計畫：

參與路線圖工作組，制定 IEEE 5G 和超越技術路線圖; 與更廣泛的生態系統進行交流和觀點；並與其他 5G 活動（標準、教育等）保持同步。

3、 長期計劃：

持續追踪可能影響未來 10 - 20 年電信生態系統的技術，並每 12-24 個月更新一次工作文件。

(四) IEEE 支援 5G 相關標準活動

為支援下一代網路應用的超高頻寬、超低延遲和超低功耗的要求。IEEE 802.11 工作小組陸續發展新技術標準，包括:為熱點頻寬需求而設的 Wi-Fi 高效率無線標準（IEEE 802.11ax）、新一代 WiGig 標準（IEEE 802.11ay/aj）及支援 IoT 應用的 HaLow 標準（IEEE 802.11ah+11ba），藉以提升最大吞吐量、因應次世代新用途、改善用戶體驗滿足 5G 要求，如圖 6- 22 所示。

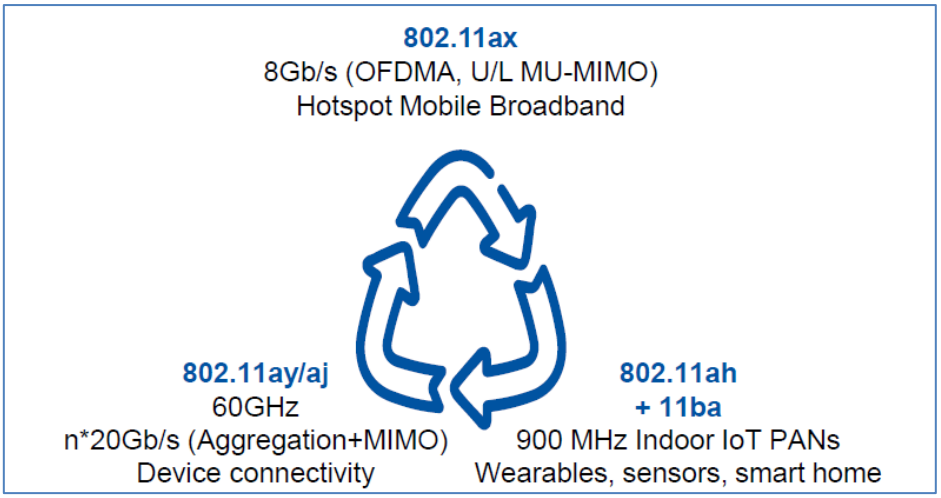


圖 6- 22：IEEE 802.11 工作小組開發的新技術標準

資料來源:HP

1、 IEEE 802.11ax

802.11ax 又稱為「高效率無線標準」(High-Efficiency Wireless，HEW)，旨在提升用戶在密集環境中的使用效率。802.11ax 支援 2.4 和 5 GHz 免執照頻段的室內和室外傳輸，同時採用正交分頻多工接取(OFDM)和干擾補償技術，使峰值傳輸速率高達 10Gbps。在密集部署(dense deployment)方案中，每個基站的平均吞吐量將提高四倍（與 11ac 相比），並能與免執照頻段（2.4 GHz 和 5 GHz）中的現有系統向後相容/共存。根據目前研究趨勢和 IEEE 802.11ax HEW 的發展，未來可能的 802.11ax 案例，如圖 6- 23 所示。

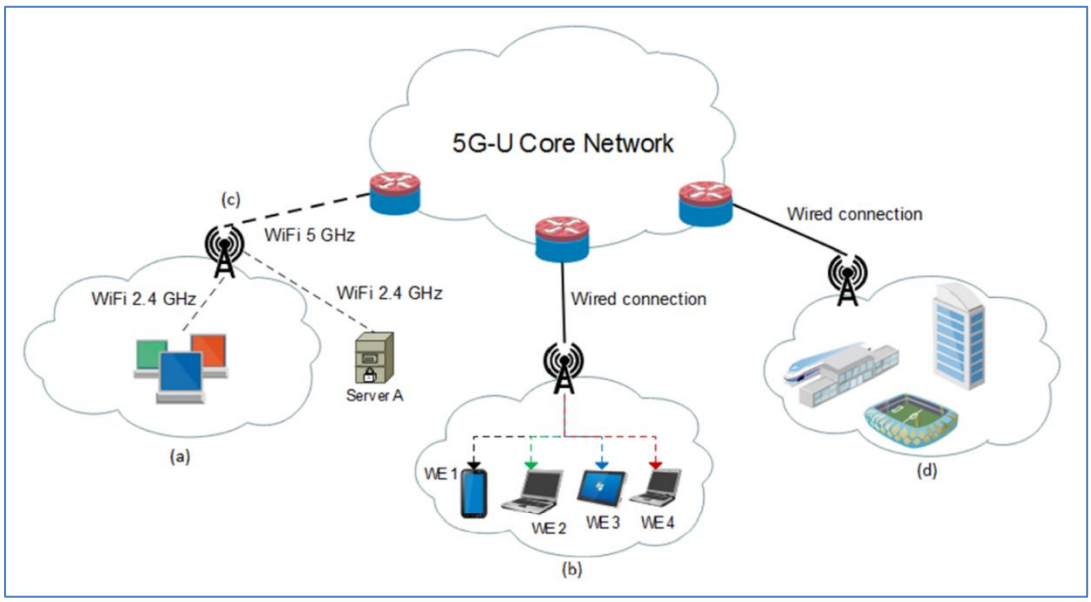


圖 6- 23：IEEE 802.11ax 於 5G 免執照頻段（5G-U）範例

資料來源:MDPI

IEEE 802.11ax 在 5G 免執照頻段（5G unlicensed bands,5G-U）的使用案例，包括：

（a）支援以 Gigabit 以太網連接替代形式的高吞吐量。

（b）利用**多用戶多輸入多輸出（MU-MIMO）**來改善網路容量。

（c）利用 HEW 作為區域網路（LAN）的回程。

（d）支援高密度的場景（如辦公樓，體育場，火車等）。

IEEE 802.11ax 高效率無線區域網（high-efficiency wireless, HEW）能以 5G 免執照頻段（5G-U）發展成為 5G 的基礎。在未來的技術中，IEEE 802.11ax HEW 可望成為 5G-U 網路的一部分，不僅能滿足未來在熱點和室內區域的大規模業務，即使在高密度網路部署中，也能提高四倍的網路效率，讓無線區域網路（WLAN）性能更為強勁。**根據 IEEE 802.11 工作小組的計劃，預計將在 2018 年至 2019 年完成 802.11ax 標準規範。**

2、 IEEE 802.11ay

IEEE 802.11ay 是 11ad 標準的擴展版，它使用 60GHz 頻段並支援 MU-MIMO 技術，目標資料速率至少 20Gb/s，峰值傳輸速率達 100 Gbps，將有助新興服務影音大頻寬需求；IEEE 802.11ay 另一目標是擴展覆蓋距離到 100m，以因應更大規模的應用，例如其他服務的骨幹網路(Backhaul 和 Fronthaul)以及移動性。同時，IEEE 802.11ay 能提升空間重用(spatial reuse)效率，支援向後兼容/與現有系統共存（例如 11ad）。根據 IEEE 802.11 工作小組的計劃，預計 2020 年發布最終 802.11ay 標準規範。

3、 IEEE 802.11ah+11ba

隨著 IoT 的興起，為滿足設備之間互聯 WiFi 聯盟於 2016 年發布 802.11ah 標準用於低功率和長距離操作。802.11ah 也稱為「HaLow」，它能使用 900MHz 非授權頻段適合遠距、低傳速、低功耗物聯網設備，傳輸距離延伸至現行運作於 2.4GHz 頻段之 Wi-Fi 標準的兩倍，覆蓋範圍可達到 1 千公尺。802.11ah 實體層部分繼承 802.11ac，因此也支援 256QAM 調變、波束成形、多使用者多輸出多輸出（MU-MIMO）。802.11ah 主要應用於物聯網（IoT、Internet of Things）與機器間的傳輸（M2M、Machine to Machine），未來也將進一步深入家庭、汽車、醫療、安全及工業等領域中。。

二、 C-V2X/DSRC 技術發展

(一) 背景說明

隨著通訊技術逐漸成熟，車載資通訊已跳脫以往侷限車內使用的限制，正朝向連接性(connected)和自動化(autonomous)方向發展，藉以提高安全性、減少交通堵塞和環境影響，以及降低資本支出。推動這種演進的關鍵因素是**車對萬物（vehicle-to-everything, V2X）的**通信功能，V2X 允許車對車（Vehicle-to-Vehicle, V2V）、車對人（Vehicle-to-Pedestrian, V2P）、車對路邊基礎設施（Vehicle-to-Infrastructure, V2I）和互聯網（Vehicle-to-Network, V2N）進行通信。借助 V2X 車輛之間可以交換關鍵訊息，提高情況意識(situation awareness)進而避免事故發生。V2X 更能可靠地接取雲端大量可用的資訊。例如，可以提供即時交通資訊、感應器和高解析地圖資訊，不僅對目前的駕駛有用，對未來駕駛自動駕駛車輛非常有用。V2X 更是實現 SAE J3016 Level5 自動化駕駛的重要技術動力。

目前國際成熟的 V2X 無線通訊技術有兩種技術路線選擇，一是基於 IEEE 802.11p 的專用短程無線通訊技術（**Dedicated Short Range Communications, DSRC**），二是基於 4G LTE 的 V2X 無線通訊技術（**Cellular Vehicle-to-Everything, C-V2X**），如圖 6- 24 所示。其中，美國、歐盟、日本等國家已經啟動基於 IEEE 802.11p 的 DSRC 專用

短程無線通訊技術的外場試驗工作，美國交通部希望全美汽車增加DSRC功能。與IEEE 802.11p相比，C-V2X具有技術上的後發優勢，又可以利用成熟的蜂巢網路覆蓋和晶片、終端產業基礎。

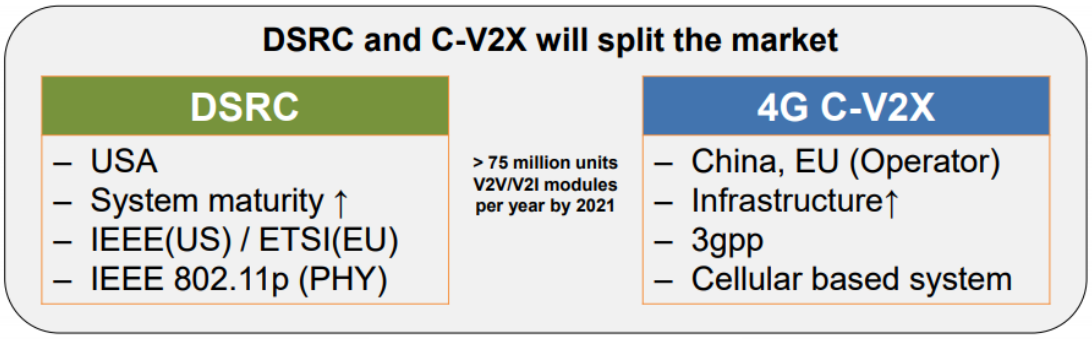


圖 6- 24：國際 V2X 無線通訊技術路線

資料來源:ITRI

(二) 專用短程無線通訊技術（DSRC）

1、 技術標準方面

專用短程無線通訊(DSRC)是基於 IEEE 802.11p 標準開發而來的一種短距離無線技術，能提供高速資料傳輸，並保證通信鏈路的低延時和高可靠度。DSRC技術底層採用IEEE 802.11p標準，上層應用定義在 IEEE 1609 2/3/4 系列標準，而車載環境安全性相關訊息則定義於自動車工程師學會(Society of Automotive Engineers, SAE)所制定的 SAE J2735 標準等，構成美國推動 DSRC 通信的基礎；歐洲則由歐洲電信標準協會（ETSI）/歐洲標準化委員會（CEN）聯合制定的ITS-G5 系列標準體系，包括底層 IEEE802.11p、網路層 GeoNetwork、應用層 CAM和 DENM 等協定標準，如圖 6- 25 所示。

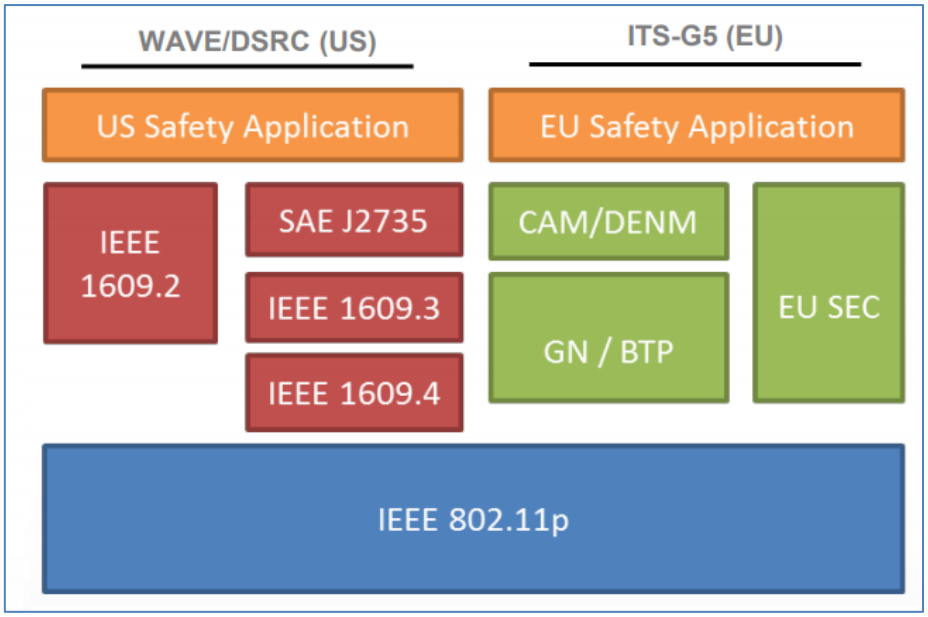


圖 6- 25：美規及歐規之車聯網 DSRC 系統標準架構

資料來源:ITRI

DSRC 技術主要關注 V2V 安全應用。IEEE 802.11p / DSRC 除提供先進駕駛輔助系統（advanced driver assistance systems, ADAS）之外，還提供了更廣範圍和非線路的現場感知(non-line of site awareness)，並透過路側基礎設施設備（Road Side Unit，RSU）和車載設備（On Board Unit，OBU）兩個部分實現。DSRC 標準於 2009 年完成，並已通過汽車製造商進行廣泛測試並進行大規模場測試驗。美國、歐盟、日本都採取了一系列技術試驗、應用示範和行政措施促進 DSRC 專用短程無線通訊技術的發展。

2、 頻譜使用議題

美國聯邦通信委員會（FCC）在聯邦法規（Code of Federal Regulations , CFR）47 條款第 0、1、2、90 和 95 部分中規定“5.850-5.925 GHz 頻段（5.9 GHz 頻段）專用於智慧交通服務(ITS)的專用短程通信服務(DSRC)和專用短程通信的行動服務”，以確保基於 DSRC 的 V2V 系統運用時不受干擾。歐盟 2008/671/EC 決議將 5875-

5905 MHz 頻段用於 ITS 的安全相關應用。日本則選擇將 755.5~764.5MHz 作為智慧交通系統的專用通信頻段，並將 5770-5850MHz 用於 DSRC 技術。

2016 年 12 月 13 日，美國交通部正式發佈《聯邦機動車安全標準——第 150 號》（FMVSS No.150），要求所有輕型車輛強制安裝 V2V 通訊設備，確保車輛和車輛之間能夠發送和接收基本安全資訊，V2V 選擇 DSRC 專用短程無線通信技術作為車對車通信統一標準。美國交通部同時將該項 FMVSS 強制標準納入《聯邦機動車安全法案》（修正案草案）向立法機構正式提出，預計經歷 90 天公眾評議期和《聯邦公報》全文刊登之後，將正式編入聯邦法律第 49 章節（49 CFR Part 571）。主要內容包括：在所有新出廠的輕型車輛上強制安裝 V2V 通訊設備、V2V 通訊標準採用 DSRC 專用短程無線通訊技術。

(三) C-V2X 技術

1、 技術標準

Cellular V2X（C-V2X）是基於 3GPP 蜂巢通信技術並透過既有 LTE 網路設施實現車聯網通信的無線連接技術。C-V2X 最早的技術基礎是從增強的 3GPP R9 LTE 廣播（LTE Broadcast）和 3GPP R12 的 LTE Direct 開始。其中，增強的 LTE Direct 功能可以實現直接通信 (direct communications)，在距離達數百公尺的告警延遲時間內，仍具有穩定的車對車（vehicle-to-vehicle, V2V）連接性，而增強的 LTE Broadcast 則是利用傳統的行動基礎設施進行車對基礎設施（vehicle-to-infrastructure, V2I）和車對網路（vehicle-to-network, V2N）的通信，訊息可從 V2X 伺服器同時廣播到多台車輛，而個別車輛則可將訊息單向回傳伺服器。

2015 年初 3GPP 正式啟動基於 C-V2X 的技術需求和標準化研究，並於 2016 年 6 月發布 Release 14 技術規範完成 C-V2X 第一階段標準，主要針對設備對設備(Device to Device, D2D)模式的車對車通訊標準化；第二階段於 2017 年 3 月完成 LTE-V2X 完整標準，包含車對車

(V2V)、車對路(V2I)、車對人(V2P)，以及車對網路(V2N)等通訊應用，如圖 6- 26 所示：

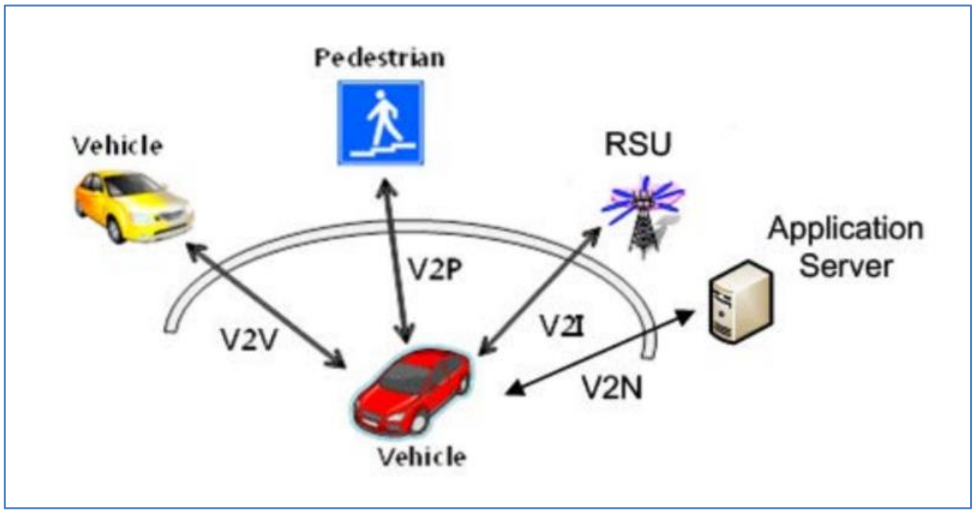


圖 6- 26：3GPP 支援的 V2X 車輛通訊應用服務

資料來源: 3GPP TS 22.185

V2X 技術具備以下態樣，分述如下。

- Vehicle-to-Vehicle (V2V)車間通訊[21]，以廣播(broadcast-based)為主要傳送方式，在不同使用者裝置 (UE)間交換 V2V 相關應用資訊。讓車輛之間能即時互傳訊息，了解彼此動態以避免碰撞發生。車輛間可以直接通信；或受限於通訊距離也可以透過支援 V2V 服務的基礎設施(如路側裝置或是應用伺服器等)來轉送訊息。
- Vehicle-to-Infrastructure (V2I)車與基礎設施通訊，支援 V2I 應用的使用者裝置與路側裝置(Road Side Unit, RSU)互相傳送應用層資訊。V2I 使車輛及路側裝置作為點對點網路中之通訊節點，互相提供有用訊息，特別是與交通壅塞及危險事故有關之訊息，大幅提升了行車安全與效能。
- Vehicle-to-Pedestrian (V2P)車與行人通訊，支援 V2P 應用的使用

[21] LTE V2X 車間通訊服務與系統架構，ITRI 電腦與通訊特刊，2017

者裝置傳送應用層資訊，此資訊可被支援 V2X 服務的車輛廣播以對行人提供警示，或是由行人端支援 V2X 服務的使用者裝置向路過車輛廣播。車輛與行人間可直接交換 V2P 相關應用資訊；或者受到傳輸距離的限制，透過支援 V2X 服務的基礎設施來互傳資訊。

- Vehicle-to-Network (V2N)車與核心網路通訊，是指使用者裝置與服務實體彼此透過 LTE 網路互相溝通，V2N 應用將相關資料傳輸至核心網路之後台應用伺服器進行資料儲存、使用與交換。

由於 C-V2X 服務是以行車安全為主，有低網路延遲的需求，因此C-V2X主要有兩種操作模式，一種是以非授權頻譜5.9GHz頻段，對於車對車（V2V）、車對基礎設施（V2I）和車對人（V2P）採取設備到設備(Device-to-device, D2D)的直接通信方式，而不必依賴網路參與進行調度。D2D 之間引用分散排程的短距離通訊介面(PC5 Interface)[22]，讓車輛無須透過網路傳送流量或要求網路排程即可連線。另一種是設備到網路(Device-to-network)，屬車對網（Vehicle-to-Network, V2N）通信，需要以一對多的 multicasting 方式來達成，因此它使用傳統授權頻譜的行動蜂巢鏈路 Uu 介面進行通訊，通過網路切片架構使雲端服務成為點對點解決方案的一部分，如圖 6- 27 所示。

[22] PC5 是 UE 間的通訊界面，定義於 3GPP TR 23.785 Release 12。

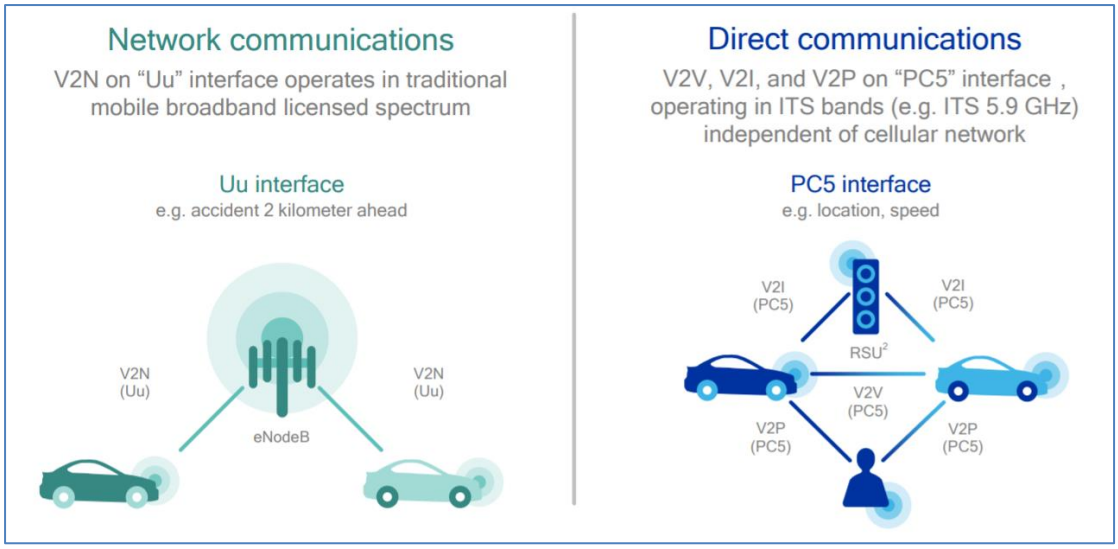


圖 6- 27：3GPP 定義的 C-V2X 系統架構

資料來源: Qualcomm Inc.

儘管 V2X 引用 802.11p 並支援有限的基本安全服務，然而透過 3GPP R14 版本的 C-V2X 能擴大支援更廣泛、更豐富的服務，無論是低頻寬的安全應用到乘客資訊娛樂等高頻寬的應用。同時，3GPP 的 R15 和 R16 版本，將通過提供更長距離、更高密度、非常高的輸送量和可靠性、高度精確的定位和超低延遲，實現更多 V2X 服務，如圖 6- 28 所示。

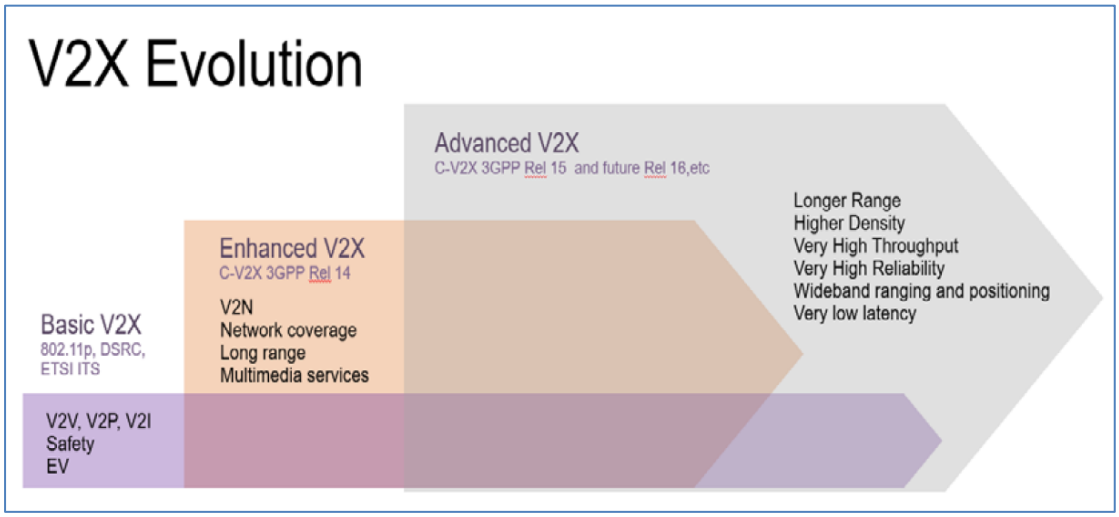


圖 6- 28：未來 V2X 發展的演進路線

資料來源:5G American

2、 頻譜使用議題

C-V2X 可同時提供設備到設備（V2V，V2I 和 V2P）和設備到網路（V2N）服務進而改變全球交通運輸，為此需要使用的頻譜是非常重要的。由於 5.9 GHz ITS 頻譜已明顯成為全球主要通用的頻譜，在全球統一的 5.9 GHz ITS 頻段中，C-V2X 能夠利用低延遲直接通信技術發送安全訊息（例如道路危險警告），而不受在支持車載訊息和娛樂應用的商用蜂巢授權頻段上發送的 V2N 通信影響。因此確保在 5.9 GHz 頻段內使用 C-V2X 直接通信是非常重要的，使 C-V2X 能近期和長期的用於公共事業。

儘管安全相關 ITS 還沒有絕對佔據主導地位的技術方案，但 5.9 GHz 範圍頻譜仍是國際上大多數工作的核心。目前 ITU-R 第 5A 工作組(WP5A)正開展工作，進一步開發頻譜需求和頻譜研究在國家、地區和全球的層面，來支持現有和未來道路安全和交通效率用例。在 2019 年 11 月舉行的世界無線電通信大會 (WRC) 上，也將會討論 ITS 和 5.9 GHz 頻段的頻譜。其中，WRC-19 議程專案 1.12 將關注 5.9 GHz 頻段 ITS 的頻譜規定，WRC-19 議程專案 1.16 將討論關於擴展 RLAN（例如 Wi-Fi）對 5GHz 頻譜接取的呼籲，包括許多國家考慮為 ITS 分配的範圍。

(四) DSRC 與 C-V2X 比較

車聯網通信系統 DSRC、C-V2X R14/R15、5G C-V2X R/16 技術性能比較，整理如下表 6- 8。

表 6- 8：車聯網技術比較表

項目	DSRC	C-V2X R14/R15	5G C-V2X R/16
主要技術標準	IEEE 802.11P、IEEE 1609、SAE 系列	3GPP TS 22.185、TS 23.285 及 TS 36 系列	3GPP TS 22.186、TS 23.501 及 3GPP 38 系列
支援離網運作	V	V	V
支援 V2V	V	V	V
支援 V2P	V	V	V
支援 V2I	有限的	V	V
支援多媒體服務	X	V	V
網路覆蓋性	有限的	V	V
支援超高吞吐量	X	X	V
支援超高可靠度	X	X	V
支援超低延遲	X	X	V
支援寬頻測距/定位	X	X	V
法規及測試完備度	V	有限的	X
全球經濟規模	X	V	V

資料來源:5G American

由 IEEE 主導的 DSRC 在市場上有超過 15 年的開發和測試歷史，具成熟標準和良好的網路穩定性，並可能在美國強制性使用。然由 3GPP 主導的 C-V2X，挾其強大行動網路生態系統，並持續不斷改善技術，無論在覆蓋範圍、行動性支援、延遲、可靠性和可擴展性等方面相對更為成熟。C-V2X 除可利用傳統的行動基礎設施降低成本外，還能建立一個強大平台，為車輛提供增強的情景感知。相較之下，DSRC V2I 功能只能依賴沿道路部署的專用 DSRC 功能基礎設施且覆蓋範圍有限。不過值得注意的是，目前 C-V2X 許多標準尚在制定中，技術成熟度較低，面向車對車主動安全與智慧駕駛的服務性能還需要充分的測試驗證，最終形成法規。此外，3GPP 後面還有針對 5G C-V2X 而制定的 R16，整體而言，C-V2X 真正用在車規與 V2V 相應的使用案例，尚需要一些時間醞釀。

(五) 小結

車聯網市場已成為主流事實; 它利用蜂巢網路提供車載資通訊、連接和改善使用者體驗。基於 LTE 的 C-V2X 直接通信能在 ITS 頻譜和商用蜂巢頻譜中運行，並可在現行和未來蜂巢網路上結合基於網路的 C-V2X 通信共同運作。同時，來自汽車和電信產業的領導公司籌建的 5G 汽車協會（5G Automotive Association, 5GAA），正加速 C-V2X 技術在全球的開發和部署。5GAA 的生態系統不僅有助於在 5.9 GHz 的頻率上適當分配 ITS 頻譜，形成未來採用的創新 ITS 解決方案和商業模式，也將有助於定義下一代車輛通信，實現連接和自動駕駛的終極目標。

第四節　應用發展趨勢與動態

一、 背景說明

隨著寬頻服務的普及、行動裝置與創新應用的推陳出新，行動網路已經成為民眾生活不可或缺的要素。生活上愈來愈多的電子商務、社群互動、智慧家電裝置，或是高畫質影音娛樂等多重服務需求，也加速推動物聯網智慧生活情境的到來，未來人類生活情境將可藉由行動裝置一手掌握生活上的大小事。在不遠的將來，各種新興應用正積極發展，像是行動醫療、車聯網（智慧車）、無人駕駛等，甚至人工智慧（Artificial Intelligence，AI）的應用領域，也需要背後有強大的運算與傳輸平台，為各式各樣的終端設備藉由雲端物聯網聯結萬物的概念做智能化辨識、感知與決策。進而一步步實現長期照護、智慧交通、智慧工廠、智慧城市等，建構新興應用環繞之生活環境。

此類不斷加入的新應用，將使數據流量呈現爆炸性的成長，透過網際網路傳輸以及雲端數據中心運算處理的資料量將愈來愈吃重。Cisco[23]在 2017 年 6 月發表的白皮書預測，網路訊務量到 2021 年的年複合成長率（Compound Annual Growth Rate，CAGR）為 24%，其中影像傳輸數據量在 2016 年占總數據流量的 73%、2021 年則將上升至 82%；平均網路數據流量成長約 3.2 倍，尖峰時段的成長則預估達 4.6 倍，智慧手機的數據流量也將超越個人電腦。為了因應更即時及大量的資料上傳與下載的需求，並追求更好的通訊品質與運算效能，改善數據的傳輸速度是其中關鍵的一環。

5G 網路架構中，終端使用者的行動裝置將連結到附近的基站，基站再連結至伺服器、數據中心，可以想像若使用者人數眾多且傳遞大量檔案時，將需要足夠頻寬之網路容量，以確保數據傳送品質

[23] https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/annual-report/2017-annual-report-full.PDF

與效率。5G 應用之定義，提供給使用者平均的傳輸速率將由現行 4G 的 10 Mb/s 提高至 100 Mb/s，最高傳輸速率則需由 1 Gb/s 提升至 20 Gb/s，因此，在無線傳輸、有線傳輸與數據運算處理上都必需升級。在無線傳輸之解決方案，即為目前電信商積極討論的 5G 傳輸架構與標準協定，以 6 GHz 以下頻段為較早進入市場之頻段選項，長期將演進至 28 GHz 或更高頻段[24]；在有線傳輸上，傳統的銅絞線勢必被低損耗、高頻寬的光纖傳輸系統所取代，集中單元（Central Unit，CU）與分散單元（Distributed Unit，DU）之間，也都將改以光傳輸技術來改善傳輸速率，以支援數 10 GHz 以上更高速的傳輸速率需求，雲端數據中心內的互連與交換系統將會非常擁擠，使用大量的光收發器與光交換器，傳輸晶片也將提升以支援更高效率的光電轉換功能，在數據中心與基地臺布建數量也會遠高於現有規模，以滿足未來巨量雲端數據流量的需求。

5G 與物聯網可因應跨產業需求提供不同型態的服務，本計畫蒐集各類應用發展案例，藉以說明 5G 與物聯網在跨產業的應用型態發展。

二、 運動場館的 5G 與物聯網應用

韓國藉由平昌冬季奧運展示各項 5G 應用發展，包括下列：

(一) 開閉幕式活動

2018 年 2 月 9 日舉辦的平昌冬奧開幕式，Intel 在夜空中用 1218 台的無人機描繪出奧運標誌的「無人機秀」登場，除了吸引全球眾人的目光，也打破金氏世界紀錄，如下圖 6- 29。

[24] 2018 產業技術白皮書，https://goo.gl/iRVpdL




圖 6- 29：平昌奧運的無人機展示秀

然而「無人機秀」最後並沒有實況轉播，而是事前錄影。原因是在開幕式當天據說奧運組織委員會受到了網路攻擊。據韓國媒體報導，開幕式前 45 分鐘（晚上 7 點 15 分）起，委員會內部網際網路與 Wi-Fi 遇到了嚴重問題，就因為如此，開幕式原訂進行的小型無人機飛行就沒辦法進行，而改以事前錄好的畫面使用。奧委會發言人認為無人機飛行需要停止：「因為無人機突然改變路徑會讓研究團隊沒辦法讓無人機飛行」。由於系統問題不明，故可能為受到網路攻擊的影響。

不過閉幕式時，300　台無人機同時在天空中呈現吉祥物「守護虎」（수호랑）的轉播，完整呈現 5G 的成果。



圖 6- 30：平昌冬奧閉幕式

資料來源：末岡洋子[25]

該「無人機秀」是使用英特爾「雲端無人機飛行技術」，可以無人機的位置用極為敏感的單位上下左右調整，而且能讓各個無人機間交換資訊的技術，讓英特爾誇耀其卓越的技術力。Intel 的無人機如下圖 6- 31。



圖 6- 31：Intel 5G 無人機

[25] 末岡洋子（2018），〈インテル、東京五輪に向け 5G でドコモと協業　コネクテッドカーや 8K 動画配信に焦点〉，<http://ascii.jp/elem/000/001/638/1638274/>。

被英特爾稱為「流星無人機」的 1218 台無人機，重量為 330 克、6 英吋的螺旋槳。機體是以 Intel Falcon 8+為基礎開發。Falcon 的市價約為 35,000 美元。開幕式使用的無人機是為了娛樂而使用的機種，機體附有 40 億色的 LED 光展示，在夜空的背景下，LED 的光可以呈現出動畫的表現。此次的操控作業是由一位操控員與一台電腦來操控 1218 台無人機。

英特爾在 2014 年開始進行多個無人機飛行的計畫，2015 年中國的無人機公司、Yuneec 投資約 6,000 萬美金，2016 年併購德國自動駕駛軟體開發公司、Ascending Technology。英特爾對遠離半導體的無人機感興趣，據說是因為關注在從無人機衍生的 ICT 領域的成長性。

無人機的雲端飛行技術可以應用在火山爆發、地震等自然災害、作物的監控管理等農業的領域、建築工程與地圖製作等各種不同領域。無人機的用途擴大到配送、攝影、預防犯罪、救援、測量等領域。特別的是基於使用衛星定位與感應器來取得正確的位置資訊，同時操控許多無人機的技術，可以直接應用在自動駕駛車、交通管制系統。

英特爾投入無人機的事業，其不是投入無人機的硬體事業，而是關注在分析與投資計算解決方案。英特爾在奧運的活動中展現出 VR 等先進技術，看得出其不是單單的電腦半導體企業，而是試圖融溶入稱為綜合資訊技術的企業形象。

(二) 轉播活動

- 時間分割

在江陵體育館進行的花式溜冰與短道競速滑冰，就是架設 100 台小型攝影機，攝影選手各式各樣角度，所連續合成的新影像技術「時間切割」。這 100 台攝影機是設置在一定間隔的牆壁上，不斷按照想要移動角度的方向拍攝快速移動主體的確定場景。

拍攝的照片是一種逐項剪切，合成並連續顯示的圖像技術，可以透過改變角度逐漸表達移動主體高速移動的影響，使其看起來像

慢動作。在電影「駭客任務」中，使用這種攝影技術拍攝的場景（稱為電影中的調色盤時間）非常有名外，也並被視為新的圖像技術。此外，觀眾可以選擇各種視角的攝影機，以及自由選擇時間，來看選手的動作。

- 全景視角

全景視角是配置多個攝影機，讓閱聽者自由選擇、即時看到從各種不同的角度來的影像，提供比賽結果、名次、選手的簡介等資訊服務。

例如越野滑雪全長 3.75 公里，設置 17 台攝影機，透過 5G 網路攝影傳送選手的狀況，觀眾可以選擇自己想要看到的攝影機的點，來看見快速跑動的選手的姿態。

再如冬季兩項運動是透過 5G 網路傳送選手在制服上著裝的 GPS 感應器的位置資訊，觀眾可以用智慧型手機來確認選手位置的即時服務。閱聽人可以即時自由選擇想要看見的選手，並透過實況串流來播放欣賞跑步場景，確認選手目前所在的位置。

- 同步視角

同步視角則是透過各視角攝影機附加到選手的頭盔與制服、雪橇上，來用選手視角來實況轉播的技術。在有舵雪橇的運動項目上，於雪橇的表面上設置點狀視角攝影機與 5G 無線通訊模組及天線，提供高速有即時感魄力的實況影像服務。

超高速的 5G 網路支援超高畫質（4K）的高畫質攝影實況的新視訊服務。三星開發對應 5G 的測試機、平板電腦，並配置 200 台在比賽場地上，讓觀眾可以享受展新影像服務的精髓。

此外，在會場中小型無人機與小型攝影機攝影，用臉部辨識技術來分析選手與大會工作人員、觀眾，傳送給奧運的安全控管中心即時的數據，以茲用在安全管理上。

- VR 360 度實況轉播

在平昌冬奧上，英特爾導入「Intel True VR」，可以提供雙向360 度全方位視訊直播服務。VR 的小型相機安裝在體育場的任何地方，從各個角度拍攝和傳遞比賽狀況。觀眾可以在不去球場的情況下也能獲得具有臨場感的觀賽體驗，如下圖 6- 32 所示。



圖 6- 32：Intel True VR 攝影機

平昌冬奧的主要的轉播方 OBS 在冬奧開始時，就播出了 VR 的內容做為主播視訊。音訊將實況轉播者的評論附加在自然的聲音中。比賽包括開閉幕式、高山滑雪、冰壺、滑雪板、Big Air（指滑雪板、自由滑雪、滑板、越野單車等其中一項）、俯式冰橇、有舵雪橇、花式滑冰、快速滑冰、冰上曲棍球等合計 55 小時的 1 日 1 項以上的比賽。

NBC Universal 推出了 NBC Sports VR APP，相關 VR 內容傳送給全美觀眾觀看。NBC Sports VR APP 中，提供重新播放一日內實況串流的 VR 內容，以及前一天比賽編輯成重點內容之服務。另一方面，

NHK 在「平昌 2018」網頁內，提供「360°實況」（實況串流）與「錯過影像」（VOD）的 360 度 VR 影像服務。

(三) 案例綜整

平昌奧運中的 5G 相關應用場景，包括會場可體驗 5G 平板與攝影機角度、5G 實機展示與實測速度，如下圖 6- 33。

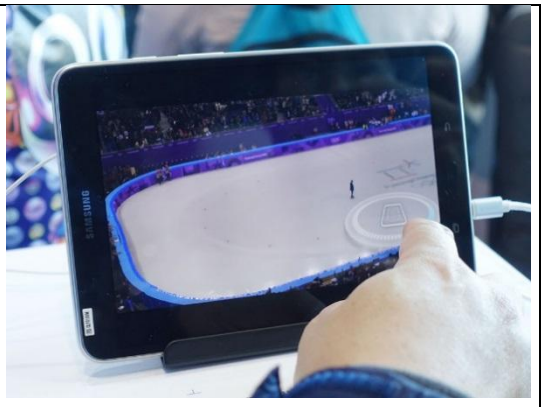
<table>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>5G 平板的體驗空間</td><td>5G 使用者可切換攝影機角度觀看</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>5G 實機展示</td><td>5G 實測速度</td></tr>
</table>

圖 6- 33：5G 應用－平板體驗與實機展示

另外場館內各種 VR 體驗的應用展示案例，如下圖 6- 34。

	
館內各種 VR 體驗	這不是馬殺雞，而是 VR 的體驗
	
也能體驗北歐滑雪	全球首次公開的太空 VR 體驗。穿著太空裝，一邊用吊帶吊著，並用身體上附著的感測器體驗月球的重力狀況。

圖 6- 34：5G 應用－VR 展示

5G 網路基地臺與連網車以及其他各類應用案例如智慧手套結帳等，如下圖 6- 35 所示。[26]

[26] 參見小林優多郎（2018），〈もう 1 つの“平昌五輪”、サムスン電子が「初公開」5G タブレットで実証実験〉，Business Insider，<https://www.businessinsider.jp/post-162173>。山根博士（2018），〈世界初の 5G タブレットを触った！ 平昌オリンピックでサムスンが実機を展示〉，engadget 日文版，<https://japanese.engadget.com/2018/02/12/5g>。山田祥平（2018），〈平昌オリンピックで見てきた 5G や VR〉，engadget 日文版網站，<https://pc.watch.impress.co.jp/docs/news/1106389.html>。山本竜也（2017），〈VISA、NFC 搭載「おサイフ手袋」を発表。平昌オリンピック会場で手袋をかざして決済可能に〉，engadget 日文版網站，<https://japanese.engadget.com/2017/11/09/visa-nfc/>。

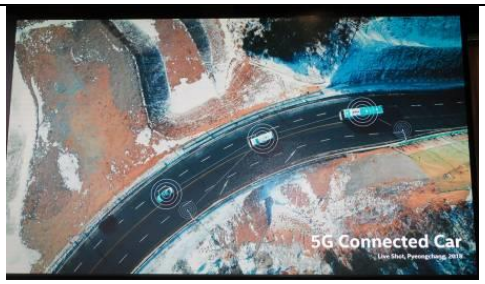
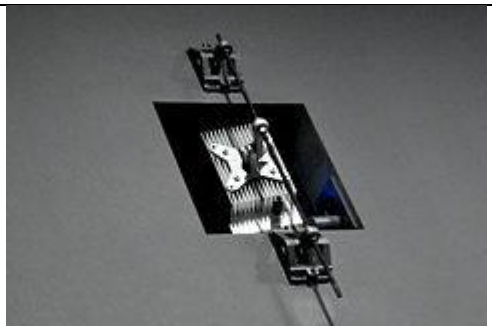
<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>基地臺設置</td><td>5G 連線車</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>KT 館內設置的 5G 基地臺，應是由英特爾製的。</td><td>使用智慧手套結帳</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">在 KT 展臺上，可以體驗 Hololens 等混合實境（MR）的設備。供應商名稱是極機密。</td></tr>
</table>

圖 6- 35：5G 應用－基地臺與各類創新應用

三、 電競賽事的 5G 相關應用

近年電競活動蓬勃發展，以 2017 年來說，全球共有 588 場大型電競活動，共創造 5,900 萬美元營收，電競賽事的收視率已經跟美式足球比賽相當，根據研究公司 Newzoo 估計，全球有 1.43 億人，每月至少會看一次電競比賽，預估至 2021 年時，收視率將以每年上升 14%~15%的速度成長。整體電競賽事生態系統的發展，將能進一步

刺激整體產業經濟發展[27]。電子競技是一個新興的業務領域，需要快速的網路連接和高質量的設備，其被認為是將來 5G 的重要應用之一，因為有些遊戲需要在 1 秒內連按最多 8~16 個鈕輸入指令，其網路連線效能要求較高，對於網路延遲的容忍度低，因此過往都是透過光纖傳輸線路對戰。本次展示中，參與遊戲對戰的一方以光纖連線，另一方則以 5G 連線。根據玩家與觀戰者表示，5G 速度可滿足遊戲需求，穩定度亦佳，多肯定 5G 之網路效能與速度。[28]

Telstra、Intel 及 Ericsson 在 2018 年 5 月 8 日，推出了全球首款超過 5G 的電子競技專業遊戲體驗之一，展示了專業和業餘遊戲玩家未來可以期待的 5G 超低延遲的強大功能。來自 Intel 的 Extreme Masters 雪梨的專業電子競技團隊 The Chiefs 透過超低延遲（大約 5 到 6 毫秒），幫助 Telstra 黃金海岸 5G 創新中心展示了 5G 的技術能力。The Chiefs 是世界上第一批體驗超過 5G 遊戲的電子競技團隊之一，該團隊在 Twitch 上直播全球其他遊戲玩家。[29]

本次展示採用 Ericsson 的 5G 測試環境，該環境實現並驗證 3GPP 技術標準，以實現 5G。該設備使用毫米波頻段，為營運商拓展了更多頻譜資源，從而為用戶提供了更高傳輸容量，適用於即將推出的高等級應用。5G 系統結合了高容量、低延遲和移動性的優勢，因此需要高性能的用戶（如專業遊戲玩家）在移動時可獲得等同於有線寬頻網路傳輸的感受程度。在 Telstra 的 5G 創新中心內部使用毫米波頻譜連線來展示，Intel 則提供 Intel 5G 行動試用平台，可以快速實施最新的空中接口和通訊協議。

「延遲」是指在兩端點之間發送數據所需的時間，因此在遊戲世界中至關重要，因為毫秒可以直接決定了輸贏之間的差異。電子

27 https://technews.tw/2018/08/27/citi-says-esports-will-disrupt-multiple-industries-and-boost-nvidia/

28 Digitimes (2018), 格鬥遊戲電競 5G 實際測試能滿足需求, available at: https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?CnlID=1&cat=60&id=0000523888_XQ97TZFY9T6N517DOIRWB&ct=1

29 https://www.telstra.com.au/aboutus/media/media-releases/Telstra-Intel-and-Ericsson-demonstrate-a-5G-future-for-esports

競技展示了 5G 的可能性，這項新技術的優勢將成為許多案例的基礎。5G 將在任何地方實現娛樂，使其更具活力和身臨其境，電子競技就是其中一個使用情境的典型案例，透過更快的速度，超低延遲和大容量獲得更好的效果。5G 電子競技展示成為 Intel 和其合作夥伴利用端到端技術解決方案改變遊戲生態系統的開始。

除了 Telstra、Intel 及 Ericsson 外，北歐當地的電信業者 Telia 在赫爾辛基 Kamppi 購物中心內，展示 5G 電子競技活動實驗（圖 6-36）。Telia 讓現場觀眾在電子競技活動中嘗試通過 5G 網路的環境與專業遊戲玩家進行遊戲。觀眾可以挑戰頂級職業玩家，如 ENCE 團隊中的 Robin Snappe Uotila。實驗室環境中的實驗證明，5G 在競爭性遊戲領域開闢了巨大的新契機。通過實例來說明 5G 的可能性，Esports 是一個具有挑戰性的技術領域，5G 的發展將為遊戲玩家提供超高效能的體驗。

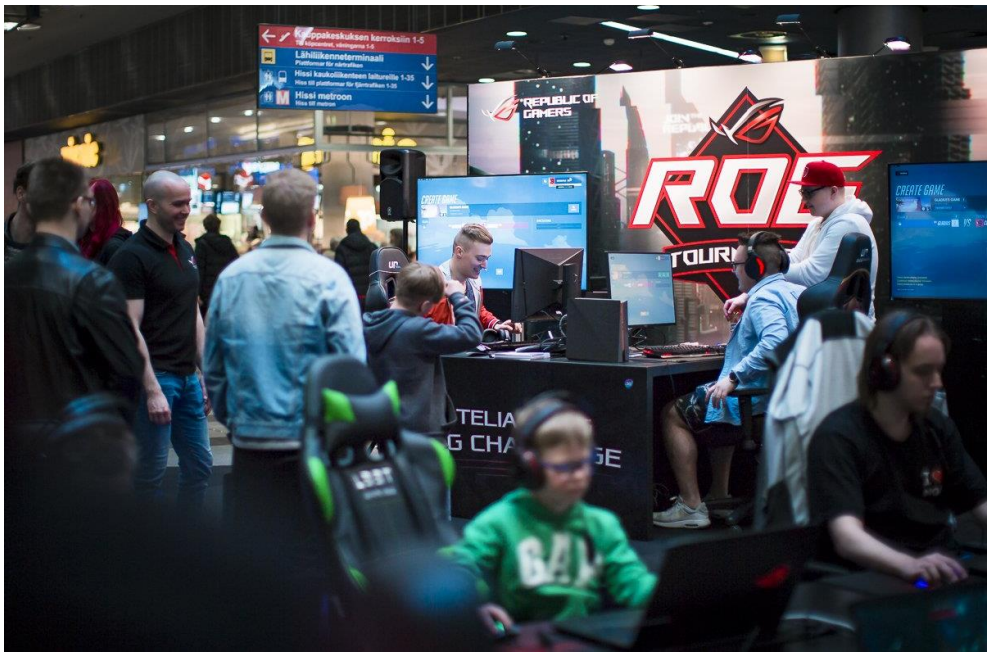


圖 6- 36：TELIA 結合 5G 技術於電競賽事之實驗場域

四、 智慧城市物聯網相關應用

根據聯合國估計，2050 年將有 66%的世界人口生活在城市地區[30]，因而引起空氣污染、擁堵、廢棄物管理和人類健康方面的棘手問題[31]。此外，到目前為止，城市約消耗世界 75%的資源和能源，其中導致 80%的溫室氣體產生，對環境產生嚴重的負面影響。在人口壓力與全球氣候暖化和經濟不穩定的雙重危機下，促成城市新概念和一系列相關政策規定的出現，使城市成為解決這些問題的核心。

過去，城市的發展目標主要著重在可持續發展上，但自 2010 年以來，隨著智慧城市專案的出現與歐盟的強力支持下，智慧城市相關出版物數量開始萌芽並隨之快速增加[32]，各界目光焦點開始漸漸轉移到到智慧城市上，但這兩個目標其實並不衝突，甚至將可持續發展與智慧城市彼此結合，如 ITU 便將智慧可持續的城市定義為一個使用資通訊技術 ICT 和其他方法來提升生活品質、城市服務效率和競爭力的創新城市，同時確保今後世代能滿足在經濟、社會與環境方面的需要[33]。雖然，並非所有定義都會反映出其與可持續發展目標之間的關聯，但不可否認地，智慧城市與可持續發展城市間緊密相關，了解彼此間的關係並相互結合發展是相當重要的[34]。

伴隨著物聯網、大數據與 5G 等技術愈來愈成熟的趨勢下，各國紛紛發展「智慧城市」，根據英國工程顧問公司 Arup 統計，到了 2020 年，全球智慧城市市場將會高達 4,000 億英鎊。

下面將介紹各國於智慧城市 IOT 應用型態發展：

30United Nations (2015a). World urbanization prospects. The 2014 revision. New York: Department of Economic and Social Affairs

31OECD (2012). OECD environmental outlook to 2050. The consequences of inaction. OECD Publishing http://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/internationellt-miljoarbete/multilateralt/oecd/outolook-2050-oecd.pdf (accessed 23.2.2016)

32Mohanty, SP., Choppali, U., & Kougianos, E.(2016). Everything You Wanted to Know About Smart Cities The Internet of Things is the backbone. IEEE CONSUMER ELECTRONICS MAGAZINE, 5(3) ,60-70.

33] International Telecommunications Union (ITU) (2014). Smart sustainable cities: An analysis of definitions. Accessed at:www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/Documents/APProved_Deliverables/TR-Definitions.docx

34 [516]Jucevicius, R., Patašienė, I., & Patašius, M. (2014). Digital dimension of smart city: Critical analysis. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 156, 146–150.

(一) 案例：美國－紐約

紐約是美國人口最多的城市，聯合國總部的所在地，更是全球經濟、教育、政治等重鎮，有「世界文化之都」之稱。紐約市是由5個行政區所組成，分別是曼哈頓區、皇后區、布魯克林區、布朗克斯區、史泰登島區。同時，美國也是全球語言和人口族群最多元化的城市之一，所使用的語言高達800多種。

2015 年 4 月，紐約市長白思豪提出以「建設一個智慧和公平的城市」為目的之智慧城市改造計畫，主要是為了因應數位科技發展趨勢和資料量爆炸成長，為紐約市經濟、通信、政府、生活等層面所帶來的巨大轉型壓力[35]。

除了市政府等公有部門的努力外，Google 母公司 Alphabet 所成立的新創公司 Sidewalk Labs 也積極推動智慧城市的改造，紐約是其第一個努力改造的城市。Sidewalk Labs 認為要成為智慧城市，環境、公共衛生、住宅生活、交通等方面是首要要考慮的領域，因此其參與了美國交通部所舉辦的「Smart City Challenge」，該計畫提供4,000 萬美金的獎金來給獲勝的城市，讓獲勝城市能夠全面發展智慧城市技術。另外 Sidewalk Labs 也和隸屬於美國能源部的阿貢國家實驗室合作，試驗各種環境感測器的應用。目前，其幫助紐約市廣設公用資訊站（kiosk），目標是在紐約市裝設至少7,500個公用資訊站，範圍涵蓋了整個紐約市[36]。

紐約市政府結合 Domain Awareness System（DAS）、數千臺攝影機、車牌讀取器、輻射化學感測器、911報案專線紀錄，整合市內各公私單位所提供的數據，藉此提高對犯罪的反應力。2015 年，紐約市警局整合槍案偵測系統-ShotSpotter 至 DAS 內，該系統由數千個裝設在屋頂的槍擊聲音感測器，能夠識別 25 公尺內的槍案發生來源，並立刻傳送給警局。同時，紐約市政府在市內建築廣建智慧水表，

35 TAITRA 駐紐約辦事處(2017 年 1 月)。(商情) 美國智慧城市的推動及商機。取自：http://newyork.taiwantrade.com/news/detail.jsp?id=21567&lang=zh_TW

36 Vide 編輯群（2016 年 12 月）。Google 建紐約為智慧城市 連資訊站也時尚。Vide 創誌。取自：http://vide.tw/6294

利用遙控感測網路與監控站來即時收集監視並分水質水量等資訊，每個水表連接低耗電傳送器來傳送用水資訊至屋頂的接收器，再透過市內的電信網路轉送至網路中心來進行處理分析，藉此來進行自動讀表、偵測漏水情況等異常狀況並自動示警，還可幫助用戶制定最優的用水方案。

(二) 案例：加拿大－多倫多

多倫多為加拿大人口最多也是北美最大的城市，作為該國的經濟中心，多倫多遇上了人口爆炸以及幅員廣大等難以管理的挑戰，多倫多政府預估到了 2020 年時，就會為了維持公共基礎設施的服務而造成數十億美元的虧損。面對如此諸多挑戰，多倫多市政府也決定開始透過 ICT 技術的導入來進行智慧改造，提升國家經濟發展、人民生活品質並達到永續發展的願景。在 2000 年時，多倫多便發展了「湖濱智慧園區 Waterfront Toronto」的計畫，以智慧和永續的理念來吸引高科技企業入駐，藉此振興多倫多湖濱經濟，現今更是多倫多智慧城市的核心智慧園區。除此之外，多倫多亦不斷地持續朝這方面努力，像是透過私企業部門之相互合作，共同創建「智慧通勤多倫多」組織，來提升大都會區的交通效率等。

為了達到永續經營，多倫多商業發展促進協會更在 2007 年開始，在城市基礎設施上安裝 LED 燈，並透過垃圾分類、建置綠色大樓、環保天然氣垃圾車等，來達到低碳經濟。經過不斷的努力，多倫多已連續三年被全球智慧社區論壇（Intelligent Community Forum，ICF）評為全球最具智慧城市，更被譽為「環保之城」[3738]。多倫多政府開發政府資訊，提高市議會透明度，鼓勵公眾參與，其已公開了超過

37 https://goo.gl/MSmwtY

38 http://www.cbicf.com/media/6/2014-03-25/63.html

200 個開放數據集，協助市民能夠了解能夠享有哪些城市服務以及透過如 IdeaSpaceTO 的平台讓市民參與政府決策規劃[39]。

加拿大多倫多市與 Sidewalk Labs 達成了一項合作 ，Sidewalk Labs 將通過監測市民的生活方式，尋找改善城市街道的最佳方法。Sidewalk Labs 正式成立了一家子公司 Coord。Coord 將搭建一個雲端平台，集合過去幾年間湧現在世界各地的城市移動服務，比如共享單車、共享汽車和大眾運輸等。Coord 就可以向它們提供包含過路費、停車訊息和路邊空間等，經全面標準化後的本地數據。這些數據還可以實現跨城市的共享，而不再侷限於政府部門。Coord 目前掌握的主要是關於基礎設施的數據，無關個人信息。Coord 提供的數據與個人訊息及其行為無關，而是關於人行道、收費公路、停車場等公共設施。

使用了 Coord 服務的共享單車企業，其服務會在 Google Maps 等導航軟體中，和其他交通方式並列顯示。用戶可以在導航軟體中定位單車的位置，和其他交通方式進行價格對比，以及租車，全程無需使用信用卡。使用了 Coord 服務的公路收費企業，則可以推出動態定價，車主出門前就能知道自己接下來的旅途將花費多少錢。Sidewalk Labs 目前已經覆蓋了私人停車場的收據，基於這些數據 Google Maps 推出了一項付費停車服務，有了它車主再也不用四處尋找車位了。Coord 還推出了一個叫做 Surveyor 的工具，Surveyor 應用了增強現實技術，可以幫助測量人員在短短四分鐘內，將關於整個街區路邊空間的數據數位化[40]。

(三) 案例：德國－柏林

柏林不僅為德國的首都，亦是歐盟人口第三多的城市，在各方面都屬於世界級城市，扮演著歐洲的交通樞紐，成為歐盟內遊客最

39 Toronto(2016). A Smarter Toronto-Briefing Paper for Smart Cities Summit: Towards a Connected Toronto Region.

40 https://buzzorange.com/techorange/2018/02/05/alphabet-sidewalklabs-toronto-cowork/

多的城市之一。柏林的經濟基礎仍為服務業，但因用有良好的地理以及科技發展，德國的資訊技術、生物工程、生物科技、製藥、光學電子、交通工程和可再生能源技術都相當出色[41]。

相較於其他國家，德國建設智慧城市的專案皆有政府指定的專門機構承攬，柏林政府則是特意將此專案交由柏林夥伴公司和弗里德里希哈芬的虛擬市場有限公司負責，其機構則須代表當地政府提出一些長期的、最有效且最適當的規劃，並篩選出可行的智慧城市項目，且在執行於未來策略，由此可見，柏林竭盡所能的讓當地企業親身參與城市改造，並藉由舉辦多場城市工作坊進行互動，讓民間機構可以一起參與、一同討論，再加上政府也透過與企業合作招攬多方出資，募足資金，共同將最新智慧技術帶入城市。舉例而言，2012 年，歐盟為實現節能減排，投資 1.15 億歐元協助 500 多個城市實施節能建設。德國聯邦政府也因此提出「電動汽車國家發展計畫」，選取了包括柏林在內的 4 個州作為試點。在這個為期 4 年的專案中，聯邦政府出資 8,000 萬歐元，柏林州政府出資 6,000 萬歐元，而民間企業則也投入 6,000 萬歐元，共同致力於建設智慧城市的過程[42]。

2015 年，柏林發表「智慧柏林 2030」的規劃藍圖。此計畫包括建立智慧城市網路，進行試點測試、保障市民個人資訊隱私、建造智慧家居住宅以及簡化城市科層機構，提高辦事效率，全面性的改造方案。柏林的「智慧城市戰略」則提及真正有前景的城市，是在能使用相同或更少資源的狀況下，仍提供穩定的且高水準的生活，若要達成此目標，則需建立在創新的資訊以及通訊技術來管理城市的基礎上，因此，柏林積極與業界合作共同研發資訊化城市環境[43]。

41 https://www.goethe.de/ins/de/zh/kur/ort/ber/dsb.html

42 http://www.wtoutiao.com/p/198dtfP.html

43 http://chuansong.me/n/778173752054

五、 車聯網相關應用

據 IoT Business News 報導[44]，自駕車的想法被視為未來的願景，物聯網和人工智慧技術發展發生重要變革，透過先進的通訊功能和智慧感測器，物聯網技術的演變加速汽車製造業與車聯網（vehicle-to-everything）的結合。車聯網實際上就是要構建一個智慧交通網路，透過先進感測器技術、通訊技術、網路技術、數據處理技術、自動控制技術、資訊發佈技術等，應用在整個交通運輸管理體系並建立一個有效率綜合管理和控制系統，用來實現人、車、路、環境之間的智慧協同，是目前物聯網應用領域中最具有潛力產業之一[45]。從應用面來看，車聯網為物聯網下之概念，主要運用各類通訊技術,達成車對車、車對人、車對路等不同裝置互相聯通，並依使用情境不同，發展出資訊娛樂、行車安全等車聯網應用。車聯網圍繞著「車」以及與車相關的「人」服務，首先把車-車、車-路、車-人、車-網連接起來，通訊技術然後基於這些連接，打通資訊交換管道，藉由資訊交換和資訊分析，為客戶提供服務。

高可靠、低延遲之通訊主要應用於車間通訊，以一輛 100km/時行駛的汽車為例，1 毫秒（1/1.000 秒）的通訊延遲會導致汽車多運動近 3 釐米，因此，出於安全角度之考量，車用通訊對於即時性的要求非常嚴格。按照 5G 部署的時間表，到 2020 年以後，要實現未來多車並行行駛情境下的無事故自動駕駛、通訊延遲必須達到毫秒等級。另外，相對運行的汽車速度差可達 300km/時，高速行駛車輛間的通訊也需要 5G 技術提供解決方案，確保通訊的可靠性。

5G 在支援廣覆蓋和高速率 eMBB 業務的基礎上，還增加了超高可靠和低延遲（uRLLC）、低功耗大規模設備連線（mMTC）等兩大特色，因此將能夠更好地支持緊急通訊、實現更安全的駕駛。5G 有望在 2020 年開始全面普及，而各汽車企業也陸續宣布規劃在

44 https://iotbusinessnews.com/2017/12/27/59787-analysys-masons-predictions-iot-2018/

45 https://www.moneydj.com/KMDJ/wiki/WikiViewer.aspx?Title=%E8%BB%8A%E8%81%AF%E7%B6%B2

2020-2021 年推出自動駕駛汽車。企業策略聯盟著眼於汽車將成為通訊設備中心的時代，汽車與現有公共運輸網和智慧城市的合作，由於擁有低延遲、大頻寬和高連線密度等優勢，5G 被業界認為是實現自動駕駛和車聯網的關鍵技術。

產業跨界合作先進車聯網應用，其無線通訊模組與使用頻段越來越多元與複雜，近期 DSRC 技術使用頻段與日本推行之智慧運輸系統（ITS）頻段之實驗規劃為重要議題，如下圖 6- 37。[46]

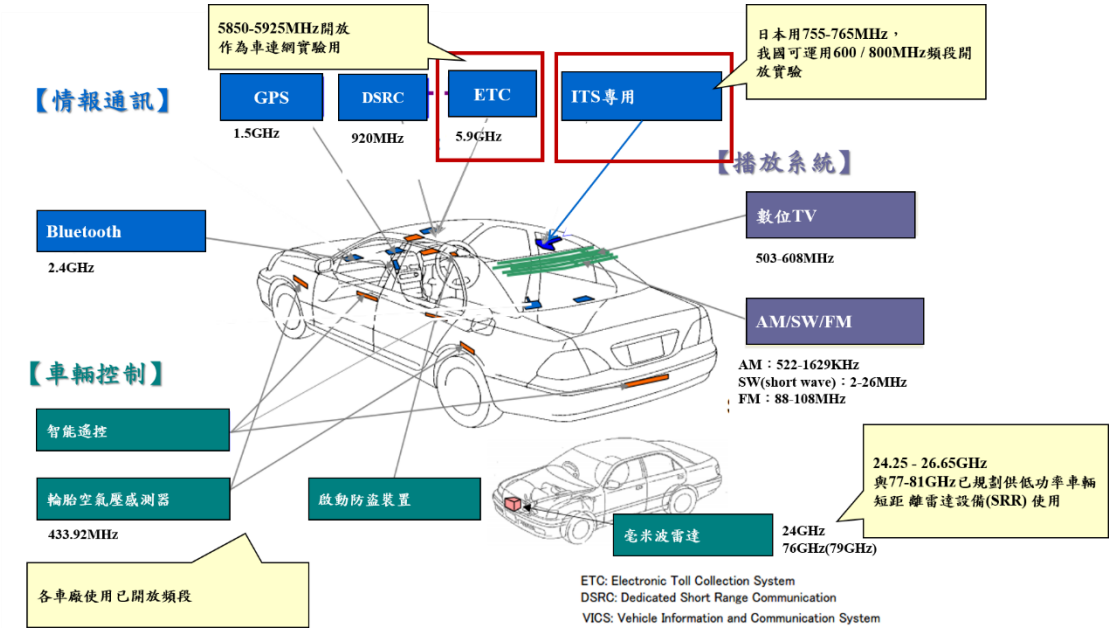


圖 6- 37：日本結合 5G 技術於車聯網的應用

Intel 集團下的 Mobileye 與西班牙交通監理機關合作，建立發展自駕車所需基礎建設，包括研發、推動大眾運輸和私人車隊採用先進駕駛輔助系統，同時交通單位協助 Mobileye 的交通資訊及時系統 Mobileye 8 Connect 能否協助提升道路安全。該系統安裝感測器於大

46 http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd133420.html

眾運輸工具以及街道基礎設施，蒐集相關交通資訊，讓未來西班牙的道路能調整為適合半自駕與全自駕車輛行駛用途。[47]

歐美政府對於車聯網應用的佈局，均以 5.9GHz 作為車路間及車車間之通訊頻段，不過所採用技術上則有差異，例如美國以 IEEE 802.11p 為主，歐洲則是以 C-V2X 為主，如下圖 6- 38。

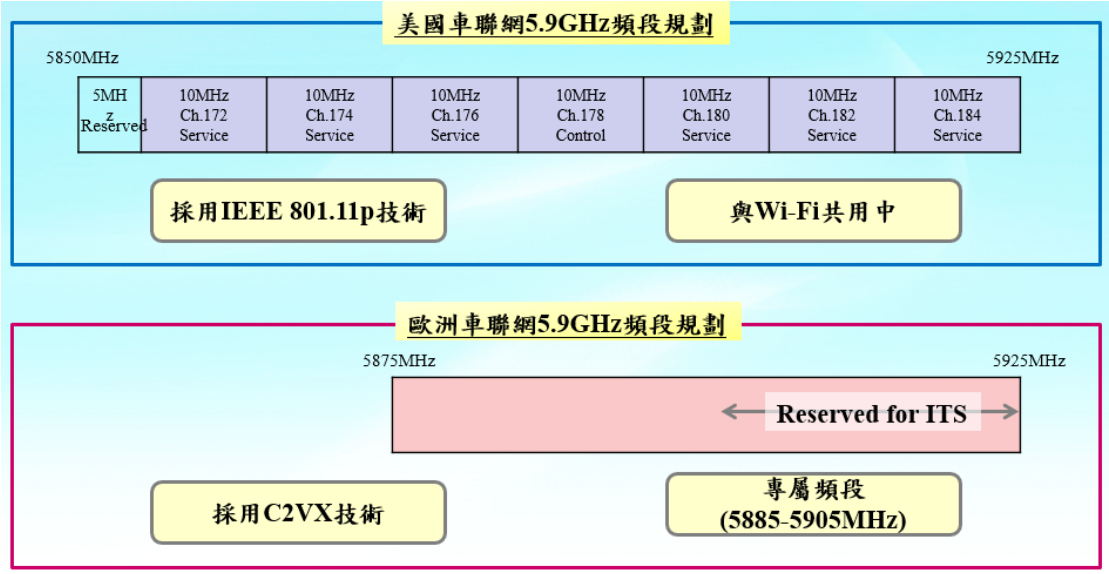


圖 6- 38：美國和歐洲車聯網頻段規劃

資料來源：C2C-CC 及 FCC5 整理

電信業者與車廠合作所推動之應用服務，則多較偏向車載寬頻應用面。Verizon Wireless 與 Hyundai、Mercedes 及 Volkswagen 等車廠合作，推出導航、先進診斷、便利性與資訊多媒體服務等;Sprin 則與 Chrysler 合作，提供雲端與整套 Telematics 服務給車廠，與車廠共同規劃彈性設計解決方案在歐洲、英國 Vodafone 則是與 BMW 車廠合作，推出追蹤失竊車輛、防盜、娛樂及駕駛行為保險追蹤（Usage Based Insurance，UBI）等服務；德國 DT 則是與 Mercedes-Benz 及

[47] Digitimes (2018),西班牙政府與 Mobileye 合作，打造適合自駕車道路環境, available at: https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=30&id=0000522738_ICE6IDL949K0657YVWHS6

BMW 合作，法國 Orange 則是與 Renault 合作，將 LTE 技術應用於汽車 APP 中，並開始於 Renault 之電動車 ZOE 上測試以高速行動通訊技術提供虛擬辦公室、雲端遊戲以及影像會議等服務。

六、 無人機相關應用

無人機相關應用正蓬勃發展，多項無人機應用的主要趨勢包括：智慧飛行、寬頻傳輸、多樣化功能及與網際網路連線之無人機[48]。2016 年商業內幕（Business Insider，BI）情報報告指出[49]，2021 年時，無人機銷售收入將達到 120 億美元，由於價格競爭激烈且讓初學者更容易駕駛無人機的新技術，未來五年消費型無人機的出貨量將增加四倍以上。到 2021 年，企業型無人機的使用量將超過消費型無人機部門的出貨量和營收達 80 億美元，全球出貨量達到 2,900 萬架。

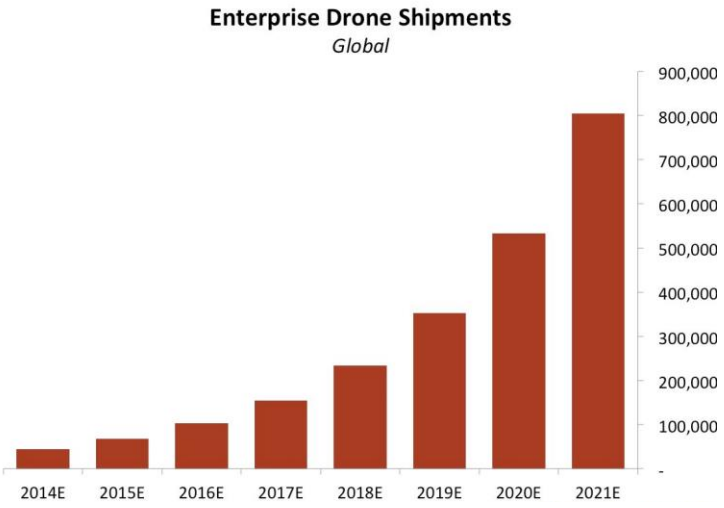


圖 6- 39：預測無人機未來收入

資料來源：BI Intelligenace Estimates

48] Goldman Sachs, “Drones: Reporting for work,” 2017. Online: http://www.goldmansachs.com/our-thinking/technology-drivinginnovation/drones/. Accessed on December 14, 2017.

49 https://www.businessinsider.com.au/the-drones-report-market-forecasts-key-players-and-use-cases-and-regulatory-barriers-to-the-proliferation-of-drones-2016-3?r=US&IR=T

無人機與軍隊有關，但越來越常用於商業和娛樂場合，例如：搜救監視、交通和天氣監測、消防、漁業和農業、送貨服務、商業攝影和公共娛樂。無人機的娛樂用途包括大型活動（例如：體育賽事和音樂會）的直播，電影製作和廣告拍攝。無人機具有成本低，靈活性高，安全性高，受自然環境影響小，視野好等優點，在基礎設施檢測領域得到越來越廣泛的應用。農業是另一個重要的應用領域，無人機可以幫助提高產量（例如：噴灑農業化學品和繪製農田訊息）。物流[50]和配送的無人機可以節省時間，降低成本並節省人力，如下圖 6- 40。



圖 6- 40：無人機物流運用

隨著無人機行業的快速發展和無人機應用的擴展，現有無人機與其控制器之間的點對點通訊（point-to-point communication）和控

[50] http://www.northsydneyinnovation.org/wp-content/uploads/2018/04/20180427-Drone-Report-North-Sydney-Innovation-Network.pdf

制解決方案的局限性已變得越來越明顯。無人機產業目前面臨幾個主要問題：

1. 有限的操作範圍，即大多數無人機只能在控制器的視距（LOS）距離內飛行；
2. 有限的頻寬，不能保證即時高畫質（HD）影像傳輸；
3. 不準確的追踪，基於全球導航衛星系統（GNSS）的現有定位可能由於潛在干擾而不可靠；
4. 由於電池限制，操作時間有限。

行動通訊網路可以大幅擴張無人機應用領域，並有助於產生巨大的經濟價值[51]。5G 行動網路通過提供遠程和即時控制、高畫質影像傳輸、高效率無人機識別和調節以及高精度定位等功能，幫助克服無人機產業面臨上述之障礙。同時，與使用未在全國範圍內部署的專有通訊技術相比，行動網路可以極大地擴展用於遠程無人機控制訊息的即時傳輸通訊。行動網路提供的高速、低延遲通訊可以支持高畫質影像傳輸，從而帶來更好的用戶體驗。5G 網路將引入新技術，提供 3D 覆蓋、提高傳輸速率、量身打造之端到端服務品質（QoS）保證，以及大數據分析的高效率識別和監控。

在 5G 網路中，由網路切片（Network Slicing）和兩階段 QoS 映射方法等新技術，組成端到端 QoS 系統，可更好地滿足日益多樣化的無人機應用需求。網路切片允許在公共共享基礎設施之上創建多個邏輯網路[52]。每個切片都是一個完整的邏輯網路，由網路功能和相關資源組成，提供特定的端到端服務功能。網路切片在控制層和用戶層彼此隔離。連線無人機分配專用切片時，可以在邏輯上區分無人機的服務，無人機的無線電資源管理來自地面終端的無線電資源。

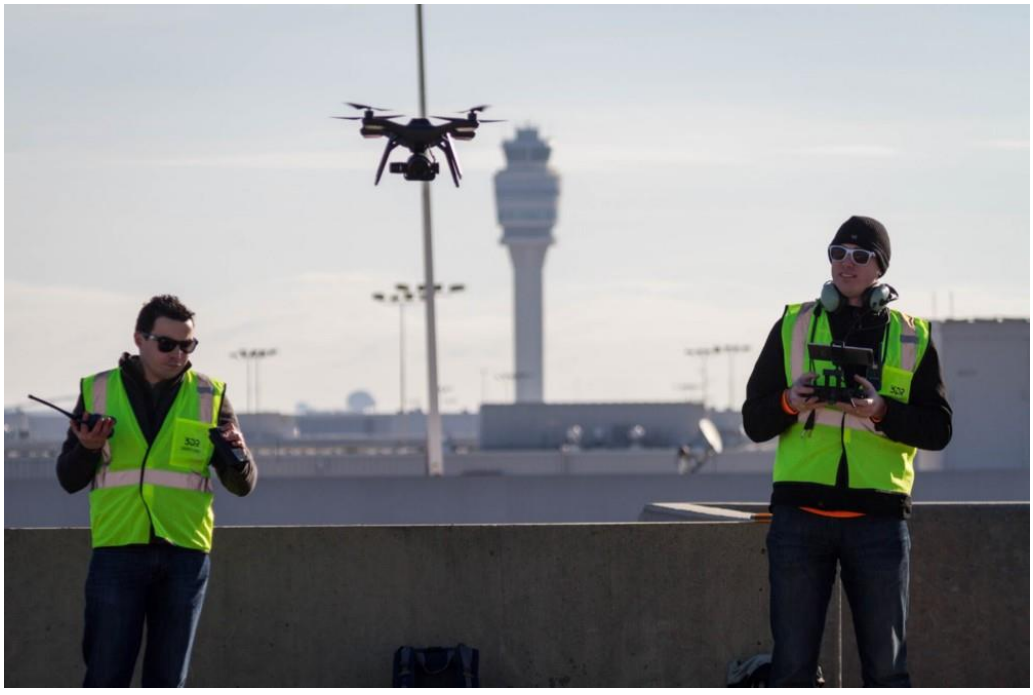
---

[51] D. He, S. Chan and M. Guizani, "Drone-assisted public safety networks: The security aspect," IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 8, pp. 218-223, April 2017.

52 S. Li, N. Zhang, S. Lin, L. Kong, A. Katangur, M. K. Khan, M. Ni, G. Zhu, "Joint admission control and resource allocation in edge computing for internet of things", IEEE Network, vol.32, no.1, pp. 72-79, January-February 2018.

通過結合無人機應用特定訊息，例如：使用不同的切片來支持特定控制訊號和不同的應用數據服務，從而為不同的無人機使用提供差異化服務。通過網路切片，網路以端到端的方式劃分，以便優化無人機流量分組，例如：低延遲無人機流量和高數據速率無人機流量，並將無人機流量與不同特性的地面流量隔離。

5G 網路的顯著功能將為具有更多樣化的應用，而大規模無人機部署提供更高效和更有效的移動連線。無人機網際網路是一個新興和未開發的領域，許多產業也開始發展並應用。事實上，iPhone 和消費型無人機都依賴於嵌入式處理器（Embedded processors）、微型傳感器（Tiny sensors）、GPS 接收器（GPS receivers）和輕量（Lightweight）及強大的電池（Powerful batteries）。這些元件的可承受度和可連結性越來越高，業餘愛好者可以嘗試自己的無人機創作，其中一些則發展成企業，如：3D Robotics[53]（如下圖 6- 41[54]）和 DJI（Dà-Jiāng Innovations，DJI），該公司專注於消費者和民用市場。



53 http://www.robota.lu/3d-robotics-drones-fly-legally-at-worlds-busiest-airport/

54 https://www.roboticsbusinessreview.com/category/service

圖 6- 41：3D Robotics 無人機飛行

2013 年底，Amazon[55]是最早宣布將使用商用無人機進行貨物遞送活動的企業之一（如下圖 6- 42[56]）。從那時起，Amazon 已經制定了無人機交件中心的計劃，包括在每個主要城市的多層級執行中心，將無人機設置在大量人口的市中心，使其比普通公路遞件更有效率，其他企業也紛紛效仿。



圖 6- 42：Amazon 無人機送貨

2016 年 9 月，弗吉尼亞理工大學也開始與 Project Wing 一起測試無人機遞件服務。最初的測試主要為當地餐館生產墨西哥捲餅的送貨，由於無人機的增加，漸漸取代傳統的貨運和送貨服務。該測試於弗吉尼亞理工學院進行，不僅僅為貧困大學生提供食物。該所大學同時也是聯邦航空管理局（Federal Aviation Administration，FAA）批准的六個無人機測試站點之一，因此是收集無人機服務數據的理想地點。

55 https://www.youtube.com/watch?v=D-ASX3FK_jg

56 https://www.roboticsbusinessreview.com/category/service

Google 通過其 Google X（現為 X 公司）部門的專案部門，於 2014 年在昆士蘭內陸地區進行了包裹遞送試驗（如下圖 6- 43）[57]。X 公司 2017 年宣布，堪培拉（Canberra）及其周邊地區將成為其自主無人機輸送系統的主要測試場地。選擇這個地理位置是因為大型公園允許公司進行試飛，並且不在人口稠密地區飛行而進行送貨，它能夠裝載高達 1.5 公斤的貨物，且研究表明當地居民接受新技術和創新[58]。



圖 6- 43：Google X 無人機

如果通訊基礎設施因自然災害而損壞，或在不經濟區域或農村地區無法使用，無人機可以通過成為企業支持系統（Business Support Systems, BSs）或繼電器來提供行動連線，例如：Facebook 的大型太陽能高空 Aquila 無人機（如下圖 6- 44），旨在將物聯網的區域連接網際網路。Aquila[59]是由太陽能面板供電，速度達到每小時

57 https://hk.on.cc/hk/bkn/cnt/finance/20151103/bkn-20151103055937770-1103_00842_001.html
58 Williams, E. (2017). Google sister company Project Wing chooses Googong as autonomous drone delivery test site, Canberra Times retrieved at http://www.canberratimes.com.au/act-news/google-sister-company-project-wing-chooses-googong-as-autonomous -drone-delivery-test-site-20170715-gxbu0o.html
59 https://goo.gl/N2nX5W

120 公里；雖然翼展接近波音 737 飛機，但重量僅有 453 公斤；開啟巡航模式，耗電僅為 5000 瓦。按照設計規劃，這架無人機可以在 1 萬 8,000 公尺的高空飛行，通過雷射和毫米波技術，為那些傳統網路設備無法抵達的偏遠地區提供網路服務，網路覆蓋半徑為 96 公里。[60]

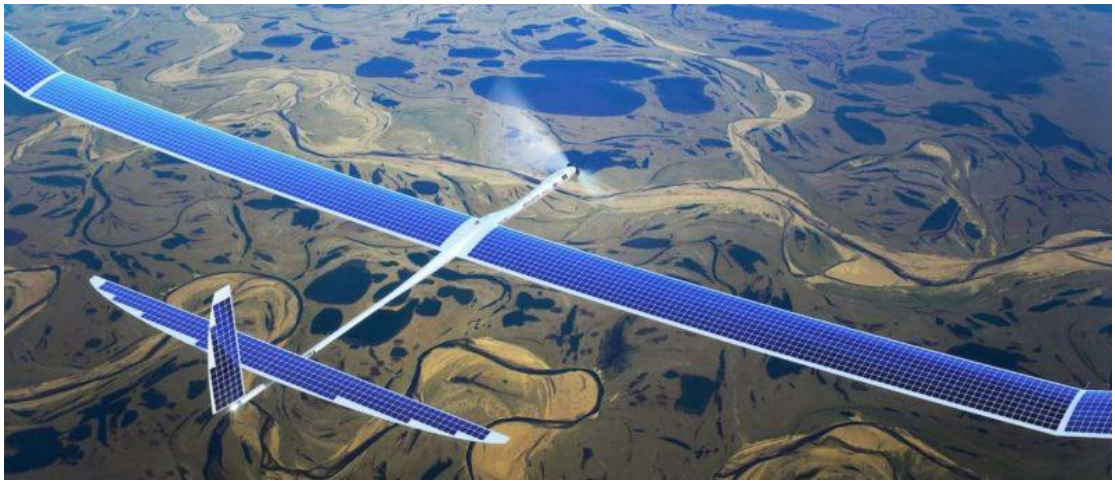


圖 6- 44：Aquila 無人機

資料來源：Wired

60 https://www.wired.com/2016/02/facebook-ai-shows-internet-drones-where-all-the-people-are/#slide-3

第五節　歐盟 5GPPP 垂直場域測試應用專案

5G 基礎設施公私協會（5G Infrastructure Public-Private Partnership, 5G PPP）於 2013 年 12 月由歐盟委員會（European Commission, EC）正式宣佈成立，該委員會預計投資超過 40 億歐元，重新考量基礎設施並創建下一代通信網路和服務，深入研究 5G 通訊基礎設施的解決方案、架構、技術以及標準等。5G PPP 的目標是保持和提高歐洲資訊與通信科技（Information and Communication Technology, ICT）產業的競爭力，並確保歐洲社會能夠享受這些未來網路帶來的經濟和社會效益。5G PPP 計劃將加強歐洲產業，以成功在全球市場上競爭並開闢新的創新機會，包含創造智慧城市，電子醫療，智能交通，教育、娛樂和媒體等新市場領域，能成為全球領導地位[61]。

一、 背景說明

5G 的採用取決於兩個關鍵因素[62]：技術及在商業應用，5G 應用與驗證案例具備以下的關鍵問題，特別是：

（1）5G 的商業利益是什麼？

（2）5G 如何提供這些好處？

（3）為什麼現在沒有辦法實施？

（4）5G 能使現在無法做到的變成可能？以及

（5）如何從 4G 轉換到 5G？

因此，創新應用實驗驗證即在實驗室環境之外進行活動，以驗證系統或其部分的功能，和實驗場域（試點）執行包括商業模式的試驗，旨在驗證最終用戶的產品或服務的商業附加價值，必須涵蓋

61 The European 5G Annual Joural 2018

62 https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2018/05/5GInfraPPP_TrialsWG_Roadmap_Version3.0.pdf

各種垂直使用案例和業務條件下的大規模部署方案，以及各自的技術和業務關鍵績效指標（Key Performance Indicators, KPI）。

5G 試驗和實驗場域的核心部分，是通過網路營運商、製造商與供應商之間的私部門試驗來實現，且越來越涉及垂直產業利害關係人。由於企業與研究中心、學術界和當地社區攜手合作，歐洲執委會和各會員國（Member States, MSs）以及特定領域的提倡者產生聯合戰略[63]，加速了歐洲在 5G 的發展。

根據歐洲 5G 戰略，針對垂直產業大規模採用 5G，並考慮公共利益和公共部門在能源、醫療保健或汽車等多種垂直產業中的作用，還將支持其他試驗和實驗場域。公共部門通過「公開」審核，其戰略擴大了雙邊和多邊私人試驗，因應策略和方向，將依制定於 5G 垂直試點和 5G 平台的倡議。

「5G UEFA EURO 2020」為主要的 5G 泛歐旗艦活動和 5G 實驗城市計劃。5G 泛歐盟路線圖還結合了不同歐洲國家的生態系統，做為合作夥伴產生乘數的效應。歐洲委員會正在促進從成員國提供一些泛歐洲走廊[64]，提供企業和利害關係人在連網與自動駕駛（Connected and Automated Driving, CAD）環境中測試和驗證 5G，此專案被認為是歐洲 5G 旗艦的經典案例。

本項 5G CAD 項目，吸引大量利害關係人，特別是網路業者、製造商、供應商、晶片組供應商、汽車製造商和道路管理相關產業。5G 基礎設施 PPP 第 3 階段提供了支持此類早期項目的發展路徑規劃，歐盟 5G 實驗發展路徑規劃策略藍圖，如下圖 6- 45。

63 9 https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/BROCHURE_5PPP_BAT2_PL.pdf
64 https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/new-5g-cross-border-corridors-connected-and-automateddriving-announced-digital-day-2018

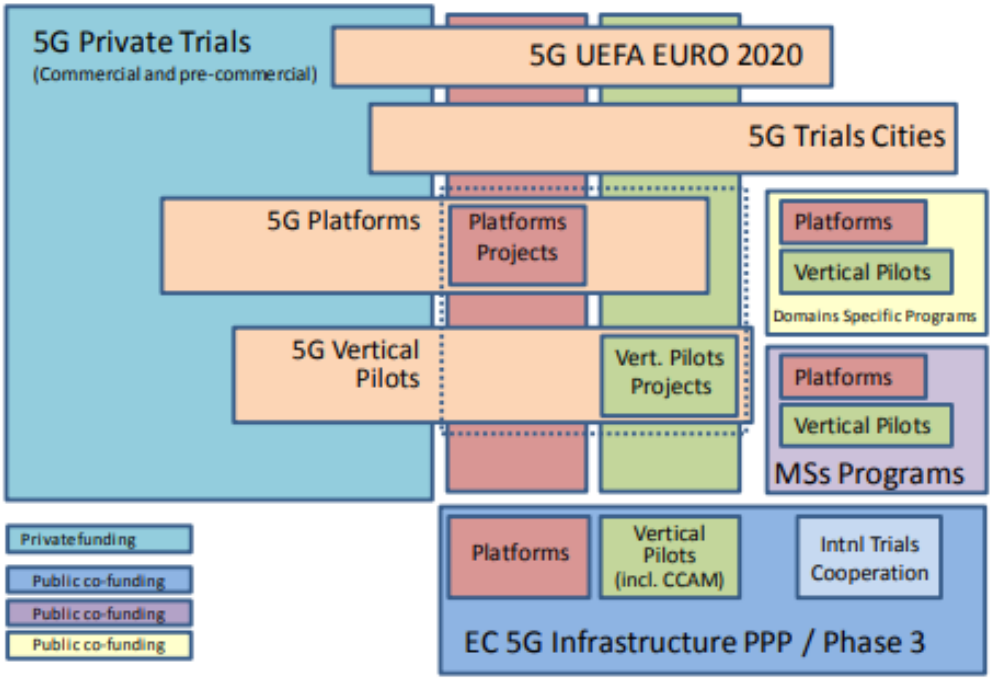


圖 6- 45：歐盟 5G 實驗發展路徑規劃策略藍圖

目前正在運行中的 21 個 5G PPP 第 2 階段項目（2017-2019）已經為特定個案的 5G 技術、元件原型設計、實驗發展出良好成效，包括與垂直利害關係人共同開發的垂直應用案例[65]。從 2018 年 7 月開始的 5G 基礎設施 PPP 第 3 階段項目（2018-2021）將通過至少另外 3 個項目擴大試驗，提供泛歐盟大規模端到端的 5G 驗證網路基礎設施，覆蓋約 20 個歐洲站點和節點，並以泛歐為基礎。該基礎架構將提供足夠的開放性，使垂直產業能夠在端到端間互相具備操作性，在整體網路架構中，使用 ad-hoc（特設的）網路資源控制來測試其創新的 5G 業務案例。

此外，於 2018 年 10 月開始的 3 項專案，涉及通過 CAD 走廊與成員國合作實施的垂直試點項目，將支持先進的 5G 聯網行動測試。這些專業需求，例如：5G 網路切片，其旨在共享基礎架構上運行，

65 https://5g-ppp.eu/5g-ppp-phase-2-projects/

而不會降低原先協議之服務層級。相關內容將由針對垂直實驗場域的 6-9 個專案進行增補，預計從 2019 年 5 月開始，並優先利用泛歐 5G 端到端設施。

5GPPP 之基礎設施第 3 階段專案，主要針對大規模試驗和試點，包括：完整的端到端 5G 系統、展示 5G KPI 和關鍵區別特徵，特別是端到端網路切片，基於服務架構，各種接取技術的整合，以及證明 5G 技術能滿足、整合眾多垂直產業的需求。從歐洲的角度來看，整合成員國來支持的多種開發和投資也很重要。目前正在開發歐盟 5G 可用平台及其相關功能的清單，與完整的 5G 目標環境相比，描述平台支持的技術和功能尤為重要。該清單將通過幫助不同的利害關係人（研究、公共部門以及產業等），為各自利益確定正確的平台（藉由發展通用分類和文件格式）來促進 5G 平台的通路。整體 5G 泛歐實驗路徑：包括相關的標準化、監管和生態系統之計劃時程總結如下圖 6- 46。

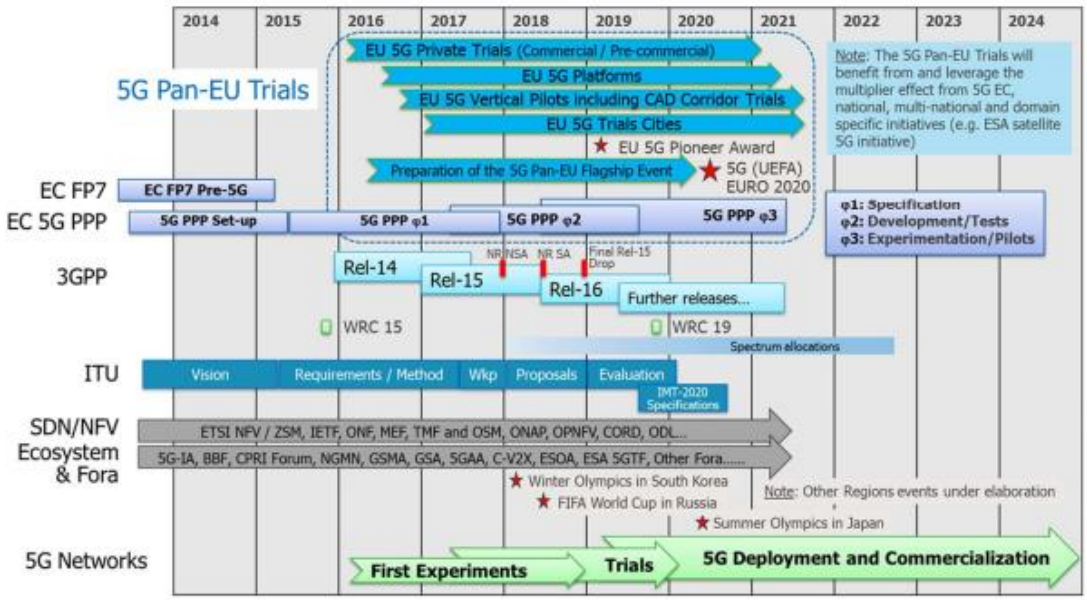


圖 6- 46：歐盟 5GPPP 實驗路徑規劃時程

垂直產業利害關係人的參與，也是通過 5G-IA 垂直任務組進行開發。垂直場域和相關協會（例如：工業、媒體、汽車、健康、公

共安全、能源等）目前被列為優先事項，並且具體互動。如圖 6-18 垂直場域具有不同的 5G 準備水準，而在一些垂直場域則較大存在場域聯盟，例如：EATA16 和 5GAA17 在汽車領域。這些將有助於 5G 在垂直場域內的應用。

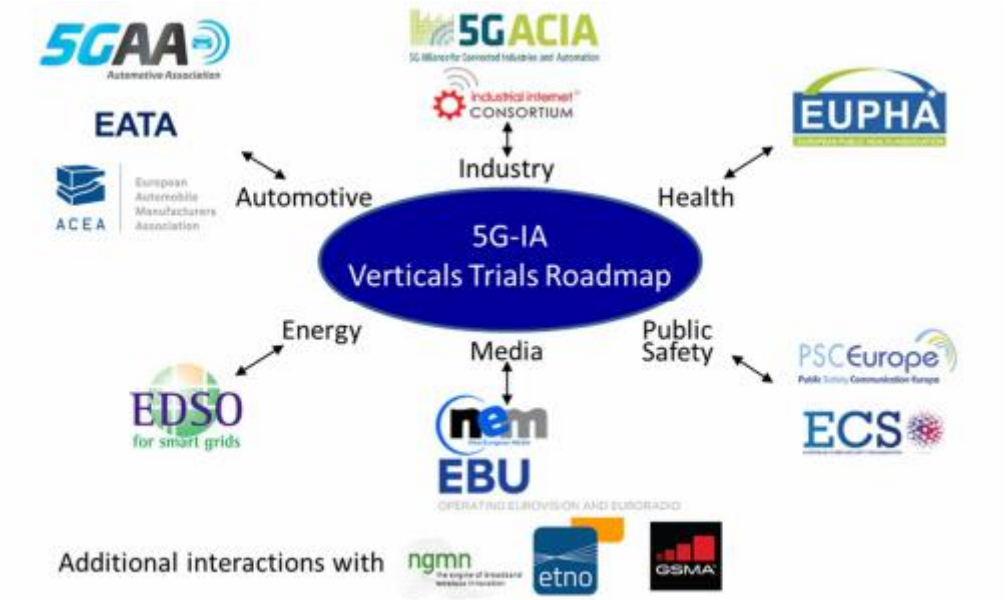


圖 6- 47：歐盟 5GPPP 垂直場域策略－合作之垂直場域與協會組織

5G 泛歐試驗是在全球實施的，在其他國家和地區已經展開相關措施。採用 3GPP 於 2017 年底完成的第一版 5G 新無線電（New Radio, NR）標準，是邁向全球的一個重要里程碑。5GPPP 將透過在隨後的 3GPP 版本中實施相關的試驗結果，以達成全球統一標準為目標。其實驗結果也利於其他合作國家，例如：

（1）日本，重點關注不同頻段的頻譜和互操作性；

（2）韓國，特別強調毫米波頻譜和 5G 垂直測試平台在異質網路環境中的整合（例如：聯網汽車）；

（3）中國，主要為車載通用（V2X）通信和增強型行動寬頻應用程式：

（4）臺灣，將在端到端測試台上進行試驗，以便在商場、高速列車和聯網汽車中應用；

（5）巴西，重點在於頻譜和標準合作（例如：通過 VHF 和 UHF 頻段的現場測試），其目標是在低密度區域提供高速接入。

二、 建構歐洲 5G 實驗場域

歐洲已經實踐且進行多個 5G 私人實驗和試點，並在不同的歐盟國家中宣布了 80 多項專案措施[66]，例如：Proximus 和華為在哈斯羅德進行了 5G 技術的戶外試驗[67]；TDC 在丹麥政府授予的 3.5GHz 頻段內，使用 100MHz 測試 5G 技術[68]；德國電信在 MWC 展示 5G 及 EAN 智能家居應用等[69]。涉及眾多利害關係人，特別是網路業者、製造商、供應商和一些垂直場域業者。歐洲的主要網路業者已經宣布了其第一批實驗結果和計劃，以進一步展示特定的 5G 功能，既可以與單一製造商/供應商進行雙邊合作，也可以與多家製造商/供應商進行多邊合作。

目前的大多數實驗和試驗場域都是針對 5G 技術的高數據速率和低延遲通訊性能的展示。實驗主要集中在與無線電相關的技術，如：高傳輸量、毫米波頻譜、天線技術等；在網路架構方面，如：虛擬化（Virtualization）、雲端化（Cloudification）以及邊際計算（Edge computing）等；且引進致力於特定案例的新技術（例如：物聯網技術，汽車技術等）。到目前為止，只有少數 5G 私企業試驗包括垂直利害關係人。隨著 5G 技術成熟度的提高，更多直接的垂直利害關係人參與實驗。一些已經公佈的 5G 實驗，包含在實驗平台上的聯合工

66 https://5g-ppp.eu/5g-trials-2/
67 https://www.proximus.com/fr/news/proximus-and-huawei-team-first-successful-5g-outdoor-trial-belgium-speeds-294-gbps-reached-end
68 https://tdcgroup.com/da/news-and-press/nyheder-og-pressemeddelelser/2018/5/tdc-efter-ny-test-vi-gaar-forrest-med-udviklingen-af-5g2494364
69 https://www.telecompaper.com/news/deutsche-telekom-showcases-5g-ean-smart-home-applications-at-mwc--1233729

作，將會開放新的垂直生態系統，以便未來在垂直實驗場域的轉型及 5G 的開發應用和服務。

三、 5G 垂直場域-實驗場域項目建立案例

為實現上述目標並吸引垂直市場，5G-IA 制定了以下戰略：

- 確定優先垂直場域：（1）媒體，汽車和智慧製造，（2）電子衛生保健，能源和公共安全以及（3）智慧城市，城市本身更像是一個橫向場域，涵蓋許多垂直場域。
- 確定協調活動的治理結構，考慮垂直利害關係人的參與。
- 在積極的意識和促進戰略的支持下，鼓勵垂直利害關係人參與。

各種組織已經為 5G 確定了不同的應用場景，包括 eMBB、uRLLC 和 mMTC，涉及的領域包含以下六個垂直領域之中：

（1）消費者和專業服務領域包括：媒體和娛樂（B2C，B2B2C），個人通訊、緊急通訊、智慧建築、智慧健康和移動服務。

（2）自動駕駛車（Autonomous cars）、車輛到基礎設施（Vehicle-to-infrastructure），娛樂和媒體服務。

（3）產業領域包括：工廠和流程自動化、能源、物流/運輸和農業技術。

（4）數位健康領域包括：智慧藥品，增強了供應鏈、成本清算以及醫療應急管理。

（5）公共安全與數位落差，包含：快速災害應變、公共活動管理、關鍵資產保護和偏遠地區覆蓋。

（6）智慧城市領域包括：公共管理，旅遊，輔助生活，人員流動和住宅能源管理和供應。

垂直場域領域構建了具體的試驗計劃。目前正在運行的 5G 基礎設施 PPP 第 2 階段還包括垂直場域的重要參與[70]。下表（6-1）舉例說明了來自不同垂直產業類別的 5G PPP 第 2 階段項目的一些實驗和試點。

70 https://5g-ppp.eu/newsletter-10/

表 6- 9：歐洲 5G 實驗專案

產業類別	專案名稱	垂直業者	試驗性質/重點	5G 應用型態	位置
聯網與自動車	5GCAR	Volvo 與保時捷等	高可靠度的端到端 V2X 網路與低延遲的 V2X 服務	eMBB、uRLLC	蒙雷里(Montlhéry)
智慧城市	5GCity	巴塞隆納、布里斯托及盧卡市議會等	市政府與基礎設施擁有者之分散式雲端與無線電平台為 5G 節點	eMBB、uRLLC (mMTC)	巴塞隆納、布里斯托與盧卡等地
	IoRL	BRE、Issy Media 與 Ferrovial	室內高頻寬、低延遲與位置資訊服務	eMBB	沃特福德、巴黎與馬德里等地
消費者與專業服務	5G-Xcast	BBC, EBU 與 LiveU	身歷其境媒體服務的 5G 網路	eMBB	薩里、慕尼黑與圖爾庫
	5G ESSENCE	Smart Mobile Labs GmbH	運動場館使用 5G 邊際網路	eMBB	伊佳奴（Egaleo）
	5G-Media	CERTH/ITI, IRT 與 RTVE	電傳應用、行動網路傳輸、廣電節目智慧製作與遠端遙控	eMBB	雅典、馬德里與羅馬等地
運輸業	5G-Transformer	CRF 與 SAMUR	轉化行動運輸網路到以 SDN/NFV 為基礎的行動運輸與計算平台	uRLLC	都靈、馬德里與尼斯等地
製造業	5G-MoNArch	漢堡港口管理局與	5G 測試平台	mMTC, uRLLC (eMBB)	漢堡
	NRG-5	Ineo 能源系統	智慧節能服務	mMTC, uRLLC	特爾尼（Terni）
公共安全與數位落差	MATILDA	ININ 網路協會	5G 緊急事件處理應用	uRLLC	康文翠

資料來源：5GPPP，本計畫摘要

四、 歐盟 5GPPP 運動場館的 5G 應用

UEFA EURO 2020 足球錦標賽將在歐洲的 12 個不同城市（格拉斯哥、都柏林、哥本哈根、布達佩斯、布加勒斯特、畢爾巴鄂、阿姆斯特丹、聖彼得堡、羅馬、慕尼黑、巴庫和倫敦）舉行。因為其盛況獲得媒體關注，使得 EURO 2020 成為 5G 泛歐試驗的絕佳機會。2020 年歐洲夏季，即 2020 年日本奧運會之前，與歐盟執委會 5GAP 的時間非常吻合。目的是歐洲 2020 年作為 5G 在歐洲的「發起活動」，提供一系列 5G 服務，圍繞歐洲 2020 足球杯進行試驗。

在每個城市中，都需要一個由地方政府進行組成，包含體育場館、網路業者、基礎設施供應商和應用服務提供商。阿姆斯特丹市與阿姆斯特丹競技場作為歐洲 2020 足球賽主辦之體育場，在 MWC 2017 大會中，公開宣布他們致力於參與 5G 試驗，並盡可能立即轉播賽事到更多城市。

每個立即轉播城市，需要與（至少一個）業者達成協議，目標是確保將有 5G 覆蓋範圍的服務。在特定場域試驗所需的覆蓋範圍及本地業者、製造商與供應商如何提供服務，兩者之間需要進行權衡。足夠的頻譜資源（3.4-3.8 GHz 頻段內每個業者須擁有至少 100 MHz，26 GHz 頻段內應擁有數百 MHz）。針對相關會員國的可用性，以便展示 5G 的性能。

即使不是即時轉播城市，也可以參與當地粉絲的 5G 增強和虛擬現實應用區域，這也能減少對覆蓋範圍和頻譜的要求。試用服務將與當地合作夥伴共同開發，例如：公共安全試驗需要與地方政府合作。雖然不同的地方政府和地方倡議可能導致不同試驗的差異，但是盡可能地在多個城市複製 5G 試驗服務。泛歐委員會，包括城市代表，體育場館和電信合作夥伴，將確保協調一致的工作目標和實施計畫，因這將涉及橫跨歐洲和全世界的行銷和溝通活動。

首屆 5G UEFA EURO 2020 試驗會議於 2018 年 2 月在阿姆斯特丹舉行，與在阿姆斯特丹競技場舉辦的 2020[71]創新峰會並列，參加者皆來自不同城市的政府和非政府組織。阿姆斯特丹市提出了可持續的 5G 計劃和 5G 案例，包括多媒體應用、公共安全和自動駕駛。

阿姆斯特丹市以及阿姆斯特丹競技場作為主辦體育場，以及其他幾個即時轉播城市，正在形成一個 2020 年歐洲城市的先鋒集團，這些城市不僅在 2020 年歐足總歐洲聯賽進行 5G 試驗，而且還開發了一個試驗計劃，可以鏈接到幾個垂直場域。這個先鋒隊的目標，將進一步確定在 2020 年期間，啟動 5G 的計劃 UEFA EURO 2020。參與討論之城市包括：阿姆斯特丹、都柏林、倫敦，哥本哈根、慕尼黑和羅馬，將在第一次 5G 歐洲足球錦標賽 2020 試驗會議期間進行討論。該倡議正在進一步發展，並將簽署並通知歐盟委員會後續發展。主辦城市的概念為 5G 作為泛歐服務的重點，將建立與歐洲足總歐洲聯賽的關係，以調查相關的權利和約束，使歐洲 2020 足球賽作為旗艦活動，並確保此試驗可以增加了歐足總歐洲聯賽的效益。

歐洲 2020 年活動的 5G 覆蓋範圍將是試驗的規範項目，但它不會成為 5G 泛歐試驗活動的焦點，重點應放在為多個不同城市提供的 UEFA EURO 2020 活動（例如：多媒體、自動駕駛、公共安全、自適應建築）量身打造的 5G 服務上。意圖讓每個參與城市以相同的方式提供相同的服務，以證明歐洲數位單一市場策略的有效性。

五、 歐盟 5GPPP 的 5G 試驗城市

許多歐洲城市已經宣布計劃成為 5G 試驗城市，希望可以成為 5G 試驗和實驗場域的先導。由於 5G 提供的新技術被視為可提升增強公共服務，提高城市吸引力和簡化城市功能的機會，因此不同的利害關係人聚集在一起，可為公眾帶來社會基礎設施效益，但仍然

71 http://amsterdaminnovationarena.com/summit/

需要城市治理和流程現代化，並部署顛覆性技術，以進一步實現公共服務的數位化。

私企業（非政府）試驗，為城市試驗奠定了基礎，形成了商業 5G 部署和城市環境使用的基礎。除私企業試驗外，大規模公開支持開放測試網路和試驗環境，預計將作為進行城市試驗的第一個平台和公共服務試點。這些測試網路環境（如：5G Barcelona、5G Test、Network Finland、UK 5G Hub 等等），匯集了企業技術供應商、業者和服務提供者以及公共機構和學術領域，為 5G 進一步的商業部署設定了初始生態系統網路和服務。5G 實驗城市包括：阿姆斯特丹、阿威羅、巴塞羅那、巴里、柏林、布里斯托爾、埃斯波、根特、拉奎拉、倫敦、馬德里、馬拉加、馬泰拉、米蘭、奧盧、帕特雷、普拉托、斯德哥爾摩、塔林和都靈。

這些試驗城市旨在為 5G 試驗階段期間，開展各種技術和服務驗證，並提供支持，以回饋有價值的垂直使用案例，尤其是智慧城市的概念，以驗證使用者在真實環境中的試驗。與私營企業相比，城市等公共設施通常具有不同的利益，例如：電子衛生保健、能源、交通、智慧建築或數位服務用戶網站，在這些領域中，共享技術平台、數據開放、當地生態系統及居民的最大參與是共同的優先事項。

城市實驗案例的目標是為公民提供產業和服務，並成為 5G 生態系統中的關鍵角色。例如：巴塞隆納市正在部署一項專案，該專案計畫整合並協調，將城市為公民提供的服務作為數位化的轉型，推出自己的 5G 巴塞隆納策略，以促進實驗的部署和整個城市的實驗場域等，成為一個 5G 智慧城市。柏林市旨在規定 5G 技術的研究和開發，該城市的主要戰略利益之一是實現創新的環境和技術基礎設施，最終可以在柏林街道為公眾提供 5G 體驗。奧盧市面臨的挑戰，則是在公共支出受限和需要部署破壞性技術的架構下，實現城市治理和流程的現代化，從而實現公共服務的數位化、自動化和機器人化，其中一個主要戰略重點是在加強創新帶動經濟增長、經濟和企業競爭力，為奧盧人民創造就業成果，以確保可持續和健康的生活環境。

帕特雷市的目標則是組織，轉變並將當前的數據基礎設施擴展到一個開放平台，且該平台將與 5G 技術相連。進行這種數位轉型是為了解決與帕特雷市有關的電子治理問題，同時提高其公民的生活品質。布里斯托爾市作為 5G 基礎設施協會（5G-IA）之主要英國 5G 樞紐站點之一，與布里斯託大學一起，向公眾展示 5G 技術。布里斯托爾市的目標主要展示 5G 塑造社會互動、娛樂、城市規劃和公共安全的未來潛力[72]。

六、 歐盟 5GPPP 實驗專案

(一) 第一階段專案

歐盟 5GPPP 第一階段自 2015 年 7 月 1 日開始，各界向歐盟執委會提交了 83 個實驗專案計畫申請，執委會遴選出 19 個專案開始進行，本計畫挑選以下 VirtuWind、5G-XHaul 與 METIS-II 等專案進行概要說明。

1、 VirtuWind 專案[73]

- 本專案概要資訊表

VIRTUWIND	專案代號	H2020-ICT-2014-2
	執行期間	36 個月
	開始日期	2015 年 7 月 1 日
	項目名稱	VirtuWind -風力發電場之虛擬及可程式化工業網路之發展原型

- 專案目標

72 https://vimeo.com/260787851/79f696c47c
73 https://5g-ppp.eu/virtuwind/

隨著連線設備呈指數增長，未來的網路需要由標準化和強大的生態系統，以促進開放式解決方案。這樣的設備需要一個簡單介面，可以連接到網路，而這要搭配通訊服務的特點，包括：確保寬頻、延遲、基時誤差、封包遺失或冗餘度。為了回應此需求，網路應該自動授予所擁有的網路資源，並基於設備規定和權限對中段網路設備進行排程。類似的需求也來自商業應用，其中應用程式本身根據其需要請求特定的網路資源。軟體定義網路和網路功能虛擬化提供了可靠的組合，實現可程式化之連線、快速服務配置和服務鏈 (如下圖 6- 48[74])。

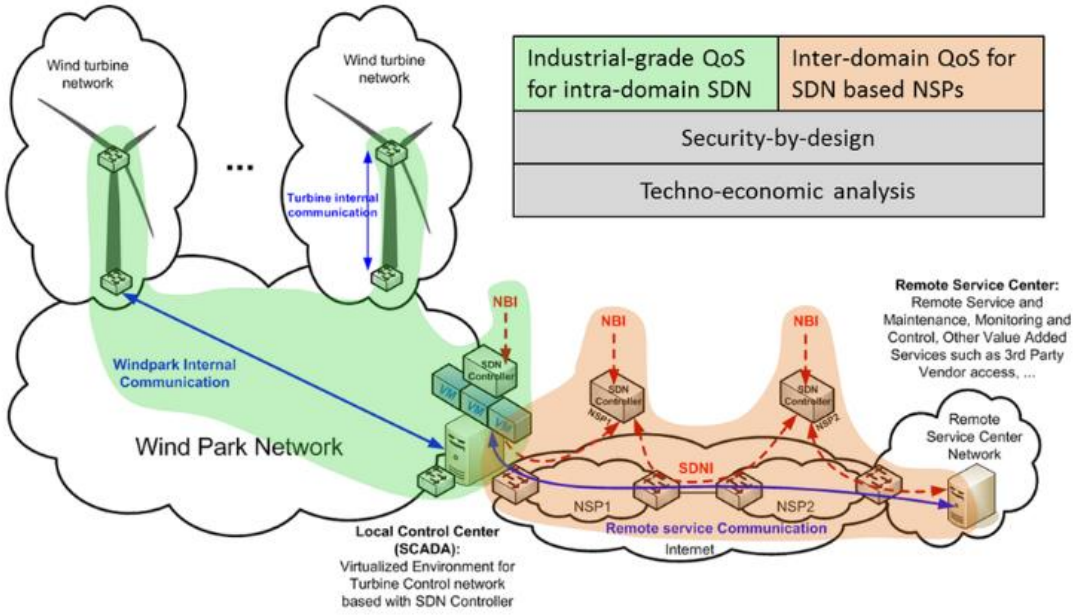


圖 6- 48：VirtuWind 的 SDN 和 NFV 生態系統

作為 5G PPP 計劃之一，VirtuWind 將開發和開放展示，依據模組化和安全架構的 SDN 和 NFV 生態系統，展示風電場域內和場域間場景的原型，作為工業網路的代表性案例，以及驗證所展示解決方

[74] https://www.lkn.ei.tum.de/en/research/eu-5gppp-virtuwind/

案之經濟可行性。VirtuWind 旨在推進 5G / SDN / NFV 技術，以實現不同垂直領域所需的端到端網路級保證。為工業領域標準化 SDN 和 NFV 將帶來解決方案的多重優勢。風電場控制網路已被選為 VirtuWind 的專業應用，因為風力資源已經成為可持續能源發電的主流。VirtuWind 解決方案在其他工業領域的進一步應用將為其通訊網路帶來多重優勢。此項目參與者包含：德國的西門子、德國電信、慕尼黑工業大學、倫敦大學國王學院、Intracom SA 電信等。

2、 5G-XHaul 專案[75]

- 專案概要資訊表

5G-XHaul	專案代號	H2020-ICT-2014-2
	執行期間	36 個月
	開始日期	2015 年 7 月 1 日
	項目名稱	5G-XHaul -具有用於小型基地台和雲端通訊接取網路認知控制平面的動態可重構無線光纖 (Optical-Wireless) 前迴路（Fronthaul）和後端迴路（Backhaul）

- 專案目標

小型基地台、雲端通訊接取網路（Cloud Radio Access Networks，C-RANs）、軟體定義網路和網路功能虛擬化是以低成本和靈活實施來滿足寬頻連接需求的關鍵推動因素。

[75] https://5g-ppp.eu/5g-xhaul/

小型基地台與 C-RAN、SDN、NVF 對於傳輸網路有非常嚴格的要求。動態前迴路和後端迴路之架構，以及超高容量光纖互連必須要有靈活的無線解決方案。但是，對於如何最有效地結合這兩種技術尚未達成共識。5G-XHaul 提出了一種可結合的光纖和無線網路解決方案，能夠靈活地將小型基地台連接到核心網路。

利用使用者的移動性，本專案解決方案允許將網路資源動態分配給預測和實際熱點。為了支持這些新概念，其將開發：

- 動態可程式化，高容量、低延遲、點對多點之毫米波收發器，與 6GHz 以下頻段系統配合使用。
- 共享光纖網路、提供彈性和精細的頻寬分配，與先進的被動式光纖網路合作。
- 軟體定義的認知控制平面，能夠預測時間和空間中的流量需求，以及重新配置網路組件的能力。

工業和研究合作夥伴均衡的 5G-Xhaul 集團，在通信系統和網路的各個組成領域中，都擁有獨特的專業知識和技能，將通過以下方式產生影響：

- 為移動場景開發新的融合光纖/無線架構和網路管理演算法。
- 引進先進的毫米波、光纖收發器和控制功能。
- 通過技術和技術經濟（technoeconomic）貢獻支持制定國際標準。

5G-XHaul 技術將整合於英國布里斯托爾的全市測試平台之中。這將評估新的光纖和無線網路元件，以及端到端的性能（圖 6- 49）。此項目參與者包含：加泰隆尼亞理工大學（UPC）、布里斯托爾大學、美國藍無線科技有限公司等等。

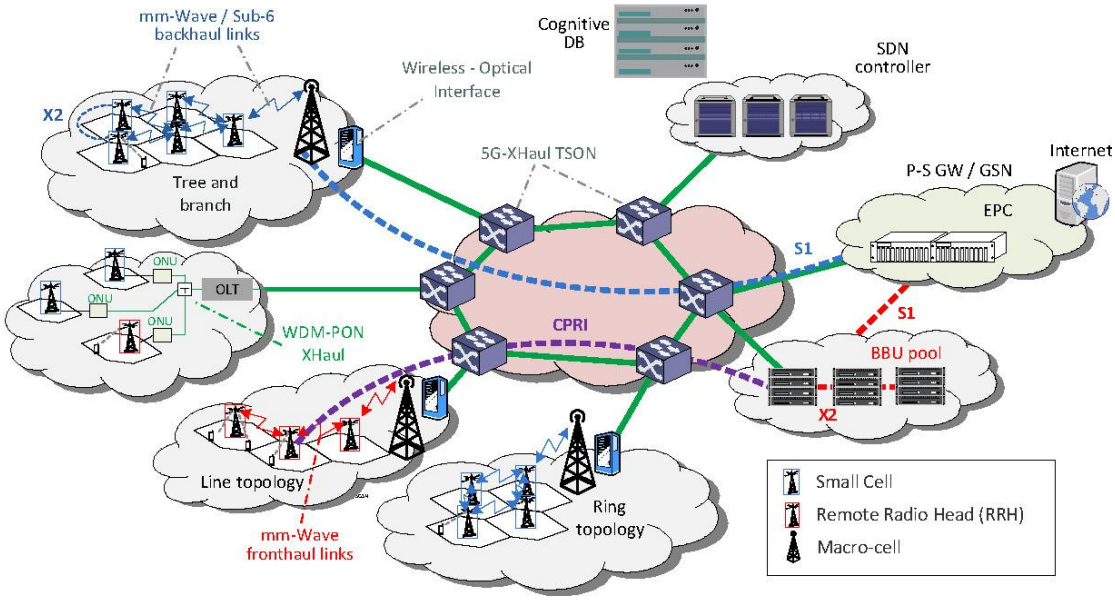


圖 6- 49：5G-XHaul 網路部署

3、METIS-II 專案[76]

- 專案概要資訊表

METIS II	專案代號	H2020-ICT-2014-2
	執行期間	24 個月
	開始日期	2015 年 7 月 1 日
	項目名稱	METIS-II: 2020 行動和無線通訊啟動器

[76] https://5g-ppp.eu/metis-ii/

- 專案目標

METIS-II的主要目標是開發整體5G無線接取網路設計，並提供有效整合和使用當前開發的各種5G技術和元件所需技術之推動因素，包括：

- 針對整體頻譜建構管理架構。
- 空中接口協調框架，可實現新舊空中接口的有效結合。
- 靈活的資源管理架構，提供有效調整、整合5G空中接口和無線電概念，以滿足不同流量需求和服務要求所需的動態。
- 跨層和跨空中接口系統儲存和移動框架，確保無所不在之連續性的接取。
- 通用控制和使用者平面架構，提供有效支持5G廣泛多功能服務，以及5G未來且具有成本效益的實施。

METIS-II以成功的METIS項目為基礎，將在5G-PPP內提供5G協作框架，以便對5G無線接入網路概念進行共同評估，並為監管和標準化機構制定協調一致的行動（圖 6- 50[77]）。基於其強大的國際集團和來自所有地區的合作夥伴，擁有強大的5G研發計劃（例如：歐盟、美國、中國、日本、韓國），包括大多數主要國際供應商，主要業者和主要研究人員，METIS-II 將擁有在全球範圍內建立共識的獨特能力，全面了解移動和垂直行業的需求，並向所有地區的相關機構、論壇展現結果。

[77] https://metis-ii.5g-ppp.eu/?doing_wp_cron=1539683709.1097729206085205078125

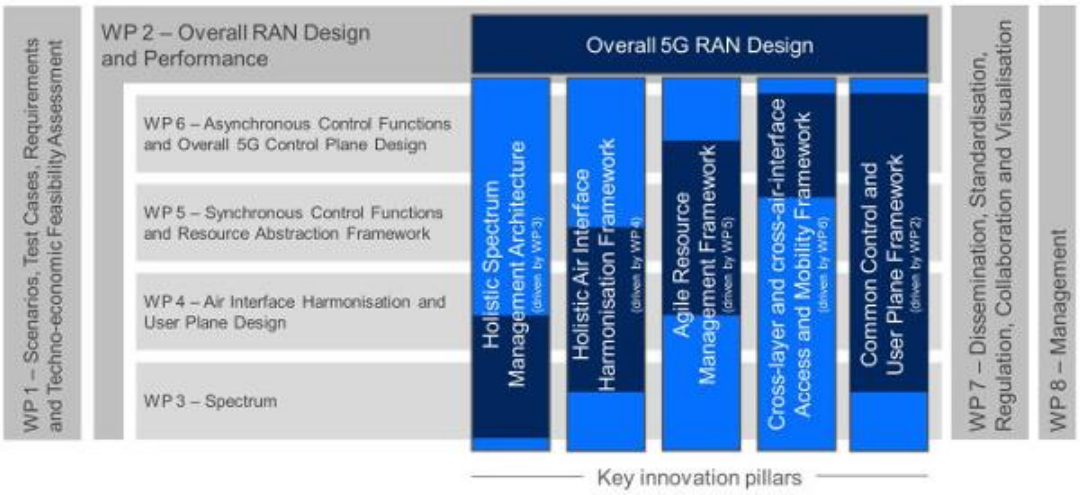


圖 6- 50：METIS-II WP 架構圖

(二) 第二階段專案

歐盟 5GPPP 第二階段自 2017 年 6 月 1 日開始，各界向歐盟執委會提交了 101 個實驗專案計畫申請，執委會遴選出 21 個專案開始進行，本計畫挑選以下等 5G Car、5G City 與 5G Tango 等涉及汽車業、智慧城市以及智慧製造相關領域專案進行概要說明。

1、 5G Car 專案[78]

- 專案概要資訊表

	專案代號	H2020-ICT-2016-2
	執行期間	24 個月
	開始日期	2017 年 6 月 1 日
	項目名稱	5G CAR－第五代通訊汽車研究與創新

[78] https://5g-ppp.eu/5gcar/

5GCAR 發布了第一份關於案例和實驗場景的報告，以支持快速，成功的未來駕駛且更加安全和有效的道路[79]。該項目提出了一種新的分類法，將聯網車輛的可能案例分為五類：合作機動（Cooperative maneuver），合作感知（Cooperative perception），合作安全（Cooperative safety），自主導航（Autonomous navigation）和遠端駕駛（Remote driving）。對於每種分類，5GCAR 詳細闡述了一個代表性個案來定義，包括具體通訊和汽車要求的定義，以及關鍵績效解決方案和評估要解決的指標（KPI）：

- 合作機動案例重點於以安全有效的方式將車輛合併到車道中（圖 6- 51）。

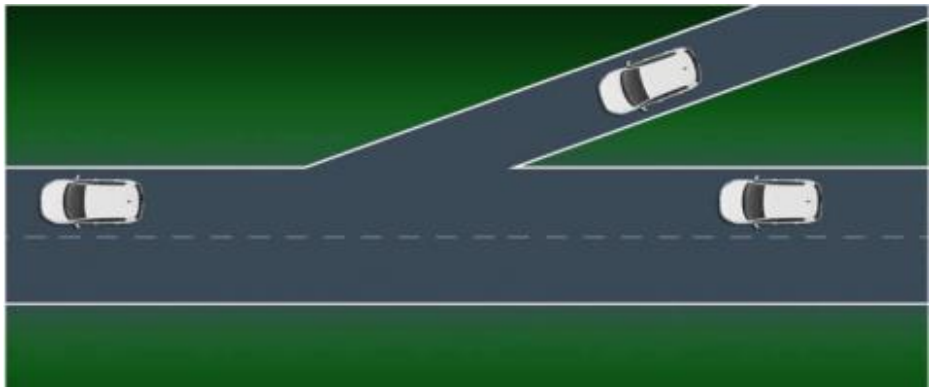


圖 6- 51：5G CAR 車道合併用例

- 合作感知之此用使用案例，著重於通過交換附近的不同連接車輛的感測器訊息，並組合感測區域，將特定車輛的感測區域延伸到其視線之外（如圖 6- 52）。

[79] https://5gcar.eu/wp-content/uploads/2017/05/5GCAR_D2.1_v1.0.pdf

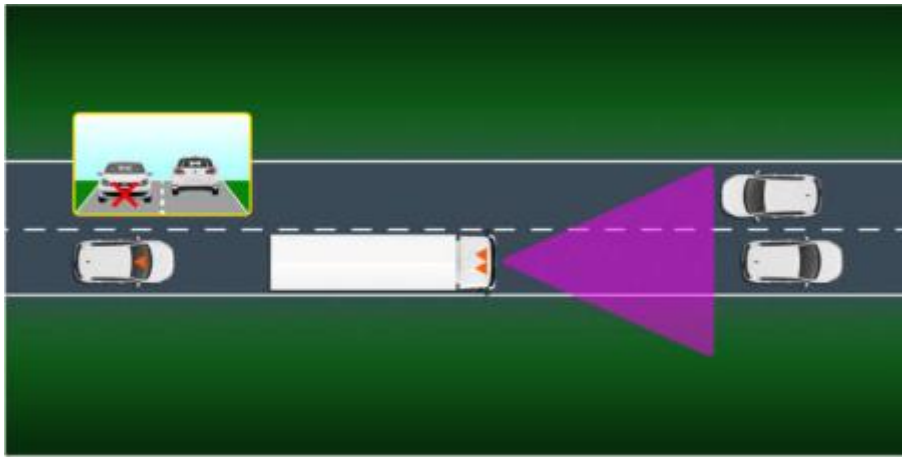


圖 6- 52：5GCAR 合作感知用例

- 用於自主導航之高清晰度地圖，著重於移動中車輛的動態地圖更新（圖 6- 53）。

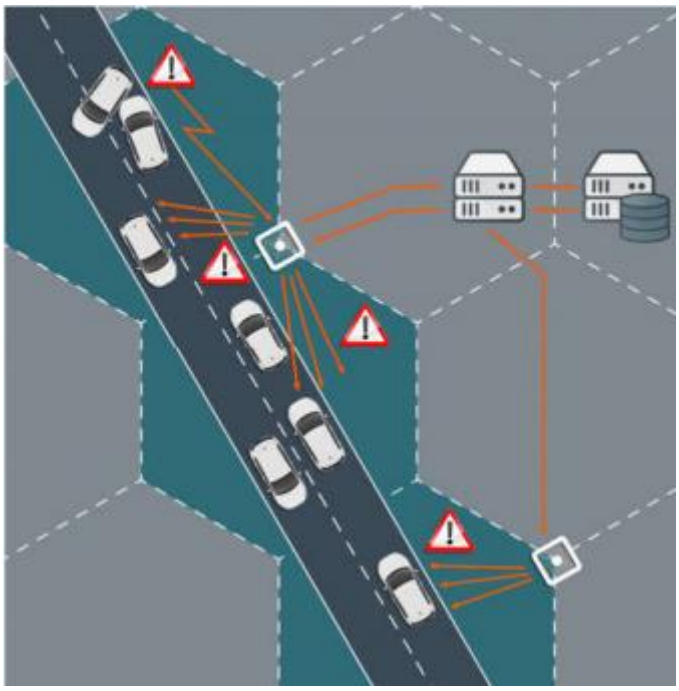


圖 6- 53：5GCAR HD 自主導航案例

- 用於遠端駕駛的自動停車案例，重點於將無人駕駛的車，遠端駕駛到最近的停車場（圖 6- 54）。



圖 6- 54：5GCAR 遠程駕駛用例

車輛到萬物（V2X）通訊是未來高度自動駕駛車輛的關鍵推動因素，與基於傳感器的技術相結合，將增強自動駕駛的性能，進一步提高交通安全性。為了保證安全和有效的駕駛，在提供數據速率要求娛樂服務的同時，對無線通訊系統提出了前所未有的嚴格要求。5GCAR 系統架構具有先進的服務品質，可有效支持各種 V2X 服務和商業模式。通過驗證已開發的概念，測試軌道上的三個案例：里程合併協調、合作感知聯網車輛和弱勢道路使用者保護。

5G CAR 項目的主要目標[80]為以下幾點，如下圖 6- 55：

- 開發整體 5G 系統架構，提高可靠性和低延遲，V2X 服務提供優化的端到端 V2X 網路連接。其支持安全和隱私、管理服務品質，並在多 RAT 和多鏈路 V2X 通訊系統中提供流量管理。
- 多種無線接入技術（multiple Radio Access Technologies，multi-RATs）的互通，可嵌入現有的通訊和嶄新的 5G V2X 解決方案。
- 為低延遲，高可靠性 V2X 通訊開發高效能、安全且可擴展的邊際鏈結（Sidelink）。
- 提出 5G 無線電輔助定位技術，為弱勢道路使用者和車輛增加了非常準確的本地化的可用性。

[80] https://5gcar.eu/

- 定義各種 5G V2X 服務的商業模型和頻譜使用備選方案。
- 展示和驗證已開發的概念，並使用測試站點中的自動駕駛方案，以量化的方式，評估 5G V2X 解決方案的優勢。

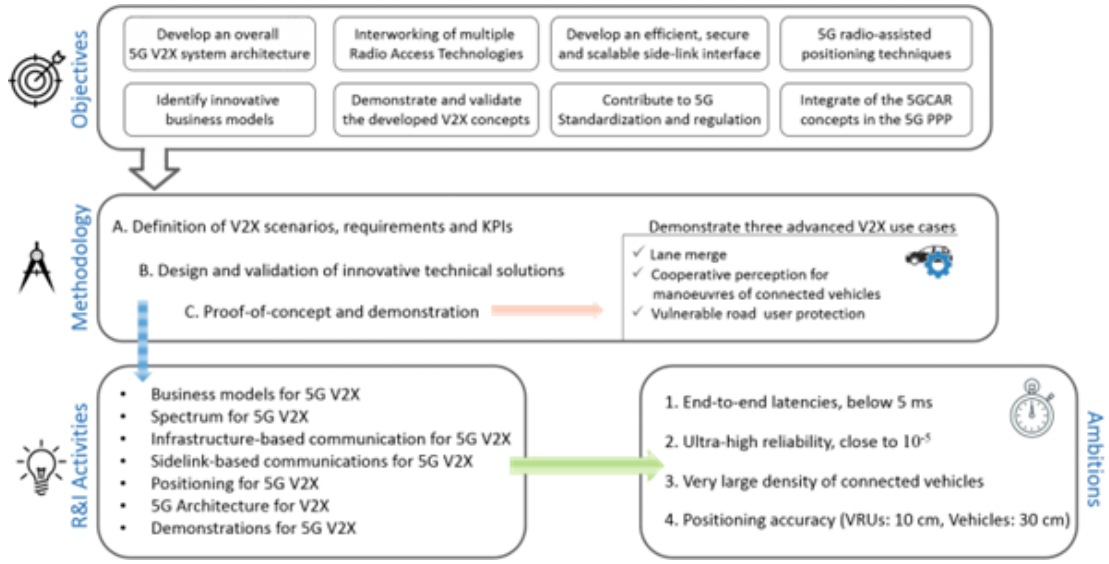


圖 6- 55：5G CAR 項目架構圖

2、5G City 專案[81]

- 專案概要資訊表

5GCity	專案代號	H2020-ICT-2016-2
	執行期間	30 個月
	開始日期	2017 年 6 月 1 日
	項目名稱	5GCity

- 專案目標

[81] https://5g-ppp.eu/5g-city/

5GCity 的最終目標是整個數位市場鏈投資回報最大化，包含：用戶、應用程式、雲端服務供應商、市政當局本身、電訊服務供應商和基礎設施提供商（如圖 6- 56 所示），並在三個不同城市（巴賽隆納、布里斯托爾和盧卡）進行展示。為了解決 5G 邊緣虛擬化領域開放的挑戰，5GCity 為市政當局和作為 5G 中立主機的基礎設施擁有者設計、開發、部署和展示分散式雲和無線電平台。

此一新模型的價值主張為[82]：其可以處理靠近收集位置的數據，從而最大限度地減少處理延遲；它從核心網路中卸載了數十億字元的網路流量；它將敏感數據保存在網路內部。市政府將承載數千個具有處理和存儲功能的 5G 小型基地台。因此，成為一個巨大的分佈式雲基礎架構，可以看作是一個開放的服務部署環境。

5G City 將解決五個營運目標：

- 5GCity 全市範圍的試點部署和驗證。
- 5GCity 傳播、商業推廣和標準化。
- 5GCity 分佈式 3 層架構：網路共享，網路切片和移動邊緣計算功能。
- 5GCity 網路虛擬化。
- 可擴展的邊緣管理和編排，以及 5GCity 邊緣服務編碼程式模型。

5GCity 的使用情境[83]包括：

- 媒體（垂直產業）：5GCity 聯盟包括不同的媒體相關合作夥伴，電視頻道、國家廣播公司以及專注於雲端中的內容獲取和製作或媒體公司協會的中小企業。將部署和評估三種不同的媒體案

[82] https://www.5gcity.eu/about-5gcity/

[83] https://www.5gcity.eu/use-cases/

例（移動即時傳輸、UHD 影像分發以及 Edge＆Cloud 的即時視訊蒐集和製作）。

- 電信使用案例：5GCity 將利用其虛擬化平台，使城市能夠創建包含：虛擬化邊緣和網路資源的動態端到端之切片，並將其出租給第三方業者。
- 城市服務（預防未經授權的廢物傾倒）：盧卡市每年舉辦一些與城市規模高度不相稱的活動，導致許多問題，包括：非法傾倒垃圾。5GCity 將使用城市的監控攝影機並發展虛擬化服務，可以自動處理攝影機附近的影像，以識別非法傾倒。

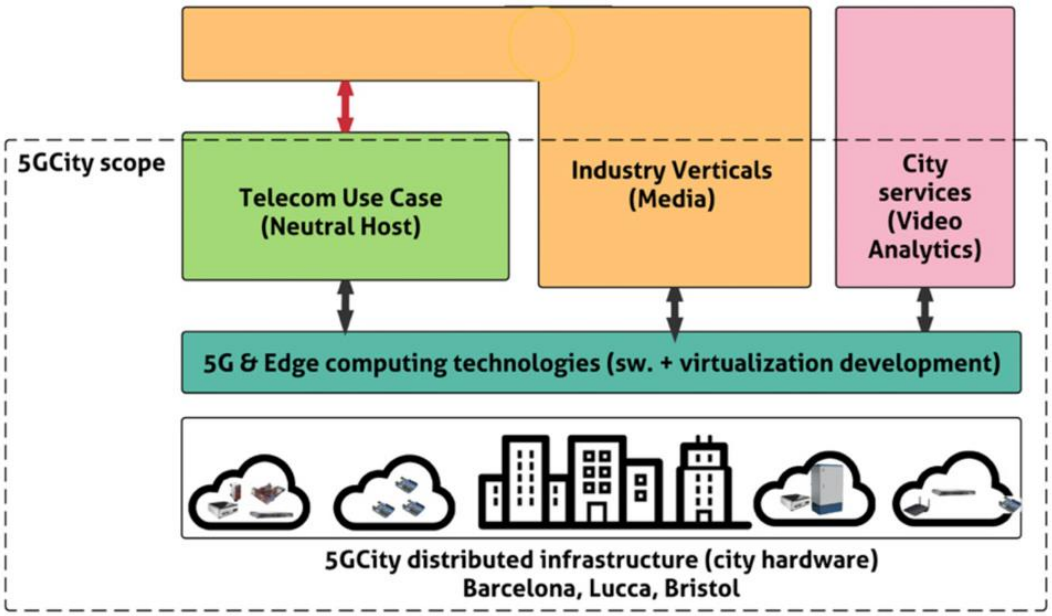


圖 6- 56：5GCity 項目架構圖

3、 5G Tango 專案[84]

- 專案概要資訊表

	專案代號	H2020-ICT-2016-2

[84] https://5g-ppp.eu/5gtango/

5GTANGO	執行期間	30 個月
	開始日期	2017 年 6 月 1 日
	項目名稱	5G Tango：全球工業的 5G 開發和驗證平台－特定的網路服務和應用

- 專案目標

5GTANGO 提出了 5G 網路的靈活程式化。5GTANGO 項目的主要目標是：

- 通過縮短服務開發週期，並限定要採用的網路服務，以縮短網路服務的上市時間。
- 降低對第三方開發人員的進入門檻，並將虛擬網路功能和應用程式元素組合為「網路服務」。
- 根據垂直應用的要求定制和調整網路，實現新的商機。
- 通過擴展 DevOps（Development 和 Operations）模型，加速工業中之 NFV 使用，並在垂直展示案例中，針對 5GTANGO 平台的網路服務功能進行大規模驗證。

5GTANGO 在 5G 的相關領域選擇了兩個實驗試點，智慧製造（Smart Manufacturing）和沈浸式媒體（Immersive Media），以說明 5GTANGO 框架提供的服務是可程式化、服務驗證和以及有編排功能之附加價值。就虛擬化網路要解決的需求而言，這兩種情況都是相輔相成的。這些試點項目將在專案期間內實施、驗證和展示。

5GTANGO 提出了以下智慧製造方法，其中，生產服務提供商提供「消隱（Blanking）」之需求活動。顧客在內部模組成型且組裝產品，而為了獲得最優化效率和最佳產品，在沖裁過程中，成型和裝配過程彼此之間需要進行交換數據，因此，顧客會直接下單到消

隱機中，即類似於部署虛擬網路功能，流程圖如圖 6- 57。但如果提供商同時為多個顧客生產，則這兩個顧客與其租用機器之間的流量必須相互隔離。

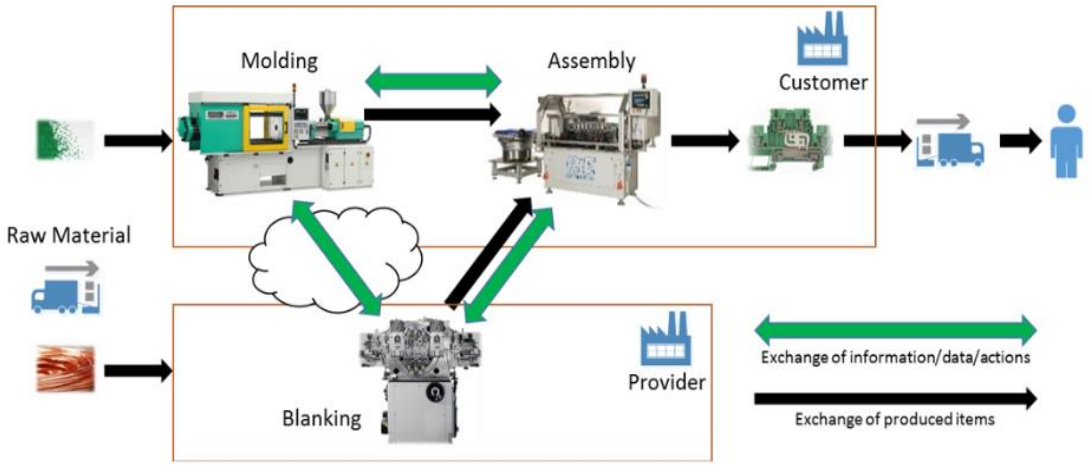


圖 6- 57：5GTANGO 在智慧製造的流程圖

5GTANGO 專案設計和實施自適應，讓使用者有身臨其境的體驗，提供端到端流媒體的服務，而該服務能夠將多源影像串流融合為 4K 360 度，增強現實/虛擬現實（AR / VR）之個人化內容。案例之場域如下圖 6- 58 所示。

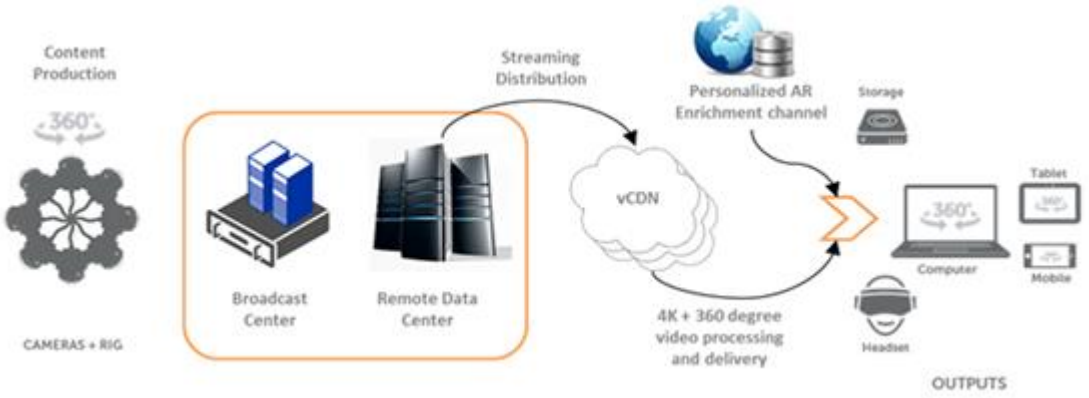


圖 6- 58：5GTANGO 在沈浸式媒體之場域

本項專案案例將驗證以下系統特徵：

- 提供自適應和身臨其境的端到端時，串流媒體之服務，作為 4K 流媒體和 AR / VR 內容的 360 度組合。

- 處理使用者協調和媒體同步，兩個串流媒體通路將融合在使用者終端。
- 直播將與平台和設備無關，其依靠DASH / HLS和現有的HTML5自適應播放器，它可被不同的設備使用如：移動設備（Mobile）、平板（tablets）和智慧電視（Smart TV），串流媒體可支援這些設備。
- 提供超個人化體驗，開發個人化的 AR 豐富頻道（手動和自動個人化體驗，制定內容等等）。

(三) 第三階段專案

歐盟 5GPPP 第三階段專案區分為基礎設施專案、汽車業專案以及橫跨多個垂直產業之進階專案。現階段 5GPPP 僅初步完成基礎設施專案之遴選，各界向歐盟執委會提交了 16 個實驗專案計畫申請，執委會遴選出 3 個專案開始進行。至於汽車業專案以及跨垂直產業專案目前尚未決議。

基礎設施專案預計自 2018 年 7 月 1 日開始，為期三年，進行歐洲 5G 基礎設施之佈建與測試。本計畫簡介 5G 垂直創新基礎建設（5G-VINNI: 5G Verticals Innovation Infrastructure）相關內容。[85]

5G-VINNI 將通過提供端到端（E2E）之設施，以先進垂直產業服務實驗來驗證新 5G 技術的性能，從而加速 5G 在歐洲的發展。

5G-VINNI 之專案策略包括以下：

(1) 設計一個先進、無障礙的 5G E2E 設施。

(2) 建立幾個 5G-VINNI E2E 互通網站的設施。

(3) 提供使用者友好的零接觸式編排，操作和管理系統以適用 5G-VINNI 設施。

[85] https://5g-ppp.eu/5g-vinni/

(4) 驗證 5G KPI 並支持執行垂直使用案例之 E2E 試驗，以證明 5G-VINNI 功能。
(5) 開發一個可行的商業及生態系統模型，以支援項目期間及未來 5G-VINNI 設施之生命週期。
(6) 展示 5G 解決方案對相關標準和開放資源共同之價值，以確保廣泛採用這些解決方案。

5G-VINNI 概念是開發（E2E 5G 設施，可用於第一次展示基礎設施之實際實施，以支持關鍵的 5G KPI，然後進行垂直產業實驗和驗證 KPI 的特定應用程序。然而，5G-VINNI 並不僅僅是一組互連的測試設施站點－它的基礎是可行使高度動態和靈活的網路架構、服務部署和測試，這將創建新的技術和商業服務佈署模型，反過來推動設施間互連，以便從任何設施調度來自網路和服務層的虛擬化功能，一個真正基於雲的網路實例，沒有功能邊界，跨多個設施站點實現[86]。

5G-VINNI 設施站點如圖 6- 59 所示，主要設施站點（挪威、英國、西班牙、希臘）和實驗設施站點（葡萄牙、慕尼黑、柏林）。此外，還有一個移動試驗設施場地，採用快速反應車輛的形式，用於公共保護和救災服務或是船舶。

86 https://www.5g-vinni.eu/concept-approach/

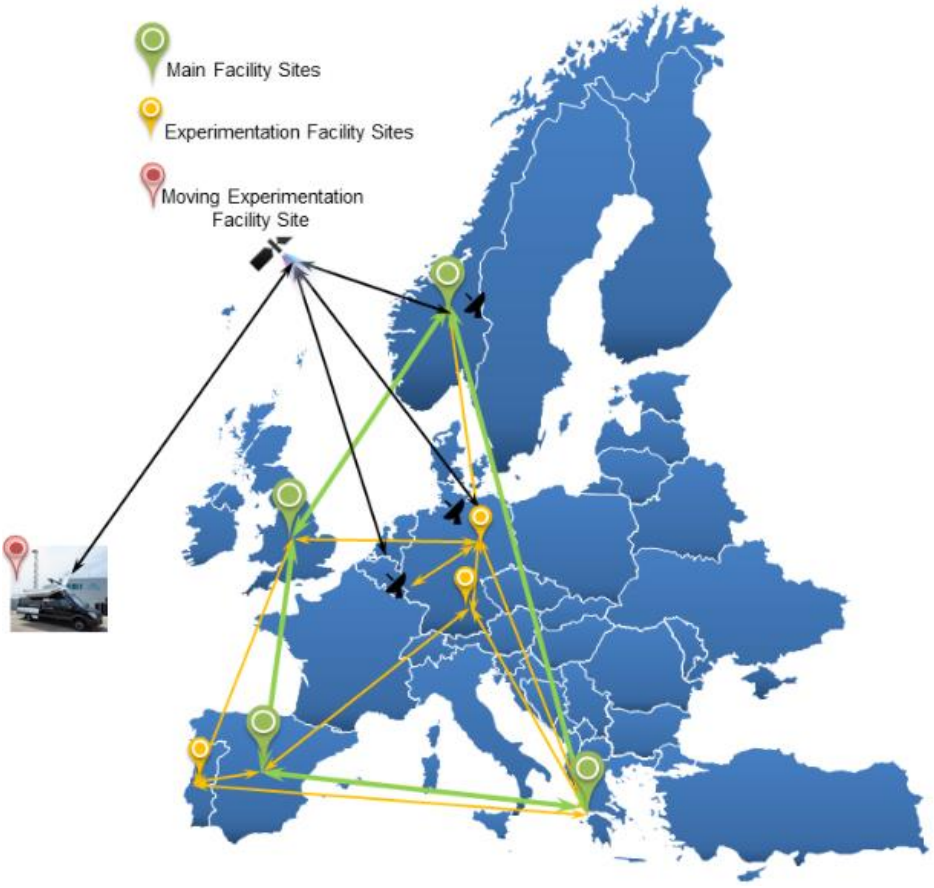


圖 6- 59：主要設施站點和實驗設施站點的 5G-VINNI 設施

5G-VINNI 最初作為其生態系統的一部分，包含按照 5G-PPP 架構文檔中的定義，將檔案分為三個層次，分為服務級別、網路級別及資源與功能級別。圖 6- 60 顯示關鍵元素，其描繪了 5G-VINNI 概念 E2E 設施架構的專業視圖。

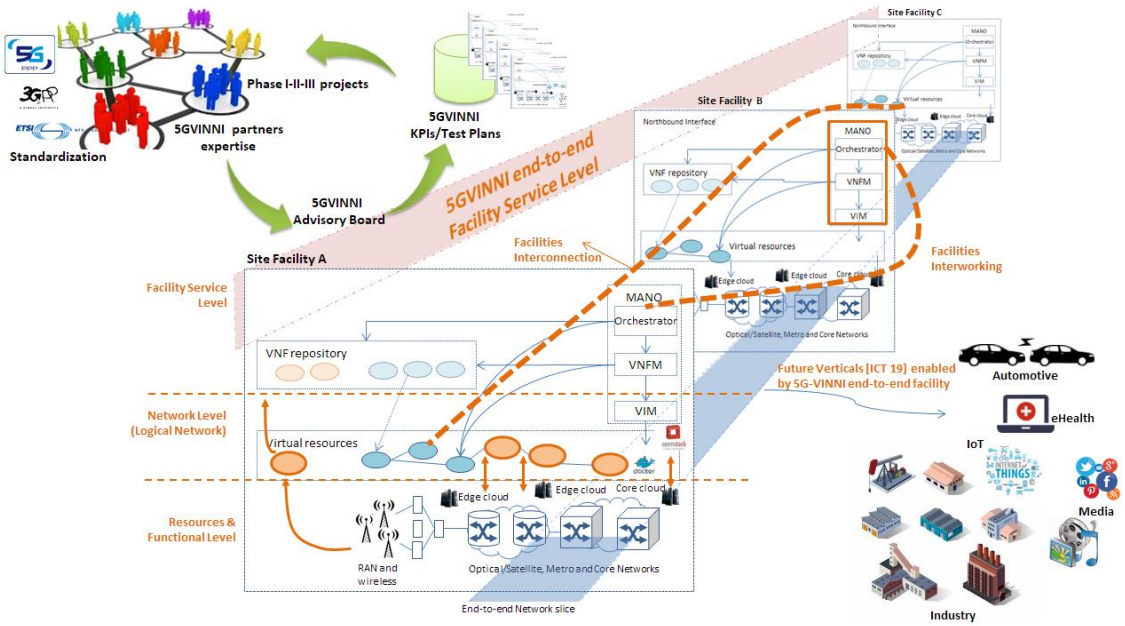


圖 6- 60：5G-VINNI 專業概念 E2E 設施架構

5G-VINNI 的成功在於其設施點的模組化，模組化的架構確保 5G-VINNI 設施現場配置和設施互通的最高自由度。任何 5G-VINNI 設施的服務級別或網路級別，都可以包含在由另一個設施驅動的邏輯網路中。這點創建了使用所有工具的整合、共享功能，以實現和測試案例的多樣功能，而不是只將垂直產業限制為單個站點。此原則先前已在 5GPPP 中定義為：遞歸（Recursiveness）。

遞歸提供了新企業模型和合作夥伴關係可能的服務，因此，服務提供商可以在網路中公開和使用不同級別上服務。這需要對遞歸的互連技術和商業原則進行根本性的改變，以使業界完全接受。這樣先進的步驟，在網路中將需要高級測試功能。圖 6- 61 中顯示的框架說明了 5G-VINNI 測試功能模組。這些都是整個 5G-VINNI 站點設施的總體基礎，並且基於實驗和測試執行器，通過開放 API 連接到適當的基礎架構元件。

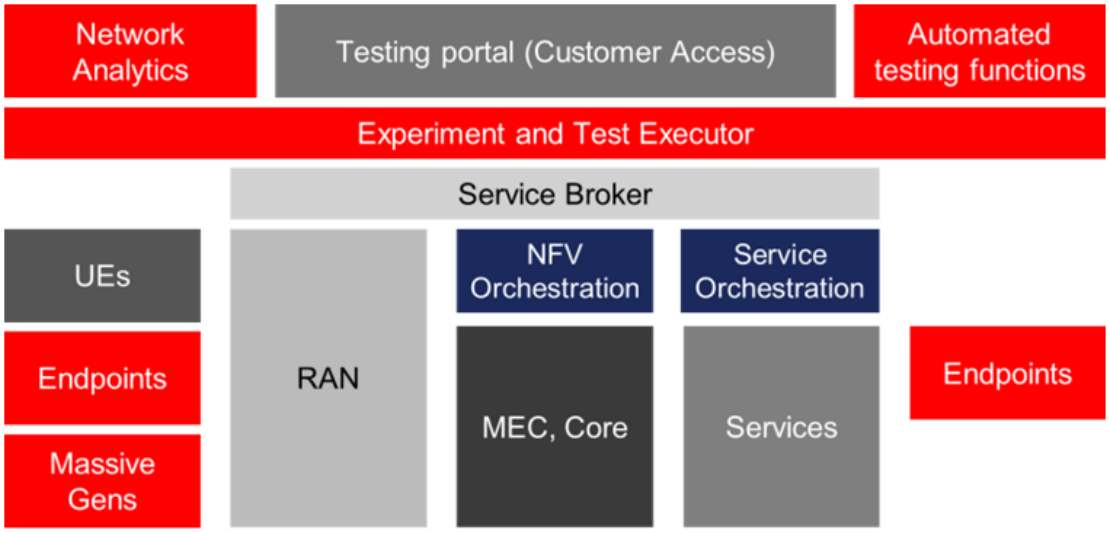


圖 6- 61：5G-VINNI 測試框架

5G-VINNI 之 E2E 設施，將展示 5G KPI 在新的 5G 接入技術中各種組合和排列方面的實現，且對於 5G-VINNI 將利用最新的 5G 技術，包括過往 5G PPP 專案的成果。該方法採用網路功能虛擬化、網路切片和嚴格的自動化測試活動，以在各種技術和網路負載組合下，驗證 5G KPI。為了確保實際的負載情況，5G-VINNI 將創建並提供一個開放架構，無論是在法律上還是在技術上，使垂直和同業專案能夠輕鬆採用 5G-VINNI 設施。例如：開放 API，5G-VINNI 設施在全歐洲的 5G 節點中已經有 7 個基礎設施實例，且隨著 ICT-19 項目於 2019 年會正式啟動，這個計畫將會逐漸擴大成長。

第六節　微型業者運作案例

一、 背景說明

隨著新世代行動寬頻的來臨，5G 將帶來超高傳輸速率、巨量設備連線能力以及極低網路延遲且高可靠度之通訊特性，帶動更多創新應用服務發展。由於 5G 系統是一全新功能的提升，而不僅僅是傳統 4G 網路的擴展。包括，5G 具有彈性的網路架構，藉由軟體定義網路（SDN）與網路功能虛擬化（NFV），能更精準針對使用者需求而提供最佳化服務。另 5G 也支援網路切片技術（network slicing），可基於使用者需求，動態調整對應不同傳輸需求而切割不同網路層，提供多樣化網路服務以及更多的垂直整合應用。而 5G 為滿足新世代室內室外各場景及各種新興行動應用的需求，無線架構路也朝向彈性、多樣化、大小基站協同及雲端方向發展，由於業者可以根據服務需求彈性增加和控制虛擬裝置及加值服務，以最具成本效益的方式彈性組網。因此 5G 也將打破傳統若干產業藩籬，進而催生出許多新型跨業結合之商業模式或新興產業。

未來 5G 佈建預計利用更高的頻段，勢將帶來更多小細胞基地臺的需求，也將導致現有網路基站數量的增加。然而行動基礎設施的建設通常具有高額沉沒成本，業者在小細胞基地臺布建上可能面臨網路營運層面(如室內維運困難)、技術資源層面(頻譜趨向共享)、基站規管層面(如全國涵蓋義務)等不同面向的困境與挑戰，因此近來國外產學業界推出「微型業者(Micro-operator)」概念，希冀藉助網路切片和頻譜共享技術，在特定場域布建小細胞基站，提供具有服務等級(QoS)的 5G 整合性應用服務，滿足用戶對室內覆蓋的需求。

Micro-operator 緣起於芬蘭的奧盧大學(Oulu University)，其主要概念是建構和運作室內小細胞蜂窩網路，並提供本地場域(Local)相

關的服務和內容[87]。Micro-operator 由三個特性所組成[88]。包括:（1）行動設備僅接取本地網路的特定服務(local network specific service)（2）在密閉式區域空間提供特定服務（3）依賴於適當可用的網路資源。由於 Micro-operator 的規模相對較小，利用有限的資源向特定數量的用戶提供特定和必要的服務，例如在醫院、學校、大型會議、體育場館、商場、大型超市和工廠等場域，即能以具有 3GPP 服務品質的無線區域網路來滿足用戶對各種 5G 應用服務的需求。

由於 Micro-operator 概念將藉助頻譜共享相關應用技術，因此各國電信主管機關面對新興無線接取技術不斷演進與消費者對行動寬頻服務需求的急速增加，除積極進行頻譜整備釋出新的頻率資源外，在頻率資源短缺且無法釋出新頻率資源的情況下，亦積極思考透過頻譜共享讓更多使用者共同使用特定頻段的可能性，以因應未來各類行動服務快速成長的需求。例如，芬蘭及法國即以 2.3 GHz 頻段 LSA(Licensed Shared Access)機制作為共享頻譜的發展，以下分別簡介該二國之發展現況。

二、 芬蘭

邁向 5G 時代的新興應用，芬蘭透過產學研各界通力合作，推動包括 WISE2、CORE+（Cognitive Radio Trial Environment +）等多年期的研究計畫，提供服務試驗和解決方案示範之開放式場域（testbed）環境，發展使用 2.3-2.4 GHz 頻段 PMSE 為主之動態共享保護機制。同時，芬蘭國家技術研究中心（Technical Research Centre of Finland, VTT）於 2013 年 4 月成功在商用 4G LTE 網路下，進行全球首次的 ASA/LSA 實境場測（Live Trial）運作展示。2017 年芬蘭產

[87] University of Oulu, Matti Latva-aho, Centre for Wireless Communications, https://futurenetworks.ieee.org/images/files/pdf/Workshop8Dec16/D1-Latva-aho-Micro-Operator.pdf

[88] P. Ahokangas, S.Moqaddamerad, and M.Matinmikko, “Future micro operators business models in 5G,” The Business and Management Review, vol. 7, no. 5, pp. 143–149, 2016.

業界(Nokia、Fairspectrum)也成功驗證將 LSA 演進(LSAevo)、網路架構及自動化工業微型業者(industrial automation Micro-operator)概念應用在 3.4-3.8 GHz 頻段，以解決目前頻譜碎片化的情形，讓會員國有更多的頻段可運用在 5G 創新服務上。[89]。

芬蘭在新世代網路的商業和研究進展迅速。在商業進展方面，芬蘭通信管理局（Ficora）於 2018 年 10 月宣佈完成 3,410－3,800MHz 頻段拍賣作業，共計三家業者得標[90]。釋照之使用期限為 15 年，並自 2019 年 1 月 1 日起生效。為促進垂直創新應用產業之發展，Ficora 要求得標者若於特定受限制之地理區域內（例如港口、工業設施、醫院或購物中心等），其範圍內之用戶有特殊網路需求時，得標者有義務在合理且無差別待遇的條件下，出租 3.5GHz 頻段使用權給前述垂直應用業者，或前述垂直應用業者選擇的服務供應商，以便在前述區域中提供網路服務。

在技術研究進展方面，芬蘭 VTT 技術研究中心於 2017 年 5 月宣佈「5G-Safe」計畫，希望配置 5G 通訊的連網車可以大幅減少交通事故的產生[91]。為期兩年的 5G-Safe 研究計劃將使用 5G 網路，試行 3D 影像的即時車輛間傳輸，並大規模實施先進的道路氣象服務，以支援駕駛人、道路操作人員和自動駕駛車輛管理系統。藉由該系統自動能為駕駛人提供資料和警告資訊，讓使用者駕車時不必分心其他任何事情。

此外，歐盟為推動數位轉型(Digital Transition)制定相關行動計劃，由於 5G 是推動城市數位化轉型的關鍵因素，並且只有在行動通

---

[89] S. Yrjölä, and H. Kokkinen, Nokia, Oulu, Finland & Fairspectrum, Espoo, Finland https://www.researchgate.net/publication/321756011_Licensed_Shared_Access_evolution_enables_early_access_to_5G_spectrum_and_novel_use_cases

[90] Finland's path to becoming a leading 5G country: Spectrum auction concluded, https://www.viestintavirasto.fi/en/ficora/news/2018/finland8217spathtobecomingaleading5gcountryspectrumauctionconcluded.html

[91] Digitimes, 芬蘭投入 5G 連網車研發 盼降低交通事故,2017-05, https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=&cat2=&id=0000499938_wkh8szic4gje4276b4yxw

信市場為新進入者提供創新時才能實現。因此，由芬蘭 Oulu 大學在歐盟數位轉型第 14 項行動提案中，即要求未來的 5G 監管要能支持城市中的本地微型營運商。[92]

三、 法國

法國政府於 2013 年 1 月成立一個工作小組（working group），負責設計合適的LSA頻譜共享管理架構，其工作小組成員包括:通訊產業主管機關 ARCEP（Autoritéde régulation des télécommunications）、國防部（Ministry of defence）與所屬武器裝備局（DGA），以及若干通訊產業之利益相關者。並由頻譜政策主管機關 ANFR（Agence nationale des frequences）擔任協調角色。初期重點工作以 2.3-2.4 GHz 頻率範圍之整備、規劃與演進為主，以及行動業務與航空遙測系統間共存運行的相容性研究。

2016 年初為驗證在現有情況下，LSA 可以保護現有用戶和新用戶，在前述政府單位的支持下，由 Ericsson、RED Technologies 及 Qualcomm 等產業成員，於巴黎持續進行 6 個月的 LSA 場測，共同展示全球第一個以 LSA 在 2.3 GHz 頻段內整合 LTE 先進載波聚合(Advanced Carrier Aggregation)技術的測試。其中，法國監管機構 ARCEP 和國防部授權 2.3-2.4 GHz 頻段。LSA 測試使用最新的商用 LTE 無線網路、用戶設備，以及適用 5G 的 LSA 用戶框架，並根據現有用戶的要求及時進行頻譜撤離(evacuation)，同時保持 LSA 許可用戶不間斷的寬頻連接。經 6 個月不間斷測試運行後，LSA 測試於 2016 年 6 月成功完成驗證 LSA 架構與 LTE 技術互補性的展示[93]。

此外，法國企業專網(Private mobile networks)應用方面，由 11 個運輸和能源領域主要經濟組織成立的法國運輸和能源利用協會

[92] EU Digital Transition, https://ec.europa.eu/futurium/en/digital-transition/better-regulation-action-14-development-5g-regulation-enable-local-micro
[93] EU CEPT, 2016, https://cept.org/files/17171/LSA%20Trial-Paris%20S1.docx

（AGURRE），為滿足其特定區域營運和安全任務發展的需求[94]，於 2017 年 11 月獲得法國監理機關 Arcep 暫時性配置(Temporary Allocation)之 2.6 GHz TDD（2575 - 2615 MHz）實驗頻段，在巴黎戴高樂機場以 LTE 2.6G 進行專業移動式無線電（Professional Mobile Radio, PMR）網路實驗，為期 6 個月，藉以測試驗證 LTE 企業專網的可用性及評估不同網路架構應用場景[95]，以便為未來在巴黎所有機場布建 LTE 專業網路(LTE Pro Network)提供機場營運有效覆蓋及行動寬頻服務。[96]同時，Arcep 也尋求利益相關者有關 2.6 GHz TDD 頻段 40 MHz 配置給 LTE 專用行動通訊網路使用徵詢意見，預計 2019 年將進行該頻譜拍賣作業。[97]

[94] Technical University, Delft, the Netherlands, Peter Anker,2018-09, The vision of 5G and the need for change in mobile spectrum access, http://www.telecomabc.com/personal/anker-5gvision-crowncom18.pdf

[95] Air France's LTE 2.6 GHz Professional mobile network experiment at Roissy Charles de Gaulle airport, 2017-05, https://www.linkedin.com/pulse/air-frances-lte-26-ghz-professional-mobile-network-roissy-regnier.

[96] ARURRE, LTE Pro Experimentation 2,6 GHz TDD Air France - Paris CDG Airport, http://www.agurre.fr/wp-content/uploads/AirFrance_LTE_ExperimentationEN_V3.pdf

[97] Arcep, French perspective on spectrum issues, 2018-09, https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-115737/Pierre-Jean%20Benghozi.%20Spectrum%20Madrid%202018%20PJB.pdf

第七節　結果分析與建議

根據ITU-R第56-2號決議所定義的，國際行動通信-2020（IMT-2020）系統支援包括 IMT-2000 和 IMT-Advanced 系統外的新功能新無線介面行動系統。面對 2020 年及未來國際行動通信 IMT-2020 系統（5G）的終極目標，ITU-R為解決地面IMT技術問題及考慮2015-2020年以後的系統部署，在 2015 年 7 月發布 ITU-R M.2376 報告，提供 6 GHz 以上頻段 IMT 技術可行性分析；並在 2015 年 9 月完成 5G 行動寬頻互聯社會的願景(Vision)，同時發布 ITU-R M.2083 建議書-IMT 願景(IMT Vision) – 擘劃 2020 年及以後 IMT 未來發展的框架和總體目標確定 IMT-2020 的功能。ITU-R 並於 2015 年 11 月 3 日發佈的 ITU-R 第 65 號決議，確立 IMT 未來（2020 年及其後）發展進程的原則(Principles for the process of future development of IMT for 2020 and beyond)，並概述制定 IMT-2020 建議書和報告過程中的基本標準和原則。

根據ITU提出的IMT-2020計畫，5G標準制定將於2020年完成。3GPP 目前 5G 技術標準發展時程，已於去（2017）年底在澳洲布里斯本會議時初步完成 Release 15 非獨立組網（Non-Standalone，NSA）標準草案制定，原先規劃於今年第三季完成 Release 15 獨立組網（Standalone）版本制定，最終則至提早於今年 6 月完成。5G NR 中主要特徵技術即是採用大規模 MIMO 技術，且運作於 6 GHz 以下頻段、超過 6 GHz 頻段甚至毫米波頻段。

按照過往發展經驗，相關產業於標準完成後，約需要 18 個月才能開始佈建網路及部署設備，但在 5G NSA 的情況下，電信業者以及設備製造商都希望可壓縮時程，並預計能將在 2019 年即可佈建，有些廠商/業者甚至在 2018 年末即開始佈建。

隨著技術演進，未來愈來愈多的電子商務、社群互動、智慧家電裝置，或是高畫質影音娛樂等多重服務需求，將加速推動物聯網智慧生活情境的到來，未來人類生活情境將可藉由行動裝置一手掌握生活上的大小事。在不遠的將來，各種新興應用正積極發展，像是行動醫療、車聯網（智慧車）、無人駕駛等，甚至人工智慧

（Artificial Intelligence，AI）的應用領域，也需要背後有強大的運算與傳輸平台，為各式各樣的終端設備藉由雲端物聯網聯結萬物的概念做智能化辨識、感知與決策。進而一步步實現長期照護、智慧交通、智慧工廠、智慧城市等，建構新興應用環繞之生活環境。

為確保及時回應產業對5G及新興技術之需求，歐洲（5G PPP）積極投入下一代通信網路和服務之發展，深入研究5G通訊基礎設施的解決方案、架構、技術以及標準等。5G PPP 的目標是保持和提高歐洲資訊與通信科技（Information and Communication Technology, ICT）產業的競爭力，並確保歐洲社會能夠享受這些未來網路帶來的經濟和社會效益。5G PPP 計劃將加強歐洲產業，以成功在全球市場上競爭並開闢新的創新機會，包含創造智慧城市，電子醫療，智能交通，教育、娛樂和媒體等新市場領域，能成為全球領導地位。

未來5G佈建預計利用更高的頻段，勢將帶來更多小細胞基地臺的需求，也將導致現有網路基站數量的增加。然而行動基礎設施的建設通常具有高額沉沒成本，業者在小細胞基地臺布建上可能面臨網路營運層面(如室內維運困難)、技術資源層面(頻譜趨向共享)、基站規管層面(如全國涵蓋義務)等不同面向的困境與挑戰，因此近來國外產學業界推出「微型業者(Micro-operator)」概念，希冀藉助網路切片和頻譜共享技術，在特定場域布建小細胞基站，提供具有服務等級(QoS)的5G整合性應用服務，滿足用戶對室內覆蓋的需求。

第七章　新世代行動通信及物聯網新興技術之頻譜整備與規管政策研析－國際政策研析

第一節　5G 頻譜整備與管制政策研析

一、 歐盟

(一) 政策發展近況與候選頻段更新

1、 頻譜政策藍圖與規管原則

歐盟無線頻譜政策小組（Radio Spectrum Policy Group, RSPG）基於鼓勵頻譜有效管理與使用的目標，訂定歐盟頻譜政策大綱，確保境內各會員國頻譜溝通協調、增進頻譜可用性與有效利用。歐盟層級的頻譜規管原則主要有以下三項目標：[98]

- 頻譜使用協同一致；
- 促進頻譜更有效的使用；
- 改善現有資訊的可用性，包括目前使用狀態、未來規劃與可用時間。

歐盟層級的頻譜管理原則，致力於降低官僚制度以及採取讓用戶來做決策的方法，使用戶更易於接取頻譜。為實現此一目標，執委會建立歐洲無線頻譜政策長期策略，讓全歐盟境內均可使用的頻譜管理方法，混合各種頻譜分配模式。例如透過以市場為基礎的分配方法，讓核配給個別使用者的頻譜能更有效；另外有些頻段則適合用免執照架構，以增進頻譜使用彈性為主要目標，例如共享式頻譜（如 WiFi）等。

同時，歐盟的頻譜管理政策具備兩項一般性原則：技術中立與服務中立。在考量頻譜重整議題時，更需要留意此二項原則。

---

[98] EC (2018), Radio Spectrum: coordination, harmonization and information, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/node/230 (last visited: 2018/6/13)

2、5G 政策與技術發展

歐盟 5G 技術發展，則由歐洲郵政與電信監管機關會議（European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, CEPT）推動，歐洲電子通訊委員會（Electronic Communications Committee, ECC）於 2016 年 11 月第 43 次 ECC 主要會議中，批准 CEPT 因應 5G 技術發展而採取之相關措施，並命名為「CEPT 5G 發展規劃」（CEPT roadmap for 5G），隨著技術發展，目前「CEPT 5G 發展規劃」已更新、修正至第六版，該版本於 2018 年 7 月第 48 次 ECC 主要會議批准。目前行動措施列表與 ECC 相關活動整理如下表 7- 1。[99]

表 7- 1：CEPT 之 5G 發展規劃

行動措施列表	ECC 相關活動
A、頻譜協同	
A.1：修訂 3.4-3.8 GHz 之協同措施，使該頻段更符合 5G 使用。	● 持續與 ECC/PT1 協作：藉由 ECC 第 48 次會議之批准，修正相關規範（ECC/DEC/(11)06），已辦理公眾諮詢。 ● 回應各會員國之 5G 相關工作：批准 CEPT 第 67 號報告後之相關作業。
A.2：提供監理機關避免 3.4-3.8 GHz 破碎化之指導綱要：因應許多 CEPT 國家於該頻段存在既有使用者，故發展未來頻段得以有效利用之相關計畫與時程表。	發展相關 ECC 報告初稿： ● 討論 3400-3800 MHz 頻斷碎裂化之相關報告； ● 行動通訊網路間同步議題之相關報告。

[99] CEPT (2018), CEPT roadmap for 5G, https://cept.org/Documents/ecc/45004/ecc-18-104-annex-17_cept-roadmap-5g (last visited: 2018/10/13)

A.3.1：發展導入 5G 於 26GHz 頻段之協同決議以設定相關條件，採取同頻與鄰頻內既有使用服務之適當保護措施。	回應各會員國之 5G 相關工作：批准 CEPT 第 68 號報告後之相關作業。
A.3.2：發展支持 ECC 決議（ECC Decision (18)06 之補充原則，包括： ● 協助各國制定 26GHz 頻段導入 5G 之相關策略工具，在存在固定通訊服務（Fixed Service, FS）之運作機制，必要時得允許 FS 持續運作； ● 促進 5G 導入與確保與地球探索衛星（Earth exploration-satellite Service, EESS）、太空研究（Space research service, SRS）與固定衛星服務（FSS）地球臺間之共存。 ● 行動網路間同步之選項。	包括： ● IMT-FS 共存之策略工具； ● 發展 ECC 對於行動與 EESS/SRS 地球臺之建議； ● 發展 ECC 對於行動與 FSS 地球臺之建議； ● 新工作小組推動於會員國內層級可採行適當之網路同步架構。
A.4：檢視 ECC 相關決議：確保對於行動通訊網路頻段的決議適合 5G 發展	● 針對 3.4-3.8GHz 頻段進行整備； ● 探討 700MHz、800MHz 與 1.5GHz 頻段； ● 檢視 2.1GHz 頻段相關決議； ● 檢視 2.6GHz 頻段相關決議； ● 檢視 1800MHz（與 900MHz）之相關決議； ● 未來將更進一步考慮 2.3 GHz 頻段。
B、WRC-19（超過 24 GHz 頻段）	
B.1：對於將 24.25-27.5 GHz 頻段識別為行動通訊的候選頻段，CEPT 表達明確的支持，並將在	● 對於 WRC-19 之議程 Al1.13 之相關活動；

WRC-19 會議前確保該頻段於歐洲地區之協同一致，採取相關決議並促使該頻段實現全球一致。	● 回覆對於 Al1.13 之 CEPT 簡要說明； ● 其他 ECC 相關活動。
B.2：除了 26 GHz 頻段外，CEPT 認為 40.5-43.5 GHz 與 66-71GHz 頻段有良好的潛力可作為歐洲未來協同一致的頻段。對於其他頻段之相關作業將在 WRC-19 會議後盡速發布。	● 對於 WRC-19 之議程 Al1.13 之相關活動； ● 回覆對於 Al1.13 之 CEPT 簡要說明； ● 更新 CEPT 對於所列相關頻段之研究。
B.3：歐盟已完成 27.5-29.5GHz 於寬頻衛星服務之協同一致，且支持該頻段作為全球通用之行動地球臺（Earth Stations in Motion，ESIM），故不建議該頻段作為 5G 使用。	● 會議籌備小組（Conference Preparatory Group, CPG）相關活動； ● 回覆對於 Al1.15 與 AL1.13 之 CEPT 簡要說明； ● 其他 ECC 相關活動。
B.4：參與和其他區域組織之討論，以促進 WRC-19 會議共識。	● CPG 相關活動。
C、垂直場域	
C.1 掌握各垂直應用所需功能之共同使用案例（例如公共災防應用、工業自動化、汽車、電力與鐵路等），各自所需之頻譜協同措施	由相關工作小組考慮對相關技術活動之衡量。
C.2 考量 5G 標準如何完備垂直場域之需求	於 ECC/PT1 與相關工作小組中進行討論。
C.3 調查垂直場域的可能性，共享共用平臺（例如共享式的企業專網或仰賴行動業者的網路）	考慮與垂直場域有關的既有活動，例如鐵路。 於 ECC/PT1 討論行動網路使用 3.4-3.8GHz 頻段的相關議題，例如聯網車輛等。
C.4 調查免執照機制對垂直場域關鍵應用之影響	調查相關議題（例如與歐盟會員國共同調查 ITS 使用 5.9GHz 之狀況）
C.5 檢視頻譜規管制度對於垂直應用的可用性，評估是否能達到兼容於 5G	持續由 ECC/PT1 考慮相關協同一致決議與建議之清單。
D.其他頻譜挑戰	

D.1 考慮衛星解決方案對 5G 的影響	完成衛星解決方案對於 5G 的相關工作，並於 2018 年 5 月獲得批准。
D.2 調查新技術的共享機會與挑戰	ECC/PT1 提報對於 24.25-27.5 GHz 與 3.4-3.8 GHz 頻段之相關報告。
D.3 實施固定通訊運作於 92-105 GHz 頻段及 130-175 GHz 頻段之相關活動。	完成 130-175GHz 頻段之研究並發布 ECC 建議，並提出 92-115 GHz 頻段之報告草案。
D.4 確保對於 57-71 GHz 頻段之最新限制、彈性化以及現代化相關規範，以建議 5G 與 WiGig 技術與應用，並考慮 ITS 使用頻率。	● 評估超寬頻數據系統於全頻段（55-71GHz）或部份頻段（55-66 GHz）之鬆綁規管。 ● ECC 同意 66-71GHz 頻段可作為免執照使用。
D.5 調查 5G 高頻段（超過 24 GHz 頻段）之使用與一般許可機制之影響	由 ECC/PT1 考慮未來適當之活動措施

資料來源：CEPT

3、5G 頻譜政策發展近況與釋出時間規劃

歐盟執委會在 2013 年建立 5GPPP 公私協力組織（Public-Private-Partnership），提供將近 7 億歐元作為確保歐洲在 2020 年能使用 5G 相關技術。執委會不僅提供技術研發相關補助，同時也提出歐洲電子通訊規則（European Electronic Communications Code）草案，針對頻譜核配、投資誘因與執照架構等議題上，支持 5G 網路的實踐與發展。執委會於 2016 年發布 5G 行動方案，詳列相關重點工作項目如下：[100]

[100] EC (2016), 5G for Europe: An action plan, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-5g-europe-action-plan-and-accompanying-staff-working-document (last visited: 2018/6/13)

- 行動 1：執委會將與會員國與產業利害相關人共同合作建立 5G 布建時間表，時程規劃於 2018 年底完成 5G 初期網路布建，而後於 2020 年底完成歐洲 5G 商用網路服務推動。歐盟執委會的目標包括：
  - 在 5GPPP 規劃下促進實驗案例，從 2017 年開始核發相關補助，希望在 2018 年起開始進行歐洲境內的試營運；
  - 鼓勵各會員國於 2017 年底前完成國內 5G 布建時程表，作為國家寬頻網路計畫的一部分；
  - 確保各會員國在 2020 年前至少有一個主要城市能實現 5G，2025 年前會員國境內所有都會區以及主要運輸幹道都能擁有訊號不間斷的 5G 網路覆蓋。

- 行動 2：執委會將與會員國共同合作，於 2016 年底前完成 5G 先導頻段之建議清單。執委會將考慮 RSPG 對候選頻段的相關意見，分別考量 1GHz 以下頻段、1-6GHz 頻段以及 6GHz 以上能滿足 5G 網路與應用需求的頻譜資源。

- 行動 3：執委會將與各會員國完成以下頻譜整備事宜：
  - 2017 年底前達成歐盟境內各會員國對於 5G 商用網路初步布建所需頻譜資源清單的協同一致。相關清單將基於 RSPG 的 5G 頻譜建議。
  - 針對 6GHz 以上適合 5G 使用的頻譜資源，持續研討找出適合的規管機制。執委會將參考 RSPG 與歐洲電子監理者團體（Body of European Regulators for Electronic Communications, BEREC）對於相關規管制度的看法。BEREC 則於 2018 年 6 月 14 日發布監督行動網路覆蓋義務規範報告草案[101]，並於 6

[101] BEREC (2018), Draft Common position on monitoring mobile coverage, https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/public_consultations/8165-draft-common-position-on-monitoring-mobile-coverage (last visited: 2018/6/20)

月 20 日發布公眾對該份報告看法之諮詢文件，希望了解各界對 5G 網路的規管制度之看法。[102]

- 行動 4：建立各國 5G 規劃發展時，執委會將與產業、各會員國與其他利害相關人完成以下工作事宜：
  - 藉由監督關鍵光纖與基地臺布建情境的演進趨勢，設定網路布建與品質目標，據以實現 2025 年所有都會區與主要運輸幹道均可擁有不間斷 5G 網路覆蓋的目標。
  - 找出立即可行的實務措施，增進行政管理條件與促進更密集基地臺布建的一致性。相關規範會作為歐洲電子通訊規則的條文參考。

- 行動 5：執委會將召集各會員國與產業，承諾將實現有關標準制定的相關目標，包括：
  - 確保預計於 2019 年底完成初步全球 5G 標準制定的可用性，以達成 5G 商轉時程的目標，並且讓超高速寬頻網路有更多的連線可能選項。
  - 促進無線接取與核心網路整體標準化方法的推動，考慮各種破壞性使用案例與開放式創新。
  - 在 2017 年底前建立適當的跨產業組織，藉由相關產業使用者的實驗，協助訂定產業支持的標準。

- 行動 6：加速以 5G 網路為基礎之數位生態系統的浮現，執委會將召集產業以推動下列措施：

[102] BEREC (2018), Notice for the launch of the public consultation for the common position on monitoring mobile coverage, available at: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/public_consultations/8166-notice-for-the-launch-of-the-public-consultation-for-the-common-position-on-monitoring-mobile-coverage (last visited: 2018/6/20)

- 計畫在 2017 年初進行關鍵技術實驗，包括藉由 5GPPP 測試新的終端與應用，展示 5G 對各重點產業的優勢。
- 在 2017 年 3 月前提交詳細的時程規劃，讓進階型試營運策試能夠推廣到全歐洲層級。（確保歐洲導入 5G 的領先地位）

- 行動 7：執委會鼓勵各會員國考慮使用未來 5G 基礎設施，以改善公共安全與國安通訊服務的運作績效。

- 行動 8：執委會將和產業與歐洲投資銀行集團（European Investment Bank, EIB Group）共同合作，確認創投機構的目標、可能的配置與模式。執委會認為應可於 2017 年 3 月底前評估其可行性，並考慮增加其他公共資金來源的可行性，例如從歐洲戰略投資基金（European Fund for Strategic Investments, EFSI）與其他歐盟金融機構的投資。

4、5G 頻譜政策發展近況與釋出時間規劃

依據 RSPG 於 2018 年 2 月發布第二次 5G 頻譜策略時程報告內容，對於歐洲 5G 候選頻段，RSPG 建議各會員國政策部門應採取以下 5G 頻譜相關措施：[103]

- 2020 年時，提供 3.4-3.8GHz 頻段的大範圍區塊供 5G 使用；
- 具彈性的執照規管制度（例如與地理區域相關的執照規範）；
- 需界定跨境服務的運作需求；
- 依據各國需求制定相對應之網路覆蓋義務；
- 因應市場需求，2020 年時能讓 26GHz 頻段中的大範圍區塊（例如頻寬達 1GHz）供 5G 使用；以及
- 以一般許可制適用 66-71GHz 頻段。

[103] RSPG (2018), Strategic spectrum roadmap towards 5G for Europe, available at: https://circabc.europa.eu/sd/a/fe1a3338-b751-43e3-9ed8-a5632f051d1f/RSPG18-005final-2nd_opinion_on_5G.pdf (last visited: 2018/6/20)

5、 實驗案例發展

因應歐洲足球冠軍聯賽將於 2020 年歐洲 12 個城市進行，因此 5GPPP 預計於相關場域進行 5G 實驗案例與應用測試。

5GPPP 於 2018 年 6 月公布 5G 泛歐試驗進程 3.0 版（5G Pan-European Trials Roadmap version 3.0），整理歐盟會員國境內對於 5G 實驗案例的推動計畫，如下表 7- 2。[104]其餘對於 5GPPP 專案之詳細內容，請參閱本計畫第六章第五節。

表 7- 2：歐洲 5G 實驗專案

產業類別	專案名稱	垂直業者	試驗性質/重點	5G 應用型態	位置
聯網與自動車	5GCAR	Volvo 與保時捷等	高可靠度的端到端 V2X 網路與低延遲的 V2X 服務	eMBB、uRLLC	蒙雷里(Montlhéry)
智慧城市	5GCity	巴塞隆納、布里斯托及盧卡市議會等	市政府與基礎設施擁有者之分散式雲端與無線電平臺作為 5G 中心節點	eMBB、uRLLC (mMTC)	巴塞隆納、布里斯托與盧卡等地
	IoRL	BRE、Issy Media 與 Ferrovial	室內高頻寬、低延遲與位置資訊服務	eMBB	沃特福德、巴黎與馬德里等地
消費者與專業服務	5G-Xcast	BBC, EBU 與 LiveU	提供大規模身歷其境媒體服務的 5G 網路	eMBB	薩里、慕尼黑與圖爾庫
	5G ESSENCE	Smart Mobile Labs GmbH	運動場館使用 5G 邊際網路	eMBB	伊佳奴（Egaleo）

[104] 5GPPP (2018), 5G Pan-European trial roadmap version 3.0, available at: https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2018/05/5GInfraPPP_TrialsWG_Roadmap_Version3.0.pdf (last visited: 2018/6/13)

	5G-Media	CERTH/ITI, IRT 與 RTVE	電傳應用、行動網路傳輸、廣電節目智慧製作與遠端遙控	eMBB	雅典、馬德里與羅馬等地
運輸業	5G-Transformer	CRF 與 SAMUR	轉化現有行動運輸網路到以 SDN/NFV 為基礎的行動運輸與計算平臺	uRLLC	都靈、馬德里與尼斯等地
製造業	5G-MoNArch	漢堡港口管理局與	5G 測試平臺	mMTC, uRLLC (eMBB)	漢堡
	NRG-5	Ineo 能源系統	智慧節能服務	mMTC, uRLLC	特爾尼（Terni）
公共安全與數位落差	MATILDA	ININ 網路協會	5G 緊急事件處理應用	uRLLC	康文翠

資料來源：5GPPP，本計畫摘錄

(二) 頻譜使用與處理

1、 候選頻譜使用狀態

依據 RSPG 於 2018 年 2 月發布之第二次 5G 頻譜策略時程報告，對於候選頻段包括 3.6GHz 與 26GHz，該頻段均有既有使用者提供服務中。[105]其中，部份國家於 3.6GHz 頻段之既有使用者為固定鏈路服務或衛星地球電臺接收站，26GHz 之既有使用者則有固定無線服務以及衛星固定業務等。

[105] RSPG (2018), Strategic spectrum roadmap towards 5G for Europe, available at: https://circabc.europa.eu/sd/a/fe1a3338-b751-43e3-9ed8-a5632f051d1f/RSPG18-005final-2nd_opinion_on_5G.pdf (last visited: 2018/6/20)

部份國家 3.6GHz 頻段之既有使用者為衛星地球電臺接收站，歐洲郵政與電信管理協會（European Conference of Postal and Telecommunications Administration, CEPT）已提供該頻段內固定無線服務與 5G 共存之技術報告（ECC Report 254）。各會員國應確保 5G 使用與衛星業者接取該頻段利益之平衡，另外也應該考慮如何透過技術規範，促進 5G 網路布建於該頻段。

ECC 對於 5G 候選頻段之整備，目前則以推動以下頻段為主，包括：

- 3.4-3.8 GHz 頻段：
  - ECC 於 2011 年發布決議（ECC Decision (11)06），達成 3.4-3.8GHz 於歐盟境內實現行動/固定通訊網路之協同使用，而後於 2018 年 7 月提出修正草案並辦理公眾諮詢，希望附以相關技術條件，確保該頻段適用於 5G。ECC 第 281 號報告（ECC Report 281）更進一步於 2018 年 7 月發布，更新 5G 使用之相關技術條件。此次更新反應了主動式天線系統（Active Antenna System, AAS）應用於 5G 的型態。ECC 正重新檢視其決議（ECC Decision (11)06）內容，並對外辦理公眾諮詢，目前該公眾諮詢已於 2018 年 7 月獲得批准，後續將於 2018 年 10 月進行之 ECC 會議中確認施行。為了協助監理機關處理 3.4-3.8 GHz 頻段可能之破碎化問題，ECC 已提出第 287 號報告草案（Draft Report 287），並辦理公眾諮詢。
  - 其餘 5G 技術相關措施包括探討行動網路的同步問題，處理未同步（unsynchronised）與半同步（semi-synchronised）問題。
- 24.25-27.5 GHz：
  - CEPT 目前已確認 26 GHz 頻段為歐洲初期協同頻段，提供了超過 3GHz 之連續頻譜資源，同時認為該頻段比其他候選高頻段擁有更好的傳播模型。為了確保同頻與鄰頻既有業務使用不受干擾，特別對於既有與未來 EESS/SRS 地球臺之干擾保護，ECC 發展相關決議（ECC Decision (18) 06），設定於

26 GHz 頻段導入 5G 之協同條件，此一決議已於 2018 年 7 月發布。

- 除此之外，ECC 正因應會員國監理機關管理 5G 與固定通訊、EESS/SRS 與固定衛星業務地球臺間之共存，可採取之相關措施，並考慮該頻段同步之監管選項。

ECC 對於 5G 頻譜整備之相關技術文件，整理如下表 7- 3。

表 7- 3：ECC 發布之 5G 頻譜整備相關技術文件

文件編號	內容	目前進度
ECC 決議(11)06 修正草案 ECC Decision (11)06	確保 MFCN 網路於 3.4-3.8 GHz 頻段運作達成頻譜配置協同一致，以及最底限技術限制條件。	2018 年 7 月 9 日公開諮詢，於 8 月 20 日諮詢結束。
ECC 第 281 號報告	分析 5G MFCN 於 3400-3800 MHz 頻段運作之相關監管技術條件。	2018 年 7 月 6 日批准發布。
ECC 第 287 號報告(草案)	處理 3400-3800MHz 碎裂化之指導綱要。	2018 年 7 月 9 日公開諮詢，於 8 月 20 日諮詢結束。
ECC 決議(18)06 ECC Decision (18)06	確保 MFCN 網路於 24.25-27.5 GHz 頻段運作之技術條件達成協同一致	2018 年 7 月 6 日批准發布。

資料來源：ECC，本計畫整理

2、 頻譜重整措施

RSPG 認為，若部份國家於 3.6GHz 頻段存在固定無線服務業務為既有使用者時，CEPT 已訂定相關技術規範管理固定服務的共存議題。不過，監理機關應考慮促進 5G 網路的布建，必要時藉由頻譜重整機制，讓該頻段可以完整提供給行動通訊業者。

關於 26GHz 頻段，現階段歐洲國家該頻段既有使用者大多為固定無線鏈路使用，因應固定鏈路站臺位置，對於 5G 小型基地臺的需求以及可能導致的干擾問題，將藉由新技術加以解決。CEPT 將研析 26GHz 頻段中同時使用固定無線業務（如點對點通訊及點對多點通訊）與 5G 的干擾共存議題。CEPT 研究共享所能帶來的正面影響，包括對於天線技術的改良，如巨量 MIMO 以及波束成形等（beamforming），讓 5G 與固定無線服務有不同的天線架設位置。

若共存機制無法實現時，RSPG 建議將既有固定無線服務清頻，以供 5G 使用。例如，將固定無線服務移頻至 26GHz 頻段內的其他頻率範圍，或變更地理位置，促進導入 5G。RSPG 認為，此種方式可能會比發展讓 5G 與固定無線接收站共存的複雜技術來得更具成本效益與可行性。RSPG 認為長期而言，26GHz 頻段將不再提供給固定無線服務使用。[106]

(三) 執照管理與規範義務

1、 執照架構

依據 RSPG 於 2018 年 2 月發布之第二次 5G 頻譜策略時程報告，建議各會員國需要採取彈性化的執照許可制度，包括適當的執照地理範圍（按國內需求區分為全國、區域、縣市或特定場域，如工廠等）、個別執照制以及一般許可制。[107]

RSPG 建議 5G 使用 26GHz 頻段時，應採個別執照制發照，不過，如果該頻段有其他使用者時，則亦可考慮一般許可制架構，以設定共享條件的方式保護其他使用者。

對於 66-71GHz 頻段，RSPG 則建議採用一般許可制架構，促進創新應用的發展。

(1) 中頻段執照整備

歐盟對於 5G 中頻段執照整備措施，主要參據 ECC 於 2018 年 7 月提出 MFCN 使用 3.4-3.8GHz 之相關決議（ECC Decision (11)06）修正草案，目前該草案已完成公眾諮詢。在草案中，ECC 擬提出相關決議，供各會員國參考、施行，決議內容如下：[108]

---

[106] 同前註。

[107] 同前註。

[108] ECC (2018), Draft revision of ECC/DEC/(11)06, available at: https://cept.org/files/9522/Draft%20revision%20ECC%20DEC%20(11)06.docx (last visited: 2018/10/08)

- CEPT 會員國主管機關對於 3400-3800 MHz 頻段應以非排他性專用方式核發給 MFCN 業者，不傷害對該頻段其他既有使用者之持續運作與保護；
- 主管機關讓 MFCN 使用 3400-3800MHz 頻段時，應符合決議附件中對頻率劃分方式之建議；
- 主管機關讓 MFCN 使用 3400-3800MHz 頻段時，應符合決議附件中最低限制技術條件之規範；
- 主管機關應考慮促進 3400-3800MHz 頻段內既有地面網路之重整，同時規範應參考本決議附件中對於頻率劃分方式與最低限制技術條件之規範；
- 主管機關應實施本決議附件中所述對於其他業務與 MFCN 共存使用之關鍵原則；
- 本決議實施之日自 XXXX 年 X 月 X 日起施行。[109]
- 各會員國應於 XXXX 年 X 月 X 日前於會員國境內實施本決議。[110]
- CEPT 會員國主管機關於會員國境內施行本決議時，應通知 ECC 主席與 ECC 辦公室。

為了提供更寬且連續之頻率供 5G 使用，ECC 積極整備 3.4-3.8 GHz 頻段之既有使用者，以往 CEPT 國家將 3400-4200MHz 核配給固定衛星服務之太空對地球鏈路（下行鏈路）使用。為處理此一問題，ECC 於 2018 年 7 月提出第 287 號報告草案，希望解決 3.4-3.8GHz 可能存在之頻譜碎裂化問題。[111]

[109] 本決議修正草案已於 2018 年 8 月 20 日完成公開諮詢，惟目前尚未公告最終定稿版。
[110] 尚未公告最終施行日期。
[111] ECC (2018), Draft ECC Report 287: Guidance on defragmentation of the frequency band 3400-3800 MHz ,available at: https://cept.org/files/9522/Draft%20report%20287.docx (last visited: 2018/10/08)

ECC 第 287 號報告草案更進一步整理歐盟對於 3400-3800 MHz 頻段整備之主要目標，包括：

- 目標 1：順利在 2020 年前達成歐洲 5G 布建；
- 目標 2：制定協同一致之 TDD 頻段配置計畫與共同技術條件；
- 目標 3：確保 MFCN 能取得大頻寬連續頻塊；
- 目標 4：確保投資與規劃之確定性。

為了盡早實現歐洲 5G 發展，ECC 第 287 號報告草案中，建議各會員國主管機關可考慮以下選項，包括：

- 選項 1：提早終止既有業務業者之執照效期，時間設定為 2020 年之前；
- 選項 2：搬遷既有業務業者至替代頻段；
- 選項 3：放寬既有於 2020 年以後屆期執照之使用，允許該執照可用於 5G 服務，並實施頻譜交易或出租，讓對該頻段有興趣之業者可在商業基礎上取得頻率使用權；
- 選項 4：搬遷既有業務業者之執照至頻段內的特定區塊，讓核配給 5G 服務的頻譜能釋出最大連續頻寬。

ECC 認為每一種選項皆有其優缺點，各會員國若要採取特定選項，應注意以下事宜：

- 選項 1、選項 2 及選項 3 可能會影響監管明確性；
- 選項 4 則需要考量實施該選項所需時間，且對提供 5G 服務有意願的業者應提供資金給搬遷活動。

為了解歐盟 3.4-3.8GHz 頻段之使用現況，ECC 第 287 號報告草案援引 2016 年 11 月歐盟對各會員國主管機關的問卷調查，各會員國使用狀態圖示如下圖 7- 1。

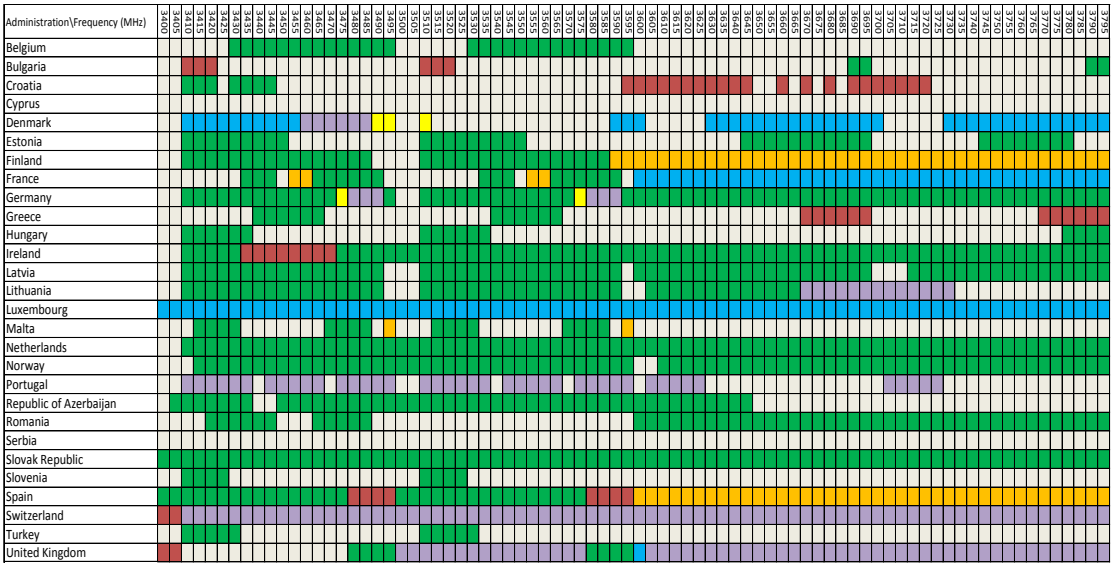


圖 7- 1：歐盟 3.4-3.8GHz 於 2016 年之使用情形調查

資料來源：ECC

ECO 更進一步整理執照分布比例，如下表 7- 4。

表 7- 4：歐洲於 2016 年調查 3.4-3.8 GHz 頻段之使用狀態分布情形

	種類	定義	占整體頻譜資源%
	空	未使用或未提供資訊	40.6%
	行動/無線寬頻	包含行動/固定通訊網路（MFCN）、寬頻無線接取（BWA，含固定無線接取（FWA）、無線市內迴路（WLL）與 WiMAX）、LTE 以及相似名稱	36.4%
	固定通訊服務	點對點固定通訊鏈路	3.9%
	固定衛星服務	固定衛星服務地球檯接收站	7.3%
	其他	包含軍用、PMSE、業餘無線電與其他	2.6%
	未知	技術中立或未取得資訊	0.2%
	混合型	在相同範圍內整合兩種或多種使用業務	8.9%

資料來源：ECC

除了使用業務之差異外，該次調查同時研析歐盟各會員國於 3.4-3.8GHz 之執照地理區域型態，當時（2016）有 51%的比例為全區執照、區域執照占整體執照比例達 46%，另有 1%的個別使用者傳輸執照。另外，2016 年也調查了各會員國主管機關於該頻段核發執照之頻寬大小，主要以 28 MHz 及 20MHz 為大宗。

由前述觀察應可發現，儘管歐盟希望將 3.4-3.8GHz 視為 5G 主要頻段，然各會員國該頻段使用狀態各有差異，只有近 36%比例將該頻段指配給行動通訊使用，有高達 40%比例為未使用（或未提供資訊）。同時，執照地理範圍與指配頻寬也有不同，因此要實現歐盟境內 3.4-3.8 GHz 頻段協同一致的目標，將有許多議題待處理。

ECC 第 287 號報告草案中，針對執照地理範圍討論三種執照型態，包括全區執照、區域執照以及個別傳輸執照。除了常見的全國執照與區域執照外，個別傳輸執照指具備特定位置、高度與傳輸功率的執照型態，該類型執照通常以個案方式申請，申請者的服務傳輸型態會依其商業需要而有差異，通常指企業專用行動網路，並採

先到先服務之申請制核配。[112]ECC 更進一步整理三種執照型態之優缺點，如下表 7- 5。

表 7- 5：ECC 整理之三種執照優缺點

執照地理範圍	優點	缺點
全區執照	● 減少監管負擔 ● 適合全區網路與業者	● 限制小型企業接取 ● 若缺乏布建義務，則對於偏鄉區域之布建誘因低
區域執照	● 讓業者可更靈活對有意願之區域出價 ● 可推動區域型業者 ● 讓既有區域業者能繼續維運 ● 促進競爭與其他行動通訊服務	● 需於執照界線設立緩衝區，避免不同用戶間之同頻干擾； ● 對監理機關管理、定義與核發執照造成額外負擔，也會影響業者網路規劃與維運； ● 無法促進區域、企業專網之發展
個別傳輸執照	● 適合只對特定時間、特定區域有需要的企業專網	● 對業者而言，布建整體網路將是負擔 ● 不適合有超額需求之特定區域

資料來源：ECC

為了避免頻譜執照碎裂化的問題，ECC 第 287 號報告草案中，建議各會員國主管機關應採取以下策略：

[112] Id, p.22.

- 清理、重整既有區域執照：許多業者持有的頻譜資源很少，也沒有足夠的資金投資、布建 5G 服務，故建議主管機關可考慮採取相關清理、重整措施；
- 促進整合：鼓勵頻率使用權之交易，讓全區業者能獲得足夠的頻譜資源，也可以對在多個區域擁有執照的區域業者整併其執照，不過，如果區域業者的使用頻率在不同區域，則需要透過移頻方式，整合為一張連續頻寬執照。
- 如果既有區域執照出現在部份區域未售出的情況，為鼓勵 5G 服務布建，ECC 建議主管機關可採取核發重疊區域執照的 5G 全區執照策略，並鼓勵既有區域執照業者交易手上重疊之執照範圍。

ECC 第 287 號報告草案認為，行動通訊在日常生活中扮演多樣化、持續提供服務的角色，未來行動通訊將會帶來更多新興應用案例，基於行動通訊之重要性，爰建議各會員國主管機關處理 3400-3800MHz 頻譜碎裂化議題時，可依循之綱要如下：

- 主管機關的決議應可支持整體國家策略，透過公開諮詢、考量市場需求，以及評估競爭、技術與經濟情勢；
- 主管機關應該從國家整體競爭議題的角度加以衡量，避免推動實現 5G 之策略反而擾亂市場；
- 新近核發之頻譜資源，應依循歐盟協同技術條件規範，並採取技術與服務中立原則，促進 5G 布建與 5G 多樣化案例之提供；
- 主管機關應於拍賣時盡可能促進連續大頻寬之頻譜資源釋出，確保每家業者可獲得足夠的連續頻寬相互競爭。實務上若業者可取得連續大頻寬之頻譜資源（80-100MHz），則可促進高速 5G 服務之實現；
- 重新核配 3400-3800MHz 頻段，並讓該頻段可於 2020 年間布建 5G，確保整體歐洲成功導入 5G 服務，並讓利害關係人可推動 5G 先導專案；

- 檢視頻段內既有業務執照核發狀況，建議主管機關可考慮重整頻段至不同區域或不同頻段，達成該頻段可於 2020 年用於 5G 的目標；
- 主管機關應評估既有寬頻接取執照（BWA）重新分配的必要，確保有足夠連續大頻寬提供 5G 高速應用服務，BWA 網路與 5G 網路缺乏同步，故必須預留護衛頻帶，影響可釋出頻率範圍；CEPT 正在發展適合的同步監管架構，應用於 LTE 與 5G，幫助業者與主管機關處理共存議題。
- 為確保 2020 年前有足夠連續大頻寬供 5G 使用，主管機關可採取以下行動：
  - 評估運作中固定通訊鏈路的位置與數量，找出可導入 5G 的最佳解決方案，例如鬆綁固定鏈路執照規範等；
  - 評估運作中固定衛星業務地球臺的位置與數量，找出可導入 5G 的最佳解決方案；
  - 既有執照持有者可透過商業協議，獲得適當的頻率分配。
- 主管機關應於設計 5G 執照原則時，考慮技術議題之影響，包括網路同步、護衛頻帶與共存議題等，ECC 建議盡可能降低技術間頻率邊界之數量；
- 應考量不同技術間的共存議題，例如 TDD 網路之同步，或 FDD 與 TDD 網路間的共存；
- 藉由雙邊協議或多邊協議，解決跨境協調議題。CEPT 正在發展 5G 與 LTE/5G 跨境協調之準則。

(2) 高頻段執照整備

RSPG 提出之第二次 5G 頻譜策略時程報告中，建議 5G 使用 26GHz 頻段時，應採個別執照制發照，不過，如果該頻段有其他使用者時，則亦可考慮一般許可制架構，以設定共享條件的方式保護其他使用者。

ECC 於 2018 年 7 月發布之 ECC 決議(18)06 文件，確保 MFCN 使用 26GHz 頻段（24.25-27.5 GHz）時，能擁有協同一致的技術條件，

反映該頻段作為歐洲 5G 頻譜之目標，並提出相關執照整備建議，供各會員國參考。ECC 決議包括：

- CEPT 會員國主管機關對於 24.25-27.5 GHz 頻段應以非排他性之基礎，提供給 MFCN 使用；
- CEPT 會員國主管機關應於 2020 年底前，至少釋出 1GHz 頻寬給 MFCN，以滿足市場需求；
- CEPT 會員國主管機關於 24.25-27.5 GHz 導入 MFCN 時，相關頻段配置與技術條件應參考以下決議；
- 對於 MFCN 於 24.25-27.5 GHz 之頻率配置應採 TDD，並參考決議文件附件中對於頻率區塊劃分之建議；
- MFCN 使用該頻段時，應符合決議文件附件中對最低限制技術（Least Restrictive Technical Conditions, LRTC）之規範；
- 本決議並未排除其他業務使用本頻段之權利；
- MFCN 運作於 24.25-27.5 GHz 頻段時，不得作為基地臺發射訊號至空中無人機終端之連線用途，僅能作為空中無人機終端發射訊號至基地臺之連線通訊；
- 本決議於 2018 年 7 月 6 日生效；
- 建議各會員國應於 2019 年 1 月 6 日前實施本決議；
- CEPT 各會員國主管機關實施本決議時，應通知 ECC 主席與 ECC 辦公室。

對於 66-71GHz 頻段，RSPG 於第二次 5G 頻譜策略時程報告中，建議採用一般許可制架構，促進創新應用的發展。

2、 規範義務

RSPG 第二次 5G 頻譜策略時程報告中，建議各會員國對於 5G 執照規範義務包括下列議題：[113]

- 執照地理涵蓋：RSPG 建議執照地理涵蓋可依據各會員國政策目標與國土地理特性，訂定涵蓋規範，例如人口密度、地形或因應產業與社會需求。
- 出租、交易與轉讓：RSPG 建議 5G 頻譜的所有商業執照均應允許出租或交易的方式，促進更多市場參進機會。

由於 3.4-3.8 GHz 頻段內尚有固定衛星服務（FSS）或固定通訊（FS）使用者，若該頻段未來供 MFCN 使用，則不同業務間之共存議題將需要依情境進行個案審查，沒辦法提供適用所有情況之單一保護距離、護衛頻段或電場強度限制。ECC 於 2018 年 7 月發布之決議 11(06)文件修正草案中，對於 3.4-3.8 GHz）內 MFCN 與頻段內其他業務之共存，提供關鍵原則供各會員國參考。關鍵原則包括：

- 頻率協調應主要考量當地布建情況、當地傳播條件以及當地執照使用狀態，因此較適合由國家層級主管機關制訂相關處理決議；
- 主管機關應考慮保護既有已取得執照使用者之執照效期與運作條件；
- 部分主管機關已實施有效的協調機制，該國主管機關可以自行裁量本原則之施行；
- 協調的關鍵目標是將可用頻譜資源使用效益最大化，同時保護頻段內現有執照與未來可能之執照使用；
- 協調過程與相關保護措施應僅適用於頻譜執照使用者；
- 資訊交換與協調過程對於頻段內所有使用者應為相互且互惠；

[113] 同前註。

- 在相關法律保護與保密義務規範下，向所有使用者提供頻段內之使用數據；
- 協調過程應精準且迅速，讓所有業者均能有效規劃頻譜使用與網路布建；
- 業者應有權使用其已登記之頻段，透過傳播模型最大化其成供協調之頻譜資源，無需在規劃階段進行實體量測；
- 各利害相關人均有責任有效利用頻譜，布建新的 MFCN 基地臺與新的 FSS 地球臺時，業者應認知需盡量減少對其他業務的限制；
- 本原則主要涉及國境邊界內之協調，對於位處不同國家主管機關的 MFCN 與 FSS 基站，其雙邊協議應參考本原則，以加快跨境協調時程；
- 各利害相關人應合理推動，盡快成功完成協調工作；
- 如果無法達成協議，任一方均有權將協調事宜提交該國主管機關。

3、 技術規範

歐盟對於 5G 中頻段之技術規範報告，主要依循 ECC 第 281 號報告，針對 3400-3800MHz 頻段作為 1-6GHz 頻段中最主要之 5G 頻段提出相關分析，該頻段將以分時多工（Time Division duplex, TDD）方式劃分。第 281 號報告內容包括調查以下：

- 對於 5G 於 3400-3800 MHz 頻段應採取之最適配置方式提出建議；
- 與鄰頻業務之共存（低於 3400MHz 頻段為特定無線電定位服務、高於 3800MHz 為固定衛星服務與固定通訊服務）；
- MFCN 間的干擾管理，特別著重於「同步架構」，以支持 MFCN 網路以 TDD 機制布建於戶外之情境。

第 281 號報告對於頻率配置方式、頻塊邊際遮罩（Block Edge Mask, BEM）、AAS 行動基站等提出相關技術建議，分述如下。

(1) 頻率配置方式

A、 中頻段（3400-3800MHz）

ECC 於 2014 年發布 ECC 決議(11)06 修正文件中，曾建議各位會員國將 3400-3600MHz 與 3600-3800MHz 視為個別頻段，分別考慮適當之頻率配置，不過，隨著 5G NR 技術演進，3GPP 已將 3400-3800MHz 視為單一頻段之部分（例如 NR 頻段 n77 與 n78 配置），因此，ECC 建議在 5G 情況下，各會員國無需分別檢視 3400-3800 MHz 頻段，而應將之視為單一頻段進行整備。ECC 建議此頻段之頻率區塊劃分應以 5MHz 為單位，僅管預期 5G 會需要更大的頻寬，惟以 5MHz 為單位時，將可更有效的處理既有業務原指配頻譜移頻、重整事宜，另外，以 5MHz 為單位，也讓各業者於競價時能更依據自身需求競標、組合頻譜資源。ECC 建議 3400-3800MHz 頻段之頻率劃分方式如下圖 7- 2。[114]



圖 7- 2：ECC 建議之 3400-3800MHz 協同一致頻率配置方式

資料來源：ECC

CEPT 則依據 ECC 第 281 號報告相關內容，發布第 67 號報告，希望在歐盟境內發展支持 5G 系統之頻譜相關規範，並檢視 3.4-3.8GHz 頻段適用之協同技術條件，CEPT 第 67 號報告考量 5G NR 規

[114] ECC (2018), Report 281: Analysis of the suitability of the regulatory technical conditions for 5G MFCN operation in the 3400-3800MHz band, available at: https://www.ecodocdb.dk/document/3360 (last visited: 2018/10/08)

格支持最大頻寬為 100MHz，故建議各會員國釋出 3.4-3.8GHz 頻段時，應釋出至少 3x50MHz 連續頻寬。[115]

B、 高頻段（24.25-27.5 GHz）

ECC 決議(18)06 文件中，建議各會員國於 24.25-27.5 GHz 頻段之頻塊劃分應採 TDD 配置，並以 200MHz 為單位。若相鄰頻段有其他業務使用者，則可適度調整為較小頻塊，改以 50MHz 的倍數釋出，盡可能完整使用整體頻段。若涉及其他業務使用者需重整搬移，則可調整至以 10MHz 為區塊，如下圖 7- 3。

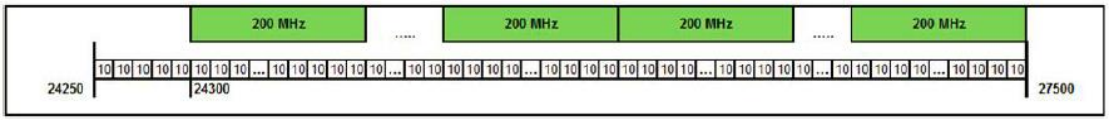


圖 7- 3：ECC 建議之 24.25-27.5 GHz 協同一致頻率配置方式

資料來源：ECC

(2) 頻塊邊際遮罩（BEM）

為達成 MFCN 基地臺於 3.4-3.8GHz 之協同運作，ECC 於 2014 年發布 ECC 決議(11)06 修正文件中，曾對 BEM 制定相關規範，包括帶內（In-block）功率限制、帶外發射限制（out-of-block emission limits）等，ECC 整合說明 BEM 於 3400-3800MHz 之示意圖如下圖 7- 4。

[115] CEPT (2018), Report 67: Review of the harmonized technical conditions applicable to the 3.4-3.8 GHz ('3.6 GHz') frequency band, available at: https://www.ecodocdb.dk/download/561367fd-1ac6/CEPT%20Report%2067.pdf (last visited: 2018/10/08)

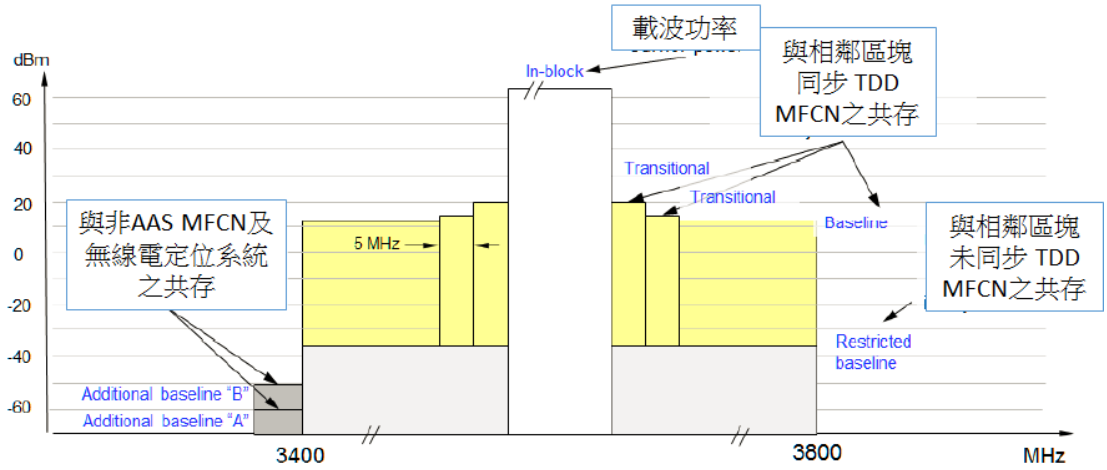


圖 7- 4：ECC 2014 年決議文件對 TDD 基地臺功率限制示意圖

資料來源：ECC

依照不同使用型態，以下分別討論同步 MFCN、未同步/半同步 MFCN、鄰頻使用雷達以及鄰頻使用固定衛星服務之干擾規範。

A、 同步 MFCN 間之干擾

因應部份 5G 基地臺將使用主動式天線（AAS）系統，為了達成與既有非主動式天線（non-AAS）系統基地臺之共存，故 ECC 第 281 號報告對 BEM 設定以下功率限制，分別對應過渡區域（Transitional region）與基準區域（Baseline）對非主動式天線之等校全向輻射功率值（Equivalent isotropically radiated power, e.i.r.p）功率限制及主動式天線總輻射功率（Total Radiated Power, TRP）之限制，相關指標如下表 7- 6。[116]

表 7- 6：非主動式與主動式基站之基準區域與過度區域功率限制

BEM	頻率範圍	非主動式之 e.i.r.p 限制	主動式之 TRP 限制

[116] Supra 114, p.35.

		dBm/每天線 (5MHz)	dBm/每站臺 (5MHz)
過渡區域	距離執照使用頻率低頻邊界向外之-5至 0MHz，以及從高頻邊界向外之 0-5MHz	Min(PMax-40,21)	Min(PMax'-40,16)
過渡區域	距離低頻邊界向外之-10 至-5MHz，以及從高頻邊界向外之 5-10MHz	Min(PMax-43,15)	Min(PMax'-43,12)
基準區域	距離低頻邊界向外之-10MHz 與高頻邊界向外之 10MHz 位處 3400-3800MHz	Min(PMax-43,13)	Min(PMax'-43,1)

註 1：PMax 指基地臺之最大平均載波功率（以 dBm 呈現），再測量每載波 e.i.r.p 解釋為每天線。

註 2：PMax'指指基地臺之最大平均載波功率（以 dBm 呈現），再測量指定站臺每載波之 TRP。

資料來源：ECC

B、 未同步或半同步 MFCN 間之干擾

對於與未同步或半同步 MFCN 間之干擾，ECC 第 281 號報告明訂帶外功率限制，各會員國得依照國內情境訂定有效之功率限制，以滿足不同情境下之需求，同時，ECC 也會持續發展適合的同步處理機制，以滿足各會員國主管機關的需要。ECC 第 281 號報告規範未同步或半同步 MFNC 於非 AAS 或 AAS 基站之基準區域功率限制如下表 7- 7。[117]

[117] Id, p.35

表 7- 7：未同步與半同步 MFNC 之限制基準功率

BEM	頻率範圍	非主動式之 e.i.r.p 限制 dBm/每站臺 (5MHz)	主動式之 TRP 限制 dBm/每站臺 (5MHz)
限制基準區域	針對未同步和半同步頻塊，其位處 3400-3800MHz 頻段內，且頻率低於執照使用頻率下界或高於上界	-34	-43

資料來源：ECC

C、 與鄰頻（3400MHz 以下）使用雷達之干擾

由於部分 CEPT 會員國對於 3400MHz 以下頻率核配給軍事無線電定位業務使用，故 ECC 第 281 號報告整理額外之相關帶外功率限制，並建議在主動式天線基站總輻射功率為每 MHz -52 dBm 情境下，需要將固定地面雷達周圍 12 公里設定為協調區。ECC 因應雷達所設定之額外功率限制分為情境 A 與情境 B 兩種，各會員國可依據自身需求選擇適合該國情境需求之功率限制。ECC 設定之額外功率限制如下。[118]

表 7- 8：3400MHz 以下頻段於特定情境下之基站額外基準功率限制

情境		BEM	頻率範圍	非主動式之 e.i.r.p 限制 dBm/MHz/每天線	主動式之 TRP 限制 dBm/MHz/每站臺
A	3400MHz 以下業務為軍事無	額外基準區域	低於 3400MHz	-59	-52

[118] Id, p.36.

	線電定位系統之 CEPT 國家	額外基準區域			
B	3400MHz 以下業務為軍事無線電定位系統之 CEPT 國家		低於 3400MHz	-50	-52
C	相鄰頻段未使用或使用時無需額外保護之 CEPT 國家		低於 3400MHz	無需適用	無需適用

資料來源：ECC

D、 與鄰頻（3800MHz 以上）固定衛星業務與固定通訊之共存

對於非主動式基站與主動式基站運作於 3400-3800MHz 頻段時，為與鄰頻（3800MHz 以上）之固定衛星業務或固定通訊業務共存，保護固定衛星業務與固定通訊業務免受非主動式基站或主動式基站之干擾，故 ECC 設定額外基準功率限制值供會員國參考，不過管理上仍視個案情境處理，ECC 設定相關功率值如下表 7- 9。[119]

表 7- 9：3800MHz 以上頻段既有業務之基站額外基準功率限制

BEM	頻率範圍	非主動式之 e.i.r.p 限制 dBm/每天線 (5MHz)	主動式之 TRP 限制 dBm/每站臺 (5MHz)
額外基準	3800-3805MHz	Min(PMax-40,21)	Min(PMax'-40,16)
	3805-3810MHz	Min(PMax-43,15)	Min(PMax'-43,12)
	3810-3840MHz	Min(PMax-43,13)	Min(PMax'-43,1)
	3840MHz 以上	-2	-14

[119] Id, p.37.

註 1：PMax 指基地臺之最大平均載波功率（以 dBm 呈現），再測量每載波 e.i.r.p 解釋為每天線。

註 2：PMax'指指基地臺之最大平均載波功率（以 dBm 呈現），再測量指定站臺每載波之 TRP。

資料來源：ECC

E、 帶內功率限制

對於帶內功率限制，ECC 不另訂額外規範，由各會員國主管機關訂之， ECC 提供常用功率限制值如下表 7- 10。[120]

表 7- 10：帶內情境下之功率限制

BEM	頻率範圍	非主動式之 e.i.r.p 限制 dBm/每天線(5MHz)	主動式之 TRP 限制 dBm/每站臺(5MHz)
帶內	執照業者獲配頻率範圍	無強制義務 由主管機關自訂上限，通常使用每天線為 68 dBm/ 5MHz 對於毫微基站則會設定強制功率規範，降低對相鄰頻道之干擾	無強制義務 由主管機關自訂上限，通常使用每站臺為 47 dBm/ 5MHz 對於毫微基站則會設定強制功率規範，降低對相鄰頻道之干擾

資料來源：ECC

F、 設備端帶內功率規範

對於使用者設備端（User Equipment, UE）的技術規範，ECC 第 281 號報告建議行動設備端之帶內總輻射功率（TRP）不應超過 28 dBm。[121]

[120] Id, p.38.

[121] Id, p.38.

(四) 小結

歐盟執委會在 2013 年建立 5GPPP 公私協力組織，並提供將近 7 億歐元作為確保歐洲在 2020 年能使用 5G 相關技術，由此可見，歐盟整體 5G 政策思維多以推動公私協力發展為主，藉由各項跨垂直產業之測試專案，希冀找出 5G 創新案例，讓歐洲能掌握 5G 帶來之嶄新創新應用商機。

在頻譜整備議題上，歐盟主要挑選 700MHz、3.4-3.8GHz 以及 26GHz 頻段作為 5G 候選頻段，同時也整理全區執照、區域執照以及個別傳輸者執照等多種執照型態之優缺點供各會員國評估使用。歐盟執委會要求各會員國應將 5G 發展列為該國寬頻政策之一，同時要求各會員國應於 2018 年底完成 5G 初期網路布建，並於 2020 年底完成國內主要城市之 5G 商用網路服務。受此政策影響，歐盟各會員國積極釋出 5G 頻譜資源，希望及早讓產業有足夠的頻譜資源以布建 5G。

二、 英國

(一) 政策發展近況與候選頻段更新

1、頻譜政策藍圖與規管原則

英國文化媒體暨體育部（Department of Culture, Media and Sport, DCMS）於 2017 年 3 月發布其 5G 策略，且於 12 月發布 5G 策略更新報告[122]，其已建立測試及試驗規劃。為滿足包含 5G 行動服務與日俱增的需求，Ofcom 也於 2017 年 2 月發布其 5G 頻譜計劃制定文件，並確定其低頻、中頻及高頻頻譜，不同特性的頻段具備不同的優勢。

2、5G 整體政策思維

DCMS 於 2018 年 7 月 23 日發布「檢視未來電信基礎設施（Future Telecoms Infrastructure Review）」政策文件，針對全光纖及 5G 網路制定清楚且具企圖心之目標。DCMS 要求至 2025 年，至少有 1,500 萬個建築物有全光纖化之連結；至 2033 年，5G 網路之涵蓋範圍將橫跨整個英國；至 2027 年，5G 網路之涵蓋範圍至少要包含到大多數的居民。

「檢視未來電信基礎設施」文件已於政府產業策略（Industrial Strategy）中發布，其目的為檢視市場與政策條件，以利於加速未來通訊基礎設施投資之進行，並說明可能影響英國數位基礎設施發展之主要問題，例如固定與行動技術間之匯流，以及從銅纜轉換至全光纖網路之過程。

DCMS 想要英國人民在生活、工作及旅行上都能擁有高品質之行動網路連結。目前，行動網路覆蓋範圍正在快速的提升，在英國，至少一家業者有陸地 87%的 4G 訊號涵蓋（相較於 2017 年之陸地涵

[122] DCMS (2017), Next Generation Mobile Technologies : An update to the 5G strategy for the UK, available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/677598/Next_Generation_Mobile_Technologies__An_Update_to_the_5G_Strategy_for_the_UK_Final_Version_with_Citation.pdf

蓋率為 78%）。儘管行動網路連結之涵蓋範圍已提升，但其他地區仍須改善其行動網路之連結，包含至 2022 年，英國網路地理涵蓋率必須擴大至 95%，並解決網路死角（not-spots）之問題、提升城市之網路容量，以及改善英國主要道路與鐵路之網路連結。近期，英國政府已針對電子通信準則（Electronic Communications Code），及英國規劃法（planning laws）進行長遠（far-reaching）的變革，促使行動網路基礎設施的布建更為容易且便宜。DCMS 也同時與 Ofcom 合作加以擴大行動網路之涵蓋範圍。

伴隨著完成 4G 網路的推出，英國想要成為 5G 世界的領導者，透過新技術取得領先者的利益，同時訂定至 2027 年英國大部分的居民都可以接收到 5G 訊號之目標。DCMS 為加強 5G 之投資與創新，對於政府政策及市場需求條件進行評估。

5G 為消費者與產業「使用範例」之範圍、行動服務提供之型態，以及無線業者之家數帶來市場擴張之機會。在維持多家行動網路業者間網路競爭之利益模式中具有策略性之優勢，同時可解決特定連結上所面臨的困難，包括室內之涵蓋、偏遠地區之涵蓋及企業之應用。

政策與頻譜管理之目的為創造有助於提升行動市場競爭，以及推動投資及創新之條件，進而實現 5G 所帶來的全部利益。與此同時，政府也將提撥公共資金來推展有益的 5G 使用範例，藉此降低 5G 投資的風險。

初期 5G 發展策略可能著重於容量需求的成長。前幾代行動通信技術發展策略之目標皆為盡可能廣泛的涵蓋至每個地區，但 5G 可能不太適合以「一體適用（one size fits all）」的方式來布建。

5G 網路的布建可能是由多種複雜的技術組合而成，包括 advanced LTE、Wi-Fi，以及 5G New Radio（一個「許多網路構成的網路（network of networks）」之網路架構」）。5G 網路的布建將以階段式來進行，而非以一夕之間冒出的大爆炸（big bang）形態出現，且因應各地區地理位置之需求水準及成本，在布建上也會有很大的差異。

各種服務與應用透過 5G 接取至不同特性之頻譜。實際使用情境為：使用 1 GHz 以下的頻段來提供 5G 大範圍之涵蓋；在存在高容量需求的城鎮與城市使用 3.4-3.6 GHz 頻段，並在小區域熱點使用毫米波頻段來提供超高的容量。

早期 5G 的出發點可能著重於增強行動寬頻服務，以提升現行網路容量及功能，但同時也受限於消費者手持裝置之可用性。英國政府預期於 2019 年推出第一個商業的 5G 消費者服務，第一個 5G 的布建頻段可能為 3.4-3.6 GHz，該頻段已准許國內行動網路業者使用，該頻段於初期的使用可能為，在人口較密集的地區提供額外的網路容量，如市中心，且可能會布建於既有大型基地臺站點上，且若有需要，會在其他使用小型基地台的站點上布建。

長期之下，5G 更多小型基地臺的布建將有助於提供額外的容量在特定高需求的室外地區，例如城市中心、交通轉運站及運動中心。同時也將看到室內小型基地台之發展，以助於支援新的 5G 服務，如工廠自動化等。

極高頻段的毫米波頻譜可以提供更高的數據傳輸量，但其涵蓋範圍更小且無法穿過牆壁，因此 5G 在此頻段的布建上，將著重於有高需求量服務之特定區域。

DCMS 也進一步對未來 5G 最佳市場模式進行探討，其策略之重點為促進 5G 有效率的投資及創新，並確保 5G 的布建進度能滿足新的使用範例及突發性的需求。

隨著服務的提供方法、網路的基礎設施以及頻譜的授權的不同，英國將出現各種替代市場模式。DCMS 考量三種廣泛的可能模式，並將其如何促進 5G 投資、創新及其可行性說明如下。

- 在**現行的模式**中存在多個垂直整合的國內業者，其主要透過商業協商來共享基礎設施，並輔以獨立基礎設施。通常藉由行動網路業者（MNOs）提供一定程度的批發接取服務給經銷商（resellers）來驅動零售面之競爭，其中也包含行動虛擬網路業者（MVNOs）。頻譜授權將持續以長期的國內頻譜執照為基準。

- 在**單一國內批發網路模式**下，壟斷基礎設施之供應商將提供批發服務給行動網路業者與其他無線網路業者，目的為降低成本並提升涵蓋範圍。頻譜資源將在整合後分配給壟斷之供應商。墨西哥的「共享網路（Red Compartida）」即為此模式的一個例子，其僅以批發網路，並透過政府的政策來擴大行動網路之涵蓋範圍、競爭以及創造 5G 服務之環境。
- **市場擴張模式**不僅要依賴多個國家的網路競爭，也能推動新的基礎設施及頻譜接取模式。在此模式中，英國將持續透過多國業者間的網路競爭獲得利益，國內網路將透過國內網路中立主機（neutral host）之基礎設施及個人網路進行補充。例如，在城市及建築物內布建小型基地台、再擴大行動網路業者在偏遠地區之涵蓋範圍，或提供產業垂直化之微型市場服務。透過頻譜交易或潛在新興頻譜共享模式，得藉由促進 5G 頻譜的接取來推動基礎設施之發展。對於服務層面而言，MNOs 與 MVNOs 將會提供增強性的行動頻寬服務，既有與新的參與者將會提供新興服務。

DCMS 以 5G 涵蓋範圍、推動程度、成本、隨著時間提高之品質及創新誘因，以及該市場模式實現之可行性為標準，來評估相關潛在市場模式。DCMS 清楚了解 MNO 之間的網路競爭一直是行動網路投資的重要動因，且預期 5G 時代也會存在相同的情形情況。而 DCMS 認為英國行動市場競爭程度與整合情形之間存在爭議，且 DCMS 也注意到了近期歐洲發生的數起行動合併管理案例所導致的結果。

由於行動網路業者數量不多，因此每個合併管理案例應在特定期間由相關主管機關來評估其價值，以避免零售競爭的減少導致市場價格受到影響。考量在不同網路共享協議中，MNO 的合併會對於創新及網路的推出產生影響；且擔心 MVNO 潛在代管業者（potential host）的減少導致批發市場競爭減少。

長期來看，激勵業者投資對於消費者而言有正面的利益，但短期內會存在零售價格上漲之風險。部分研究表示企業得透過合併提升成本有效性並擴大規模，以進行較大量的投資，進而對消費者產生更好的結果。但同時也有其他分析報告顯示，在3個參與者與4個參與者的市場之間，對於產業投資而言並無顯著的差異。DCMS 認為 Ofcom 應密切注意行動網路的投資情形，且若確定現行市場的架構無法支應 5G 網路投資水準，則應考量其他更適合的方案。

對於 5G 的投資、創新及可能性來說，市場的擴張可能帶來最佳的結果，即國內行動網路業者將成為 5G 成功推展的核心；5G 也將透過新興基礎設施與服務參與者帶動進入創新市場的可能；維持多個國內行動網路業者間的競爭所帶來的利益為此模式下之策略性優勢，同時也鼓勵在特定連結的挑戰上提供創新的解決方案。比如說，使用密集的小型基地台來解決建築物、室外熱點、網路死角，以及偏遠地區之涵蓋區域。

政策與頻譜管理規則目的為創造有助於提升行動市場競爭，以及推動 5G 投資與創新之條件。DCMS 已經確定了四個優先領域，如下：

- 在行動基礎設施之布建與市場擴大之推動上更容易且更便宜，包含改革 ECC 在站臺接取之實施規範，以及進一步考慮規劃法之改革；
- 推動基礎設施成長模式，以促進網路密集與擴大之競爭及投資；
- 透過政府的 5G 測試平台及試驗計畫（5G Testbeds and Trials Programme）資助 5G 可行之使用範例，來降低 5G 商業模式之風險；以及，
- 藉由釋出與授權額外的頻譜，使既有及新進參與者能進而推廣新興及創新的 5G 服務。

3、5G 頻譜政策發展近況與釋出時間規劃

(1) 700MHz 頻段

Ofcom 於 2018 年 3 月 9 日針對 700 MHz（694-790 MHz）覆蓋義務發布公眾諮詢文件，且預計於 2019 年下半年釋出 2×30 MHz 的成對頻譜及 20 MHz 非成對頻譜（共 80 MHz），得標業者預計於 2020 年 5 月可開始使用得標頻譜。

700 MHz 頻段之覆蓋義務分別為一項「室內義務」，即於偏遠地區的 20 萬建築中，覆蓋率須達 60%，以及兩項「地理義務」：於英國全區覆蓋率須達 92%，各區覆蓋率則分別達英格蘭 92%、北愛爾蘭 92%、威爾斯 83%，及蘇格蘭 76%，且頻譜得標者須於頻譜拍賣後，三年內完成其覆蓋義務（2022 年底）。Ofcom 認為提早進行相關資訊（例如新的偏鄉基地臺地點）的共享，將使消費者獲得最大利益，Ofcom 認為業者應於布建網路 30 天前向其他業者公告，使各業者獲得共同布建網路的好處。

Ofcom 要求前述網路覆蓋義務需有一定的品質水準，包括可靠的語音通訊及數據接取速率至少達 2 Mbps，以滿足消費者所期望的良好體驗。

關於拍賣頻塊大小，Ofcom 表示可將成對頻譜之頻塊大小劃分為六塊 2×5 MHz 頻段；非成對式補充頻譜（Supplement Downlink, SDL）最多劃分為四塊 5 MHz 頻段，將可使用的頻譜以小區塊方式釋出，使業者在取得頻譜的權利上保有最大的彈性。原則上得將覆蓋義務附加於任一頻塊上，但 Ofcom 認為覆蓋義務應僅附加於成對頻譜上，若將覆蓋義務附加於非成對的 SDL 頻譜上，可能會導致其潛在價值的不確定性更高。

Ofcom 將於下一諮詢階段中詳細說明拍賣設計，包含競爭及覆蓋義務之建議。

(2) 2.3 GHz 及 3.4-3.6 GHz 頻段

Ofcom 於 2018 年 1 月 24 日發布 2.3 GHz 及 3.4 GHz 頻段拍賣規則（the Auction Regulations），該規則於 1 月 31 日起生效，並開始進行拍賣作業。2.3 GHz 頻段（2350-2390 MHz）以每頻塊 10 MHz 進行拍賣，共有 4 塊，總計 40 MHz；3.4 GHz 頻段（3410-3480 MHz 及

3500-3580 MHz）以每頻塊 5 MHz 進行拍賣，共有 30 塊，總計 150 MHz。此次拍賣共有五家業者申請參與競標，分別為 Airspan Spectrum Holdings、EE（Everything Everywhere）、Hutchison 3G UK（H3G UK）、Telefónica UK（O2）、以及 Vodafone。除 Airspan Spectrum Holdings 未標得任何頻段外，其餘 4 家業者均有得標，且所有頻塊均售出。原於此頻段中之既有使用者 UK Broadband 其持有頻段為 3480-3500 MHz 及 3580-3600 MHz。拍賣後之 3.4 GHz 頻段執照持有情形如下**圖 7- 5** 所示。

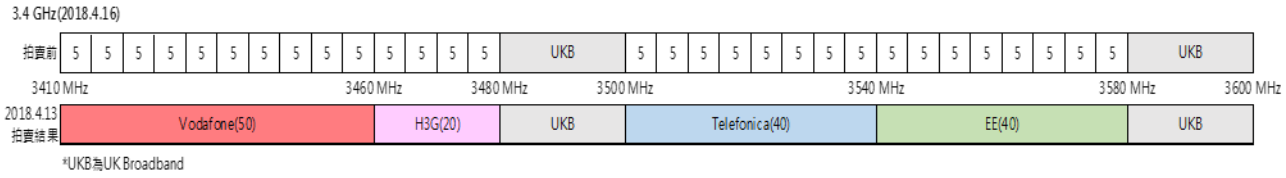


圖 7- 5：3.4 GHz 頻譜拍賣結果與分配狀態

資料來源：Ofcom

(3) 3.6-3.8 GHz

目前該頻段既有使用者為固定衛星服務（FSS）（3600-4200 MHz）、固定通信鏈路（Fixed Links）（3605-3875 MHz 及 3925-4195 MHz）及英國寬頻公司（UK broadband）（3605-3689 MHz 及 3925-4009 MHz）。

2017 年數位經濟法（Digital Economy Act 2017）中所述，政府得對於頻譜管理制定其策略之優先性，Ofcom 在行使其監管職責時也須將此納入考量。英國政府對於 3.6-3.8 GHz 頻段提出兩個關鍵的優先策略，第一，確保頻段的使用達最高效率；第二，加快頻譜之

接取來推動可行之新興 5G 服務及應用，並進一步提升動態效率及創新應用。[123]

該頻段預計於 2019 年進行拍賣，本計畫將持續追蹤主管機關發展進度。

(4) 整體頻段規劃

Ofcom 已根據 5G 標準及技術之發展之時間表訂定 5G 頻譜釋出計畫。其中，3.4-3.6 GHz 頻段已於 2018 年 4 月拍賣完成，且計畫於 2019 年針對 700 MHz 與 3.6-3.8 GHz 頻段進行頻譜拍賣。對於 3.8-4.2 GHz 及 20 GHz 頻段以上之頻譜，Ofcom 也正在考慮對未來執照許可相關規範採用更具彈性的方法。

英國政府要求 Ofcom 能及時完成剩餘的 5G 頻譜（700 MHz 與 3.6-3.8 GHz）授權，但 DCMS 注意到，一系列的 5G 創新服務與新興投資模式之發展可能需要更彈性的頻譜授權方法。這同時也是英國國家基礎建設委員會（National Infrastructure Commission, NIC）於其 5G 報告中之重要建議。

Ofcom 表示已計畫將共享接取頻段擴大至 3.8-4.2 GHz 頻段，同時考慮到既有與新進使用者間之調和協商。但目前該頻段的使用者為衛星，英國政府也了解相較於 3.6-3.8 GHz 頻段，3.8-4.2 GHz 頻段可能需要幾年的時間，才能能在消費者支手持裝置及其他 5G 設備上廣泛的使用。

行動數據需求的增加，部分可以透過更高的頻譜來解決，以提供更高頻寬的服務。在短期到中期，容量的需求可能會集中於人口密集的地區。此外，由於頻譜的傳播特性，使得越高頻段的傳播範圍較少（雖然可以透過 5G 技術進步來減緩），使用較高頻段來布建

[123] DCMS (2018), Future Telecoms Infrastructure Review, available at : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/732496/Future_Telecoms_Infrastructure_Review.pdf

可能需要增加局部且特定存在高需求的地區。因此，在尚未使用較具彈性的授權方法可能無法充分的使用高頻段的頻譜。

NIC 在其研究中提到即將面臨的挑戰：「若在非常高的頻段進行大區塊的頻譜拍賣，則對於國內大部分的業者來說無法獲利的風險很高。…網路密集的布建可能會導致該地區之主要業者無利可圖，以致於其他使用者無法接取其頻譜。以致於新進廠商在行動服務的提供上存在進入障礙，並可能同時阻礙 5G 高頻段小型基地台廣泛的布建。」英國薩里大學的 5G 創新中心則判斷 3.6-3.8 GHz 頻段的傳統許可路由將會導致地理頻譜低效率之結果。

4、 實驗案例發展

DCMS 透過 5G 測試平台及試驗計畫來激勵需求以及新的使用案例。在需求不確定性以及市場可能面臨 5G 所帶來的利益（例如，生產力及公共服務之提供）無法充分使用的情況下，政府可以透過刺激新興使用範例成長來減少布建網路之風險。

英國政府的 5G 測試平台及試驗計畫目前正在資助一系列的企劃。將既有電信業者與其「垂直」產業相關部門同時探究不同的連結解決方法，尤其是其商業模式。除了政府在薩里大學（Surrey University）、布里斯托大學（University of Bristol），以及倫敦國王學院（King’s College London）所資助的世界領先企畫 5G 創新中心（5G Innovation Centre）之外，還宣布其測試平台及試驗的初始階段，如下**圖 7- 6** 所示，其目的為資助主要城市之互連社區企劃。DCMS 將於短期內訂定該計畫之下一階段內容。

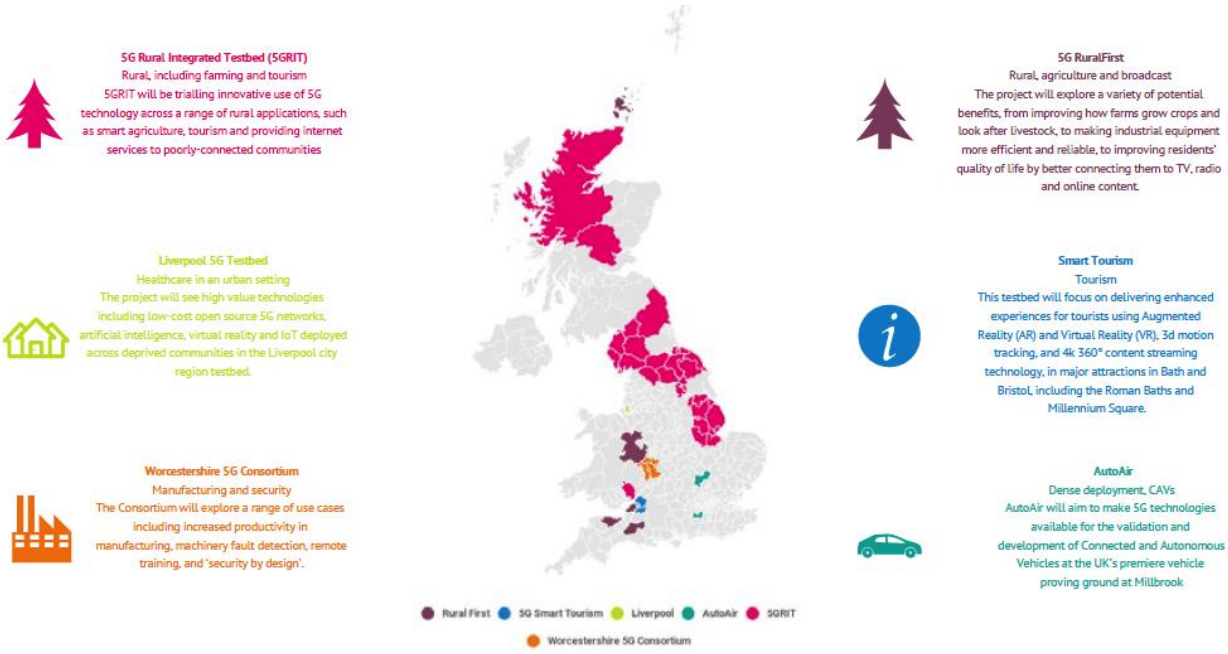


圖 7- 6：5G 測試平台及試驗計畫之第一階段計畫

資料來源：英國 DCMS 5G 測試平台及試驗計畫

英國政府清楚了解國內行動網路業者將成為 5G 成功推展之核心，在既有業者之間的競爭，以及其結合基礎設施之共享來降低固定成本仍為投資重要之動因。除此之外，5G 帶動了行動市場擴大競爭之可能，新進之參與者也發揮其重要功能，即吸引新的資金資源、引入新的商業模式，以及激勵創新應用。

英國電信公司 Broadway Partners 正在使用動態頻譜管理技術接取 TV White Space 中未使用之頻譜，以推動艾倫島（Isle of Arran）上之高速頻段。Broadway Partners 使用最先進的技術，即混合 5 GHz（Wi-Fi）與 TV White Space 網路解決方案，此方案非常適用於較難抵達之偏遠地區，與城市中的網路死角。Broadway Partners 與 White Space 技術領先專家共同合作，包括微軟（Microsoft）、英國網域名稱註冊管理局（Nominet）、斯克萊德大學（Strathclyde University），以及倫敦國王學院（King's College London）。

5G 測試平台及試驗計畫正在推動正對此進行進一步的研究計畫。5G「Rural First」計畫針對偏遠地區使用範例（例如農業技術、廣播及社區連結性）進行頻譜共享使用之試驗，包含使用動態頻譜接取

技術。測試及驗證創新應用方法的重點為，確保在不易抵達之偏遠地區（如薩默塞特（Somerset）、什羅普郡（Shropshire）以及奧克尼群島（Orkney Islands））可以接取連結至 5G 且價格合理。計畫合作夥伴希望能測試 5G 之潛能，以將頻譜執照、免執照及共享頻譜，以及社區行動網路中之新基礎設施所有權模式。

5G 測試平台及試驗之英國調和計畫（nationally coordinated programme）為 DCMS 於 2016 年宣布其將投資並作為推動英國數位基礎設施資助計畫之一部分（總資助金額超過 10 億英鎊）。

到 2017 年，5G 測試平台及試驗計畫已被視為核心卓越中心（centre of excellence），且其鼓勵並資助各種在大範圍的地理區域與垂直細分化市場中之測試平台及試驗，5G 技術布建優勢及其挑戰之探討將依循幾個主要目標如下：

- 刺激英國市場發展與 5G 技術及基礎設施之布建；
- 在企業、能力與技術發展，以及鼓勵投資上帶來新的機會；
- 確保英國在未來 5G 產品、服務及應用發展的能力與技術之投資及布建上存在「優先行動者之利益（early mover advantage）」。

測試平台將協助產業界了解，在未來 5G 網路之國際標準發展下，新技術的布建將面臨之挑戰。5G 應用測試將有助於證明各種應用及使用範例，為未來市場帶來更接近商業之可行性。

目前該計畫已經投入 2 億英鎊，且已成功推動：

- 與英國地形測量局（Ordnance Survey）共同發展 5G 對應計畫；
- 投資 1,600 萬英鎊來建構英國 5G 測試網路；
- 成立英國 5G 創新網路部門。

DCMS 於 2018 年 3 月宣布第一階段 5G 測試平台及試驗比賽之六位得獎者。此六個專案由中小型企業（small and medium-sized enterprises, SMEs）、大學及地方主管機關領導，為英國目前最好的創新、資源及專業知識，且將在各個應用中測試 5G。

政府、私部門及其他公共部門資助每個測試平台 200 萬至 500 萬英鎊（總投資為 4,100 萬英鎊）。此專案自 2018 年起至 2019 年。在 5G 試驗平台及試驗計畫中獲獎的六個專案詳細說明如下。

(1) 5G「Rural First」：偏遠地區涵蓋及動態頻譜接取測試平台及試驗

5G「Rural First」之目的為創造偏遠地區之完整端對端 5G 測試平台系統，以進行新興無線、連網技術、頻譜共享，以及新興應用與服務之測試。此專案由 Cisco 所領導，由包括主要合作夥伴斯克萊德大學（University of Strathclyde）在內之 32 個組織之網路來實現，並著重於測試創新之方法與激發新興商業模式，來確保在難以抵達之偏遠地區可以接取 5G 網路且價格合理。本測試專案概要如下。

項目	內容
目標	測試新的方法及商業模式
指導單位	Cisco
補助金額	430 萬英鎊

(2) 5G 智能觀光

此測試平台著重於增強遊客在巴斯（Bath）與布里斯托（Bristol）的主要景點（包括羅馬浴場（Roman Baths）與千禧廣場（Millennium Square））中，使用擴增實境（AR）與虛擬實境（VR）、3D 動態追蹤（3D motion tracking），以及 4K 360 度內容串流技術。

內容與技術之發展將各個來自於大型組織之合作夥伴所提供，包括 5G 推動最前線之組織。其將展示得自行供應之 5G 與 Wi-Fi，以及創新的 mmWave 後置網路，並同時能透過網路切片技術提供及時服務容量來解決安全議題。本測試專案概要如下。

項目	內容
目標	使用技術為遊客帶來新的體驗
指導單位	西英格蘭聯合管理局（West of England Combined Authority）
補助金額	500 萬英鎊

(3) 伍斯特郡（Worcestershire）5G 協會－測試平台與試驗

在 5G 與工業 4.0 專業團隊的帶領下，Worcestershire 5G Testbed 為英國產業界提供平台以利下世代技術之布建與測試，這將徹底改變未來企業的營運方式。伍斯特郡當地企業合作夥伴（Worcestershire Local Enterprise Partnership）由全球專業團隊與合作夥伴所組成，包括薩里大學的 5GIC、美國先進無線技術組織（Advanced Wireless Technology Group, AWTG）、中國華為、Telefónica UK（O2）以及英國電信（BT），地方企業已經使用了 Worcester Bosch、Yamazaki Mazak 以及 QinetiQ 跨國防衛公司之技術。該合作夥伴之組部目前位於莫爾文丘陵（Malvern Hills）科技園區聯盟，將持續探討大範圍的使用範例，包括製造業生產力的提高、機器故障偵查、遠端訓練以及「安全設計原則（security by design）」。本測試專案概要如下。

項目	內容
目標	探討如何透過 5G 來使用機器人技術、大數據分析，以及提高真實性之方法。
指導單位	伍斯特郡當地企業合作夥伴（Worcestershire Local Enterprise Partnership）
補助金額	480 萬英鎊

(4) 利物浦（Liverpool）5G 測試平台

由 Sensor City 所帶領的聯盟由利物浦大學之研究人員、英國國民保健署（National Health Service, NHS）NHS 與社會照護組織（social care organisations）、地方技術中小企業與英國 5G 科技公司，Blu Wireless 所組成。利物浦地區之測試平台首次獲得一年的政府資助，此專案上存在高價值之技術，包括將低成本的開源 5G 網路、人工智慧、VR 虛擬實境以及物聯網布建於利物浦之貧困社區中。此專案利用這些技術來減少數位落差，並同時衡量病患監控之影響及老

年人孤獨感之管理，此項技術將同時協助提升老年人獨立生活之時間，並改善醫院與社區間之溝通。本測試專案概要如下。

項目	內容
目標	Sensor City 帶領組織共同減少數位落差
指導單位	Sensor City
補助金額	350 萬英鎊

(5) AutoAir：聯網與自駕車輛之 5G 測試平台

AutoAir 之目標為在密爾布魯克（Millbrook）成為英國汽車自動駕駛試驗基地（vehicle proving ground）上進行 5G 技術之先驅，目的為檢驗與發展聯網自駕車輛。車輛快速行駛將導致行動通訊基地台在切換上趨於複雜，且自駕車將會需要比目前更多的網路頻寬。此專案也針對 5G 連結之解決方法使用在於道路或鐵路運輸上之可行性進行研究。本測試專案概要如下。

項目	內容
目標	AutoAir 開發之新型自動運輸技術
指導單位	Airspan Communications Ltd.
補助金額	410 萬英鎊

(6) 5G 偏遠地區整合測試平台（Rural Integrated Testbed, 5GRIT）

5G 偏遠地區整合測試平台（5GRIT）將於偏遠地區試驗各種 5G 技術創新使用範例，例如智慧農業、旅遊產業與連結服務不佳之社區、在電視頻段使用共享頻譜，以及結合地方網路服務供應商（ISP）與用戶自主服務（self-provision）。本測試專案概要如下。

項目	內容
目標	將 5G 連接至偏遠地區
指導單位	Quickline Communications
補助金額	210 萬英鎊

(7) 其他開發測試專案

DCMS 也已經對於主要投資項目包含道路、鐵路及 5G 安全防護專案進行投資，包括以下：

- 已資助 500 萬英鎊於初步測試之 5G 應用與道路布建，包括用於測試如何將未來自駕車之生產效益達到最大化。英國政府宣布將由英國生產投資基金（National Productivity Investment Fund, NPIF）所資助之 3,500 萬英鎊，作為探究改善火車乘客使用行動通信之方法，且用來升級英國梅爾頓莫布雷（Melton Mowbray）的英國鐵路網路公司（Network Rail）之測試鐵軌，以及沿著 Trans Pennine 的部分路線安裝沿軌基礎設施，以推動全光纖化及 5G。
- 在與英國安全網路中心（National Cyber Security Centre）之合作上資助 1,000 萬英鎊，以創建得以測試及驗證 5G 網路安全性之能力。

2018 年 9 月 4 日，DCMS 宣布其城市互聯社區專案（Urban Connected Communities Project）之合作夥伴為西米德蘭茲聯合管理局（West Midlands Combined Authority）。城市互聯社區專案將布建以英國伯明罕（Birmingham）、考文垂（Coventry）及伍爾弗漢普頓（Wolverhampton）為集結點之大規模 5G 試驗場域。目前該專案可獲得 5,000 萬英鎊的資金，但仍需要有進一步的發展以及商業企劃之認可。

(二) 頻譜使用管理狀態

1、 候選頻譜使用狀態

Ofcom 於 2018 年 3 月 9 日發布英國 5G 討論文件，說明英國目前對於 5G 頻譜之規劃，如下**圖 7- 7**。

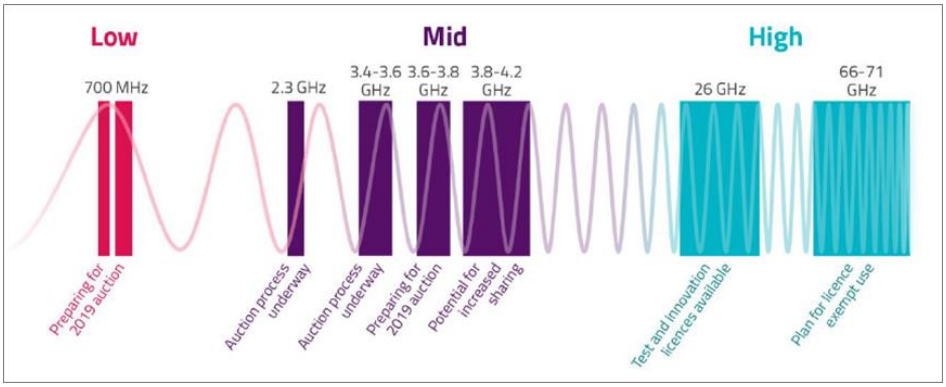


圖 7- 7：英國 5G 頻譜規劃

資料來源：Ofcom

(1) 低頻段

Ofcom 預計於 2019 年進行 700 MHz 頻段拍賣，且為確保改善英國行動網路覆蓋範圍，針對 700 MHz 頻段的部分執照規劃附加覆蓋義務，要求得標者須改善偏遠地區行動覆蓋範圍。相關諮詢已於 2018 年 5 月 4 日結束，Ofcom 將於 2018 年下半年進行第二階段諮詢，並規劃於 2019 年初前完成覆蓋義務及拍賣設計之最終決議。

Ofcom 認為長期而言，700 MHz 等低頻段的頻譜將得以擴大行動網路業者 5G 產品的覆蓋範圍，並提升服務品質。行動網路業者的 5G 設備覆蓋範圍將達到與 4G 相似的水準，進而改善偏遠地區的消費者體驗。

(2) 中頻段

中頻段頻譜得顯著提升容量及支援需要高可靠度的低延遲應用，如工業自動化及機器人。行動網路業者正關注中頻段頻譜，因該頻段得提供高頻寬以供高容量的服務所使用，並可部屬於現有基站。

- **2.3 GHz 及 3.4 GHz 頻段**

Ofcom 表示 2.3 GHz 及 3.4 GHz 頻段將有助於提升行動網路業者之頻寬，3.4 GHz 頻段則為 5G 候選頻段之一。2.3 GHz 及 3.4 GHz 頻段拍賣已於 2018 年 4 月 13 日結束並公布拍賣結果。

- **3.6-3.8 GHz 頻段**

Ofcom 於 2016 年起開始規劃將 3.6-3.8 GHz 頻段指配給未來包括 5G 之行動業務所使用，並於 2017 年 10 月 26 日發布的決議文件中確認該頻段將供行動使用，並通知且徵詢利害關係人相關變更建議之程序。

在考慮利害關係人意見後，Ofcom 於 2018 年 2 月 2 日更新其最終決議，Ofcom 表示將於 2022 年 12 月 23 日起廢止該頻段所有的固定鏈路執照，2020 年 6 月 1 日將變更 12 個永久地面站（Permanent Earth Station）執照及 3 個核可頻譜接取（Recognized Spectrum Access, RSA），且於 2020 年 9 月 1 日變更 1 個 RSA 許可。該頻譜預計從 2020 年開始得於大部分地區使用行動服務，直到 2022 年才得以在全國範圍內使用。Ofcom 規劃於 2019 年進行該頻段的分配作業， 2018 年下半年將進行相關諮詢作業。

- **3.8-4.2 GHz 為提升共享頻段的潛在頻段**

Ofcom 已於 2016 年 4 月 14 日將 3.8-4.2 GHz 頻段作為共享頻譜之候選頻段，作為潛在創新應用，據以徵詢相關利害關係人意見。考慮該頻段之既有使用者之意見後，2017 年 7 月發布相關決議表示該頻段之既有使用者（衛星地面站及固定鏈路）對該頻段仍存在需求。因此，Ofcom 表示該頻段將根據地理型態來授權，且於既有使用者及未來使用者之間共享頻譜。Ofcom 規劃在共享基礎上進一步考慮 3.8-4.2 GHz 頻段，並同時顧及既有使用者。

(3) 高頻段

DCMS 已於 2017 年 12 月發布並更新其 5G 策略，重申了其對於 26 GHz 的支持，並承諾 26.5-27.5 GHz 頻段將可用於 5G 行動業務。

Ofcom 也於 2017 年下半年開始進行高頻段頻譜資源規劃，並徵詢 26 GHz 頻段及未來用於 5G 毫米波頻段之相關意見，其中包括 26 GHz 頻段之頻譜需求等，Ofcom 強調 26GHz 頻段具有可滿足不同類型需求之可能。

目前 Ofcom 也發布了新的創新與試驗網站，提供透過 5G 頻譜接取來測試或試驗相關技術及潛在新興應用。Ofcom 於 2017 年下半年亦將 66-71 GHz 視為潛在 5G 免執照頻段，該頻段在英國並無既有使用者，且同時考慮 5G 設備得透過早期所布建且現存於 60 GHz 頻段上數千兆位元（multi-gigabit）技術之生態系統及標準。

Ofcom 於 2017 年 12 月所發布的固定無線頻譜策略諮詢中，除了針對 57-66 GHz 頻段進行相關研究外，也整理能提升 66-71 GHz 頻段可用性之方法，同時諮詢相關利害關係人使用案例及技術參數相關考量。

(4) 其他頻段

考慮到消費者及企業其實有賴於不同的技術，包含 wifi 皆可補足 5G 之不足。其中，免執照頻譜的頻段，如 wifi 目前使用 2.4 GHz 及 5 GHz 頻段，為滿足頻譜需求，Ofcom 於 2017 年 3 月決定將 5.8 GHz 中的 125 MHz 頻段（5725-5850 MHz）作為免執照頻段，以擴大 5.8 GHz 無線寬頻的使用。

2、頻譜重整方式

近期英國政府與 Ofcom 為使 700 MHz（694 - 790 MHz）頻段盡早於 2020 年 5 月即可作為行動通訊服務使用，Ofcom 於 2014 年 11 月即開始討論該頻段既有使用業務之頻譜重整議題，包括數位地面電視（Digital Terrestrial Television, DTT）與節目製作與特別活動（Programme Making and Special Events, PMSE）。Ofcom 於 2016 年 10 月發布加速 700 MHz 頻譜清頻整備計畫之政策決議。英國政府也決定針對 PMSE 設備使用者提供補貼，Ofcom 同意並於 2017 年 4 月 20 日諮詢受補貼者的申請資格及補貼費用，而後於 2018 年 8 月 23 日發布「PMSE 設備持有者於 700 MHz 頻段清頻整備作業（PMSE clearing the 700 MHz band：Support for PMSE equipment owners）」聲明及諮詢文件。

本項補貼計畫的目的，在於補償 PMSE 設備持有者，在未獲得頻譜回收通知日之前 5 年，即被 Ofcom 要求於 2021 年 9 月之前不得

再使用 700 MHz 頻段，所導致相關設備損失的補償。補貼計畫的資格標準臚列如下：

- 設備持有者必須在 2014 年 10 月 17 日至 2018 年 8 月 23 日期間持有 700 MHz 執照；或必須能夠提出可檢驗的證據，說明其業務為出租而非使用 PMSE 設備，因此無需持有 700 MHz 執照。
- 申請者僅能對自有設備申請補貼，且該設備必須為正常運作狀態。
- 申請補貼的設備，須為 2018 年 8 月 23 日前購買的設備。
- 申請補貼的設備之調頻範圍（tuning range）應涵蓋 700 MHz 頻段。
- 因上述補貼設備無法使用，連帶讓輔助設備也無法使用時，滿足前述標準之輔助設備亦包含在補助範圍之內。

申請人可獲得設備補貼之費用水準計算方式，為符合條件的 PMSE 設備所估計的剩餘價值。假設設備使用年限為 15 年，且設備平均使用年數為 6 年，若申請人於 2020 年 5 月繳回設備，則可獲得設備價值 60%之補貼；若申請人提前繳回設備，則可再依繳回時間比例調整。

基於市場相關利害關係人於 2017 年 4 月諮詢意見中之回覆意見，認為補貼計畫也應考量清頻整備計畫所引發的其他成本，例如 PMSE 設備重新規劃與安裝等成本，故 Ofcom 規劃對於符合條件的補貼設備再加成支付 5%之補貼，相關加成比例正諮詢各界看法。本次諮詢已於 2018 年 10 月 4 日結束，Ofcom 表示將於近期發布關於額外成本的最終決議。

(三) 執照管理與規範義務

1、 執照架構

Ofcom 於 2017 年 7 月 28 日發布「5G 頻譜於 26 GHz 頻段之接取及更新 30 GHz 以上之頻段」諮詢文件。說明毫米波頻譜之接取特性

及其各種潛在的服務，不適合以傳統的方式核發頻譜執照。因此其提出對各種頻譜許可制度之討論，包括下列：

- 免執照（以共享或無相互協調的方式布建）

若證實 5G 小型基站（5G small cells）的布建在缺乏相互協調的情況下，服務品質水準仍在可接受的範圍內，則 Ofcom 將考慮以免執照的方式允許運作，降低進入障礙並鼓勵高水準的競爭及創新。任何人皆可在 Ofcom 所訂定的技術參數下布建 5G 小型基站，且不須持有頻譜執照或與鄰近業者相互協調。

- 共享、以相互協調的方式布建

免執照制度下允許小型基站非以協調的方式布建，可能會導致「公有地悲劇（tragedy of the commons）」，即頻譜在過度擁擠及干擾下，業者將無法提供所需容量及服務品質，且當頻段中可使用的通道數量較少時，此風險將會增加。

為降低免執照制度所帶來的風險，通常會要求業者布建新的 5G 基站時，須與現有的基站及其他頻譜使用者進行相互協調。且以此種核發頻譜方式非常適合鼓勵創新及競爭，因為並未限制可參與的業者數量。

- 區域執照（Area Defined Licences）

若以先到先服務的方式核發執照，可能會導致業者投資的確定性降低，及使得頻譜不被列為優先使用。例如，若業者想布建小型基地臺網路橫跨整個城市，以提供連續高容量之覆蓋範圍，但其他業者已先行散布且任意布建，導致該業者降低其投資意願。

該類業者相較而言需要區域執照，以在其所選擇的區域範圍內布建小型基地臺，完全管控基地臺間的相互干擾及服務品質，在該特定區域內，無須與其他業者進行協調。以特定區域的方式拍賣行動頻譜執照，為 Ofcom 至今認為最適合的方法。

雖然該方法可以提供少數持有執照的業者提升其投資確定性，但卻會產生減少創新及競爭的風險，並可能導致頻譜使用效率下降。據此，Ofcom 認為透過拍賣來核發區域執照的地區，應以該區域存

在對頻譜資源之需求超額的條件下最為合適。以 5G 小型基地臺的布建來說，布建位置可能僅限於市中心、車站及其他有公共需求的地區。因此，區域性執照所適用的地區應為現存高行動頻寬需求（並視為未來有超高需求之地區）或預期未來需求將成長的區域，而非英國全區。

但若 Ofcom 事先將預期 5G 高需求的地區確定，則會存在以下風險：若該地區之需求規模被高估，則會導致頻譜未能充分使用或降低競爭；若低估，則會導致投資減少或因網路分散而造成服務品質不佳的狀態。

- 混合授權方法

僅使用一種執照核配方式難以滿足所有利害關係人的需求，也無法使消費者的利益達到最大。因此 Ofcom 認為，適合的方法為在 26 GHz 頻段高需求的地區釋出少量的區域性執照，其餘則使用個別業者協調布建：在區域性執照所規範的區域之外，該類頻譜皆可透過協調的方式布建。此種方式不僅可以鼓勵創新及促進競爭，也同時提供業者另一個選擇，以確保投資的確定性及高需求地區的服務品質。如下**圖 7- 8** 所示。

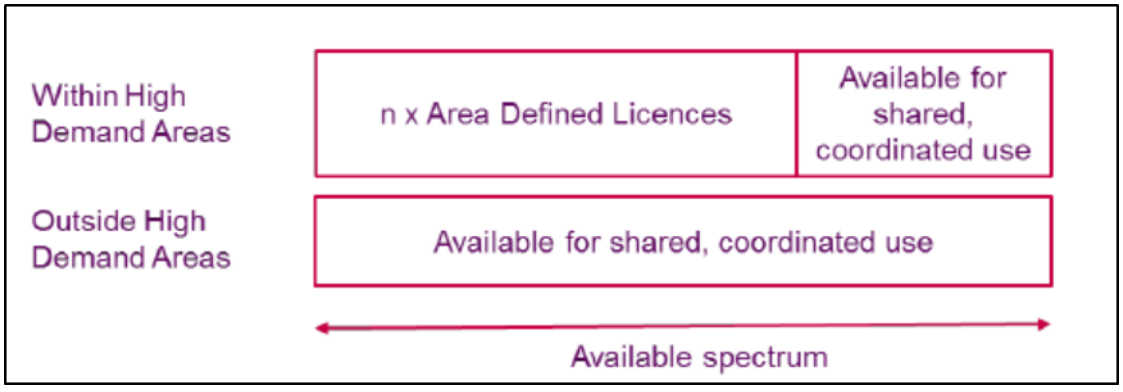


圖 7- 8：混合授權方法範例

資料來源：Ofcom

頻譜將會根據每一執照類型的需求及可傳遞至消費者的價值，針對區域性執照及協調布建（於高需求地區）進行最適劃分。

有鑑於免執照存在風險及不確定性的情況下，不允許在 26 GHz 頻段使用，但若可更加確定未來 5G 設備與其他頻譜使用者得共存，且有證據顯示小型基地臺布建密度及服務品質達一定的要求下，得重新檢視該情形。值得注意的是，Ofcom 可能將 66-71 GHz 作為 5G 免執照布建的頻段。

2、促進網路布建之相關措施

英國政府最近對於規劃法及 ECC 進行改革，以利行動網路的布建。過去的主要措施著重於大型基地臺，但長期之下，5G 可能需要布建更多的小型基地台。因此，目前需要採取的措施，即促使小型基地台的布建具有成本效益且可實際執行。英國政府已經建立打擊障礙特別小組（Barrier Busting Task Force）與固定及行動電信產業共同合作，以確定網路布建所面臨之障礙。產業界認為 DCMS 應優先考慮以下方法來減少布建之障礙：

- 確保 ECC 之改革達到其預期效益；
- 進一步考量規劃法之改革，以推動大型基地台的擴張及小型基地臺之布建；
- 改善公共場域之接取，並探究降低成本的方法；
- 便於使用電源；以及，
- 透過地方性的解決方案來處理布建障礙。

(1) ECC 之改革

ECC 的改革已於 2017 年 12 月生效，獨立的經濟分析表示接取站台之成本隨著時間降低約 40%，因此英國政府認為此項改革提供有效率的監管框架來推動基礎設施之布建。DCMS 認為該變化可能會對市場帶來不確定性的影響，導致過渡時期可能發生談判困難的現象，DCMS 也表示其正與產業相關利害關係人密切合作以解決可能發生之風險。英國政府將考慮對 ECC 改革進行正式之檢視，以評估其對於 2019 年之影響。

(2) 規劃法之改革

英國政府認為有必要持續檢視規劃法法規，並考量在規劃法制度上，產業界認為新技術應如何推動之相關建議，因此英國政府將持續與產業界合作，以理解及採納各種規劃法改革所帶來的影響，並加以反思，以了解如何在現行的規劃法制度上更進一步的推動數位基礎設施之布建。DCMS 也表示，若電信產業能夠證明更進一步且需要改變規劃法之改革，得以推動基礎設施之布建，且得提供改變之案例，則 DCMS 將會迅速針對適合的改革建議進行諮詢。

(3) 公共站臺之接取

英國政府將提供其土地及建築物資源，盡其可能的推動行動基礎建設之布建。DCMS 已開發一個數位基礎設施工具（Digital Infrastructure Toolkit）以助於此發展，此工具得處理相關產業在政府建築物上布建之障礙，並試圖簡化各部門與產業間的協商過程。英國政府將持續檢視此工具及並發布代管（hosting）行動基礎設施站臺數量之更新。長期而言，可以為更多公部門，例如市政廳及博物館等，提供最佳的實施方法，以鼓勵其他公部門更容易將其資產用於網路的布建。

(4) 傳輸與電源

英國政府認為網路推出之成功與否將取決於通訊供應商、當地主管機關、能源供應商，以及土地所有者間之密切合作。英國政府將促進 MNO 與配電網（Distribution Network Owners）所有者間之溝通，加以討論電力系統之接取，以促使行動後置網路之光纖電纜得及時布建且具成本效益。

(5) 需要地方性的解決方法來處理布建障礙

地方性的解決方法為處理布建障礙之必要，且要求各方之間良好的合作。英國政府的新地方連結小組（Local Connectivity Group），將聚集地方區域、產業及土地所有者，於年底發布地方性層級之數位基礎設施布建最佳實施指南。英國政府企圖使用全方位的可行手段，包括為 5G 測試平台及試驗計畫與地方全光纖化網路計畫提供基

金，以鼓勵地方區域使用最佳實施指南來減少或消除地方布建之障礙。

3、市場潛在進入者之需求

因應新興應用對於頻譜資源接取之需求，DCMS 討論幾種可能滿足市場潛在進入者需求之執照型態，例如頻譜共享等。DCMS 認為，頻譜共享模式能使得新進參與者與既有行動網路業者一同接取頻譜，並投資新興商業模式。其可為創新 5G 應用範例創造機會，並提升服務之可用性來解決特定連結之挑戰，包含：

- 社區或小型供應商的解決方案（例如固定無線接取）以滿足地方性，通常為偏遠地區之需求；
- 單純的批發供應商透過小型基地台網路解決市區熱點及網路死角（室內及室外）之問題；以及，
- 在工業物聯網中推動創新的專用網路，包括無線自動化與機器人技術。

市場潛在進入者正在尋找確定性之 5G 頻譜接取以推動其投資，例如基於以先到先服務取得輕度執照之頻譜。

DCMS 表示有各式各樣可能的共享接取模式值得參考，包含：

- 輕度執照模式（Light-licensing models）得允許多個業者透過登記程序及資料庫在全國範圍內共同協調使用頻譜，且可透過局部性或是預付性（pay as you go, PAYG）執照。此模式須為輕度執照預留部分的 5G 頻譜確保隨時都有頻譜可以共享，為新進參與者帶來投資的確定性，即便行動網路業者可能已經在市區布建了這些頻段。此區塊的接取可以透過資料庫控制以提供未來之彈性，此即可推動使用範例，包括工廠、辦公大樓以及市區活動場所之室內涵蓋；行動網路密集化之中立主機；以及道路與鐵軌。
- 動態頻譜接取（Dynamic spectrum access, DSA）現有執照持有者得使用資料庫來確認尚未被使用頻譜之時間與地區，且在不造成干擾的情況下使用該頻譜。在此模式之下，透

過未使用的 5G 頻譜提供既有與新進參與者接取頻譜之機會，且會優先考慮主要持照持有有。DSA 技術已經使用於「電視白頻段（TV White Space）」，在數位地面電視（Digital Terrestrial Television, DTT）廣播頻段中未被使用的頻段。此方法在不容易被 5G 網路涵蓋之偏遠地區上提供無線寬頻服務特別有用。

- 其他模式，包括免執照接取，例如 WiFi、或是共同共享接取，即多個業者被允許在同一個頻譜中營運，並各自協調干擾管理。1,800 MHz 之保護頻段就是其中一個例子。

不同的模式將需與網路競爭、創新及 5G 廣泛布建之間進行權衡。英國政府認為業者較偏好國內執照，且需要持有較寬的頻譜以滿足高品質的 5G 服務需求。與此同時，DCMS 的策略為優先確保新的 5G 頻譜有效率的使用，並鼓勵創新應用。

因此，DCMS 鼓勵 Ofcom 評估潛在具有彈性的許可模式之可行性、成本及其帶來的利益，並同時考量所涉及的權衡關係（trade-offs），作為 3.6-3.8 GHz 頻段與 3.8-4.2 GHz 在頻譜釋出規劃須持續諮詢的一部分。

英國政府為確認行動頻段中頻譜共享之機會，以及頻譜共享政策得提升頻譜使用率之程度，要求 Ofcom 報告行動頻段中頻譜使用之情形。可以透過此訊息確認英國哪一部分的行動頻段頻譜尚未被使用，以及有多少非 MNO 使用之頻譜是根據頻譜共享協商來使用的。

英國政府相信頻譜市場應該有更大的流動性，因此英國政府希望 Ofcom 清楚表示不會禁止行動頻譜之租賃，以促進頻譜交易市場具有更大的流動性。

(四) 小結

英國政府之 5G 策略，希望英國成為 5G 世界的領導者（world leader），透過新技術取得領先者的利益，同時訂定至 2027 年英國大部分的居民都可以接收到 5G 訊號之目標。政府為加強 5G 之投資與創新，持續檢討政府政策及市場需求條件，認為 5G 為消費者與產業

「使用範例」之範圍、行動服務提供之型態，以及無線業者之家數帶來市場擴張之機會。在維持多家行動網路業者間網路競爭之利益模式中具有策略性之優勢，同時可解決特定連結上所面臨的困難，包括室內之涵蓋、偏遠地區之涵蓋及企業之應用。

英國 5G 政策與頻譜管理之目的為創造有助於提升行動市場競爭，以及推動投資及創新之條件，進而實現 5G 所帶來的全部利益。與此同時，政府也將提撥公共資金來推展有益的 5G 使用範例，藉此降低 5G 投資的風險。

在頻段整備上，除參考歐盟以 700MHz、3.4-3.6GHz、3.6-3.8GHz 以及 26 GHz 頻段進行整備外，英國 Ofcom 與 DCMS 討論以頻譜共享機制讓市場潛在進入者取得頻譜資源之契機，因而徵詢 3.8-4.2 GHz 頻段以共享方式供新興應用使用之可能性。同時，為加速 700MHz 之頻譜重新核配給 5G 使用，Ofcom 推出誘因補貼機制，希望促進 700MHz 頻段既有使用者盡早搬移，讓該頻段可及早作為 5G 布建之用。

三、 美國

(一) 政策發展近況與候選頻段更新

1、 頻譜政策藍圖與規管原則

FCC 最早於 1999 年發布頻譜管理原則，核心目標為促進競爭並鼓勵新興電信技術的發展、促使頻譜使用效益極大化，以及確保有足夠頻譜資源能滿足公眾利益。

FCC 最早於 1999 年的頻譜管理原則，包括以下重點：

- 允許適當的頻譜分配彈性，使執照持有人有效回應市場需求；
- 促進新頻譜效益技術的使用；
- 確保滿足關鍵通訊需求，如公共安全；
- 簡化與創新技術改善核配過程的效率；
- 鼓勵頻譜次級市場發展以確保充分利用；
- 持續尋求獲得更多頻譜資源的方法，例如頻譜重整、使用費等。

歷經十年後，FCC 於 2008 年發布 2009 年至 2014 年的策略計畫（Strategic Plan 2009-2014），對於頻譜管理策略目標訂為提升非聯邦頻譜的使用效率與效益，促進創新和有效率通訊技術與服務的快速布建與成長。細項目標則包括以下：

- 發展、倡導與實踐彈性且以市場導向的頻譜分配與核配政策；
- 發展促進頻譜有效且效率使用的相關政策措施；
- 以先進電子申報與資訊接取系統進行有效率且即時的執照核發；
- 發展、制訂關於劃分執照頻譜與免執照頻譜使用權力與責任之相關政策，特別關注妨害干擾；
- 積極推動頻譜規管與相關政策；

- 作為國會、頻譜使用者以及其他國家管理頻譜資源之可靠資訊來源。

接續 2009 年至 2014 年的策略計畫（Strategic Plan 2009-2014）後，FCC 更進一步發布 2015 年至 2018 年的策略計畫（Strategic Plan 2015-2018），對於頻譜管理之策略目標，定義為發展與實踐彈性且以市場導向的頻譜分配與核配政策，如誘因拍賣與免執照等，藉以促進創新、投資、增加工作機會與消費者利益。

2、5G 頻譜政策發展近況與釋出時間規劃

為了讓美國成為領先全世界提供 5G 的國家，FCC 主席 Pai 認為必須制定完整的無線頻譜政策，確保美國的領先地位。前瞻頻譜政策、現代化的基礎設施政策以及以市場為基礎的管制規範構成了實現承諾 5G 目標的核心主軸。三大策略分述如下。

(1) 頻譜：前瞻性頻譜策略是 5G 網路的關鍵。FCC 整備低、中、高頻段之頻譜資源以供 5G 服務運用。
   - 低頻段：以誘因拍賣釋出的 600MHz 頻段；
   - 中頻段：探索 3.5GHz 頻段的共享架構，並發展可運用於 3.7GHz 衛星使用頻段的架構。
   - 高頻段：找尋可用於 5G 的毫米波頻譜，並探究實現 24GHz 與 28GHz 頻段拍賣作業。

(2) 無線基礎設施：5G 通訊仰賴強大的基礎設施以支持數據密集應用，未來幾年該類應用的數據需求將成指數型成長。5G 網路將運作於傳統基地臺與小型基地臺的混合型布建，FCC 將致力於消除不必要的障礙，以支持 5G 的基礎設施布建。

(3) 減少監理障礙：FCC 正減少監理障礙，以鼓勵 5G 網路的投資，讓數位機會可帶給全體美國國民。

3、5G 候選頻段更新

(1) 2.5GHz 頻段

FCC 於 2018 年 5 月發布變更 2.5GHz 頻段以作為 5G 使用之政策草案，2.5GHz 頻段原頻率範圍 2496-2690MHz，原先分配給教育寬頻服務（Educational Broadcast Service, EBS）使用，為了促進頻段使用效率以及讓閒置頻譜可由需求單位取得以提供 5G 服務，故 FCC 規劃藉由轉化 EBS 執照內容，促使該頻段可用於 5G。藉由意見徵詢的機會，FCC 徵詢各界對於 2.5GHz 頻段相關使用議題，包括既有執照條件之修正、導入新執照服務架構之可能性與制定新執照規範等。[124]

(2) 3.5GHz 頻段

FCC 於 2017 年 10 月發布 3550-3700MHz 頻段修正建議草案，對於原使用於公眾寬頻無線服務（Citizens Broadband Radio Service, CBRS）的 3550-3700MHz，規劃其優先接取執照（Priority Access Licenses, PAL）將修正規範內容，針對更長的執照效期、換照機制、更大的執照地理區域以及競價機制等議題均規劃進行調整。同時，FCC 也向公眾諮詢對於技術規範的變更，得保障既有與後續第一層使用者免受有害干擾。另外，FCC 也尋求變更資訊安全規範的建議，以保障私有資訊與保護關鍵基礎設施。[125]

經過一年的政策研析與評估，FCC 決議發布 3.5 GHz 頻段之政策文件，希冀推動 3.5 GHz 頻段之投資與布建，藉以確保能讓美國持續保有下世代服務（包括 5G）之領先地位。FCC 轉變原先以共享作為

[124] FCC (2018), Transforming the 2.5 GHz Band , available at: https://transition.fcc.gov/Daily_Releases/Daily_Business/2018/db0511/FCC-18-59A1.pdf (last visited: 2018/6/11)

[125] FCC (2017), Promoting Investment in the 3550-3700 MHz : Notice of Proposed Rulemaking and Order, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-347045A1.pdf (last visited: 2018/6/11)

此頻段管理思維之核心，變更其發照規範與技術規則，希望促進該頻段能更有效率之使用。[126] FCC 命令的重點包括：

- 改變優先接取執照業者（PAL）的執照區域，從原先地理涵蓋較小的人口普查區，修正為範圍較大的郡（country）；
- 延長 PAL 執照年限，從原先的 3 年執照期限且不可換照，調整為 10 年且可換照；
- 建立執照屆期前的績效規範，以評估是否允許執照業者換照；
- 確保每執照區域內有七張 PAL 執照可用；
- 允許偏鄉地區與原住民機構可使用競價優惠；
- 允許 PAL 的出租與轉讓；
- 更新資訊安全規範，以保護註冊資訊；
- 在保障其他業務使用之同時，仍確保有足夠的頻寬可供傳輸。

FCC 考量 3.5 GHz 頻段已成為全球 5G 的重要頻段，因而調整其規管思維，促使該頻段更適合用於 5G 布建，FCC 對 3.5 GHz 頻段管理機制之修正文件中，主要針對 PAL 進行調整，提供更大的執照區域、更長的執照效期與可申請續照之權利，並建立績效評估規範，同時修正競價規則，且允許 PAL 的出租與轉讓。修正後之規則，將與 FCC 原先對於促進 4G 與 LTE 布建之規範一致，以促進對於 5G 之額外投資。FCC 一併調整相關技術規範與資安標準，以保護商業敏感資訊與關鍵基礎設施。FCC 認為，此舉將有助於帶動對該頻段之

[126] FCC (2018), FCC Takes action to encourage increased investment and deployment in the 3.5 GHz band, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-354694A1.pdf (last visited: 2018/11/1)

投資與促進布建，提升頻譜有效使用，並且確保能加快於美國境內實現下世代行動技術之布建。[127]

(3) 3.7-24GHz 頻段

FCC 於 2017 年 7 月發布對於 3.7-24GHz 頻段間的調查公告，向公眾諮詢各界對於 3.7-24GHz 頻段中適用於 5G 業務頻段之看法。FCC 針對三個特定頻率範圍區間進行調查，分別為 3.7-4.2GHz、5.925-6.425GHz 以及 6.425-7.125GHz 等，探詢該頻段適用於 5G 的可能性，另外，也向公眾徵詢有無其他適合作為 5G 候選頻段之頻段，並徵詢可提升使用效率與促進彈性使用機會的中長期策略。[128]經過一年的意見徵詢，FCC 於 2018 年 7 月時，發布對於 3.7-4.2GHz 頻段的後續政策決議文件與規劃，開始清查 3.7-4.2GHz 頻段內，既有使用者之基站設置狀態，要求所有運作於 3.7-4.2GHz 頻段之既有業者，應提交其地球電臺與太空電臺之相關資訊。

(4) 24GHz 以上頻段

FCC 於 2016 年 7 月發布 24GHz 以上頻段第一次報告與命令及下階段法規修正預告[129]，內容針對 24GHz 頻段以上毫米波頻譜資源應用於 5G 時，建立高頻微波彈性使用業務執照（Upper Microwave Flexible Use Service, UMFUS）架構型態。該次報告亦將 28GHz、37GHz 與 39GHz 列為 5G 執照頻段，而 64-71GHz 頻段則作為新一波開放之免執照頻段。

---

[127] FCC (2018), Report and Order: promoting investment in the 3550-3700 MHz band, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-18-149A1.pdf (last visited: 2018/11/1)
[128] FCC (2017), Exploring Flexible Use in Mid-Band Spectrum between 3.7GHz and 24 GHz : Notice of Inquiry, available at: https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DOC-345789A1.pdf (last visited: 2018/6/11)
[129] FCC (2016), Use of spectrum bands above 24GHz : Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-16-89A1.pdf (last visited: 2018/6/11)

FCC 更進一步於 2017 年 10 月發布第二次報告與命令與第二次法規修正預告[130]，除第一次報告與命令中開放的 28GHz、37GHz 與 39GHz 頻段外，另外新增釋出 24GHz 與 47GHz 頻段作為 5G 毫米波頻譜使用，釋出頻寬達 1,700MHz。另外，針對 70/80GHz 頻段，則更進一步討論是否能以免執照架構釋出該類頻譜資源。

FCC 於 2018 年 6 月發布第三次報告與命令及第三次法規修正預告。[131]第三次報告與命令中，探討後續可釋出之頻譜資源與規管架構，例如對於 37GHz 頻段（37-37.6GHz）將以 100MHz 為單位，釋出 6 個執照區塊，總計 600MHz 頻寬。針對 24GHz 部分頻段，則允許讓 UMFUS 業務與固定衛星業務（FSS）共享該 24GHz 頻段（24.75-25.25GHz）。

另外，FCC 也在第三次報告與命令文件中，調整原先對 28GHz、37GHz 與 39GHz 頻段採事前頻譜持有上限 1250MHz 之規範，讓業者於拍賣中有充分機會取得所需頻譜資源。在新增 5G 可使用頻段之議題上，第三次報告與命令討論 26GHz 頻段（24.75-25.25GHz）、42GHz（42-42.5GHz）頻段應用於無線寬頻服務時的相關議題，包括以執照架構、共享架構或免執照架構釋出該頻段資源的可能性。

FCC 於 2018 年 8 月 3 日公告 5G 高頻段頻譜第四次法規修正預告，以利後續進行 37 GHz、39 GHz 與 47 GHz 頻段拍賣釋出作業。本次諮詢修正 37 GHz 高頻部分（37.6-38.6 GHz）、39 GHz 與 47 GHz 原先以 200 MHz 頻寬為執照單位區塊之設計，改以 100 MHz 為單位。另外，考量到 39 GHz 頻段（38.6-40 GHz）部分區域仍有既有執照業者使用中，為促進頻譜連續性，故 FCC 規劃對前揭頻段採取誘因拍賣機制，提升既有執照業者繳回頻譜資源之意願，競價則以二階段

[130] FCC (2017), Use of spectrum bands above 24GHz : Second Report and Order and Second Further Notice of Proposed Rulemaking Order on reconsideration and Memorandum opinion and order, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-347449A1.pdf (last visited: 2018/6/11)
[131] FCC (2018), Use of spectrum bands above 24GHz : Third Report and Order, Memorandum Opinion and Order, and Third Further Notice of Proposed Rulemaking, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-18-73A1.pdf (last visited: 2018/6/11)

方式進行，第一階段先讓競價者對欲取得之頻塊數量出價，第二階段競價者再依據得標頻塊數量對特定頻率位置出價。[132]

FCC 在第四次法規修正預告文件中，亦徵詢公眾對於無意願參與誘因拍賣的既有執照業者，其頻譜資源重新配置可採行選項之看法。此種強制性重新配置的設計原由，在於 FCC 希望能夠將頻段內既有負擔最小化，並最大化可釋出之乾淨頻譜資源，同時兼顧既有執照業者之使用權利。。

由 FCC 歷年來持續發布對 24GHz 之相關政策文件，比較如下表 7- 11。顯見 FCC 持續檢討、修正 24GHz 以上頻段作為 5G 頻譜使用之相關規管制度，包括管理架構、競價制度、執照地理區域等議題，確保頻譜資源釋出能符合產業需求。

表 7- 11：美國 FCC 24GHz 以上頻段整備歷程

	報告與命令決議	下階段法規修正
2016 (第一次政策文件)	● 建立 UMFUS 執照管理架構。 ● 以執照方式釋出 28GHz、37GHz、39GHz 頻段。 ● 以免執照方式釋出 64-71GHz。 ● 制定前揭頻段相關管理制度，包括頻譜持有上限、執照區域、地理涵蓋規範、與衛星業務之共存與管理架構等。	● 諮詢下列頻段應用於固定與行動通訊之可能性，包括 24.25-24.45GHz 、24.75-25.25GHz 、 31,8-33GHz 、 42-42.5GHz 、47.2-50.2GHz 、 50.4-52.6GHz 、 71-76GHz 、81-86GHz 與 95GHz 以上頻段等。 ● 諮詢 37GHz（37-37.6GHz）發展共享機制的可能性。 ● 諮詢物聯網型態適用之地理涵蓋範圍資訊。

[132] FCC(2018), FCC Proposes steps towards auction of 37 GHz, 39 GHz, and 47 GHz, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-353229A1.pdf(last visited: 2018/11/2)

		● 諮詢 28GHz、37GHz 與 39GHz 以及後續釋出頻段之頻譜持有上限議題。 ● 諮詢衛星業務使用 37.5-40GHz 頻段技術規範。 ● 諮詢相關頻段技術規範。
2017 (第二次政策文件)	● 釋出 24GHz 與 47GHz 頻段共 1,700MHz 頻寬。 ● 取消 24GHz 與 47GHz 頻段之競價前頻譜取得上限規範。 ● 毫米波頻譜（24GHz、28GHz、37GHz、39GHz 與 47GHz）持有上限修正為 1850MHz。	● 規定固定衛星業務更彈性使用 24.75-25.25GHz 頻段。 ● 討論物聯網類型應用適合之地理涵蓋範圍規範。 ● 規劃取消 28GHz、37GHz 與 39GHz 頻段之競價前頻譜持有上限規範。 ● 探討 24GHz 頻段運作設備規範。 ● 其他應列入討論之頻段。
2018 年 6 月 (第三次政策文件)	● 允許 UMFUS 業務的地理涵蓋規範應適合物聯網布建。 ● 核定 24GHz 頻段設備運作規範。 ● 開放 24.75-25.25GHz 頻段可由 UMFUS 與 FSS 共享使用。 ● 37GHz 頻段（37-37.6GHz）以 100MHz 為單位，釋出六個區塊。 ● 取消原先設計 28GHz、37GHz 與 39GHz 競價前持有上限 1,250MHz 之規範。	● 討論 42GHz 頻段應用於無線寬頻服務之可能性，包括以共享方式或免執照方式開放使用。 ● 諮詢 26GHz 頻段應用於固定與行動通訊使用之可能性。 ● 諮詢 37GHz 頻段由兩家以上非聯邦業者使用，或聯邦機關與非聯邦業者間的協調機制。 ● 探討個別 FSS 地球電臺使用 50GHz 頻段時，能否適用 24.75-25/25GHz 頻段之標準。
2018 年 8 月 (第四次政策文件)	● 修正 37 GHz 高頻部分（37.6-38.6 GHz）、39 GHz 與 47 GHz 原先以 200 MHz 頻寬為執照單位區塊之設計，改以 100 MHz 為單位。	● 39 GHz 頻段（38.6-40 GHz）部分區域仍有既有執照業者使用中，為促進頻譜連續性，故 FCC 規劃對前揭頻段採取誘因拍賣機制。 ● 徵詢公眾對於無意願參與誘因拍賣的既有執照業者，其頻譜資源重新配置可採行選項之看法。

資料來源：FCC，本計畫整理

(5) 95GHz 以上頻段

FCC 於 2018 年 2 月發布 95GHz 以上頻段的法規修正草案，討論 95GHz 以上頻段應用於創新服務與科技時，頻譜資源相關議題。FCC 規劃在 95GHz 以上頻段以固定點對點式業務，提供執照頻寬達 102.2GHz，以及 15.2GHz 的免執照頻寬，同時 FCC 建立高頻段實驗執照架構，讓企業有機會在 95GHz 頻段到 3THz 頻段間發展創新服務與技術，不限制其使用區域與採用之技術型態。

4、實驗案例發展

美國行動通訊業者正積極向 FCC 申請實驗執照，而取得試轉 5G 實驗案例的機會，例如 AT&T 向 FCC 申請於加州洛杉磯會議中心（Los Angeles Convention Center）地區使用 28GHz 頻段實驗執照，在電子娛樂展覽會（Electronic Entertainment Expo）中提供 5G 服務。該項實驗執照的特別條件包括：[133]

- 執照持有人須要和既有微波無線使用者溝通協調，以避免干擾；
- 執照持有人必須避免將發射天線主波增益指向和地球靜止軌道弧上任意點的 10 度角內；
- 固定無線基站或行動基站的天線主波集束仰角應在零度或水平線以下（低於零度）。

另外，Verizon 同樣積極在洛杉磯等地推動 5G 服務發展，Verizon 宣稱洛杉磯與沙加緬度等地均已成為 5G 城市。Verizon 藉由

[133] FCC (2018), Experimental special temporary authorization, available at: https://apps.fcc.gov/els/GetAtt.html?id=209919&x=.

28GHz 與 39GHz 頻段提供 5G 相關的智慧城市、物聯網與工業自動化等應用及服務，合作夥伴包括三星電子以及愛立信等設備商。[134]

FCC 於 2018 年 10 月公布各界申請 28 GHz 頻段之實驗執照核配結果，於國內 16 個地點釋出相關實驗站臺供諾基亞、Verizon、US Cellular campus 等單位使用，實驗執照效期自 2018 年 10 月 15 日起至 2020 年 4 月 1 日止。實驗頻率為 27.5-28.35 GHz，許可功率則為 47.8 瓦（ERP）。使用地點則包括位於德州的歐文市（Irving）、阿靈頓海茲市（Arlington Heights）、爾萊市（Euless）、南普萊恩菲爾德市（South Plainfield）、巴思金里奇市（Basking Ridge）等，相關實驗案例整理如下表 7- 12。[135]

[134] Fierce Wireless （2018）, Verizon remains encouraged by millimeter wave propagation : analysts, available at: https://www.fiercewireless.com/wireless/verizon-remains-encouraged-by-millimeter-wave-propagation-analysts

[135] FCC (2018), Experimental radio station construction permit and license, available at: https://apps.fcc.gov/els/GetAtt.html?id=218090&x= (last visited: 2018/11/1)

表 7- 12：FCC 近期核配之 28GHz 實驗執照適用範圍

站臺區域	核配業者/地點	使用頻率
Irving	Nokia 大樓周圍 2 公里	27.5-28.35 GHz
Arlington Heights	Nokia 大樓周圍 2 公里	
Euless	Verizon 大樓周圍 2 公里	
South Plainfield	Verizon 大樓周圍 2 公里	
Basking Ridge	Verizon 大樓周圍 2 公里	
Waltham	Verizon 大樓周圍 2 公里	
Murray Hill	Nokia 大樓周圍 2 公里	
Framingham	Robert 路周圍 2 公里	
Schaumburg	US Cellular 園區周圍 2 公里	
Schaumburg-2	US Cellular 園區周圍 2 公里	
Carrollton	Verizon 大樓周圍 2 公里	
Holmdel	Nokia 設施周圍 2 公里	
Highland Park	Raritan 大道周圍 2 公里	
New Tork	Columbia 大學設施周圍 2 公里	
Perry	用戶端所在地周圍 2 公里	
New York	用戶端所在地周圍 2 公里	

資料來源：FCC

其餘超高頻段部分，根據 FCC 於 2018 年 2 月調查 95GHz 以上頻段之實驗執照狀況，當時共有 11 個實驗執照案例，其中有四個案例在使用 95.5-96GHz 頻段，四個案例使用 100-105GHz 頻段，另有三個案例使用超過 400GHz 以上頻段之頻譜資源進行實驗。例如，布朗大學正進行 100GHz、200GHz、300GHz、400GHz 頻段傳播模型量測之實驗，波音公司測試天線使用 148.5-151.5GHz 與 185-190GHz 頻段之實驗，以及雷神公司測試雷達接收 92-100GHz 與 102-105GHz 頻段訊號之實驗。[136]

[136] FCC (2018), Spectrum Horizons : Notice of Proposed Rulemaking and Order, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-348982A1.pdf (last visited: 2018/6/11)

(二) 頻譜使用與處理

FCC 於 2016 年 7 月發布之 24GHz 以上頻段第一次報告與命令中，主要討論之頻段包括 24GHz、28GHz、37GHz、39GHz 與 47GHz。另外幾次報告與命令規範，則陸續討論 26GHz 頻段等其餘可釋出之候選頻段，以下將整理候選頻段使用狀態。

1、 24GHz 頻段

在美國頻率分配表中，FCC 對 24.75-25.05GHz 頻段之主要業務分配給固定服務，24.75-25.25GHz 頻段之主要業務則包括行動通訊服務以及固定衛星服務。未來，24 GHz 頻段將作為 5G 頻譜使用。

2、 26GHz 頻段

在美國頻率分配表中，26GHz 頻段目前在美國主要由聯邦與非聯邦太空研究衛星業務（Space Research Service, SRS）太空對地球電臺使用，另外也有部分由非聯邦的地球探索衛星（Earth exploration-satellite service, EESS）使用。

26GHz 頻段已被歐洲與中國規劃為 5G 候選頻段，在美國則分配給聯邦政府使用，但隨著此頻段在全球 5G 的重要性日漸升高，故 FCC 也開始討論將該頻段應用於非聯邦固定與行動通訊（5G）使用之可能性。

3、 28GHz 頻段、37GHz 與 39 GHz

28GHz 原先既有使用者為固定區域多點配送服務（fixed Local Multipoint Distribution Service, LMDS）業務使用，最早於 1997 年即由 FCC 釋出，以非聯邦方式提供固定與行動通訊業務使用。美國無線電頻率分配表中，則核配給固定衛星業務使用，同時限制僅能作為地球對太空之地球電臺發射站使用。

37GHz 頻段則有聯邦軍事站臺使用，不過，FCC 協調出 600MHz 頻寬，可藉由共享方式提供給非聯邦業務使用。根據美國無線電頻率分配表，37GHz 頻段主要由聯邦與非聯邦使用固定及行動通訊服務。

39GHz 頻段之 38.6-40GHz 原先提供給固定地面業務使用，依據無線電頻率分配表，該頻段以非聯邦使用提供用於固定、固定衛星（太空對地球）業務以及行動業務使用。另外，美國軍方則使用 39.5-40 GHz 頻段提供聯邦固定衛星（太空對地球）業務使用。

(三) 執照管理與規範義務

1、 執照架構與管理規範

(1) UMFUS 執照 （24GHz、28GHz、37GHz、39GHz 與 47GHz）

FCC 於 2016 年 7 月發布之 24GHz 以上頻段第一次報告與命令中，[137]對應用於 5G 的 24GHz 頻段以上毫米波頻譜資源建立高頻微波彈性使用業務執照（UMFUS）架構型態，當時將 28GHz、37GHz 與 39GHz 頻段均列入適用此執照架構之對象頻段。2017 年 10 月發布之 24GHz 以上頻段第二次報告與命令中，則更進一步將 24GHz 與 47GHz 頻段列入 UMFUS 執照型態。

(2) 24GHz 頻段執照

FCC 在 2017 年 10 月發布的 24GHz 以上頻段第二次報告與命令中，提出對 24GHz 頻段（25.25-27.25GHz）的執照架構。在美國頻率分配表中，FCC 對 24.75-25.05GHz 頻段之主要業務分配給固定服務，24.75-25.25GHz 頻段之主要業務則分配給行動通訊服務，相關頻段使用行動與固定服務時，均適用於UMFUS之執照架構。其中，24.75-25.25 的另一主要業務為固定衛星服務，故 FCC 過往已於該頻段核發固定衛星業務地球電臺執照。經過 FCC 的統計，現階段於 24.75-25.25GHz 頻段運作固定衛星業務地球電臺的數量有限，基於促進公共利益的考量，因此 FCC 決定讓 UMFUS 與 FSS 地球電臺共享 24.75-25.25GHz 頻段。

---

[137]前揭註 129。

(3) 26GHz 頻段執照

FCC 在 2018 年 6 月發布的 24GHz 以上頻段第三次報告與命令中，探討 26GHz 頻段（25.25-27.25GHz）的執照架構。26GHz 頻段已被歐洲與中國規劃為 5G 候選頻段，在美國則分配給聯邦政府使用，但隨著此頻段在全球 5G 的重要性日漸升高，故 FCC 也開始討論將該頻段應用於非聯邦固定與行動通訊使用之可能性。

26GHz 頻段目前在美國主要由聯邦與非聯邦太空研究衛星業務（Space Research Service, SRS）太空對地球電臺使用，另外也有部分由非聯邦的地球探索衛星（Earth exploration-satellite service, EESS）使用。經過 FCC 初步調查，使用 26GHz 頻段時若要避免行動通訊業務基地臺干擾 SRS 電臺與 EESS 電臺，則必須距離 SRS 電臺 52 公里，EESS 電臺 7 公里。FCC 考量 SRS 電臺與 EESS 電臺周圍保護區人口涵蓋僅占整體美國人口密度很小的比例。因此，可能採取之措施為透過頻譜共享機制，讓非聯邦使用者有機會取得頻譜使用權以提供行動通訊業務。對此，FCC 徵詢各界對於保護既有使用者與透過頻譜共享方式讓新服務得使用該頻段等二項議題之看法。同時，FCC 表示將與國家電信資訊局（National Telecommunications and Information Administration, NTIA）密切合作，探討 UMFUS 執照架構適用 26GHz 頻段之可行性，同時也徵詢各界對 26GHz 頻段使用 UMFUS 執照之看法。

(4) 37GHz 頻段執照

在 2016 年 FCC 對於 37GHz 頻段的執照政策規範中，基於保護部分聯邦軍事用途站臺使用 37GHz 頻段之考量，因此規劃其中 37-37.6GHz 頻段共 600MHz 頻寬將以協調共享的方式釋出頻譜資源給聯邦使用者與非聯邦使用者。

部分業者、協會與機構對 FCC 此項政策提出訴願，包括 CTIA、5G America 以及 T-mobile 等均希望 FCC 再次考慮將 37-37.6GHz 規劃以共享方式作為主要核配機制的選項，並建議 FCC 以排他性專用

執照型態核發 37-37.6GHz 頻段之頻譜資源。惟 FCC 於 2018 年 6 月發布的 24GHz 以上頻段第三次報告與命令中，拒絕相關業者所提調整執照架構之訴願，對於 37-37.6GHz 頻段仍規劃採共享為主的執照架構。

依據 FCC 的調查，非聯邦使用者運用 37GHz 頻段時，預計有四種布建型態，包括點對點連線（作為後置與骨幹線路）、固定無線寬頻系統、單一物聯網基地臺系統以及行動通訊系統等使用型態。FCC 於 2018 年第三次報告與命令文件中，諮詢各界是否有其他潛在布建型態，可能對 37GHz 頻段執照架構產生影響？因應此四種布建型態，FCC 規劃採用兩種機制：1、先到先服務架構；2、註冊機制。FCC 認為實際使用者有免受干擾保護之權利，但沒有排除其他使用者使用之權利，故諮詢各界對於干擾保護協調機制之看法。

為了促進 37GHz 之布建，FCC 諮詢各界對非聯邦使用者提供三種執照型態之看法，包括點對點連線執照、基地臺執照或站臺群執照（Site-cluster licenses）。在站臺群執照類型下，使用者無需對個別點對點連線或基地臺申請執照，而是申請大範圍內（例如 5 公里內）的非專用區域站群執照。用戶申請站臺群執照時，應向 FCC 的整合執照系統（Universal Licensing System, ULS）註冊特定半徑範圍內的站臺使用。後續將持續觀察 FCC 最終決議內容。

(5) 42GHz 頻段執照

2018 年第三次報告與命令中，FCC 另外對諮詢各界對於 42GHz 頻段（42-42.5GHz）歸屬於UMFUS執照架構之看法，該頻段預計以 100MHz 為單位，共釋出 500MHz 頻寬。過往諮詢文件中，各界普遍支持對 42GHz 頻段採 UMFUS 排他性專用執照架構之規劃。不過，基於與既有業務共存使用之相關考量因素，FCC 也開始向公眾諮詢關於UMFUS執照架構，除原先排他性專用執照型態外，有無導入免執照方式或共享頻譜使用之可能性。

(6) 50GHz 頻段執照

FCC 於 2016 年 24GHz 以上頻段第一次報告與命令中，曾徵詢各界對於應用 UMFUS 執照架構於 50GHz 頻段（50.4-52.6GHz）之看法，在 2018 年第三次報告與命令中，FCC 仍規劃 50GHz 頻段可適用 UMFUS 執照架構。惟 50GHz 頻段中，50.4-51.4GHz 頻段主要為聯邦與非聯邦固定衛星業務與行動衛星業務使用，因而在 FCC 規劃將 50GHz 頻段適用於 UMFUS 執照架構的政策草案公告後，FCC 收到來自 8 件申請衛星應用或進入市場的申請文件，同時也收到來自 20 件地球電臺在既有 50.4-51.4GHz 頻段使用固定衛星業務中傳送寬頻服務的申請。

FCC 考量 50.4-51.4GHz 頻段先前已有固定衛星業務使用，且運作中的 FSS 地球電臺數量有限，影響程度較小，因此 FCC 規劃既有 FSS 地球電臺可參考與 24GHz 頻段一致的標準，讓該頻段可允許 UMFUS 與固定衛星業務執照共存使用，對此徵詢各界看法。

2、釋照方式

FCC 目前已於 2018 年 4 月發布對 28GHz 與 24GHz 的釋照方式諮詢文件，預計於同年 11 月 14 日開始進行競價作業。FCC 對於 28GHz 頻段競價作業設定批次代號為 101（Auction 101），對於 24GHz 頻段競價作業批次代號則為 102（Auction 102）。[138]

FCC 於此二次拍賣預計釋出 1.55GHz 頻寬，在 28GHz 頻段部份，將以縣為單位釋出共計 3,074 張執照，每張執照頻寬為 425MHz，釋出頻率範圍為 27.5-27.925GHz 與 27.925-28.35GHz。至於 24GHz 頻段，則以部份經濟區域（Partial Economic Area, PEA）為執照地理單位，共釋出 2,912 張執照，24GHz 頻段低頻部份（頻率範圍：24.25-24.45GHz）將以 100MHz 為單位釋出兩塊，高頻部份（頻率範圍：

[138] FCC (2018), Auction of upper microwave flexible use licenses for next-generation wireless services: Comment sought on competitive bidding procedures for Auction 101 (28GHz) and 102 (24GHz), available at: https://transition.fcc.gov/Daily_Releases/Daily_Business/2018/db0417/FCC-18-43A1.pdf (last visited: 2018/6/11)

24.75-25.25GHz）則釋出五塊 100MHz。兩個頻段均以非成對頻塊方式釋出。28GHz 頻段與 24GHz 頻段執照區塊如下表 7- 13。

表 7- 13：28GHz 與 24GHz 頻段釋出規劃

區塊	頻率範圍（GHz）	總頻寬	地理區域	執照張數
28GHz				
1	27.5-27.925	425 MHz	縣	1,537
2	27.925-28.35	425 MHz	縣	1,537
24GHz				
1	24.25-24.35	100 MHz	PEA	416
2	24.35-24.45	100 MHz	PEA	416
3	24.75-24.85	100 MHz	PEA	416
4	24.85-24.95	100MHz	PEA	416
5	24.95-25.05	100MHz	PEA	416
6	25.05-25.15	100MHz	PEA	416
7	25.15-25.25	100MHz	PEA	416

資料來源：FCC

目前 28GHz 頻段既有使用者約涵蓋 1,695 縣，以及部份涵蓋 2 個縣。24GHz 頻段既有使用者則涵蓋 9 個 PEA。28GHz 頻段既有使用者則包括固定衛星服務的地球電臺，至於 24GHz 頻段既有使用者則包括廣電衛星服務（Broadcast Satellite Service, BSS）的饋線鏈路電臺。

在競價程序上，FCC 規劃分別進行二次競價，28GHz 頻段之競價作業將於 2018 年 11 月 14 日開始進行，24GHz 頻段之競價作業則緊接於 28GHz 競價作業結束之後開始進行。

由於競價將採分別運作，因此 FCC 將分別對不同頻段採取不同競價機制，由於 24GHz 頻段的頻塊性質相似，故將採時鐘拍賣（Clock Auction）機制。至於 28GHz 頻段則採標準型同時多回合上升（Standard Simultaneous Multiple Round, SMR）。

28GHz 頻段採取的標準型 SMR 競價機制，參與競價者可同時對競價標的出價，並依照競價結果決定得標者。競價將透過網際網路連線到 FCC 的拍賣競價系統。

24GHz 頻段採取的時鐘拍賣競價機制，則採上升型時鐘拍賣，第一階段會先讓各競價者揭示其對特定區域之需求頻塊數量，第二階段則讓競價者對實際核配之頻率位置出價，藉以決定得標者實際得標頻率範圍。

3、 規範義務

FCC 歷經三次發布報告與命令，其規範義務現階段仍著重於以下二點：1、服務涵蓋規範；2、頻譜持有上限政策規範。以下將以此二點以及技術規範分別說明。

(1) 服務涵蓋規範

2016 年 FCC 發布 24GHz 以上毫米波頻譜第一次報告與命令文件時，規範 28GHz 頻段與 39GHz 頻段持有人應提供穩固、有品質的網路涵蓋，惟後續 FCC 於 2017 年 10 月第二次報告與命令時，考量未來物聯網布建型態特性對網路的影響，因此規劃將原先設訂網路訊號涵蓋範圍應於換照前達到執照地理區域 40%的規範，修正為應達執照地理區域 25%的訊號涵蓋。

2018 年 6 月第三次報告與命令中，FCC 落實此項法規修正，規範 UMFUS 執照持有人之網路運作績效指標中對於網路訊號涵蓋範圍，應達執照地理區域 25%的標準。

(2) 頻譜持有上限政策規範

另一項 FCC 持續檢討、修正的規範義務為頻譜持有上限。2016 年 FCC 第一份報告與命令對於 28GHz、37GHz 及 39GHz 總頻譜持有量劃下 1250MHz 的競價前管制上限，但 2017 年 FCC 第二次報告與命令中，則考量對毫米波頻譜資源設定事前持有上限，可能對有意取得頻譜資源的業者造成不必要的限制，同時，FCC 亦認為現階段

尚缺乏足夠資訊判斷需要多少頻譜資源方得滿足未來頻寬需求，因此規劃取消對毫米波頻譜採取競價前設定頻譜持有上限之管制方法，改為競價後以個案審查方式評估頻譜持有上限是否合理。此種事後管制機制於 2018 年 FCC 第三次報告與命令中達成決議，故不再規範毫米波頻譜之競價前頻譜持有上限。

4、 技術規範

FCC 於 2017 年 10 月第二次報告與命令中，針對產業利害相關人對 2016 年第一次報告與命令中之相關技術規範回覆意見進行評估。前揭技術規範議題包括天線高度限制、基地臺傳輸功率限制、最小頻寬等。有部分利害相關人建議 FCC 應規範天線高度以 305 公尺為門檻，惟 FCC 認為依照不同頻段特性，有些頻段所需天線高度可能更高，故現階段沒有限制天線高度的必要。

關於最小頻寬議題，有產業利害相關人建議應以 20MHz 為底限，惟 FCC 評估後，認為不同應用型態的設備所需頻寬大小有顯著差異，例如電力讀表系統可能以月為單位傳輸數據，其所需頻寬就會與即時影音串流服務所需頻寬有很大的落差。FCC 考量現階段仍為 5G 發展初期，尚無必要課予過多管制規範，讓設備開發商有足夠的彈性依市場需求設計相對應的設備，因此，FCC 最終決定不對 UMFUS 設備課予最小頻寬限制。

(四) 小結

為了讓美國成為領先全世界提供 5G 的國家，FCC 主席 Pai 認為必須制定完整的無線頻譜政策，確保美國的領先地位。FCC 之 5G 三大策略分別為前瞻頻譜政策、現代化的基礎設施政策以及以市場為基礎的管制規範。

在頻譜整備上，FCC 將於 11 月拍賣 28 GHz 與 24 GHz，目前已完成合格競價者之申請作業，後續則尚有 37GHz、39GHz 頻段將陸續釋出。中頻段部分，FCC 也修正 3.5GHz 之規管架構，鼓勵業者投

資該頻段布建 5G，同時盤整 3.7-4.2 GHz 頻段之使用現況，探詢更進一步釋出適合 5G 布建之候選頻段。

除前揭頻段外，FCC 亦投入對於 66GHz 頻段以及超過 95 GHz 頻段作為創新應用頻段之可能性，顯見 FCC 積極整備頻譜資源，確保產業擁有足夠頻譜資源發展創新應用之契機。

四、 澳洲

(一) 政策發展近況與候選頻段更新

1、頻譜政策藍圖與規管原則

(1) 5G 政策思維

澳洲政府認為 5G 是無線行動通信技術發展的下一步，有望改善連接性，提高網路速度，以及降低延遲性。政府認為 5G 不僅僅是行動通信的量化改變，5G 將進一步為澳洲各個領域的經濟帶來下一波的創新與成長。

澳洲政府希望創造一種環境，使澳洲的電信業者能夠在全球的經濟環境中抓住 5G 的優勢，為此，澳洲政府於 2017 年 10 月 12 日發布了 5G 的指引文件－「5G 促進未來經濟」[139]，該文件概述政府將採取的行動措施，確保澳洲及時推出 5G，相關的行動措施包括：

- 及時提供可用頻譜；
- 積極參與國際標準化進程；
- 精簡配置，以允許行動業者可以更快速地部署 5G 基礎設施；
- 審查現有的電信監理配置，以確保其適合的用途。

澳洲政府同時宣布將召集一個工作小組來推動 5G 行動技術的布建，該小組將彙集政府和產業界的代表，並就 5G 問題展開持續對話。

有關及時提供可用頻譜的部分，澳洲政府認為透過一個明確、高效及靈活監管架構來管理頻譜接取，對支持澳洲及時部署 5G 網路至關重要。

(2) 現代化頻譜管理架構

---

[139] Australian Government (2017), 5G—Enabling the future economy, available at: https://www.communications.gov.au/departmental-news/5g-enabling-future-economy

澳洲政府目前正在推動讓澳洲頻譜管理架構更現代化，確保其符合高效及靈活的目的。澳洲政府於 2017 年 5 月提出概述框架及改革建議，旨在簡化和精簡頻譜分配流程，並提供透明、高效和靈活的頻譜管理架構，此一變動將為過去 25 年澳洲頻譜管理架構最重大的變化。[140]

改革將會消除執照類型之間的障礙，並實現靈活的釋照和分配流程。此種策略作法將取代過時流程，讓 ACMA 更有效地回應市場需求和新興技術（如 5G）。改革也會有助於澳洲未來數十年保持現代創新經濟的國際競爭力。澳洲將在 2019 年之前制定新的頻譜管理架構，而 ACMA 則致力於 2018 年拍賣 3.6GHz 頻譜。

改革核心是引入單一的釋照制度，在釋照、規劃、分配和更新方面，提供更加簡化的管理作法，並提供更大的流程確定性。頻譜的授權將在不需執照的情況下管理頻譜的使用。

現有執照制度由類別執照、設備執照和頻譜執照所組成，不僅制度較為僵化，而且也可能過度規管。消除目前執照類型之間存在的障礙，使執照制度能更完善地回應新興技術和創新服務的發展。

改革執照制度的目標是讓 ACMA 得以實現新興技術、簡化流程，並提高用戶的時效性。在新的架構下，執照的關鍵特性將在本身指定的條件之中，從而為用戶提供更高的透明度。

單一執照制度將提供執照持有人明確的權利與義務，附加條件可能會記載於執照規範之內，例如技術參數。指定的使用規範也會落實在執照內，例如限制執照的交易、暫停或取消的能力等。

新的規管架構將為釋照制度提供法律框架，其將規定一系列必要的執照關鍵條件，包括：

- 地理區域（頻寬）；
- 設備註冊；

[140] Australian Government (2017), Fact sheet - Introducing the Single Licensing System, available at: https://communications.govcms.gov.au/file/27021/download?token=sTYWZtg6

- 禁止不合格的人員；
- 終止條件的配制；
- 執照效期（最長 20 年）；
- 各種應收費用 。

2、5G 頻譜政策發展近況與釋出時間規劃

(1) 3.6GHz 頻段

ACMA 於 2017 年 6 月發布未來使用 3.6 GHz 頻段的公開諮詢[141]，諮詢於 2017 年 8 月 4 日截止，以徵求業界相關意見，及了解如何最好地重新規劃該頻段。檢視利益相關者的意見後，ACMA 於 2017 年 8 月 11 日發布未來使用 3.6 GHz 頻段的決議及初步意見文件[142]。在決議文件中，ACMA 建議通信部長（Minister for Communications）在澳洲的特定都會區和區域地區（regional areas）重新分配 3.6 GHz 頻段，並建議釋照方式採用頻譜執照的配置。

ACMA 於 2017 年 10 月發布 3.6 GHz 頻段頻譜重分配建議草案[143]諮詢文件，該諮詢截止於 2017 年 11 月 27 日，其中 ACMA 對頻譜配置採用 5 MHz 頻寬的配置方式，獲得各界廣泛支持，然而仍有許多觀點支持地理配置的方式，因此 ACMA 將會檢視地理選擇性配置，作為 3.6 GHz 頻譜分配的備選方案。

澳洲通訊部長於 2018 年 3 月 5 日正式聲明將透過頻譜執照的釋照方式，重分配特定都會區和區域地區 3575-3700 MHz（3.6 GHz 頻段）的頻譜。[144]ACMA 根據 1992 年無線電通信法第 60 條的規定，正準備透過基於價格分配的拍賣程序重分配 3.6 GHz 頻段的頻譜執照。

---

[141] ACMA （2017）, Discussion paper: Future use of the 3.6 GHz band—Options paper, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/~/media/8C4B47BE6C4B48EC860D24B8ED058D31.ashx

[142] ACMA （2017）, Future use of the 3.6 GHz band—Decisions and preliminary views paper, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/~/link.aspx?_id=17BFF36784FF4151B1217647D6957112&_z=z

[143] ACMA （2017）, Spectrum reallocation for the 3.6 GHz band, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/spectrum-reallocation-for-the-3-6-ghz-band

[144] ACMA （2018）, 3.6 GHz auction system format Information paper, available at:

除了 2018 年 5 月發布都會區和區域地區 3.6 GHz 頻段編配辦法草案之諮詢文件外，並於 2018 年 8 月開始進行利害相關人的申請程序，後續則於 2018 年 10 月底開始進行拍賣。3.6 GHz 頻段的釋出時程規劃如下表 7- 14 所示。

表 7- 14：3.6 GHz 頻段的近期規劃

	3.6GHz
釋出頻率範圍	3575-3700MHz
釋出總頻寬	125MHz
最低持有頻寬門檻	得標者應至少取得10MHz
規劃競價時程	2018年8月開始進行申請程序，10月底開始拍賣
執照區域規劃	分區執照，分為雪梨等大都會區、伯斯都會區以及其他區域執照
頻譜重整時程規劃	既有業者於以下區域使用時，應於時限內完成頻譜重整繳回執照 雪梨等大都會區應於釋照後2年內（2020年3月前)繳回 伯斯都會區應於釋照後5年內（2023年3月前)繳回 其他區域應於釋照後7年內（2025年3月前)繳回
釋出頻寬區塊	正辦理公眾諮詢中，分為以下兩種： 1、以5MHz為單位 2、一個15MHz 特定頻塊（3575-3590 MHz），其餘3590-3700MHz則以5MHz為單位，區分為22塊

資料來源：ACMA，本計畫整理

(2) 24.25–27.5 GHz 毫米波頻段規劃

ACMA 考量 24.25–27.5 GHz 毫米波頻段（Millimetre wave band）作為 5G 的第二候選頻段，然而目前頻段中仍有既有頻譜使用業者，包括太空研究、固定衛星服務（FSS），以及國家寬頻網路（National Broadband Network, NBN），因此 ACMA 需要進一步諮詢利害相關人。

A. 26 GHz 頻段諮詢文件

https://www.acma.gov.au/-/media/Spectrum-Monitoring-and-Analysis/Information/Word-Document/3-6-GHz-band-auction-system_information-paper-docx.docx?la=en

2017 年 9 月 5 日，ACMA 主辦 5G 頻譜使用毫米波頻段的頻譜磋商會議[145]，進一步在澳洲推動毫米波頻譜發展。鑑於國內和國際上日益增加對毫米波頻段的興趣，以及毫米波頻段中既有使用者的限制問題，透過本次會議和磋商過程，將相關建議用於制定 5G 初期毫米波頻段的政策參考。

隨後 ACMA 發布 5G 頻譜使用毫米波頻段的諮詢文件[146]，ACMA 建議使用頻譜磋商會議所蒐集到之意見，透過公眾諮詢程序加速研議 24.25-27.5 GHz 頻段（26 GHz 頻段）作為 5G 初期使用，並歡迎業界建議其他可用的毫米波頻段，以做主管機關政策參考。該諮詢文件的議題綜整如下：

- ACMA 應該採用什麼樣的方式來處理可能的 5G 毫米波頻段？傳統方法是否合適？在有明確頻譜協同一致的跡象出現，以及廣泛的生態系統成形之前，澳洲是否需要採取等待策略？還是應採取更積極主動的方式，使得頻譜能夠儘早釋出？這些方法各有哪些好處和風險？
- ACMA 的行動寬頻工作計畫中，在哪個時間點或什麼情況下，潛在的 5G 毫米波頻段將超出監控的範圍？
- 如果考量初期的頻譜配置，哪個 5G 毫米波頻段是最成熟的？
- 相較於 6 GHz 以下其他潛在的行動寬頻，毫米波頻段的調查是否有其優先性？
- 在 5G 的範疇內，是否需要改變特定的法規，以促進和支持衛星服務？

[145] ACMA (2017), Spectrum tune-up: Spectrum for 5G broadband in mmWave bands, available at: http://www.acma.gov.au/Home/theACMA/~/link.aspx?_id=5C6E9FA9517844359BD38DCBD2F85423&_z=z

[146] ACMA (2017), Spectrum for broadband in mmWave bands, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/spectrum-for-broadband-in-mmwave-bands

- ACMA 的考量過程中，26 GHz 頻段是否應透過初始調查來加速重新規劃，為行動寬頻業務增加額外的頻譜？為什麼？為什麼不？
- 是否存在可能影響 26 GHz 頻段用於行動寬頻業務時程規劃的具體議題？
- 最初應提供 24.25-27 GHz 頻段，或 24.25-27.5 GHz 頻段給行動寬頻業務？
- 26 GHz 頻段應採用何種釋照方式？
- 26 GHz 頻段應在哪些地理區域提供寬頻服務？
- 初期提供給行動通訊業務的頻譜，應採部分釋出或一次全部釋出？
- 其他毫米波頻段應採用何種釋照方式？
- 其他毫米波頻段應適合在哪些地理區域提供寬頻服務？

B. 26 GHz 頻段回應意見

ACMA 除了積極進行 3.6 GHz 頻段的拍賣以作為 5G 的使用頻段之外，並持續考量將 24.25–27.5 GHz 毫米波頻段（26 GHz 頻段）作為 5G 的第二候選頻段，因此現正積極將注意力轉向更高的頻率。ACMA 於 2018 年 9 月 26 日發布 26 GHz 頻段用於無線寬頻的意見文件[147]，以期提供更短距離，更高容量的無線寬頻服務，並補充更高密度區域的覆蓋。

26 GHz 頻段與上部相鄰的 28 GHz 頻段聯結在一起，這些頻段可能是國際上第一個廣泛用於無線寬頻服務的 mmWave 頻段。雖然 26 GHz 頻段只是 WRC-19 AI 1.13 中考慮多個頻段的其中之一，但 26 GHz 頻段已成為該研究議程項目下最受關注的主題。

[147] ACMA （2018）, Wireless broadband in the 26 GHz band Options paper, available at:

https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/15EF7BCEB00E4297B99953C9CDC27125.ashx

該文件指出，在澳洲 26 GHz 頻段內目前雖有既有頻譜使用業者，包括太空研究、固定式衛星服務（FSS），以及國家寬頻網路（NBN），但業務數量有限，而且迄今為止的研究顯示，未來無線寬頻與既有業務之間的共存應該是可行的，不需要約束或修改既有業務。因此考量與其他頻譜重整相比，加速考慮此頻段重整劃分的風險被認為是較低的。

在考慮利益相關者的回應之後，ACMA 決定加速釋出 26 GHz 頻段作為 5G 使用的程序。ACMA 同意該文件代表 26 GHz 頻段的下一步規劃，包含特定頻率和區域的配置方式、頻段如何分配、應編配何種執照，以符合無線寬頻各類型潛在多樣的服務。

具體而言，該文件建議的選項如下：

- 分配 24.25 - 27 GHz，或分配 24.25 - 27.5 GHz 頻段。（目前尚未確認 26 GHz 頻段的下限頻率為 24.25 GHz。因為迄今為止，對於 23.6 - 24 GHz 頻段與被動地球探測衛星業務（earth exploration satellite services, EESS）共存的國際研究資訊仍然不足，因此 ACMA 仍沒有足夠的資訊來確定該頻段的下限頻率，24.25 GHz 是 ACMA 初期假設的下限頻率。）
- 僅在特定的都會區編配頻譜執照，或在都會區或區域地區均可編配頻譜執照。（不管選項為何，無線寬頻服務將被允許可透過協調的設備執照接取定義外的區域。）
- 在定義的地理區域內，制定頻譜執照、設備執照和同頻類別執照的各種組合選項，以便接取各種不同類型的潛在服務。

有關 ACMA 受 23.6 - 24 GHz 頻段與被動地球探測衛星業務（EESS）共存國際研究資訊不足的影響，因此 ACMA 初期假設 26 GHz 頻段的下限頻率為 24.25 GHz 的問題，ACMA 將召集利益相關者組成工作小組，以考量頻率邊界和相關共存的議題，該工作小組將作為制定技術架構時所建立之技術聯絡小組（Technical Liaison Group, TLG）的補充，而不是替代。工作小組也將有機會討論該頻

段上限（即 27 或 27.5 GHz）的任何關注問題，並考慮是否有其他具體措施可有助於保護 FSS 衛星接收器。

3、5G 候選頻段更新

ACMA 於 2017 年 10 月公告澳洲 2017 至 2021 年的五年頻譜展望（five-year spectrum outlook, FYSO）[148]，針對 5G 候選頻段和毫米波頻段，ACMA 將持續觀察其他國家與 WRC-19 大會的發展，並透過諮詢公眾意見，尋求適合作為 5G 候選頻段之建議。

依據 FYSO 的規劃，ACMA 於 2018 年除了持續進行 3.6 GHz 頻段重分配和拍賣作業，也持續進行 24.25–27.5 GHz 毫米波頻段的觀察與規劃，另外也針對 850 MHz 和 900 MHz 等 5G 潛在頻段進行調察，說明如下：

(1) 850 MHz 頻段

ACMA 於 2015 年後期完成 803-960 MHz 頻段的評估作業，決定重分配 850 MHz 頻段，核配為頻譜執照的無線寬頻擴展頻段。該頻段正逐步清理中，預計 2021 年中期開始即可釋出該頻段的大部分頻譜，但預計至 2024 年才能完全清除。

與上述 3.6 GHz 頻段的情況一樣，ACMA 在重分配過程中，第一個正式步驟是盡一切努力向潛在受影響的執照持有人提供重分配建議草案的副本，並邀請相關執照持有人向 ACMA 提供有關該建議草案的任何意見。

如果有必要，在 ACMA 和部長的規劃決議下，ACMA 能夠提前將頻譜重分配為頻譜執照的可用頻譜，而不須至最終的 2024 年才批

[148] ACMA (2017), Five-year spectrum outlook 2017–21: the ACMA's spectrum management work program, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/229627FEEE544D76A554FF9EAAA59372.ashx

准該頻段，此一作法將會透過延長重分配的期限以保護現有服務的權利。

(2) 900 MHz 頻段

依據 2017 至 2021 年 FYSO，ACMA 有意建議於 2021 年中期完成 900 MHz 頻段（890-915 / 935-960 MHz）現有使用狀況清理，並透過拍賣方式重分配該頻段。預計拍賣程序將於 2019 年發布，並於 2021 年釋出新的、以 5 MHz 頻寬為單位的頻譜執照。

(3) 合併 850MHz 與 900 MHz 頻段

ACMA 已確認 850 MHz 和 900 MHz 頻段合併拍賣具備潛在增值效益，但是 850 MHz 頻段重分配的可用頻寬數量多寡，將受到政府對公共安全行動寬頻（public safety mobile broadband, PSMB）頻譜需求的影響。ACMA 傾向於盡早展開正式諮詢過程，並進行 850 MHz 和 900 MHz 的頻段拍賣，期望兩個頻段的最新執照可於 2021 年中期釋出。由於 850 MHz 頻段重分配的頻譜可用性須考量 PSMB，因此 ACMA 目前正持續與相關部門進行討論。

(4) 28 GHz 頻段

依據 ACMA 於 2018 年 9 月 26 日發布 26 GHz 頻段用於無線寬頻的意見文件[149]，ACMA 承諾將調查 28 GHz 頻段（27.5 GHz 至 29.5 GHz）額外配置設備執照（apparatus license）點對多點（point-to-multipoint）服務的可能性。依循此承諾，ACMA 於 2018 年 9 月 28

[149] ACMA （2018）, Wireless broadband in the 26 GHz band Options paper, available at:

https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/15EF7BCEB00E4297B99953C9CDC27125.ashx

日發布 28 GHz 頻譜規劃的討論文件[150]，以在該頻段使用配置具體改變之前，考量利益相關者與該頻段既有使用者的相關意見，以更全面地平衡該頻段現有和未來的潛在用途。

目前澳洲 28 GHz 頻段被用於固定衛星業務（FSS），其中包括須協調的閘道衛星地面站（gateway earth stations），其適用設備執照，以及不須協調的無所不在衛星地面站（ubiquitous earth station），其適用類別執照。預計這些 FSS 業務未來將持續使用該頻段，ACMA 希望為類別執照的衛星地面站配置額外層級的執照，這也是此次 ACMA 諮詢 28 GHz 頻段規劃的原因之一。

28 GHz 頻段除了用於 FSS 業務之外，目前該頻段的一部分也用於固定點對點鏈路業務，雖然部署相對有限，但 ACMA 認為從 2014 年才開放此項業務，因此根據當前業務的使用範圍來推斷未來的使用需求為時過早。

目前美國和其他主要市場都有興趣將 28 GHz 的部分或全部頻段用於固定和行動的廣域無線寬頻，這也是國際關注以毫米波頻段支持 5G 行動寬頻服務的一部分，一系列的頻段正受到審查，包括緊鄰的 26 GHz 頻段（24.25-27.5 GHz）。雖然 ACMA 考慮將 26 GHz 頻段用於區域範圍行動寬頻的部分取得很大的進展，但目前針對 28 GHz 頻段的審查，討論將兩個頻段結合還為時過早。因此該文件僅針對以下業務範圍進行討論：

- 閘道與無所不在 FSS 業務
- 點對點固定鏈路業務
- 固定基站點對多點無線接取業務
- 廣域固定與行動無線寬頻業務

[150] ACMA （2018）, 28 GHz spectrum planning Discussion paper, available at:

https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/992D0B89E5BB40098672A2F76320EBF7.ashx

雖然 ACMA 尚未就 28 GHz 頻段的長期配置形成任何觀點，但一些規劃旨在探討頻譜共享的範疇，以最大化頻譜的整體效用。28 GHz 頻段仍在初始調查階段，因此本討論文件應被視為 28 GHz 頻段現有與未來潛在使用和頻譜需求的對話啟動器（conversation-starter），不會包含任何詳細的重新計畫選項或權威機構的初步意見，也不會改變現有規範。28 GHz 頻段如有任何規劃或配置改變，或相關監管決定，都將與各方利益相關者進行額外磋商。

4、實驗案例發展

澳洲最大電信公司 Telstra 設於黃金海岸的 5G 創新中心於 2018 年 3 月揭幕，創新中心在南港（southport）及其周圍街道設置 Wi-fi 熱點，測試 5G 網路的負載量，並了解目前的技術發展程度及界限。[151]該計畫負責人表示，測試熱點將提供每台裝置每日 10 GB 的免費下載量，網路傳輸速度不會因使用者的裝置、與 Wi-fi 熱點之距離，以及連網人數而有太大差異性，且因 5G 服務尚未問世，用戶網速不會因此提升，但可藉此了解負載流量及電訊干擾等未來可能遭遇到的問題。

Telstra 並於 2018 年 4 月宣布，將在 2018 昆士蘭英聯邦運動會舉行期間，開展 5G 行動網路公眾測試。Telstra 指該測試將會是全球第一個 5G 行動網路的公眾測試，並說明會在昆士蘭黃金海岸南港使用到 5G 上網的 Wi-Fi 熱點進行公眾測試。Telstra 將利用在黃金海岸設立不久的 5G 創新中心，以管理與支援本次的 5G 網路測試。[152]

---

[151] 台灣經貿網：澳洲電信公司率先全球開始測試 5G 無線網路系統，參見：https://info.taiwantrade.com/biznews/%E6%BE%B3%E6%B4%B2%E9%9B%BB%E4%BF%A1%E5%85%AC%E5%8F%B8%E7%8E%87%E5%85%88%E5%85%A8%E7%90%83%E9%96%8B%E5%A7%8B%E6%B8%AC%E8%A9%A65g%E7%84%A1%E7%B7%9A%E7%B6%B2%E8%B7%AF%E7%B3%BB%E7%B5%B1-1449078.html

[152] MSN 財經：澳洲進行全球首個 5G 行動網路公眾測試，參見：https://www.msn.com/zh-hk/money/news/%E6%BE%B3%E6%B4%B2%E6%88%96%E9%80%B2%E8%A1%8C%E5%85%A8%E7%90%83%E9%A6%96%E5%80%8B-5g-%E6%B5%81%E5%8B%95%E7%B6%B2%E7%B5%A1%E5%85%AC%E7%9C%BE%E6%B8%AC%E8%A9%A6/ar-AAveBKP

由於目前仍未有支援 5G 的消費性產品手機，因此本次測試方式將使用以 5G 行動上網的 Wi-Fi 熱點，讓用戶以 Wi-Fi 連接熱點測試 5G 行動網路的速度。Telstra 表示本次 5G 行動網路的下載速度將達到 3Gbps，相當於 1,000 部高畫質影片同時間串流。參與 2018 英聯邦運動會的人士與當地市民，可使用完全免費的寬頻系統，Telstra 希望藉此測試系統的承載量。

除此之外，Telstra 還會提供一輛與 Ericsson 和 Intel 共同合作的 5G 連網汽車，車內上網速度可達到 1Gbps，透過 Wi-Fi 熱點的方式為乘客提供上網服務。該項專案目前仍在初期開發階段。

(二) 頻譜使用管理狀態

1、候選頻譜使用狀態

(1) 3.6GHz 頻段

3.6 GHz 頻段（3575-3700 MHz） 目前既有頻譜使用業者包括點對點業務、固定衛星服務（FSS）、業餘使用，以及區域無線網際網路提供商（Wireless Internet Service Providers, WISPs）業務。

(2) 26GHz 頻段

26 GHz 頻段（24.25–27.5 GHz）毫米波頻段目前作為 5G 的第二候選頻段，目前既有頻譜使用業者包括太空研究、FSS，以及國家寬頻網路（National Broadband Network, NBN）。

(3) 28 GHz 頻段

目前澳洲 28 GHz 頻段（27.5 GHz 至 29.5 GHz）被用於固定衛星業務（FSS），其中包括須協調的閘道衛星地面站（gateway earth stations），其適用設備執照，以及不須協調的無所不在衛星地面站（ubiquitous earth station），其適用類別執照。除了用於 FSS 業務之外，目前該頻段的一部分也用於固定點對點鏈路業務。

(4) 850MHz 頻段

850 MHz 頻段（809-824 MHz 和 855-870 MHz）目前既有頻譜使用者包括固定鏈路業務（Fixed Links）、點對多點業務，以及行動業務（land mobile）。

(5) 900MHz 頻段

900MHz 頻段（890-915MHz 和 935-960MHz）目前既有頻譜使用業者包括 2G 行動業務（GSM）、3G，以及 4G 行動業務。

2、 頻譜重整方式

ACMA 於 2017 年 10 月發布 3.6 GHz 頻段頻譜重分配建議草案[153]諮詢文件，該諮詢截止於 2017 年 11 月 27 日，其中 ACMA 對頻譜配置採用 5 MHz 頻寬的配置方式，獲得各界廣泛支持，然而仍有許多觀點支持地理配置的方式，因此 ACMA 將會檢視地理選擇性配置，作為 3.6 GHz 頻譜分配的備選方案。

ACMA 也針對受影響的現有 3.6 GHz 頻段設備執照業者，宣布一系列的改善措施[154]，包括：

- 在部分區域提議延長重分配的期限；
- 致力安排 5.6 GHz 頻段用於站臺式無線寬頻服務（site-based wireless broadband services）；
- 承諾調查區域性 28 GHz 頻段之使用，以提供固定無線寬頻業務的可能性；
- 在可能的情況下，鼓勵商業談判，以協助業者持續獲得頻譜；

[153] ACMA (2017), Spectrum reallocation for the 3.6 GHz band, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/spectrum-reallocation-for-the-3-6-ghz-band
[154] ACMA (2017), Five-year spectrum outlook 2017−21, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/five-year-spectrum-outlook-2017-21

- 致力與產業合作，以確立澳洲東海岸可以提供一個或多個衛星地面站的保護區。

(三) 執照管理與規範義務

1、 執照架構

(1) 3.6 GHz

依據頻譜釋照指引[155]說明，利害相關人可以透過取得頻譜執照（Spectrum Licences）、設備執照（Apparatus Licences）或類別執照（Class Licencse）來使用澳洲的頻譜。ACMA 於 2017 年 8 月 11 日發布未來使用 3.6 GHz 頻段的決議及初步意見文件[156]。在決議文件中，ACMA 建議通訊部部長（Minister for Communications）在澳洲的特定都會區和區域地區重新分配 3.6 GHz 頻段，並建議執照架構採用頻譜執照的配置。

頻譜執照通常須透過拍賣機制來取得，大多用於大規模商用業務。頻譜執照持有者使用之相關設備須符合 ACMA 為該頻段制定的許可條件和技術框架，則執照持有者可在授權的地理區域和指定的頻段內運作設備。頻譜執照的效期為 15 年，但執照持有者有權在執照效期內交易（trade）其全部或部分的頻譜執照，而且只能在買賣雙方通知 ACMA 交易相關事項，並在頻譜執照中登記註冊之後，交易才能生效。

(2) 26 GHz

對於 26 GHz 頻段適合之執照架構，ACMA 已經研究許多不同的執照組合。雖然 5G 技術已初具規模，但潛在的商業模式尚不清楚，特別是如何與現有傳統行動網路業者的集中服務提供模式（centric

[155] ACMA (2018), Spectrum licensing FAQs, available at: https://www.acma.gov.au/Industry/Spectrum/Radiocomms-licensing/Spectrum-licences/spectrum_20

[156] ACMA (2017), Future use of the 3.6 GHz band—Decisions and preliminary views paper, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/~/link.aspx?_id=17BFF36784FF4151B1217647D6957112&_z=z

service provision model）緊密結合尚未明朗，事實上，頻段的獨特物理特性和技術的改進可能會創造過去未曾見過的商業模式。

為了協助制定規劃方案，ACMA 考量三種使用的類型，但最終的部署可能是形成混合類型，或是這些類型的組合，三種使用的類型說明如下表 7- 15。

表 7- 15：26 GHz 頻段三種可能的商業模式類型

類型	說明
類型 1：傳統廣域用戶網路	由一個或多個行動業者透過無所不在的基站提供服務。
類型 2：限制市場（limited market）用戶網路	包括但不限於固定無線寬頻服務，以及車隊導向的行動服務。
類型 3：企業專網	由私人實體在其自己的房屋或土地範圍內營運的企業服務。

資料來源：ACMA，本計畫整理

執照選項包括頻譜、設備和類別執照的各種組合，以符合各種部署的商業模式。在所有組合的選項中，不會刪除既有服務的頻譜編配，其將與無線寬頻服務共存，可能會強制協調要求，以限制新服務的部署位置。

ACMA 認為最好的選項是類型 1，其可在都會區和區域地區透過頻譜執照使用整個 26 GHz 頻段。ACMA 也發現，類型 3 的企業專網，如果使用輕度管制的類別執照，用戶可透過頻譜共享的方式接取頻譜，如此將是有利的商業模式。但這須取決於服務的需求，以及在重疊頻譜內，類型 1 和類型 3 用戶依類別執照規管下頻譜共享的可行性，例如類型 1 用戶主要提供的服務在類型 3 私人用戶的服務場所之外。

然而，上述評估的結果也為類型 2 的用戶留有一線希望，即為類型 2 服務在適用頻譜執照的區域保留一些頻譜，以適用設備執照。這種作法是否合適，以及其可適用程度，須取決於兩個廣泛的問題，說明如下：

- 與被動 EESS 業務在頻段下限共享頻譜。例如如果最終確定類型 1 的廣域服務設備在頻段下限無法充分保護被動 EESS，但低密度設備執照之設備卻可以保護被動 EESS。
- 設備標準中頻譜執照的頻塊（lot）配置，如何使用在可用的總頻寬內。例如如果無線寬頻可以最佳的部署在特定頻

塊大小，但頻塊大小的倍數會在頻段下限區域留下頻率間距，如此該間距可能可以用於設備執照的類型 2 服務。

這些僅是 ACMA 的初步意見，ACMA 希望聽取利益相關者的意見，特別是針對類型 2 和類型 3 的觀點，因為其屬於新興的服務模式，傳統行動業者並未大量參與這些程序。

下一步將是關於 26 GHz 頻段的配置規劃決策，透過本文件對於頻率、區域和執照配置方式的意見反饋，結合工作小組針對頻段邊界與 EESS 共存研究的建議，以及五年頻譜展望（five-year spectrum outlook, FYSO），該規劃決策預計於 2019 年年初提出。

2、釋照方式

(1) 競價機制

當需要透過拍賣分配頻譜時，ACMA 有三種線上拍賣機制：[157]

- 簡易價格鐘拍賣制（Simple Clock Auction, SCA）
- 同時多回合拍賣制（Simultaneous Multi-Round Ascending Auction, SMRA）
- 增強型同時多回合拍賣制（Enhanced Simultaneous Multi-Round Ascending Auction, ESMRA）

不同頻譜採用的特定拍賣機制將取決於一系列因素，包括頻譜的特性和對該頻段的預期需求。如果需要，ACMA 也可以採用其他額外的拍賣機制。

[157] ACMA (2018), The ACMA's auction capability, available at: https://www.acma.gov.au/Industry/Spectrum/Radiocomms-licensing/Spectrum-licences/the-acmas-auction-capability

A. 簡易價格鐘拍賣制

SCA 機制適合的拍賣頻段對象為本身非屬替代頻段或補充頻段性質的頻譜，假設多個補充頻段能夠一起購買而非單獨購買，對得標者會更有價值。

B. 同時多回合拍賣制

SMRA 機制讓競價者在同一時間對多個獨立頻段競價，若競價者希望將這些獨立頻段作為替代頻段或補充頻段，其 SMRA 機制可以符合其需求。

C. 增強型同時多回合拍賣制

ESMRA 是一種兩階段的拍賣機制，首先針對所有拍賣頻段採用同時多回合價格鐘的作法，確定各得標者所標得各頻段的數量，而後採用第二次定價規則（second-pricing rule）進行一次性密封標拍賣，以決定頻段的分配。

(2) 3.6GHz 頻段

A. 政策發展

ACMA 於 2017 年 6 月發布未來使用 3.6 GHz 頻段的公開諮詢[158]，以徵求業界相關意見，及了解如何最好地重新規劃該頻段，諮詢作業於 2017 年 8 月 4 日截止，該諮詢文件的諮詢議題如下：

- ACMA 的考量過程中，3.6 GHz 頻段是否應透過初始調查來加速重新規劃，增加行動寬頻業務可使用的額外頻譜？理由為何？
- 諮詢文件認定的 3.6 GHz 頻段中，具有高需求的涵蓋區域是否有誤？較小或較大的區域會更合適？為什麼？

[158] ACMA (2017), Discussion paper: Future use of the 3.6 GHz band—Options paper, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/~/media/8C4B47BE6C4B48EC860D24B8ED058D31.ashx

- 3.6 GHz 頻段重分配之頻譜執照，如果設定重分配週期（re-allocation period）為七年是否適當？如果不是，那麼何種效期較適合？
- 不同地區是否應考慮設定不同的重分配週期？例如對於區域一[159]以外的服務，是否應考慮更長的時間？
- 相關指導方針是否合適？為什麼？
- 在定義執照區域時，是否有任何其他議題可能影響區域範圍執照的可用性？
- 如果點對點執照受到 3.6 GHz 頻段重新規劃的影響，則點對點的選項是否合適？是否有其他選擇應該考慮？
- 5.6 GHz 頻段是否為無線寬頻系統的可行選項？
- 在何種情況下，應考慮 5.6 GHz 頻段使用於設備執照和類別執照？
- 如果 5.6 GHz 頻段用於無線寬頻系統的設備執照，附錄 3 的建議是否合適？
- 如果點對多點執照受到 3.6 GHz 頻段重新規劃的影響，則點對多點的選項是否合適？是否應該考慮其他選擇？
- 有關位於 Mingenew 西海岸衛星地面站保護區用於長期衛星服務，目前的監管措施是否有效？
- 如果最後 FSS 地面站受到 3.6 GHz 頻段重新規劃的影響，ACMA 希望尋求以下的建議：
  - 在東海岸發展和建立衛星地面站保護區，是否有任何問題；哪些特別因素需要加以考量？
  - 是否有其他潛在的候選地點或意見可供考慮。
  - 澳洲的東西海岸是否需要多個衛星地面站保護區。

[159] 區域 1 是包括 Adelaide, Brisbane, Canberra, Melbourne, Sydney 和 Perth 等都會區。Future use of the 3.6 GHz band - Decisions and preliminary views, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/9172FB58ADDA421A8137219272D5734B.ashx

■ 澳洲中部是否也應考慮設立衛星地面站區域。

- 目前對業餘愛好者、無線電定位業務、類別執照和 TVRO 系統的作法是否合適？
- 諮詢文件中未提及的現有服務，是否有其他選項應予以考慮？
- 是否應在 3.6 GHz 頻段中考慮共享配置？為什麼？或為什麼不？
- 是否應考慮其他的共享配置？
- 是否應考慮其他的重規劃方案？
- 該頻段內，應執行何種重規劃的選項？為什麼？
- 如果實施全區域範圍的執照選項，是否應僅限在特別確定的區域範圍內，包括附錄中認定的區域 1，2，3，以及特定的澳洲範圍？目前認定的區域是否合適？如果不是，應該認定哪些區域？
- 如果實施 4a 選項[160]，哪些頻率和區域應重分配給頻譜執照？多少頻譜應留給受場地限制的設備執照？不同的地區應考慮不同量的頻譜嗎？
- 如果實施 4b 選項[161]，哪些頻率和區域應留多少頻譜給受場地限制的設備執照？
- ACMA 對 3.6 GHz 頻段的首選是 3c 選項[162]，希望獲得相關意見。

[160] 4a 選項考慮在 3.6 GHz 頻段中空出 25 MHz 用於點對多點執照服務。Future use of the 3.6 GHz band - Decisions and preliminary views, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/9172FB58ADDA421A8137219272D5734B.ashx

[161] 4b 選項考慮保護 FSS 地面接收服務。

[162] 3c 選項建議頻譜執照可在都會區和區域地區使用整個 3.6 GHz 頻段。

檢視利害相關人的意見後，ACMA 於 2017 年 8 月 11 日發布未來使用 3.6 GHz 頻段的決議及初步意見文件[163]。澳洲通訊部長於 2018 年 3 月 5 日聲明重分配特定都會區和區域地區 3575-3700 MHz（3.6 GHz 頻段）的頻譜。[164]ACMA 根據 1992 年無線電通信法第 60 條的規定，準備以競價基礎的拍賣程序重分配 3.6 GHz 頻段的頻譜執照。

拍賣適用的最佳方法將取決於競價標的之特性，依據 3.6 GHz 頻段的情況，ACMA 認為三階段的 ESMRA 拍賣機制最適合 3.6 GHz 頻段的重分配作業。[165]在向市場提供頻譜之前，頻譜需要劃分成許多區塊（lots），劃分區塊的方式主要有兩種，分別為頻寬和地理位置。在決定頻譜分配的配置時，ACMA 會考慮一系列的因素，包括需求來源和頻譜的技術特性。

澳洲通訊部長於 2018 年 3 月 5 日發布聲明後，ACMA 於 2018 年 5 月發布都會區和區域 3.6 GHz 頻段分配辦法草案之諮詢文件[166]，ACMA 於草案中描述拍賣所提供的頻譜，並制訂相關規則與程序，以管理相關頻段分配的拍賣過程，徵詢利害相關人的意見。

該草案說明 ACMA 傾向採用頻譜執照進行拍賣，並依澳洲通訊部長指示將分三個地理區域，分別是 Adelaide, Brisbane, Canberra, Melbourne, Sydney 等都會區，Perth 都會區，以及其他區域，其重分配的時限分別是 2 年，5 年，以及 7 年，均從 2018 年 3 月 30 日開始計算，既有業者應於時限內完成頻譜重整繳回執照。

---

[163] ACMA (2017), Future use of the 3.6 GHz band—Decisions and preliminary views paper, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/~/link.aspx?_id=17BFF36784FF4151B1217647D6957112&_z=z

[164] ACMA (2018), 3.6 GHz auction system format Information paper, available at: https://www.acma.gov.au/-/media/Spectrum-Monitoring-and-Analysis/Information/Word-Document/3-6-GHz-band-auction-system_information-paper-docx.docx?la=en

[165] ACMA (2018), Spectrum tune-up: 3.6 GHz band auction system, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/spectrum-tune-up-3-6-ghz-band-auction-system

[166] ACMA (2018), Consultation paper: Draft allocation instruments for 3.6 GHz band (3575–3700 MHz) metropolitan and regional lots auction, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/9FD3C5CAFE4C444C988BD30C45555329.ashx

B. 釋照進度

ACMA 於 2018 年 8 月 6 日公告 3.6 GHz 頻段拍賣的指引文件[167]，正式進入 3.6 GHz 頻段的拍賣程序。該文件說明，依據 3.6 GHz 頻段的情況，將採用三階段的 ESMRA 拍賣機制。2018 年 8 月 31 日下午 5 時為申請的最後截止時間，申請人必須於期限前提供相關申請文件，並繳交 10,000 澳幣申請費。

2018 年 9 月 27 日為資格截止日期（eligibility deadline），申請人必須於期限前提供完整的資格提名表（eligibility nomination form），並向 ACMA 支付資格費用，或支付財務擔保契約，或兩者兼具。ACMA 將於 2018 年 10 月或 11 月舉行模擬拍賣，以使註冊投標人熟悉拍賣系統。

ACMA 將於 2018 年 11 月初期向註冊投標人通知拍賣第一階段（primary stage）第一輪和第二輪的開始日期和時間，預估 2018 年 11 月下旬拍賣正式開始。3.6 GHz 頻段拍賣時程整理如下表 7- 16 所示。

表 7- 16：3.6 GHz 頻段拍賣時程

日期	重要事項
2018 年 8 月 6 日	公告 3.6 GHz 頻段拍賣的指引文件
2018 年 8 月 31 日	申請的最後截止日期
2018 年 9 月 27 日	資格截止日期
2018 年 10 月或 11 月	舉行模擬拍賣
2018 年 11 月上旬	向註冊投標人通知拍賣第一階段第一輪和第二輪的開始日期和時間
2018 年 11 月下旬	預估拍賣正式開始

[167] 3.6 GHz band auction, November 2018, Auction guide, available at: https://www.acma.gov.au/-/media/Spectrum-Licensing-Policy/Information/pdf/3-6-GHz-auction-2018-Auction-guide-pdf.pdf?la=en

資料來源：ACMA，本計畫整理

拍賣的頻譜將以 5MHz 為單位進行拍賣。除了 Perth 都會區之外，Adelaide, Brisbane, Canberra, Melbourne, Sydney 等都會區的頻譜配置如下：

25 x 5 MHz lots（3575–3700 MHz）

在 Perth 都會區，頻譜配置分為兩個類別。較低的 16 個頻塊（80 MHz），由既有 3.6 GHz 頻段的執照持有者使用，但有五年重分配期限制，即 2023 年 3 月 30 日須繳回執照。因此 Perth 都會區頻譜配置的兩個類別分別如下：

16 x 5 MHz lots（3575–3655 MHz）

9 x 5 MHz lots（3655–3700 MHz）

依澳洲通訊部長指示，各地區重分配的時限均從 2018 年 3 月 30 日開始計算，大都會區兩年重新分配的時限是 2020 年 3 月 30 日，因此 3.6 GHz 頻段的頻譜執照將於 2020 年 3 月 30 日開始，到期日為 2030 年 12 月 13 日，以對齊相鄰 3.4 GHz 頻段內既有頻譜執照到期日，因此 3.6 GHz 頻譜執照的效期約為 10 年 8 個月。

C. 頻譜上限規範

單一註冊投標人在 3.6 GHz 頻段拍賣中可以獲得的頻譜數量將會受到限制，這些限制將考量 3400-3700 MHz 頻段內投標人持有的執照。當投標人在 3400-3700 MHz 頻段內的都會區持有超過 60 MHz，或在區域地區持有超過 80 MHz，則在 3.6 GHz 頻段的拍賣中，可能無法獲得 3.6 GHz 頻段的頻譜執照。

有關最小頻寬需求（Minimum spectrum requirement, MSR），ACMA 考量許多因素後，建議 MSR 的適當值是為兩個小區塊，即 10 MHz 頻寬，意即所有得標者在單一地區的最低持有頻寬門檻不可低於 10 MHz 頻寬。

3、規範義務

ACMA 於 2017 年 8 月 11 日發布未來使用 3.6 GHz 頻段的決議及初步意見文件[168]，建議通訊部長重新分配 3.6 GHz 頻段時，應採用頻譜執照之規管架構。依據頻譜釋照指引[169]說明，頻譜執照的核心條件定義頻譜執照代表的基本頻譜執照資產，或是相關產權。就規範義務而言，頻譜執照指定執照的地理區域、頻率範圍，以及執照頻率和地理邊界的最大允許發射功率。

4、既有業者補償措施

ACMA 也針對受影響的既有 3.6 GHz 頻段設備執照業者，宣布一系列的補償措施[170]，包括：

- 在部分區域提議延長重分配的期限；
- 致力安排 5.6 GHz 頻段用於站臺式無線寬頻服務（site-based wireless broadband services）；
- 承諾調查區域性 28 GHz 頻段之使用，以提供固定無線寬頻業務的可能性；
- 在可能的情況下，鼓勵商業談判，以協助業者持續獲得頻譜；
- 致力與產業合作，以確立澳洲東海岸可以提供一個或多個衛星地面站的保護區。

5、技術規範

為避免發生干擾情況，頻譜執照除了指定執照的地理區域和頻率範圍，技術上主要規範該執照頻率和地理邊界的最大允許發射功

[168] ACMA (2017), Future use of the 3.6 GHz band—Decisions and preliminary views paper, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/~/link.aspx?_id=17BFF36784FF4151B1217647D6957112&_z=z
[169] ACMA (2018), Spectrum licensing FAQs, available at: https://www.acma.gov.au/Industry/Spectrum/Radiocomms-licensing/Spectrum-licences/spectrum_20
[170] ACMA （2017）, Five-year spectrum outlook 2017−21, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/five-year-spectrum-outlook-2017-21

率。ACMA 避免干擾的共通作法是透過干擾影響證明（interference impact certificate, IIC），即認證的 R070 表格，也就是設備申請註冊表格，其顯示該設備符合 2012 年無線電通信裁定規範（第 145（3）條認證）[171] 中詳述的認證選項之一。

設備如果具有干擾影響證明，也符合所有其他的執照條件，設備的使用將被認為不會造成不可接受的干擾情況。干擾影響證明須由認證人員（accredited person）代表執照持有者依據頻譜執照條件提交申請，並註冊設備。

只有透過認證人員保證設備符合下列條件下，設備才可以取得干擾影響證明：

- 設備符合第 145（4）條裁定規範針對該頻段的相關規定。
- 已配置足夠的內部保護頻段（guard space），以減輕相鄰頻段之間的潛在干擾情況。
- 所有受影響的相鄰執照持有者均提供書面協議，願意接受更高的干擾可能性。通常須透過支付商業費用，以取得書面協議。

(四) 小結

澳洲通訊部長於 2018 年 3 月 5 日聲明將透過頻譜執照的釋照方式，重分配特定都會區和區域地區 3575-3700 MHz（3.6 GHz 頻段）的頻譜。其中將分三個地理區域，分別是 Adelaide, Brisbane, Canberra, Melbourne, Sydney 等都會區，Perth 都會區，以及區域地區，其重分配的時限分別是 2 年，5 年，以及 7 年，均從 2018 年 3 月 30 日開始計算，既有業者應於時限內完成頻譜重整繳回執照。

2018 年 8 月 31 日為 3.6 GHz 頻段申請的最後截止日期，申請人必須於期限前提供相關申請文件，並繳交 10,000 澳幣申請費。依據 3.6 GHz 頻段的情況，將採用三階段的 ESMRA 拍賣機制。ACMA 將

[171] Radiocommunications (subsection 145(3) Certificates) Determination 2012, available at: https://www.legislation.gov.au/Details/F2012L01719

於 2018 年 10 月或 11 月舉行模擬拍賣，以使註冊投標人熟悉拍賣系統，並於2018年11月初期向註冊投標人通知拍賣第一階段（primary stage）第一輪和第二輪的開始日期和時間，預估 2018 年 11 月後期拍賣正式開始。

拍賣的頻譜將以 5MHz 為單位進行拍賣。除了 Perth 都會區之外，Adelaide, Brisbane, Canberra, Melbourne, Sydney 等都會區的頻譜配置如下：

25 x 5 MHz lots（3575–3700 MHz）

在 Perth 都會區，頻譜配置分為兩個類別。較低的 16 個頻塊（80 MHz），由既有 3.6 GHz 頻段的執照持有者使用，但有五年重分配期，即至 2023 年 3 月 30 日。因此 Perth 都會區頻譜配置的兩個類別如下：

16 x 5 MHz lots（3575–3655 MHz）

9 x 5 MHz lots（3655–3700 MHz）

大都會區兩年重新分配的時限是 2020 年 3 月 30 日，因此 3.6 GHz 頻段的頻譜執照將於 2020 年 3 月 30 日開始，到期日為 2030 年 12 月 13 日，以對齊相鄰 3.4 GHz 頻段內既有頻譜執照到期日。單一註冊投標人在 3.6 GHz 頻段拍賣中可以獲得的頻譜數量將會受到限制，當投標人在 3400-3700 MHz 頻段內的都會區持有超過 60 MHz，或在區域地區持有超過 80 MHz，則在 3.6 GHz 頻段的拍賣中，可能無法獲得 3.6 GHz 頻段的頻譜執照。

五、 日本

(一) 政策發展近況與候選頻段更新

1、 頻譜政策藍圖與規管原則

2013 年總務省基於「電波政策願景」報告結論，展開「電波開放戰略」，每年針對日本國內行動通訊系統、無線區域網路、電子標籤等各種使用頻譜的系統設備進行調查與評估，如下圖 7-9。[172]

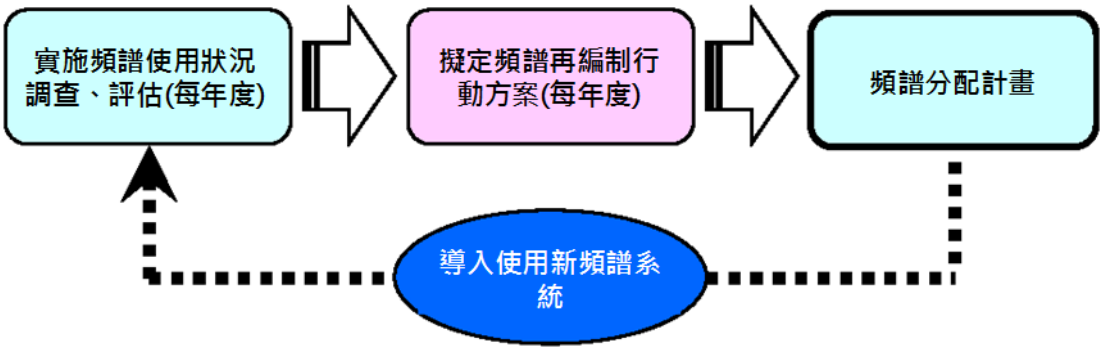


圖 7-9：頻譜轉移、再編制的循環

資料來源：總務省

5G 是近年資通訊發展的重要議題，不過，總務省對於未來資通訊政策的擘畫比 5G 的著眼點來得遠。至 2018 年前，總務省舉辦四次較大的頻譜會議[173]，在 2016 的「電波政策 2020 懇談會」中，認為完善的電波供應，可提供 5G 一個實證試驗環境，以對於 5G 提供地區創生活化、創新創造、人才培育、社會議題解決方案與東京奧運的技術展示空間[174]。在 2017 年 11 月至 2018 年 8 月間召開的「電波

---

[172] 參見総合通信基盤局電波部電波政策課（2017），〈「周波数再編アクションプラン(平成 29 年 11 月改定版)」の公表〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000516209.pdf>。

[173] 包含 2012 年舉辦「有關電波有效利用促進檢討會」、2014 年舉辦「電波政策願景懇談會」、2016 年舉辦「電波政策 2020 懇談會」、2017-2018 年舉辦的「電波有效利用成長戰略懇談會」。

[174] 參見総合通信基盤局電波部電波政策課（2016），《電波政策 2020 懇談会報告書》，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000430218.pdf>。

有效利用成長戰略懇談會」中，則是期望在 2030 年代，運用 7 項電波生態體系（Beyond 5G、Wireless IoT、下世代行動技術、Wireless 電力傳送、下世代衛星利用技術、下世代影像/終端、公共安全 LTE），實現5項電波利用目標，包含電波持續使用、開放創新、知識集結、社會多樣化人才的參與、賦權等，實際行動方案則是透過「頻譜長期規劃」、「無線網路成長戰略」來進行[175]。本年度的重點有四項[176]：

- 頻譜配置制度的修正：包含如動態頻譜共享的推動，干擾迴避技術的開發等。
- 公共頻譜的有效利用策略：包含公共安全 LTE 的導入檢討；公共用微型迴路、遙測、遠距遙控等無線設備的共用化；公共寬頻行動通訊系統使用促進檢討。
- 頻率使用費制度的修正：讓頻率使用費的用途（電波利用公益事務的範圍）與頻率使用費的負擔適當調整。
- 基於技術進展的無線電波有效使用方案。

目前日本總務省仍是維持傳統的審議制作為頻譜的釋照原則。

2、5G 頻譜政策發展近況與釋出時間規劃

目前日本 5G 時程仍以 2020 年商用化作為里程碑進行實證測試與頻譜規劃，如下圖 7- 10。[177]

---

[175] 參見総合通信基盤局電波部電波政策課（2018），《電波有効利用成長戦略懇談会報告書概要》，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000430218.pdf>。

[176] 參見総合通信基盤局電波部電波政策課（2018），〈「周波数再編アクションプラン(平成 30 年)」の公表〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000573275.pdf>。

[177] 參見中村隆治（2018），〈5GMF の活動紹介〉，<http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/equ/mra/pdf/29/j/11.pdf>。

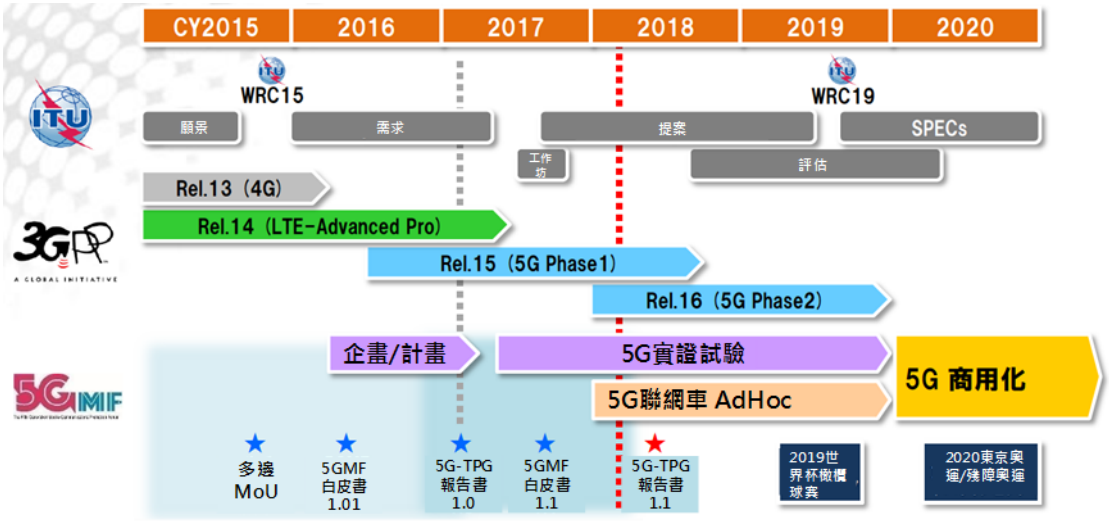


圖 7- 10：日本 5G 進展時程

2018 年 8 月的《電波有效利用成長戰略懇談會報告書》明確指出 2020 年底前除了要確保 28GHz 最大 2GHz 的頻寬、3.7GHz 與 4.5GHz 頻段最大 500MHz 的頻寬，合計 2.5GHz 來給 5G 使用，另外加上 IoT 可能用的無線區域網路及其他既有的行動電話用頻譜共計約 4GHz 的頻寬需要整備，如圖 7- 11。

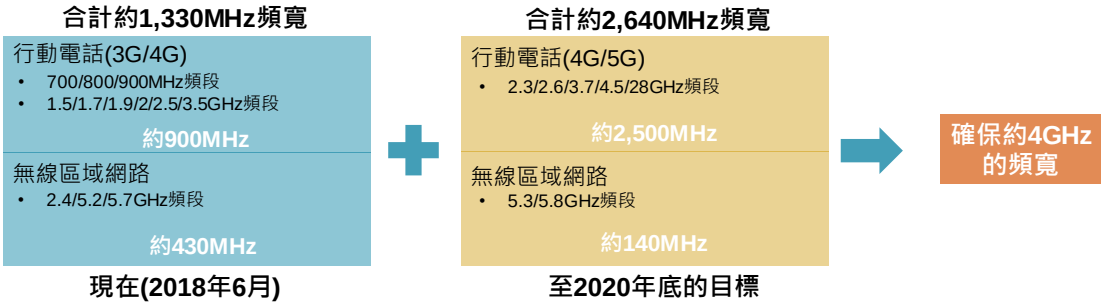


圖 7- 11：日本 5G 技術報告時程（至 2018 年 7 月）

目標於 2018 年底會分配 3.7、4.5、28GHz 之 5G 頻段，2019 年 3 月再進行欲營運業者之比較審查（審議）。[178]

3、 5G 候選頻段更新

總務省目前最重要規畫的是 3.6-4.2GHz、4.4-4.9GHz 以及 27.5-29.5GHz 的頻段，其中 3.6-4.2GHz 與 4.4-4.9GHz 之區塊大小最大為 500MHz，27.5-29.5GHz 之區塊大小最大為 2GHz。此外，因應 WRC-19 各國候選頻段之討論，將針對 43.5GHz 以下的頻段積極進行共用檢討，如表 7- 17 所示。

表 7- 17：日本確保行動通訊使用頻譜的措施

頻段	說明
3.6-4.2GHz（部分頻段可與歐美合作） 4.4-4.9GHz（部分頻段可與中國合作） 27.5-29.5GHz（部分頻段可與美、韓合作）	● 在 ITU、3GPP 等國際檢討狀況與研究開發動向的基礎上，預計於 2018 年底進行頻譜配置，2018 年夏之前將擬訂技術條件。 ● 除了留意其他無線系統的共用議題，目標確保 3.7、4.5GHz 頻段中最大區塊為 500MHz；28GHz 頻段中最大區塊為 2GHz。
WRC-19 議題 1.13 的候選頻譜	● 關於 WRC-19 候選頻段，基於各國的狀況會採取多個特定頻段的分割配置。 ● 值得一提的是各國正在進行 43.5GHz 以下的共用檢討。 （24.5-27.5GHz 及 27.5-29.5GHz 合併使用：預計與歐洲進行合作的可能性；37.0-40GHz：預計與美國進行合作；30.5-43.5GHz：預計與歐洲進行合作）

[178] 參見杉野勲（2018），〈電波政策の最新動向〉，網址：<https://www.kiai.gr.jp/jigyou/h30/PDF/0606p1.pdf>。

1.7GHz	因應頻譜不足，隨著公共業務用無線局（固定）進行重新編制，會進行終止促進措施的使用檢討。（已於 2018 年 4 月釋照）
2.3GHz	為了行動通訊系統向可能的頻譜配置，將持續進行與公共業務用無線臺（固定、行動）的頻譜共用與重新編制
2.6GHz	往下世代衛星行動通訊系統開始檢討，推動檢討與行動通訊系統的頻譜共享的可能性之技術觀點
3.4-3.48GHz	因應頻譜不足，隨著公共業務用無線局（固定）進行重新編制，會進行終止促進措施的使用檢討。（已於 2018 年 4 月釋照）

此外，上表 7- 17 提及之 1.7GHz 與 3.4GHz 頻段已於 2018 年初進行釋照說明，申請期間為 2018 年 1 月 26 日至 2018 年 2 月 26 日，4 月公開審議結果，如下圖 7- 12。[179]

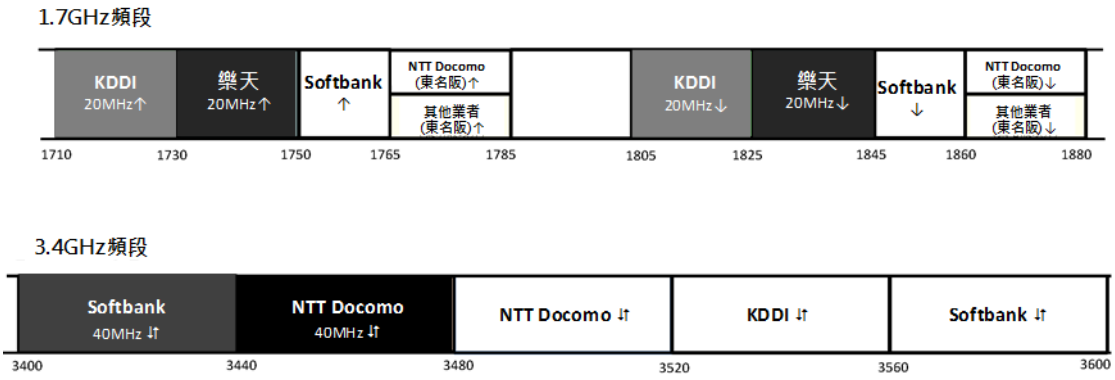


圖 7- 12：1.7 與 3.4GHz 頻段分配狀態

註：黑與灰底反白頻段表示新取得者

在 1.7GHz 頻段中，KDDI 取得 1,710-1,730MHz 的上鏈與 1,805-1,825MHz 的下鏈，樂天取得 1,730-1,750MHz 的上鏈與 1,825-

[179] 參見総合通信基盤局（2018），〈第４世代移動通信システムの普及のための特定基地局の開設計画の認定について〉，<http://www.soumu.go.jp/main_content/000544012.pdf>。

1,845MHz 的下鏈；在 3.4GHz 頻段中，Softbank 取得 3,400-3,440MHz，NTT Docomo 取得 3,440-3,480MHz。

這兩頻段的審議目標是要讓原本在這兩區段者限定期間轉移至其他頻段（如 1.7GHz 建議 2025 年 3 月 31 日前、3.4GHz 者建議 2022 年 11 月 30 日前），目前與 5G 的使用較無直接關聯。

2018 年 11 月 2 日總務省發布「因應 5G 導入的頻譜分配相關制定方針草案」與相關意見之諮詢。其中針對頻譜的配置方案有較為具體的說明，參見表 7- 18 與圖 7- 13。

表 7- 18：總務省之 5G 頻譜分配一覽表

分配釋出頻率範圍	● 3.7GHz 頻段 (500MHz) ● 4.5GHz 頻段 (100MHz) ● 28GHz 頻段 (1,600MHz)
頻譜區塊	● 總共釋出 2,200MHz，區分為十張執照。 ■ 3.7GHz 頻段：3,600-4,100 MHz (頻塊為 100MHz，共 5 塊)； ■ 4.5GHz 頻段：4,500-4,600 MHz(頻塊為 100MHz，共 1 塊)； ■ 28GHz 頻段：27.0-28.2GHz、29.1-29.5GHz。(頻塊為 400MHz，共 4 塊)
尚待討論頻譜區塊	● 分配給自營用(應為垂直業者或分區執照) ■ 4.5GHz 頻段：4,600-4,800MHz ■ 28GHz 頻段：28.2-29.1GHz
釋出機制	● 依照比較審查制，按最後審查點數最高者之順序分配 ● 申請者請依序載明希望的頻段、頻塊來做申請。其中 3.7 與 4.5GHz 頻段請載明希望的最大頻寬(100 或 200MHz)

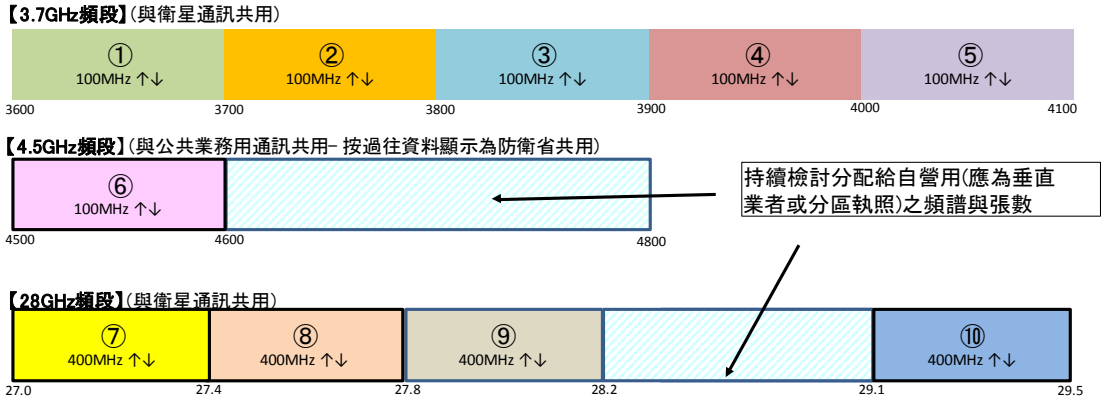


圖 7- 13：總務省之 5G 頻譜分配圖

4、 實驗案例發展

日本總務省計畫從 2017 年起進行三年期（2017~2019 年）的國內 5G 實證試驗。相關實施概要參見 2017 年[180]之表 7- 19 與 2018 年之表 7- 20。[181]

表 7- 19：5G 綜合實證試驗實施概要（2017 年）

技術要件	技術目標	移動速度	試驗環境	頻段	主要實施者	內容概要	主要實施場所
超高速大容量(eMBB)	實現使用終端 5Gpbs 的超高速通訊(基地臺端超過 10Gbps)	上限到每小時 30 公里	人口密集都市環境	4.5GHz、28GHz 頻段	NTT Docomo、東武 Tower Skytree 株式會社、綜合警備保障（ALSOK）、和歌山縣	高臨場度、高精細度的影像內容傳輸與廣域監視；綜合病院與區域診療所間的遠距醫療相關實證	● 東京都(東京 Sky Tree 城鎮周邊 ● 臨海副都心地區) ● 和歌山縣（縣立醫科大學）

[180] 總務省（2017），網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000537252.pdf>；中村隆治（2018），〈5GMF の活動紹介〉，<http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/equ/mra/pdf/29/j/11.pdf>。（瀏覽時間：2018 年 6 月 5 日）

[181] 總務省（2018），網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000573896.pdf>。（瀏覽時間：2018 年 9 月 18 日）

		—	室內／密閉空間環境	28GHz 頻段	國際電氣通訊基礎技術研究所（ATR）、那霸市	室內體育場中自由視角影像的即時傳輸面向的高畫質影像的多重傳輸之相關實證	沖繩縣（那霸市沖繩蜂窩體育場）
	實現高速移動時 2Gbps 的高速通訊	每小時 90 公里以上	都市或偏鄉環境	28GHz 頻段	NTT communications、東武鐵道株式會社、Infocity	對於高速移動體（鐵路、軌道車輛）的高畫質影像傳輸之相關實證	●栃木縣（東武日光線沿線） ●靜岡縣（富士 Speed Way）
超低延遲 (URLLC)	實現 1ms(無線區間)的低延遲通訊	上限到每小時 60 公里	都市或偏鄉環境	4.5GHz、28GHz 頻段	KDDI、大林組、日本電氣、Toyota IT 開發中心	聯網車、工程機械的遠距操作、以及與移動體的即時資訊傳輸之相關實證	●東京都（新宿 KDDI 周邊） ●愛知縣（KDDI 名古屋網路中心） ●埼玉縣（川越市大林組東京機械工廠）
		上限到每小時 90 公里			Softbank、先進 Mobility、SB Drive	行駛中的交通的車輛、遠距監視、遠距操作之相關實證	筑波市國土技術政策綜合研究所測試車道
多個同時接續 (mMTC)	實現 100 萬台/平方公里的多數同時接續	—	室內／密閉空間環境	3.7GHz、4.5GHz、28GHz 頻段	情報通信研究機構（NICT）、橫須賀市、夏普、Itoki、ABIT	假定災害時在避難所與防災倉庫中，可以正確掌握多數人的要求與東西位置的資訊收集方式，以及	●宮城縣仙台市 ●神奈川縣橫須賀市 ●石川縣能美市 ●大阪府大阪市

						智慧辦公室有關之實證	

表 7- 20：5G 綜合實證試驗實施概要（2018 年）

技術要件	技術目標	移動速度	試驗環境	頻段	主要實施者	內容概要	主要實施場所
超高速大容量 (eMBB)	**實現終端平均 2~4Gbps 的超高速通訊（基地台端平均 4-8Gbps）**	**每小時 60 公里以內**	人口密集都市、都市與偏遠環境	4.5GHz、28GHz 頻段	NTT Docomo、福井縣、會津若松市、京都府、前橋市、綜合警備保障（ALSOK）、plat-ease、東武 Tower Skytree	AR/VR 與高解析度影像使用的新內容體驗、各種社會基礎建設與合作的急救搬運、使用在穿戴式照相機來監視、警備，移動式衛星辦公室相關實證	● 京都府 ● 福島縣會津若松市 ● 群馬縣前橋市 ● 德島縣名西郡神山町 ● 和歌山縣和歌山市、日高郡日高川町
	實現高速移動時超過平均 1Gbps 的超高速通訊	**每小時 60-120 公里**	都市或偏遠環境	**4.5GHz**、28GHz 頻段	NTT communications、東武鐵道、西日本旅客鐵道、日本電氣、Infocity	對於高速移動體（鐵路等）的高畫質影像傳輸、車載照相機影片的上傳、鐵路安全運行支援系統之相關實證	● 茨城縣筑波市 ● 東京都（東武晴空塔線・龜戶線沿線） ● JR 西日本沿線
	實現室內超過平均 2Gbps 的超高速通訊	–	室內環境	28GHz 頻段	國際電氣通訊基礎技術研究所（ATR）、九州工業大學、京濱急行電鐵、早稻田大學、前原小學	活用機器人與感應器的智慧工廠、鐵路車站內的安全與內部對策、學校教育所使用的高畫質影像之相關實證	● 福岡縣北九州市 ● 東京都（羽田空港國際線航廈站） ● 東京都小金井市
超低延遲 (URLLC)	**實現高速移動時的無線區間中 1ms，以及端對端 10ms 的低延遲通訊**	每小時 90 公里以內	都市或偏遠環境	4.5GHz、28GHz 頻段	Softbank、先進 Mobility	在公路上行駛的交通車輛、遠距監視、遠距操作之相關實證	● 山口縣宇部市 ● 靜岡縣（新東名高速公路）
	確保終端平均 300Mbps，並且滿	每小時 60 公里以內		3.7/4.5GHz、28GHz 頻段	KDDI、大林組、日本電氣、東京大學、立命館大	在多台施工機器進行遠距操作、小型無人機的影像傳	● 大阪府茨木市 ● 広島縣尾道市、福

	足使用者在高速低延遲實現的需求（在基地台端平均超過 2gbps）				學、朝日電視台	輸、除雪車的運行支援，從終端來上傳高畫質影像的相關實證	山市 ● 長野縣北安曇郡白馬村 ● 千葉縣柏市、長生郡長南町
大規模機器通訊 (mMTC)	實現 100 萬台/平方公里的機器同時接續	—	室內或都市或偏遠環境	**4.5GHz**	Wireless City Planning、Pacific Consultants、前田建設工業、東廣島市、情報通信研究機構（NICT）、夏普、Itoki	智慧高速公路的基礎設施監視的進展，智慧辦公室的各種感應資訊的收集與共享之相關實證	● 愛知縣 ● 廣島縣東廣島市

2018 年 3 月 27 與 28 日，由總務省舉辦的「5G 國際研討會 2018」，為 2017 年實施的「5G 綜合實證」的成果報告，並有許多 5G 技術開發資訊與海外 5G 關係業者各領域運用的實例。[182]NTT Docomo 所公開的實施成果較為顯著，其執行總務省的「人口密集地中超過 10Gbps 的超高速通訊的相關 5G 系統技術條件的調查檢討」計畫，從 2017 年 6 月至 2018 年 3 月間，與 17 個自治體、企業、大學共同進行「娛樂」、「智慧城市／智慧區域」、「醫療」等三個應用領域的 4.5GHz 頻段與 28GHz 頻段的 5G 無線裝置服務與應用實證試驗。

在「娛樂」的領域範疇中，東京晴空塔市鎮運用 5G 的超高速通訊的新娛樂服務樣式的可能性與用服務視角來確認 5G 性能，以驗證「用廣角的頭戴式顯示器觀看由 4K 超高畫質 360 度攝影機拍攝的 VR 的娛樂視訊」、「8K 多頻道 MMT 傳輸驗證」、「使用混合實境（MR）技術的新型傳輸型態」、「4K 數位看板」、「在購物商場

[182] 參見廣谷徹（2018），〈2020 年東京五輪にむけて 5G サービスの実現は可能か？〉，<https://blog.goo.ne.jp/imssr_media_2015/e/613da7ebaa98d93fa6db5bb15c2bed9e>。

的 4K 超高畫質影像傳輸」、「運動比賽的 4K 超高畫質實況影像服務」。此外 docomo 在東京晴空塔市鎮建造「5G 測試站」，來確認最高 10.2Gbps 的傳輸量，如下圖 7- 14。



圖 7- 14：東京晴空塔市鎮的實證

在「智慧城市／智慧區域」的驗證範疇中，在東京都內，藉由 5G 來將基於警察與監視中心共享的基礎，所監視攝影機與警察隨身攜帶的穿戴式攝影機的警用影像，來試圖改善臉部辨識的精確度，以及事件處理時間縮短，此用來實施設施內監視與廣域監視的高度化警用服務有關的實證。



圖 7- 15：廣域監視有關之實證

在「醫療」的驗證範疇中，在和歌山縣內，利用 5G 的高速通訊網路接取連結都市的綜合醫院與山區的診療所，實施超高畫質影像的遠距醫療服務有關的實證，並透過 5G 的超高速通訊來用 4K 電視會議系統來問診、即時傳輸診斷用的 4K 特寫相機影像與超音波圖像診斷設備・MRI 等醫療設備影像，來強化遠距醫療服務與減輕醫師負擔。



圖 7- 16：遠距醫療相關之實證

Docomo 亦參與了 NTT Communications 所被委託的「高速移動時 2Gbps 的高速通訊的 5G 技術條件的相關調查檢討」，採用 28GHz 頻譜帶的 5G 無線裝置，在電車、高速巴士等時速 90 公里移動的高速移動體傳輸 4K 超高畫質影片的試驗。在靜岡縣的富士 SpeedWay 對於汽車達成時速 90 公里、最高 2.24Gbps 的傳輸目標，東武鐵道日光縣（栃木縣）內對於電車達成 90 公里、最高 2.90Gbps 的傳輸目標，

成功達到基地臺間的切換。此外，也進行電車行走時，4K/8K 影像檔案從基地臺伺服器下載到車載伺服器的驗證，成功達到在 5G 環境中 21 秒間 1.2GB 影片檔案的傳輸，也確認實現了因應車內多頻道影像與多使用者的大型檔案內容的提供。



圖 7- 17：東武鐵道日光線中的高速移動體超高畫質影像傳輸試驗

(二) 頻譜使用與處理

1、候選頻譜使用狀態

(1) 主要頻譜現狀

目前 3.7 與 4.5GHz 的 5G 候選頻段最主要衝突之既有業務為「電信業務（固定衛星-下鏈）」、「公共業務」的利用，以及相鄰頻段的「飛航頻率高度計」及「5GHz 無線接取系統」等，如表 7- 21、圖 7- 18。[183]

[183] 參見杉野勳（2018），前揭註 178。

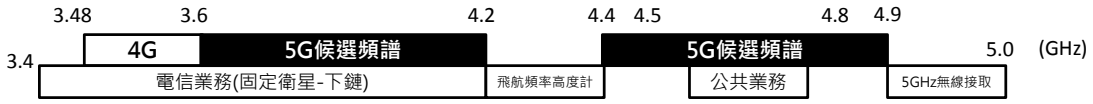


圖 7- 18：3.7 與 4.5GHz 頻段使用現狀

註：黑底表示 5G 候選頻譜

表 7- 21：5G 候選頻段（3.7 與 4.5GHz）有相衝突的系統

5G 候選頻段	通訊系統	相同/相鄰頻譜	干擾者→被干擾者
3.6-4.2GHz（3.7GHz）	電信業務（固定衛星-下鏈）	相同頻譜	5G→地球臺
	飛航頻率高度計	相鄰頻譜	5G→頻率高度計 頻率高度計→5G
	4G(LTE-A)	相鄰頻譜	5G→LTE-A LTE-A→5G
	5G	相鄰頻譜	5G→5G
4.4-4.9GHz（4.5GHz）	飛航頻率高度計	相鄰頻譜	5G→頻率高度計 頻率高度計→5G
	公共業務用無線臺	相同頻譜	5G→固定臺 固定臺→5G
	5GHz 頻段無線接取系統	相鄰頻譜	5G→5GHz 無線接取系統 5GHz 無線接取系統→5G
	5G	相鄰頻譜	5G→5G

目前 28GHz 的 5G 候選頻段最主要衝突之既有業務為「電信業務（固定衛星-上鏈）」的利用，以及相鄰頻段的低功率資料通訊系統等，如表 7- 22、圖 7- 19。[184]

[184] 同前註。

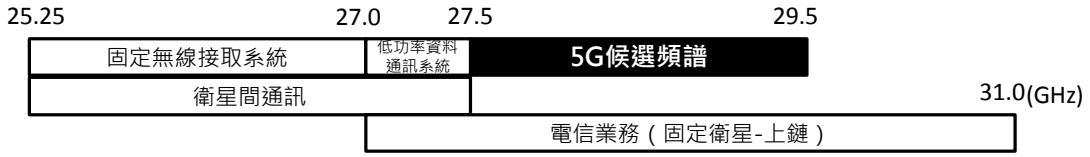


圖 7- 19：28GHz 頻段使用現狀

註：黑底表示 5G 候選頻譜

表 7- 22：5G 候選頻段（28GHz）有相衝突的系統

5G 候選頻段	通訊系統	相同/相鄰頻譜	干擾者→被干擾者
27.5-29.5GHz（28GHz 頻段）	電信業務（固定衛星-上鏈）	相同頻譜、相鄰頻譜	5G→人工衛星臺（固定衛星上鏈接收） 地球臺（衛星上鏈傳輸）→5G
	低功率資料通訊系統	相鄰頻譜	5G→低功率資料通訊系統 低功率資料通訊系統→5G
	固定無線接取系統	相鄰頻譜	5G→固定無線接取系統 固定無線接取系統→5G
	衛星間通訊	相鄰頻譜	5G→人造衛星臺（衛星間通訊上鏈接收） 地球臺（衛星上鏈傳輸）→5G
	5G	相鄰頻譜	5G→5G

(2) 東京奧運的 5G 相關頻譜討論

2020 年的東京奧運/殘障奧運委員會所使用的無線系統，正與總務省共同規劃制定。目前仍在規劃中的頻譜使用的功能，大致分類為①視訊鏈結、②點對點、③無線麥克風/客製化耳麥、④內部對講機、⑤業務用無線、⑥遙感技術/遙感操作與小資料傳輸、⑦無線區

域網路的其他資料傳輸、⑧衛星通訊[185]。與 5G 相關的頻譜目前會有衝突的設備是視訊鏈結與衛星兩者，相關說明如表 7- 23：

表 7- 23：與 5G 頻譜有相衝突的系統/設備

頻率	系統/設備	衝突說明
3,600-4,200MHz	視訊鏈結（無線攝影機）	原使用為衛星通訊服務（C Band 下鏈）。目前試圖將行動電話與衛星通訊服務的無線臺共存
4,400-4,900MHz	視訊鏈結（無線攝影機）	目前試圖將無線接取、行動電話的基地臺共存
27.5-30GHz	衛星	原使用為衛星通訊服務（Ka Band 上鏈）。目前試圖將 27.5~29.5GHz 的頻譜使用與行動電話共存

2、 頻譜重整措施

總務省為了促進頻譜轉移的速度，於 2011 年修訂《電波法》後擬定「終止促進措施」[186]，來因應新事業者使用既有使用者之頻譜，需負擔既有使用者移轉至其他頻譜的費用等措施。

2018 年 4 月公布審議結果的 1.7GHz 與 3.4GHz 的釋照，設定原先在 1.7GHz 的頻譜使用者，需在 2025 年 3 月 31 日前移轉至 4,500~4,800MHz 目前公共業務用無線臺所使用的頻譜；而 3.4GHz 則是在 2022 年 11 月 30 日前轉移到 5,850~5,925MHz、6,570~7,125MHz、7,425~7,750MHz 等目前廣播事業用無線臺所使用之頻譜，以上皆適用於「終止促進措施」。

[185] 參見公益財団法人東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員會（2017），《東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会周波数基本計画》，網址：<https://tokyo2020.org/jp/games/plan/environmental-arrangement/data/basic-spectrum-plan-JP.pdf>。

[186] 《電波法》§27-12-2、§27-12-5、§27-13-10、§116-8。

(三) 執照管理與規範義務

1、 執照架構

日本總務省對於 5G 與過往的行動業務一樣是採取特許執照制，不過並未特別針對行動業務頒布相關法令，理應仍由總務省先行在釋照前針對執照條件訂定義務條件後，業者針對條件擬定營運計劃書，總務省比較審議通過業者的營運計畫書與發放執照後，再進行各種行政措施、裁量、指導等。

2、 釋照方式

頻譜的執照發放有抽籤制、先來先到制（先願主義）、比較審查制（審議制）、拍賣制等，日本在頻譜的釋照上採取執照審議制度，透過先於市場的事先調節，以及書審業者資格的方式來做調控。這個好處是較具備政府的計劃性與持續性，政府對於業者的計劃的適切程度、技術能力的綜合判斷較有把握，亦可以確保使用者的權益。[187]

審議制度的最大缺點在於選定的過程不透明、可能會恣意排除相關業者，另外對於技術革新迅速的通訊產業，以政府的力量來說愈顯審查的困難。因此從 1996 年以來，日本就已對於頻譜是否採取拍賣制度展開檢討，然而從 3G、4G 都仍採取保守的方式發照，原因是總務省認為頻譜拍賣制對於既有的「頻譜使用費制度」之間有競合關係，拍賣的價金與使用費用途有重複性，因而未決[188]。

2017 年 11 月召開之「頻譜配置制度改革」會議，其中提到總務省對於未來正確的狀況掌握程度已有困難，而且拍賣制對於日本的

[187] 參見砂田篤子（2012），〈周波数オークションをめぐる議論〉，《調査と情報》，国立国会図書館第 750 号，網址：<http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_3489044_po_0750.pdf?contentNo=1&alternativeNo=>。

[188] 參見周波数オークションに関する懇談会（2011），〈周波数オークションに関する懇談会報告書〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000146432.pdf>。

財政的助益亦有幫助[189]，因此是否未來釋照會採用拍賣制，或是綜合性的方式尚未明確。不過就日本對於政策施行皆有一定的時間告知情況下，短期的 5G 頻譜釋照應仍以審議制為主。

3、 規範義務

由於 5G 尚未釋照，因此本計畫先參考 2018 年釋出之 1.7 與 3.4GHz 候補頻段說明。

在申請前的資格審查時的最低標準如下：

- 確保基地台設置場所、設備調度與設置建置體制之相關計畫。
- 因應運用與保管電信設備所必要確保技術相關人員之相關計畫。
- 因應基地台運用所必要之電信設備安全、可靠度之確保策略相關計畫。
- 資金調度與收支計畫（開設有效期間-10 年期能達成單年度獲利）。
- 既有基地台之移頻最低必要費用（1.7GHz 頻段：1,950 億日圓、3.4GHz 頻段：110 億日圓）。
- 人口涵蓋率（1.7GHz 頻段 8 年內的覆蓋率為 80%、3.4GHz 頻段 5 年內的覆蓋率為 50%）。

在評審階段，主要以下述基準依序審查：

- 對於新業者或指定頻率的用戶數之比例。
- 人口涵蓋率之要求。
- 提供其他 MVNO 使用計劃的完整性。
- 移頻相關費用負擔的可能額度（上限額：1.7GHz 頻段：2,110 億日圓、3.4GHz 頻段：620 億日圓）。
- 因應實施更為迅速與靈活的移頻計畫之完整性。

[189] 參見規制改革推進会議（2017），〈電波割当制度の改革〉，網址：<http://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/suishin/meeting/wg/toushi/20171117/171117toushi04.pdf>。

- 因應行動電話訊號收聽不到區域的計畫之完整性。

最後審核通過之業者與相關資訊如表 7- 24。其中 1.7GHz 頻段(1,710-1,740MHz、1,775-1,825MHz)原本是日本防衛省使用之頻段，日本總務省為了讓頻段使用效率較佳，且符合 1.7GHz 為 3GPP 訂定的 4G 頻譜範圍，因此希望該頻段的涵蓋率與其他既有的 4G 網路基地站的涵蓋率狀況一致，亦即覆蓋率可以較高。至於 3.4GHz 的頻段，由於未來可能會調和供應給 4G 以上（包含 5G）的使用，因此規定的 4G 涵蓋率較低。[190]

表 7- 24：1.7 與 3.4GHz 審查結果

	3.4GHz 頻段		1.7GHz 頻段	
審查項目	NTT Docomo	Softbank	KDDI/沖繩電話	樂天行動網路
人口覆蓋率*	60.1%	60.3%	95.1%	96.0%
基地臺設置場所確保(2028 年基地臺數)	往既有基地臺合併設置(10,220 臺)	同左(23,167 臺)	同左(30,694 臺)	原則上新設(27,397 臺)
技術人員確保	對應現行服務人員(母公司約 2,600 人，子公司約 3000 人-2018 年)	同左(母公司約 427 人，委外約 563 人-2018 年)	同左(母公司約 510 人，委外單位約 23 間公司-2018 年)	至服務開始前配置，後續預定追加(474 人-2026 年)
安全可靠度確保	通訊管道的延伸(車載行動基地臺 78 臺-2018 年)	同左(車載行動基地臺 100 臺、移動型基地臺 200 臺-2018 年)	同左(車載行動基地臺 29 臺、移動型基地臺 40 臺-2018 年)	同左(車載行動基地臺 37 臺、移動型基地臺 70 臺-2018 年)

[190] 參見総合通信基盤局（2018），前揭 179。

	3.4GHz 頻段		1.7GHz 頻段	
審查項目	NTT Docomo	Softbank	KDDI/沖繩電話	樂天行動網路
財務基礎(10年間獲益)	以電信事業的資金收支調度2018年度起每年度盈餘(設備投資額約865億圓)	同左(設備投資額約858億圓)	同左(設備投資額約2,479億圓)	母公司出資(2,000億圓)、銀行借貸(4,300億圓) 2023年起每年度營於(設備投資額約5,263億圓)
法遵、個資保護、使用者保護	公司內規章整備、公司內研修實施	同左	同左	同左
頻譜轉移費用之確保**	620億圓	620億圓	2,110億圓	2,110億圓
MNVO的促進	完成MVNO面向計畫設定(預計申辦數:2,300萬-2025年)	同左(預計申辦數:469萬-2028年)	同左(預計申辦數:1,758萬-2028年)	預定2020年度計畫設定(預計申辦數:185萬-2028年)
多樣化資費	提供多個單一費率收費方案	同左	同左	加上小額方案，預定追加大量方案、法人向方案
取得頻譜者不可將事業體轉售	遵守說明要旨	同左	同左	同左

* 3.4GHz頻段：5年後50%以上、1.7GHz頻段：8年後80%

** 確保下限額（1.7GHz頻段：1,950億圓；3.4GHz頻段：110億圓）

4、 技術規範

目前總務省委託 NTT Docomo 進行基地臺的測試，預計 2018 年下半年將會確認 small cell（小基站）的規格，如表 7- 25、表 7- 26、表 7- 27、表 7- 28、表 7- 29 與表 7- 30。

表 7- 25：3.7/4.5GHz 頻段 5G small cell 基地臺（傳輸端）數據規格

項目	數據規格	備註
天線功率	5dBm/MHz	從 EIRP 算出
天線增益	23dBi (假設每個元素的增益為 5 dBi，元素數量為 8 x 8)	*
饋線損失	3dB	*
EIRP	25dBm/MHz	與 LTE-A 一致
天向指向特性（水平）	Recommendation ITU-RM.2101	*
天向指向特性（垂直）	Recommendation ITU-RM.2101	*
機器傾斜度	10°	*
傳輸天線高	10 公尺	與 LTE-A 一致
傳輸頻段寬	100、200…600MHz(3.7GHz 頻段) 100、200…600MHz(4.5GHz 頻段)	
相鄰頻道漏功率	下記或-16dBm/MHz 的高值 -44.2dBc(頻道頻段寬 MHz 離頻) -44.2dBc(2x 頻道頻段寬 MHz 離頻) ＊參考頻段寬是該頻道頻段寬的最大實效的頻段寬	根據 3GPP
混附發射的不必要發射的強度	-4dBm/100kHz (30MHz-1GHz) -4dBm/MHz (1GHz 以上) (適用在頻段起始 40MHz 以上的範圍)	根據 3GPP

（* 以 ITU-R IMT-2020 共用檢討參數為基礎- Document 5-1/36-E）

表 7- 26：3.7/4.5GHz 頻段 5G small cell 基地臺（接收端）數據規格

項目	數據規格	備註

容許干擾功率（頻段內干擾）	-110dBm/MHz (I/N=-6dB、NF=10dB)	I/N 為 Rep. ITU-RM.2292
容許感度抑壓功率（頻段內干擾）	-47dBm (相鄰 20MHz 頻寬) -38dBm(上記以外)	根據 3GPP
天線增益	23dBi (假設每個元素的增益為 5 dBi，元素數量為 8 x 8)	*
饋線損失	3dB	*
天向指向特性（水平）	Recommendation ITU-RM.2101	*
天向指向特性（垂直）	Recommendation ITU-RM.2101	*
機器傾斜度	10°	*
傳輸天線高	10 公尺	與 LTE-A 一致

表 7- 27：4.5GHz 頻段 5G macro cell 基地臺（傳輸端）數據規格

項目	數據規格	備註
天線功率	28dBm/MHz	從 EIRP 算出
天線增益	23dBi (假設每個元素的增益為 5 dBi，元素數量為 8 x 8)	*
饋線損失	3dB	*
EIRP	48dBm/MHz	與 LTE-A 一致
天向指向特性（水平）	Recommendation ITU-RM.2101	*
天向指向特性（垂直）	Recommendation ITU-RM.2101	*
機器傾斜度	6°	*
傳輸天線高	40 公尺	與 LTE-A 一致
傳輸頻段寬	100、200…500MHz	
相鄰頻道漏功率	下記或-16dBm/MHz 的高值 -44.2dBc(頻道頻段寬 MHz 離頻) -44.2dBc(2x 頻道頻段寬 MHz 離頻) ＊參考頻段寬是該頻道頻段寬的最大實效的頻段寬	根據 3GPP

混附發射的不必要發射的強度	-4dBm/100kHz (30MHz-1GHz) -4dBm/MHz (1GHz 以上) (適用在頻段起始 40MHz 以上的範圍)	根據 3GPP

表 7- 28：4.5GHz 頻段 5G macro cell 基地臺（接收端）數據規格

項目	數據規格	備註
容許干擾功率（頻段內干擾）	-115dBm/MHz (I/N=-6dB、NF=5dB)	I/N 為 Rep. ITU-RM.2292
容許感度抑壓功率（頻段內干擾）	-52dBm (相鄰 20MHz 頻寬) -43dBm(上記以外)	根據 3GPP
天線增益	23dBi (假設每個元素的增益為 5 dBi，元素數量為 8 x 8)	*
饋線損失	3dB	*
天向指向特性（水平）	Recommendation ITU-RM.2101	*
天向指向特性（垂直）	Recommendation ITU-RM.2101	*
機器傾斜度	6°	與 LTE-A 一致
傳輸天線高	40 公尺	與 LTE-A 一致

表 7- 29：28GHz 頻段 5G 基地臺（傳輸端）數據規格

項目	數據規格		備註
	戶外	室內	
天線功率	5dBm/MHz	0dBm/MHz	*
天線增益	23dBi (假設每個元素的增益為 5 dBi，元素數量為 8 x 8)		*
饋線損失	3dB		*
EIRP	25dBm/MHz	20dBm/MHz	*
天向指向特性（水平）	Recommendation ITU-RM.2101		*

天向指向特性（垂直）	Recommendation ITU-RM.2101		*
機器傾斜度	10°	90°	*
傳輸天線高	6、15 公尺	3 公尺	*
傳輸頻段寬	400、800…2,000MHz		*
網路利用率	20%、50%		*
基地臺 TDD 活動率	80%		*
相鄰頻道漏功率	下記或-13dBm/MHz 的高值 -28dBc(頻道頻段寬 MHz 離頻) ＊參考頻段寬是該頻道頻段寬的最大實效的頻段寬		根據 3GPP
混附發射的不必要發射的強度	-13dBm/MHz		*

表 7- 30：28GHz 頻段 5G 基地臺（接收端）數據規格

項目	數據規格		備註
	戶外	室內	
容許干擾功率（頻段內干擾）	-110dBm/MHz (I/N=-6dB、NF=5dB)		*
容許感度抑壓功率（頻段內干擾）	(討論中)		3GPP 檢討中
天線增益	23dBi (假設每個元素的增益為 5 dBi，元素數量為 8 x 8)		*
饋線損失	3dB		*
天向指向特性（水平）	Recommendation ITU-RM.2101		*
天向指向特性（垂直）	Recommendation ITU-RM.2101		*
機器傾斜度	10°	90°	*
傳輸天線高	6 公尺、15 公尺	3 公尺	*

(四) 小結

1、 政策思維

日本有比5G更高的政策思維，即為2030年代的無線電波使用，其可透過七類通訊生態系統（5G 為其中一項）來解決其社會上的各種問題。其也透過較為實際的行動方案（如頻譜長期規劃、無線網路成長戰略），以提升其達成政策的可能性。

2、 頻譜整備狀況

2018 年底總務省會分配 3.7、4.5、28GHz 之 5G 頻段，預計於 2019 年進行比較審查（審議）。3.7GHz 與 4.5GHz 頻段預計會各分配最大 500MHz 的頻寬，28GHz 頻段最大 2GHz 的頻寬；此外，次要的 5G 整備頻譜為 2.3 與 2.6GHz 頻段，預計是未來再去規劃的部分。

3、 頻譜垂直場域狀況

日本總務省計畫從 2017 年起進行三年期（2017~2019 年）的國內 5G 實證試驗，目前已進行第二年之實證，並修正相關之技術目標與標準。三種 5G 的技術（eMBB、URLLC、mMTC）均有進行，頻段上以 4.5、28GHz 頻段為主，僅 mMTC 有實驗 3.7GHz 頻段。試驗環境在室內、戶外皆有實證。

垂直場域有使用在 AR/VR 之影像傳輸、穿戴式裝備監視傳輸；機器人智慧工廠；學校教育使用高畫質影像傳輸；高速交通移動工具傳輸影像；小型無人機影像傳輸；施工機器與除雪車遠距操作；高速公路基礎設施監視進展、智慧辦公室內掌握多數人的資訊與位置等。

六、 韓國

(一) 政策發展近況與候選頻段

1、頻譜政策藍圖與規管原則

(1) 5G 頻譜政策

韓國科學技術情報通信部（前未來部）為了因應未來的頻譜需要的先期戰略而進行研究，準備議定中長期頻譜綜合計劃，2015 年 12 月 22 日由專家與利益關係人的意見收斂的討論會後，與相關省廳協議，最終確定 2016 年 1 月 18 日召開「2017 第一次經濟關係長官會議」，宣布中長期頻譜綜合計畫「K-ICT 頻譜計畫」。

該計畫最早是於 2012 年前放送通信委員會擬定「行動廣開土計畫 1.0」（모바일 광개토 플랜 1.0）、2013 年未來部擬定「行動廣開土計畫 2.0」（모바일 광개토 플랜 2.0）後，欲規劃 2020 年，甚至 2023 年的新行動通訊頻譜而來。

2016 年的「K-ICT 頻譜計畫」內不只有 5G，還包含智慧型機器人、大數據、智慧工廠等因應智慧資訊社會的需求，預期頻譜的需求大增，因此 K-ICT 是為了頻譜的先期戰略因應，而發展制訂中長期（2017~2026 年）的頻譜綜合計畫。

「K-ICT 頻譜計畫」特別提到 5G，希望其能進行全球首發 5G 進行實作，提出以下原則：[191]

- 至 2018 年，確保 28GHz 頻段（27.5~28.5GHz）的 1,000MHz 頻寬，3.5GHz 頻段的 300MHz 頻譜等共 1,300MHz 頻譜（建立 2018 年 5G 的頻譜分配計畫）。
- 至 2021 年，確保 28GHz 附近的頻段（26.5~27.5GHz、28.5~29.5GHz）或 WRC-19 標準候選的 2,000MHz 頻寬。然

[191] 參見韓國未來部（2016），〈4 차 산업혁명에 대응한 중장기 주파수 종합계획인「K-ICT 스펙트럼 플랜」확정〉，網址：<https://www.konkuk.ac.kr/do/MessageBoard/ArticleFile.do?id=11683748>。

而，若 28GHz 附近的頻段 2,000MHz 頻寬的設備終端的生態系建立，並具備充足的供應條件的話，將要在第一階段確立。

- 至 2026 年，為 5G 流量增加準備，確保額外最少 1,000MHz 的頻寬。

(2) 頻譜規管原則

在「K-ICT 頻譜計畫」中，提到對於頻譜制度上的改善措施如下：[192]

- 5G 頻譜分配金制度的整備：適用現行 3GHz 以下的頻段分配的價金算式。整備 5G 高頻段分配。[193]
- 市場原理擴大：△的使用。如允許變更技術方式、△轉讓租賃規定的解除管制、△導入區域頻譜分配、△分配方式（對價・審查）區分基準的明確化等
- 需求預測系統的建立：行動網路流量預報系統的建立、準備進行產業生活頻譜使用實況調查與需求的處理系統
- 有效地共享使用：促進在專用頻譜中的共享使用（地區、空間、時間），並建立共用的規則與協調系統。
- 低效率頻譜回收與再配置：導入回收等級制，且只有在能夠有效利用頻譜的情形為基礎下允許重新配置。

2、5G 頻譜政策發展近況與釋出時間規劃

至 2018 年 6 月底，韓國 5G 相關時程更新如下表 7- 31。

[192] 同前註。

[193] (1)維持既有公式，但仍修正可以適用高頻譜的公式（3GHz 以上電波係數的導入、頻譜分配率計算時分別帶入權重等。
(2)採用適用高頻段的其他公式。
(3)導入新的 MHz 單價計算方法等。

表 7- 31：韓國 5G 頻譜配置推動時程

時間	內容
2017 年 12 月	3GPP 等國際組織制定國際標準
2018 年 2 月	平昌冬奧，世界首發 5G 實驗服務
2018 年 5 月 4 日	頻譜拍賣文件發布
2018 年 6 月 4 日	頻譜拍賣申請截止
2018 年 6 月 15 日	頻譜拍賣公布與建置開始
2018 年 6 月~12 月	技術基準整備中
2018 年 12 月 1 日	頻譜正式啟用(3.5GHz 10 年、28GHz 5 年)
2019 年 3 月	5G 商業化

3、 5G 候選頻段更新

根據「K-ICT 頻譜計畫」，3.5 與 28GHz 頻段於 2018 年 6 月拍賣釋出。3.5GHz 頻段部分總共標出 280MHz，由 LG U+取得 3.42-3.5GHz，KT 取得 3.5-3.6GHz，SKT 取得 3.6-3.7GHz。在 28GHz 頻段部分總共標出 2,400MHz，KT 取得 26.5-27.3GHz，LGU+取得 27.3-28.1GHz，SKT 取得 28.1-28.9GHz，如下圖 7- 20。[194]

[194] 參見박지성（2018），〈주파수경매, 3 조 6000 억원에 종료...이통 3 사 5G 전략 본격화〉，etnews，網址：<http://www.etnews.com/20180618000354>。（瀏覽時間：2018 年 6 月 22 日）

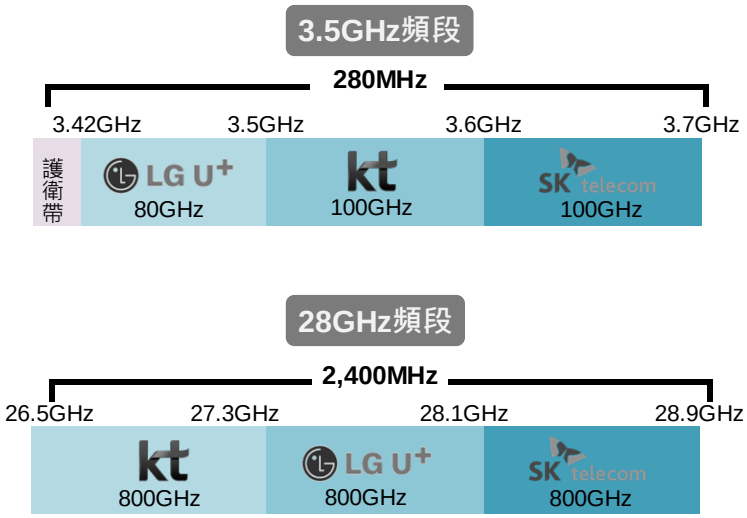


圖 7- 20：韓國 3.5 與 28GHz 頻段標出情形

此外，至 2021 年底前，將會檢討後續的 28.9-29.5GHz 頻段。至於 WRC-19 的候選頻段，尤其是 24.25-27.5 GHz、31.8-33.4 GHz、37-40.5GHz 將會陸續推動檢討。[195]

4、 實驗案例發展

韓國的三大電信業者從 2014 年、2015 年左右即開始與全球大型行動通訊業者簽署 5G 夥伴關係協議，相關實驗與簽署狀況如表 7-32。[196]

[195] 參見杉野勲（2018），〈電波政策の最新動向〉，網址：<https://www.kiai.gr.jp/jigyou/h30/PDF/0606p1.pdf>。

[196] Analysys Mason (2018), Global Race to 5G — Spectrum and Infrastructure Plans and Priorities, retrieved from "https://api.ctia.org/wp-content/uploads/2018/04/Analysys-Mason-Global-Race-To-5G_2018.pdf".

表 7- 32：韓國的 5G 實驗情形

業者別	內容
SKT	SKT 已發布許多試驗計畫，並且與很多大型行動網路製造業合作，包含諾基亞、愛立信、三星等。早先於 2014 年 7 月，SKT 就已與愛立信簽訂 5G 合作協議，包含以下計畫： ● 2017 年 12 月 28 日，SKT 宣布成功建置在 K-City 的基礎建設，執行自駕車的前導試驗。 ● 2017 年 12 月 1 日，SKT 宣布在六個月與在地業者合作中發展新型 5G 傳輸網路。 ● 2017 年 11 月 21 日，SKT 宣布成功建置 5G PON 網路來傳輸 LTE 與 5G 服務，SKT 也宣布在 85 個國內城市啟動 5G PON，包含首爾、釜山、大邱、大田、光州。 ● 2017 年 11 月 1 日，SKT 宣布示範公開在盆唐區的 5G 試驗網路建置 5G 的傳輸中繼器，使用的是 3.5GHz 與 28GHz 頻段。SKT 與三星也使用平板裝置示範公開 360 度的 VR 5G 視訊電話。
KT	● 2017 年 5 月 8 日，KT 與愛立信宣布 2017 年間逐步建置與微調 5G 試驗網路於 2018 冬奧舉辦地平昌，該地使用的是 28GHz vRAN 與虛擬 5G 核心。KT 也宣布在仁川機場鐵道的 5G 實驗。這兩個實驗早先於 2015 年 3 月已簽訂 MoU。 ● 2016 年 4 月 7 日，KT 與 NEC 宣布平昌使用 E-Band 頻譜（70-80GHz）的 5G 無線後置迴路概念測試（PoC）成功建置。該實驗於 2015 年 8 月簽訂合作協議。 ● KT 於 2015 年 3 月已宣布其在 2018 年冬奧會提供全球首發的 5G 大型服務。
LG U+	● 2017 年 11 月 24 日，LG U+與華為宣布大型的 5G 網路商業測試在首爾的江南區。該試驗使用的是 3.5 與 28GHz 頻段達到 5Gbps 的平均速度。另一在 2017 年 10 月 19 日的實驗也是運用同樣的「雙連結」技術在首爾的另一個場域進行。 ● 2017 年 9 月 12 日，LG U+與華為宣布他們已在在首爾的上巖地區完成第一階段的 5G 都市場域測試。該技術使用的是 28GHz 頻譜，為包含 5G gNodeB、Ng Core 與 5G 行動網路的 5G「end to end」網路。 ● 2016 年 11 月 30 日，LG U+與華為宣布其完成一系列 5G 測試，包含 eMBB、uRLLC、mMTC。其於 2015 年 7 月簽訂

業者別	內容
	5G 研發合作夥伴協議，目標是 2018 年的 5G 前導商業測試。 ● 2015 年 9 月 21 日，LG U+與愛立信簽署 5G 與 IoT 的技術 MoU。

2018 年在韓國平昌舉辦的冬季奧運會，是最有規模的 5G 試驗場域。特說明如下：

(1) 舉辦 5G 奧運試驗場的歷程

為了 2018 年 2 月平昌冬奧進行 5G 的試營運，KT 與全球行動製造商（愛立信、英特爾、諾基亞、高通、三星）於 2015 年 9 月一起啟動 5G SIG（特別興趣群，Special Interest Group），在 2016 年 11 月完成 5G SIG 的規格書。

另外，KT 也在 5G 測試基地臺與終端設備的基礎上，成功在 2016 年與 2017 年完成奧運的測試項目。KT 對於 5G 與相關除錯與驗證功能與表現展現了實驗室與場域測試。2017 年韓國舉辦的國際足總 U-20 世界盃（FIFA U-20）期間，即採用 5G 連線的 360 度 VR 與時間切割技術（Time Slice）來做互動式足球轉播。

2017 年底於首爾及奧運比賽場地佈建 5G 測試系統，包含核心與無線電接取網與 5G 測試設備。5G 測試服務亦提供在首爾、平昌、江陵、旌善、普光洞等地。



圖 7- 21：韓國 5G 測試發展歷程

英特爾預計在 2018 年平昌冬奧、2020 年東京奧運、2022 年北京冬奧、2024 年巴黎奧運作為最大的贊助商，來優先運用通訊系統與設備進行 5G 服務。

平昌冬奧期間，三星也加入陣營，開發 5G 對應的平板，實驗機約 1,100 台，在賽場與周圍體驗 5G 服務。

為了建立 5G 網路，KT 鋪設了 35,000 條光纖，並設置 5,000 個接取點和數據中心，使用 250,000 個設備，以建立 5G 行動通訊網路。

韓國的 5G 網路平臺由英特爾製造，2016 年 2 月，第一代平臺採用 6GHz 和毫米波建置。並於 2017 年開發出 4x4 的 MIMO 第二代平臺。之後，英特爾的第三代平臺於 2018 年平昌冬奧會登場。基於 3GPP，新平臺支援 5G NR 標準，透過將英特爾閘陣列（Gate Array）的 FGPA 電路和 Core i7 作為處理器來構建。

在服務開始時，英特爾嘗試了與 3GPP NR 的相互操作性，並重複使用 600-900MHz，30.3-4.2GHz，4.4-4.9GHz，5.1-5.9GHz，28GHz 和 39GHz 頻段的測試。

(2) 平昌冬奧提供之 5G 服務

KT 在平昌冬奧其間提供許多的 5G 服務如下：

- 同步視角能讓觀眾能享受高畫質的球員角度視角的球賽。
- 360 度實況 VR 能讓觀眾觀看互動式 360 度超高畫質影片。
- 實況全像投影可以讓行動用戶傳輸下世代 3D 全像內容。
- 時間切割轉播能讓觀眾藉由多個連線照相機觀看更為真實與近距離的慢動作奧運比賽。
- 智慧監控藉由固定式的連線型智慧監控照相機與小型無人機，可以更為完美的防護遊客與在場的人員。
- 5G 連線的自動駕駛車提供無人駕駛的體驗與更為沉浸式的車內媒體。

(3) 平昌冬奧之展示場域

平昌冬奧之展示場域如表 7- 33[197]

表 7- 33：韓國的 5G 展示場域

地區	場所	展示內容
江陵	奧運公園	KT 館、5G 連結（VR、AR、時間切割體驗）、三星館、阿里巴巴館、KIA 汽車館
	月火道路	IoT、VR、基於動作識別媒體藝術，提供最先進 ICT 的體驗機會
	站前廣場	設置 ICT 區域
平昌	奧運公園	「現代（公司）」館、自動駕駛、Panasonic
江陵、平昌共通	Play IoT Service Desk	聲音翻譯 APP（智慧交談）、AR 為基礎的會場諮詢 APP、聯網公車（全像投影電話）、超高畫質影像串流、機器服務人員 85 臺
	新聞中心	飲料服務機器人 4 臺
	停車場	設置 IoT 感應器，可以通知停車場可以利用的車輛數
	洋裝店	虛擬試穿體驗、VISA 智慧結帳與智慧手套
	江原道橫城 Wellihillipark	舉辦滑雪機器人比賽
義野地村	平昌 5G 村	通過 AR、VR、全像投影來進行觀光遊客服務、基於無人機來做電影介紹、電動車、 充電設備
首爾	光化門	KT 館、5G Live Site
	市中心	SKT 電信活動館
	首爾車站	ICT 廣場
	仁川機場（第一航廈）	ICT 廣場
電視	韓國無線廣播	超高畫質（4K）直播

[197] 參見占部雅一（2018），〈平昌五輪で「5G」をプレビュー　そこで見えた課題と、東京五輪への要望〉，<http://www.itmedia.co.jp/mobile/articles/1802/21/news075.html>。

(二) 頻譜使用與處理

1、 候選頻譜使用狀態

依據韓國的頻率分配表[198]，該國 5G 候選頻段的原分配業務彙整如下表 7- 34。

表 7- 34：5G 候選頻段原分配業務

5G 候選頻段	之前使用頻段	功能
3.5GHz（3.42~3.70GHz）	3,400~3,500MHz	● 固網 ● 行動（除了航空移動以外） ● 無線探知 ● 業餘用
	3,500~3,700MHz	● 固網 ● 固定衛星-下鏈 ● 行動（除了航空移動以外）
28GHz（26.5~28.9GHz）	25.5~27GHz	● 地球探查衛星-下鏈 ● 固網 ● 行動 ● 衛星相互間
	27~27.5GHz	● 固網 ● 固定衛星-上鏈 ● 衛星相互間 ● 行動
	27.5~28.5GHz	● 固網 ● 固定衛星-上鏈 ● 行動
	28.5~29.1 GHz	● 固網 ● 固定衛星-上鏈 ● 行動

[198] 參見韓國頻率促進協會網站：<https://spectrum.or.kr:5017/download.php?dnfile=+%EC%A3%BC%ED%8C%8C%EC%88%98%EB%B6%84%EB%B0%B0%EB%8F%84%ED%91%9C.pdf&file=/www/spectrum_or_kr/webapp/../upload_dir/banner/53158013559a62269808bd.pdf>。

		● 地球探查衛星-上鏈

2、頻譜重整措施

2017 年科學技術情報通信部提出「為第四次產業革命建構超世代智慧網路戰略」草案，其中對於 5G 的發展有更進一步的闡釋[199]：

(1) 為了全球首發 5G 商業化運用，盡早完成配置頻譜

- 頻譜盡早發布配置情形：需考慮在 2018 年 6 月的前一年間訊務量增加與頻譜增加量，以因應 3.5 與 28GHz 頻段拍賣。
- 建構測試網路：因應 2018 年平昌冬奧，2017 年 12 月在平昌、光化門建構 5G 測試網路，以及引進商用等級的 5G 終端設備的服務展示。
- 技術基礎整備：為了 5G 機器、終端順利進入市場，需建立 5G 適當的試驗方法、設備許可、檢查制度。（預計 2018 年 6 月）
- 品質評估：在先期建構 5G 網路與促進擴大覆蓋率後，需進行覆蓋率、傳輸速度等品質評估。

(2) 為了有效建置支援，改善共同建置與利用制度

- 通訊設備的共同利用：為了防止 5G 網路建構效率的重複投資，需在電信設備（管道、電線杆）等有效使用下進行制度改善；

[199] 參見科學技術情報通信部（2017），〈초연결 네트워크 구축으로 자율주행차·스마트시티 기반 닦는다〉，網址：<http://www.msip.go.kr/cms/www/m_con/news/report/__icsFiles/afieldfile/2017/12/28/171228%20%EC%84%9D%EA%B0%84%20(%EB%B3%B4%EB%8F%84)%20%EC%B4%88%EC%97%B0%EA%B2%B0%20%EB%84%A4%ED%8A%B8%EC%9B%8C%ED%81%AC%20%EA%B5%AC%EC%B6%95%EC%9C%BC%EB%A1%9C%20%EC%9E%90%EC%9C%A8%EC%A3%BC%ED%96%89%EC%B0%A8.%EC%8A%A4%EB%A7%88%ED%8A%B8%EC%8B%9C%ED%8B%B0%20%EA%B8%B0%EB%B0%98%20%EB%8B%A6%EB%8A%94%EB%8B%A4.pdf>。。

- 通訊設備的共同建置：都市核心地區要促進設備競爭，以及舊市區與農漁村促進設備範圍與設置基準的共同建置與利用；
- 無線設備的共同使用：建置 5G 全國網路，須鼓勵山區雨農漁村等偏鄉地區共同建置與利用無線設備。

(3) 為了以 5G 為基礎的整合性服務之普及，推動示範性產業

- 示範案例：整合之 5G 基礎設施與新產業、服務（自動車、遠距醫療），發掘與驗證通訊產業的新營運模式。
- 國際共同研究：通過與美國、中國、日本、歐盟之 5G 整合性服務有關之共同示範案例，先行推動全球的典範性參考模式。

(三) 執照管理與規範義務

1、 執照與釋照方式

韓國科學技術情報通信部是根據其《電波法》第 10 條、第 11 條（按成本進行頻率分配）之「按價格競爭（拍賣）的頻率配置」方法與《電波施行令》第 11 條來進行釋照拍賣。依其前放送通信委員會於 2011 年對於頻譜拍賣的見解，其認為是要能反映頻譜的市場價值，以及提升分配過程的透明性與公正性，來導入市場為基礎的競標制度[200]。目前以 2018 年 6 月 15 日結束之拍賣與相關之競標公告進行以下說明[201]。

---

[200] 參見周波数オークションに関する懇談会事務局（2011），〈諸外国のオークション制度〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000121936.pdf>。

[201] 參見科學技術情報通信部（2018），〈이동통신(IMT)용 주파수할당 공고〉，網址：<http://www.msit.go.kr/cms/www/m_con/news/report/__icsFiles/afieldfile/2018/05/04/(%EB%B3%84%EC%B2%A8)%EC%9D%B4%EB%8F%99%ED%86%B5%EC%8B%A0(IMT)%EC%9A%A9%20%EC%A3%BC%ED%8C%8C%EC%88%98%ED%95%A0%EB%8B%B9%20%EA%B3%B5%EA%B3%A0.pdf>。

(1) 競標頻譜

- 3.5GHz 頻段：3,420~3,700MHz（總計 280MHz），每一區塊 10MHz，共 28 個區塊。每業者競標最多 100MHz。
- 28MHz 頻段：26.5~28.9GHz（總計 2,400MHz），每一區塊 100MHz，共 24 個區塊。每業者競標最多 1,000MHz。

(2) 啟用時間

兩頻段的啟用時間均為 2018 年 12 月 1 日。業者需考慮決定設備/終端測試認證的方式（3GPP 標準預定於 2018 年下半年決定）與測試認證基礎設施的建設所需期間，以及留意頻譜分配費的支付證明等必要文件之提交截止日期至 2018 年 11 月 30 日。

(3) 執照使用時間

- 3.5GHz 頻段：2018 年 12 月 1 日~2028 年 11 月 30 日（10 年）。
- 28MHz 頻段：2018 年 12 月 1 日~2023 年 11 月 30 日（5 年）。

(4) 申請者條件

根據《電信事業法》第 6 條規定期間所獲得通訊事業許可之業者。除了《電波法》第 13 條（取消頻譜分配的理由）的各款所述之業者不可以申請外，《獨佔管制與公平交易法》等法律施行令第 11 條（特殊關係人之範圍）的各款特殊關係者中，只能由其中一個法人來申請。

(5) 拍賣底價

- 3.5GHz 頻段：2 兆 6,544 億圜。
- 28MHz 頻段：6,210 億圜。

(6) 競標程序

拍賣方式為混合方式（計時制拍賣+密封投標拍賣）。

(7) 申請結果

該競標分為兩階段，第一階段為決定標得的頻譜大小，第二階段為決定頻譜位置，競標狀況如表 7- 35、表 7- 36。

表 7- 35：第一階段拍賣區段之標價

頻段	拍賣底價	區塊底價	競標者			競標價
			SKT	KT	LG U+	
3.5GHz	2 兆 6,544 億圜	948 億圜	968 億圜(10 區塊)，共 9,680 億圜	968 億圜(10 區塊)，共 9,680 億圜	968 億圜(8 區塊)，共 7,744 億圜	2 兆 7,104 億圜
28GHz	6,210 億圜	259 億圜	259 億圜(8 區塊)，共 2,072 億圜	259 億圜(8 區塊)，共 2,072 億圜	259 億圜(8 區塊)，共 2,072 億圜	6,216 億圜

表 7- 36：第二階段拍賣頻譜位置與標價

頻段	競標者	標得頻率	競標價
3.5GHz	LG U+	3.42~3.50GHz	351 億圜
	KT	3.50~3.60GHz	0 億圜
	SKT	3.60~3.70GHz	2,505 億圜
28GHz	KT	26.5~27.3GHz	6 億圜
	LG U+	27.3~28.1GHz	0 億圜
	SKT	28.1~28.9GHz	1 億圜

整體結果，總得標價為 3 兆 6,183 億圜，3.5GHz 頻段之得標價為 2 兆 9960 億圜，28GHz 頻段之得標價為 6,223 億圜，如表 7- 37。相較於拍賣底價，3.5GHz 增加了 3,416 億圜（12.9%），28GHz 增加了 13 億圜（0.2%）。

表 7- 37：競標者之總競標價

業者	3.5GHz	28GHz	總競標價
SKT	1 兆 2185 億圜	2073 億圜	1 兆 4258 億圜
KT	9680 億圜	2078 億圜	1 兆 1758 億圜
LG U+	8095 億圜	2072 億圜	1 兆 0167 億圜
總計			3 兆 6183 億圜

2、 規範義務

依韓國科學技術情報通信部關於 3.5GHz 與 28GHz 拍賣之頻譜公告，有關 3.5GHz 頻段，在無線基地臺在建設時，為了相鄰頻譜的公共目的，需事前與已取得頻譜使用的無線臺進行協商。

此外，取得分配頻譜的法人，必須要遵守在以下各年度申請的網路建設義務提出之「頻譜使用計畫書」，並且要在隔年 4 月底提出達成的成果報告。

韓國對此二頻段的年度建設網路義務如下表 7- 38。

表 7- 38：年度建設網路之義務

頻段	建立的標準數量[202]	建立年度的義務數量[203]	
		3 年 15%	5 年 30%（累計）
3.5GHz 頻段	150,000 站	22,500 站	45,000 站
28GHz 頻段	100,000 站[204]	15,000 站	-

此外，亦設有干擾保護與迴避計畫規定：

- 申請法人選擇技術方式，需要考慮分配申請頻段內外之各種服務與無線基地臺、外來電波等，以「頻譜使用計畫書」來制定處理干擾決策與可以迴避之網路建構計畫。

[202] 通知必要開設的基地台（包含光纖中繼基地臺，RF 中繼與小細胞基地站）
[203] 2019 年 1 月起算，第三年為 2021 年，2023 年為第五年。
[204] 需報告第四項設置的基地臺設備之基準。

- 3.5GHz 頻帶受到高調波，相互變調（IMD）障礙，鄰近公共頻段和衛星地球站的干擾發生的可能性等。應該考慮劃分頻段中的業務分配以及對無線電臺和無線電波產生有害干擾的可能性，並提出解決方案或避免計劃。
- 28GHz 的頻段中，其與鄰近的頻段關於車輛的衝突防止用的雷達可能會發生干擾的情況。鄰近的行動衛星地球台（ESIM）帶與干擾發生的可能性[205]，其他分配申請頻段內外之各種服務包含無線台、外來電波等的干擾發生的可能性，皆必定需要考慮解決方案與迴避計畫。

● 取得頻譜的法人，在發生干擾的情況時，要與設施者間提出協議來解決問題為原則，並且需要用「頻譜利用計畫書」來達到干擾保護與迴避計畫。

3、 技術規範

依韓國科學技術情報通信部關於 3.5GHz 與 28GHz 拍賣之頻譜公告，其技術方式需使用國際電信聯盟（ITU）所採用的 IMT 標準的技術方式（IMT-2000、IMT-Advanced、IMT-2020[206]*等或更新之技術）

(四) 小結

1、 政策思維

韓國在 2012 年前已開始擬定頻譜計畫，，其中為了因應包含 5G、智慧型機器人、大數據、智慧工廠等因應邁向智慧資訊社會之技術或應用之頻譜需求，於 2016 年擬定「K-ICT 頻譜計畫」。

[205] 27.5~29.5GHz 頻段行動衛星地球臺（ESIM）導入在 WRC-19 上仍在議論中，其結果會讓該頻段導入行動衛星地球臺（ESIM）

[206] 但在採用 IMT-2020 之前，允許在一定的時間內使用 3GPP 標準技術（Rel15 或更高）

「K-ICT頻譜計畫」特別提到5G，希望其能進行全球首發5G進行實作，有其全球競爭的國家戰略目的存在。

2、頻譜整備與釋出狀況

原計畫至 2018 年，確保 28GHz 頻段（27.5~28.5GHz）的1,000MHz頻寬，3.5GHz頻段的300MHz頻譜等共1,300MHz頻譜；至2021年，確保28GHz附近的頻段（26.5~27.5GHz、28.5~29.5GHz）或WRC-19標準候選的2,000MHz頻寬；至2026年，為5G流量增加準備，確保額外最少1,000MHz的頻寬。

目前於2018年6月已釋出3.5GHz有280MHz頻寬，由LG U+取得 3.42-3.5GHz，KT 取得 3.5-3.6GHz，SKT 取得 3.6-3.7GHz。28GHz頻段有2,400MHz的頻寬，KT取得26.5-27.3GHz，LG U+取得27.3-28.1GHz，SKT取得28.1-28.9GHz。

3、頻譜垂直場域狀況

最主要的是2018年的平昌冬奧在首爾、平昌、江陵、旌善、普光洞等地進行5G布建與測試服務。

測試服務最主要有：360 度實況 VR、實況全像投影、時間切割轉播、大量小型無人機操控、5G連線自駕車等。

七、 德國

(一) 政策發展近況與候選頻段

1、頻譜政策藍圖與規管原則

數位轉換的風潮亦席捲德國的經濟與社會發展。於 2016 年，德國已有超過 2,500 萬的智慧型手機及 700 萬的平板電腦用戶；有超過 66%的德國人係透過智慧型手機上網，平板電腦的比例則有 38%。行動寬頻的重要性持續增加中。

德國政府已體認物聯網（IoT）將在未來經濟與生活占有重要的地位，除了智慧型手機與平板電腦的行動終端裝置外，汽車、家庭應用或工業機器均可透過網際網路連結並交換數據。未來將有數十億個物體、感知器或機器彼此跨國通訊。在此一發展趨勢下，德國政府認為未來需要有千兆位元（gigabit）的行動連結網路，因此需要透過 5G 作為此一數位轉換的主要技術。

基於上述的考量，德國政府依據 ITU-R 對於 5G IMT-2020 所定義的三個主要應用情境，包括「增強型行動寬頻」（eMBB）、「巨量物通訊」（mMTC）與「及極低遲延與高可靠度通訊」（uRLLC），研擬德國的 5G 策略。

德國政府所規劃的 5G 行動領域包括以下五大部分[207]：

- 啟動 5G 網路佈建；
- 依需求提供所需無線電頻率；
- 推動電信產業與應用產業的合作，並考量應用產業在標準化的需求、想法及解決方案；
- 支持 5G 相關研究；
- 啟動 5G 城鄉應用。

[207] Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) (2017), 5G Strategy for Germany: A Scheme to promote the development of Germany to become a lead market for 5G networks and applications, at 2.

聯邦網路管理局（Bundesnetzagentur, BNetzA）認為，對於 5G 頻譜需求的規劃，必須以市場需求為導向，且應考量網路經營者、服務提供者、MVNO 與應用服務業者（包括新進業者、中小企業等）的利益。目前聯邦網路管理局列入考量的 5G 頻段，包括 700MHz 上下行頻段中間的間隔頻段（738-753MHz）、2.1GHz、3.4-3.8GHz，以及 26GHz（24.25-27.5GHz）與 28GHz 頻段（27.5-29.5GHz）。[208]

2、5G 頻譜政策發展近況與釋出時間規劃

鑑於 5G 應用對於數位無線基礎設施在容量、頻寬、可利用性及低延遲的高度需求，因此在無線電頻率上同時需要低頻（1GHz 以下）、中頻（如 3.6GHz）及超高頻（24GHz 以上）的使用。目前德國的行動寬頻經營者總計已有超過 1000MHz 的無線頻寬可供使用，除了可轉做 5G 使用外，對於 24GHz 以上的毫米波頻段，包括 24.25~27.5GHz、31.8~33.4GHz 與 40.5~43.5GHz，在歐洲 CEPT 的層級下進行分析，並且已決定將 24.25~27.5GHz 作為 5G 的首要頻段。

3、5G 候選頻段發展

德國聯邦網路管理局（Bundesnetzagentur）於 2018 年 5 月 16 日發佈新聞稿，說明其已就 2.1GHz 與 3.6GHz 頻段的釋照程序，做出決定。[209]

依據德國電信法的要求，頻譜的釋出應符合客觀、透明及無差別待遇的原則。聯邦網路管理局於 2016 年起即開始進行 5G 頻譜整備的規劃，並進行一系列的公開諮詢。本次決定即是針對過去的公

[208] Bundesnetzagentur (2016), Points of Orientation for the provision of spectrum for the rollout of digital infrastructures, at 2-3.

[209] https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2018/20180516_5G.html?nn=265778
https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html

開諮詢結果，由專責頻譜釋出的首席裁決庭（Präsidentenkammer）針對「釋出頻段範圍」及「釋出程序」做出決定：2.1GHz 的釋出範圍為 1920~1980MHz 與 2110~2170MHz，3.6GHz 則為 3400~3700MHz，兩頻段將於同一競價程序中進行拍賣。至於之前同樣在諮詢範圍內的 3700~3800MHz 頻段，由於係供區域使用，因此規劃以申請方式釋出；聯邦網路管理局已著手規劃此一申請程序。

聯邦網路管理局在新聞稿中指出，除了全區使用的需求外，頻譜釋出規劃上必須因應 5G 頻譜在地方及區域的使用需求，包括工業 4.0 與地方團體的需求在內。至於「執照條件」與「競價規則」兩個部分，將與相關利害關係人討論後，規劃於 2018 年底做出決定。

4、 實驗案例

憑藉更高的數據容量和低延遲時間，5G 將能滿足未來的通訊需求，為智慧行動和物聯網的新應用創造了至關重要的基礎。德國預測到 2020 年，應可實現 5G，故對於外來之技術發展和必要標準制定已全面展開。德國希冀積極確保其在未來 5G 中心領域中，保有其長期創新領導地位。

以下 5G 地圖概述德國 5G 在各方面的潛力應用專案[210]（5G-Aktivitäten in Deutschland - Karte），其中包括研究和開發領域的相關活動，以及不同場域的實驗項目和應用，地區包含：不來梅（Bremen）、沃爾夫斯堡（Wolfsburg）、馬格德堡（Magdeburg）、柏林（Berlin）、多特蒙德（Dortmund）、杜塞爾多夫（Düsseldorf）、亞琛（Aachen）、黑爾措根拉特（Herzogenrath）、法蘭克福（Frankfurt）、凱澤斯勞滕（Kaiserslautern）、埃爾蘭根

[210] https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Frequenzen-Mobilfunk-und-Digitalradio/5G/5GKarte/5g-karte.html

（Erlangen）、斯圖加特（Stuttgart）、烏爾姆（Ulm）以及斯圖加特（Dresden）等。

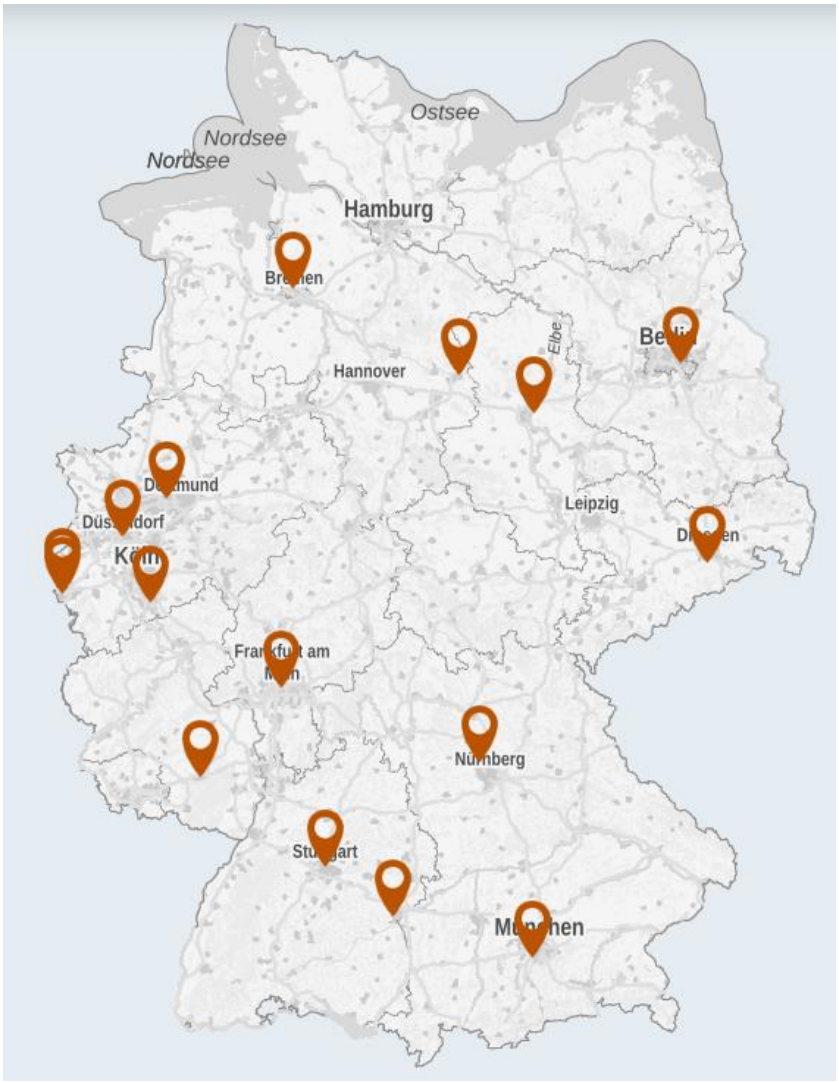


圖 7- 22：德國 5G 實驗案例分布圖

本計畫挑選 5G Berlin、ReICOvAir、Fantastic-5G、5G Lab Germany 與 TU Dortmund 等專案進行概要說明。

(1) 5G Berlin 專案

本項專案由柏林弗勞恩霍夫研究所（Fraunhofer） HHI 和 FOKUS 進行，以 5G 基礎技術開發為主，其核心競爭力期望 5G 基礎技術得到進一步發展。對 5G 的研究旨在實現高數據速率和低延遲。5G 無線電單元的密度範圍從非常大到小，為各種終端提供支持，同

時保持效率和節能。HHI 研究涉及信號處理、無線連接和系統優化等領域。FOKUS 則專注於核心網路架構以及軟體定義網路（Software Defined Networking，SDN）、網路功能虛擬化（Network Function Virtualization，NFV）、多接取邊緣運算（Multi-access Edge Computing，MEC）、霧運算（Fog Computing）和機器與機器之間的資訊交流與傳遞（Machine to Machine，M2M）/物聯網（Internet of Things，IoT）等技術之整合。可應用領域包括自動駕駛、工廠自動化等，專案概要資訊表如下。

Fraunhofer FOKUS Fraunhofer Heinrich Hertz Institute 5G Berlin	公司/研究所	Fraunhofer FOKUS / Fraunhofer HHI
	行業/部門	網路技術研發
	研究領域	產業界
	地點	柏林
	項目名稱	5G Berlin
	開發重點 5G	基礎技術
	應用領域	智慧移動/自動駕駛、工業自動化/工業 4.0、物流、商業、媒體/消費者服務、醫療保健/電子醫療，智慧能源/智慧服務
	項目期限	2015 年 9 月－2025 年 8 月
	投資額	超過 1,000 萬（歐元）

(2) ReICOvAir 專案[211]

本項 ReICOvAir 專案為評估工業無線電系統和標準傳輸品質創造了一種標準方法，讓其能夠能夠可靠的敘明其在工業 4.0 /工業物聯網中的適用性。同時，也為該項流程準備了可適用於開發之實驗

[211] https://ifak.eu/de/projekt/reicovair-reliable-industrial-communication-over-air

平臺，該平臺具備模擬鑑定能力，也能其所生產的無線電元件進行模擬鑑定。

為了滿足智慧製造、工業 4.0 和物聯網產業的挑戰，必須要具備可靠的無線通訊，作為傳統控制和監控區域中有線通訊鏈路的替代或補充。因此，對於無線通訊系統是否可用於特定應用，將需要標準化驗證/評鑑系統驗證其安全性。

ReICOvAir 專案就是對於 5G 應用於工業 4.0 之標準設定，包括對必要的標準、方法和工具進行驗證開發，將其標準化，且整合到一個全面的軟體和硬體測試環境。無線通訊系統評鑑系統的發展（例如在某些干擾條件下的數據容錯率與網路延遲）。目前的研究項目，包括蒐集需求以及標準化活動，為評估過程定義了許多相關的測試案例。同時也包括典型的應用流程（例如干擾場景）以及應用於不同案例使用場景的方法。本專案開發的評鑑系統和測試案例都會提交給歐洲標準機構審查。專案概要資訊表如下。

ReICOvAir	公司/研究所	弗勞恩霍夫集成電路研究所（Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen）
	行業/部門	研究
	研究領域	學術界
	地點	埃爾蘭根
	項目名稱	可靠工業通訊(Reliable Industrial Communication Over the Air，ReICOvAir)
	開發重點 5G	應用
	應用領域	工業自動化
	項目期限	2016 年－2018 年
	投資額	1,000 萬元以內（歐元）

(3) Fantastic-5G 專案

本項 FANTASTIC-5G 專案中，涉及網路拓撲、無線傳輸、多節點技術和頻譜等領域。不來梅大學專注於雙向通訊，並通過更高效

率的接取進行大規模機器對機器通訊，其模組化設計主要應用於6GHz 以下頻率，從而在服務、設備、部署類型、環境及移動性等各層面實現高度異質結構。為實現此一目標，必須滿足以下特性：靈活性、可擴展性、多功能性、效率和安全。本項專案涉及 5G 之大規模物聯網實驗案例。專案概要資訊表如下。

Universität Bremen* TZi ant	公司/研究所	不來梅大學
	行業/部門	研究
	研究領域	學術界
	地點	不來梅
	項目名稱	Fantastic-5G，靈活的空中擷取，可擴展的服務交付
	開發重點 5G	基礎技術
	應用領域	智能移動/自動駕駛，工業自動化/工業 4.0，物流，媒體/消費者服務，醫療保健/電子醫療，智能能源/智能服務
	項目期限	2015 年 7 月至 2017 年 6 月
	投資額	低於 100 萬（歐元）

(4) 5G Lab Germany 專案

德國 5G 實驗室是德累斯頓工業大學各類學科的平台。目前該平臺已整合來自電機工程與資訊技術、電腦科學與機械工程學院的 19 位學系主管，共同參與德國 5G 實驗室。基於各自工作領域的卓越研究能量，以及與主要網路業者共同成為合作夥伴，藉由共同方法以實現 5G 開發最佳化。專案概要資訊表如下。

5G Lab GERMANY	公司/研究所	德累斯頓工業大學，電氣工程與計算機科學學院
	行業/部門	研究
	研究領域	學術界
	地點	德累斯頓

	項目名稱	Fantastic-5G，靈活的空中擷取，可擴展的服務交付
	開發重點 5G	基礎技術
	應用領域	智慧移動/自動駕駛、工業自動化/工業 4.0、媒體/消費者服務、醫療保健/電子醫療、智慧能源/智慧服務、教育和競技體育
	項目期限	2014 年 9 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日
	投資額	1,000 萬以內（歐元）

(5) TU Dortmund 專案

本項專案主要由 TU Dortmund 進行，希望基於從 LTE 到 5G 的演進歷程，提高關鍵基礎設施的彈性。本專案整合法國與德國之跨領域學科合作夥伴，藉以在能源、其他關鍵基礎設施以及通訊產業間獲得互補的專業知識。專案概要資訊表如下。

technische universität dortmund	公司/研究所	TU Dortmund 通訊網路
	行業/部門	通信網路研究組織
	研究領域	學術界
	地點	多特蒙德
	項目名稱	BERCOM-基於演進的 LTE/5G 通訊的泛歐關鍵基礎設施藍圖
	開發重點 5G	應用
	應用領域	工業自動化/工業 4.0、智慧能源/智慧服務、關鍵基礎設施
	項目期限	2015 年 9 月 1 日－2018 年 8 月 31 日
	投資額	1,000 萬以內（歐元）

(二) 頻譜使用與處理

1、候選頻譜使用狀態

德國目前 3400~3600MHz 頻段已分配於以下的無線通訊服務：主要用途為固定衛星服務（fixed-satellite service, FSS）、固定服務（fixed service, FS）與行動服務；次要用途為非導航的無線電定位服務與業餘服務。

在行動服務方面，使用 3500MHz 的上下行頻段區塊如下表 7- 39，其使用期限均至 2021 年 12 月 31 日，頻譜使用範圍為全國。

表 7- 39：3500MHz 頻段既有使用狀態

上下行頻段位置	頻寬
3410~3431MHz/3510~3531MHz	2x21MHz
3431~3452MHz/3531~3552MHz	2x21MHz
3452~3473MHz/3552~3573MHz	2x21MHz

資料來源：BNetzA (2016), at 10.

除上述頻段外，德國對於 3500MHz 同時有以 TDD 技術使用方式核配供區域使用，分別為兩個非連續頻段：3480~3500MHz 與 3580~3600MHz，使用期間均至 2022 年 12 月 31 日。核配上係以 5MHz 的頻塊大小為單位，進行將近 80 個區域及地方的指配，主要用於偏鄉地區。使用者以中小企業為主，作為服務個人用戶，或者連接工業區與離岸風場之用。在規範上主管機關並且要求應保持固定的適當距離，以確保相鄰無線電使用者的相容性。

在 3473~3494MHz/ 3573~3594MHz (2x21MHz)頻段，則以指配於 32 個地區，以 7MHz 的頻寬供無線用戶迴路（wireless local loop, WLL）使用，作為點對多點的無線電中繼用途。

對於 3400~3600MHz 的固定衛星服務，主管機關敘明其用戶仍可接收衛星訊號，但不保障免受干擾，確保 5G 能於該頻段快速布建。

另 3400~3410MHz 則作為相鄰軍用頻段（軍用雷達）的護衛頻段；如果要以該頻段作為無線接取之用，則應與軍方進行協調。

2、頻譜重整措施

於歐盟層級已透過 ECC Decision (11) 06 與執委會執行 2014/276/EU 決定，可採取 TDD 或 FDD 的方式進行核配。歐洲的無線電頻譜政策群組（Radio Spectrum Policy Group, RSPG）已將 3400~3800MHz 頻段規劃為未來 5G 的主要頻段[212]。

目前德國聯邦網路管理局已經就 2100MHz 與 3.6GHz 頻段的重新釋出進行公開諮詢，並於 2018 年 2 月底截止，以蒐集各方利害關係人之意見。依據諮詢文件所示，目前德國規劃 3400~3700MHz 作為全國範圍指配使用，3700~3800MHz 則為區域指配使用，並且以 10MHz 作為拍賣的頻塊大小。至於在 3600~3800MHz 若有衛星地球電台使用，則將設定保護區以避免干擾，因此對於區域性的使用模式，相較於全國使用而言影響較大。[213]

(三) 執照管理與規範義務

1、釋照方式

聯邦網路管理局認為 3600MHz 頻段適合以大頻寬方式釋出，因此規劃以 30 個 10MHz 的頻塊做為全國使用。目前使用情形如下圖 7- 23。

[212] RSPG 16-032, Strategic Roadmap towards 5G for Europe.
[213] BNetzA (2017), Eckpunkt für dne Ausbau digitaler Infrastrukturen und Bedarfsermittlung für bundeswite Zuteilungen in den Bereichen 2 GHz und 3.6GHz, S.16f.

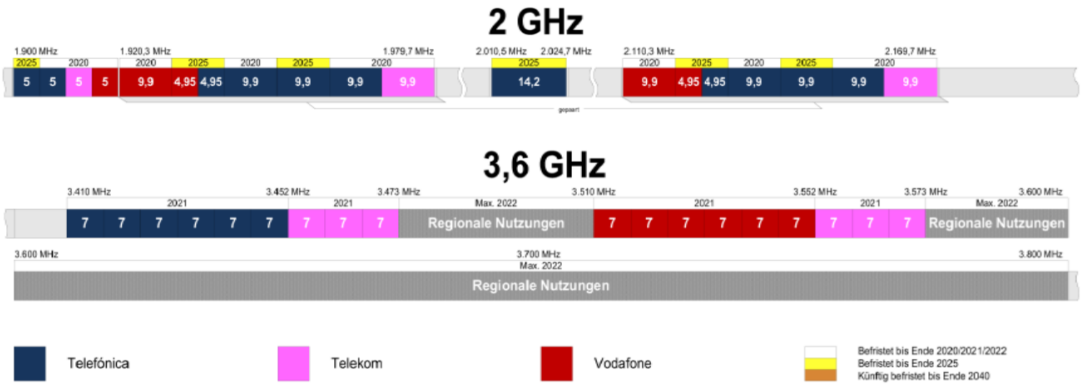


圖 7- 23：德國 2.3 GHz 與 3.6GHz 頻段使用情形

2018 年更進一步揭露 3.5GHz 與 2.1GHz 之釋照規劃，其目的為推動 5G 創新服務及應用，以及強化行動寬頻等。釋照範圍如下：

(1) 3.5GHz 釋照範圍：3400~3700MHz (300MHz)

(2) 2.1GHz 釋照範圍：1920~1980MHz+2110~2170MHz (2x60MHz)

為符合現代產業應用與提高網路涵蓋，對於既有 MNO 的網路涵蓋義務，規範於 2020 年達成聯邦全區 98%家戶，且 97%家戶有 50Mbps 下行速率。拍賣後，既有 MNO 於得標後之網路涵蓋義務，期望於 2022 年底，須達成以下目標：

(1) 98%家戶享有 100Mbps 下行速率。

(2) 在鐵路公司基礎設施的支持下，鐵路沿線應有 50Mbps 下行速率。

(3) 2.1GHz 頻段得標者應在所謂的「空白地點」（無 4G 網路涵蓋處）建置 500 個基地台，且下行速率應達 100Mbps。

(4) 取得 2x10MHz 以上頻寬的得標者，對於聯邦高速公路及道路應提供下行速率 100Mbps 網路涵蓋。

3.5GHz 頻段之涵蓋義務，規範於 2022 年底，得標者應建置 500 座 5G 基地台供 5G 應用；若得標者為新進業者，其網路涵蓋義務，應對家戶於 3 年內提供 25%、5 年內提供 50%涵蓋。

對於後續 5G 與行動通訊頻譜釋出作業，主管機關規劃如下：

(1) 聯邦網路管理局對於網路涵蓋義務，將隨著後續頻譜釋出進行調整，本次釋照僅為第一波；
(2) 預訂第二波為 2025 年(800/1800/2600MHz 屆期)，第三波為 2033 年(700/900/1500/1800MHz 屆期)。
(3) 於執照屆期前 3 年進行規劃，並考量未來頻譜需求、技術發展及市場需要。

為促進服務層競爭，得標者對於適當的服務提供者，在無線容量的共用上不得有差別待遇，在容量的使用上也不得限定於特定的服務、無線技術或應用。對於地方或區域頻譜的使用，不得有差別待遇（例如應用於中小企業等區域或地方使用）。

得標者應依據電信法及競爭法之規定，對於聯邦全區網路的共用（漫遊）及基礎設施的共享，無差別待遇情形為以下四點：

(1) 包括國內漫遊及區域漫遊，但漫遊非 MNO 義務，需商業協商。
(2) 允許新進 MNO 漫遊既有 MNO 網路。
(3) 既有全區 MNO 的區域漫遊，以及 MNO 之間的基礎設施共享，需得到聯邦網路管理局與聯邦卡特爾署同意，以確保基礎設施與服務的競爭。
(4) 對於難以建設地方的漫遊及基礎設施共享得以許可，以避免網路不必要的投資。

目前聯邦網路管理局許可之基礎設施共享，包括基站共享、基站輔助設施共享與主動式接取網路共享。基站共享指允許基站設備、電杆、天線、電纜與整合相關設備之共享；基站輔助設施共享則指允許基站之輔助設施機櫃（Site support cabinets, SSCs）等以實體方式分割不同業者，讓各業者能夠於其使用頻率獨立發送與接收訊號；主動式接取網路共享則指以邏輯分割方式，在實體元件中分離為不同基站（例如 NodeB 加上無線網路控制單位，或者 eNodeB）之使用。

競價規則依據頻塊大小及底價分為：

(1) 2.1GHz：以 2x5MHz 為單位

- 2021 年可使用的頻塊底價：7,500 萬歐元 (使用 20 年)
- 2026 年可使用的頻塊底價：5,500 萬歐元 (使用 15 年)

(2) 3.5GHz：以 1x10MHz 為單位(除 3400~3420MHz 以外)

- 3400~3420MHz：1x20MHz，底價 1,000 萬歐元（具體頻塊）。
- 3420~3700MHz：以 1x10MHz 為單位，底價 1,500 萬歐元（抽象頻塊）。

(3) 最小取得頻寬

- 2.1GHz 需取得 2x10MHz。
- 在 3420~3700MHz，需取得 1x20MHz。

預計釋出之頻塊大小示意圖如下圖 7- 24。



圖 7- 24：競價規則之頻塊大小示意

至於 3700-3800MHz，為讓未來有需求之區域型網路業者、中小企業與新創企業、縣市政府、農業或林業相關機構，能有效運用 5G 網路能帶來的潛力，改善農村地區等地之行動通訊服務，因此聯邦網路局於 3700-3800MHz 採審議制，讓有意願使用的業者以申請方式取得所需之頻譜資源。聯邦網路局要求相關利害關係人應於 2018 年 9 月 28 日前提交對於 3700-3800MHz 核配機制之看法。

聯邦網路管理局之政策考量，在於希望能維持不同商業模式的使用彈性，也能提供區域或地方 5G 應用所需之大頻寬，同時尚能滿足工業 4.0 所需之室內涵蓋需求。在使用上，3700-3780MHz 規畫允許區域使用，3780-3800MHz 則為地方使用。申請人必須為地方之土

地或建物所有人或使用人（承租人），且對於戶外區域使用 3700-3780MHz 時，設立申請的消極資格：持有 700MHz-3.6GHz 頻段頻率使用權的聯邦全區業者不得申請，希望能促進地區服務與基礎設施競爭。

3700-3800MHz 之執照使用期限為 10 年，不得超過 2040 年 12 月 31 日，申請執照時，申請人須提出其適合性、經營能力與專業能力之說明，申請區域執照時，尚需提出關於申請使用區域、服務供應範圍之地理圖示、基地臺數量與位置、申請頻寬、申請使用時間、確保頻譜使用效率之措施、提供服務內容之說明，以及網路建置時程規劃等。申請區域戶外使用時，申請頻寬以 10MHz 為單位，且申請人須說明其使用上的頻譜需求，以及申請之經營區域應符合其商業模式。

2、 規範義務

(1) 對於未使用頻段允許其他使用者共用

聯邦網路管理局為了促進 3600MHz 頻段的有效利用，因此規定不論是取得可聯邦全區使用的 3400~3700MHz 使用者，或者是區域使用的 3700~3800MHz 使用者，均可在該頻段未使用的情形下共用之，以作為「暫時性的附加容量」（temporäre Zusatzkapazität）。例如取得 3400~3700MHz 頻段可在全國使用的經營者，倘若尚未使用於人口較為稀少的地區時，取得 3700MHz 頻段的區域使用者即可使用該頻段增加網路容量；只要該頻段的全國經營者已開始於該區域使用該頻段，區域使用者即須釋出該頻段，除非其與該全國經營者建立頻譜租用關係以取得使用權。[214]

(2) 對於全國使用的網路涵蓋，應在合理期限內對需要 5G 服務的區域提供之，並且無差別待遇

[214] BNetzA (2017), S.18f.

鑑於產業、工業園區或地方政府對於 5G 的需求不一，聯邦網路管理局認為經營者在 5G 頻譜使用上得以「依據其所取得之頻譜提供服務」、「將頻譜出租」或「與使用者合作建設網路基礎設施」。基於上述理由，聯邦網路管理局將以訂定架構條件的方式加以規範，以維護市場競爭並促進頻譜的有效利用。

(3) 執照期限均一致使用至 2040 年 12 月 31 日

聯邦網路管理局認為現有頻段不論是在何時釋出，其在本次釋出的使用期限均應採取一致的時間，考量最早得以使用頻段的時間為 2019 年，最晚得以使用頻段的時間為 2023 年，因此綜合考量訂為 2040 年，此一時間亦與同時釋出的 2.1GHz 頻段使用期限相同。

(4) 網路容量與服務之共享

聯邦網路管理局認為電信事業得以做為其他產業的夥伴，不論是工業 4.0、智慧工廠、智慧車或智慧家庭等，以帶動創新服務與商業模式。不論是既有的行動網路經營者，其他網路經營者（包括聯邦全區或區域、地方網路經營者）、MVNO 及服務提供者均有可能擔任促進者（Enabler）的角色。

在 4G 以前電信事業的服務，並未如 5G 一般必須高度仰賴與應用服務提供者的合作，因此在管制上應有所因應。聯邦網路管理局認為為了促進創新 5G 服務的市場滲透，應該讓 MVNO 及應用服務經營者得以在經營上有長期規劃的確定性，亦即讓應用服務經營者與 MVNO 在促進服務競爭上得以作為獨立的提供者，因此對於行動網路經營者而言，應要求其適用相當於批發服務的大量交易條款。頻率共用與確保大量交易條件的批發服務，得以讓價值鏈上不同層的獨立促進者的競爭能力可以強化。

3、 規範義務

聯邦網路管理局認為 3400~3800MHz 得以在技術中立與服務中立的基礎上，作為無線接取（Wireless Access）及 5G 服務使用。

聯邦網路管理局原先規劃在 3400~3410MHz 課以特殊的使用條件，以避免對 3400MHz 以前的雷達造成干擾，但認為此一作法與促進頻譜有效利用的管制目標不合而未加以採用。至於使用 3800MHz 以上的地球電台，則認為可以邊緣遮蔽（block edge mask）的方式減少干擾，若有需要則會以地理限制的方式課以鄰頻使用者義務。

(四) 小結

德國政府規劃的 5G 行動領域，包括啟動 5G 網路布建、依需求提供所需無線電頻率、推動電信產業與應用產業的合作，並考量應用產業在標準化的需求、想法及解決方案、支持 5G 相關研究以及啟動 5G 城鄉應用等五大部分。在 5G 頻譜整備上，聯邦網路管理局（Bundesnetzagentur, BNetzA）認為，對於 5G 頻譜需求的規劃，必須以市場需求為導向，且應考量網路經營者、服務提供者、MVNO 與應用服務業者（包括新進業者、中小企業等）的利益。因此，聯邦網路管理局列入考量的 5G 頻段，包括 700MHz 上下行頻段中間的間隔頻段、2.1GHz、3.4~3.8GHz，以及 26、28GHz 頻段，其中 3.7-3.8 GHz 規劃以區域執照方式釋出，採申請制方式核配頻譜資源，以滿足地方及區域使用需求，例如工業 4.0 與地方團體的需求。

鑑於產業、工業園區或地方政府對於 5G 的需求不一，聯邦網路管理局認為經營者在 5G 頻譜使用上得以「依據其所取得之頻譜提供服務」、「將頻譜出租」或「與使用者合作建設網路基礎設施」。基於上述理由，聯邦網路管理局將以訂定架構條件的方式加以規範，以維護市場競爭並促進頻譜的有效利用。

八、 愛爾蘭

(一) 政策發展近況與候選頻段

1、 頻譜政策藍圖與規管原則

愛爾蘭的頻譜政策依據已經轉化為法律的共同法規架構(the Common Regulatory Framework)第 17 點第 1 項，愛爾蘭通訊傳播委員會(Commission for Communications Regulation, ComReg)應確保頻譜政策須符合下列幾項要項：

(1)監理機關須有效監管無線電頻率之使用，以利無線電頻段及電子通訊服務。

(2)分配及授權用於電子通信服務之頻譜，監理機關應以客觀、透明、無歧視且衡平為標準。

(3)監理機關應確保無線電頻譜，是有效符合歐盟境內統一使用的消費者利益。

此外，前揭共同法規架構第 17 點第 3 項同時規定，愛爾蘭通訊傳播委員會核發許可執照時，應考量於該許可執照下運行的電子通信服務，應符合下列原則：

(1)業者應避免對其他頻段造成干擾。

(2)業者應保護公眾健康，使其免受電信射頻器材之電磁波侵害。

(3)業者提供之電子通信服務，其技術層面應符合服務品質之要求。

(4)業者應確保獲核配之無線電頻譜，將善盡其利用率，使其利用範圍極大化。

(5)業者應確保獲核配之特定頻段，與提供電子通訊服務時足以實現歐盟法律對愛爾蘭之要求，亦即下列事項必須達通常效用：

I、所提供之服務足以維護生命安全

II、所提供之服務足以促進社會、區域或領域內社會大眾之向心力；

III、避免無線電頻率之使用效率不佳。

2、5G 政策思維

為能讓愛爾蘭的消費者和企業能夠擁有經濟實惠、高品質、廣泛地獲得支持其社會和經濟需求的通信服務和應用，促成歐盟在 2020 年大規模推出 5G 網路，進而確保所有歐洲公民都能獲得基於 5G 服務好處的目標[215]。ComReg 積極參與協調無線頻譜的使用，發展推動愛爾蘭在 5g 技術及候選頻段發展過程中頻譜管理的關係，並在國際論壇中發揮積極作用，以確保國際無線頻譜監理框架相關的決定，符合愛爾蘭的具體要求[216]。

3、5G 頻譜政策發展近況與釋出時間規劃

愛爾蘭 5G 釋照時程相較大多數國家係居於領先地位，其中 3.6GHz 頻段已於 2017 年 5 月完成拍賣。而 26GHz 頻段亦自 2017 年 10 月 19 日起即陸續釋出拍賣政策文件，直至 2018 年 4 月 27 日釋出最終拍賣諮詢文件後，同時接受電信業者之投標申請，依愛爾蘭通訊傳播委員會所規畫之競標時程，並參酌其於 2017 年拍賣 3.6GHz 頻段之前例，已於 2018 年 6 月公布拍賣結果，兩次拍賣比較如下表 7-40：

表 7- 40：愛爾蘭 3.6GHz 與 26GHZ 拍賣比較

	3.6GHz 頻段	26GHz 頻段
原頻率許可執照屆期日	2017 年 7 月	2018 年 6 月
原運行業務	區域固定無線網路	固定無線網路
已完成或預計完成拍賣時間	2017 年 5 月	2018 年 6 月

[215] ComReg, Consultation on proposed 26 GHz Spectrum Award 2018, https://www.comreg.ie/publication/consultation-proposed-26-ghz-spectrum-award-2018/

[216] ComReg, Electronic communications strategy statement: 2017 – 2019, https://www.comreg.ie/publication/electronic-communications-strategy-statement-2017-2019/

預計拍賣方式	組合價格鐘式拍賣 (Combinatorial Clock Auction, CCA)	組合價格鐘式拍賣 (Combinatorial Clock Auction, CCA)
釋出頻段數量	Band 42：以 25Mhz 為單位，計 1 單位 Band 43：以 5Mhz 為單位，計 65 個單位	以 2x28Mhz(上傳及下載)為 1 單位，計 19 單位
總數量	350Mhz	1064Mhz

4、 實驗案例發展

愛爾蘭通訊傳播委員會非常鼓勵新興無線電技術開發及創新應用服務，為配合開發，針對無線電”實驗” 暨 ”場測” 核發兩類型執照。

(1) 實驗執照(Test Licences)

愛爾蘭通訊傳播委員會針對新興無線電設備之實驗測試，得審核其實驗計畫後，核給測試許可執照，但申請人如基於測試需求，有長期取得完整營運許可之需求，則不適用本項許可執照。實驗執照使用期限最長為一年，經主管機關同意後則可展延一年，執照費用為一年 200 歐元，若執照效期未滿一年，則按比例減少。

(2) 場測許可執照(Trial Licences)

愛爾蘭通訊傳播委員會就涉及公眾或第三人之創新無線電服務，得核發場測許可執照，但此項許可執照僅能允許包括一般公眾在內之第三人有限度地參與場測。本項許可執照應適用於既有許可業務不相符之新業務。場測許可執照使用期限最長為一年，經主管機關同意後則可展延一年，執照費用為一年 500 歐元，若執照效期未滿一年，則按比例減少，最低費用酌收 100 歐元。

由上開內容可知，測試許可執照與場測許可執照核心差異為，實驗執照並不允許公眾參與測試，場測許可執照則有限度許可公眾參與。茲就愛爾蘭通訊傳播委員會曾核發過之實驗或場測許可執照整理如下表 7- 41。

表 7- 41：既有已核發之實驗和場測許可執照

申請人	實驗或場測內容
Altobridge	GSM solution testing
BT Communications Ltd.	WiMAX Testing
Digiweb Ltd.	IP versus TDM based solutions (23GHz)
e2v Technologies Ltd.	Testing of thermal imaging equipment
Guidant Corporation	Test licence for medical implants (900MHz band)
Hutchison 3G Ireland Ltd.	DVB-H trial
IBM RFID & Wireless Centre T/A	Test licence for RFID
International Business Machines	Test licence for UWB
Intel Ireland Ltd.	WiMAX Capability Testing
Imagine communications	WiMAX Product Testing
Irish Broadband Internet Services Ltd	WiMAX Testing
Irish Radio Transmitter Society	5 MHz Beacon Propagation Test
LM Ericsson Limited	Collaborative Developmental Testing for GSM and WCDMA Technologies
Motorola Ltd.	Tetra Tests
National University of Maynooth (NUIM)	WiMAX Network Trial
On-Air SARL	GSM on Aircraft Ground Tests
PCTEL Antenna Products Group Inc	Antenna Tests, 400MHz to 2500MHz
RTE Transmission Network Ltd.	T-DAB trial (private trial; limited duration) DRM trial

	DTT trial DVB-H testing
Solaris Mobile Ltd.	Satellite and terrestrial mobile services in the S-Band
Swiftcall	Broadband trial
Tango Telecom	GSM solution testing (advanced charging and messaging products)
Telefonica O2 Communications Ltd.	FWA Testing DVB-H trial
Trinity College, Centre for Telecommunications Value-chain Research (CTVR)	Testing of reconfigurable software-based radio and dynamic spectrum management techniques.
Trinity College Dublin, Centre for Telecommunications Value-chain Research	Cognitive radio, cognitive networks, and dynamic spectrum access techniques (IEEE DySPAN 2007)
TYCO Safety Products (Sensormatic)	UHF product testing (865 – 868MHz)
UCD Dublin School of Computer Science and Informatics	UWB location tracking system evaluation
University of Dublin (TCD)	Test licence for UWB WiMAX Trial
UPC Communications Ireland Ltd	Broadband Trial
Waterford Institute of Technology	Participation in EU project ‘daidalos’ (FP6 IST)
Wireless Projects Ireland Ltd.	Wi-Fiber technology testing
Vodafone Ireland Ltd.	Trial of 900 MHz spectrum for 3G services

(二) 頻譜使用與處理

候選頻段 3.6GHz 頻段拍賣前既有使用者使用情形如下表 7- 42。

表 7- 42：3.6GHz 既有分配狀態

	Airspan	Imagine	Metor	Three	Vodafone
Borders Midlands and West	3410-3435	3560-3620	3620-3700	3700-3800	3475-3560
South West	3410-3435	3560-3620	3620-3700	3700-3800	3475-3560
East	3410-3435	3560-3620	3620-3700	3700-3800	3475-3560
South East	3410-3435	3560-3620	3620-3700	3700-3800	3475-3560
Dublin City and Suburbs	3410-3435 及 3580-3615	-	3615-3700	3700-3800	3475-3580
Cork City and Suburbs	3410-3435 及 3580-3615	-	3615-3700	3700-3800	3475-3580
Limerick City and Suburbs	3410-3435 及 3580-3615	-	3615-3700	3700-3800	3475-3580
Gatway City and Suburbs	3410-3435 及 3580-3615	-	3615-3700	3700-3800	3475-3580
Waterford City and Suburbs	3410-3435 及 3580-3615	-	3615-3700	3700-3800	3475-3580

候選頻段 26GHz 頻段拍賣前既有使用者使用情形如下表 7- 43。

表 7- 43：26GHz 既有分配狀態

業者	**頻段**
BT	24.997 - 25.053 GHz 及 26.005 - 26.061 GHz
Irish Broadband	25.081 – 25.109 GHz 及 26.089 – 26.117 GHz
Three	24.857 – 24.997 GHz 及 25.865 – 26.005 GHz
Vodafone	25.109 – 25.221 GHz 及 26.117 – 26.229 GHz

(三) 執照管理與規範義務

1、 釋照方式

3.6GHz 與 26GHz 均採用組合價格鐘式拍賣(Combinatorial Clock Auction, CCA)頻段釋照，以 26GHz 為例，其拍賣時程如下圖 7- 25。



圖 7- 25：愛爾蘭 26GHz 頻段競價流程

(1) 3.6GHz 頻段釋出情形

愛爾蘭通訊傳播委員會於 2003 年針對 3.6GHz 頻段核配區域固定無線網路(The Fixed Wireless Access Local Area , FWALA)執照，執照期限為 7 年。其中 3.6GHz 頻段執照於 2010 年屆期後，愛爾蘭通訊傳播委員會又再次核配為期 7 年之執照，執照屆期日為 2017 年 7 月。

愛爾蘭於 2017 年 5 月完成釋照拍賣，共計釋出頻寬 350MHz，其中 3410-3435MHz 共計 25MHz 規劃為整區塊拍賣。另外，3475-3800MHz 共計 325MHz 規劃為 65 個區塊拍賣，每一區塊 5MHz。由於愛爾蘭全境分 9 個區域，其中 4 個區域為鄉村，5 個區域為城市，愛爾蘭通訊傳播委員會於各區域之拍賣底價與頻譜使用費均有不同。

本次拍賣採組合價格鐘式拍賣(Combinatorial Clock Auction, CCA)，單一競標者在各區域內可取得頻段上限為 150Mhz，最後拍賣結果如下圖 7- 26 及下表 7- 44。

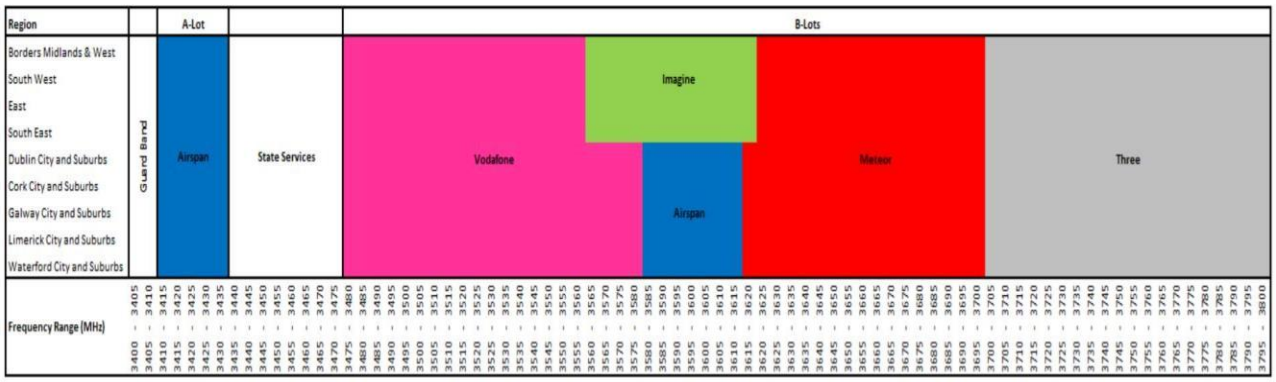


圖 7- 26：愛爾蘭 3.6GHz 釋出結果與各業者得標頻率位置

表 7- 44：愛爾蘭 3.6GHz 頻段釋出結果

	鄉村	城市	用途
Vodafone	85MHz	105MHz	行動寬頻/固定網路
Three	100MHz	100MHz	行動寬頻
Meteor Mobile Communications	80MHz	85MHz	行動寬頻

Imagine Communications	60MHz		區域無線網路服務
Airspan Spectrum Holdings	25MHz(1 區塊)	60MHz	公共智慧服務解決方案

(2) 26GHz 頻段釋出情形

愛爾蘭通訊傳播委員會於 2008 年核配 26GHz 頻段時，即將該頻段核配於愛爾蘭各地用於多點固定連結，這些固定連結係以點對點(Point to Point, p2p)或是點對多(Point to Multi-Point)方式連結，愛爾蘭通訊傳播委員會並針對每一連結核發一張許可執照，業者並就該許可執照按年繳交年費，此一釋照形式使業者可斟酌自身需求，以最精準方式維運頻段，既能降低其為運成本尚能提高各頻段使用之靈活度。2008 年愛爾蘭通訊傳播委員會拍賣 26Ghz 頻段時，係將其分為 18 個區段，每個區塊 2x28MHz，執照使用權為 10 年，目前 26GHz 頻段及相鄰頻段使用情形如下：

(1)24.605GHz 頻段至 25.753GHz 頻段：區域固定無線網路(FWALA)；

(2)24.745GHz 頻段至 26.285GHz 頻段：點對點(P2P)與點對多(PMP)；

(3)25.277GHz 頻段至 26.453GHz 頻段：個人點對點連結；

(4)21.65GHz 頻段至 26.62GHz 頻段：汽車短程雷達；

(5)24.65GHz 頻段至 25.5GHz 頻段：工業探測雷達。

除前述汽車短程雷達及工業探測雷達屬免執照頻譜外，其餘使用情形如下圖 7- 27 所示。

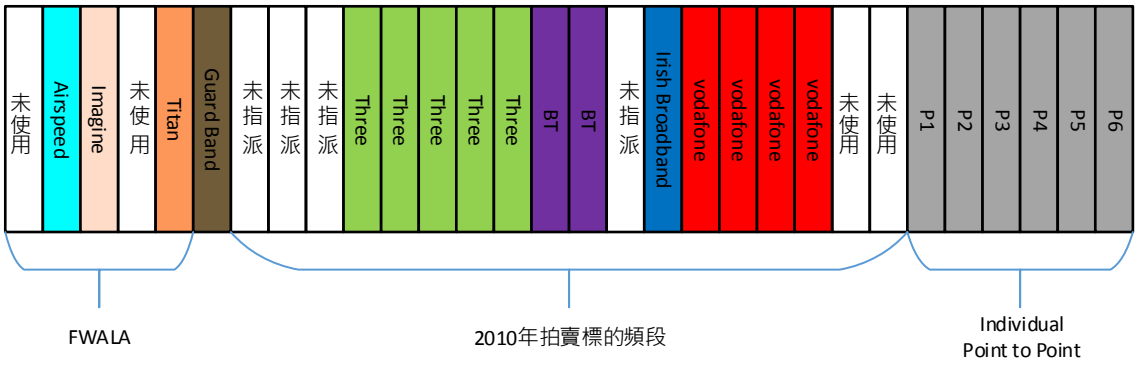


圖 7- 27：愛爾蘭 26GHz 頻段既有使用情形

26GHz 頻段核發之許可執照，將於 2018 年 6 月屆期，依據 ComReg 於 2017 年 10 月 19 日發布之政策文件，頻段於許可執照屆期釋出後，預計將切割為 19 個區段拍賣，每個區段有 2x28MHz 個頻段，其配置區域及使用頻段如下圖 7- 28 及下表 7- 45。

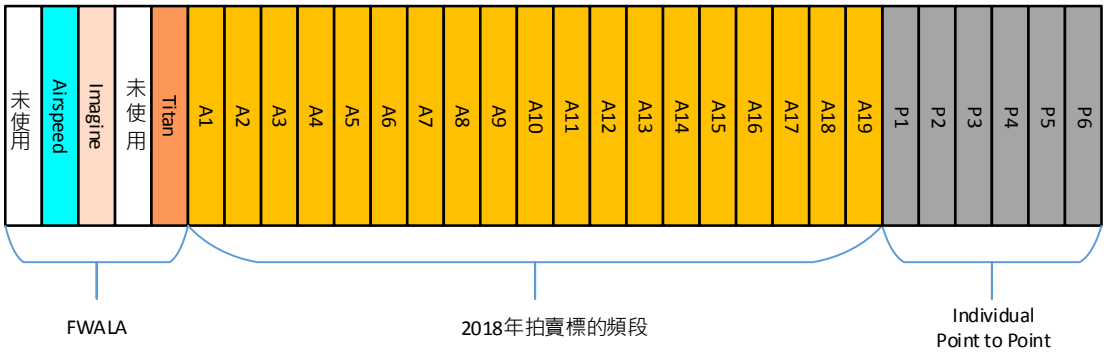


圖 7- 28：愛爾蘭 26GHz 頻段競價頻譜劃分方式規劃

表 7- 45：愛爾蘭 26GHz 釋出頻塊劃分

	下載頻段	上傳頻段
A1	24.745Ghz - 24.733Ghz	25.753Ghz - 25.781Ghz
A2	24.773Ghz - 24.801Ghz	25.781Ghz - 25.809Ghz
A3	24.801Ghz - 24.829Ghz	25.809Ghz - 25.837Ghz
A4	24.829Ghz - 24.857Ghz	25.809Ghz - 25.837Ghz
A5	24.857Ghz - 24.885Ghz	25.837Ghz - 25.865Ghz
A6	24.885Ghz - 24.913Ghz	25.865Ghz - 25.893Ghz
A7	24.913Ghz - 24.941Ghz	25.893Ghz - 25.921Ghz

A8	24.941Ghz - 24.969Ghz	25.921Ghz - 25.949Ghz
A9	24.969Ghz - 24.997Ghz	25.949Ghz - 26.977Ghz
A10	24.997Ghz - 25.025Ghz	26.005Ghz - 26.033Ghz
A11	25.025Ghz - 25.053Ghz	26.033Ghz - 26.061Ghz
A12	25.053Ghz - 25.081Ghz	26.061Ghz - 26.089Ghz
A13	25.081Ghz - 25.109Ghz	26.089Ghz - 26.117Ghz
A14	25.109Ghz - 25.137Ghz	26.117Ghz - 26.145Ghz
A15	25.137Ghz - 25.165Ghz	26.145Ghz - 26.173Ghz
A16	25.165Ghz - 25.193Ghz	26.173Ghz - 26.201Ghz
A17	25.193Ghz - 25.221Ghz	26.201Ghz - 26.229Ghz
A18	25.221Ghz - 25.249Ghz	26.229Ghz - 26.257Ghz
A19	25.249Ghz - 25.277Ghz	26.257Ghz - 26.285Ghz

(3) 得標金繳交

得標人應繳交之頻率使用費分先期費用(Upfront Fee)及每年支付頻率使用費(Spectrum Usage Fees)兩種：

- 先期費用即為拍賣標金，每一頻段基本價格(Base Price)為 7 萬歐元，競標業者得另就該拍賣頻段額外出價(Additional Price)；
- 每年頻率使用費係參酌愛爾蘭中央統計局公布之消費者物價指數(Customer Price Index, CPI)所訂定，第一年頻率使用費應於得標時繳交，爾後九年應於年度開始前繳交，如執照存續期間愛爾蘭中央統計局停止發布物價指數，或物價指數計算方式變更，愛爾蘭通訊傳播委員會有權另行擇訂年費參照依據，並配合調整年費計算方式。

(4) 26GHz 頻段拍賣結果

ComReg 於 2018 年 6 月 19 日公告完成 26GHz 頻段共計 840MHz 的頻譜拍賣，主要用於點對點(P2P)的無線鏈路業務，拍賣總收入超過 500 萬歐元。愛爾蘭期望於 26GHz 頻段釋出新的全國區塊執照，能滿足未來行動技術頻譜的需求。本次拍賣頻段為 26 GHz，頻率配

置在 24.745-25.277GHz/25.753-26.285GHz，釋出頻寬達 840MHz，拍賣分別以 2x28MHz 為 1 區塊，共計釋出 19 區塊。此次釋照之有效年限為期十年，持照人可使用 FDD 技術在全國範圍內運行點對點無線通信鏈路。本次釋出的 840 MHz 新頻譜使用權，將使愛爾蘭 26 GHz 頻譜的使用權增加 25%。

本次競價方式採用密封組合拍賣方式(Sealed Bid Combinatorial Auction, SBCA)，每個競價者可取得之頻塊數量上限為五個 2×28 MHz 區塊。得標者將分別支付 35 萬歐元的前期(upfront fees)頻譜授權費用，若為取得特定範圍頻率區塊則另須支付額外 20 萬歐元。此外，得標者亦須支付約 125 萬歐元的頻譜使用費，並在 10 年的執照期限按年分期支付。總體而言，頻譜使用權相關費用約為 500 萬歐元。

此次 26GHz 頻譜拍賣共有三家業者分別取得 140MHz(五個 2×28 MHz 區塊)頻譜使用權，包括：Three Ireland Hutchison 取得 A4-A8 區塊；Meteor Mobile Communications 亦取得 A9-A13 區塊；Vodafone Ireland 則取得 A14-A18 區塊。新頻段使用權將在業者支付相關費用後將分配給得標者，ComReg 將根據 2018 年無線電報規則(Wireless Telegraphy Regulations)頒發全國區塊執照予得標業者。

目前愛爾蘭 26 GHz 頻段上授權的點對點執照已超過 3000 個點對點鏈路的站點。本次 26GHz 頻段釋出的 840MHz 頻譜資源，可滿足愛爾蘭點對點無線鏈路的需求，也將在未來行動通信網路關鍵骨幹基礎設施上扮演重要角色。

2、 規範義務

本次核發之頻段執照非供得標人獨家使用，許可執照有效期限為 10 年，許可執照屆期後不保證續照，同時，第三人使用免許可使用執照之汽車短程雷達(在 21.65Ghz 頻段至 26.65Ghz 頻段)及工業探測雷達(24.05Ghz 頻段至 26.5Ghz 頻段)，得標人不得對其有所主張。

本次所核發之頻段執照得續使用點對點傳輸(P2P)，但不允許使用點對多點傳輸(PMP)。允許使用頻率劃分雙功的 FDD(Frequency

division duplexing)技術，但不允許使用發射機和接收器都使用相同頻率但傳輸和接收室及時切換的 TDD(Time division Duplexing)技術，且頻段使用人應自行確認其技術或出價可處理護衛頻段。

(四) 小結

為能讓愛爾蘭的消費者和企業能夠擁有經濟實惠、高品質、廣泛地獲得支持其社會和經濟需求的通信服務和應用，促成歐盟在 2020 年大規模推出 5G 網路，進而確保所有歐洲公民都能獲得基於 5G服務好處的目標。ComReg積極跟隨國際電信聯盟（ITU）、歐洲郵政與電信管理協會（CEPT）以及歐盟機構（包括無線電頻譜政策組（RSPG）和無線電頻譜委員會（RSC））等國際組織發展腳步，為下一代行動技術定義相關標準和技術，並建立一個監理框架，以便在適當的時候推廣這項新世代技術。ComReg 更積極參與協調無線頻譜的使用，發展推動愛爾蘭在 5G 技術及候選頻段發展過程中頻譜管理的關係，並在國際論壇中發揮積極作用，以確保國際無線頻譜監理框架相關的決定，符合愛爾蘭的具體要求。同時，愛爾蘭為鼓勵新興無線電技術開發，針對無線電核發兩類型(實驗、場測)執照，藉以鼓勵創新應用服務。

愛爾蘭 5G 釋照時程相較大多數國家係居於領先地位。其中 3.6GHz 頻段於 2017 年 5 月採組合價格鐘(CCA) 競價方式完成拍賣，釋出頻寬達 350MHz 用於 5G 業務，執照使用年限為期 15 年。而 26GHz 頻段則於 2018 年 6 月採密封組合拍賣方式(SBCA)完成 26GHz 頻段拍賣，釋出頻寬達 840MHz 用於點對點(P2P)的無線鏈路業務，執照使用年限為期 10 年。

歐盟無線電頻譜政策小組（RSPG）已將 3.6GHz 歸類為 5G 技術之主要頻段，ComReg 於 3.6GHz 的釋照不僅有助於愛爾蘭推動 5G 網路佈建與業務發展，並可有效增加愛爾蘭適用於行動、漫遊與固定式無線寬頻服務的協同頻譜資源數量，增加城郊區域中固定式無線寬頻服務之涵蓋範圍。而 26GHz 頻段釋出的 840MHz 頻譜資源，更

可滿足愛爾蘭點對點無線鏈路的需求，也將在未來行動通信網路關鍵骨幹基礎設施上扮演重要角色。

九、 加拿大

(一) 政策發展近況與候選頻段

1、頻譜政策藍圖與規管原則

(1) 背景

早在 1992 年，加拿大首次將頻譜政策藍圖與規管原則以「加拿大頻率政策架構」完整揭示所有頻譜管理的無線電政策、技術和授權目標及指導方針。

無線產業經歷十年快速無線電通信技術發展和挑戰。 2002 年發布的第二版則更新在這段時間內所有對頻譜管理計劃所取得的進展。2007 年 6 月公告的「加拿大頻率政策架構」（SPFC — Spectrum Policy Framework for Canada）為加拿大目前的頻譜管理政策。

這份 2007 年的頻率政策架構，是基於為加拿大制定更進步開展的頻譜政策框架，工業部在現有的立法授權內，對加拿大的頻譜政策架構進行修正，並上網公告，透過公眾諮詢，廣納各界意見。當時的加拿大工業部長揭示以下政策原則，作為制定新的頻率政策架構的標準：遵循電信法授權下技術可行性的市場運作，在必要且最小範圍內介入管理市場力量。

經過 18 個月的公眾諮詢和產業討論，這份新「加拿大頻率政策架構」是以先前諮詢文件的七項核心政策目標和十五項指導方針為基礎演變而來。新的「加拿大頻率政策架構」顯現了管制目標和手段之間的界線逐漸模糊，最終融合業界期待及管制需求成為一套簡明的指導方針。

(2) 加拿大頻率政策架構

2007 年 6 月由加拿大工業部公告最新 「加拿大頻率政策架構」（SPFC — Spectrum Policy Framework for Canada）[217]。 架構由序言，

[217] http://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf08776.html#s4

政策目標（目標）和一套授權指導方針（指導方針）組成。 架構的目標為該計劃提供了基本的政策基礎，而指導方針對於經由管理加拿大頻譜資源來實現目標，提供了方向。 架構中的各項內容，從國防，安全和公共安全到商業、消費者、科學和私人無線電，為無線應用、服務和用途，提供政策及頻譜資源的管理方向。

A. 序言

根據“無線電通信法”授予的權力管理無線電頻譜資源，並適當考慮電信法和其他相關立法的目標，本部門將遵循以下政策目標和授權指導原則。

B. 政策目標

為了最大限度地提高加拿大人使用無線電頻譜資源所帶來的經濟和社會效益。

C. 授權指導方針：

- 頻譜規劃以最大技術可行的市場力量為準則，但應保留一定範圍作為接取公共服務之用。
- 為支持加拿大的主權，安全和公共安全需求時，頻譜資源須能及時供應。
- 如有必要，監管措施的介入應遵守最低侵入性、效率和有效管理的原則。
- 管理規則應該公開，透明和合理，當公眾諮詢程序有其適當性時，應經由公眾諮詢程序來發展規則。
- 頻譜管理之實踐，包括發照方式，應盡量減輕管理負擔，並且能反應不斷變化的技術和市場需求。
- 應在國際間積極推進、保衛加拿大的頻譜資源利益。
- 透過以下頻譜政策和管理方式支持市場有效運作：
  - 盡可能彈性地使用頻譜；
  - 將頻譜使用與國際分配和標準協調一致，除非加拿大利益有不同的決定；

- 與時俱進的頻譜規劃；
- 促進頻譜再授權的次級市場；
- 明確界定頻譜授權所傳達的義務和特權；
- 確保採取適當的干擾保護措施；
- 酌情重新分配頻譜，同時考慮到對現有業務的影響；和
- 與不履行承諾風險對等的及時、有效執法。

2、5G 頻譜政策思維

加拿大創新科學和經濟發展部（Innovation, Science andEconomic Development Canada, 以下簡稱 ISED）認知到創新技術的快速發展服務正在推動經濟體的各部門邁向數位化和自動化，同時，ISED 也承認，隨著對數位鏈結的需求增長，對頻譜的需求亦同時增長。

因此，在「加拿大國家創新和發展技能計劃」的指導架構下，ISED 於 2018 年 6 月發布了「2018-2020 頻譜展望報告」（2018-2020Spectrum Outlook），這份報告代表 ISED 從 2018 年至 2022 年對商業行動服務、免執照申請、衛星服務和無線後置迴路等使用之服務所涉及之頻譜的相關總體管理脈絡及規劃。綜觀「加拿大國家創新案發展技能計畫」及「頻譜展望報告」，可以看見加拿大的國家政策思維，是認知世界潮流的變化，透過重點的產業與 5G 技術發展的整合，盡其可能做好準備，並透過技術幫助產業發展，以確保加拿大人自世界一流的網路和數位化的進步中受益。以下概述「加拿大國家創新及發展技能計畫」。

創新技能計劃是加拿大政府雄心勃勃的努力目標，其計畫宗旨，是在致力建造加拿大成為世界領先者的創新中心，幫助創造更多優質，高薪的工作，藉此幫助中產階級壯大和發展。該計劃將針對六個關鍵領域：先進製造業，農業食品，清淨技術，數位產業，健康/生物科學和清潔資源。

該計劃將制定明確且有野心的目標，擴大增長並創造就業機會：

- 增加加拿大來自資源，先進製造業和其他相關的商品和服務出口 ，至 2025 年時，增加 30%。

- 增加清淨技術部門對加拿大總收入的 GDP 貢獻度。
- 增加加拿大高成長公司的數量一倍，特別是在數位，清潔技術和衛生技術部門，在 2025 年從 14,000 增加到 28,000 個公司。
- 擴大對勞動力市場移轉發展協議(Labor Market Transfer Agreement) 提供職業培訓的支援，包括在該協議中擴大放寬勞工參與計畫和服務的資格。

這些目標非常強調出口貿易與優良高薪工作之間的關係，因為據加拿大政府統計，出口密集型的產業工資平均比其他產業工資高出 50%。加拿大認為該國有獨特的優勢，可以利用新的出口機會。

ISED 認為，頻譜是行動業者的重要資源。 對於目前擁有彈性執照的業者提供更多頻譜，將使業者能增加網路容量來滿足更高的使用率的流量需求，並支持提供下一代無線技術。 5G 技術的開發和部署對於加拿大成為全球創新中心的目標至關重要，透過創建和加強世界領先的無線基礎設施，將加拿大帶入數位發展及改革的領先群。

除了初期對行動寬頻網絡和服務的速度和容量的改進之外，ISED 認為 5G 技術將改變所有經濟部門的服務，包括製造業，醫療保健和運輸業。 不同的測試和演示正在國內和國際上進行; 但是，目前 ISED 尚不清楚哪些商業案例將會推動 5G 網路的持續投資，也不清楚哪些服務及應用、何時將為加拿大帶來最大的利益。

ISED 的觀點是，頻譜釋出必須能使加拿大與國際市場發展和全球無線技術的持續演進保持一致。 確保提供的頻譜反映全球趨勢，新興的 5G 標準以及預計將在未來幾年實現的設備生態系統，加拿大將自己定位於下一代智慧手機和其他先進無線設備的受益者。 加拿大消費者受益於製造商為在許多國家的市場投入生產設備的規模經濟。 此外，也必須考慮加拿大國內的具體情況，包括部分加拿大人已形成對使用 3500 MHz 頻段作為寬頻固定無線接取的依賴，以及商業行動通訊服務市場的競爭動態。

3、5G 頻譜政策發展近況與釋出時間規劃

ISED 於 2017 年 6 月公告「釋出 5G 毫米波頻率諮詢文件」(Consultation on Releasing Millimetre Wave Spectrum to Support 5G)[218]，文件中表示，為實現設備製造的規模經濟，並促進頻譜使用的跨境協調，5G 的頻譜規劃將採 ITU 之 WRC-19 會議決議事項及 3GPP 等機構之建議。

加拿大工業部在制定頻率釋出規劃政策時，常可見其對於頻率的公平分配與可近用性做出創新的考量，例如，在 600MHz 規劃「頻率保留」（Spectrum set-aside）給非全國性既有經營者且在競標日時仍在提供服務的基礎設施提供業者。

另外，在 2017 年釋出 5G 頻率的規劃中，也考慮在 37~37.6GHz 頻段以免執照方式釋出並採用動態頻譜共享規劃的可能性。

在 2017 年當時 5G 技術如何部署以及可能使用哪些頻段仍存在一定程度的不確定性，因此諮詢文件建議為鼓勵創新及 5G 技術開發者，引進「彈性使用許可」模式（flexible use licensing model），取得許可業者可自行決定要部署固定系統或行動系統，或他們認為合適的固定和行動系統的組合。此方法旨在允許新技術和創新在不超出規定要求的情況下發展，同時滿足各種不同的需求和使用案例。

目前，新創業者亦可取得由加拿大科學與經濟發展部 ISED 發出的「短期發展許可執照」用來做設備測試。這些短期發展許可執照使新創業者可以進行實驗和測試新服務、技術的可行性，如移動系統，感測設備和在新頻率上運作的視頻傳輸，這些頻率也包括未來 5G 可能使用的毫米波頻段。

加拿大工業部在 2017 年的諮詢文件中說明，對 5G 的詳細規劃長期來看將有助於促進產業創新，透過率先揭示哪些頻率可供哪些類型服務使用的確定性，來加速商業市場採用 5G 技術。並且，透過

[218] ISED (2017), Consultation on Releasing Millimetre Wave Spectrum to Support 5G, available at: https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf11298.html

提供彈性執照模式來配合各種使用模式，支持並促進創新技術和商業專案的發展。其他頻段，例如 FCC 在其 FNPRM 中正在審議的頻段，以及 ITU 正在考慮的頻段，也不排除將在未來納入規劃。

加拿大工業部於 2017 年 6 月公告完整的 5G 諮詢文件後，至今尚未對該諮詢發布最終決定。除諮詢文件中預定的 5G 頻段外，加拿大工業部已完成 600MHz 低頻段的發照規劃，並公告於 2019 年 3 月拍賣 600MHz 執照。該執照並不排除未來可供 5G 技術使用。

有鑒於產業界要求早日開放 5G 頻段的聲浪，加拿大工業部順應民意，於 2018 年 6 月公告「就修訂 3500 MHz 頻段納入彈性使用之諮詢及變更 3800 MHz 頻段用途之初步諮詢」[219]，初步將 3500Mhz 規劃為 5G 主要頻段，正在尋求公眾意見。另外，也針對國際上可預期未來五年以 3650MHz-4200MHz 作為發展 5G 的主要頻段之趨勢，徵求國內業者如何最大化該頻段使用之意見。

ISED 已於 2018 年 3 月宣布，將於 2019 年 3 月拍賣 600MHz 頻譜，可望透過這次發照促進加國行動通信服務價格競爭，同時，600MHz 頻譜不僅有助於 5G 行動通信應用，也適合在農村和偏遠地區提供無線服務。

4、 5G 候選頻段推動

在 2018 年初之時，加拿大工業部初步先規劃 28 GHz 和 37-40 GHz 頻段分配供行動、固定通信的彈性使用執照（flexible use licensing），並大膽的在 WRC-19 及 5G 技術標準確定之前，規劃 64-71 GHz 頻帶為 5G 免執照頻段。

在加拿大產業界對釋出 3500 MHz 頻段表現出強烈的期待之下，加上國際上對 3500 MHz 頻段的發展為 5G 關鍵頻段之預期，ISED 考

[219] Consultation on Revisions to the 3500 MHz Band to Accommodate Flexible Use and Preliminary Consultation on Changes to the 3800 MHz Band

慮全球設備生態系統的預期時間表及在該頻段的國內利益，ISED 將 3500 MHz 視為 5G 頻段的首選，並已於六月發布將 3500/3800 MHz 適用於彈性執照的諮詢文件。ISED 預計 3500 MHz 可在 2020 年底提供給彈性使用執照使用。

雖然加拿大的 5G 頻段尚未確定，但依據 ISED 在頻譜展望諮詢中的計畫，L 波段（1427-1518 MHz）或其中的部分也可以被釋放用於固定和商業行動。ISED 認為，L-band 將成為未來 5G 部署的重要頻段，因為它在全球範圍內是統一的，並且預計將成為全球設備生態系統。ISED 認為可以釋放 L 波段或其部分供給固定和行動使用，因為在加拿大目前幾乎沒有使用這個頻段。 但是，存在潛在的干擾由於美國目前在該頻段內運行航空移動遙測，因此在邊境問題國際上優先於 L 波段的一部分移動業務。邊境頻率協商可能持續到 2022 年以後，因此該頻段被視為第二優先。

5、 實驗案例發展

ENCQOR 平台[220]是一個由魁北克和安大略省的創新走廊演變而來的研究創新網路服務，將為加拿大第一個 5G 預商用網絡平台奠定基礎。

ENCQOR 是一個 4 億美元的轉型合作專案，匯集了五個全球數位技術領導者，愛立信、Ciena Canada Inc.、Thales Canada Inc.、IBM Canada、CGI。由省級協調單位 Prompt[221]，CEFRIO[222]和安大略

[220] http://www.encqor.ca/faq/

[221] 這是一家非營利性公司，協助支持建立媒合，在公司和機構研究機構之間建立研發項目。 資助的項目涵蓋所有資訊通信技術子行業，涵蓋軟體和硬體開發以及組件，網路和應用程序的開發。Prompt 提供最高研究合作項目總值的 40％ 融資（grant financing）。藉由與公部門研究單位媒合建立夥伴關係來加強資訊通信技術行業，是加拿大 Prompt 存在的原因。

[222] 這是一個研究和創新組織，支持公共和私營組織在通過數位技術的應用改變其流程和業務。 CEFRIO 是 QuébecInnove 的成員之一，並受魁北克政府授權，以數位技術推動魁北克社會之進步。 它進行研究，實驗和調查，並提高對社會各方面數位技術使用的認識。 它的工作依賴其經驗豐富的團隊，超過 90 位相關研究人員所構成的研究網絡，並有超過 250 個會員。 CEFRIO 的主要財務合作夥伴是魁北克省科學與創新學院（Ministèrede l'Économie，de la Science et de l'Innovation）。

卓越中心（OCE）負責兩個省及企業之間的相關專案協調。這個計畫有一部分是由加拿大政府和魁北克省和安大略省政府資助。

在接下來的五年中，ENCQOR 將建立第一個加拿大 5G 無線通信技術的前商業走廊：下一代數位通信技術，這是開啟智慧城市，智慧電網，電子醫療，電子教育等巨大潛力的關鍵，連接和自動車輛，隨選娛樂、媒體以及物聯網等等。在未來五年內，它還將創造 4000 多個中階工作，其中包括 1,800 個專門的 5G 工作崗位，從而帶來無線通信方面的新創新。此外，也預計將在安大略省和魁北克省創造更多中小企業的就業機會。

該計劃將通過匯集廣泛的中小企業（SME），行業，政府和企業團體，開發一個世界級的協作平台，以加速魁北克省，安大略省和加拿大邁向正在改變遊戲規則的 5G 技術。這兩省學術界的合作重點在新的破壞性產品、流程和服務的創造和商業化。

ENCQOR 的平台將利用 5G 來幫助企業家和中小企業在智慧城市、電子醫療、自駕車，金融科技，網絡安全，物聯網等領域開發和出口新一波創意產品。該計畫將在加拿大建立一個世界級的 ICT 和數位技術研究、創新和應用示範協作平台，涉及兩省數十所大學、學院和研究中心，共同開發獨特的開放式創新研究基礎設施，其中 5G、雲計算和大數據是主要研究重點項目。

ENCQOR 計畫中心在 2018 年 6 月發表其計畫，宣示其將在今年秋季將在蒙特利爾的 ÉTS 研究中心，以及位于魁北克市的地鐵高科技園區內的城市科學聯合研究部門(UMRsu) 及 Thales Canada 的研究技術中心推出兩個新的 5G 創新中心。這兩個 5G 集散地將於今年秋季投入營運，將提供 5G 資源和基礎設施，為加拿大第一個第五代無線預商用測試平台奠定基礎。

在接下來的四年中，ENCQOR 將建立第一個加拿大 5G 無線通信技術的商業前走廊 - 下一代數位通信，以及釋放智能城市，智能電網，電子衛生，電子教育巨大潛力的關鍵，連接和自動駕駛汽車，隨選娛樂和媒體，以及物聯網（IoT）等。

ISED 部長表示，政府對下一代無線技術的投資將有助於使加拿大成為全球創新領導者，並確保成千上萬的就業機會。魁北克中小企業領袖與相關創新部門之政府官員皆正面迎接 5G 所帶來的變化，並願意做好充分準備，他們認同數位時代所帶來的變化的快速和複雜性迫使國家與城市必須積極主動並採取具體行動，例如建立創新中心，這為中小企業尋求利用 5G 技術的巨大潛力提供了寶貴的機會，加快創新項目並最大限度地提高成果。 政府與城市透過資助 ENCQOR 加強魁北克在全球經濟中的競爭力，並使魁北克省的公司在信息和通信技術領域以及研究和教育領域受益匪淺。

ENCQOR 倡議屬魁北克數位戰略目標的範圍，開展世界級的研發和專案營運項目，旨在動員和推動創新，建立強大、動態、有吸引力的技術部門。魁北克也與聯邦和安大略省政府建立加拿大 5G 高速公路的合作夥伴關係。該計劃將開發一個世界級的協作平台，在加拿大的這兩個省份，合作開發新的破壞性產品，流程和服務並將其商業化。匯集中小企業、產業、政府，研究人員和學術界的廣泛網絡，加速魁北克和整個加拿大轉型適應改變遊戲規則的 5G 技術。

蒙特婁和魁北克市中心都將提供專用的 5G 基礎設施和資源，支持中小企業和學術界，允許在促進創新的協作環境中進行商業前開發，測試和展示最新產品和服務。

ENCQOR 也提供創新領養資助計劃，向魁北克的中小企業提供財政資源，該計劃將於今年秋季推出，由 CEFRIO 和 Prompt 領導。這些中心將向魁北克省的所有創新社群開放，為中小企業尋求利用高速通信技術的巨大潛力提供了一個重要機會，以加速創新。這些中心將提供專業知識，旨在最大化特定項目的潛力並使其結果倍增。

- 創新領養計劃概述

5G 採用計劃支持公司和組織與終端用戶一起設計，準備和用戶測試案例，以展示與各個領域的下一代 ENCQOR 技術相關的產品，流程或服務的使用。該計劃的特點是希望支持具有長期採用潛力的實驗，並支持包括若干合作夥伴在內的大型項目的支持。

財務捐助以核銷組織或項目合作夥伴組織產生的合格費用的 50%的形式提供。融資項目可在幾年內完成，但所有項目必須在 2022 年 3 月 31 日之前完成。

該計劃目標包括以下：

- 通過試驗與在不同領域使用下一代技術相關的產品，流程，實踐或服務來支持創新。
- 刺激生產力，競爭力和技能發展。
- 使組織能夠預測變化並克服採用 5G 和下一代技術的障礙。
- 加速數位經濟的轉變，並在魁北克和加拿大產生社會經濟影響。

(二) 頻譜使用與處理

1、候選頻譜使用狀態

(1) 3500-3800 MHz

A. 3500MHz（3400-3650MHz）

目前，3475-3650 MHz 頻段主要用於提供固定無線接取上網服務，通常在農村和偏遠社區。大多數執照的簽發期限為 10 年，通過 2004 年至 2009 年間的拍賣流程，並使用第 4 層服務進行地理定義區域。通過 3 次單獨的拍賣，向 17 家業者發放了 674 張執照。第一批執照已於 2014 年到期。作為 2014 年決定的一部分，拍賣取得的執照到期後，ISED 允許被許可人以 1 年期限申請新的許可，前提是他們已完成所有的執照條件。大多數拍賣執照已經通過了最初的 10 年許可證期限，合資格的持牌人每年申請並獲發新的 1 年牌照。有一小部分拍賣執照仍在其初始期限內，將於 2019 年到期。

在 2014 年重新分配 3500 MHz 頻段以允許移動使用並在整個 3475-3650 MHz 頻段採用彈性使用執照政策的決議中，表明只有在制定新頻段規劃的技術和許可框架後才允許行動業務。它還規定 3500 MHz 頻段內的所有固定無線接取系統都將過渡到新的頻段規劃和修

改後的技術規則。在制定新的頻段規劃和相關規則以允許靈活使用之前，執照持有者僅限於提供固定業務。

3500 MHz 頻段提供了促進創新和早期採用 5G 技術的機會，同時通過採用彈性執照模式保持目前的用途。彈性使用執照將使被許可人能夠更好地將其服務定位於其客戶的需求。這種方法旨在使新技術和創新得以發展，同時支持各種不同的需求和使用案例。它將使現有服務得以繼續，並支持諸如 5G 服務等新服務的不斷增長的需求。因此，除了某些頻段的重新分配之外，ISED 也建議允許在 3450-3475 MHz 頻段內彈性使用。

隨著共享技術的不斷發展，ISED 正在探索優化 3400-3450 MHz 頻段內頻譜使用的其他機制。 許多國家已對該頻段進行頻譜使用效率檢查，也有許多正在開發的設備能支援此頻率範圍。 ISED 認為，無線電定位在其間歇使用的特性上，可允許與低功率服務共享。 鑑於保護現有無線電定位服務的目標，ISED 正在就該頻段內服務共存的利益以及無線電定位與其他業務之間共用頻譜的選擇徵求意見。

3475-3650 MHz 頻段主要用於通過固定無線接取系統提供固定無線上網服務。最近國際頻譜拍賣的結果和利益相關者對 ISED 展望諮詢的業者回饋意見彰顯該頻段有較高價值。預期它成為部署 5G 業務的關鍵頻段。為了支持競爭和創新，ISED 正為其他被許可人尋求提供在該頻段部署 5G 服務的機會，因此要求當前的被許可人返回他們頻譜持有的一部分。

ISED 將根據 2014 年的決議，製定彈性使用政策框架。 ISED 提出的選項將允許現有企業繼續提供無線服務，並將重新調整頻段規劃，其他利益相關者提供獲得彈性使用頻譜的機會，以促進 5G 技術頻譜的使用。為了滿足各利益攸關方的要求，ISED 正考慮採用不同的方法來確定該頻段的既有經營者所需的頻譜數量以及授權條件。

現有的被許可人將被要求減少其頻譜持有量並在新的頻率計畫中過渡到不同的頻率。 ISED 認為，通過提高部署效率和新技術，被許可人應該能夠繼續維持當前的服務產品，同時減少頻譜數量。從 2004 年執照拍賣以來，許多現任執照持有者已經建立了他們的固定

無線網路超過 10 年。根據 ISED 提出的任何一種選擇，當前的許可證持有者將能夠繼續提供固定的無線服務，其剩餘的持有和在某些情況下，可擴展現有網路或利用固定的 5G 技術來隨時改進其服務。

對於既有經營者的安排，ISED 規劃以下方案，並徵求業界意見：

- 選項 1：對於每個許可區域，現有許可證持有者將獲得彈性使用執照，為其當前頻譜持有量的三分之一，以 10 MHz 為基準，四捨五入計算。最低為 20 MHz。
- 選項 2：對於每個許可區域，現有許可證持有者將獲得彈性使用執照，為其當前頻譜持有量的三分之一，以 10 MHz 為基準，四捨五入計算。最低為 20 MHz。

此外，ISED 也開放大眾提供任何滿足其政策目標的替代提案，及其理由。

B. 3800MHz（3650-4200MHz）

對於 3700-4200 MHz 頻段授權許可的使用者多半是固定衛星系統，用於在北部和偏遠社區提供電話和上網服務。 此外，目前也有無需取得執照的廣播接收器接收來自衛星的電視節目，然後通過有線基礎設施進行傳送。廣播工作室也使用無需取得執照的接收器進行節目提供。目前在 3700-4200 MHz 頻段內運行的固定點對點鏈路有限，主要用於固定迴路。

ISED 打算透過 2017 年 6 月的諮詢文件來審視該頻段。諮詢結果將作為頻譜利用政策，頻段規劃的參考，並考慮技術和政策的潛在變化考慮因素，以優化該頻譜的使用。 未來可能透過頻譜接取管理系統（SAS）或類似資料庫方法，優化在ＷＢＳ頻段的有限頻譜使用效率。 該資料庫將具有分析干擾情況和指導基地站減少其功率或移動到不同 Channel，以盡量減少干擾。 鑑於 SAS 在美國當前發展，ISED 也對於以資料庫模型或其他方法是否可用來優化 3650-3700 MHz 頻段的使用效率，以開展未來的 WBS 尋求業界建議。。

(2) 28GHz（27.5GHz~28.35GHz）

加拿大採取軟性分區 (Soft partitioning)的概念，允許兩種業務共用這一個區段的頻譜，但在不同情況下讓其中一種業務優先使用。目前固定業務與衛星固定業務（FSS）之間共享 3 GHz 至 30 GHz 的頻譜。

28 GHz 頻段目前以共同主要業務的方式指配給固定業務、固定衛星（地對空）和行動業務。 下圖 7- 29 為 28 GHz 頻段的頻率分配示意圖。

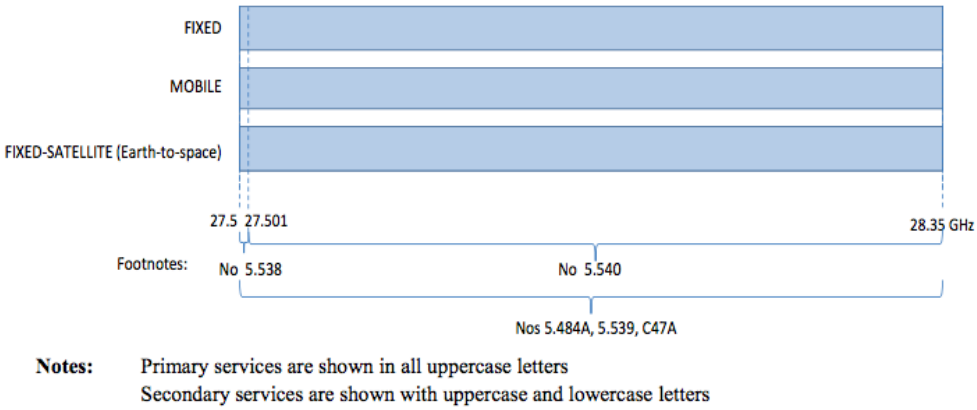


圖 7- 29：加拿大 28GHz 頻段分配示意圖

27.500-27.501 GHz 頻段也同時劃分給主要用於上行鏈路功率控制信標傳輸（beacon transmissions intended for up-link power control）（第 5.538 號）的衛星固定業務（空對地），且將頻段 27.501- 29.999 GHz 分配給該業務，但與其他服務衝突時，使用順序為第二順位（第 5.540 號）。 27.5-30 GHz 頻段亦可開放提供衛星廣播業務的饋線鏈路（第 5.539 號）。其使用先後已有靜止衛星軌道 GSO 和 NGSO 系統間相互協調的規定（第 5.484A 號）。

軟性分區概念允許多個業務使用頻譜，但優先考慮其中一種業務。在 28 GHz 頻段共享中，**固定業務優先衛星固定業務系統。允許在該頻段部署的衛星固定業務僅限那些對固定業務系統影響最小的申請者**，例如用於饋線鏈路的少量大型天線。

該頻段目前主要分配給固定業務用於區域多點通信系統（LMCS）。允許業者採頻分雙工（FDD）和/或時分雙工（TDD）操作的固定無線電系統。

2014 年 12 月，ISED 發布了「24、28 和 38 GHz 頻段的新執照框架和 24 和 38 GHz 頻段執照更新處理流程」（以下簡稱「2014 新執照框架」）。該框架建立了在 28 GHz 頻段（25.25-26.5 GHz 和 27.5-28.35 GHz）的先到先用（FCFS）的特定基站許可執照流程。迄今為止，尚未有在這個許可框架下發照的 28 GHz 頻段業者，但是有兩個執照業者準備在該頻段建設行動基地台。

另外，該頻段的固定衛星許可執照也是以先到先用為基礎發放。目前有四個對地靜止衛星軌道（GSO）服務提供商在該頻段內運行八個地對空饋線鏈路地球站。其中七個地面站位於城市邊界附近，可與光纖連接。此外，兩個加拿大非對地靜止衛星軌道（NGSO）的 FSS 網絡已被授權在此頻段做地對空方向使用。根據其許可條件，這二個 NGSO FSS 網路必須分別在 2018 年和 2021 年之間投入營運。另外，兩個國外衛星網絡--Viasat（GSO）和 O3b（NGSO）也被批准使用該頻段在加拿大提供服務，但迄今為止，尚沒有任何相關地面站的建設。

目前加拿大並沒有任何對行動地面站 （Earth station in motion, ESIM）與 FSS 太空站之間進行通信的頻率使用政策。但是，大約有 80 個來自四個固定衛星業者的行動地面站終端被授權在加拿大運行，在這個頻段內以無干擾、無保護方式（no- interference no-protection basis）進行機載和水上使用。ISED 認為，機載 ESIMs 對彈性使用執照服務的干擾不太可能發生，也很難管理，而海事 ESIMs 對彈性使用執照服務的干擾則需要進一步研究。此外，ISED 認為，干擾很可能來自於地面的 ESIMs 對彈性使用執照服務的干擾，因為這兩種服務皆具有無處不在的特性。

(3) 37GHz-40GHz

在加拿大， 37-40 GHz 頻段指配給固定和移動業務，37.5-40.0 GHz 頻段的固定衛星業務（空對地）、37.5-40.0 GHz 頻段的太空研

究業務（空對地）、37-38 GHz 頻段和 39.5-40 GHz 頻段內的衛星移動業務 17（空對地），相關業務均為該頻段的共同主要業務，而衛星地球探測業務（空對地）則指配為 37.5-40 GHz 頻段的次要業務。此外，根據 ITU 無線電規則的 5.547 註解，37-40 GHz 頻段可用於固定業務的高密度應用。 下圖 7- 30 顯示了加拿大在 37-40 GHz 頻段的頻率分配情況。

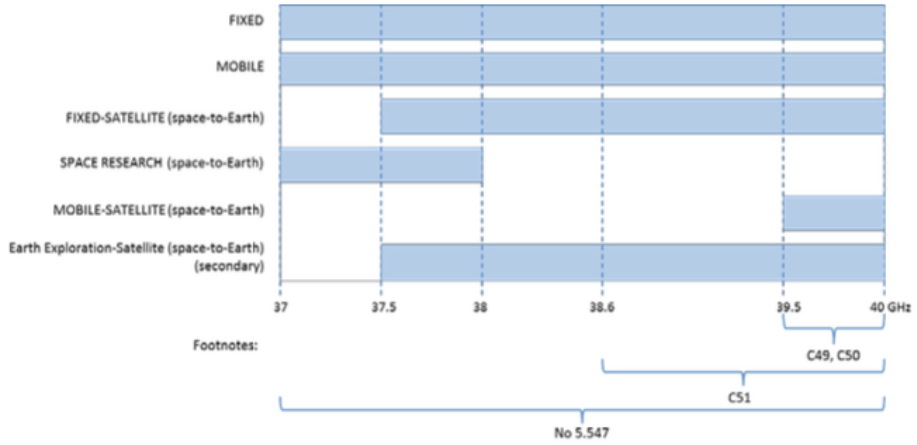


圖 7- 30：加拿大 37-40GHz 頻段分配示意圖

如下圖 7- 31 所示，38.6-40 GHz 頻段被固定點對點和點對多點系統的業者用於無線後端網路（Backhaul），並為客戶提供寬頻無線接取。目前有四家經營者持有 28 張許可執照。許可區域包括不列顛哥倫比亞省，艾伯塔省，馬尼托巴省和安大略省的農村和城市地區的混合區域。

另外，由 9 個業者共有的 80 個活動網格區域許可執照，共同部署了大約 1900 個基地臺。Rogers、Telus、TeraGo Networks 和 Freedom Mobile 共同持有這些許可執照的 90%。來自 ISED 許可執照數據庫的數據顯示，大約 88%的所有站點（包括網格單元和特定站點許可執照）位於溫哥華，卡爾加里，埃德蒙頓，多倫多，渥太華和蒙特利爾的大區域內。

在 37.6-38.6 GHz 頻段還有兩個建置中的固定地面電臺。目前在 37.5-40 GHz 頻段尚未建置任何衛星電臺，包括衛星固定，空間研究，

衛星移動或衛星地球探測業務。然而，由於 Ku 和 Ka 頻段變得越來越擁擠，衛星固定業界已表示有興趣將這一頻段與 50 GHz 左右的地對空頻段配對，作為下一個商業化發展的頻段。

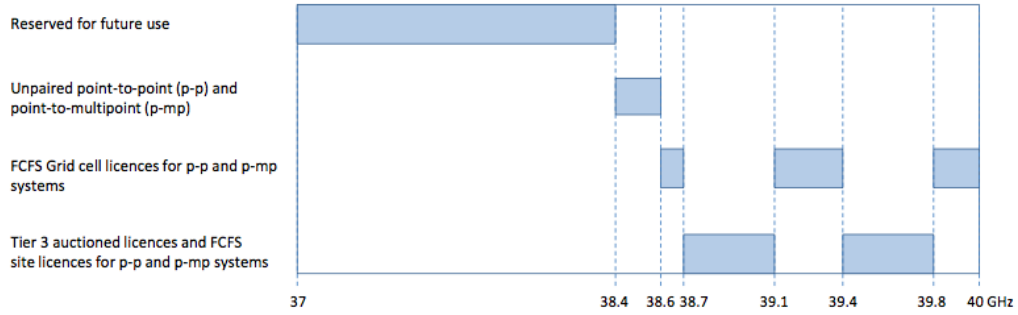


圖 7- 31：加拿大 37-40GHz 頻段既有分配狀態

(4) 64GHz-71GHz

ISED 認知到新的免執照無線設備（License-exempt, LE）對於各種應用的重要性。包括車載式現場干擾傳感器（車輛雷達）應用和短距離高容量無線通信設備，用於提供多媒體應用。通訊業者網路也越來越常使用免執照頻譜，通過 Wi-Fi 網路來減輕頻譜擁塞。預計此用途的需求將繼續增長。因此，應該提供足夠的頻譜以確保加拿大人能夠從已經開發並將要開發的各種新型創新免執照頻譜應用中受益。

64-65 GHz 頻段指配給固定，移動（航空移動除外）和衛星間業務，並可在該頻段內進行射電天文觀測。 65-66 GHz 頻段劃分給固定衛星、除航空移動外的移動衛星、洲際衛星、地球探測衛星和空間研究業務。 64-66 GHz 頻段亦可用於固定業務的高密度應用。下圖 7- 32 顯示了加拿大在 64-71 GHz 頻段的頻率分配情況。

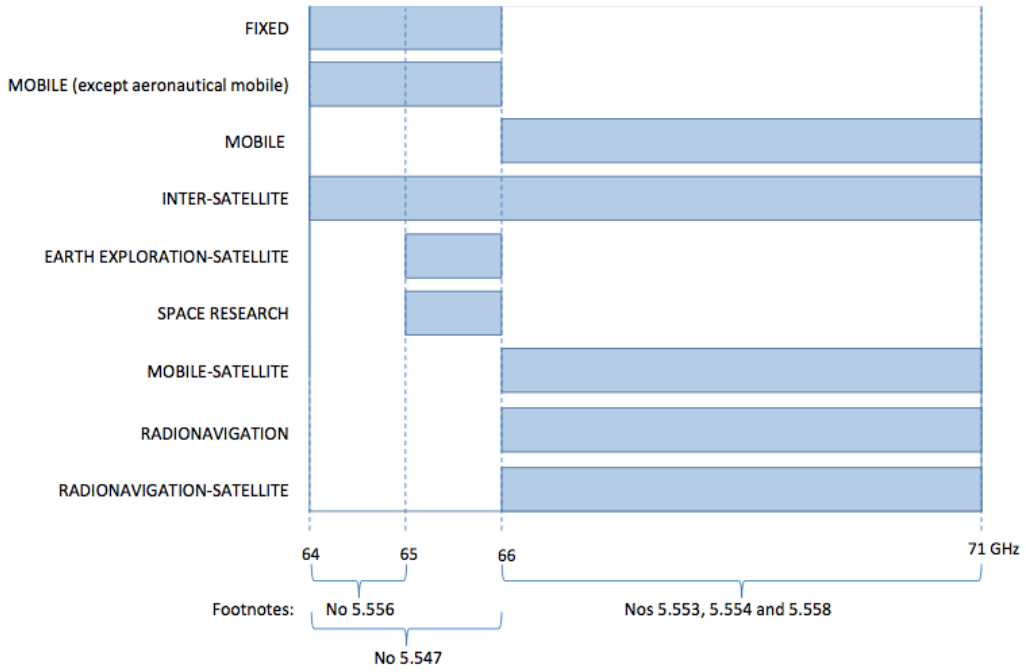


圖 7- 32：加拿大 64-71GHz 頻段分配示意圖

目前加拿大沒有針對 64-71 GHz 頻段的頻譜使用政策。此外，加拿大境內的任何服務都沒有使用該頻段的既有用戶，亦無任何計劃中的用途。

由於 64-71 GHz 頻段沒有頻譜政策和業務，因此指定其為免執照業務頻段將不會對任何現有業務產生影響。

根據與 57-64 GHz 相鄰頻段相同的技術標準，美國已批准以免執照頻譜在 64-71 GHz 頻段的業務，為免執照頻譜創造了連續的 14 GHz 的頻譜資源。加拿大將跟進美國就 57-64 GHz 頻段供免執照頻譜設備的運作技術規則。

2、 頻譜重整措施

(1) 3500MHz

ISED 對於 3500MHz 頻段規劃做了一些變化： 原本在 3475-3650 MHz 頻段加拿大頻段規劃為三個成對的頻率塊和一個未配對的頻段。該頻段規劃的設計是為了主要使用支持頻分雙工（FDD）技術的設備。 而目前，該頻段中部署的大多數設備使用 TDD（時分雙工）技術。

3450-3650 MHz 頻段的所有 4G 設備均基於 TDD 技術。 3GPP 在 5G 移動設備標準方面的最新發展表明，未來的設備生態系統也將使用 TDD 技術。 出於這些原因，ISED 提議採取不成對區塊的頻段規劃，實施由 20 個不成對的 10 MHz 塊組成的頻段規劃，該信道間隔大小（channel spacing size）可支援 LTE 和 5G NR。 若採確定現任被許可人有效保留的頻譜數量的選項，擬議的不成對頻段規劃將有助於向現任和新的被許可人發放新的許可執照。 建議的頻段規劃並不排除由 ISED 將多個 10 MHz 整合在一起，成為可供支持 5G 技術所需頻寬的大頻段。

在兩個或更多個 TDD 系統在相同或相鄰頻率塊且地理接近的情況下操作時，會有相互的系統間干擾的可能性。 這可以通過諸如 TDD 同步，或對於運作中的工作頻率之間實施保護頻帶的措施來減輕。

ISED 建議頻率過渡政策應基於“何時何地必要”原則。因此其擬議的過渡政策將允許現任被許可人繼續經營，而這些業務不會妨礙新被許可人的部署。

ISED 認知到新的執照業者將計劃及時推出行動服務。 ISED 指出，一些現有企業，特別是農村和偏遠地區的小型營運商，可能會面臨在新頻段規劃中過渡到其分配頻譜的挑戰。因此， ISED 初步規劃區分為農村與都市，對於現有被許可人的保護期和通知規定如下，並尋求公眾意見：

- 保護期規範
  - 對於最大人口中心為 30,000 人或以上的 Tier 4 服務區，該大型城市人口中心內的區域和圍繞這些中心的 10 公里緩衝區，設置最短保護期 6 個月，所有其他場所的最短保護期為 2 年。對於最大人口中心少於 30,000 人的所有 Tier 4 服務區域，最短保護期為 3 年。
- 移頻通知期限：

- 大型城市人口中心和這些中心周圍 10 公里緩衝區的最短通知期為 6 個月。所有其他領域的最短通知期為 1 年。

ISED 提出三種頻率過渡方案情境展示，如下圖 7- 33。

- 情境 1，既有經營者有權獲得至少六個月的保護，但在頒發新許可證後立即被通知他們需要在六個月內過渡。
- 情境 2，既有經營者將受到至少兩年的保護，在被要求過渡之前至少提前一年被通知。
- 情境 3，既有經營者將受到至少三年的保護，並被要求過渡之前至少提前一年通知。

在沒有通知的情況下，既有經營者不需要移頻。

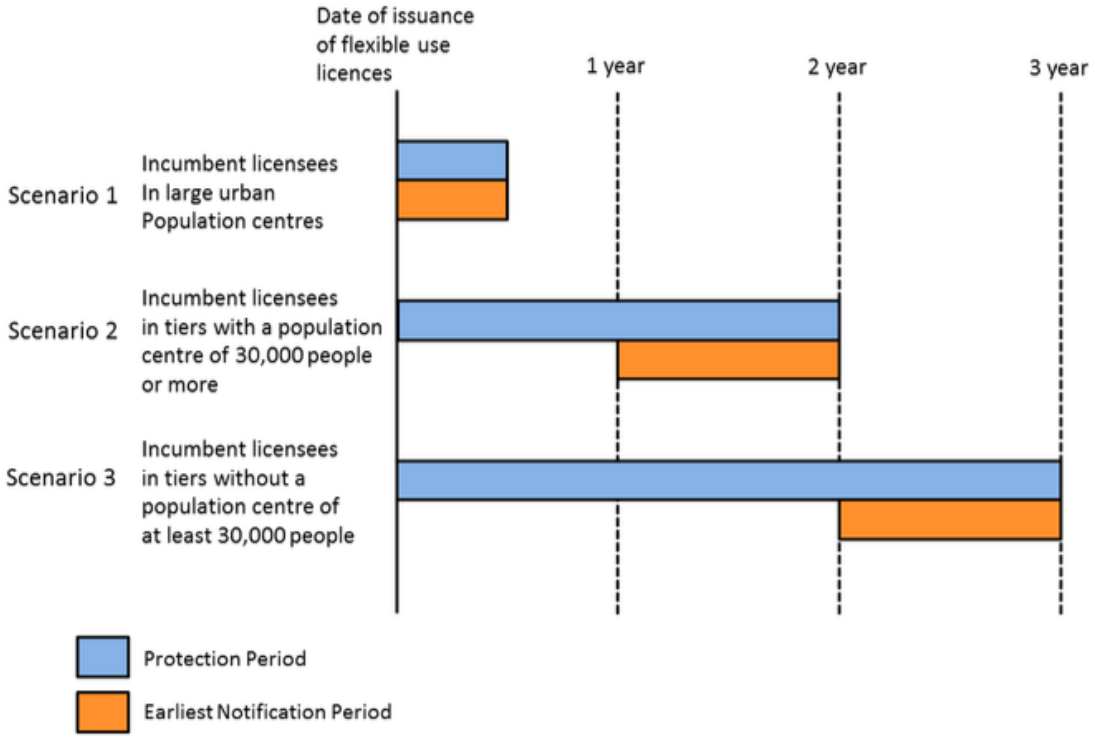


圖 7- 33：加拿大移頻情境

另外，關於 LTE 和 5G 技術的固定和移動設備是否能夠在 3450-3650 MHz 頻段內和相鄰頻段內遭雷達間歇性干擾（包括跨境干擾）時正常運行，ISED 也正在尋求業者的意見。

(2) 3800 MHz

ISED 在 2018 年諮詢文件中說明，在這個頻段中，有未知數量的未經許可的僅供電視接收（TVRO）電台和電纜頭端在該頻段內工作，但由於他們不需要註冊其位置。因此，目前無法確定其位置或使用這些應用的程度，ISED 也未曾對他們建立頻率管理參數。

但鑑於 5G 服務的引入預期會增加頻譜，特別是在城市地區，ISED 正透過諮詢文件諮詢大眾意見，包括是否應考慮是否應該設置特定區域，安置這些 TVRO 電台、有線電視頭端和其他固定或在該頻段運作的固定衛星。為了最大限度地利用該頻段，ISED 將需要一個重新整理的過程，來確定未經許可用戶的位置，其作法可能是基於頻率管理之需要，公告要求無執照的用戶必須向 ISED 報告其 TVRO 電台和有線電視頭端的技術參數。

許多國家正在審視 3800 MHz，有些國家甚至是 4200 MHz 來為 5G 技術提供額外的頻譜。隨著 LTE 和 5G 技術發展到 4200 MHz，加拿大頻率劃分表正在考慮移動分配，將這些未來變化納入該頻段的用途中，以優化頻譜的使用。

ISED 也舉出 Ofocm 及 FCC 的例子做為參考，FCC 已開始為 3500 MHz 頻段開發多層共享方法，並預期將該計畫擴展到 4200 MHz 頻段。 Ofcom 還在考慮為 3800 MHz 頻段的部分開發類似的方法。ISED 表示將監測其他國家的發展情況，特別是在 3400-4200 MHz 頻率範圍內的服務之間共享頻譜的可能性，以期提高兩個頻段的效率。包括固定衛星服務提供商，小型 WISP 和商業移動營運商，都對 3700-4200 MHz 頻段的經營表達興趣。

(3) 28GHz

加拿大在 28GHz 的規劃參考美國的最新作法，也規劃引進可供業者選擇固網或行動或其混合的彈性使用執照。

A. 衛星的可能干擾處理

ISED 認為，軟性劃分仍是在這一頻段內不同業務之間共享頻譜的有效方法，為了便於彈性使用 28 GHz 頻帶用於地面業務，ISED 對加拿大頻率劃分表（CTFA）建議以下修改：

- 在 27.35-27.5 GHz 頻段：
  - 優先性：固定業務系統的頻譜使用優先於共用主要業務的衛星固定業務系統。
  - 限制性：限制此頻段內的衛星固定業務為對固定業務系統影響最小的應用。
- 在 27.5-28.35 GHz 頻段：
  - 優先性：固定業務系統和移動業務系統的頻譜使用優先於共享基礎上的衛星固定業務系統。
  - 限制性：限制此頻段的衛星固定業務為對固定業務系統和移動業務系統影響最小的應用（例如用於饋線鏈路的少量大型天線）。

無干擾、無保護條件之下的個案申請：ISED 建議繼續允許機載和海上 ESIM 在此頻段內與對地靜止 FSS 太空站以個案申請的方式，在無干擾、無保護的條件下通信。由於干擾問題，這次將建議禁止陸基 ESIMs 與 FSS 太空站之間的通信。

B. 靜止期

基於因應 5G 發照可能的頻率用途改變，ISED 建議自諮詢文件發布日起開始一段靜止期，在 28GHz 頻段中，停止依「2014 新頻率框架」核發新的固定服務基地站執照。因目前並未有 28GHz 的執照業者，所以這個靜止要求在短期內，不太可能產生任何不良影響。靜止期之終止時間另依主管機關公告。

C. 頻率劃分

加拿大原有的頻段規劃（參見圖 7- 34）被劃分為成對頻段，便於使用 FDD 點對點系統。

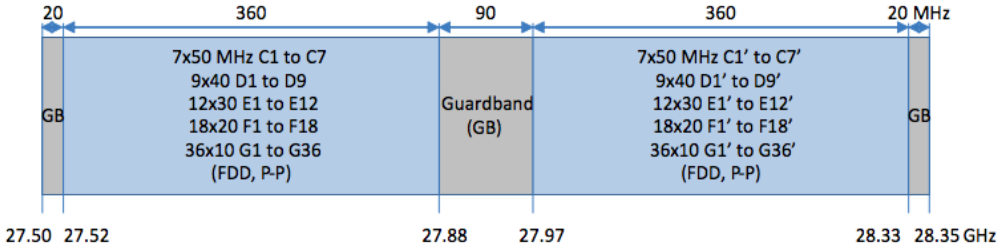


圖 7- 34：加拿大 28GHz 頻段既有分配示意圖

FCC 決定在該頻段中採取彈性使用執照（Flexible License），並採納由兩個未配對 425 MHz 頻段（2 x 425 MHz）組成的新美國頻段規劃。為了促進設備協調並簡化加拿大與美國邊境地面業務之間的協調，ISED 建議與 FCC 決定一致並採用相同的頻段規劃，如**圖 7- 35** 所示。該頻段規劃未規定任何配對頻塊，並且不排除部署任何類型的雙工方案。

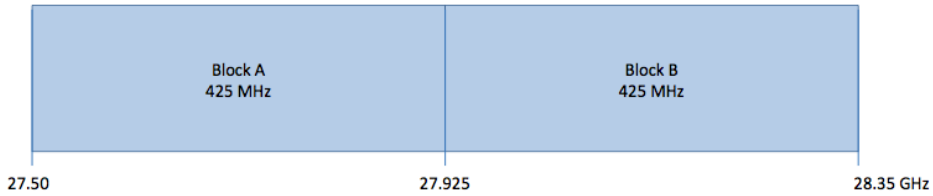


圖 7- 35：加拿大 28GHz 頻段規劃分配方式示意圖

D. 頻率劃分

目前，加拿大的固定衛星地面站是以無線電許可執照的方式進行授權。固定地面電台與國內衛星地面站的共存是在取得執照前，由業者以逐站點協調方式解決。如果需要協調，申請人將被告知該要求，並提供其需協調的其他用戶名單。在申請人和既有業者的協調過程中解決新站對現有站的干擾的可能性，然後將協調結果提交給 ISED，作為整個許可過程的一部分。同樣，申請新的固定地面許

可，也必須通過與其他可能受到影響的用戶協調，確認其將架設的系統不會對現有或其他地面系統建置計畫的站台造成有害干擾。

彈性使用的地面電台可能受到該頻段內 FSS 地球站發射的干擾。初步研究表明，彈性使用地面電台需要距離 FSS 地球站 50 公尺至 400 公尺的間隔距離。 加拿大不允許衛星業者在頻段內部署無處不在的衛星服務。因此，彈性使用地面電台和 FSS 地球站的協調將被限制在可處理數量的情況下。彈性使用地面電台和 FSS 地球站共享該頻段亦可適用目前的逐站協調程序來管理。

ISED 也尋求業者針對以下項目建議，評估是否應建立協調的觸發點以進一步促進頻率協調。例如，功率通量密度（Power flux density, PFD）限制或間隔距離臨界值來當作協調的觸發點。如果一個新的衛星地面站超過現有固定地面站的臨界值，就需要與那些受影響的地面站業者進行協調。可使用其他技術規則來促進上述兩項服務之間更好地共享頻譜。例如，ISED 可能要求固定衛星營運商在其地面站周圍採用站點屏蔽措施，以減少對地面電台造成的干擾：

1. 當超出預定的觸發界值時，ISED 要求在 28 GHz 頻帶內彈性使用執照的地面電台與 FSS 地球站之間進行逐站協調，針對此政策，請業者評論建議。
2. 對於逐點協調的方式，什麼樣的協調觸發值和建議值是最合適的（例如 PFD 或距離界線值）？
3. ISED 也邀請大眾就彈性使用執照電台和 FSS 地球站（例如現場屏蔽）的具體技術規則提出建議，以促進地面站和地球站之間更有效的共用。

E. 對既有業者的處理

ISED 建議將既有 FSS 衛星地面站與申請中的業者排除於目前的頻率分享機制之外。他們仍可在目前執照定義的參數與條件下營運。根據新的彈性執照在相同頻率中運作的地面服務執照業者不可要求保護傳統衛星站。

欲在 28GHz 頻段中營運的新建衛星地面站設施是否適用以上提出的頻率共享機制，或適用其他機制，則有待加拿大諮詢結果決定。

(4) 37-40GHz

與 28 GHz 頻段類似，ISED 也套用彈性使用執照模式在 37-40 GHz 頻段的管理上。

A. 頻率共享機制

為了在此頻段內導入彈性使用業務執照，ISED 需制定相關規則，確保新執照與現有執照業務共存。

- 彈性使用執照與空對地固定衛星業務並存

ISED 建議，在 37-40 GHz 頻段實施彈性使用許可執照，同時繼續允許衛星固定業務（空對地）使用該頻段。但允許在該頻段內使用的衛星固定業務，僅限於對新固定業務造成最小限制的應用，例如用於饋線鏈路的少量大型天線。ISED 認為提供 37-40 GHz 頻段作為彈性使用執照地面業務時，應該堅持不過分限制衛星業務使用其既有分配頻段的原則。

目前，固定地面電台和固定衛星地面站的共存是透過逐站協調解決的。由於衛星地面站從這個頻段發射的衛星接收信號，可能受到新的彈性使用地面電台的干擾。按業界提供給 FCC 的初步研究，衛星地面站與彈性使用的地面電台之間的距離不得低於 2 公里。所以這次因應 5G 對於該頻段的修正，未來衛星地面站將不能發展到無處不在的程度，也就是說，因衛星地面站的數量受限制，彈性使用的地面電台和衛星地面站的協調共存才可能達成。

這裡的考慮與 27.5-28.35 GHz 頻段彈性使用地面電台和衛星地面站共存的考慮非常相似。因此，ISED 建議採用類似的機制，使用 PFD 或距離臨界值作為協調的基準來管理該頻段的頻段共享。

- 限制在禁制區內的衛星地面站數量

對於是否應在特定區域限制在 37.5-40 GHz 頻段內部署新衛星地面站，ISED 正在徵求意見。並且也就如何實施這些地面站以及應針對哪些地區設置禁制區的詳細建議，徵詢公眾意見。

與 28 GHz 頻段不同，在 37.5-40 GHz 頻段，衛星地面站可能會受到彈性使用地面電台的干擾。ISED 認為 FCC 的做法在加拿大不適用。但是，類似於 28 GHz 頻段的潛在頻段共用機制，ISED 考慮採用的方法是，限制衛星地面站在禁制區部署的數量，以使彈性使用系統服務能順利部署於核心城區以及主要公共基礎設施之上。

- 空對地太空研究業務及空對地行動衛星

如上所述，37-38 GHz 頻段作為主要業務劃分給太空研究業務（空對地）。另外，39.5-40 GHz 頻段分配給行動衛星系統，並僅限加拿大政府使用。在美國，為了實現頻段共享，FCC 在其三個 SRS 地球站周圍創建了協調區，UMFUS 被授權者在這些區域內的部署需要事先協調。加拿大沒有現有或計劃的 SRS 或 MSS 業務; 因此，ISED 目前不提出對地面執照業務的具體限制。但是，如果未來 SRS 或 MSS 開始在這些頻段內部署，彈性使用執照持有人可能會受到未來技術規定的約束，以促進共存。

B. 靜止期

不建議與 28GHz 採用相同的靜止期，因為 38.4-40GHz 目前是用在提供行動服務及企業無線解決方案的後端網路(Backhaul)。採用靜止期可能對使用該頻段業者之既有或未來建置計畫的影響。

C. 頻率規劃

在美國，37-37.6 GHz 頻段頻段共用和協調機制尚在建立中，FCC 正在考慮是否建立 100 MHz 的頻寬大小，同時允許用戶將這些信道聚合成更大的頻寬，最大可達 600 MHz。對於 37.6-40 GHz 頻段，FCC 已經採用了一個新的頻段規劃 200 MHz 的塊。FCC 還採用了允許 FDD 和 TDD 實施的規則。

為了從美國發展的生態系統中受益，並簡化美加邊界上固定和移動業務的協調，ISED 建議加拿大在整個 37-40 GHz 範圍內採用與美國相同的頻段規劃。鑑於美國在 37-37.6 GHz 頻率範圍內的新頻段計劃的發展，目前底定加拿大頻段計劃為時尚早，並可能破壞設備的協調綜效。因此，建議在此頻率範圍內將加拿大頻段計劃推遲到晚些時候。下圖 7- 36 顯示 37-40 GHz 頻段的整體建議頻段規劃。類似於 28 GHz 頻段，這種頻段規劃並不妨礙部署任何類型的雙工方案。

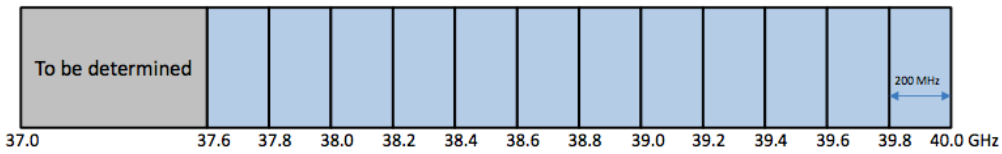


圖 7- 36：加拿大 37-40GHz 頻段規劃分配方式示意圖

D. 對既有業者的處理

在毫米波頻率下運作，固定和移動操作的某些技術特性之間的差異可能難以區分。由於毫米波波段的高信號衰減使得固定和移動系統必須使用高定向天線，並且相較於較低頻的頻段，這也有機會使頻率能在更近的距離內再利用。一方面，這可以使現有的固定用戶和未來的彈性使用許可執照持有者之間進行非常有效的協調。另一方面，一些新的彈性使用系統預計覆蓋範圍無處不在，這可能對已經包含固定系統的地區構成頻率協調的挑戰，特別是如果兩個系統由兩個不同的服務提供商運作的話。隨著 5G 技術的不斷發展，將能更清楚未來彈性使用系統和現有固定服務系統如何有效的共存。

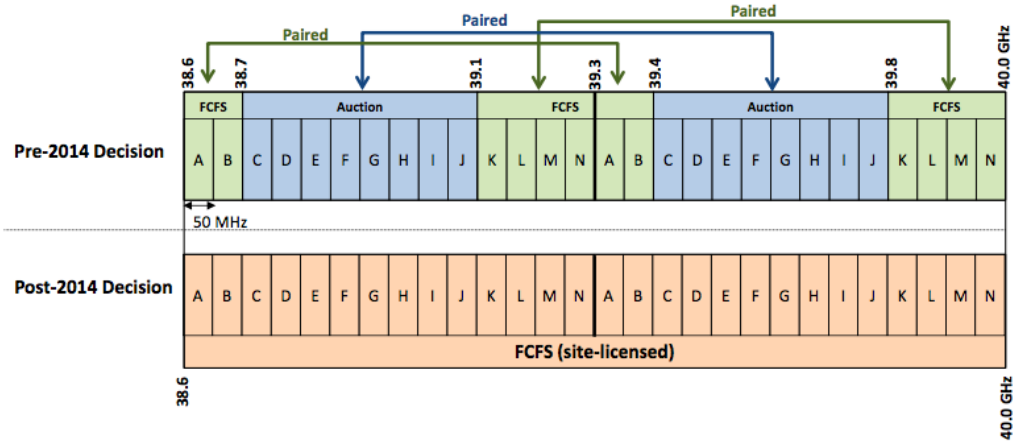


圖 7- 37：加拿大 38.6-40GHz 頻段既有分配示意圖

- 對 Tier 3 執照經營者的處置

當加拿大業者在 2014 年提出執照更新時，當局已決定單獨核發「特定地點站臺執照」是善加利用高頻頻譜最有效且一致的方法，因此未來，既有執照並不一定能在 10 年效期之後再次更新。此頻段的頻譜將發展為不區分固定或行動這兩種業務的彈性許可流程，為業者提供更大的靈活性，以便他們合適的部署和調整其網路。在從固定許可轉向彈性使用的過程中，ISED 正在考慮在現有 Tier 3 執照的 10 年效期結束時處理的兩種選擇：

- 第一種選擇是根據新的頻段計劃將 Tier 3 固定業務許可執照轉換為較少頻譜的彈性使用許可執照。現有的許可執照是根據目前頻段規劃所發放，即 50 MHz 的配對頻塊（見上圖 7- 37），不符合諮詢文件的新頻段規劃（見圖 7- 36）。因此，如果 ISED 決定將現有 Tier 3 地區許可執照轉換為彈性使用許可執照而不更改當前許可的頻塊，則某些彈性使用區塊將被部分佔用，使可用於未來潛在新許可的區塊數量減少。 鑑於彈性使用許可執照預計將比固定使用許可執照更有價值且需求更大，因此減少指配頻譜數量有其道理。ISED 可在執照期結束時頒發新的較少頻譜的許可執照。新的頻譜量可以通過使用當前量的百分比來確定。

- 第二種選擇是在許可期限結束時，只針對當前正在運行的站點頒發特定站臺執照。

- 對於既有的網格單元和特定站點執照之處置

這類執照是採用先到先用的原則，每年核發一次。這個發照方法能促進頻譜的有效利用，因為許可執照僅針對許可執照持有經營者打算部署的區域或站點發放。此外，**由於每個發射基地台的具體位置是已知的，因此這些許可執照業者可以與未來的彈性使用許可執照持有者進行相對直接的協調。**

首先，考慮到未來頻率協調可能更加有效率的可能性（通過預期的技術能力提高和許可執照有限的地理區域），ISED 允許既有許可執照持有者繼續在該頻段內運行，同時免受新的彈性使用許可執照持有者的干擾。 **新執照經營者必須與既有執照經營者進行協調，透過在其周圍佈建其站臺或其他方法來解決雙方的干擾問題**。這個方法，能提供新業者使用 5G 頻譜，同時也對既有經營者影響最小。此外，鑑於該頻段技術的預期能力，這種方法在技術上可能是可行的。然而，這也可能嚴重限制 5G 只建置在主要城市區（網格單元的 88%和特定地點的許可執照在六個最大的城市地區營運）。

第二種方法是允許既有執照業者繼續以作為該頻段次於彈性使用執照業者的方式運作。這種方法不能保護既有執照業者免受新的彈性使用系統造成的干擾，但可以讓他們繼續運行，建議在此選項下，**新業者必須至少在其 5G 系統部署到該特定區域之前一年通知該區域既有業者**。

ISED 針對以上各項規劃也在逐項尋求公眾意見中。

(三) 執照管理與規範義務

1、 執照架構

ISED 於 2018 年 6 月釋出對於 3500MHz 的諮詢文件中，針對頻段規劃、干擾處理，既有經營者之移頻過渡計劃 (已於前幾個章節中介紹)，以及發照時機做出規劃建議。

ISED 建議 3500 MHz 的執照架構採取加拿大既有的彈性使用執照，並允許不同的服務在該頻段與無線服務共存。彈性使用執照之定義，即為不限定執照業者只能提供行動網路或是固定網路，執照業者擁有自行決定要提供甚麼服務、混合使用之彈性。

在發照時機上，ISED 認知到 3500 MHz 頻段是許多國家 5G 網路的關鍵頻段之一。預計該頻段將成為首批在加拿大推出 5G 技術的頻段之一。ISED 認識到行業的目標是在 2019-2020 時間框架內提供 5G 移動設備，ISED 同時需整合其他頻譜發照時間，包括 600 MHz 和毫米波段，以及在 3500 MHz 頻段部署行動業務的時機，其整個將對無線產業競爭格局所產生的影響。

ISED 同時也需考慮於何時允許現有企業將 3500 MHz 頻譜用於行動業務。許多被許可人已經在獲得授權的 3500 MHz 頻段部署了 LTE 系統，一旦獲得執照授權，便可利用其現有設備中的行動功能。但若 ISED 先向現有企業發放彈性使用執照，那麼現有企業將具有顯著的競爭優勢，因為他們將有機會比 3500 MHz 頻段的未來競爭對手更快地部署移動服務。因此，ISED 提議對既有經營者與新業者同時發放彈性使用執照。允許每個被許可人同時進入市場，以期為加拿大的利益創造最大化競爭的條件。

另外，ISED 在 2017 年的 5G 頻率釋出諮詢文件中，打算將適合 5G 發展的 28GHz 及 27-40GHz 規劃為彈性地面業務執照來發照，並開放給業者自行決定提供行動或固定或混合服務。該執照並開放可轉讓、分割及再授權。

一般而言，依照適用於特定許可執照的法規許可框架並取得 ISED 的批准，拍賣獲得的許可執照之全部或部分（可劃分）可在頻寬和地理範圍內轉讓給合格的對象。允許次級市場獲得頻率使用權，可以提高市場的整體效率。具體而言，它允許公司在政府干預有限的情況下就商業安排進行談判，從而最大限度地依賴市場力量，這是加拿大頻譜政策框架的關鍵指導原則。

此外，2013 年 6 月，ISED 發布了「商用移動頻譜執照轉讓、分割及再授權框架」，採取了支持競爭的其他措施。該框架對執照業

者提供了關於如何審查頻譜許可轉讓的指導，規定 ISED 需分析業者請求的許可轉讓所導致的頻譜集中水平變化等因素。

對於 28 GHz 和 37-40 GHz 頻段內地面業務釋照方式， ISED 考慮不同類型的頻譜釋出方式來因應可能發展的各種不同技術、應用和商業案例。以下是 ISED 就目前各種頻譜執照方式的簡要分析，包括它們在部署 5G 技術方面的優勢和劣勢：

(1) 免執照頻譜

免許可執照使用頻譜可能有助於各行業對頻譜的近用，因其進入門檻較低，包括沒有收費，並且監管負擔一般較低。然而，這種方式在候選的部分頻段中將會非常具有挑戰性。以下是幾點問題：

1. 共享頻譜的頻段中，恐難以與衛星地面站進行協調。
2. ISED 並不管制免執照射頻設備，因此，如果沒有補充機制（例如使用數據庫或內置於免許可執照設備的協議），與衛星地面站共存將是不切實際的。
3. 加拿大市場相對較小，目前沒有其他國家允許在這些頻段中，在無協調機制的情況下允許免許可執照的營運或取得頻率。這可能會使製造商面臨具有挑戰性的商業案例。
4. 鑑於加拿大與美國的距離很近，越過邊界的免許可執照設備的激增可能會造成干擾挑戰。

加拿大關注到美國 37-37.6 GHz 頻段正在考慮動態資料庫機制，受益於北美地區的同一設備生態系統，可能允許採用類似方法的免執照操作。動態資料庫機制可以提供更多的機會方法，例如，只有正在發送/接收的當時，對於頻段的使用才會被允許。 一旦用戶停止發送/接收，另一個用戶將有機會使用該頻段。 在動態資料庫方法下，與其他用戶的協調也需以動態的方式進行。 動態資料庫方法可以提高頻譜的總體有效使用率。因此，ISED 的初步看法是，37-37.6 GHz 頻段內的動態資料庫機制可能是可行的，而在 28 GHz 和 37.6-40 GHz 頻段內，如上所述，則可能更具挑戰性。

(2) 執照頻譜

若採執照頻譜方式來利用 5G 毫米波頻譜，加拿大目前有三種可選擇的發照方式：1. 特定地點的無線電臺許可執照。 2. 業者定義區域之頻譜使用許可。 3. 預先定義服務區域之頻率競標。

- 無線電臺許可：允許申請人根據自己的業務計劃申請一個確切位置的許可執照。許可執照通常是通過先到先用的方式在這種方式下核發的。 鑑於毫米波頻譜傳播的距離較短並且再利用頻譜的能力已提高（例如透過波束成形技術），這將容納更多許可經營者相對上更加彼此靠近地操作。 但是，無線電許可執照無法為被許可方擴展其網路提供很大的靈活性，因為它們必須每個特定基地站點一個一個的申請許可執照。

- 業者定義區域之頻譜使用許可：通過網格單元許可方法(Grid cell licensing)來運作。申請人先確定其服務區域，該區域盡可能貼近頻譜的網格。 然後，ISED 再授與這些申請人與頻譜網格單元覆蓋區域相匹配的服務區域。這種定義服務區域的方法允許在特定區域使用一個特定的頻段，來使用在特定的業務專案上，而不需授與申請人不打算使用的大面積區域。 這種方法通常也用於以先到先得的方式進行許可。

- 預先定義服務區域之頻率競標：ISED 使用基於加拿大統計局人口普查部門和分部門連續分組的預定義服務區域。ISED 建立了四層服務區，所有這些都覆蓋了加拿大的整個地理區域。 第 1 層（Tier 1）是一個單一的國家服務區。 第 2 層（Tier 2）覆蓋全加拿大的 14 個大型省級服務區。 目前有八個第 2 層服務區，包括安大略及魁北克省。 第 3 層（Tier 3）是 59 個較小的區域服務區域，第 4 層（Tier 4）是

172 個地方服務區域。 預先定義許可區域是競標許可過程所必需的。

ISED 認為，較小的許可區域可能更適合毫米波頻譜的傳播特性，及地方或區域性業務專案所需。此外，較小的區域也能較彈性的符合某些特定業務專案需接取頻譜的需求，更便利的提供給新進入者和小型經營者。與網格單元和特定站點許可相比，較具規模的許可區域可使業者在部署時取得更大的靈活性。 但是，相對較大的許可區域，特別是對於傳輸路徑較短的頻段，可能會導致許可區域大部分未被使用。所以，**加拿大考量大區域執照的優勢和小許可區域的使用效率之間適當的平衡，在諮詢文件中主張第 4 層執照的區域範圍，是最適合 5G 的頻譜執照**。

(3) 執照期間

ISED 目前的觀點是，採競爭過程發放許可執照的更長許可期限的好處將大於技術以不可預知的方式發展的風險。

ISED 在 2011 年 3 月發布的「加拿大頻譜拍賣框架」中，決定採用彈性方式來決定執照條款，允許長達 20 年的執照。拍賣的執照通常也具有較高的換照期望。執照期限超過 10 年，能為金融機構投資電信行業以及業界本身進一步投資開發網絡基礎設施、技術和創新帶來更大的動力。當用途不太可能改變時，更長期的條款特別適用。

28 GHz、37-40 GHz 頻段有助於部署 5G 業務。鑑於應用仍在演進，5G 標準、設備和部署計劃仍處於開發階段，ISED 認知更長的執照年限有利於吸引部署 5G 服務所需的金融投資。技術的任何發展也不可能導致另一種與規劃於此頻段之彈性使用執照不相容的用途改變。

值得注意的是，ISED 認知到當前無線技術發展速度在不斷發展，無線和動態頻譜使用等這些發展預計將有機會提高頻譜使用效率。因此，雖然長期頻譜執照可繼續優先使用頻譜，但不排除長期的未來有必要時還是會透過公眾諮詢探索該頻譜執照新的可能性。

2、釋照方式

對於 5G 的第一候選頻段的 3500MHz 目前 ISED 正在就頻譜整備進行初步的公眾諮詢，尚未做出釋照規劃，以下簡介加拿大將於明年發放的 600MHz，以及 3500MHz 的初步規劃。

(1) 600MHz

加拿大於 2017 年六月公告 5G 頻率釋出的諮詢文件後，至今尚未對該諮詢發布最終決定。除了預定的 5G 頻段外，另於 2018 年 3 月公告將於 2019 年 3 月拍賣 600MHz 執照。

加拿大對 600 MHz 頻段的規劃參考美國的頻譜規劃，ISED 並與美國合作重組頻譜，採用相同的頻段規劃。 指配 600 MHz 頻段用於商業行動，固定和廣播業務的彈性使用執照。

這次的頻段規劃包括七個共 70 MHz 的 5 + 5 MHz 成對區段，如下圖 7- 38，其中包含一個 652 MHz 至 663 MHz 的雙工間隙和一個 614 MHz 至 617 MHz 的護衛頻段，目前 4G LTE 頻率大小的最低技術要求是配對的 5 + 5 MHz。 ISED 預計這個區塊大小可與未來新的行動技術兼容，如 5G。

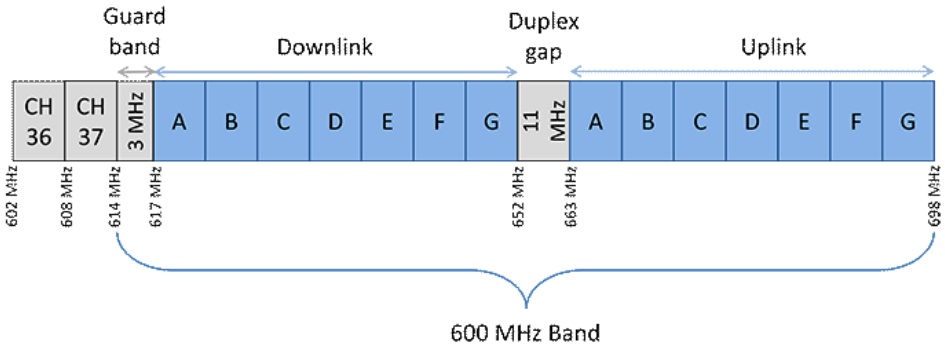


圖 7- 38：600MHz 頻段配置規劃

說明：第三十七頻道規劃用於射電天文系統(radio astronomy systems)及無線醫療遙測服務，並不作為廣播使用，因此不會造成廣播與行動通訊業務之間的相互干擾。

為促進競爭，加拿大特別規劃預留 43%的頻譜，三對 5+5MHz 給在 CRTC 登記的網路建設業者(facilities-based providers)，且該業

者非全國性的既有業者，該業者必須是在申請參與 600MHz 拍賣生效日時，仍在 Tier 2 服務區域活躍提供民眾商業電信服務的業者。

這項政策將使符合條件的業者有機會爭取預留的 30 MHz 頻率，以使他們在低頻段頻譜資源能增加到接近其他國家級業者的水平。

預留頻率程序取得的執照將不允許在執照期限的前五年內轉讓給不符合預留頻譜身份的業者。

A. 600MHz 之發照區域

所有 600 MHz 執照之執照區域皆為省級的大服務區域執照。

ISED 認為，因為行動網路有資本密集的特性，更大的地理服務區能夠部署大規模網絡，達到規模經濟。因此決定採取第 2 層服務區的省級區域執照，提供較為廣泛的區域覆蓋。

600MHz 的低頻段傳播距離長，且用戶可能在廣闊的區域漫遊。因此，為了提供連續的覆蓋範圍，移動訊號的服務區域通常較大。與較高頻率（如 2500 MHz 頻段）相比，無線電波將攜帶無線電信號的距離顯著更長。特別是對於低頻段頻譜的發照，採取較大地理區域的執照規劃，可減少相鄰業者之間所需的協調，並允許更有效地使用無線電頻譜。

B. 600MHz 之競價機制與執照年限

競價機制採用搭配廣義定理偏好揭露法則（Generalized Axiom of Revealed Preference ,GARP ）的組合價格鐘拍賣機制（Combinatorial clock auction, CCA），每回合價格增幅介於 1-20%間。

執照效期為 20 年，得標者應於執照第 5、10 及 20 年內分別證明可達到主管機關對各執照區域內人口覆蓋率之要求

(2) 3500MHz

針對 3500 MHz 頻段彈性使用執照的初步釋照規劃，ISED 主張價值發現（Price discovery）機制的重要性，並初步尋求業界意見。ISED 認為，要能透過拍賣模式及正確時機來確認拍賣物在競標者心

目中的優先順序，價格發現機制的設計在拍賣模式中扮演很重要的因素，但其軟體的建置較為費工耗時。

3、頻譜上限

基於使加拿大國民透過頻譜資源的使用獲得最大化社會經濟效益的政策目標，加拿大工業部將加拿大電信業的效率和競爭力，及消費者對電信服務的近用性和品質做為衡量的指標。

加拿大非常重視無線頻譜資源的可用性與近用自由度，其頻譜資源的移轉、分割或再授權制度已行之多年，而加拿大對商用頻譜的特許多採拍賣競標，頻譜上限的規定並非以拍賣競標文件說明，頂多在拍賣文件上規定各執照的限制競標資格。

對於頻譜上限的管制作為，加拿大並不明定上限數額，而是訂定可供檢視的準則，並由工業部針對每次的申請案進行審查。針對商用行動通信業務執照經營者之移轉、分割或再授權其頻率之行為，加拿大工業部透過「陸地服務頻率執照發照程序」（Licensing Procedure for Spectrum Licences for Terrestrial Services）明定審查執照轉讓行為及潛在轉讓行為的指導原則，並對執照控制權之轉讓加上附加許可條件，在每次審查時評估執照轉讓或預期轉讓對上述政策目標是否產生影響，分析執照轉讓或預期轉讓對頻譜集中化程度的變化，比較申請人持有的頻率總額與其他許可證業者持有的頻率數量。檢視受該轉移影響許可區域內商業行動頻譜的集中程度，以及申請人和其他現有與未來競爭者提供服務的能力消長。

審查時，加拿大工業部通常考慮以下因素：

1. 申請人及其關係企業在許可區域內持有的執照;
2. 許可區域內許可頻段和商業行動頻段內的執照持有總體分佈;
3. 頻段提供的現有和/或預期服務型態以及可用的技術;
4. 具有與該許可頻段類似特性的替代頻譜的可用性;
5. 頻譜的可用性（例如 1 GHz 以上或以下）以及許可區域內許可頻譜和其他商業行動頻段的可替代性;

6. 申請人及其關係企業部署網路的程度以及這些網路的容量;
7. 該地區的特徵，包括城市/農村地位，人口水平和密度，或影響頻譜容量或壅塞的其他因素; 和
8. 與執照轉讓或預期轉讓可能產生與政策目標相關的任何其他因素。
9. 如果業者採取協議取得頻率再授權許可，加拿大工業部也將協議的性質以及每個申請人對頻譜的計劃使用情況列入考慮。

加拿大工業部將在相關的許可區域內檢查申請人在許可頻譜範圍內和商業行動頻譜範圍內的各種頻率執照持有情況。申請人及其關係企業持有的所有執照將在執照轉讓或預期轉讓的分析中予以考慮。此外，加拿大工業部也將通過任何協議來取用頻譜的情形列入考慮，包括涉及頻譜使用的推定轉移，以及任何未決轉移（意即正在考慮或可能由預期之轉移行為產生的執照轉讓）。若許可證轉讓涉及多個執照，加拿大工業部可批准僅轉讓部分執照許可並拒絕其他執照許可之轉讓。

雖然加拿大工業部審查所有執照轉讓和預期轉讓，但大部分執照轉讓的審查結果是視為可忽略或無影響的，例如僅為實現內部重組而進行的執照轉讓 - 通常會獲得批准。

對於頻譜資源集中度的管理，加拿大基於維持開放的無線頻譜自由轉移市場平衡訂定管理審查原則，並未簡化的提出一個單一的頻率上限數額，而是透過明訂原則及執行該原則的強大主管機關團隊來審核並管理。

4、規範義務

ISED 考慮到 5G 的顛覆性質，在諮詢文件中並不先針對 5G 的規範義務做任何規劃，而是直接將此議題放在諮詢文件中請業者提出看法：「對於新的業務模式和網路應用，是否需要 ISED 的政策和監管考慮？ 請描述潛在的新商業模式和網路應用以及這些服務對加拿大人的利益。」

5、技術規範

加拿大於目前發布的 5G 頻率釋出諮詢文件並無任何關於技術規範的內容，ISED 打算審查收到的意見並公佈其對於技術和政策框架的概述，並將酌情進一步諮詢與執照架構和技術標準的相關事宜。

(四) 小結

ISED 認為 5G 技術將改變所有經濟部門的服務，包括製造業，醫療保健和運輸業。 不同的測試和演示正在國內和國際上進行。ISED 認為，5G 頻譜釋出必須能使加拿大與國際市場發展和全球無線技術的持續演進保持一致。 確保提供的頻譜反映全球趨勢，新興的 5G 標準以及預計將在未來幾年實現的設備生態系統，加拿大將自己定位於下一代智慧手機和其他先進無線設備的受益者。加拿大消費者受益於製造商為在許多國家的市場投入生產設備的規模經濟。 此外，也必須考慮加拿大國內的具體情況，包括部分加拿大人已形成對使用 3500 MHz 頻段作為寬頻固定無線接取的依賴，以及商業行動通訊服務市場的競爭動態。

ISED 已於 2018 年 3 月宣布，將於 2019 年 3 月拍賣 600MHz 頻譜，可望透過這次發照促進加國行動通信服務價格競爭，同時，600MHz 頻譜不僅有助於 5G 移動通信應用，也適合在農村和偏遠地區提供無線服務。

有鑒於產業界要求早日開放 5G 頻段的聲浪，加拿大工業部順應民意，於 2018 年 6 月公告 3500 MHz 與 3800MHz 頻段之相關整備文件，初步將 3500Mhz 規劃為 5G 主要頻段，正在尋求公眾意見。另外，也針對國際上可預期未來五年以 3650MHz-4200MHz 作為發展 5G 的主要頻段之趨勢，徵求國內業者如何最大化該頻段使用之意見。

第二節　物聯網頻譜整備與管制政策研析

一、 歐盟

(一) 政策發展近況與候選頻段更新進度

1、頻譜政策發展近況

(1) 物聯網

歐盟執委會將物聯網視為將社會與經濟數位化的必要，讓物品與人類使用者能夠透過通訊網路相連，並且回報狀態以及周遭環境。根據歐盟評估 2020 年物聯網市場產值將可達 1 兆歐元。[223]

歐盟執委會於 2015 年啟動「物聯網創新聯盟（Alliance for Internet of things Innovation, AIOTI）」，建立一個能驅動歐洲物聯網創新與產業發展的生態系統。歐盟執委會將與物聯網相關利害關係人與業者共同建立一個具競爭力的歐洲物聯網市場，並建立新的商業模式。目前 AIOTI 是歐洲最大的物聯網協會。

2015 年歐盟執委會通過「數位單一市場策略（Digital Single Market （DSM） Strategy）」，該策略主要目標之一即為推動歐洲物聯網發展，策略內容包括避免碎裂化，並增進物聯網的互通能力，讓其能發揮潛力。

為達成 DSM 策略目標，歐盟執委會於 2016 年發布升級歐洲物聯網之工作報告（Advancing the Internet of Things in Europe），內容闡述歐盟物聯網之未來願景，將以三大支柱作為支撐：[224]

- 蓬勃發展的物聯網生態系統；
- 以人為中心的物聯網方法；
- 物聯網單一市場。

---

[223] EU (2018), The internet of things, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/policies/internet-things (last visited: 2018/6/13)

[224] EC (2016), Staff Working Document: Advancing the Internet of Things in Europe, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/staff-working-document-advancing-internet-things-europe (last visited: 2018/6/20)

2017 年 1 月歐盟執委會提出的歐洲數據經濟（European data economy）措施有助於建立歐盟物聯網單一市場。相關措施提出對於歐盟境內數據自由流通的政策與法律解決方案，以釐清複雜環境下物聯網使用的相關議題。為了更進一步刻劃新興數位技術的發展脈絡，歐盟執委會後續於 2018 年發布對於新興數位技術之工作報告。[225]同時也建立物聯網研究與創新專案計畫。

(2) 車聯網

歐盟執委會認為，智慧交通運輸系統（Intelligent Transport System, ITS）對於提高安全性以及解決歐洲不斷增長的廢氣排放與交通堵塞問題至關重要，因此藉由各種資訊與通訊技術應用在客運及貨運用途時，將可確保更安全、有效且穩定的運輸服務。ITS 將是確保交通運輸部門工作與成長的關建，為了提高效率，有必要在歐盟境內實現一致且適當的協同作業。

因此，歐盟執委會積極推動與各會員國、產業與公共機構合作，找到可處理不同運輸瓶頸的共同解決方法，歐盟執委會也藉由財政機構補貼，支持 ITS 的各項創新。執委會目前已經再處理下一代 ITS 解決方案的誕生，其中，發展協同式 ITS（Cooperative-ITS, C-ITS）將是重點基礎，方能為將來交通領域自動化帶來實現之契機。C-ITS 將允許系統間以無線通訊技術有效交換數據，讓車輛、道路基礎設施及其他道路使用者相互連線、溝通。[226]

(3) 無人載具（無人機）

---

[225] EC (2018), European Commission Staff Working Document: Liability for emerging digital technologies, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-commission-staff-working-document-liability-emerging-digital-technologies (last visited: 2018/6/20)

[226] EU (2018), Intelligent transport systems, available at: https://ec.europa.eu/transport/themes/its_en (last visited: 2018/11/2)

歐盟執委會對於無人載具運作的監管，主要基於 2015 年歐盟航空策略（2015 EU Aviation Strategy）架構，具以確保無人載具的安全使用，並建立產業的法律確定性，此一架構依考慮隱私、數據保護、安全性、責任和保險以及和環境相關的問題。[227]

歐盟執委會認為，無人機將為歐洲社會利益帶來廣泛的影響，包括應用在環境控制、安全，以及各種創新商業服務，可以帶來明顯的經濟節省及環境效益，同時也能降低人類生命安全風險。

2、 實驗案例發展

歐盟在 2014-2017 年期間，投資將近 2 億歐元在物聯網相關研究、創新與發展實驗。在歐盟展望 2020 研究創新專案（Horizon 2020 Research and Innovation Programme）中，總共規劃了五項大型物聯網實驗先導案，預計投入 1 億歐元，從 2017 年 1 月開始應用於下列領域：[228]

- 年長者幸福社會的智慧生活環境；
- 智慧農業與食品安全；
- 穿戴式裝置的智慧生態系統；
- 歐盟城市的示範區；
- 聯網環境下的自駕車。

藉由相關大型物聯網宣導案，歐盟希望能協助物聯網相關技術的測試與實驗，該類先導計畫預計將可加速跨產業之物聯網技術標準訂定，同時也會探討包括隱私與資安、商業模式、可用度以及其他對法律與社會帶來挑戰的相關議題。

[227] EU (2018), Unmanned aircraft (drones) , available at: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/uas_en (last visited: 2018/6/21)
[228] EU (2018), Research & Innovation in Internet of Things, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/research-innovation-iot (last visited: 2018/6/13)

3、頻譜使用狀態

(1) 物聯網

RSPG 於 2016 年 11 月發布對於物聯網（包含 M2M）頻譜使用觀點之看法，對於物聯網之頻譜使用提出以下建議：[229]

- IoT 為多樣化，包含多個應用程式與運作規範，因而沒有一種可適用於滿足整體使用案例之單一解決方案，其所需技術差異很大，包括傳輸速率、可靠度、範圍以及輸出功率；
- 物聯網需求已經大幅增長，目前有多種頻譜解決方案可滿足不同使用案例，然而，對於物聯網應用的持續成長，導致對於頻譜接取的需求持續增加，儘管所需的頻譜數量與類型會依運作案例之需求而有差異，RSPG 將持續檢視物聯網頻譜需求的演進，特別著重 1GHz 以下頻段；
- RSPG 認為，目前尚無需要對物聯網核配指定頻段，可以透過不同型態方式獲得物聯網頻譜接取，包括透過技術協調之方式，讓物聯網得使用所需頻譜資源，也可以透過特定執照許可制度、或允許跨會員國之頻譜接取。
- RSPG 對於當前產業對以免執照方式接取 800-900MHz 之要求，建議採取短距離設備頻譜協同一致之措施，來解決頻段內不同物聯網應用的需要，例如智慧讀表與智慧家庭應用等。優先指定於既有免執照頻段，讓該頻段能達到經濟規模與全球協同一致。要於該類頻段施行相關政策時，需考慮對於頻段內其他使用者的需要以及保護，例如政府公用或鐵路專用通訊等，必要時可能要採取適當的監理措施，例如某些會員國對特定應用採取專用執照許可架構；

[229] RSPG (2016), A spectrum roadmap for IoT: Opinion on the spectrum aspects of the Internet-of-things (IoT) including M2M, available at: https://circabc.europa.eu/sd/a/a0faa1a5-ca41-42c3-83d5-561b197419b0/RSPG17-006-Final_IoT_Opinion.pdf (last visited: 2018/10/12)

- 對於新興技術而言，具備全球經濟規模將是重要的，歐洲可藉由頻段被廣泛區域採用而獲益，包括短距離設備、低功率廣域網路，以及行動通訊服務（包含 5G）等使用頻段；
- 新型態應用如區域超高可靠專用網路（智慧醫療、智慧工廠以及公用事業）等將會設定新的物聯網協同使用條件。專用行動網路(Professional mobile radio networks, PMR）與公用事業使用者將會持續需要頻譜資源，包含對創新技術之需要等；
- 各會員國的協同合作將可提升經濟規模，例如，對於衛星物聯網數據收集的機會，將可補充地面無線物聯網的應用，進而使整體物聯網生態系統獲益。目前已有來自產業對於 800-900 MHz 協同活動之提案；
- RSPG 建議歐洲物聯網頻譜接取發展路徑應能反應不同的使用案例與情境，若欲採取更進一步的頻譜協同與介入，應審慎以待，此一措施並非沒有成本，要考量到不同會員國的國情。不過，可以藉由共同聚焦於路徑圖內的頻段，促進更進一步的規模經濟，尤其是對目前只能在各會員國境內使用之頻段。RSPG 設計之物聯網頻譜接取路徑圖如下圖 7- 39。

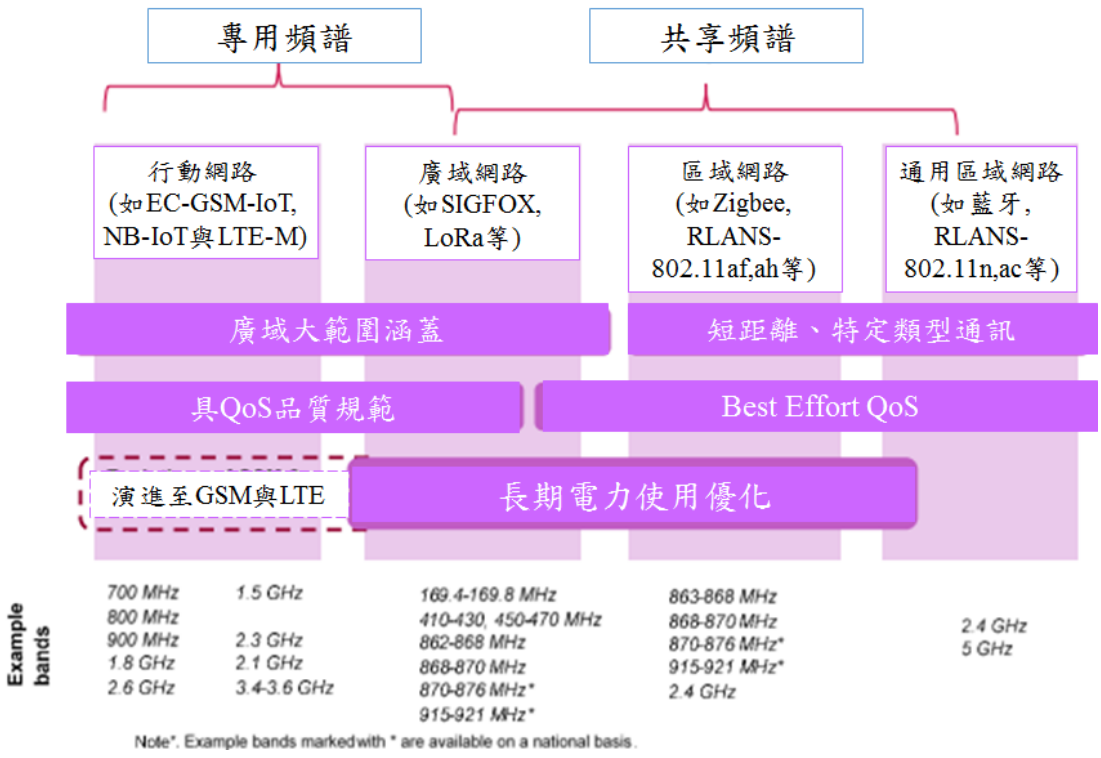


圖 7- 39：RSPG IoT 頻譜接取規劃路徑

- 對於物聯網頻譜接取的規管制度，RSPG 建議採用一般許可與個別許可之互補性執照制度，因為目前沒有一個適合物聯網的單一執照許可制度，以及能滿足所有物聯網頻譜需求的單一技術條件。
- 物聯網包含比當前行動通訊網路更多的應用及使用案例，不過，未來有些新的物聯網案例將由 5G 驅動，因為部分物聯網特定功能於 5G 設計之初即被納入考量，其功能包括網路切片、低耗能以及可擴充性。
- 經核配或認可應為電子通訊服務（Electronic Communication Service, ECS，此處指行動網路）使用的頻譜，可作為新興物聯網應用與服務使用。依循技術中立原則，應確保現有協同技術整合方案能符合物聯網的需求，因此，RSPG 指出 ECC 正在評估現有 ECS 協同頻譜之技術條件，是否能適用於 NB-IoT、LTE 的物聯網應用以及寬頻物聯網使用；
- 讓物聯網利害相關人了解其獲得頻譜資源的選項，將會是主管機關的另一個挑戰，特別是因為物聯網其多樣化的本質，利害相關人可能不熟悉頻譜管理機制、頻率之取得以及可用條件等。RSPG 會員國將從物聯網的角度考慮其頻譜管理框架，尋求解釋物聯網頻譜接取的機會。

(2) 車聯網

RSPG 於 2017 年 2 月發布對於智慧交通系統（Intelligent Transport System, ITS）頻譜使用觀點之看法，對於智慧交通系統之頻譜使用提出以下建議：[230]

[230] RSPG (2017), Opinion on spectrum aspects of Intelligent Transport system, available at: https://circabc.europa.eu/sd/a/b30590d7-5190-480b-b1d1-def24719e061/RSPG17-008-Final_opinion_ITS.pdf (last visited: 2018/6/13)

- 5875-5905MHz 頻譜設計應用於與安全相關之智慧交通應用，雖然並非採排他性專用的方式分配頻譜，但該頻段的協同一致，是歐盟智慧交通系統與安全類智慧交通應用能否穩健發展、持續布建的關鍵。
- 5875-5905MHz 的頻譜核配將採技術中立，RSPG 不會從頻譜監管的角度來決定業者選擇哪種技術。不過，RSPG 觀察到不同 ITS 技術間的共存並未獲得保障，在同頻段中使用不同的 ITS 技術，可能會影響其運作安全性與穩固性。RSPG 認為，確保 ITS 同頻共存、互通與跨境間的運作，特別是與安全相關的 ITS 應用，應屬重要。因此，RSPG 請歐盟執委會審慎考慮是否採取確保 ITS 設備間互通的必要措施，以及建議歐洲相關技術標準組織應制定 ITS 技術間共存與互通的操作規則。
- RSPG 認為，現階段尚無證據顯示頻譜議題限制了 ITS 的發展，因而無立即採取相關措施的必要。不過，有鑒於 ITS 政策與標準化發展的趨勢，故 RSPG 建議對於與安全相關應用的頻譜資源，其使用頻寬應擴張為 20MHz，至於非安全相關應用的頻譜，則維持現階段 20MHz 以下頻寬的設計。隨著 ITS 技術的演進以及通訊類列車訊號控制（Communication Based Train Control, CBTC）逐漸導入於 ITS，因此可能會限制其他對該頻段潛在使用的機會，有必要持續觀察後續發展。
- 考量到 ITS 未來的潛在使用需求，RSPG 建議假設要變更 5855-5875MHz、5875-5905MHz 以及 5905-5925MHz 頻段與其相鄰頻段的使用時，應考慮對現有與未來 ITS 應用的影響。
- RSPG 認為，行動網路未來也可能提供 ITS 服務之用，特別是透過 5G 的功能。
- RSPG 指出，63-64GHz 頻段適合分配給 ITS 使用，讓 ITS 運用該頻段發展和布建相關應用。RSPG 同意對於該頻段應以共享方式使用。

(3) 無人載具（無人機）

歐盟執委會對於無人載具運作的監管，主要基於 2015 年歐盟航空策略（2015 EU Aviation Strategy）架構，具以確保無人載具的安全使用，並建立產業的法律確定性。[231]

至於無人載具使用的頻譜資源，歐洲電子通訊委員會（Electronic Communications Committee, ECC）則訂定無人機技術與規範報告（ECC Report 268）。根據 ECC 引述 ADCO 於 2015 年上半年市場調查指出，訊號控制連線約有 84%使用 2.4GHz 頻段，部份有影像傳輸能力的機型則使用 5.8GHz 頻段。[232]

(二) 執照管理與規範義務

1、 執照架構

(1) 物聯網

RSPG 於 2016 年 11 月發布物聯網（包含 M2M）頻譜使用觀點，報告中對於物聯網之執照架構使用提出以下建議：[233]

- 部分頻段應用於物聯網使用時，不需使用個別執照制度，可透過一般執照許可制度取得，但必須符合定義之技術條件。該類頻段是以不受保護且必須忍受其他業務干擾之方式使用，因此通常會採低功率設備。

  前揭應用於物聯網之頻譜包括：169 MHz、433 MHz、863-870 MHz、2400-2483.5 MHz、5150-5350 MHz 以及 5470-5725 MHz。

---

[231] EU (2018), Unmanned aircraft (drones) , available at: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/uas_en (last visited: 2018/6/21)

[232] ECC (2018), Technical and Regulatory Aspects and the needs for Spectrum Regulation for Unmanned Aircraft System (UAS), available at::https://www.ecodocdb.dk/download/efbd2f57-f227/ECCRep268.pdf (last visited: 2018/6/21)

[233] RSPG (2016), A spectrum roadmap for IoT: Opinion on the spectrum aspects of the Internet-of-things (IoT) including M2M, available at: https://circabc.europa.eu/sd/a/a0faa1a5-ca41-42c3-83d5-561b197419b0/RSPG17-006-Final_IoT_Opinion.pdf (last visited: 2018/10/12)

使用 Wi-Fi 與藍牙等技術，特別適合用於消費型物聯網設備，例如健康、身型追蹤、穿戴式裝置以及智慧家庭設備，這些低延遲通訊不會有很高的需求，同時運作的範圍較短，例如採用藍牙、IEEE 802.11 ah、IEEE 802.15.4、ZigBee、Z-Wave 等方式，另外長距離通訊（低功率廣域網路）則包括有 SIGFOX、Weightless、Ingenu、LoRAWAN 等技術。

- 另外，也有部份頻段採個別執照許可制方式，例如：
  - 核配給公眾行動網路的頻譜資源（如 2G、3G、4G 及 5G）；
  - 核配給專用行動網路（PMR）的頻譜資源；
  - 核配給固定通訊服務的頻譜資源（如無線市內用戶迴路、微波）；
  - 核配給衛星服務的頻譜資源。

RSPG 在考慮適合以一般許可制規管之物聯網頻譜資源時，主要考量對以下頻譜之整備措施，包括：

- 找尋可放寬物聯網使用 862-868 MHz 技術條件，並另外提供使用 870-876 MHz 以及 915-921 MHz 的機會；
- 開放物聯網使用 1900-1920 MHz 的機會；

若以個別執照制度適用之物聯網頻譜資源，則以下業務均可用於提供物聯網服務，包括：

- 公眾行動網路（2G、3G、4G 與 5G）

  目前在歐洲核配給電子通訊網路的頻譜資源中，有很大一部份是核配給行動網路使用，相關行動網路可以使用以下 3GPP 已定義之三項物聯網技術，包括：
  - 延伸範圍之 GSM 型物聯網（Extended coverage GSM for IoT, EC-GSM-IoT）；
  - LTE 型之物間通訊（LTE evolution for massive MTC, LTE-eMTC），指升級至巨量設備通訊的 LTE 技術

（LTE MTC），該技術目前已獲得 3GPP 第 13 版（Release 13）之批准；

- 增添至 LTE 平臺運作之窄頻無線技術，用以提供低成本的巨量設備通訊（Narrowband IoT, NB-IoT）。NB-IoT 具備彈性且容易布建的優點，能夠提供數千臺設備連線之範圍，基本上採 200 kHz 頻寬，因此易於在 2G、3G 或 4G 頻段中使用。
- 目前已核配給公眾行動網路的頻段包括 700MHz、800MHz、900MHz、1800MHz、2100MHz 以及 2600MHz，前揭頻段均可用於新興 M2M 技術。

- 專用行動通訊（PMR）
  - 專用行動通訊網路之頻率，橫跨 30MHz 至 942 MHz 間，包括 80MHz、150MHz 以及 400MHz 頻段均有相關物聯網應用解決方案持續使用；
  - 透過 PMR 網路提供的常見 M2M 應用包括：
    - 關鍵任務與安全相關應用（運輸類、能源類等）；
    - 對於適用長距離，因而無法以一般許可制規管的頻譜資源，或需要更可靠的通訊品質，例如智慧電網等，需要更進階通訊以及穩定可靠系統；
  - 專用行動通訊中最適合用於物聯網與 M2M 的頻段為 400MHz，該頻段具備良好的傳播特性、具成本效益的網路覆蓋範圍、更佳的建築物訊號穿透率等。不過，若要將新技術導入該頻段，可能會面臨頻寬的挑戰，例如新技術所需頻寬達 200 kHz，而既有頻段的常用通道頻寬則為 25 kHz。
  - 另外，有些會員國正探詢以其他替代頻段應用於 PMR 之可能性，例如有些會員國考慮 2570-2690 MHz。
- 固定通訊業務
  - 許多會員國之公用事業透過彈性 M2M 點對點或點對多點系統，通常使用頻寬為 12.5 kHz、速率為 9.6 kbit/s 之

系統，固定通訊鏈路系統通常可以傳送距離為30公里或更長。

- ECC 第 215 號報告正在評估於既有頻段配置下，於護衛頻帶導入極窄頻的可能性，目標選定在固定通訊服務運作於 6-10 GHz 頻段間之中心間隔區，希望找出適合低速率或中速率使用之 M2M 系統。

- 衛星通訊服務
  - 衛星通訊平臺亦可提供物聯網與 M2M 應用，現階段在歐洲監管架構下，其可使用衛星通訊業務之多樣化頻段。

(2) 車聯網

根據 ECC 於 2008 年發布，2015 年 7 月完成修訂對於 5855-5875 MHz 應用於 ITS 之建議文件（ECC Recommendation (08)01）指出，各會員國應確保 5855-5875 MHz 用於 ITS 非安全相關應用，以支持進階型 ITS 未來發展，同時 ITS 站臺之最大頻譜功率密度應限制於每 MHz 23 dBm e.i.r.p，在傳輸功率控制（Transmit Power Control, TPC）30dB 範圍內，總功率不應超過 33 dBm e.i.r.p。[234]

此外，ECC 建議 CEPT 會員國境內，應將 5.9 GHz 頻段範圍內供 ITS 使用之頻譜資源，以 10MHz 為劃分單位，同時，允許 ITS 自由運算與使用，並無須取得個別執照。非安全相關的 ITS 應用，應以無保護且無干擾的基礎布建。

至於 5875-5925 MHz 頻段部分，ECC 於 2008 年發布，2015 年 7 月完成修訂對於 5875-5925 MHz 協同應用於 ITS 之決議文件（ECC Decision (08)01）指出，ECC 決議對 5875-5925 MHz 頻段協同應用於 ITS，此決議主要適用於 ITS 交通安全應用，希望藉由與 ITS 站臺間

[234] ECC (2015), ECC Recommendation (08) 01 : Use of the band 5855-5875 MHz for Intelligent Transport System (ITS), available at: https://www.ecodocdb.dk/download/798c1836-20c6/REC0801.pdf (last visited: 2018/11/2)

之通訊，降低交通事故與意外的數量。ECC 認為，CEPT 各組織應該指定 5875-5905 MHz 以非專用頻譜方式供 ITS 道路安全應用業務，未來應更進一步考慮指定 5905-5925 MHz 作為 ITS 頻譜的延伸用途，同時注意該頻段並無法獲得 ITS 的保護。[235]

至於 5875-5925 MHz 之相關功率規範，則與前述 ECC 對 5855-5875 MHz 之功率規範一致。

(3) 無人機

ECC 於 2018 年 2 月發布對於無人機使用頻譜之技術與規範報告（ECC Report 268），內容盤點目前無人機對於通訊頻率之需求，無人機應用使用之通訊服務，主要可分為訊號控制端與影像傳輸端，現今常見的訊號控制端通常須要 1MHz，或介於 300 kHz 與 3 MHz，同時多數透過共用頻譜方式接取。

ECC 向 CEPT 各會員國調查對於無人機使用頻譜的看法，各會員國普遍支持應對無人機頻譜設定協同一致之頻譜資源，原因包括以下：[236]

- 使用與其他應用共存的免執照頻譜，可能會增加無人機使用的風險與干擾；
- 使用免執照頻譜，將限制無人機的使用範圍；
- 透過頻譜協同一致，將可讓使用者得以擁有更廣的運作範圍，或得以跨境運作無人機；

[235] ECC (2015), ECC Deicision (08) 01 : The harmonized use of the 5875-5925 MHz frequency band for Intelligent Transport Systems (ITS), available at: https://www.ecodocdb.dk/download/b470d271-048b/ECCDEC0801.PDF (last visited: 2018/11/2)

[236] ECC (2018), ECC Report 268 : Technical and Regulatory Aspects and the Needs for spectrum Regulation for Unmanned Aircraft systems (UAS), available at: https://www.ecodocdb.dk/download/efbd2f57-f227/ECCRep268.pdf (last visited: 2018/11/2)

- 透過頻譜協同一致，將減少全球在無人機頻譜資源上各自占地為王的狀態。

基於未來各種專業無人機應用的可能性，因此 ECC 支持建立歐盟層級的規管架構，以發展無人機。

依據無人機之應用領域，可分為專業用與非專業一般使用。目前專業用無人機使用可透過行動通訊網路提供連線通訊服務，例如 4G LTE 網路，德國一個發展中的專業用無人機通訊管理系統專案，就使用 1710-1785 MHz/ 1805-1880 MHz 頻段。

至於非專業一般使用無人機，則多透過免執照頻譜 2400-2483.5 MHz 與 5725-5825 MHz 使用，該類通訊主要以共享式、未經協調之方式使用頻譜，因此必須考量干擾風險。歐洲境內之 5GHz 免執照頻譜目前並不允許無人機使用，原因在於該應用目前限定不得供航空行動服務使用。

整體而言，歐洲無人機頻譜議題仍在持續檢討中，ECC 認為，考量到未來創新無人機應用，仍有需要提供足夠的協同頻譜資源供無人機使用，不過現階段仍仰賴行動網路或使用免執照共享頻譜提供無人機通訊使用。

(三) 小結

RSPG 對於物聯網之頻譜使用，認為 IoT 為多樣化，包含多個應用程式與運作規範，因而沒有一種可適用於滿足整體使用案例之單一解決方案，其所需技術差異很大，包括傳輸速率、可靠度、範圍以及輸出功率；目前物聯網需求已經大幅增長，目前有多種頻譜解決方案可滿足不同使用案例，然而，對於物聯網應用的持續成長，導致對於頻譜接取的需求持續增加，儘管所需的頻譜數量與類型會依運作案例之需求而有差異，RSPG 將持續檢視物聯網頻譜需求的演進，特別著重 1GHz 以下頻段；RSPG 認為，目前尚無需要對物聯網核配指定頻段，可以透過不同型態方式獲得物聯網頻譜接取，包括

透過技術協調之方式，讓物聯網得使用所需頻譜資源，也可以透過特定執照許可制度、或允許跨會員國之頻譜接取。

目前歐盟對於車聯網使用頻譜，主要規範智慧交通系統得使用5855-5925 MHz，無人機使用頻譜則多以免執照頻譜為主。整體而言，歐洲無人機頻譜議題仍在持續檢討中，ECC 認為，考量到未來創新無人機應用，仍有需要提供足夠的協同頻譜資源供無人機使用，不過現階段仍仰賴行動網路或使用免執照共享頻譜提供無人機通訊使用。

二、 英國

(一) 政策發展近況與候選頻段更新進度

1、頻譜政策發展近況

(1) 物聯網

Ofcom 為提供頻譜接取來鼓勵 IoT 之投資與創新，已於 2015 年 9 月針對 IoT 服務及 M2M 應用使用 55-68MHz、70.5-71.5MHz 及 80.0-81.5MHz 頻段進行諮詢，尤其針對上述 VHF 頻段是否適合用於偏遠地區之 IoT 服務徵詢相關意見，並加以評估是否得在不影響既有使用者的情況下充分使用該頻段。

增列 VHF 頻段供物聯網使用後，英國物聯網頻段架構如下圖 7-40。

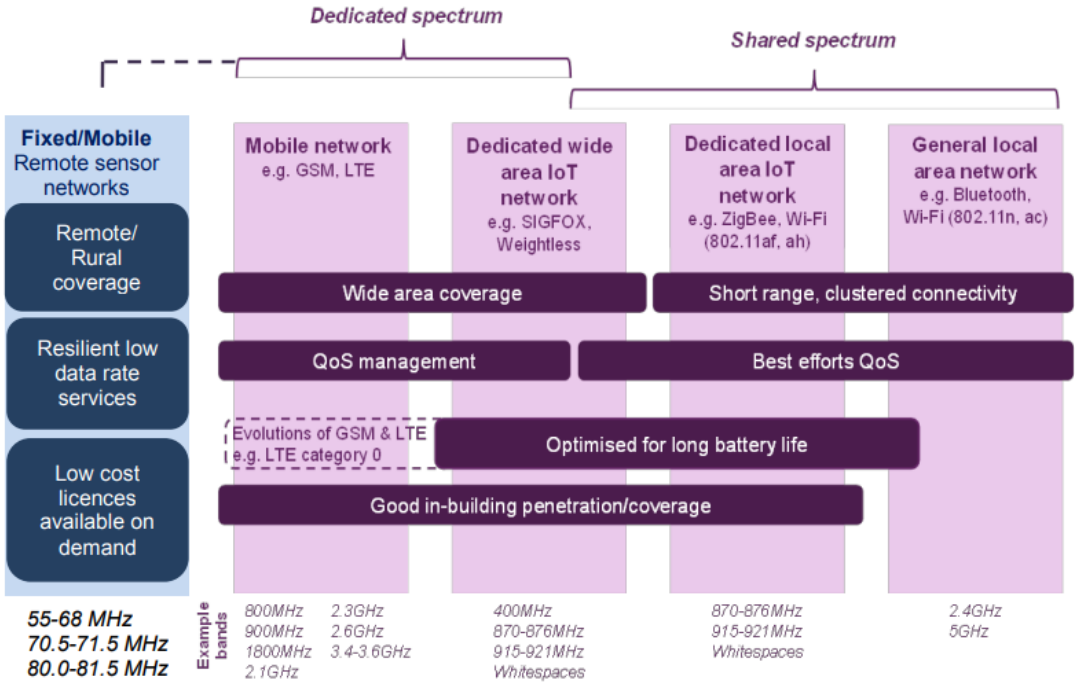


圖 7-40：英國物聯網頻譜架構

資料來源：Ofcom

(2) 車聯網

Ofcom 於 2009 年 1 月通過車輛使用之智慧交通系統（Vehicle Based Intelligent Transport System）規範，藉以呼應歐盟執委會於

2008 年通過 ITS 決策之要求，將 5875-5905 MHz 頻段核配為與安全相關之車輛使用智慧交通系統使用頻段，以達到歐盟境內頻譜和諧共用之目標。

(3) 無人載具（無人機）

在英國，為確保流通於市場內之無線電設備具安全性及防止其造成有害干擾，無線電設備包括無人機（drone）皆需依法受到管制，無線電設備須具備 Ofcom 許可或免執照之條例及條件方能使用。

英國大部分的無人機被歸屬於免執照，不需取得執照即可使用。若無人機具備得從無人機傳輸第一人稱視角（first person view, FPV）影像回傳控制裝置之功能，則可能會使用到 5.8 GHz 免執照頻段，其最大傳輸功率不得超過 25 毫瓦特（Milliwatts, mW）。無人機不得違法使用過量的功率或其他頻段，若其違反使用規定得處無限期之罰款，或且六個月有期徒刑。

A. 無人飛行載具

在英國，並無指配特定頻段於無人飛行載具系統（Unmanned Aircraft System, UAS）所使用。UAS 常見的使用頻段為 35 MHz、2.4 GHz 及 5.8 GHz。

35 MHz 被指定為模型飛行器專用頻段，但不論團體或個人使用該頻段，皆須在已知遵循嚴格頻道分配規範的環境下，才得以進行操作。由於 UAS 通常不易評估其他使用者的所在地，因此認為該頻段並不適合 UAS 運行。

2.4 GHz 為免執照頻段，用於車用無線鑰匙、家用網路及其他廣泛應用。2.4 GHz 頻段存在比 35 MHz 頻段更強的干擾，在預期 2.4 GHz 頻段有高度活動的地區，業者必須小心謹慎的使用。

此外，若設備接近於任何可能受到干擾之場域（例如雷達站），則不論所使用之頻段為何，都有可能中斷與 UAS 之連線。

B. 影像傳輸頻段

5725-5875 MHz 頻段用於非特定短距離裝置（short range devices, SRDs），包含基於非干擾及不受保護之無人飛行載具的使用及短距離室內數據之連接。5.8 GHz 子頻段常用於 FPV 影像連結，其受免執照 SRD 所規範。

SRD 的運作立基於不受保護且無干擾的情況，並得以在同一頻段或不同頻段與其他服務共用。不僅 Wi-Fi 及相關技術能與不同頻段的 SRD 共存，SRD 也得與現有使用者在同一頻段中共存。Ofcom 認為於該頻段 Wi-Fi 的授權將與使用 SRD 時一致。

此外，目前並無證據顯示 Wi-Fi 於此頻段的授權將會剝奪 FPV 無人機使用者同時使用該頻譜的能力。

C. 控制通訊頻段

控制模組設備須透過頻譜來運行，且控制模組設備不得對其他無線通訊設備造成過度的干擾。Ofcom 將控制模組設備規管執行之優先順序定義如下：

- 確保市場上沒有不符合規定的無線電設備；
- 確保遍及所有頻譜內的無線電及無線電頻段的使用皆符合執照規範（免執照規範）；及
- 透過調查並採取行動以避免非必要的干擾。

此外，飛行無人載具的使用也同時受到民用航空管理局（Civil Aviation Authority, CAA）之規管。

(二) 執照管理與規範義務

1、 執照架構

(1) 物聯網

在英國，使用物聯網頻譜不需取得執照，僅須符合相關免執照標準即可，或透過無線電信法（Wireless Telegraphy Act）之許可來取得頻譜。除了低於 800 MHz 商業無線電（Business Radio, BR）物

聯網執照外，大部份 IoT 應用皆得在免執照標準下使用；若使用 BR 物聯網執照接取物聯網頻譜，則可使用的頻段範圍為 55.75625-60 MHz、62.75625-64.8 MHz、64.8875-66.2 MHz、70.5-71.5 MHz 及 80.0-81.5 MHz。

BR 執照類型區分為三種，其一為得以使用多種商業無線電設備的技術指配（Technically Assigned）執照，得於指定範圍內使用，且使用範圍可小至一特定基站，大至全國。其執照年度費用以 25 kHz 為單位，每單位費用為 75 英鎊；其二為區域性（Area Defined）執照，核配專用頻段給執照持有業者，執照範圍得以橫跨 50 平方公里甚至整個英國；第三種則為輕度執照（Light Licence）。

Ofcom 於 2015 年 9 月諮詢物聯網使用 55-68MHz、70.5-71.5MHz 及 80.0-81.5MHz 頻段時，一併澄清既有 BR 執照的設計並非僅能用於語音通訊，而不適用於 M2M 與 IoT 應用之誤解，並針對 IoT 及 M2M 服務設計新的許可文件徵詢意見。針對此次諮詢，Ofcom 已於 2016 年 3 月 23 日發布的聲明中表示，新的執照規範產品主要用於取代現有的 BR 產品並新增 M2M 及 IoT 相關應用。

Ofcom 認為即使鼓勵新興物聯網使用 55.75625-60 MHz、62.75625-64.8 MHz、64.8875-66.2 MHz、70.5-71.5 MHz 及 80.0-81.5 MHz 頻段，仍能有足夠的頻譜滿足 VHF 範圍中 BR 的需求。

BR 執照在 IoT 服務及 M2M 應用的使用上分為三種類型，分別區域性執照、技術核配執照及輕度執照。其中，輕度執照（Business Radio Light Licence）又分為三種型態，說明如下：

A. 單一基站（Simple Site）輕度執照

授權執照持有業者得以在小地理區域（通常為 1 公里或更小）的基站及行動基站使用無線電系統。Ofcom 並非分配特定頻段給執照持有業者，而是執照持有業者與其他持有相同執照者共享或自行協調使用各種頻段。執照費用為每五年 75 英鎊。

B. 英國國內（Simple UK Light）輕度執照

授權業者得於英國任何地方使用手攜式或行動無線電設備，但不得使用基站。執照持有業者得使用分布於四個商用無線電頻段之15個頻率，如表7-46所示，且同樣需與相同的執照持有者進行協調使用各頻段。執照費用為每五年75英鎊。

表 7-46：英國國內輕度執照可使用之頻率（頻寬為 12.5 kHz）

VHF Low Band	VHF Mid Band	VHF High Band	UHF Band 1
77.6875 MHz	164.0500 MHz	169.0875 MHz	449.3125 MHz
86.3375 MHz	164.0625 MHz	169.3125 MHz	449.4000 MHz
86.3500 MHz		173.0500 MHz	449.4770 MHz
86.3625 MHz		173.0625 MHz	
86.3750 MHz		173.0875 MHz	

資料來源：Ofcom[237]

C. 設備供應輕度（Suppliers Light）執照

授權業者得以供應商業無線電及海運等相關設備之服務及維修等。執照持有業者也同樣得與其他持有相同執照者共享或自行協調使用各種頻段。執照費用為每五年75英鎊。

(2) 車聯網

Ofcom為放寬涉及安全之車載智慧運輸系統（Intelligent Transport Systems, ITS）應用的管制，於2008年11月11日發布公眾諮詢文件徵詢各界意見[238]，並於2009年1月23日針對車載智慧運輸系統發布2009年無線電信（免除）規則之聲明文件[239]，此次聲明僅

[237] https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0036/79965/br_simple_uk_licence_templa1.pdf
[238] https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0020/37082/main.pdf
[239] https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0021/45840/statement.pdf

免除涉及安全之車載ITS應用執照，但其他涉及安全之ITS基礎設施及其他非車載設備仍受2006年無線電信法（Wireless Telegraphy Act 2006）第 8（1）條所規範，Ofcom 將根據法規命令（Statutory Instrument, SI）2009/11的要求發放非獨占性（non-exclusive）執照。Ofcom 所訂定之 ITS 規則旨在支持歐盟電子安全之提倡（*e*Safety Initiative），其目的為降低每年道路死亡事故的數量。

ITS 為運輸輔助服務之統稱，ITS 透過商業服務來減緩交通事故的發生，包含所有在車與車之間，以及車輛與任何路邊基礎設施間通訊之設備。涉及安全之 ITS 應用包含協同碰撞預警（Cooperative Collision Warning）、施工區域預警（Work Zone Warning）、緊急車輛接近預警（Approaching Emergency Vehicle Warning）、違反交通號誌預警（Traffic Signal Violation Warning）、緊急車輛號誌先行（Emergency Vehicle Signal Preemption）、車內號誌提醒（In-Vehicle Signage），及道路狀況預警（Road Condition Warning）等。

Ofcom認為應當立即免除涉及安全之車載ITS執照，由於車輛間的傳輸量遠低於基礎設施的傳輸量，且無相互協調之需要，因此涉及安全之車載ITS並無須准許才得以使用之必要。且為使不同的ITS業者既得以共存，又不嚴重損及網路成效，Ofcom 認為透過基礎設施來協調使其一致的方法有其必要性，就此，Ofcom 會加以確保涉及安全之基礎設施皆遵循法規命令（SI）2009/11的要求。

同時，Ofcom 表示其已根據2008年諮詢結果於2009年1月20日完成「2009 年無線電信（車載智慧運輸系統）（免除）規則（2009年ITS規則）」，此規則於2009年2月4日生效。車載設備免執照之規定是根據歐盟委員會於2008年8月5日所發布的「涉及安全之 ITS 應用統一於 5875-5905 MHz 頻段使用無線電頻譜（2008/671/EC，「ITS 決策[240]（ITS Decision）」）」所要求。

[240] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008D0671

Ofcom 會定期檢視其無線電規則，以反映無線電通訊產業之發展，並確保社會大眾及消費者得以受益，同時得在可應用的地方以免執照的方式使用可靠的無線電應用。Ofcom 於 2011 年 4 月 7 日發布公開諮詢文件，針對多個設備包含涉及安全之 ITS 基礎設施，是否得免執照使用無線電頻譜。

Ofcom 於 2009 年發布 ITS 規則時認為涉及安全之車載 ITS 設備適合立即解除其執照許可，但 Ofcom 認為涉及安全之 ITS 基礎設施並不適合施以相同方案，應仍受英國無線電信法（Wireless Telegraphy Act 2006, WT Act 2006）所規範，以確保不同的 ITS 業者得在不受大量損失的情況下，在有效率的網路中共存。Ofcom 相信對基礎設施而言，此協調方法有其存在的必要。

歐洲郵電管理委員會（Confederation of European Posts and Telecommunications, CEPT）第 20 號報告（CEPT Report 20）針對「歐盟 ITS 安全關鍵應用的無線電頻譜協調使用」進行技術研究，報告中說明 ITS 基於頻道接取技術，在一個給定的區域中，單一頻道於同一時間點，僅有一個設備得以運行，且所有的移動及路邊設備皆於同個網路上運作[241]。若存在非單一基礎設施網路，且多個網路間沒有協調運作，則可能會出現有害干擾，進而可能導致「ITS 決策」中涉及安全之目標無法完全實現。

有鑑於此，Ofcom 建議於涉及安全之 ITS 基礎設施制定協調機制，直到其達到 EN 302 665 所規定之同等效果時，即可免除其執照許可，Ofcom 建議當無線電基站的傳輸功率於最大平均等效全向輻射功率（Equivalent isotropic radiated power, e.i.r.p）密度每 MHz 不超過 23 dBM，且最大平均 e.i.r.p.不超過 33 dBM 時，則適用免執照規範。

[241] CEPT Report 20，available at:https://www.ecodocdb.dk/download/cf30339d-ff12/CEPTREP020.PDF

Ofcom 根據諮詢結果於 2011 年 12 月 21 發布聲明文件，提出部分設備得於沒有 WT Act 2006 許可的情況下使用。包含涉及安全之 ITS 設備（包含車載與基礎設施）在 5875-5905 MHz 頻段運行，且滿足 ITS 規則[242]之要求，將可免執照使用，以降低市場進入障礙。

Ofcom 同時根據「歐盟執委會決策（EC Decision）」修改 SRD 得免執照使用頻譜之 SRD 規則，即「IR 2030：免執照的短距離裝置」，與車輛相關之規則修改包括，ITS 於此時被授權得免執照於 63-64 GHz 頻段使用，此為 SRD 新的授權頻段，雖然於英國頻率分配表（Frequency Allocation Table, FAT）中，已將該頻段於部分時間指配給道路運輸與交通通訊（Road Transport and Traffic Telematics, RTTT）所使用，但 RTTT 即為 ITS 的一種形式。以及，於現行車載雷達 24 GHz 免執照頻段，解除「僅供車載雷達使用」之限制，即解除 0.1 mW e.i.r.p.設備及設備的操作僅能使用 24.050-24.075 GHz 及 24.150 GHz 以上頻段之限制。

Ofcom 過去所實施的「ITS 決策」是根據「2009 年 ITS 規則」制定免執照 ITS 車載設備，以及須取得執照之 ITS 基礎設施。過去基礎設施的使用者在相同地點可能會產生相互干擾，因此當時這些使用者需要被執照所規範。

就此，Ofcom 考慮兩個選項，選項一為維持現況，並持續要求使用涉及安全之 ITS 基礎設施的使用需取得執照；選項二為與車載 ITS 設備相同，得免執照使用涉及安全之 ITS 基礎設施。

有鑑於歐洲協調標準（European Harmonised Standards）的制定，基礎設施系統已不再對無線電造成過度的干擾，所以 Ofcom 認為現階段得免執照使用 ITS 服務之基礎設施。因此 Ofcom 決定制定相關規範，以允許涉及安全之 ITS 設備得免執照使用，將免執照規範擴大至包含基礎設施。

---

[242]可參考 Ofcom 於其網站上所發布的「IR 2086：智慧運輸系統涉及安全之應用」。IR 反映了 ITS 規則中所規範之技術規格。

現行於 5875-5905 MHz 頻段使用涉及安全的 ITS 應用之最低規範如下表 7- 47 所示：

表 7- 47：涉及安全之 ITS 設備使用 5875-5905 MHz 頻段之最低要求

義務（1-10）		
1	頻段	5875 MHz 至 5905 MHz
2	無線電通訊服務	固定、行動
3	應用	智慧運輸系統（ITS）
4	Channeling	N/A
5	調節/已佔用之頻寬	N/A
6	Direction / Separation	N/A
7	最大傳輸功率（Maximum Transmit Power）/ 功率頻譜密度（Power Spectral density）	33 dBm e.i.r.p. / 23 e.i.r.p. dBm/MHz
8	接取頻道及職業規範	減少干擾之技術標準至少與歐洲電信標準協會（ETSI）之標準 EN 302 571 所描述的技術有等同效果，其中，EN 302 571 要求發射器功率之控制至少達 30 分貝（dB）。
9	授權制度	免執照
10	其他必要要求	N/A
相關資訊（11-13）		
11	頻率規劃假設	N/A
12	已規劃的變化	N/A
13	參考文獻	EN 302 571、EN 302 665、2008/671/EC

資料來源：Ofcom

此外，Ofcom 於 2013 年 6 月 28 日針對短距離車載雷達（Short Range Radar, SRR）發布 2013 年無線電規則之免除聲明文件，從 2013 年 6 月 30 日起將撤銷 24 GHz 車載 SSR 設備在 21.65-24.25 GHz 頻段的使用，除了在 2005 年 7 月 1 日至 2013 年 6 月 30 日期間已登記、已放置於市場上或服務中之車輛中已安裝車載 SSR 設備或正在更換已安裝之設備，仍得基於免執照而繼續於該頻段上使用，但須遵從各種條款、規定及限制。

而於 2013 年 6 月 30 日後登記、置於市場上或服務中之車輛中正在更換的設備，使用 24 GHz 車載 SSR 設備得於 24.25-26.65 GHz 頻段以免執照的形式使，同樣須遵從各種條款、規定及限制。

(三) 小結

在英國，使用物聯網頻譜不需取得執照，僅須符合相關免執照標準即可，或透過無線電信法（Wireless Telegraphy Act）之許可來取得頻譜。除了低於 800 MHz 商業無線電（Business Radio, BR）物聯網執照外，大部份 IoT 應用皆得在免執照標準下使用；若使用 BR 物聯網執照接取物聯網頻譜，則可使用的頻段範圍為 55.75625-60 MHz、62.75625-64.8 MHz、64.8875-66.2 MHz、70.5-71.5 MHz 及 80.0-81.5 MHz。

車聯網部份，英國依循歐盟規範，使用 5855-5905 MHz，其中 5875-5905 MHz 為安全性 ITS 應用。無人載具常見的使用頻段則為 35 MHz、2.4 GHz 及 5.8 GHz。

三、 美國

(一) 政策發展近況與候選頻段更新進度

1、 物聯網頻譜政策發展近況

美國政府審計辦公室（Government Accountability Office, GAO）於 2017 年 11 月提交物聯網報告給美國國會，認為 FCC 應持續追蹤物聯網服務的成長趨勢，以確保產業有充足可用的頻譜資源。[243]

GAO 的報告主要著眼於物聯網的兩項挑戰：頻譜資源的可得性與干擾管理。快速增加的物聯網設備，可能會使用大量頻寬，目前物聯網頻譜的來源包括免執照頻譜與行動通訊執照頻譜等，如下圖 7- 41。

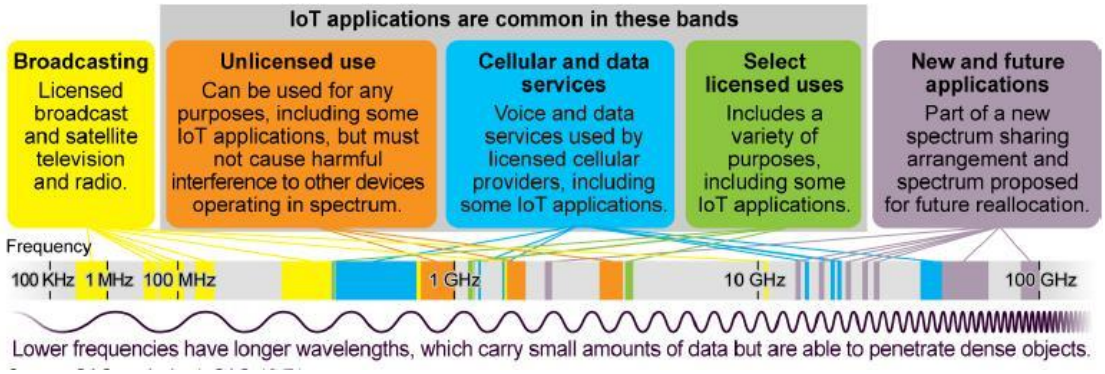


圖 7- 41：物聯網應用適用之頻譜

資料來源：GAO

若更進一步細分不同執照型態之頻譜資源，則可細分為以下三大類型：

A. 免執照頻譜

- 900MHz：適合免執照方式以低功率提供大範圍距離之物聯網，所傳輸的數據源自於類似電力或能源管理的無線設備。

[243] GAO （2017）, Internet of things : FCC should track growth to ensure sufficient spectrum remains available, available at: https://www.gao.gov/assets/690/688450.pdf (last visited: 2018/6/15)

- 2.4GHz 與 5GHz：供 WiFi、藍芽、免持電話與相關居家照護設備使用。

B. 行動通訊執照頻譜

- 600MHz、700MHz、800MHz、1.7GHz、1.8GHz-1.9GHz 與 2.3GHz：透過行動通訊網路傳輸語音與數據服務，包含文字訊息服務等。
- 28GHz：FCC 於 2016 年建立該頻段可用於行動語音與數據服務之相關規範。
- 37GHz、39GHz：FCC 於 2016 年建立該頻段可用於進階型無線通訊使用之相關規範，包括 5G 服務等。

C. 特定業務執照頻譜

- 608-614MHz、1.3-1.4GHz 與 1.4GHz：適用於無線醫療遙測服務。無線醫療遙測系統藉由設備量測重要醫療參數後，傳輸相關數據到遠端。
- 5.9GHz：聯網汽車。車輛和車輛之間的數據共享，或車輛和基礎設施間的數據傳輸共用。

GAO 的報告同時也分析 FCC 歷次頻譜整備所釋出之頻譜資源，並比較其他國家對於物聯網頻譜資源的整備狀態，最終向 FCC 主委提出兩項建議：

- FCC 應持續追蹤高頻寬物聯網應用的發展，例如影音視訊串流設備與光感測器等；
- FCC 應持續追蹤仰賴免執照頻譜的物聯網應用成長趨勢。

儘管 GAO 提出此二項政策建議，不過 FCC 主委表示，FCC 會從產業報告、新興應用成長趨勢、網路訊務量、實驗執照案例申請與設備許可流程等角度，通盤考量各項應用所需頻譜資源，確保提供必要的頻譜資源給各項創新應用服務，不僅侷限於物聯網，而包

括網際網路接取應用、訊息服務、語音通話、影音內容、緊急通訊服務與多樣創新應用。[244]

2、車聯網

目前美國車聯網主要由指定短距離通訊（Dedicated Short Range Communications, DSRC）使用，運作頻段為 5850-5925 MHz。

美國對於車聯網的頻譜政策，最早可追溯自 1997 年時，ITS America 向 FCC 請願於 5.9GHz 頻段內核配 75MHz 給 ITS 使用，特別適用於 DSRC。1998 年時，美國國會通過 21 世紀交通平等法（Transportation Equity Act for the 21st Centry, TEA-21），法令規範 FCC 與交通部協商找出可用於智慧交通系統使用的頻譜資源，同時，該法令尚指示交通部應通過 ITS 設備彼此互通的國家級技術架構，1999 年 FCC 開始探討核配 5.9GHz 頻段給 ITS 內 DSRC 使用之可行性，並訂定相關技術規範。

2003 年 12 月，FCC 發布建立 DSRC 應用於 ITS 之報告與命令文件，建立 DSRC 使用之執照服務規範。DSRC 服務涉及車輛對車輛、車輛對基礎設施之通訊，因而有助於保障旅行中公眾的安全，透過即時警告駕駛即將發生的危險情況或相關事件，讓駕駛得以採取規避措施，該頻段也用於其他商業性或私人 DSRC 通訊使用。

DSRC 設備包含車載設備（On-Board Units, OBUs）與路側設備（Roadside Units, RSUs）。OBU 主要為安裝在車輛上的接收端，在某些情況下則為可攜式設備；RSU 則為沿著道路或人行通道安裝之收發器，雖然也可以安裝在車上或以手持方式使用，不過大多在靜止時使用。RSU 會將數據廣播給 OBU，並和服務區域內的 OBU 相互通訊。

[244] FCC (2018), Chairman response regarding GAO report on internet of things, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-349011A1.pdf (last visited: 2018/6/15)

3、 無人載具（無人機）

目前美國聯邦政府國土安全部主要使用 5350-5470 MHz 頻段，作為無人機的數據與控制鏈路，應用於毒品偵測以及邊界監測行動。

FCC 目前並未針對無人載具使用頻譜制定相關規範，不過，FCC 觀察到無人機使用音訊與影音訊號傳輸的數量越來越多，基於安全考量，FCC 正向公眾諮詢相關執法建議，惟現階段 FCC 對於無人載具使用之頻譜政策尚未明朗。若無人載具欲使用頻譜資源時，多以免執照頻譜為主，包括 900MHz 與 2.4GHz 等。

(二) 執照管理與規範義務

1、 物聯網

美國物聯網應用主要採用免執照國家基礎設施（Unlicensed National Information Infrastructure, U-NII）之設備。為釋出更多頻譜資源供物聯網或創新應用使用，FCC 於 2018 年 10 月 23 日發布釋出更多免執照頻譜之諮詢文件，總計將於 6 GHz 頻段釋出 5925-7125 MHz 共計 1200 MHz 頻譜資源。該類免執照頻譜預計將可適用於布建 WiFi 與其他符合免執照標準之技術，用以提供低成本的網路連線給美國國民。[245]

由於 6 GHz 頻段尚存在其他既有業務使用，例如點對點微波鏈路，對於此一頻段，FCC 規劃讓免執照設備再透過自動頻率協調系統的輔助下，可於室內使用 6 GHz 頻段；若頻段內之既有業務為執照業者，提供廣播輔助服務（Broadcast Auxiliary Service）與有線電視中繼服務（Cable Television Relay Service）時，則免執照設備限定以低功率方式於室內使用。此一規劃開放頻段與既有業務之重疊情形如下圖 7- 42，其中應可發現 5925-6425 MHz 主要由公眾載具

[245] FCC (2018), FCC Proposes more spectrum for unlicensed use, available at: https://www.fcc.gov/document/fcc-proposes-more-spectrum-unlicensed-use-0 (last visited: 2018/11/1)

（Common Carrier）業者與固定服務業者（Fixed Service）重度使用中。[246]

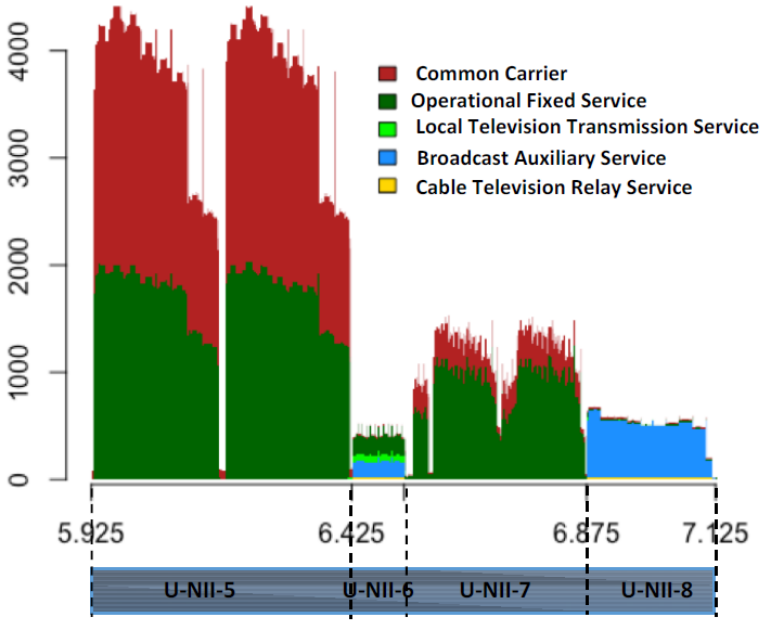


圖 7- 42：美國 6GHz 頻段核配情形

資料來源：FCC

FCC 規劃免執照頻譜使用 6 GHz 頻段之管理架構如下表 7- 48，其中，U-NII-5 與 U-NII-7 為標準功率接取，接取端設備之最大輸出功率規劃為 1 瓦，最大功率密度則為 17dBm，U-NII-6 與 U-NII-8 為低功率接取，接取端設備之最大輸出功率規劃為 250 毫瓦，最大功率密度則為 11dBm。用戶端設備最大輸出功率規劃為 63 毫瓦，最大功率密度則為 5dBm。

[246] FCC（2018）, Notice of proposed rulemaking: Unlicensed Use of the 6 GHz Band; Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum Between 3.7 and 24 GHz, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-18-147A1.pdf (last visited: 2018/11/1)

表 7- 48：FCC 規劃免執照頻譜使用 6 GHz 頻段之管理架構

頻率範圍	主要核配業務	頻段編號	使用設備
5.925-6.425	固定服務 固定衛星服務	U-NII-5	標準功率接取
6.425-6.525	行動服務 固定衛星服務	U-NII-6	低功率接取
6.525-6.875	固定服務 固定衛星服務	U-NII-7	標準功率接取
6.975-7.125	固定服務 行動服務 固定衛星服務	U-NII-8	低功率接取

資料來源：FCC

2、 車聯網

美國對於車聯網之執照架構，主要採取非聯邦專用行動通訊服務（non-federal mobile service allocation），並限定使用 DSRC 系統，提供智慧運輸系統無線服務。[247]

隨著對於 5 GHz 免執照頻段之需求擴張，NTIA 於 2013 年即開始評估將原先核配給聯邦使用之 5350-5470 MHz 以及非聯邦專用行動執照使用 5850-5925 MHz，開放供免執照國家基礎設施設備（U-NII）共用之可行性。NTIA 希望透過與 FCC、聯邦政府以及利害關係人的合作，分析不同業務共存之可能性，並透過量化分析方法，避免造成干擾。

2016 年 6 月，FCC 旗下之工程與技術辦公室（Office of Engineering and Technology，OET）發布公告，開始評估 U-NII 設備

[247] NTIA（2013）, Evaluation of the 5350-5470 MHz and 5850-5025 MHz bands pursuant to section 6406 (b) of the middle class tax relief and job creation act of 2012, available at: https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/ntia_5_ghz_report_01-25-2013.pdf (last visited: 2018/11/1)

於 5850-5925 MHz 頻段（編號為 U-NII-4）內與 DSRC 系統共用之可行性，並邀請各界提供建言，以及提交原型設備給 FCC 實驗室進行驗證，測試階段將分為三期，第一期將為實驗室內的測試驗證。

經過兩年多的時間，FCC 於 2018 年 10 月 29 日發布公告，經歷過將近 1,450 次的獨立測試，總共收集超過 100 萬筆數據，結果顯示開發出的設備，可有效偵測 DSRC 設備，藉以達到避免干擾 DSRC 設備的目標，達到與 DSRC 設備共存的可行性。

FCC 發布第一階段 U-NII-4 開發設備之相關測試數據，並將相關數據報告公布，邀請各界提供回應意見，來共商是繼續進行第二階段測試，或中止讓 U-NII 設備與 DSRC 設備共用 5850-5925 MHz 之程序。各界應於 2018 年 12 月 13 日回覆相關意見給 FCC，因此，目前尚無法得知 FCC 之最終決議。[248]

3、無人載具（無人機）

美國航天產業協會（Aerospace Industries Association, AIA）於 2018 年 2 月就無人載具系統（Unmanned Aircraft System, UAS）使用命令與控制頻道，向 FCC 請願針對 5030-5091MHz 頻段建立執照架構（Petition for Rulemaking），規範使用時應服膺之運作與技術規則，確保無人載具運作時不受通訊干擾影響，維護無人載具飛行的安全性。[249]

AIA 認為，欲使用 5030-5091MHz 頻段的業者，應向 FCC 取得個別執照，以避免互相干擾。不過，AIA 的請願受到來自各界不同的評論，例如手機電信與網際網路協會（Cellular Telecommunications and Internet Association, CTIA）於 2018 年 6 月評

[248] FCC (2018), FCC requests comment on 5.9 GHz Phase 1 testing data, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-18-1111A1.pdf (last visited: 2018/11/1)

[249] AIA（2018）, Petition for rulemaking, available at: http://www.aia-aerospace.org/wp-content/uploads/2018/02/AIA-Petition-for-Rulemaking-on-UAS-2018-02-08-FILED.pdf (last visited: 2018/6/15)

論 AIA 請願書的文件中指出，AIA 請願書中的立論並不明確，尚未達到讓 FCC 訂定相關法規修正草案之地步。僅管 CTIA 同意 FCC 應該識別有哪些頻段適合無人載具使用，但在對特定頻段訂定相關技術規範或服務規則時，應謹慎以對，避免適用於 5030-5091MHz 的相關規範，反而帶來影響其他也可提供無人載具使用頻段之後果。[250]

對於無人載具使用頻段之發展，現階段尚未取得 FCC 相關決議文件，將持續觀察後續發展。

(三) 小結

FCC 主委認為，FCC 會從產業報告、新興應用成長趨勢、網路訊務量、實驗執照案例申請與設備許可流程等角度，通盤考量各項應用所需頻譜資源，確保提供必要的頻譜資源給各項創新應用服務，不僅侷限於物聯網，而包括網際網路接取應用、訊息服務、語音通話、影音內容、緊急通訊服務與多樣創新應用，因此，現階段主要以 5G 頻譜整備作為優先對象，對於物聯網與無人載具使用頻段，相關政策仍持續檢討中。

車聯網之使用頻段，目前則持續檢討，從技術上觀察原使用頻段是否可與免執照設備共存。

[250] CTIA (2018), Reply comments of CTIA, available at: https://ecfsapi.fcc.gov/file/10613290456688/CTIA%20FCC%20UAS%20reply%20comment%206.13.18.pdf (last visited: 2018/6/15)

四、 澳洲

(一) 政策發展近況與候選頻段更新

1、 頻譜政策發展近況

(1) 物聯網

依據 2017 至 2021 年的五年頻譜展望[251]，ACMA 認為物聯網可能包含各種無線和有線個人、消費和工業的互連設備，其數量幾乎大至無法預期。物聯網不限於各種特定的技術平台，並可能使用整個頻率分配的頻譜，例如 4G 和 5G 的標準已經制定專用物聯網服務的具體規定，而且衛星服務已經投入相關服務和硬體，以支持物聯網服務。

ACMA 將持續依循 2015 年制定之促進物聯網短、中、長期發展應優先關注的四大領域[252]，以期促進物聯網的發展。四大領域包括資源分配，例如通信基礎設施所需的頻譜與電話號碼；確保網路的安全性和完整性；推動制訂設備和資訊的互通性標準；以及協助本國企業、民眾及消費者強化數位能力，俾利其有效掌握物聯網設備的人機互動及日趨複雜的數位資訊。

依據 2017 至 2021 年的五年頻譜展望[253]，ACMA 已於 2015 年完成對 803-960 MHz 頻段的檢視，ACMA 決定為這些設備提供 928-935 MHz 頻段的可用頻譜，以期儘早能透過低功率廣域網路（low power wide area, LPWA）技術接取這些頻段，並與現有的固定鏈路進行調合。

---

[251] ACMA (2017), Five-year spectrum outlook 2017–21: the ACMA's spectrum management work program, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/229627FEEE544D76A554FF9EAAA59372.ashx

[252] ACMA (2015), Internet of Things and the ACMA's areas of focus, http://www.acma.gov.au/theacma/internet-of-things-and-the-acmas-areas-of-focus-occasional-paper (last visited: 2017/6/15)

[253] ACMA (2017), Five-year spectrum outlook 2017–21: the ACMA's spectrum management work program, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/229627FEEE544D76A554FF9EAAA59372.ashx

(2) 車聯網

ACMA於早期2009年10月時，已發布智慧運輸系統（Intelligent Transport System, ITS）規劃的討論文件[254]，調查澳洲核配 5.850-5.925 GHz 頻段供協同式智慧運輸系統（Cooperative Intelligent Transport System, C-ITS）的潛在價值，以及該系統與既有用戶可能採取頻譜共享的方案。當時 ACMA 即認為在澳洲引入 C-ITS 是有價值的，但需要制定一些監管措施，以促進 C-ITS 與既有用戶的頻譜共享。ITS 涵蓋廣泛的運輸技術，包括車輛雷達和其他應用。

ACMA 收到 12 份意見回覆，所有回覆均支持在 5.850-5.925 GHz 頻段引入C-ITS。然而，既有使用者要求須確保充分實行的頻譜共享條件。另外由於國際 C-ITS 產業自 2009 年開始發展更進一步的技術與標準制定，導致延遲 C-ITS 技術的實施和採用。

在此期間 ACMA 持續觀察 C-ITS 產業在國內和國際上的發展，負責管理配置澳洲 ITS 的國家道路運輸管理協會（Austroads）於 2014 年 4 月向 ACMA 提交一份解決 2009 年討論文件中相關問題的意見，並建議重新啟動 5.855-5.925 GHz 頻段適用於 C-ITS 系統之規劃作業，因此 ACMA 於 2016 年 8 月發布澳洲 C-ITS 規管措施建議的諮詢文件[255]，該諮詢文件建議在 5.855-5.925 GHz 頻段引入 C-ITS，並採用類別執照的方式進行管理。

---

[254] ACMA （2009）, Planning for intelligent transport systems, Proposals for the introduction of intelligent transport systems into the 5.9 GHz band in Australia, http://www.acma.gov.au/~/media/Spectrum%20Transformation%20and%20Government/Report/pdf/Planning%20for%20intelligent%20transport%20systems%20Proposals%20for%20the%20introduction%20of%20intelligent%20systems%20into%20the%2059%20GHz%20band%20in%20Australia%20Discussion%20Paper%20October%202009.PDF

[255] Proposed regulatory measures for the introduction of cooperative intelligent transport systems in Australia, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/~/media/6383B3CBF78E4A4595CF035F103824F6.ashx

ACMA 在與業界進一步的磋商之後，於 2017 年 12 月 18 日制定了 2017 年無線電通信（智慧交通系統）類別執照規範[256]，並公告於 2018 年 1 月 5 日正式生效。該類別執照授權在車輛之間（vehicle-to-vehicle）、車輛與人之間（vehicle-to-person），以及車輛與基礎設施之間（vehicle-to-structure）的通信，可以採用無線電技術的發射機。

該規範授權 ITS 設備必須在大於 5855MHz，且不大於 5925MHz 的頻率範圍內進行運作，且必須符合 ETSI EN 302 571 標準；輻射功率的最大 EIRP 不得超過 23 dBm/MHz，另外 ITS 設備也不得在北緯 26°42'15”，東經 116°39'32”的 Murchison 射頻天文臺 70 公里範圍內進行運作。

(3) 無人載具（無人機）

澳洲民用航空安全管理局（Civil Aviation Safety Authority, CASA）是由民用航空法（Civil Aviation Act）授權制定，並執行民用航空相關安全規則和規定的組織。適用澳洲的民用航空相關安全規則與規定載於民用航空條例 1988（Civil Aviation Regulation 1988, CAR1988）[257]和 1998 年民用航空安全條例（Civil Aviation Safety Regulation 1998, CASR1998）[258]。

CAR 1988 和 CASR 1998 規定中特定幾個部分適用於無人駕駛飛機系統（Unmanned Aircraft System, UAS）或無人駕駛飛機（drones）。CASR 1998 第 101 條規範哪些地方、哪些人、哪些情況，以及如何操作無人載具。這些規定也適用於商業無人機操作員，以及僅將無人機用於娛樂目的的人。CASR 1998 第 101.G 條適用於純

[256] Radiocommunications (Intelligent Transport Systems) Class Licence 2017, available at: https://www.legislation.gov.au/Details/F2018L00026
[257] Civil Aviation Regulations 1988, available at: https://www.legislation.gov.au/Series/F1997B00935
[258] Civil Aviation Safety Regulations 1998, available at: https://www.legislation.gov.au/Series/F1998B00220

粹為運動或娛樂目的而操作無人機的人員，CASR 1998 第 101.F 條適用於那些為其他任何目的而操作無人機的人員。

無人載具除了必須符合上述澳洲民用航空相關安全規則與規定之外，也必須遵守 ACMA 無線電設備和頻譜配置的相關規定，另必須特別注意這些天線有符合其特定類別無線電發射機執照之有效全向輻射功率（Effective Isotropic Radiated Power, EIRP）的條件，大多數商用無人載具使用低干擾潛在設備（LIPD）進行遙測和有效負載鏈接，這些設備必須符合 LIPD 類別執照（LIPD class licence）的要求。

2、 實驗案例

(1) 物聯網

澳洲政府於 2017 年 9 月設立工業 4.0 測試實驗室網路，以鼓勵研究機構能與產業界進行合作。[259]工業 4.0 測試實驗室從三個面向希望改變澳洲工業，分別是作為工業 4.0 展示場、創新平台，以及作為研究、創新和轉型的媒介。

工業 4.0 測試實驗室可以透過工業 4.0 的技術和勞動力轉型，致力於提高澳洲製造業的競爭力，同時積極與企業、產業、學界和勞工組織進行合作，進而推廣工業 4.0。工業 4.0 測試實驗室鼓勵中小企業、學生和勞工勇於接納工業 4.0 所帶來的轉型，以在非競爭的環境中認識工業 4.0。

此外，澳洲 Telstra 也在澳洲主要城市和許多地區推出窄頻廣域物聯網網路(Narrow-Band-IoT, NB-IoT)，以加強其物聯網能力。Telstra 於 2017 年投入使用的 Cat M1 物聯網，覆蓋面積已達約 300 萬

[259]澳洲政府建立工業 4.0 測試實驗室，參見：
https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=10&id=0000511227_21w3f60j19txfy8tqtogx

平方公里。[260] Cat M1 是專為物聯網和 M2M 通信而專門設計的新型低功率廣域（low-power wide area, LPWA）行動通信技術。

Telstra 表示目前已在澳洲連接超過 200 萬個物聯網設備，並認為透過新技術的網路部署，可以推動物聯網的快速成長，Telstra 預估未來五年，其將連接四倍以上的物聯網設備。

(2) 車聯網

在南澳(South Australia)政府居中協調下，澳洲最大電信公司 Telstra 與澳洲 C-ITS 開發商 Cohda Wireless 合作，透過澳洲電信 4G 行動通訊網路，成功測試 Cohda 的防撞(Collision Avoidance)技術，在可能發生碰撞時對車輛、行人或自行車騎士發出警示。在測試中，車輛可以直接與行人及自行車騎士的智慧手機進行互動，提供車輛駕駛人碰撞偵測(Collision Detection)的預警。[261]

澳洲無人駕駛車輛倡議(Australian Driverless Vehicle Initiative, ADVI)是一個集合政府、產業及學界的合作關係，南澳政府的規劃、運輸及基礎設施部(Department of Planning, Transport and Infrastructure, DPTI)、澳洲電信及 Cohda 均為其中成員。ADVI 致力於研究、調查及協助國家無人駕駛車輛的政策發展。南澳政府於 2016 年 12 月宣布通過 1,000 萬美元的未來行動實驗室基金(Future Mobility Lab Fund)，其中 300 萬美元預計用於車聯網（Vehicle to X, V2X）的測試計畫。

澳洲電信與 Cohda 分別於 2016 年和 2017 年成功合作完程車對基礎建設(Vehicle to Infrastructure, V2I)和車對車(Vehicle to Vehicle, V2V)的測試，並於 2017 年 7 月完成車對人(Vehicle-to-Pedestrian, V2P)的測試。Cohda 指出，經由協助車輛彼此溝通，收集和綜合鄰近車輛

[260]澳洲 Telstra 推出 NB-IoT，參見：http://iot.ofweek.com/2018-01/ART-132200-8130-30190963.html

[261] 澳洲成功以 4G 網路測試 V2P 技術，參見：https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=30&id=0000509358_opo201xj65n97f7ehh1bq

及路邊基礎設施的感測器資料，車輛可以認知周遭環境狀況，並分享即時資訊，以偵測隱藏的安全威脅，並因應周遭環境的變化。

(3) 無人載具

Alphabet 旗下的創新技術研發實驗室 X 於 2018 年 7 月宣布物流無人機(Project Wing)正式實驗成功，將設立獨立的子公司，以啟動商業化服務。[262]

物流無人機專案啟動於 2011 年，由於無人機在載重和續航時間有障礙，最初的設計方案遭遇很大的挫折。物流無人機是將固定翼小型無人機當作物流貨運裝置，可以完成短距離的少量物品配送，減少物流過程中的人力需求。X 實驗室於 2017 年在澳洲測試無人機時已獲得很大的進步，主要是送貨給在行動平台下訂單的用戶，包括藥品和食物。

物流無人機專案的商業應用方向除了無人機本身，還包括無人機的操控系統，當監管部門對無人機的限制越來越嚴格，管理無人機在空中自動飛行的軟體就會產生巨大需求。物流無人機專案在測試中已經累計飛行超過 1,800 萬英里，在巴西、紐西蘭都提供網路接取服務，物流無人機也可用於災後的通訊網路服務。無人機應測試地區用戶的要求，多次應用到救援和醫療服務，例如在澳州為郊區人們提供食物、在紐西蘭為偏遠地區運送心臟除顫器，以及為維吉尼亞州的學生和教師運送午餐等。

未來物流無人機將專注於無人機配送系統，提供高效率、降低成本，以及無人操控的物流配送管理平台，以確保無人機能安全和有效的應用。

---

[262] Graduation Day: Loon and Wing take flight, available at: https://blog.x.company/graduation-day-loon-and-wing-take-flight-e23a42620131

(二) 執照管理與規範義務

1、 執照架構

依據頻譜釋照指引[263]說明，利害相關人可以透過取得頻譜執照（Spectrum Licences）、設備執照（Apparatus Licences）或類別執照（Class Licencse）來使用澳洲的頻譜。物聯網相關設備規劃主要採用設備執照和類別執照，其執照架構如下說明：

(1) 設備執照

設備執照授權在特定位置或具有特定輸出特性的設備或設備類型在特定頻譜進行運作，以提供經核准的服務。設備執照的效期最長為 5 年，設備執照持有者在這期間每年須繳交固定執照費，即為頻譜使用費。執照持有者沒有合法權利可以交易該執照，如果事先取得 ACMA 批准，執照持有者只能將該執照轉讓（出售）給其他業者。然而，因為實際上 ACMA 鼓勵執照轉讓（出售），設備執照持有者可以隨時轉讓（出售）執照。

(2) 類別執照

類別執照授權所有用戶基於頻譜共享原則，在同一個頻段中及在相同的許可條件下，運作類別執照相關設備。許可條件規定可使用的頻率，通用的設備標準，以及其他相關的技術和操作參數。由於 ACMA 不會向個人發放類別執照，所以不需要申請類別執照，也不需要支付執照費用，類別執照自動授權給所有用戶在頻段內使用無干擾及無保護的合規設備。類別執照通常用於車輛和車庫遙控器、無線電話、無線耳機、電視遙控器及 WiFi 設備等。

[263] ACMA (2018), Spectrum licensing FAQs, available at: https://www.acma.gov.au/Industry/Spectrum/Radiocomms-licensing/Spectrum-licences/spectrum_20

2、規範義務

在澳洲，類別執照（class license）是一種運作特定無線電通信設備的許可機制，類別執照所規範的設備僅可在限制頻段、共通條件下運作。任何人均可以使用符合類別執照規範條件的設備。使用者無需申請核發類別執照，也無需繳交使用費。低干擾潛在設備（Low Interference Potential Devices, LIPD）不可干擾其他無線電通訊服務，且不保證不受其他 LIPD 干擾。LIPD 用戶有責接受相關措施，以解決干擾問題。LIPD 發射機範例包括車庫開門遙控器、藍牙設備、無線麥克風和無線區域網路設備等。

物聯網通信的相關技術主要提供工業測量、交換或控制功能的設備，包括智慧型基礎設施，這些設備僅需非常低的數據傳輸，非常低的工作週期（duty cycles），並且可以在低功率廣域網路（low power wide area, LPWA）進行運作。國際上 LPWA 網路和 900 MHz 頻段的設備已有需求的市場。因此大多數物聯網設備可以使用類別執照。

ACMA 於 2017 年 12 月 18 日制定了 2017 年無線電通信（智慧交通系統）類別執照規範[264]，並公告於 2018 年 1 月 5 日正式生效，該類別執照授權在車輛之間（vehicle-to-vehicle）、車輛與人之間（vehicle-to-person），以及車輛與基礎設施之間（vehicle-to-structure）的通信，可以採用無線電技術的發射機，因此車聯網適用於類別執照。

大多數商用無人載具也使用低干擾潛在設備（LIPD）進行遙測和有效負載鏈接，這些設備必須符合類別執照的要求。

類別執照（class licence）授權所有用戶基於頻譜共享原則，在同一個頻段中及在相同的許可條件下，運作類別執照相關設備。許可條件規定可使用的頻率，通用的設備標準，以及其他相關的技術

[264] Radiocommunications (Intelligent Transport Systems) Class Licence 2017, available at: https://www.legislation.gov.au/Details/F2018L00026

和操作參數，類別執照自動授權給所有用戶在頻段內使用無干擾及無保護的合規設備。

LIPD 類別執照授權所有用戶運作各種低功率無線電通信設備在許多核可的頻段。LIPD 類別執照設定許多類型短距離設備可以運作的條件，包括運作的頻段和輻射功率限值，其他條件在必要時會進行規範。LIPD 類別執照涵蓋的設備包括車庫遙控器、家庭監控設備、擴頻設備（spread spectrum devices）和個人警報系統，這些設備不須透過單獨的頻率協調來進行干擾管理。短距離擴頻設備用於條碼閱讀器、銷售點網路（point-of-sale networks）、無線或無線電局域網路（radio local area networks, RLAN）和無線專用自動分支交換機（private automatic branch exchanges, PABX）等應用中。[265]

LIPD 類別執照設備是在不經協調的基礎上進行運作，它們與其他設備共享頻譜，透過對設備操作參數的限制，例如設備類型、輻射功率大小、運作區域和頻譜等，以管理設備之間干擾的可能性。雖然 LIPD 設備可用於商業或生命安全相關的無線電應用，但此類應用的用戶是被建議應特別注意此類執照設備的無線電運作要求，是否符合其應用需求的適用性。

如果發生干擾情況，LIPD 的使用者有責任採取必要的措施以解決干擾問題，例如透過重新調整，或停止其設備運作。一些 LIPD 有能力被重新調整，以幫助用戶避免局部干擾。

LIPD 可用於工業、科學和醫療（industrial, scientific and medical, ISM）頻段，但不受 ISM 應用的干擾保護。澳洲目前 ISM 頻段包括 13553-13567 kHz、26957-27283 kHz、40.66-40.70 MHz、918-926 MHz、2400-2500 MHz、5725-5875 MHz，以及 24-24.25 GHz 等頻段。

[265] ACMA LIPD class licence, available at: https://www.acma.gov.au/Industry/Spectrum/Radiocomms-licensing/Class-licences/lipd-class-licence-spectrum-acma

為了保護無線電天文台和太空研究地面站遭受干擾，已設定部分 LIPD 類別執照設備必須離開無線電天文台和太空研究地面站的隔離區。

LIPD 類別執照授權任何人可以依各種設備的特性，在各種設備指定的頻段內進行運作，其可運作的頻段可參考 2015 年無線電通信（LIPD）類別執照[266]附表 1 的說明，其中在第 1 欄指定可用設備，在第 2 欄設定可用頻率，在第 3 欄設定最大的 EIRP，以及在第 4 欄說明相關的限制。

3、 技術規範

(1) 物聯網

ACMA 目前將 IoT 頻譜依特性區分為專用頻譜與共享頻譜，如下說明：

- 專用頻譜包括行動網路與專用廣域網路頻譜。行動網路包括 LTE-M、NB-IoT 等網路型態，適用頻段包括 700MHz、850MHz、900MHz 與 1.8GHz 頻段等均屬於此一範疇。專用廣域網路則指 LoRA 等，適用頻段為 433/434MHz 與 915 至 928MHz 頻段等。
- 共享頻譜則涵蓋專用廣域網路、專用區域網路及一般區域網路等，其中專用區域網路如 ZigBee 等，一般區域網路則有藍牙等。專用區域網路適用頻段與專用廣域網路相似，而一般區域網路使用頻段則為 2.4GHz 與 5GHz 頻段。

目前已有許多可供 IoT 應用的頻譜資源，例如許多 IoT 應用使用免執照頻譜，業者只要符合該頻譜的技術規範要求，即可推出 IoT 的相關服務。另一個例子是使用需執照頻譜的 IoT，例如透過現有行動

[266] Radiocommunications (Low Interference Potential Devices) Class Licence 2015, available at: https://www.legislation.gov.au/Details/F2016C00432

網路執照頻率，相關應用可以結合既有的頻譜執照，在現有的頻譜監管架構內進行布建。

有鑑於 IoT 用戶類別和使用方式的巨大差異，IoT 應用的頻譜接取並無一個可廣泛適用的解決方案。IoT 趨向於需要在不同的協定範圍內接取不同的頻譜資源，從專用頻譜到共享頻譜，且可在兩者間切換。因此，ACMA 正在監督物聯網的發展，以確保所有相關頻譜配置均考慮到相關新興應用之發展。雖然促進國際頻譜協調是 ACMA 頻譜管理的一個重要目標，但澳洲與其他地區或國家之間可能存在不同的頻譜配置，因此並非所有國際解決方案都可以適用於澳洲。

(2) 車聯網執照規範

依據 2017 年無線電通信（智慧交通系統）類別執照規範[267]，授權人們在符合以下條件的情況下運作 ITS 設備：

- ITS 設備必須在下列技術條件下進行運作：
  - 在大於 5855MHz，且不大於 5925MHz 的頻率範圍內
  - 輻射功率的最大 EIRP 不得超過 23 dBm/MHz
- ITS 設備不得在北緯 26°42'15”，東經 116°39'32”的 Murchison 射頻天文臺 70 公里範圍內進行運作。
- ITS 設備必須符合 ETSI EN 302 571 標準。
- ITS 設備必須遵守本規範的額外條款，包括：
  - 除非 ITS 設備符合其適用的所有即時標準及規範，否則不得使用 ITS 設備。
  - 如果發射機或發射機組發射的電磁輻射超過澳洲輻射防護與核能安全局（Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, ARPANSA）標準中規定一般公眾電磁波暴露

[267] Radiocommunications (Intelligent Transport Systems) Class Licence 2017, available at: https://www.legislation.gov.au/Details/F2018L00026

的限值，則不得在公眾可能接觸的地方運作本發射機或發射機組。ARPANSA 利用其科學專業知識，建議在頻率範圍 3 kHz 至 300 GHz 內，人體暴露於電磁波的安全限值。該建議限值是為了確保電磁波的暴露不會對健康造成不良的影響。這些限值包括重要的安全因子，也就是說，該限值已遠低於會造成已知不良健康效應的水準。ARPANSA 制定的限值公告於輻射防護標準：3 kHz 至 300 GHz 電磁場最大的暴露限值（Radiation Protection Standard - Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields - 3 kHz to 300 GHz）[268]中，此標準也稱為 ARPANSA 標準。

(3) 無人載具規範

有關許可操作無人載具地點的規定，主要是為了確保無人載具不會對其他飛機造成碰撞危險，或對地面上的人員和財產造成危害或干擾。無人載具的飛行標準限制包括：

- 無人載具不可以在距離人們 30 公尺的範圍內，或直接在人們或其財產的上方進行運作。
- 無人載具不得在超過地面 120 公尺的地方進行運作。
- 無人載具不得在管制機場和管制空域的 5.5 公里範圍內進行運作。

無人載具除了必須符合上述澳洲民用航空相關安全規則與規定之外，也必須遵守 ACMA 無線電設備和頻譜配置的相關規定，特別是在網路上，或從海外購買無線電發射設備時，務必確保其符合 ACMA 針對該類發射設備規定的條件。在選擇和使用高增益天線時，營運商必須特別注意這些天線有符合其特定類別無線電發射機執照

[268] Radiation Protection Standard - Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields - 3 kHz to 300 GHz, available at: http://www.arpansa.gov.au/Publications/codes/rps3.cfm

之有效全向輻射功率（Effective Isotropic Radiated Power, EIRP）的條件。大多數商用無人載具使用低干擾潛在設備（LIPD）進行遙測和有效負載鏈接，這些設備必須符合 LIPD 類別執照（LIPD class licence）的要求。

(三) 小結

ACMA 已於 2015 年完成對 803-960 MHz 頻段的檢視，ACMA 決定為物聯網設備提供 928-935 MHz 頻段的可用頻譜，以期儘早能透過低功率廣域網路（low power wide area, LPWA）技術接取這些頻段，並與現有的固定鏈路進行調合。

有鑑於 IoT 用戶類別和使用方式的巨大差異，IoT 應用的頻譜接取並無一個可廣泛適用的解決方案。IoT 趨向於需要在不同的協定範圍內接取不同的頻譜資源，從專用頻譜到共享頻譜，且可在兩者間切換。因此，ACMA 正在監督物聯網的發展，以確保所有相關頻譜配置均考慮到相關新興應用之發展。ACMA 目前將 IoT 頻譜依特性區分為專用頻譜與共享頻譜：

- 專用頻譜包括行動網路與專用廣域網路頻譜。行動網路包括 LTE-M、NB-IoT 等網路型態，適用頻段包括 700MHz、850MHz、900MHz 與 1.8GHz 頻段等均屬於此一範疇。專用廣域網路則指 LoRA 等，適用頻段為 433/434MHz 與 915 至 928MHz 頻段等。
- 共享頻譜則涵蓋專用廣域網路、專用區域網路及一般區域網路等，其中專用區域網路如 ZigBee 等，一般區域網路則有藍牙等。專用區域網路適用頻段與專用廣域網路相似，而一般區域網路使用頻段則為 2.4GHz 與 5GHz 頻段。

ITS 設備必須在大於 5855MHz，且不大於 5925MHz 的頻率範圍內進行運作，且必須符合 ETSI EN 302 571 標準；輻射功率的最大 EIRP 不得超過 23 dBm/MHz，另外 ITS 設備也不得在北緯 26°42'15”，東經 116°39'32”的 Murchison 射頻天文臺 70 公里範圍內進行運作。

無人載具除了必須符合澳洲民用航空相關安全規則與規定之外，也必須遵守 ACMA 無線電設備和頻譜配置的相關規定。大多數商用無人載具使用低干擾潛在設備（LIPD）進行遙測和有效負載鏈接，這些設備必須符合 LIPD 類別執照（LIPD class licence）的要求。

五、 日本

(一) 政策發展近況與候選頻段更新進度

1、 頻譜政策發展近況

(1) 物聯網

A. IoT 政策委員會政策進度

日本執行 IoT 相關政策的所屬機關有：IoT 政策委員會、情報流通行政局、綜合通訊基礎建設局（電波部移動通信課）等。

2017 年 6 月 29 日日本的 IoT 政策委員會期末報告後，從層級模式（服務層、平台層、網路層、終端層）的個別施政措施來因應整體政策路徑（Roadmap）之具體化[269]，將「IoT 政策委員會」、「基本戰略工作小組」、「人才培育工作小組」，改制為「建立IoT新時代的未來檢討委員會」（以下簡稱IoT檢討委員會）與旗下之「建立產業、區域的工作小組」、「建立以人為中心之工作小組」[270]，如下圖 7- 43。

[269] 參見情報通信審議会（2017），〈「IoT 総合戦略（改訂）」案概要〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000493847.pdf>。（瀏覽時間：2018 年 6 月 11 日）

[270] 參見ＩｏＴ新時代の未来づくり検討委員会（2018），〈事務局資料〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000529641.pdf>。（瀏覽時間：2018 年 6 月 11 日）

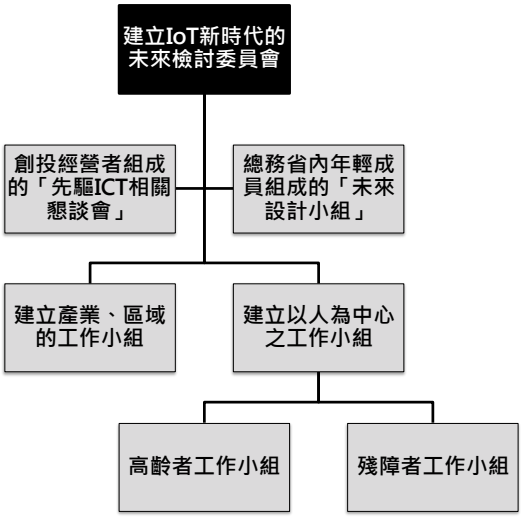


圖 7- 43：建立 IoT 新時代的未來檢討委員會之組織架構

IoT 檢討委員會最重要的工作則是要擘劃未來 IoT 社會的情境與應用方向。由於日本人口將急遽減少、高齡化將產生無法確知的未來、長期引發的經濟低成長，以及期待邁向 Society 5.0、以及達到聯合國所謂的持續開發目標（Sustainable Development Goals，SDG），因此厲行八項「MOVE FAST」變革[271]，公布 I（Inclusive，對人包容）、C（Connective，地區連結）、T（Transform，產業轉變）的情境構想，分別對應「以人為中心建構」、「地區建構」、「產業建構」的議題。

[271] 厲行八項變革方向分別為：Moonshot（起飛）：設定想要實現的未來樣貌，以此反向建立對策；Opportunity（機會）：無法逃避萌芽的機會，以柔軟、即時回應的方法來選擇挑戰的社會風土；Value（價值）：從量到質的評價基準轉換，來褪變往成熟國家的價值觀邁進；Economics（經濟）：提高生產力並增加收入，徹底崛起國內外的需要；Focus（專注）：重視持續的可能性，通過選擇與集中，來停止決策沒意義的事情；Aggressive（積極）：迎接人口減少與高齡化，在所有領域積極導入 ICT；Superdiversity（超級多樣性）：依年齡分類等修改標準化，並使其成為一個系統，無論是誰都可以根據自己的願望積極的表現；Trust（信用）：建立先進技術的可控制性、社會道德、避免濫用等，並提高信任度。參見情報通信審議会 ＩｏＴ新時代の未来づくり検討委員会（2018），〈未来をつかむ TECH 戦略〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000548068.pdf>。

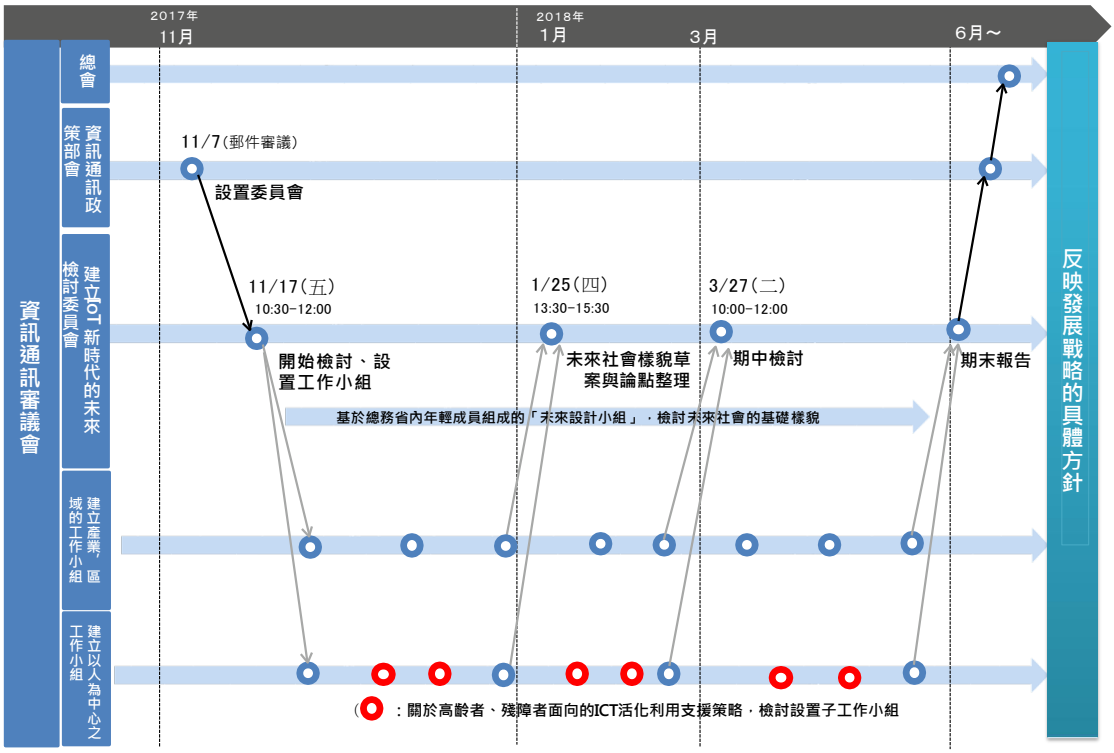


圖 7- 44：IoT 檢討委員會之 2017 年 11 月~2018 年 6 月的時程規劃

B. 情報流通行政局（資訊流通振興課）政策進度

總務省認為，IoT、大數據、AI 是基於地區居民、行政、企業的數據使用，充足擴展實現民眾服務，創造地區內的新企業設立、就業等利益，被期待作為試圖解決地區議題的有效工具。為了迎接 IoT 正式實用化時代的來臨，總務省情報流通行政局用很大的力量、迅速推進實證的成果。從 2016 年 9 月起舉辦「地區 IoT 執行導入推進工作小組」，至 2018 年增加「養育子女領域」的重點規劃，共 10 項執行領域，如表 7- 49。

表 7- 49：日本各地區 IoT 導入路徑進度報告

實踐領域	2017 年	2018 年
教育	● 智慧學校、平台的標準化與實施 5 個地區的次世代學校 ICT 環境的整備方向實證	● 智慧學校、平台的標準化與 2017 年度起繼續實施次世代學校 ICT 環境的整備方向實證，擬定標準規格與指導方針草案實施

	● 實施 29 個程式撰寫教育實施模式的計畫實證	10 個以上地區的程式撰寫相關兒童學生在校外學習知識的實證
醫療	● 整備 16 所 HER。實施 HER 間的互連基礎建設相關的實證實驗 ● 實施活用 PHR 服務模式 6 點相關的實證實驗	● 做出基於 EHR 的實證成果的成功模式彙總，實施擴散 ● 實施使用 PHR 有關的服務模式 6 個的實證實驗
勞動	● 實施約 950 個團體、6.3 萬人參加的「電傳勞動節」 ● 整備全國 11 所家鄉的電傳勞動基地	● 促進「城鎮電傳勞動」與實施「電傳勞動節」 ● 進一步實施家鄉電傳勞動基地的擴散
防災	● 開始新的 4 縣之災害資訊共享系統的運用 ● 執行導入 5 個地區的 G 空間防災系統	● 開始運用全都道府縣的災害資訊共享系統 ● 更進一步實施 G 空間防災系統的擴散
農林水產業	● 執行導入 6 個地區的智慧農業、林業、漁業模式	● 更進一步實施智慧農業、林業、漁業模式的擴散
地區商業	● 在一個地區執行導入協作平台 ● 248 個團體所參加單一帳號平台（My Key）運用協會成立	● 更進一步實施地區商業活化模式的擴散 ● 實施地區經濟支援協力企業與擴充參加的自治體
觀光	● 執行導入一個地區的協作平台 ● 實施關於 5 個地區的好客雲的實證實驗 ● 實施多語語音翻譯系統的研究開發與實證實驗	● 更進一步實施旅遊雲的擴散 ● 做出好客雲的實證成果彙總，更進一步擴散 ● 多語語音翻譯系統的研究開發更進一步擴散

公私協力服務	● 整理關於開放資料的地方公共團體研修要件 ● 實施關於 2 個地區地方自治體的廳內資料活用 ● 執行導入 4 個地區的共享經濟的成功模式（觀光）	● 創設給地方公共團體有關公開資料的民間需求對應之媒合、調整、研修環境（開放資料實驗場域） ● 基於有關公開資料的實證成果，做出「自治體資料廳內活用指南」（暫稱）的彙總 ● 實施支援有關共享經濟的地方公共團體模式措施的「共享經濟活用推進事業」 ● 更進一步實施共享經濟有關的擴散
智慧城市	● 建構 6 個地區的智慧城市	● 基於 2017 年度事業的成果，更進一步建構 5 個地區的智慧城市

IoT 基礎建設	● 在全國 14 個地區舉行使用者企業為對象的培訓課程 ● 組織 NICT「國立網路學習中心」 ● 開始使用 NICT 的 IoT 實驗場域服務業務開發的兩個實驗場域 ● 關於防災據點整備 Wi-Fi 環境，1 月底時有 2.1 萬點整備 ● 5G 的研究開發、實施實證實驗	● 在全國 20 個地區實施使用者企業為對象的培訓課程 ● 實施地區資料活用人才培育的模式建構方向的實證實驗 ● 實施基於「國立網路學習中心」的安全培訓 ● 建構活用 IoT 服務產生支援事業的參照模式與規則 ● 更進一步實施防災基地的 Wi-Fi 環境之整備 ● 基於國際動向，更進一步實施 5G 的研究開發、實證實驗

C. 綜合通訊基礎建設局（電波部移動通信課）政策進度

總務省綜合通訊基礎建設局的移動通信課針對低功率物聯網（LPWA）從 2016 年 11 月起提出相關之修正方向，至 2017 年 10 月完成階段性的修正工作。主要包含「執照局種變更」、「窄頻段使用方法修正」、「低增益天線使用時的天線功率修正」，以及「1.9GHz 頻段的配置修正」（此為 5G 相關議題）。相關進度時程如圖 7- 45。

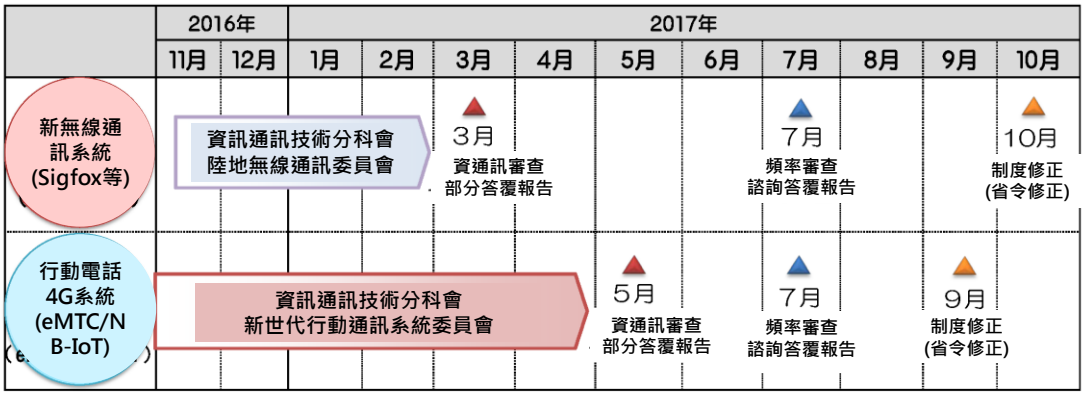


圖 7- 45：日本低功率 LPWA 的制度修正

(2) 車聯網

移動通信課負責監督由「邁向車聯網社會實現研究會」的車聯網研究案已於 2017 年 8 月結束，相關政策路徑如圖 7- 46。[272]

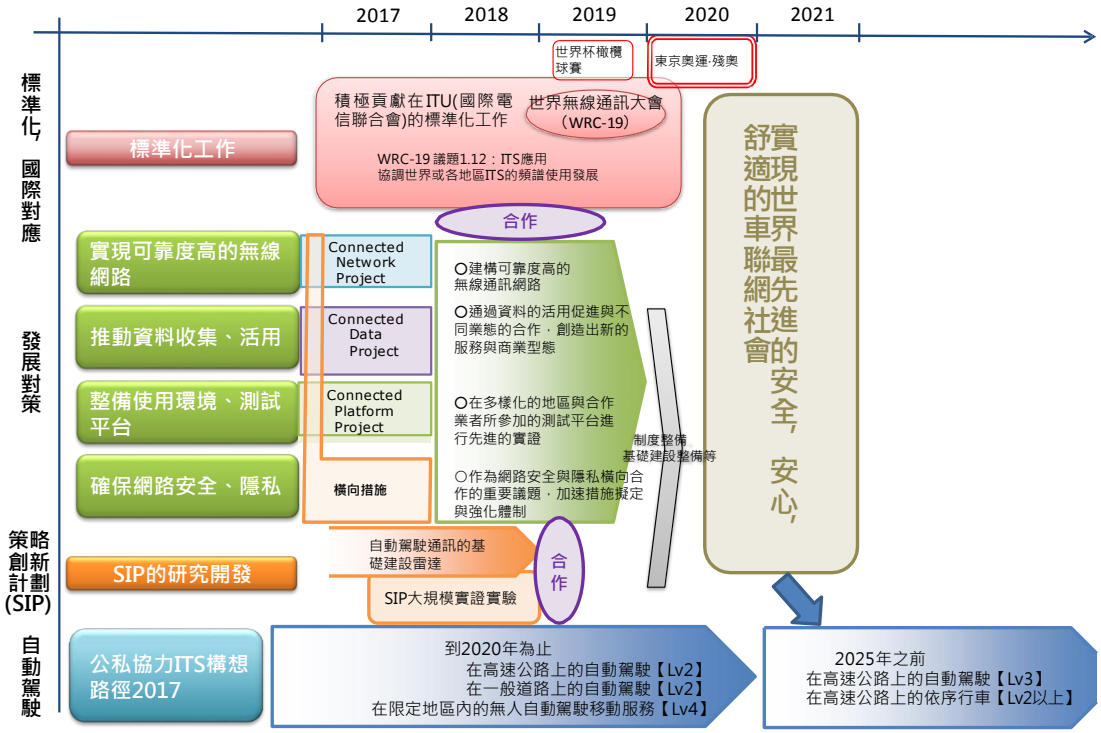


圖 7- 46：日本車聯網的政策路徑

為建立車聯網社會，透過三項大型計畫（網路連結計畫、資料連結計畫、平臺連結計畫）來達成目標，如下表 7- 50。[273]

[272] 參見 Connected Car 社会の実現に向けた研究会（2017），〈Connected Car 社会の実現に向けて(概要)〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000501373.pdf>。
[273] 同前註。

表 7- 50：車聯網社會實現計畫

計畫名稱	模式名稱	概念
網路連結計畫（Connected Network Project） 資訊系統、基礎設施感測器、與其他車輛適當連結下，妥善地支援可靠度高的即時駕駛無線通訊系統的最佳化／功能提升	駕駛支援向的邊緣運算模式	基於超低延遲的邊緣運算，提升安全駕駛、自動駕駛支援系統的即時性
	基礎建設協調行駕駛支援模式	基於使用包含 LTE 與毫米波通訊的各種通訊技術的道路與車輛間的通訊合作，提升駕駛支援升級（V2I 無線系統）
	車輛間資訊共享模式	往後在車輛間共享各種車輛的移動資訊來支援支持自動駕駛，將使用包含 LTE 與毫米波通訊的各種通訊技術。（V2V 無線系統）
資料連結計畫（Connected Data Project） 基於無線系統的使用，有效地收集、保存從車子產生各式各樣的資料，經由網路妥善地實現活用	高效率資料收集模式	基於各種不同的通訊方式順暢締切換，來實現高效的數據收集機制與迅速進行資料整理方式
	產生便利、舒適的雲端資料活用模式	對收集到的資料進行有效的儲存和雲端處理，實現預測和最佳化等便利、舒適的移動服務。
平台連結計畫（Connected Platform Project） 除了支持車聯網社會系統架構的設計與評估外，讓各種	系統架構模式	設計與評估可承受大量大量車輛資訊上傳與駕駛支援的的先進資訊處理中心的聯網車整體系統架構

業者能夠使用，實現在國際上具有競爭力的車聯網平台	合作平台模式	促進有效的資料互相利用的模型，以建立多元合作夥伴的平台

(3) 無人機

日本的小型無人機受《電波法》管轄，最主要是規定其功率發送範圍與發送遙控接收之頻率範圍，為發展包含無人機等機器人之無線電波使用，自 2015 年 3 月起，持續檢討與擴大頻率之使用範圍與空中使用功率之增大等技術規範。至 2016 年後，新增 5.7GHz、73MHz 等高畫質影像傳輸頻段頻段，以及允許 5 公里以內之長距離通訊。[274]相關使用頻段請見如后說明。

除《電波法》外，小型無人機亦受《航空法》管轄。日本政府於 2015 年 9 月對於小型無人機的快速普及與因應意外事故發生，部分修正《航空法》，於同年 12 月 10 日實施。其中訂定需經主管機關許可之無人機飛行的場域、無人機之飛行方式、以及適用事故、災害救助之外的事項與罰則訂定。

- 許可之無人機飛行的場域

例如在機場周邊，會危及飛機飛行安全之上空（飛機場周圍、150 公尺以上之高空）、人潮與住宅密集區域上空，皆須要經過許可才能飛行。至於上述以外區域則無限制。

- 無人機飛行方式

[274] 參見總務省（2016），〈ドローンの現状について〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000401647.pdf>。

若在夜間飛行、視野以外飛行、對於飛行下方物體未滿 30 公尺飛行、在活動上空飛行、運輸危險物品、投落物品等情形時，必須得到國土交通大臣之許可。否則，一般必須要在白天、視野可及之監控距離、與人或物件保持距離等條件飛行。

- 罰則

基於事故與災害等公家機關之搜索援助時，上述限制飛行場域及飛行方式得以豁免。若違反上述限制之飛行場域與方式時，應科罰金。

2、 使用頻段發展近況更新

以日本 2017 年 11 月公布之頻譜行動計劃，目前與 IoT 較為密切相關之頻段整理如表 7- 51 所示。

表 7- 51：頻段與使用狀況

頻段	主要類別	使用說明
1,620KHz	ITS	路旁廣播（高速公路廣播）
76~90MHz	ITS	道路交通資訊通訊系統
169MHz	無人機	無人移動頻段的圖像傳輸系統
755.5~764.5MHz	ITS	760 頻段安全駕駛支援系統
920MHz 頻段	LPWA	sigfox、LoRa 的新系統使用
1.2GHz	無人機	無人機圖像類比傳輸頻譜
2.4GHz 頻段（2483.5~2494MHz）	無人機	無人移動體圖像傳輸系統
2.5GHz	ITS	道路交通資訊通訊系統
5.2、5.7GHz 頻段（5,030~5,091MHz）（5150~5350MHz）（5470~5725MHz）	無人機、無線區域網路	無人機與無線區域網路、無人移動體圖像傳輸系統
5,770~5850MHz	ITS	道路交通資訊通訊系統

		窄區通訊系統 DSRC 自動收費系統 ETC

日本在IoT頻段的近期發展主要有四，一為車聯網頻譜討論與確認；二為小型無人機／載具（Drone）的頻譜與制度確認；三為5.2GHz 頻段無線區域網路戶外使用之制度整備；四為 920MHz 頻段 LPWA 的制度整備；五為東京奧運/殘奧的無線頻譜使用整備。以下分別說明之。

(1) 車聯網（智慧交通、無人車）

車聯網大致頻段如下：1620KHz、76~90MHz、755.5~764.5MHz、2.5GHz、5,770~5,850MHz、22~29GHz、60~61GHz、76~77GHz、77~81GHz。其中對於智慧交通系統（ITS）較為重要者為755.5~764.5MHz 與 5,770~5,850MHz 的頻段。

(2) 無人載具（無人機）

原本利用小型無人機採用類比技術來傳輸靜態影像是使用1.2GHz 的頻段，自 2016 年 8 月起增加 2.4GHz 與 5.7GHz 兩個頻段來長距離傳輸高畫質影像。

(3) 5.2GHz

日本總務省因為 5G 無線區域網路（LAN）的使用擴大下進行檢討，目前日本國內限定室內使用的頻譜在 5.2/5.3GHz 頻段，並規定最大等效全向輻射功率（e.i.r.p）在 200mW，且 5.6GHz 頻段（5470-5725MHz）在空中使用限定於飛機之內。ITU-R 關於 WRC-19 的議題，可能採用 5GHz 頻譜之無線區域網路與其他系統的共用，或是5.2/5.3GHz 頻譜在戶外使用的可能。

美國已經在 2014 年允許 5.2GHz 頻段在戶外使用，並可超過最大 e.i.r.p 200mW；另加拿大在 WRC-19 前先行決定於 2017 年授予執照。因此基於國外的動向，5.2GHz 頻段的戶外使用與高功率輸出化

（最大 e.i.r.p. 1W），並且關於 5.6GHz 頻譜的空中使用，檢討共享系統與共享條件，以及擬定技術條件。[275]

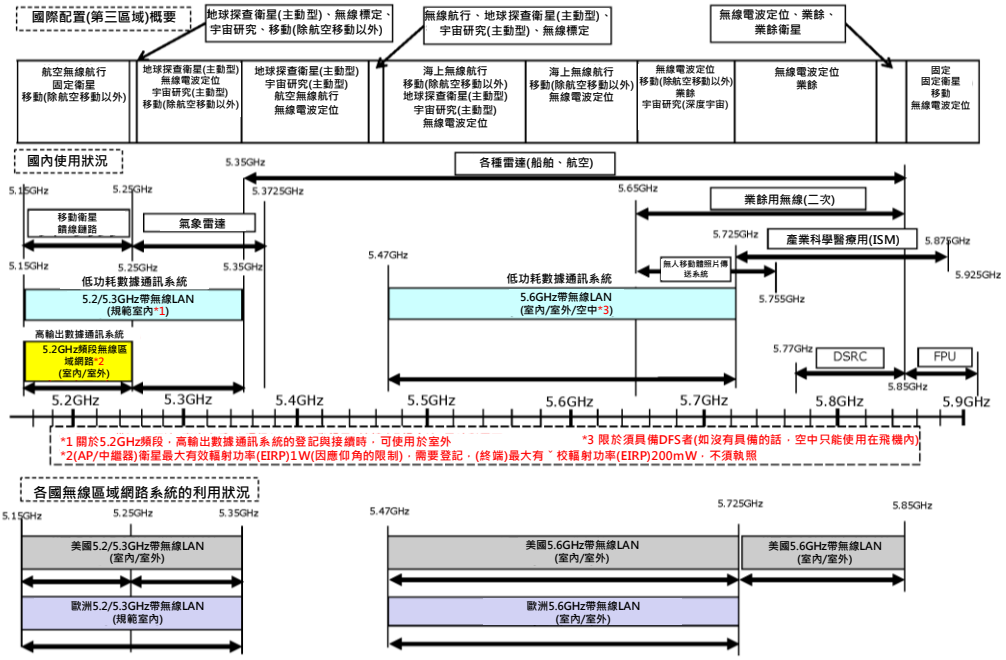


圖 7- 47：5.2GHz 頻段的使用狀況

(4) 920MHz

2016 年 11 月總務省開始檢討 LPWA 與窄頻段的頻譜使用，2017 年 10 月修正制度。相關說明如下：

- 局種擴大使用

由於電信業者打算參與 LPWA 的建置，以及總務省的頻譜配置計畫做了變更，後續總務省打算鬆綁局種的使用目的與限制。

I. 無線臺的局種：從原本限定使用在簡易的無線通訊業務之簡易無線台，變更為沒有限制業務的「陸地行動臺」。

[275] 參見情報通信審議会情報通信技術分科会（2018），〈5.2GHz 帶及び 5.6GHz 帶を使用する無線 LAN の技術的条件〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000532610.pdf>。（瀏覽時間：2018 年 6 月 12 日）

II. 頻譜配置計畫：從簡易無線通訊業務用，變更為電信業務用、公共業務用、廣播業務用、一般業務用等全面向的使用目的。

- 窄頻段頻率共用

過往的基準，載波是容許偏差範圍內每單位頻道的中心頻率約±18.4KHz 的使用，每單位頻道內端到端的頻譜是不能使用的。而修正後的規定，是容許偏差的頻率，在 LPWA 的低速通訊下，能使用窄頻段的載波。其優點是在多個終端下，相同的頻道即使都在使用，也能使用不同的載波來迴避干擾問題，也就是可能在頻率軸上共享頻譜。

- 低增益天線使用時的天線功率修正

對於手持式讀寫機與穿戴式設備，這類小型・薄型機器由於有安裝空間的限制，加上天線增益會變低，無法確保必要的通訊距離。爰此，針對天線一體的無線設備的低增益天線的利用，進行天線功率有關規定的修正。

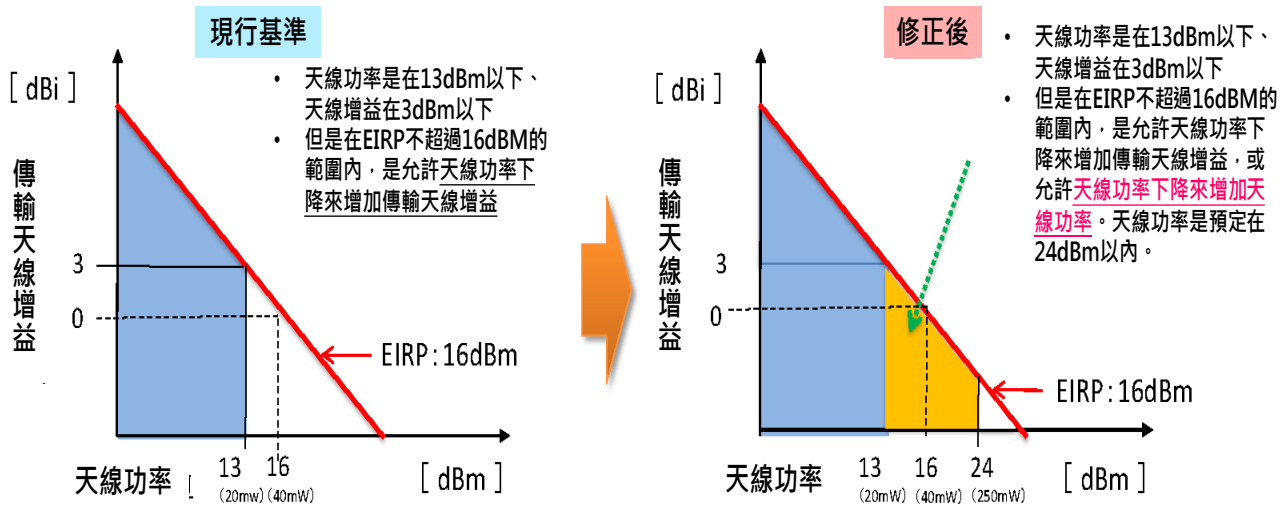


圖 7- 48：中輸出型主動低功率無線系統修正

(5) 東京奧運/殘奧的無線設備使用

關於2020年的東京奧運/殘障奧運委員會所使用的無線系統之頻譜規劃，與IoT相關的頻譜目前會有衝突的設備是視訊鏈結、內部對講機、遙感技術/遙感操作與小資料傳輸、無線區域網路的其他資料傳輸、衛星等[276]，相關說明如下表 7- 52：

[276] 參見公益財団法人東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員會（2017），前揭註 185。

表 7- 52：與 IoT 頻譜有相衝突的設備

頻率	功能	衝突說明
915-930MHz	遙感技術/遙感操作與小資料傳輸	與 RFID 的無線台共存
915.9-928.1MHz	遙感技術/遙感操作與小資料傳輸	不須執照（數位、122ch、1mW）：使用這類的頻段，滿足在日本電波法規定的無線機器可以自由使用之
920.5-928.1MHz	遙感技術/遙感操作與小資料傳輸	不須執照（數位、38ch、20mW）：使用這類的頻段，滿足在日本電波法規定的無線機器可以自由使用之
1,215-1,400MHz	內部對講機	與廣播事業、各種雷達、圖像傳輸、業餘業務的無線台共存。與日本國內特定的廣播麥克風等的無線台使用者有必要調整使用
1,216-1,217MHz	遙感技術/遙感操作與小資料傳輸	不須執照（數位、80ch、1mW）：使用這類的頻段，滿足在日本電波法規定的無線機器可以自由使用之
1,252-1,253MHz	遙感技術/遙感操作與小資料傳輸	不須執照（數位、80ch、1mW）：使用這類的頻段，滿足在日本電波法規定的無線機器可以自由使用之
1,260-1,400MHz	視訊鏈結	與廣播事業、各種雷達、圖像傳輸、業餘業務的無線台共存。
5,000-5,150MHz	視訊鏈結	與無線接取、行動電話的基地台共存
5,150-5,250MHz	無線區域網路的其他資料傳輸	不須執照。限定在室內使用。使用這類的頻段，滿足在日本電波法規定的無線機器可以自由使用之

5,250-5,350MHz	無線區域網路的其他資料傳輸	不須執照。限定在室內使用。必須是 DFS（動態頻率選擇）（須留意與氣象雷達的共存）。使用這類的頻段，滿足在日本電波法規定的無線機器可以自由使用之
5,470-5,725MHz	無線區域網路的其他資料傳輸	不須執照。限定在室內使用。必須是 DFS（動態頻率選擇）（須留意與氣象雷達的共存）。使用這類的頻段，滿足在日本電波法規定的無線機器可以自由使用之
5,710-6,425MHz	視訊鏈結	與無線區域網路、各種雷達、DSRC（短距無線通訊技術）、廣播事業、圖像傳輸、衛星通訊服務以及電信業務（固網）的基地台共存
5,850-7,025MHz	衛星通訊	衛星通訊服務（C Band 上鏈）。

3、 實驗案例發展

(1) LPWA

日本針對不須執照頻段的低功耗 IoT 使用（LPWA），主要以 SigFox 與 LoRa 的技術應用為基礎，進而展開服務。

國際上使用 LPWA 的案例，大致有四個領域，分為健康醫療、基礎建設管理、物流、農業，如表 7- 53 整理[277]。

表 7- 53：全球 LPWA 案例

領域	案例
健康醫療	高齡家訪照護支援－General Council of the Loiret 公司（使用 sigfox）

[277] 參見總務省移動通信課（2018），〈LPWA に関する無線システムの動向について〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000543715.pdf>。（瀏覽時間：2018 年 6 月 8 日）

	● 在高齡長者的住宅設置時間卡（智慧讀卡機），記錄照護者家訪的時間 ● 內藏溫度感應器，溫度異常會自動通知家人來防止高齡者體溫過高。 ● 電池可運行兩年 ● 照護費的調整與防止高齡者孤獨的貢獻 AED（自動體外心臟電擊去顫器）防護－Laerdal 公司（使用 sigfox） ● 基於 AED 盒蓋的開關的使用狀況與監視 AED 本體的狀況 ● 電池可運行四年
基礎建設管理	街燈管理－inteliLiGHT 公司（使用 LoRa） ● 匈牙利的紹道（Szada）所採用的 LoRa 實證有效的街燈管理 ● 1 基地台可以管理 15 公里周圍以內的 2 萬支電燈的開關與消費電力。 鐵路保護－intensens 公司（使用 sigfox） ● 夏季冬季的線路溫度差與張力負荷，列車通過時的鐵路負荷，點切換器的切換次數的量測、傳輸數據 ● 有效管理、保護鐵路線路
物流	食物的物流管理－Proximus 公司（使用 Lora） ● 在食品工廠、運輸交通、餐廳的各據點，量測食品的溫度，匯集雲端上的數據 ● 實現減少在供應鏈的食品品質管理之成本
農業	養蜂支援－Optibee 公司（使用 sigfox） ● 蜂巢箱的遠距監控 ● 蜂巢箱的異常（溫溼度）、採集蜂蜜有必要的時候，以內以郵件與 SNS 在 10 分鐘警告通知 ● 電池可運行 2 年

由於法國的 sigfox 公司原則上是以一國一公司作為契約主體，讓契約國的該公司作為該國的網路建置與運用者，而日本則由京瓷通訊系統取得資格，並於 2017 年 2 月起提供網路設施。目前京瓷使用的案例如下表 7- 54：

表 7- 54：京瓷的 sigfox 實證案例

導入案例領域	說明
智慧停車	● 計時制停車向的車輛檢測系統 ● 停車場中設置的感應器與 sigfox 連動通訊，經由雲端來建構能確認停車狀況的架構
宅配披薩的冷凍庫溫度監控	● 每 15 分鐘用雲端傳送各冷凍庫的溫度，可用專用 APP 監控 ● 至目前可以達到以上的品質管理
離島、山區的下水道檢測	● 可自動化難檢測與離島、山區等偏鄉地點的下水道之檢測 ● 2017 年 3 月，京瓷、KDDI、Azbil 金門、第一環境組成 sigfox 自動電表（水表）聯盟

LoRa 則是開放性的通訊規格，全球 IoT 相關企業高達 480 家以上的公司加盟。日本則有 NTT Docomo、KDDI、Softbank、NTT 西日本等公司進行服務提供與實證。此外 SORACOM 自己有建立 LoRa 的對應平台。相關案例如下表 7- 55。[278]

表 7- 55：日本 LoRa 實證案例

導入案例	說明
兵庫縣神戶市的兒童守護服務	● NTT Docomo 在神戶市的三個地點設置 LoRa 基地臺

[278] 參見總務省移動通信課（2018），同前註。

	● 2017 年 4 月合併使用 BLE（Bluetooth Low Energy）Tag，來實施小孩與高齡者的居住場所的守護服務實證
神奈川縣厚木市的下水道淹水監控	● KDDI 在神奈川縣厚木市的人孔蓋設置感應器，來實施下水道內淹水監控的實證 ● 與降雨雷達的合作，對於突然豪雨帶來的水災可以因應制定對策
靜岡線藤枝市的 IoT 實證實驗	● Softbank 與靜岡線藤枝市在簽訂協議之下，建置市區內的 LoRa 網路 ● 2017 年 4 月開始募集藤枝市的服務業者，預定進行兒童守護系統的實證

(二) 執照管理與規範義務

1、 執照架構

目前 IoT 大部分而言無需申請執照，惟在以下情形會需要執照或登記。

● 需執照者

目前無人機在操控、圖像傳輸、資料傳輸時，技術上若使採用 169MHz 頻段、1.2GHz、2.4GHz 頻段、5.7GHz 頻段者，需要申請執照。[279]

● 需登記者

目前 920MHz 頻段的 LPWA 若使用的是「陸地行動臺」，需申請登記或執照。若是其餘特定低功率無線局則不須執照。

2、 規範與技術

(1) LPWA（920MHz）

[279] 同前註。

因應 LoRa、sigfox 等新技術系統的加入，LPWA 有以下之規範。

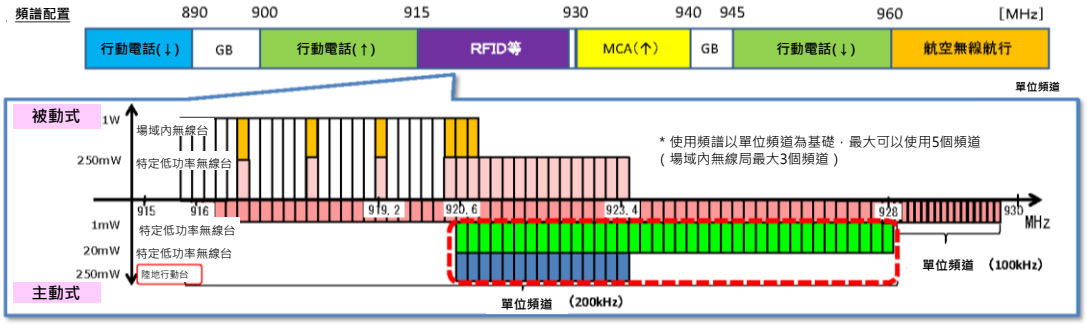


圖 7- 49：LPWA 的頻譜範圍

表 7- 56：低功率無線台的相關說明

分類	無線臺種類	有否執照	技術說明	使用範疇
被動式	場域內無線臺	執照制、登記制	空中功率：1W 頻段：916.7~920.9MHz	工廠等場域內使用：如固定式物流管理、手持搬運型物流管理
	特定低功率無線臺	不須執照	空中功率：250mW 頻段：916.7~923.5MHz	室內外、手持搬運型物流：貨物囤積、服裝店的庫存管理、集運與回收業務
主動式	特定低功率無線臺	不須執照	空中功率：20mW 頻段：920.5~928.1MHz	智慧電表使用：如電力監控、智慧瓦斯表
	特定低功率無線臺	不須執照	空中功率：1mW 頻段：915.9~929.7MHz	遙控用途使用：家庭安全、位置資訊支援、空調管理
	陸地行動臺	執照制、登記制	空中功率：250mW 頻段：920.5~923.5MHz	戶外長距離傳輸使用：森林監控、橋樑損傷管理、大氣測量

表 7- 57：主動型低功率無線台在修正後的天線功率與增益值

系統型態		基準天線功率	基準傳輸天線增益	基準 EIRP	最大天線功率
主動型	特定低功率無線台（中輸出型）	20mW (13dBm)	3dBi	16dBm	250mW (24dBm)
	特定低功率無線台（小輸出型）	1mW (0dBm)	3dBi	3dBm	250mW (24dBm)

(2) 車聯網

車載毫米波系統，日本大致採取 WRC-15 的標準，從 22GHz 到 81GHz 不等的頻段使用，主要毫米波雷達的技術如下表 7- 58。[280]

表 7- 58：自動駕駛系統的市場化／服務預期實現表

雷達	主要方式	頻段 (GHz)	頻寬(最大值)	空中功率	天線增益	分解能	距離
24/26GHz UWB	• FMCW 方式 • Fast FMCW 方式	22-29	4,750MHz	-41.3dBm/MHz EIRP 以下		20 公分	30 公尺
76GHz	• FMCW 方式 • Fast FMCW 方式	76-77	1GHz	10mW 以下	30dBi	1-2 公尺	200 公尺
79GHz	• FMCW 方式 • Fast FMCW 方式 • 脈波壓縮方式	77-81	4GHz	10mW 以下	35dBi	7.5 公分	100 公尺

(3) 無人機

[280] 參見 Connected Car 社会の実現に向けた研究会（2017），前揭註 272。

日本《電波法》規定，無線設備基於相關法令需要取得無線台的執照，在不干擾其他無線通訊下，若符合頻譜與某些無線設備技術標準的低功率無線基地台不需取得執照，相關制度如下[281]：

● 不需要執照與登記之無線台

對於無線電波極弱的無線電台和使用符合某些技術要求的無線電設備的小型無線電台，無線電台的許可和登記是不用的。

作為無線電設備距離 500 米距離的電場強度（無線電波強度）為 200 μV/m 以下的頻率，為總務省所規定的無線電台等弱電台等。

低功率無線電台是天線功率小於或等於 1W 的無線電台，並且具有用於特定應用的某些技術標準。例如，諸如 Wi-Fi 和藍牙低功率數據通訊系統這樣的無線電台就是這樣的主題外，這些低功率無線電台必須是已經接收到符合技術標準認證的標準顯示無線設備。

● 無人移動圖像傳輸系統

2016 年 8 月制度化「實現高畫質遠距離視訊傳輸的主要迴路」。在操作這個無線電台時，有必要協調使用者之間使用的頻率等操作，以共享有限的頻率資源並確保必要的通訊。

● 業餘用無線電

如果正在使用業餘無線電收發無人機，則需要業餘無線電技師資格和業餘無線電台許可證。此外，因為業餘無線電是用於自我訓練，通訊和技術研究的無線通訊，完全是為了個人興趣，而不是為了經濟利益，所以不能使用業餘無線電的無人機進行業務。

● 關於手機在空中使用

行動電話是以陸地上使用為前提所設計的無線設備。關於在天空中的使用，會擔心通訊品質的穩定性與陸地上的行動電話的使用

281 參見總務省電波利用網頁：<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/index.htm>。

影響。在大型無人機上使用手機時，必須從已實證之實用化測試站取得許可證。

表 7- 59：日本國內使用小型無人機所使用的主要無線通訊頻段[282]

分類	無線臺執照	頻段	傳輸功率	使用型態	備註	使用者資格
不需執照與登記的無線臺	不用	73MHz	500 公尺距離的電場強度在 200 μV/m 以下	操作用	廣播無線電控制用微弱無線台	不用
	不用[283]	920MHz	20mW	操作用	920MHz 頻譜遙測用、遠距遙控用特定小功率無線台	
		2.4GHz	10mW/MHz	操作用、圖像傳輸用、資料傳輸用	2.4GHz 頻譜小功率資料通訊系統	
行動臺	需要	1.2GHz	最大 1W	圖像傳輸用	類比方式限定	第 3 級陸地特殊無線技
行動台、陸	需要[284]	169MHz	10mW	操作用、圖像傳輸	無人移動圖像傳輸系統（2016 年 8	

[282] 參見總務省網頁〈ドローン等に用いられる無線設備について〉：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000528447.pdf>。

[283] 必須取得表示無線設備的「符合技術標準的證明」。

[284] 要運作的時候需要進行調整。

分類	無線臺執照	頻段	傳輸功率	使用型態	備註	使用者資格
地行動臺				用、資料傳輸用	月制度整備）	士以上資格
		2.4GHz	最大 1W	操作用、圖像傳輸用、資料傳輸用		
		5.7GHz	最大 1W	操作用、圖像傳輸用、資料傳輸用		

總務省針對無人機傳統所使用的 1.2GHz 專門採用類比方式傳輸，因為 2.4GHz 與 5.7GHz 頻譜已建立「無人移動體圖像傳輸系統」之制度，因此建議使用 1.2GHz 者移轉使用 2.4GHz、5.7GHz 頻譜（但 1.2GHz 頻譜並未取消）。[285]

(4) 5.2GHz

[285] 參見總務省電波利用網頁，前揭註 281。

由於智慧型手機、平板等終端設備普及之下，行動通訊系統的訊務量每年不斷攀升。無線區域網路作為一種訊務分流，以因應快速攀升的行動訊務量。此外，體育館等商業設施與學校等文教領域的大樓則在發展使用無線區域網路，另外，無人機為了要傳輸影像，將會在不須執照下，利用空中的5GHz頻段的無線區域網路來進行高速傳輸。相關制度整備如下：

● 高功率數據通訊系統之制度整備

I. 定義 5.2GHz 頻段高功率通訊[286]系統 （施行細則第 6 條第 4 項第 11 款）

II. 陸地行動基地車的通訊對象是基地站與或行動基地中繼車，並規定陸地行動基地車為免執照之基地站。（施行細則第 6 條第 4 項第 11 款）

III. 基地站與陸地行動中繼車為登記執照的對象，並規定其設備之規格 （施行細則第 16 條第 4 款、第 5 款，第 17 條第 4 款、第 5 款）

IV. 規定登記執照站之開設區域 （施行細則第 18 條第 1 項第 3 款、新規定草案[287]）

V. 規定施加在登記執照站之設立/營運限制 （施行細則新第 42 條之 2）

VI. 規定無線設備的技術基準（設備細則第 9 條之 4、第 14 條、第 24 條、第 49 條之 20 之 2，附表第一~三款、新規定草案[288]

[286] 基於一定條件 5.2GHz 帶在戶外 EIRP 1W 以內可能使用無線區域網路基地臺/強波器（中繼器）之無線通訊稱之。（其包含 5.2GHz 頻譜帶高功率數據通訊系統基地臺（站）以及行動基地車所稱之既有的低功率數據通訊系統的終端設備概念）。

[287] 確定使用 5,150MHz 以上、5,250MHz 以下的頻譜電波之無線台之開設區域草案。

[288] 確定 5.2GHz 頻譜帶高功率數據通訊系統的無線臺之無線設備的技術條件草案。

VII. 規定特定無線設備（符合技術規範制度-技適制度），以及規定特性試驗的項目（證明規則）

VIII. 另外加入登記執照站之導入在無線臺的目的上（頻譜配置計畫、頻譜配置表第 2 表）

IX. 其他、規定的整備

● 低功率數據通訊系統之制度整備

I. 當與 5.2 GHz 高功率數據通訊系統基地站或陸地行動中繼車通訊時，可以使用戶外 5.2 GHz 頻段。（施行細則第 6 條第 4 項第 4 款（3）（5）、新規定草案[289]、頻譜配置計畫 國內註解）

II. 承上述，重新審議在室內限定使用表示之義務內容，以及對既有設備的補貼（2007 年總務省公告第 48 號（低功率數據通訊系統的無線臺之無線設備的技術條件）

III. 重新審議 5.2GHz 頻段高功率數據通訊系統與 5.6GHz 頻譜低功率數據通訊系統的組合使用時[290]的 EIRP 等（設備細則第 49 條之 20 第 5 款）

● 其他

I. 使用期限即將到期的 5GHz 頻段無線接取系統的 5030-5091MHz 的頻譜移除等（施行細則第 18 條第 1 項第 2 款、設備細則第 49 條之 21、頻譜配置計畫、其他）

II. 其他整備規定。

(三) 小結

1、 物聯網頻譜資源需求

[289] 總務大臣所另行確定公告的草案。

[290] 使用基於 IEEE 802.11ac 的 160MHz 頻寬之傳輸時間。

日本為全球高齡比例最高之國家、人口預計將會減少、長期引發經濟低成長，因此希望透過政策引導，以IoT為基礎邁向「Society 5.0」，規劃未來 IoT 社會的情境與應用方向，以達到聯合國之持續開發目標（Sustainable Development Goals，SDG），因此實施 8 項變革（稱為 MOVE FAST）。

日本關於 IoT 的產業應用部分，目前不一定與 5G 的發展有關，而是以解決在地的問題為宗旨，推動各地區 IoT執行導入。目前在全日本共執行 11 項領域，包含教育、醫療、勞動、防災、農林水產業、地區商業、觀光、公私協力服務、智慧城市、IoT 基礎建設。當中的 IoT 基礎建設則有針對 5G 研究開發與實施實證。

- 無人機的使用頻譜為 73MHz、169MHz、920MHz、1.2GHz、2.4GHz、5.7GHz。
- 車聯網的使用頻譜為 760MHz、5,770-5,850MHz、24/26GHz、76GHz、79GHz。
- LPWA 的使用頻譜約為 915-930MHz。

2、 物聯網輕度執照相關規管架構

大部分的物聯網毋須申請執照，如小型無人機、車聯網等，惟功率較大者、使用特定頻段者或特別行業別或特別使用目的則需要執照或是申請使用。

例如目前無人機的操控大部分不需要執照，惟在操控、圖像傳輸、資料傳輸時，技術上若使採用 169MHz 頻段、1.2GHz、2.4GHz 頻段、5.7GHz 頻段者，需要申請無線台（發射器）執照，以及申請操控者的執照。

目前 LPWA 若使用的是較大功率的「陸地行動台」，需申請登記或執照，若是其餘特定低功率無線台則不須執照。

3、 物聯網之實驗應用

法國 sigfox 在日本的單一授權者為京瓷，其相關實驗的導入領域包含智慧停車、低溫配送（食物溫度監控）、民生物聯網（下水道檢測）等。

LoRa 在日本的使用普遍性較高，目前實證案例有智慧安全（兒童守護服務）、民生物聯網（淹水監控）等。

第三節　結果分析與建議

一、 5G 頻譜整備與管制政策

本計畫針對國際 5G 頻譜政策研析，總共蒐集包括歐盟、英國、美國、澳洲、日本、韓國、德國、愛爾蘭與加拿大共九個國家之 5G 頻譜整備與監理政策，以下摘要比較各國整備與監管規範內容。

(一) 政策發展與思維

本計畫整理研究國家之 5G 政策重心如下表 7- 60。

表 7- 60：各國 5G 政策重心比較

國家	政策發展重心
歐盟	● 提供技術研發與垂直場域應用專案開發之補助。 ● 提出歐洲電子通訊規則草案，針對頻譜核配、投資誘因與執照架構等議題進行研擬，以支持 5G 網路的實踐與發展。
英國	● 想要成為 5G 世界的領導者，透過新技術取得領先者的利益，同時訂定至 2027 年英國大部份居民可接收到 5G 訊號的目標。 ● 提供公共資金推展 5G 應用範例，降低 5G 投資風險。
美國	● 想要成為領先全世界提供 5G 的國家。 ● 以前瞻頻譜政策、現代化的基礎設施以及以市場為基礎的管制規範構成實現 5G 承諾的核心目標。
澳洲	● 5G 不僅是行動通訊量化的改變，更將為澳洲各領域經濟帶來下一波創新與成長。 ● 5G 相關行動措施包括：及時提供可用頻譜、積極參與國際標準活動、精簡配置，讓行動業者能夠更快速布建 5G 基礎設施，以及審查現有電信監理規範，確保適合 5G 發展。
日本	● 藉由完善的頻譜供應，提供 5G 實證實境環境。 ● 行動方案包括頻譜核配制度之修正、公共頻譜的有效利用策略、頻率使用費制度修正，以及基於技術推展的頻譜有效使用方案。
韓國	● 希望成為全球第一個 5G 商用化國家。 ● 研析 5G 頻譜拍賣底價；討論頻譜出租、轉讓；討論區域執照之可能性；規劃建立頻譜需求預測系統；促

	進頻譜共享使用之可能性；導入低效率頻譜回收機制。
德國	● 物聯網將在未來經濟與生活占有重要地位，將需要有 Gigabit 的行動網路，因此需要 5G 作為此一數位轉型之主要技術。 ● 德國 5G 行動策略包括：啟動 5G 網路布建、提供所需無線頻譜資源、推動電信業者與應用產業之合作、支持 5G 相關研究以及啟動 5G 城鄉應用。
愛爾蘭	● 確保愛爾蘭消費者與企業能擁有經濟實惠、高品質的網路與應用，進而促成歐盟希望於 2020 年讓歐洲供民都能獲得 5G 利益的目標。 ● 積極參與國際頻譜協同合作，確保無線頻譜監管發展國際趨勢符合愛爾蘭的具體要求。
加拿大	● 加拿大認知世界潮流的發展，透過重點產業與 5G 之整合，確保加拿大國民能於一流網路和數位化進步中受益。 ● 加拿大將該國定位為 5G 手機與其他先進設備的受益者。

資料來源：本計畫彙整

(二) 頻譜使用與處理

本計畫整理研究國家之 5G 候選頻段如下表 7- 61。

表 7- 61：各國 5G 候選頻段規劃

國家	候選頻段規劃
歐盟	● 低頻段：700MHz； ● 中頻段：3.4-3.8 GHz； ● 高頻段：24.25-27.5GHz ● 免執照頻段：66-71GHz
英國	● 低頻段：整備 700MHz； ● 中頻段：釋出 2.3GHz 與 3.4-3.6GHz，整備 3.6-3.8GHz 與 3.8-4.2GHz； ● 高頻段：26GHz ● 免執照頻段：研議 57-66GHz 與 66-71GHz 頻段之可行性。
美國	● 低頻段：600MHz

	● 中頻段：修正 2.5GHz 與 3.5GHz 頻段規管制度，調查 3.7-4.2GHz 使用狀況。 ● 高頻段：規劃釋出 24GHz、28GHz，整備 37GHz、39GHz，研析 47GHz、42GHz 與 50GHz。 ● 免執照頻段：規劃 6GHz 頻段、64-71GHz 頻段
澳洲	● 低頻段：調查 850MHz 與 900MHz； ● 中頻段：規劃釋出 3.6GHz； ● 高頻段：整備 24.25-27.5GHz、調查 28GHz。
日本	● 低頻段：整備 1.7GHz ● 中頻段：檢討 2.3GHz、2.6GHz，釋出 3.4-3.48GHz，整備 3.7GHz 與 4.5GHZ ● 高頻段：整備 28GHz，追蹤 WRC-19 候選頻段之發展。
韓國	● 中頻段：釋出 3.42-3.7GHz。 ● 高頻段：釋出 26.5-28.9GHz，整備 28.9-29.5GHz。
德國	● 低頻段：700MHz。 ● 中頻段：整備 2.1GHz、規劃 3.4-3.7GHz、3.7-3.8GHz。 ● 高頻段：26GHz 與 28GHz。
愛爾蘭	● 中頻段：已釋出 3.6GHz。 ● 高頻段：已釋出 26GHz
加拿大	● 低頻段：600MHz ● 中頻段：整備 3400-3650MHz、3650-4200MHz。 ● 高頻段：整備 27.5-28.35GHz、37-40GHz。 ● 免執照頻段：整備 64-71GHz。

資料來源：本計畫彙整

(三) 執照管理與規範義務

本計畫整理研究國家之 5G 執照管理與規範架構如下表 7- 62。

表 7- 62：各國 5G 執照管理與規範架構比較

國家	執照與規範架構
歐盟	建議各會員國採彈性化執照許可制度，包括排他性個別執照以及一般許可制（包含共享與免執照）。
英國	討論各種頻譜許可制度，包括免執照、共享執照、區域執照與混合授權制度。
美國	針對 5G 毫米波頻譜設定 UMFUS 執照。
澳洲	探討 3.6GHz 與 26GHz 可能的三種使用型態，與討論企業專網之可能性。
日本	頻譜仍以審議制方式釋出，開始討論以企業專網核配之可能性。
韓國	頻譜取得仍以電信業者為主。
德國	除電信業者外，規劃 3.7-3.8GHz 以區域執照釋出之可能性。
愛爾蘭	為鼓勵新興無線頻譜技術開發與創新應用服務，愛爾蘭建立實驗執照與場測許可執照。
加拿大	應可採用既有之彈性使用執照，允許不同業務共用頻段。政策上規劃採取區域執照核發 5G 毫米波頻譜。

資料來源：本計畫彙整

二、 物聯網頻譜整備與管制政策

本計畫針對國際物聯網頻譜政策研析，總共蒐集包括歐盟、英國、美國、澳洲與日本共五個國家，除了物聯網與車聯網以外，亦針對無人載具使用頻段之相關政策進行研析。以下摘要比較各國整備與監管規範內容。

(一) 政策發展與頻段整備

本計畫整理研究國家之物聯網政策重心如下表 7- 63。

表 7- 63：各國物聯網政策發展

國家	政策發展重心
歐盟	● 物聯網：推動歐洲物聯網發展，建構蓬勃的物聯網生態環境、以人為中心的物聯網以及物聯網單一市場。 ● 車聯網：積極推動 ITS 系統發展創新。 ● 無人機：認為無人機將可歐洲社會帶來廣泛的利益。
英國	● 物聯網：提供足夠頻譜接取以鼓勵物聯網的投資與創新。 ● 車聯網：訂定 ITS 規則，支持歐洲電子安全倡議。 ● 無人機：確保無人機使用的安全性
美國	● 物聯網：FCC 從產業發展趨勢、應用成長趨勢、網路訊務量、實驗執照申請案例等角度，通盤考量各項應用所需頻譜資源。 ● 車聯網：正檢討 DSRC 專用頻段與免執照設備共存之可行性。 ● 無人機：商用業者提起訴願，爭取 5030-5091 MHz 頻段為專用。
澳洲	● 物聯網：關注四大領域以促進物聯網發展，包括推動通訊基礎設施所需的頻譜與號碼、確保網路安全性與完整性、制定設備與資訊之互通標準，以及協助國民強化數未能例。 ● 車聯網：引入 C-ITS 有其價值。 ● 無人機：確保無人載具避免碰撞飛機，或對地面上人員與財產造成危害。
日本	● 物聯網：社立物聯網檢討委員會，擘劃未來物聯網情境與應用議題。 ● 車聯網：為建立車聯網社會，建置三項大型計畫：網路連結計畫、資料連結計畫與平臺連結計畫。 ● 無人機：整備無人機使用頻譜。

資料來源：本計畫彙整

(二) 執照管理與規範義務

本計畫整理研究國家之物聯網頻譜使用現況如下表 7- 64。

表 7- 64：各國物聯網頻段使用現況

國家	頻段使用現況

歐盟	● 物聯網：包含行動通訊業者之排他性專用頻譜與免執照頻譜。 ● 車聯網：5855-5925 MHz ● 無人機：現階段仍以免執照頻段為主（2.4GHz、5.8GHz）。
英國	● 物聯網：包含行動通訊業者之排他性專用頻譜與免執照頻譜，另外建立 80MHz 以下之商業無線電物聯網頻譜。 ● 車聯網：5855-5925 MHz ● 無人機：35MHz 與免執照頻段（2.4GHz、5.8GHz）
美國	● 物聯網：包含行動通訊業者之排他性專用頻譜、免執照頻譜與特定業務執照頻譜。 ● 車聯網： 5850-5925 MHz。 ● 無人機：聯邦政府使用 5350-5470MHz，非政府使用之業者正爭取 5030-5091MHz。
澳洲	● 物聯網：包含行動通訊業者之排他性專用頻譜與免執照頻譜。 ● 車聯網：5855-5925MHz ● 無人機：主要使用免執照頻譜。
日本	● 物聯網：包含行動通訊業者之排他性專用頻譜與免執照頻譜，LPWA 主要使用 915-930 MHz。 ● 車聯網：755.5-764.5 MHz、5770-5850MHz、24/26 GHz、76GHz、79GHz。 ● 無人機：73MHz、169MHz、920MHz、1.2GHz、2.4GHz 與 5.7GHz。

資料來源：本計畫彙整

本計畫整理研究國家之物聯網頻譜使用現況如下表 7- 65。

表 7- 65：各國物聯網執照架構與規範義務

國家	執照架構與規範義務
歐盟	● 物聯網：目前尚無一個可整合之執照架構，可分為專用執照與免執照。 ● 車聯網：設定設備使用之技術規範，例如最大頻譜功率密度等。

	● 無人機：認為使用免執照頻譜，可能增加無人機使用之風險與干擾議題，惟現階段相關執照制度仍持續檢討、演進中。
英國	● 物聯網：建立商業無線電物聯網執照，其中包含技術指配執照、區域專用執照以及輕度執照。 ● 車聯網：設定設備使用之技術規範，例如最大頻譜功率密度等。 ● 無人機：採取免執照與技術規範。
美國	● 物聯網：包含行動通訊業者之排他性專用頻譜、免執照頻譜與特定業務執照頻譜。 ● 車聯網：正檢討 DSRC 專用頻段與免執照設備共存之可行性。 ● 無人機：商用業者提起訴願，爭取 5030-5091 MHz 頻段為專用。
澳洲	● 物聯網：執照架構區分為頻譜執照、設備執照與類別執照。 ● 車聯網：主要使用免執照下與類別執照。 ● 無人機：主要使用免執照與類別執照。
日本	● 物聯網：大多數情況下無須申請執照，僅 920MHz 的 LPWA 若使用陸地行動臺時，須申請執照或登記，若其餘特定低功率無線局則無須執照。 ● 車聯網：免執照。 ● 無人機：無人機應用於遙控、圖像傳輸、資料傳輸，且使用 169 MHz、1.2GHz、2.4GHz 與 5.7 GHz 時，須申請執照。

資料來源：本計畫彙整

第八章　新世代行動通信及物聯網新興技術之頻譜整備與規管政策研析－我國政策研析

第一節　我國行動寬頻業務市場發展現況

2013 年 11 月我國首次辦理行動寬頻業務執照釋照作業，拍賣 700MHz、900MHz 與 1800MHz 頻段共計 270MHz，2015 年與 2017 年又陸續完成兩次釋照作業，分別為 2015 年釋出 2500MHZ 及 2600MHz 頻段共 190MHz，2017 年釋出 2100MHz 與 1800MHz 剩餘未釋出頻段共130MHz，歷經三次釋照作業，目前我國已釋出供行動寬頻業務使用之總頻寬達 590MHz，核配現況如下圖 8-1。

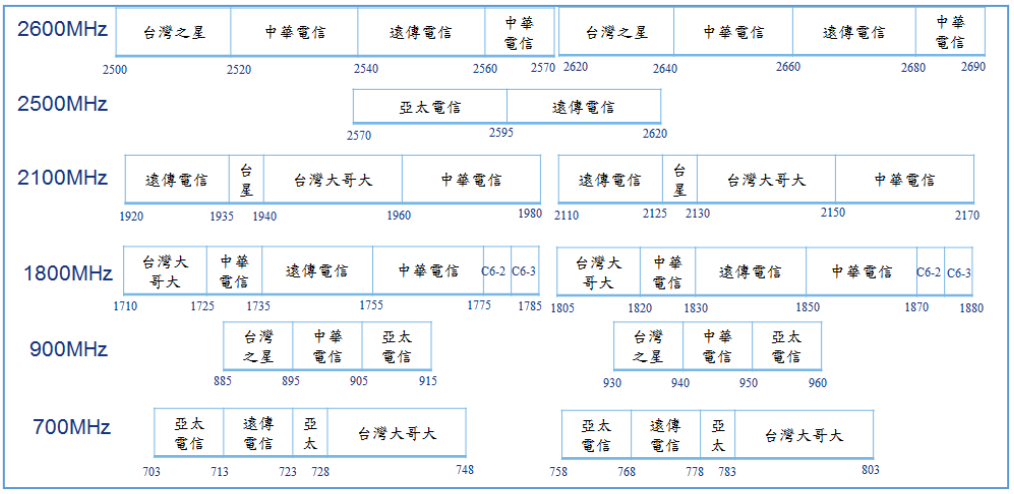


圖 8-1：我國行動寬頻業務頻譜資源核配現況

通傳會於 2013 年 11 月完成行動寬頻業務釋照作業後，國內電信業者積極投入 4G 行動寬頻網路建設，中華電信於 2014 年 5 月底首先宣布 4G 行動寬頻業務開臺，其他電信業者亦陸續跟進，進而帶動我國行動寬頻市場蓬勃發展，為民眾帶來高速行動上網服務體驗。4G 服務提供帶動相關創新應用發展，推升用戶之行動上網需求，4G 用戶每月平均數據傳輸量由 2015 年初的 8.32GB，一路成長至 2018 年初的 14.74GB，如下圖 8-2。

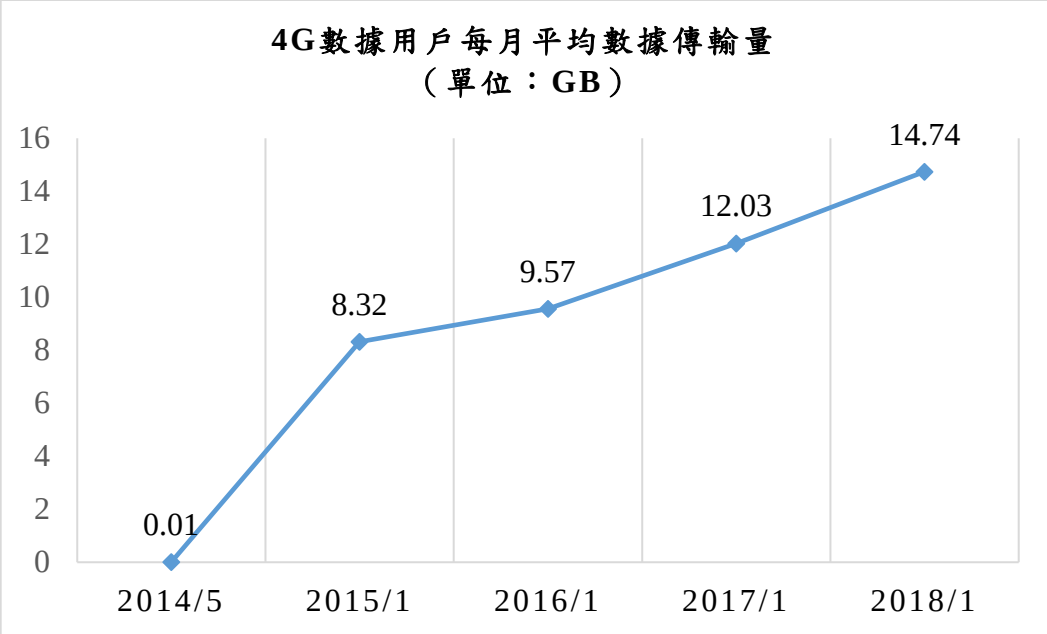


圖 8-2：我國 4G 數據用戶每月平均數據傳輸量發展趨勢

我國整體行動通訊數據傳輸量亦由 2015 年第一季的 263,016 Tbytes，大幅成長為 2018 年第一季的 1,057,266 Tbytes，如下圖 8-3。

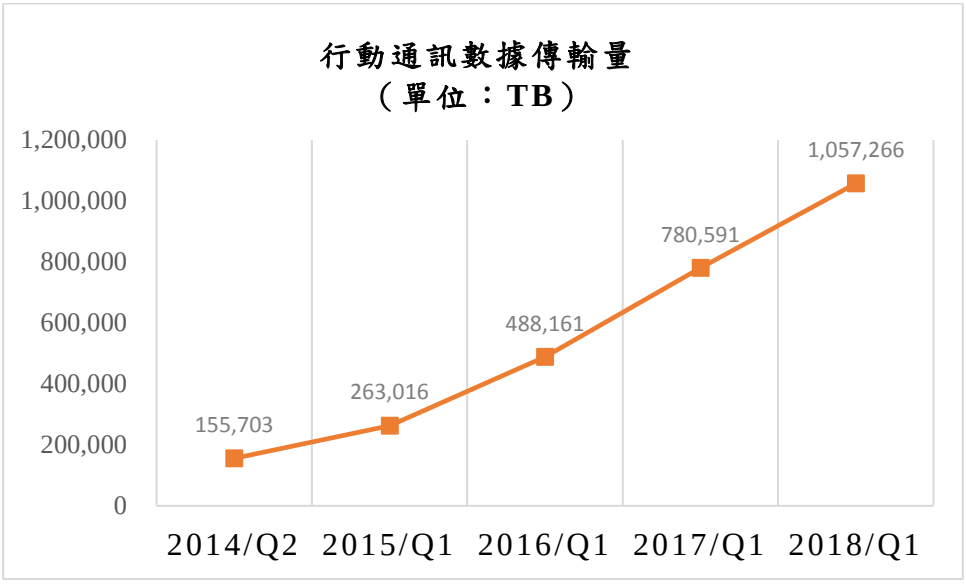


圖 8-3：我國行動通訊數據傳輸量發展趨勢

由我國 4G 用戶之行動寬頻數據傳輸量統計數值觀察，可發現國內用戶對於高速行動寬頻網路服務需求殷切，高速行動上網已成為民眾日常生活中不可或缺之必需品之一。未來 5G 可帶來超高傳輸速率、巨量設備連線能力以及極低網路延遲且高可靠度之通訊特性，將帶動更多創新應用服務發展。因此，完善 5G 頻譜整備與釋照作業，應為通傳會現行政策重點之一。

第二節　5G 頻譜整備與管制政策分析

我國行政院因應雲端、大數據、超寬頻、物聯網暨數位網路時代之到來，為推動我國經濟發展與加速產業轉型，故於 2016 年開始推動「數位國家 • 創新經濟發展方案」，希冀促進國內實現超寬頻網路社會所需之基礎建設，實現總統「數位國家、智慧島嶼」之國家發展願景。通傳會為完善數位創新應用所需之基礎設施，現正積極整備寬頻網路環境，通傳會於 2017 年即開始啟動 5G 工作小組會議，開始加強觀察全球 5G 技術與政策發展趨勢，陸續辦理先進國家 5G 頻譜政策研析、我國頻譜使用狀態調查與量測等相關政策措施，藉以完善我國 5G 整備政策目標，建構我國實現兆元級智慧國家所需之寬頻網路基礎設施。同時，為更進一步凝聚產業共識，藉由召開公開說明會與諮詢會議的方式，了解各界對於 5G 頻譜整備之看法。

本計畫協助通傳會整備 5G 頻譜資源相關議題。除執行 5G 中頻段可用性評估作業與國際 5G 頻譜政策研析外，另出席多場公開說明會與諮詢會議，協助通傳會蒐集、分析各界意見，並提供相關政策建議供通傳會參考。

以下將就本計畫研析之國際 5G 頻譜整備與監理政策經驗、國內進利害關係人回應進行分析與討論，據以提出本計畫研擬之我國 5G 頻譜整備政策建議。

(一) 政策規管原則

1、 頻譜政策藍圖與規管原則

觀察研究國家之 5G 政策思維比較（參見表 7- 60），應可發現許多國家包括歐盟、美國、英國與韓國均力求成為全世界 5G 的領先者，另外也有許多國家較著重於 5G 所能帶來對整體經濟面與生活面之影響，可讓國民受益的觀點，包括澳洲、日本、德國、愛爾蘭與加拿大之政策思維均與此概念相近。若更進一步比較各國 5G 頻譜政策重心，可觀察到頻譜資源整備、監理機制現代化、促進創新應用與鼓勵投資，應為各國 5G 政策思維之最大公約數。整理如下圖 8- 4。



圖 8- 4：各國 5G 政策核心

本計畫參考各國 5G 頻譜政策推動措施，並參考我國現行資通訊市場環境，認為我國 5G 頻譜政策思維，應著重於推動 5G 對整體經濟與生活帶來之向上提升，使全體國民均可獲得 5G 所帶來之利益。本計畫提出建議之我國 5G 頻譜政策行動策略，包括：

- 頻譜資源整備
  - 積極整備與釋出頻譜；
  - 建構彈性化之頻譜機制，允許出租、轉讓、促進頻譜共享與免執照頻譜使用等；
  - 確保頻譜之協同一致與資源有效利用。

- 現代化監管制度
  - 革新基礎設施相關規範，因應未來 5G 時代下可能存在之高密度基地臺設置需求，探討現有架設許可與審驗相關規範有無需調整之空間；
  - 促進 5G 網路布建，研議現行基礎設施共享（網路共享）是否能滿足我國 5G 網路布建需求，藉由更彈性之布建規範，加速國內 5G 網路商轉；
- 促進創新應用
  - 提供技術研發與垂直應用開發之場域，必要時可提供補助；
  - 推動電信業者與垂直應用產業合作，可由通傳會或相關主責部會協調組成跨產業整合窗口，建構跨產業溝通平臺；
  - 參與國際合作與標準制定；
- 鼓勵投資：
  - 運用公共資金提供補助；
  - 提升管制明確性，降低投資風險。

綜整以上，本計畫提出所建議之我國 5G 頻譜政策原則，如下圖 8- 5。

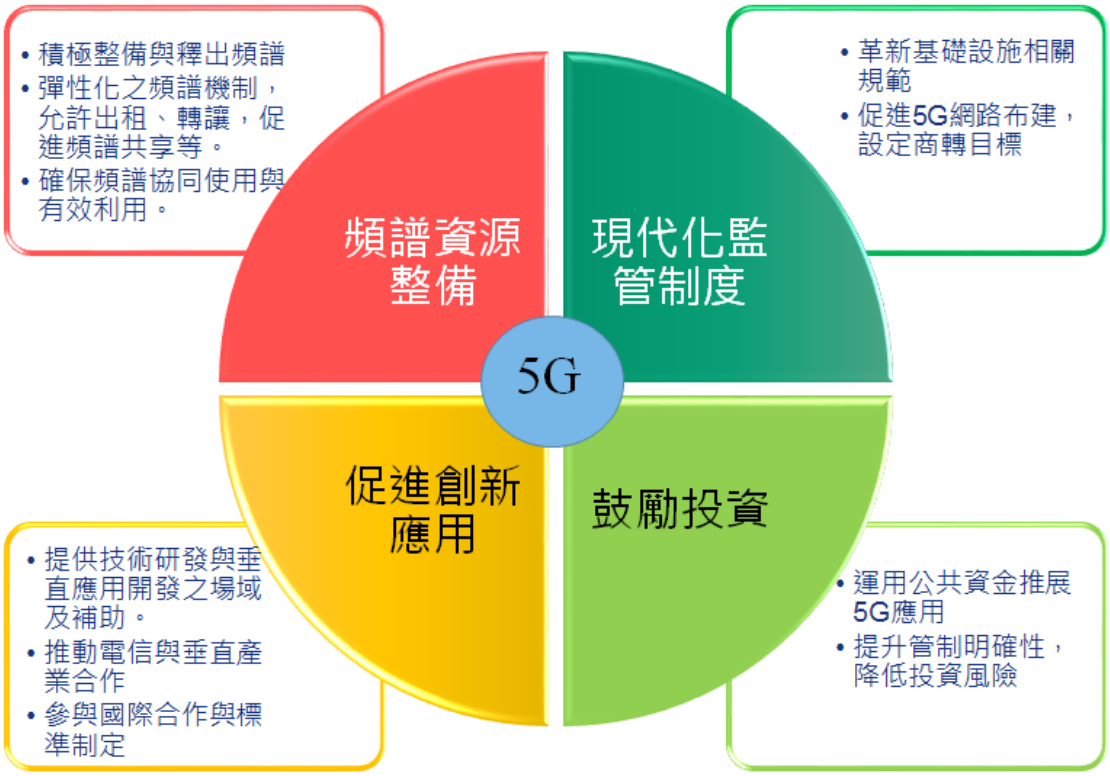


圖 8- 5：本計畫建議之我國 5G 頻譜政策核心

(二) 頻譜整備

1、 候選頻段與釋出時程

(1) 國際經驗比較

本計畫綜合目前研究國家對於 5G 與行動通訊頻譜之釋出時程，現階段包括英國與日本均已於 2018 年上半年完成 3.4 GHz 頻段拍賣作業，而韓國於 2018 年 6 月完成的 3.5 GHz 與 28 GHz 拍賣作業，則可視為第一個以 5G 規格釋出的頻譜拍賣。

愛爾蘭緊跟其後，於 6 月 19 日完成 26 GHz 頻段拍賣作業，儘管該頻段釋出作業主要以固定無線接取業務之規格，但該頻段已被歐盟視為 5G 高頻段主要頻段之一。義大利則於 9 月完成 700MHz、3.6-3.8 GHz 與 26 GHz 頻段拍賣作業，美國與澳洲陸續規劃於 11 月進行頻譜釋照作業。國際 5G 頻譜釋照辦理時程如下圖 8- 6。

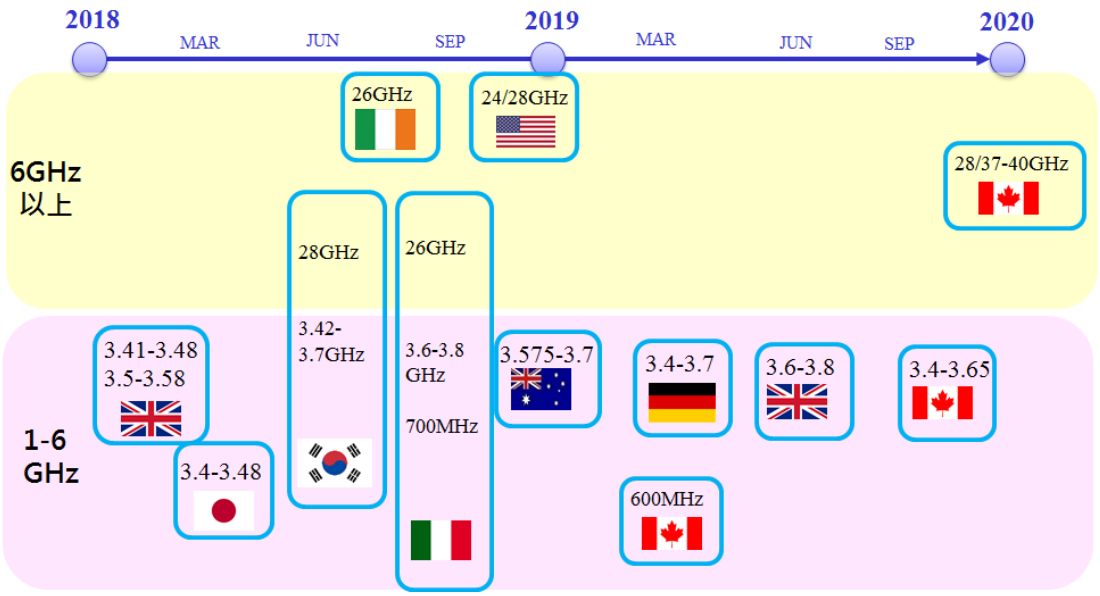


圖 8- 6：國際 5G 釋照辦理時程與後續規劃

資料來源：本計畫繪製

若依照頻段區分，目前國際間 5G 中頻段部份多集中於 3.4-3.8 GHz，包括英國、日本及韓國均針對該頻段完成頻譜釋照作業，英國尚持續檢討 3.6-3.8 GHz 頻段後續釋照作業，以及探詢 3.8-4.2 GHz 以共享方式釋出之可行性。日本正整備 3.6-4.1 GHz 頻段以及 4.5-4.6 GHz 頻段，相關頻段初步以 100MHz 為單位，釋出多張執照供 5G 使用，另外，總務省也在檢討 4.6-4.8 GHz 分配給自營用業者（可能為垂直應用或分區執照）之可行性，惟相關政策尚未定案。美國已修改其 3.5 GHz 執照規範，使該頻段更適合用於布建 5G，同時調查 3.7-4.2 GHz 頻段使用狀態。德國正規劃 3.4-3.7 GHz 頻段釋出作業，同時預計 3.7-3.8 GHz 可能採區域執照方式釋出。研究國家 5G 中頻段整理如下圖 8- 7。

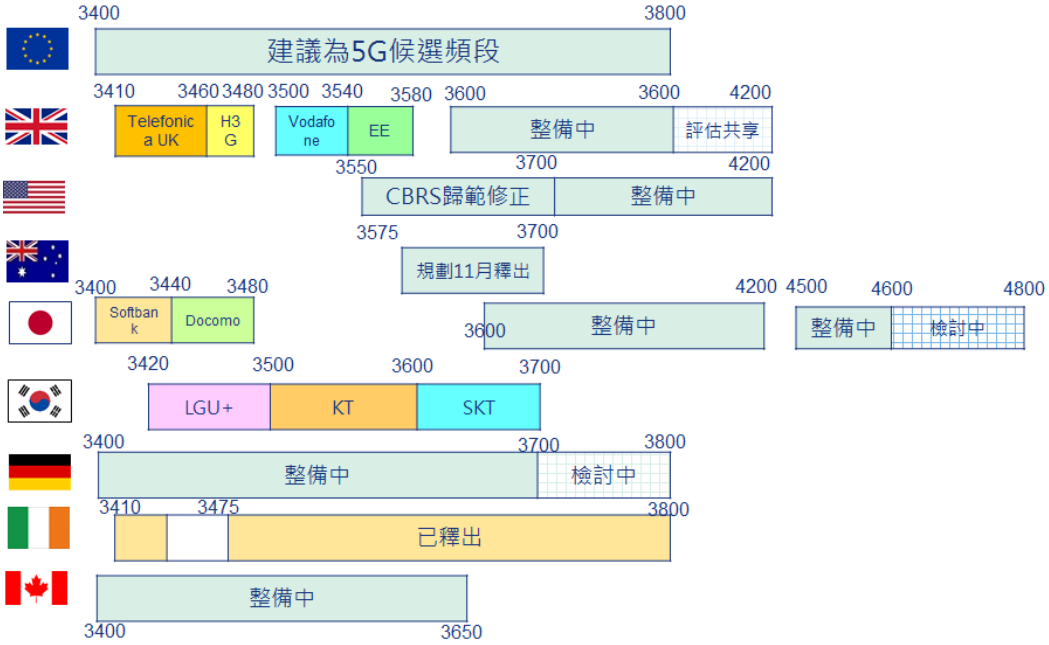


圖 8- 7：國際 5G 中頻段候選頻段

資料來源：本計畫繪製

高頻段部分，頻段整理如下圖 8- 7。

國家	5G 高頻段候選頻段	免執照頻段候選頻段
歐盟	24.25-27.5GHz	66-71GHz
英國	26GHz	研議 57-66GHz 與 66-71GHz 頻段之可行性
美國	● 規劃釋出 24GHz、28GHz ● 整備 37GHz、39GHz ● 研析 47GHz、42GHz 與 50GHz。	規劃 6GHz 頻段、64-71GHz 頻段
澳洲	● 整備 24.25-27.5GHz ● 調查 28GHz。	
日本	● 整備 28GHz ● 追蹤 WRC19 候選頻段發展。	
韓國	● 釋出 26.5-28.9GHz ● 整備 28.9-29.5GHz。	

德國	● 規劃 26GHz 與 28GHz。	
愛爾蘭	● 釋出 26GHz	
加拿大	● 整備 27.5-28.35GHz、37-40GHz。	● 整備 64-71GHz。

資料來源：本計畫整理

(2) 國內產業利害關係人之看法

本計畫協助通傳會辦理 5G 公開說明會與諮詢會議，藉以蒐集相關利害關係人之看法，針對我國 5G 頻譜釋出時機之探討，陸續於 6 月 20 日召開之「5G 頻譜整備規劃諮詢公開說明會」、8 月 14 日與 8 月 21 日召開之「5G 頻譜整備進一步諮詢會議」，以及 9 月 11 日召開之「5G 頻譜整備續行諮詢會議」與 10 月 25 日召開之「3.5 GHz 頻段量測結果說明及前經諮詢備便頻段供用深入研討會議」等。

在歷次會議中，經濟部代表、網通設備商等曾建議於 2019-2020 年間釋出 5G 頻譜，電信業者則普遍認為應於 2020 年後再釋出。

對於釋出頻段之時程規劃，部份業者認為應分階段釋出低、中、高頻，第一階段應以中頻段與高頻段為主，並認為 5G 低頻段應設備發展時程較慢，應於後續再辦理釋出，另有電信業者認為，每次釋出均應涵蓋低、中、高頻段，且 1800 MHz 與 2300 MHz 應併同釋出。

至於釋出頻段，部份業者建議可評估 600 MHz 與 800MHz 作為 5G 釋出之可能性，惟衛星業者強烈反對再開放其他 1GHz 以下頻段作為 5G 使用。

衛星業者也強烈反對 5G 使用 3.4-4.2 GHz 頻段，經濟部贊成 3.4-4.2GHz 頻段應作 5G 使用，且一業者可取得頻寬應達 100MHz，電信業者則認為 3.4-4.2 GHz 以及 4.4-5.0 GHz 頻段應納為我國 5G 候選頻段，另有業者提出閒置未釋出之 1800 MHz 與 2.3 GHz 應考量一併釋出。

高頻段部份，經濟部認為 28GHz 應以大量連續頻寬釋出，並觀察國際間對於 26 GHz 與 39 GHz 頻段之需求與釋出進度。其餘業者則認為可參考 3GPP 與 WRC-19 會議，優先以 24.25-27.5 GHz、26.5-29.5 GHz 與 37-40GHz 作為優先整備對象，連續頻寬應達 400MHz 以上。

(3) 綜合分析與建議

本計畫參考國際經驗、國內利害關係人回應意見與我國現階段頻譜整備與核配狀態，提出建議之候選頻段與釋出時機。

基於 5G 新無線電（5G New Radio, 5G NR）技術發展，初期將採非獨立組網方式（non-standalone），與 LTE 共同使用。因此，目前許多國家主管機關已開始檢討既有已核配給 4G LTE 使用的 700MHz、800MHz、900MHz、1.8 GHz、2.1GHz、2.6 GHz 及 2.3 GHz 頻段，透過採取技術中立、或放寬執照技術限制等，讓該頻段得可彈性應用於 5G 使用。此外，為促進頻譜有效利用，過往曾為行動通訊技術採用，但 4G LTE 較少採用之頻段，如 1.9GHz、2 GHz 頻段等，目前亦有檢視是否釋出供行動通訊業務使用之討論。

根據目前 3GPP 技術標準，摘錄我國利害關係人曾提及之 800MHz、1800MHz、1.9GHz、2GHz 與 2.3GHz，目前相關頻段都有被列入 5G NR 運作頻段之中，如下表 8- 1。

表 8- 1：3GPP 5G NR 運作頻段（摘錄）

NR 運作頻段	上行頻率	下行頻率	多工模式
n3	1710-1785 MHz	1805-1880 MHz	FDD
n5	824-849 MHz	869-894 MHz	FDD
n34	2010-2025 MHz	2010-2025 MHz	TDD
n39	1880-1920 MHz	1880-1920 MHz	TDD
n40	2300-2400 MHz	2300-2400 MHz	TDD

若考慮 LTE FDD 與 TDD 各自之支援設備數量，則呈現如下表 8- 2 與下表 8- 3 所示。

表 8- 2：LTE FDD 頻段支援設備數量（摘錄）

LTE FDD 頻段配置	支援設備數量
1800 MHz Band 3	8,313
850 MHz Band 5	4,246
AWS Band 4	3,371
1900 MHz Band 2	3,231
700 MHz Band 17	2,301
APT 700 MHz Band 28	1,324
…	…

資料來源：GSA

表 8- 3：LTE TDD 頻段支援設備數量（摘錄）

LTE TDD 頻段配置	支援設備數量
2300 MHz Band 40	3,793
1900 MHz Band 39	2,080
3500 MHz Band 42	221
3700 MHz Band 43	172

資料來源：GSA

目前我國 600MHz 頻段主要由公部門專用電臺與無線電視電臺使用，800MHz 頻段則規劃涉及 PPDR(Public Protection and Disaster Relief)與公共物聯網等專用電信之需求。而行政院科技會報辦公室於 2018 年 10 月 31 日召開之 5G SRB 會議中，暫定 3.5GHz 頻段釋出 3300-3570 MHz 共 270MHz、27 GHz-29.5 GHz 共 2500 MHz。通傳會則於 2018 年 10 月 25 日召開之諮詢研討會議中，進一步徵詢外界對於釋出 1775-1785/1870-1880、1885-1920、2010-2025 及 2355-2390MHz 等頻段之看法。

考量全球 5G 技術發展進度與各國主管機關整備趨勢，目前 1800 MHz 與 2300 MHz 頻段已為 4G LTE 主要使用頻段，且支援此二頻段之設備數量多，故本計畫建議可考慮與 3.3-3.6 GHz 整備頻段於第一階段併同釋出。

至於 1885-1920 MHz 與 2010-2025 MHz 頻段，該類頻段過往多作為 3G UMTS TDD 使用，未多見於 4G LTE 使用，且設備支援數量少，故初步建議應可先行保留，待未來技術成熟後再行檢討。

另外，本計畫亦觀察到，因應既有衛星業務使用狀態，部份國家如英國，正檢討 3.8-4.2 GHz 採共享機制方式提供服務之可能性，此外，日本正積極整備 3.6-4.1GHz、4.5-4.6 GHz，且規劃 4.6-4.8 GHz 可作為垂直場域或區域執照使用，除此之外，澳洲、紐西蘭與新加坡均考慮將 1500 MHz 作為 5G 使用頻段之可能性；歐盟認為 1500 MHz 頻段為潛在 5G 使用頻段。因此，本計畫建議，相關頻段亦應納入作為 5G 中頻段候選調查頻段。

高頻段部份，通傳會已規劃將 27 GHz-29.5GHz 作為第一階段開放頻譜，24.25-26 GHz 與 37-40GHz 則列為第二階段開放頻段。本計畫建議除前揭頻段外，應將 WRC-19 待決議之其餘頻段一併納入檢討，同時研議開放免執照頻段之可能性，例如歐盟規劃 66-71GHz、美國與加拿大規劃 64-71GHz。

頻譜資源之整備及釋出，牽涉範圍甚廣，包括既有使用者之使用權利、移頻或頻譜和諧共存之干擾預防機制，市場對於不同頻段之需求，以及相關頻段設備成熟度與國際發展趨勢等，均為主管機關釋出頻譜資源時，應考量之要素。

因此，本計畫建議，頻譜資源整備應具備以下步驟：

- 第一步：了解國際發展趨勢；
  - 說明：掌握國際間對於 5G 候選頻段之整備與釋出規劃，應有必要。針對重要會議如 WRC-15、WRC-19 等，主管機關應定期追蹤、掌握發展動向，確保國際間技術與標準演進趨勢有利於我國產業與市場發展。
- 第二步：評估候選頻段之國內使用狀態；
  - 說明：初步觀察了解國際間目標候選頻段後，再評估該候選頻段之國內使用狀態，例如我國 600MHz 目前主要由公部門專用電臺與無線電視電臺使用，800MHz 頻段則規劃涉及 PPDR 等，該類頻段之整備、規劃將需要耗

費較多時間，故應列為中長期候選頻譜；另外，全球優先挑選 3.5GHz 為 5G 重點頻譜，表達該頻段之設備發展與成熟度較早，故我國亦應及早整備、釋出該頻段。

- 第三步：針對候選頻段進行頻譜整備
  - 說明：以 3.5GHz 頻段為例，由於該頻段仍存在既有使用者（衛星業務），為保障既有使用者權益，主管機關應評估相關整備措施，包括和諧共用、干擾防制等相關措施，若發現需將既有使用者移頻時，則應考量相關補償機制。
- 第四步：釋出頻譜前確保頻段乾淨可用
  - 說明：釋出頻譜資源前，主管機關應量測相關釋出頻段，確保頻譜無其他既有使用者，乾淨可用，保障得標者使用權益。
- 第五步：定期觀察頻譜使用效率
  - 說明：為確保頻譜資源使用效率極大化，使頻譜可帶來之效益為全體公眾同享，主管機關應定期觀察執照持有人之頻譜使用效率，提升頻譜資源使用率。

觀察國際發展趨勢、國內利害關係人之回應意見以及我國頻譜核配現況後，本計畫建議 5G 候選頻段與通傳會現行規劃比較如下表 8- 4。

表 8- 4：通傳會規劃與本計畫建議之 5G 候選頻段比較

		1GHz 以下	1-6 GHz	6GHz 以上	免執照
通傳會規劃	第一階段	-	● 1775-1785/ 1870-1880 ● 1885-1920 ● 2010-2025 ● 2355-2390 ● 3300-3570	27-29.5 GHz	未公告
	第二階段	● 600MHz ● 800MHz	4.5-5GHz	● 24.25-26GHz ● 37-40 GHz	未公告
本計畫建議	第一階段	-	● 1775-1785/ 1870-1880 ● 2355-2390 ● 3300-3570	27-29.5 GHz	
	第二階段	● 600MHz ● 800MHz	● 4.5-5GHz ● 3.8-4.2GHz ● 1.5GHz	● 24.25-26GHz ● 37-40 GHz	64-71GHz

註 1：通傳會尚在諮詢公眾對於第一階段釋出 1775-1785/1870-1880、1885-1920、2010-2025 及 2355-2390MHz 之看法。

註 2：通傳會說明，600MHz 及 4.5-5 GHz 頻段需與專用電信使用單位協調，800MHz 須視國內 PPDR 規劃進度。

2、 既有衛星業務處理機制分析

(1) 國際經驗比較

美國 FCC 於 2018 年 7 月公告對於 3.7-4.2GHz 衛星業務與 5G 使用之法規修正草案。主管機關要求所有運作於 3.7-4.2GHz 頻段之既有業者，應提交其地球電臺與太空電臺之相關資訊，包括編號、設備座落地理位置、設備使用區域資訊、預期年限等。

澳洲 3.6GHz 頻段原由固定衛星業務使用，2008 年 10 月後部分區域與偏遠地區改分配給寬頻無線接取業務使用。2016 年 ACMA 開

始討論 3.6GHz 頻段轉分配供 5G 業務，並預計於 2018 年 11 月拍賣。該頻段於大多數區域均釋出供 5G 使用，僅於東岸 4 個區域設立衛星地球電臺保護區。香港主管機關於 2018 年 3 月決議原衛星業務使用 3.4-3.7GHz 頻段之權利，將於 2020 年 3 月 31 日終止。自 2020 年 4 月 1 日起，3.4-3.7GHz 頻段轉分配給行動通訊業務使用。

英國主管機關於 2014 年開始討論軍用雷達與衛星業務使用頻率接近 3.4GHz 頻段時，與開放 3.4GHz 供行動通訊業務使用時之干擾共存議題。主管機關 Ofcom 最後決定採取設定國防設備保護區之方式，避免影響軍用雷達。本計畫研析國際間對於 5G 候選頻段既有業務之處理經驗，摘要如下表 8- 5。

表 8- 5：各國 5G 候選頻段之既有衛星業務處理方式

國家	衛星業務處理作法	保護頻寬	保護距離	干擾保護區
美國	主管機關向既有業者調查電臺必要資訊。	規劃中	規劃中	規劃中
澳洲	於東岸 4 個區域設立衛星地球電臺保護區	無	將採設定保護區之方式處理。	於 Moree、Quirindi、Roma 及 Uralla 設立保護區。
日本	衛星主要使用 3.7-4.2GHz。目前正檢討 5G 與衛星下鏈之共存使用議題	無	無	與衛星地球臺距離最大 20 公里
香港	原衛星業務使用 3.4-3.7GHz 頻段之權利，自 2020 年 4 月 1 日起，3.4-3.7GHz 頻段轉分配給行動通訊業務使用。	100MHz (3600-3700MHz)	依 5G 天線和衛星接收天線架設高度差區分： ● 5G 天線架設高度較低時，無須干擾保護間距。 ● 5G 天線較高時，5G 基地台應位於加裝濾波器之衛星天線的東、西	對於設置於大埔工業村以及赤柱之衛星遙測、追蹤與控制站，將設計保護區，主管機關提供限制區之座標，禁止 5G 於區域內使用與建置 3.5GHz 基站。

			方 65 公尺外。	
英國	採取設定國防設備保護區之方式，避免影響軍用雷達。	無	依照不同區域之特性，設定保護區運作距離與範圍。 雷達站臺之保護區域最遠為 7 公里。	監理機關公告保護區之郵遞區號。

資料來源：本計畫整理

(2) 國內產業利害關係人之看法

針對我國候選頻段之既有衛星業務與干擾處理議題，國內產業利害關係人抱持不同見解，衛星業者認為應保留 3.5GHz 頻段供衛星業務使用，有線寬頻業者則認為設定干擾保護區之難度過高，電信業者則意見分歧，擁有 ST-2 的中華電信建議應保留 ST-2 使用頻率，部份電信業者不建議劃定衛星接收站保護區，建議優先考慮移頻措施，另有一家業者認為若移頻後仍有干擾疑慮，可適度找尋一適合之地形，方建議劃定衛星接收站保護區。

(3) 綜合分析

本計畫於 5G 中頻段可用性量測部份，已藉由實驗室量測、戶外量測等方式，釐清可能之干擾疑慮。通傳會於 10 月 29 日舉辦之 5G SRB 策略會議中，決議與 3.5 GHz 頻段釋出 270MHz，故已初步決議採移頻方式，關閉 ST-2 內之 1A 轉頻器與 2B 轉頻器，其餘 ST-2 使用頻率仍可持續使用。

有關保護區量測結果，請參考本計畫第二章 5G 中頻段使用狀況量測結果分析。

3、 移頻損失之補貼機制政策建議

(1) 國際經驗比較

本計畫調查研究國家在要求既有使用者移頻之情境下，是否設定相關補貼機制，以彌補既有使用者之損失。

歐盟 ECC 認為，各會員國於搬遷既有業務至頻段內特定區塊，以極大化 5G 可釋出連續頻寬時，應可考慮對願意搬遷的業者提供資金。韓國針對移頻所造成之設備損失，新使用者應補償既有業者，主管機關必要時得介入協調；日本則於法規中明定新使用者應補償既有業者，補償方式則以商業協商方式辦理。澳洲條文規範當頻譜核配位置改變、執照無法續照或執照取消時，ACMA 無法提供經濟補償，但為了協助過渡到新的頻譜配置，或減輕影響程度，ACMA 將為既有用戶制定相關減輕措施，包括延長頻譜續約期限，或調查替代頻譜的選項。針對 3.7-4.2GHz 頻段之既有業者，美國 FCC 列出幾種方案諮詢公眾意見，包括：

- 方案 1：以市場為基礎的移轉促進（Transition Facilitator）機制，讓有意願的既有衛星業者與行動業者雙方透過商業協商方式，呈報主管機關並經過許可後，授予頻譜使用權給新使用者。
- 方案 2：藉由拍賣機制促進頻譜使用權移轉，包括重複拍賣（overlay auction）、誘因拍賣與容量拍賣（capacity auction）等，促進既有使用者頻譜資源移轉給新使用者。

英國 Ofcom 於 2018 年 8 月 23 日發布「PMSE 設備持有者於 700 MHz 頻段清頻整備作業（PMSE clearing the 700 MHz band：Support for PMSE equipment owners）」聲明及諮詢文件，希望補償 PMSE 設備持有者，在未獲得頻譜回收通知日之前 5 年，即被 Ofcom 要求於 2021 年 9 月之前不得再使用 700 MHz 頻段，所導致相關設備損失的補償。申請人可獲得設備補貼之費用水準計算方式，為符合條件的 PMSE 設備所估計的剩餘價值。假設設備使用年限為 15 年，且設備平均使用年數為 6 年，若申請人於 2020 年 5 月繳回設備，則可獲得

設備價值 60%之補貼；若申請人提前繳回設備，則可再依繳回時間比例調整。

另外，本計畫亦調查香港與紐西蘭之補償機制政策規劃。香港規劃將 3.4-3.6GHz 頻段轉分配給行動通訊業務，3.6-3.7GHz 則作為護衛頻帶。因此，3.7-4.2GHz 頻段之既有衛星天線電視接收系統則必須升級必要設備，以避免來自行動通訊業務使用 3.4-3.6GHz 頻段時產生之有害干擾。主管機關正徵詢各界對於建立相關設備升級費用補償機制之看法，規劃規劃要求可能的頻譜得標者應共同建立補償基金，補貼既有衛星電視系統之設備升級費用。

紐西蘭主管機關則針對 3.5GHz（3.41-3.69GHz）頻段既有業者之處理機制，列出幾種方案諮詢公眾意見，包括：

- 方案 1：由政府出資購買既有業者的剩餘使用權利；
- 方案 2：既有使用者接受來自拍賣得標價金部分比例作為補償，提早繳回既有使用權供新得標者使用。

本計畫綜整各國移頻損失補償機制如下表 8- 6。

表 8- 6：各國移頻損失補償機制比較表

國家	整備頻段	補償機制	補償基準(計算公式)
韓國	3.42~3.7GHz 26.5~28.9GHz	● 設備費用：新使用業者補償既有業者，主管機關科學部必要時得介入協調 ● 其他費用（非設備相關費用）：新業者補償既有業者（業者自行相互協商）	● 替代設備： 補償金＝(新設備金額－既有設備殘餘價值)×(1－$\frac{1}{(1+利息)^{殘餘折舊年數}}$) ● 追加設備： 補償金＝(新設備金額)×(1－$\frac{1}{(1+利息)^{殘餘折舊年數}}$)
日本	3.6~4.2GHz 4.4~4.9GHz 27.5~29.5GHz	法令規範終止促進措施：由新使用業者補償既有業者	主要由業者協商

紐西蘭	3.41-3.69GHz 24.25-28.35GHz	1、政府出資購買既有業者的剩餘使用權利； 2、既有使用者接受來自拍賣得標價金部分比例作為補償，提早繳回既有使用權供新得標者使用。	政策諮詢中，尚未公告最終決議
美國	3.7-4.2GHz	1、以市場為基礎的移轉促進機制。 2、藉由拍賣機制，促進既有使用者移轉給新使用者。	政策諮詢中，尚未公告最終決議
香港	3.4-3.7GHz	共同建立補償基金，補貼既有衛星電視系統之設備升級費用	
澳洲	3.575–3.7 GHz	ACMA 設定相關減輕措施，如延長頻譜續約期限，或調查替代頻譜選項。	無
英國	700MHz	補償 PMSE 設備使用者被主管機關提早要求繳回頻譜所導致設備之損失。	計算符合條件之 PMSE 設備估算剩餘價值，另加計額外加成 5%，來處理清移頻導致的其他成本。

資料來源：本計畫整理

(2) 國內產業利害關係人之看法

針對我國涉及既有業務移頻或要求設備升級之衍生金額支出，各界於6月20日召開之「5G頻譜整備規劃諮詢公開說明會」中熱烈討論，多數意見均認為，建議移頻或設備升級衍生之金額支出，由政府5G規費收入全額補助，或應由政府依法制定並負擔補償方案，非由得標業者與受影響業者間議定協商。至於補助基準，可考量：1、設備殘值；2、新製成本；3、使用頻率營運扣除合理利潤後之利得等。

(3) 綜合分析

目前我國電信管理法草案中，已參考他國立法制度，導入誘因拍賣機制設計，讓既有業者撤回頻譜使用權力，以交換資金補償，並通過重新規劃分配來優化頻譜資源配置的拍賣方式。因此，若評估後認為該頻段適合以誘因拍賣機制釋出，應可考慮以誘因拍賣作為選項之一。然而，我國過往並無採用誘因拍賣機制釋出頻譜資源之前例，因此將需要重新研擬相關競價規則，所需時間成本較高。

若採取日本之商業協商方式，因無須計算補貼金額，故對主管機關之行政負擔較低，但雙方可能難以達成協議，且需要調整法規，於法令中規範新使用者須補償原使用者。

香港採取共同基金的方式，原因在於接收衛星設備之使用者數量多，因此適合採取共同基金的方式，統整大量使用者之設備升級需求與移頻導致之設備損失。不過，必須於法規上強制新使用者加入此共同基金，且在多家新使用者之情境下，如何分攤投入基金比例，亦可能存在難以達成協議之風險。

我國業者普遍支持以政府專款專用之補償方式，由於過往我國曾有數位電視轉換先例，補貼數位電視設備升級，因此對主管機關之難度較低，惟設備的成本如何估算，政府是否有足夠財源支應，將是另一個困難。若要採取此一選項，主管機關可參考美國 FCC 之措施，清查所有目標頻段內之既有使用者設備使用狀況與使用年限等資訊。

至於利害關係人建議可採取之另一種補貼選項：以標金支應，目前規費法規範所有標金收入均須繳回國庫，因此將與選項 1 誘因拍賣相同，須修訂相關法令。

表 8- 7：本計畫分析移頻補貼選項之優缺點比較表

	內容	優點	缺點
選項 1：誘因拍賣	採誘因拍賣機制決定移頻補貼金額	透過拍賣機制決定繳回金額	無先例，須花費較長時間擬定競價規則
選項 2：商業協商	於法令中規範新使用者須補償原使用者	對主管機關之行政負擔較低	雙方可能難以達成協議
選項 3：設立共同基金	新使用者挹注共同基金進行補貼	適合大量原使用者之型態	多家新使用者時，較難計算支出金額分攤比例
選項 4：政府專款專用補償	政府出資購買既有業者的剩餘使用權利，或補貼設備升級費用	可參考數位電視轉換先例	政府另闢財源
選項 5：標金規費收入支應	由標金支應移頻損失與補貼設備升級費用	保障既有業者可回收其設備損失	須調整現行規費法令

資料來源：本計畫製表

本計畫建議，短期而言，通傳會可先調查受影響設備之使用情形，掌握充份補貼金額規模與設備使用資訊後，再行評估是否適合採取專款專用之補償機制。長期則應制定誘因拍賣機制相關管理規範，以作為將來類似狀況發生時之參考。

(三) 執照管理與規範

1、 5G 執照規範分析

本計畫調查各國 5G 執照規範，大多數國家均認為目前執照制度尚能夠滿足 5G 需求，參考歐盟、英國之建議，應讓業者擁有彈性化接取頻譜資源之執照架構，包括排他性專用執照、免執照與共享頻譜機制等。

我國主管機關正積極推動電信管理法草案經立法院審議，該草案之頻譜管理思維，已具備彈性化之概念，允許頻譜共享、頻率出租、轉讓與交易，同時也導入誘因拍賣機制，促進使用效率低之頻譜資源繳回後重新釋出之契機。因此，本計畫建議對於 5G 時代之執照規管架構，應依循電信管理法草案之彈性化管理。

2、 創新應用規範分析

(1) 國際經驗比較

因應 5G 適用於各垂直場域之需求，近年來，國際間開始浮現探討創新應用執照或企業專網執照之可能性，例如歐盟探討全國執照、區域執照以及個別傳輸執照之優缺點，個別傳輸執照指具備特定位置、高度與傳輸功率的執照型態，該類型執照通常以個案方式申請，申請者的服務傳輸型態會依其商業需要而有差異，通常指企業專用行動網路，並採先到先服務之申請制核配。英國規劃於 3.8-4.2 GHz 頻段以共享方式，提供創新垂直應用使用。共享模式包括輕度執照模式與動態頻譜接取，輕度執照模視為允許業者透過登記於資料庫內，在全國範圍內協調使用頻譜，可透過區域使用或預付使用權利金的方式，確保隨時可取得頻譜資源。動態頻譜接取則透過資料庫之協助，找出閒置可用頻譜之區域與時間，提升頻譜使用效率。

德國規劃 3.7-3.8 GHz 頻段時，亦再討論以區域執照方式釋出之可能性。澳洲、德國與日本討論核配特定頻段予企業專網之可能性。澳洲主要探討 26 GHz 頻段可選擇之執照制度，日本則規劃於 4.6-4.8GHz 頻段核發自營用（企業專網）頻譜。另外，愛爾蘭為鼓勵創新應用服務，則建立實驗執照與場測許可執照，供創新應用使用。

不過，美國則認為 3.5 GHz 頻段為 5G 重點發展頻譜，因此調整原先較適合創新應用發展之 CBRS 制度，於 PAL 層執照改修正為較適合電信業者使用之規管架構。FCC 之理由為，必須確保業者對於該頻段有充分布建 5G 之誘因。本計畫綜整各國對於創新應用執照規範如下表 8- 8。

表 8- 8：國際創新應用執照制度規範

國家	政策規劃與研析	結論與建議
歐盟	研析全區執照、區域執照與個別傳輸執照之優缺點。	建議各會員國主管機關應清理、重整既有區域執照，並促進整合。主管機關應避免頻譜碎裂化之問題。
美國	調整 3.5 GHz 頻段 CBRS 制度中之 PAL 優先接取執照	主管機關修正第二層 PAL 執照發照制度，增加執照年限且允許換照，業者亦可整合連續頻寬，因此被認為適較貼近電信業者之規管制度修正。
英國	研析共享制度下之幾種可行模式： ● 輕度執照 ● 動態頻譜接取	透過共享頻譜之輕度執照或動態頻譜接取機制，將可讓新興應用擁有接取頻譜，投資新興應用之可能性，創造 5G 應用範例契機。
澳洲	針對 26 GHz 頻段，研析傳統廣域用戶網路、限制市場用戶網路與企業專網之優缺點	傳統廣域用戶網路執照有其優點，不論執照區域是全國或區域。企業專網如使用輕度管制的類別執照，以共享方式使用頻譜，也會是有利的商業模式，不過須視服務需求而定。
日本	規劃於 4.6-4.8 GHz 採企業專網	徵詢中
德國	規劃於 4.6-4.8 GHz 採區域執照或企業專網	徵詢中

愛爾蘭	建立實驗執照與場測許可執照	為鼓勵新興無線電技術開發與創新應用服務

資料來源：本計畫製表

(2) 國內產業利害關係人之看法

我國 5G 頻譜釋出過程中，經濟部與網通業者建議應考慮設置企業專網執照，惟電信業者反對以企業專網方式提供專用頻譜，認為若有意願取得頻譜資源之業者可參與競價機制取得頻譜資源，以維持頻率取得之公平性。

(3) 綜合分析

因應 5G 跨垂直產業之應用特性，部分國家正在討論企業專網執照之可行性，然我國目前專用電信設置使用及連接公共通信系統管理辦法中，限制專用電信不得連接公共通信系統或供設置目的以外使用，且主要適用於船舶無線電臺、航空器無線電臺、計程車無線電臺、學術試驗無線電臺、業餘無線電臺，以及漁業、電力、警察、消防、鐵路、公路、捷運、醫療、水利、氣象及其他專供設置者本身業務需要而設立之專用電臺。

目前國際間討論之企業專網，其概念較接近可連接公共通信系統（網際網路）之局部、區域型之特定使用者使用，其服務提供仍以商業為目的，與傳統專用電信性質略有差異。

本計畫認為，基於確保創新應用擁有可用頻譜資源，以及維護電信監理秩序與以市場機制反應商用頻譜價值等理由，現階段我國主管機關已於 2018 年 10 月公告將修正「學術教育或專為網路研發實驗目的之電信網路設置使用管理辦法」草案，未來將可適度引入評估新商業模式之商業驗證（Proof of Business, PoB），反映小規模之創新業者需求。

監理機關於評估滿足垂直場域需求時，應綜合考量包括提供創新實驗執照、免執照頻譜以及釋出頻譜執照時需具備之公平性，包

括取得頻譜執照所需負擔之權利義務規範，例如網路布建義務、服務品質以及通訊監察規範等。

因此，本計畫建議，藉由放寬商業實驗驗證規範，短期內應可符合創新垂直應用業者之需求，長期則視國際發展趨勢，再行評估是否劃定特定頻譜供垂直創新產業之專網使用。

第三節　物聯網頻譜整備與管制政策建議

(一) 頻譜政策制定建議

本計畫蒐集歐盟、英國、美國、澳洲與日本等國之物聯網、車聯網與無人機通訊頻譜使用狀態，現階段各國物聯網仍多使用行動通訊網路頻譜及免執照頻譜，部份國家如英國則設定專用頻譜，希望促進物聯網發展。車聯網部份，歐盟、英國與澳洲使用 5855-5925MHz 頻段，美國則使用 5850-5925MHz，日本使用 755MHz 與 5770-5850 MHz。目前各國之無人機使用頻譜，同樣多使用免執照頻譜，少部份國家正討論無人機專用頻譜之可能性。

本計畫之物聯網頻譜使用狀態如下表 8- 9。

表 8- 9：國際物聯網通訊頻譜比較

	歐盟	英國	美國	澳洲	日本
物聯網	● 行動通訊頻譜 ● 免執照頻譜	● 行動通訊頻譜 ● 免執照頻譜 ● 80MHz 以下專用頻譜	● 行動通訊頻譜 ● 免執照頻譜 ● 特定業務頻譜	● 行動通訊頻譜 ● 免執照頻譜	● 行動通訊頻譜 ● 免執照頻譜（915-930MHz）
車聯網	5855-5925 MHz	5855-5925 MHz	5850-5925 MHz	5855-5925 MHz	755.5-764.5 MHz、5770-5850MHz、24/26 GHz、76GHz、79GHz
無人機	免執照頻段	免執照頻段與 35MHz	聯邦政府使用 5350-5470MHz，非政府使用正爭取 5030-5091MHz	免執照頻段	73MHz、169MHz、920MHz、1.2GHz、2.4GHz 與 5.7GHz。

我國交通部發布之頻率供應計畫中，已規劃將 816-821MHz 與 857-862 MHz 列為行動物聯網測試實驗頻譜、5850-5925 MHz 列為車

聯網創新實驗頻譜，可供車聯網技術研發測試實驗網路之用，本計畫建議可持續觀察相關頻段之後續發展情況，若使用數量已達一定比例，而有需設定相關規範以避免互相干擾時，再訂定相關規範。

現階段對於無人機使用頻譜，仍多以免執照為主，雖然有部份主管機關開始討論使用免執照頻譜，可能限縮無人機應用範圍及帶來干擾風險，然而，目前尚無訂定無人機專用頻譜之實際案例，因此建議持續觀察新興物聯網應用之發展趨勢，定期檢討、整備適當之頻譜資源。

(二) 執照管理與規範義務

本計畫蒐集歐盟、英國、美國、澳洲與日本等國之物聯網、車聯網與無人機通訊執照管理規範，由於物聯網牽涉領域廣範，因此目前並無可滿足不同應用需求之整合式執照架構，英國則透過建立商業無線電物聯網執照，設定技術指配執照、區域專用執照與輕度執照。澳洲同樣採取類似作法，設定設備執照與類別執照，供物聯網設備使用。

車聯網執照部份，歐盟與英國以設定設備使用技術規範方式規管，澳洲亦採取類別執照方式管理。美國目前則正在檢討免執照設備於車聯網專用頻段內共存之可能性。

無人機通訊頻譜之執照，儘管已有主管機關意識到無人機使用免執照頻譜，可能導致風險與干擾議題，然多數國家對於無人機管裡仍採免執照與技術規範方式，美國已有業者向主管機關提起訴願，希望爭取訂定無人機專用頻譜執照，惟相關案例目前仍持續發展，主管機關尚未公告最終決議。

本計畫整理物聯網執照規管制度，如下表 8- 10。

表 8- 10：國際物聯網通訊頻譜比較

	歐盟	英國	美國	澳洲	日本
物聯網	● 排他性專用頻譜執照 ● 免執照	● 行動通訊頻譜 ● 免執照頻譜 ● 專用執照（含技術指配執照、區域專用執照與輕度執照）	● 排他性專用頻譜執照 ● 免執照 ● 特定業務執照	● 頻譜執照 ● 設備執照 ● 類別執照	● 免執照 ● LPWA 使用 915-930MHz 時須登記或申請電臺執照
車聯網	技術規範	技術規範	DSRC 專用	技術規範	免執照
無人機	免執照	免執照頻段與技術規範	聯邦專用或免執照	免執照	應用特定型態與頻段時須申請電臺執照。

觀察物聯網、車聯網與無人機通訊頻譜之國際研析後，本計畫認為，現階段此類新興應用仍多使用既有行動通訊業者之執照，或使用免執照頻譜資源。政府若基於促進物聯網發展之考量，認為有必要以專用執照規管，以避免干擾風險時，可參考英國與澳洲案例，建立專用輕度執照架構，或以技術規範方式，設定僅限特定技術使用。

第四節　結果分析與建議

針對 5G 頻譜整備制度，本計畫提出我國 5G 頻譜政策行動策略建議，包括：積極整備與釋出頻譜資源、現代化監管制度、促進創新應用以及鼓勵投資等，我國 5G 頻譜政策思維，應著重於推動 5G 對整體經濟與生活帶來之向上提升，使全體國民均可獲得 5G 所帶來之利益。

針對 5G 頻譜整備部份，本計畫建議第一階段除 3300-3570MHz 與 27-29.5 GHz 頻段外，亦可一併釋出 1775-1785/1870-1880 MHz 以及 2355-2390 MHz。第二階段除探詢低頻段釋出 600MHz 與 800MHz 之可能性外，中頻段可考慮研析 3.8-4.2GHz 採共享機制釋出之可能性，以及整備 1.5GHz 與 4.5-5GHz，高頻段部份整備 24.25-26GHz 與 37-40GHz，並探討以免執照方式釋出 64-71GHz 之可能性。

本計畫認為，5G 執照架構應以能提供彈性化頻譜接取為主。另外有關創新應用垂直場域執照議題，本計畫建議藉由放寬商業實驗驗證規範，短期內應可符合創新垂直應用業者之需求，長期則視國際發展趨勢，再行評估是否劃定特定頻譜供垂直創新產業之專網使用。

對於物聯網、車聯網與無人機使用頻譜，經過調查後，現階段仍多以免執照為主，儘管已有部份主管機關開始討論無人機使用免執照頻譜時，可能限縮應用範圍及帶來干擾風險，然而，目前尚無訂定無人機專用頻譜之實際案例，因此，本計畫建議持續觀察新興物聯網應用之發展趨勢，定期檢討、整備適當之頻譜資源。

本計畫認為，現階段物聯網、車聯網與無人機通訊等新興應用，仍多仰賴既有行動通訊業者之執照，或使用免執照頻譜資源。若基於促進物聯網發展之考量，認為有必要以專用執照規管，以避免干擾風險時，本計畫建議主管機關可參考英國與澳洲案例，建立專用輕度執照架構，或以技術規範方式，設定僅限特定技術使用。

第伍篇 無線麥克風技術研析與管理機制研析報告

第九章　無線電麥克風技術研析與管理機制研析

第一節　先進國家無線麥克風使用頻率規範與管理措施

一、 美國

(一) 無線麥克風執照授權

根據我國的低功率射頻電機技術規範的 4.6 節可得知，於管理無線麥克風設備上與美國、歐盟等國有個最大的不同，即美國與歐盟等國將管理無線麥克風設備分成持有執照與免執照，並分別規範不同的使用限制（如操作頻段、發射功率等）與使用情境（如地理位置等），而我國技術規範中並無持有執照差別之劃分，是以我國所有的無線麥克風設備操作者為免執照使用者。

如先前所述，無線麥克風設備被定義為低功率輔助無線電站(Low Power Auxiliary Stations, LPAS)，其低功率輔助無線電站主要為傳遞距離 100 公尺以內的相關授權設備，如無線麥克風、無線對講機、無線監聽耳機、無線音訊連接設備和無線指示設備等(Wireless Microphone, Wireless Intercoms, Wireless In-ear Monitors, Wireless Audio Instrument Links and Wireless Cueing Equipment)，相關技術規範與操作的原則應建立在不影響電視廣播的前提下來進行，根據 FCC 47 CFR 74.832 (Licensing requirements and procedures)[291]之技術規範，具有以下身分得以申請無線麥克風使用執照：

(a) 領有執照的 AM、FM、TV、國際廣播電台或低功率電視臺。

(b) 廣播網路實體 (Broadcast Network Entity)。

(c) 使用電纜發送或接入廣播節目的有線電視系統營運商(Cable Television System Operator)與其關聯（具有應佔利益）之任

[291] 47 CFR Part 74, Subpart H 74.832 (Licensing requirements and procedures), available at: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=e8874d67b34a538c6933d82342c8964a&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1832

何人或任何組織。

(d) 從事電影製作與拍攝(Motion Picture Producer)的個人或組織。

(e) 從事電視節目製作(Television Program Producer)的個人或組織。

(f) 大型場地的所有者與經營者：使用超過 50 個低功率輔助無線電站應用於辦理重大集會、重要節慶活動，經常性的使用 50 個以上的低功率輔助無線電站則表示其大型場地之重要性。

(g) 提供音頻服務的專業音響公司：使用超過 50 個低功率輔助無線電站應用於辦理重大集會、重要節慶活動，經常性的使用 50 個以上的低功率輔助無線電站則表示其專業的音響公司之重要性。

由以上所列身分可得知，政府所授權的無線麥克風設備執照，主要適用於在大眾傳播。而事實上可以由美國 FCC 網站裡，關於免執照的無線麥克風設備相關說明文章(FAQs for Unlicensed LPAD (Including Wireless Microphone) Registrations)[292]中得知，大部分的人們不需要去註冊無線麥克風設備，FCC 針對這些免執照的無線麥克風設備，制定了免執照無線麥克風的相關技術規範，進而避免受到同樣操作於電視頻段的白頻段設備(White Space Device)的干擾，但必須注意的是，這些免執照的無線麥克風操作頻段並不是專屬於單一使用者，在面臨大型集會或是主要節慶（如體育實況轉播）時，這些免執照的頻段無法有效率的讓所有的無線麥克風設備同時使用。關於持有執照與免執照的相關技術規範，研究團隊在之後的相關章節會詳細討論，此處研究團隊首先討論白頻段設備(White Space Device)與白頻段資料庫系統(White Space Database)。

[292] FCC (2015), FAQs for Unlicensed LPAD (Including Wireless Microphone) Registrations - Why do I need to register my wireless microphones? ,available at: https://www.fcc.gov/wireless/systems-utilities/unlicensed-lpad-including-wireless-microphone-registrations/faqs

(二) 無線麥克風設備於白頻段資料庫之登錄

隨著科技逐漸的進步，舊時代的類比電視已經逐漸替換成數位電視，但數位電視並不是操作在原有類比電視的頻段，這項科技的改變將使類比電視的操作頻段產生閒置，並逐漸被釋出給其他射頻裝置使用，除此之外，美國因為不同地緣與不同時間的關係，各家廣播電視公司並不是連續且不間斷的播放節目，其電視頻段時常被閒置而無使用(Unused Spectrum between TV Stations)，如表 9- 1 中所示為美國 FCC 所公布[293]中類比電視頻道與操作頻率對應表，而這些不定時閒置的電視頻段就稱為白頻段(White Space)，美國 FCC 自西元 2002 年起就非常積極於白頻段的發展，並在西元 2011 年簽署批准了第一個白頻段資料庫系統[294]。在同樣的背景下，我國同樣面臨白頻段的釋出，根據交通部於民國 106 年 2 月 6 號所發佈的中華民國無線電頻率分配表修正文件[295]中，依據文件中第二章修訂頻率分配表符合產業及政策需求中之說明（以下為原文說明）：

因應國際對行動通信頻譜漸往較低頻率使用之趨勢，以及美國執行收回類比電視頻道後對 700 MHz 頻段之數位紅利重新規劃利用之啟發，98 年時先收回前段 704-730 MHz 頻段，至 101 年配合我國類比電視頻道收回時程，於 101 年 7 月收回 730-806 MHz 頻段完成騰空，做為我國將於 102 年 12 月開放「行動寬頻業務」之用。

表 9- 1：美國所制定電視頻道與操作頻段關係表

Channel #	Frequency (MHz)	Channel #	Frequency (MHz)

[293] FCC (2015), Conversion Chart for Unlicensed Wireless Microphone Registrations, available at: https://www.fcc.gov/help/conversion-chart-unlicensed-wireless-microphone-registrations
[294] FCC (2011), Approval for Spectrum Bridge's TV Bands Database System DA 11-2044, available at: https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-11-2044A1.pdf
[295] 交通部中華民國無線電頻率分配表。

2	54-60	27	548-554
3	60-66	28	554-560
4	66-72	29	560-566
5	76-82	30	566-572
6	82-88	31	572-578
7	174-180	32	578-584
8	180-186	33	584-590
9	186-192	34	590-596
10	192-198	35	596-602
11	198-204	36	602-608
12	204-210	37	608-614
13	210-216	38	614-620
14	470-476	39	620-626
15	476-482	40	626-632
16	482-488	41	632-638
17	488-494	42	638-644
18	494-500	43	644-650
19	500-506	44	650-656
20	506-512	45	656-662
21	512-518	46	662-668
22	518-524	47	668-674
23	524-530	48	674-680
24	530-536	49	680-686
25	536-542	50	686-692
26	542-548	51	692-698

資料來源：FCC

如前所述，我國同樣跟上國際的腳步，積極回收這些類比電視的白頻段，珍貴的白頻段在未來將逐漸被拍賣，並有越來越多新的的免執照白頻段通訊設備(Unlicensed White Space Device)將操作在原有的類比電視頻道上，這些免執照白頻段設備將影響到同樣部分頻段操作在電視頻道的低功率輔助無線電站（設備），當然其中也包括了無線麥克風設備；是以美國 FCC 自西元 2011 年致力於成立白頻

段資料庫系統，讓持有執照的無線麥克風設備能不受到意外的白頻段通訊設備干擾，同時設立了兩個專屬頻段（免執照白頻段設備禁止使用）讓免執照的無線麥克風設備與低功率輔助無線電站使用（注意：免執照只有兩個專屬頻段，是以在大型集會與特殊節慶時，可能無法適合大量免執照無線麥克風設備同時使用），其兩個專屬頻段為最靠近頻道 37 的上、下兩個頻道（若無特殊事件，則為頻道 36 與頻道 38，若頻道 36 與 38 無法使用，則為最靠近頻道 37 的上、下兩個頻道），而持有執照的無線麥克風設備則可以申請且預定其他電視頻道的專屬使用，免執照白頻段設備與免執照的低功率輔助無線電站（含免執照無線麥克風設備）在操作使用前，必須先行瀏覽查看白頻段資料庫上的頻段是否已被使用。

目前免執照的白頻段設備必須遵守美國 FCC 47 CFR 15.703 - 15.717 的相關技術規範，根據 47 CFR 15.707 Permissible channels of operation[296] 中所示，白頻段設備開放的操作頻段與限制條件為：

(1)操作頻段

(a) 除(1)中所列之限制條件外，所有的白頻段設備被允許操作於 470-698 MHz（電視頻道 14-51）的可用頻段（未被其他授權射頻裝置占用的頻道）。

(b) 白頻段設備禁止操作於最靠近頻道 37 的上、下兩個頻道（若無特殊事件，則為頻道 36 與頻道 38，若頻道 36 與 38 無法使用，則為最靠近頻道 37 的上、下兩個頻道），這兩個頻道只能讓持有執照的射頻服務與無線麥克風設備所使用。

(c) 600 MHz 護衛頻段(600 MHz Guard Band)

(d) 600 MHz 雙工間隙頻段(600 MHz Duplex Gap)

[296] 47 CFR 15.707 - Permissible channels of operation. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=ad36553095e32335b6878f805ebe8d48&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.15_1707

(e) 600 MHz 服務頻段(600 MHz Service Band)

(f) Channel 37 Guard Band（608-614 MHz）

(2) 只有固定式通訊用的白頻段設備被允許操作於可用頻段（未被其他授權射頻裝置占用的頻道），其頻段包含 54-72 MHz (TV channels 2-4), 76-88 MHz (TV channels 5 and 6), and 174-216 MHz (TV channels 7-13)。

關於上述(c)-(e)項操作頻段之說明，請參閱本節第（四）項之說明，事實上，白頻段設備的操作頻段與無線麥克風設備的操作頻段幾乎重疊，只有操作優先順序之差別，而其優先順序則依據是否持有執照，與特別限制的少部份頻段來做區隔，依據目前我國低功率射頻電機技術規範 4.6 節條文，其無線麥克風設備並無持有執照之區分，且操作頻段目前只開放了總共 50 MHz 的操作頻寬，未來當我國政府逐漸拍賣或開放這些白頻段時，勢必會同時影響到無線麥克風設備的操作與頻段開放，如何監理並兼顧白頻段設備和無線麥克風設備的利益平衡會是政府相關單位的一大考量。

本計畫於背景介紹與白頻段設備的敘述中，曾經提到美國 FCC 於西元 2011 年簽署批准了第一個白頻段資料庫系統，而根據 47 CFR 15.715 White space database administrator 規定[297]，這些白頻段資料庫可以透過指定或委託民間企業來建立，如表 9- 2 中所示為目前美國 FCC 認可與籌備中的白頻段資料庫系統，免執照的低功率輔助無線電站（含免執照無線麥克風設備）以及白頻段設備在使用前，都必須從白頻段資料庫查詢與瀏覽可用頻道才能操作使用，而持有執照的無線麥克風設備使用者，則可以將資料登錄在資料庫中，進而避免被其他免執照的射頻設備干擾。

[297] 47 CFR 15.715 White space database administrator https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=2bf1440516e8081e8041794b94cec270&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.15_1715

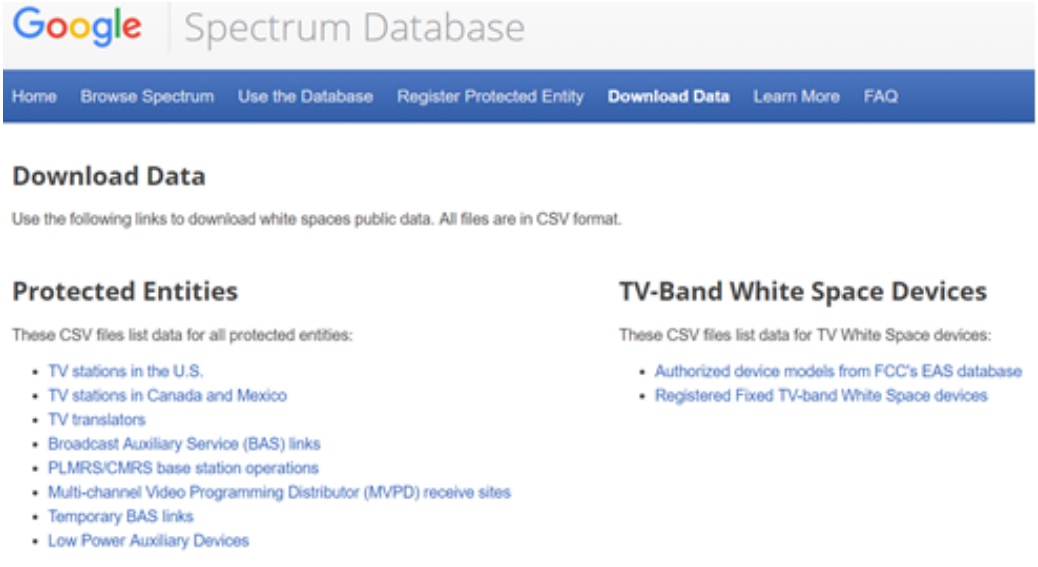
表 9- 2：白頻段資料庫管理者資訊

管理者單位名稱	聯絡資訊	許可狀態
Comsearch	H. Mark Gibson, 19700 Janelia Farm Boulevard, Ashburn, VA 20147 mgibson@comsearch.com	中止
LStelcom / RadioSoft, Inc.	Peter Moncure, 8910 Dick's Hill Parkway, Toccoa, GA 30557 pmoncure@radiosoft.com	許可
Google Inc.	Michael Purdy, 1600 Amphitheatre Parkway, Mountain View, CA 94043 mroypurdy@google.com	許可
Key Bridge Global LLC	Jesse Caulfield, 1600 Tysons Blvd., Suite 1100, McLean, VA 22102 jesse.caulfield@keybridgeglobal.com	許可
Spectrum Bridge, Inc.	Peter Stanforth, 110 Timberlachen Circle, Suite 1012, Lake Mary, FL 32746 peter@spectrumbridge.com	許可

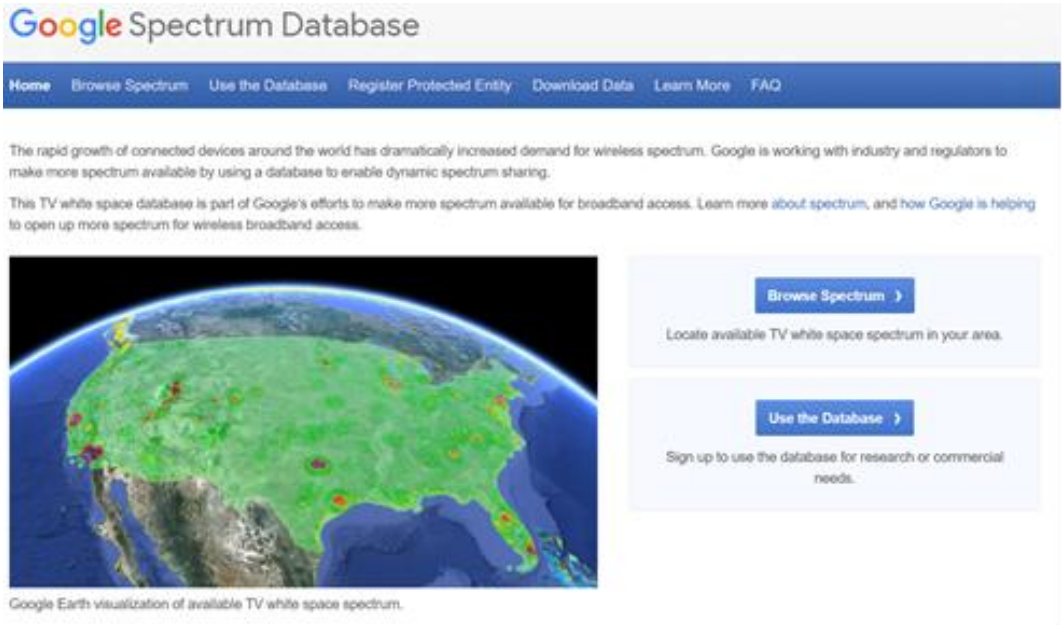
此處將以低功率輔助無線電站（含無線麥克風設備）為例，來示範查詢白頻段的資料庫系統。首先進入 Google Inc. 所建立的白頻段資料庫系統首頁，網頁連結如[298]中所示，進入後其畫面如圖 9- 1 (a)中所示，接著點擊 Browse Spectrum 後其畫面如圖 9- 1 (b)中所示，此時可於左側輸入預計使用設備之地區地址、經緯度、移動式或固定式裝置等來進行查詢當地頻譜使用情況，除了使用 Browse Spectrum 頁面進行頻譜搜索，也可以進入白頻段資料庫訪問資料，點擊 Download Data 頁面後，選擇 Low Power Auxiliary Devices（無線麥克風設備）可下載資料庫檔案，其畫面如圖 9- 1 (c)中所示，在這裡研究團隊於檔案中搜尋某個正在使用中的案例（本計畫撰寫日期為 2018 年 3 月 7 日，此案例仍可於白頻段資料庫中查詢），並可由圖中獲得該申請者於何時間何地點，預約了哪幾個頻道使用，該表也可輸出成 excel 表格獲得更詳細的以下資訊：其案例 UID 為

[298]https://www.google.com/get/spectrumdatabase/

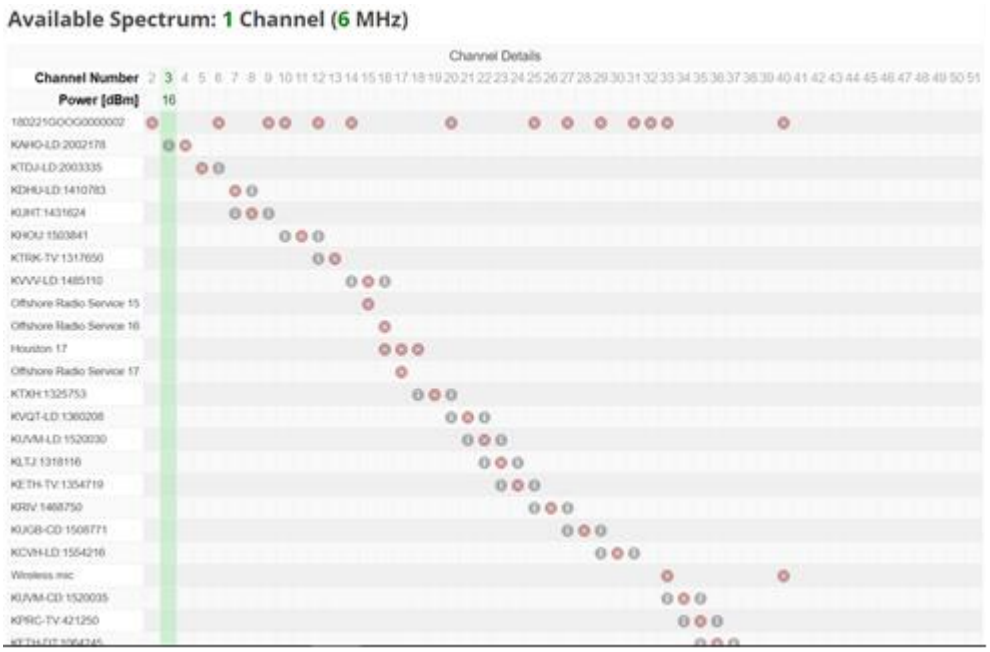
180221GOOG0000002，申請使用日期為 2018 年 2 月 22 日至 2018 年 3 月 19 日，使用地點經緯度為 29.683098 -95.410654，申請註冊人為 Jason Martin Audio Jason Martin|Two Riverway Suite 325\n, |jason@jasonmartinaudio.com|7135018170。接著回到 Browse Spectrum 頁面將經緯度輸入後搜尋，可獲得該地區相關頻譜使用狀況如圖 9-1 (d)中所示，如圖中所示左列第一位使用者便是 180221GOOG0000002，預約了頻道 2、6、9、10、12、14、20、25、27、29、31、32、33 和 40，當你在該地區操作免執照的白頻段設備與免執照的低功率輔助無線電站時，就必須注意不能誤用這些頻段。


Google Spectrum Database
Home
Browse Spectrum
Use the Database
Register Protected Entity
Download Data
Learn More
FAQ
Download Data
Use the following links to download white spaces public data. All files are in CSV format.
Protected Entities
These CSV files list data for all protected entities:
TV stations in the U.S.
TV stations in Canada and Mexico
TV translators
Broadcast Auxiliary Service (BAS) links
PLMRS/CMRS base station operations
Multi-channel Video Programming Distributor (MVPD) receive sites
Temporary BAS links
Low Power Auxiliary Devices
TV-Band White Space Devices
These CSV files list data for TV White Space devices:
Authorized device models from FCC's EAS database
Registered Fixed TV-band White Space devices

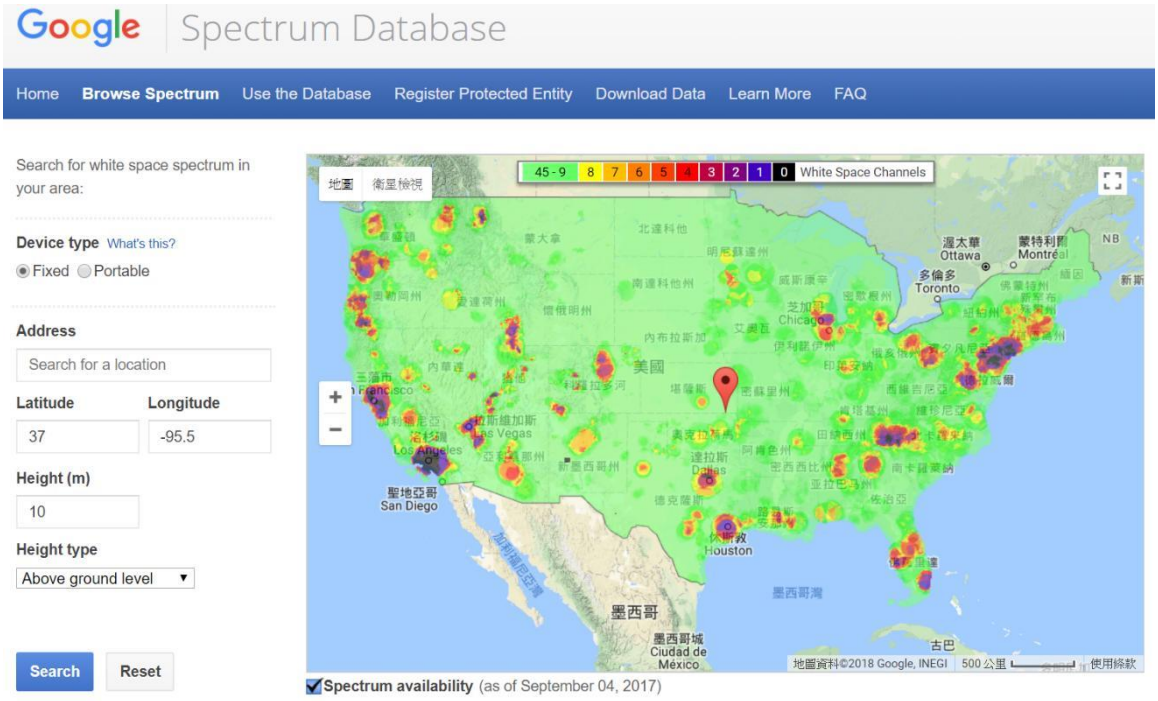
(a)


Google Spectrum Database
Home
Browse Spectrum
Use the Database
Register Protected Entity
Download Data
Learn More
FAQ
The rapid growth of connected devices around the world has dramatically increased demand for wireless spectrum. Google is working with industry and regulators to make more spectrum available by using a database to enable dynamic spectrum sharing.
This TV white space database is part of Google's efforts to make more spectrum available for broadband access. Learn more about spectrum, and how Google is helping to open up more spectrum for wireless broadband access.
Browse Spectrum
Locate available TV white space spectrum in your area.
Use the Database
Sign up to use the database for research or commercial needs.
Google Earth visualization of available TV white space spectrum.

(b)



(c)



(d)

圖 9- 1：瀏覽無線麥克風設備（低功率輔助站）於白頻段資料庫

(三) 無線麥克風設備禁用頻段：700MHz

如先前所述，原類比電視的操作頻段（也是部分無線麥克風設備的操作頻段）因為數位電視的發展而逐漸被釋出，這些類比電視的操作頻段具有出色的傳播特性，可以輕鬆穿透建築物和牆壁，非常適合應用於通訊服務上，具有很高的市場潛力與商業發展，FCC在規劃白頻段的過程中同時成功拍賣了一些操作頻段，這將導致無線麥克風設備的操作頻段不斷的縮減。於西元 2008 年，FCC 成功拍賣了 700 MHz 相關操作頻段，此操作頻段包含 698-806 MHz 總共 108 MHz 的操作頻寬，並於西元 2010 年公佈禁用法令[299]，禁止無線麥克風設備與其他類似設備（Wireless Intercoms, Wireless In-ear Monitors, Wireless Audio Instrument Links, and Wireless Cueing Equipment）操作在 700 MHz，自西元 2010 年 1 月開始，FCC 禁止製造，進口，銷售，出售或出租或出售操作於 700 MHz 頻段的無線麥克風或類似設備，非進口美國且操作於 700 MHz 的無線麥克風設備應加貼標籤並附上相關說明文件，其相關法規必須參閱 47 CFR 74.851 技術規範[300]，而所有的無線麥克風或類似設備最遲在西元 2010 年 6 月 12 日後，在 700 MHz 頻段上全面禁止使用。

700 MHz 頻段在拍賣後分配給公共安全通信(Police, Fire and Emergency Services)與移動無線寬頻業務(Smartphones, Tablets, Laptop Computers, and Other Mobile Devices)，於 700 MHz 操作頻段的相關技術規範，應參考 FCC 47 CFR Part 90, Subpart R (Regulations Governing the Licensing and Use of Frequencies in the 763-775 and 793-

[299] FCC (2010), Wireless Microphones Are Not Permitted to Operate on Certain Frequencies after June 12, 2010; Users are Urged to Check Their Equipment and Take Necessary Steps to Ensure Compliance, Public Notice, DA 10-1053 June, 2010

[300] 47 CFR 74.851 - Certification of equipment; prohibition on manufacture, import, sale, lease, offer for sale or lease, or shipment of devices that operate in the 700 MHz...700 MHz or 600 MHz band equipment destined for non-U.S. markets; disclosures. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=2bf1440516e8081e8041794b94cec270&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1851

805 MHz Bands)[301]，以及 3GPP TR 36.893[302]或其他更新的相關技術規範，無論如何，無線麥克風設備已被全面禁止操作於 700 MHz 的相關頻段。

(四) 無線麥克風拍賣頻段：600 MHz

600 MHz 頻段同樣具有出色的傳播特性、適合應用於通訊服務上、高市場潛力與商業發展等特點，而被美國 FCC 點名拍賣後的 600 MHz 頻段，與上述所提到 700 MHz 頻段之最大的不同點在於，無線麥克風設備仍可操作在部分 600 MHz 的窄頻段上，並依據是否持有執照之差別而有所不同。

根據文件所示[303]，FCC 在 2014 年 5 月於 Incentive Auction Report and Order 拍賣中，將原類比電視的 600 MHz 操作頻段（頻道 38-51）釋出，其拍賣已於 2017 年 4 月 13 日結束，並成功將 617-652 MHz 以及 663-698 MHz 拍賣給操作於 600 MHz 的相關服務系統所使用。FCC 對此提供了長達 39 個月的過渡期，在此操作頻段下所有無線麥克風設備最遲於 2020 年前須停止使用，自 2018 年 10 月 13 日起，操作於 600 MHz 的無線麥克風和相關設備應加貼標籤並附上相關說明文件，其相關法規必須參閱 47 CFR 74.851 技術規範。[304]

已拍賣的 600 MHz 操作頻段未來將應用於無線通訊服務 (Miscellaneous wireless communications services)，其相關技術規範應遵守美國 FCC 47 CFR 27.1-27.9，而根據 47 CFR 27.5-Frequencies 中

---

[301] 47 CFR Part 90, Subpart R (Regulations Governing the Licensing and Use of Frequencies in the 763-775 and 793-805 MHz Bands) https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=5263d4bf49ef47a11c3f144b4ec5c8a4&mc=true&node=pt47.5.90&rgn=div5#sp47.5.90.r

[302] 3GPP TR 36.893 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); 700MHz band for Arab Region

[303] FCC(2014), FCC REPORT AND ORDER: In the Matter of Expanding the Economic and Innovation Opportunities of Spectrum Through Incentive Auctions June 2, 2014

[304] 47 CFR 74.851 - Certification of equipment; prohibition on manufacture, import, sale, lease, offer for sale or lease, or shipment of devices that operate in the 700 MHz...700 MHz or 600 MHz band equipment destined for non-U.S. markets; disclosures. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=2bf1440516e8081e8041794b94cec270&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1851

技術規範[305]，已拍賣的 600 MHz 操作頻段分為上行頻段與下行頻段，並以 5 MHz 的操作頻寬分成 7 對頻道，其詳細操作頻段分配如表 9-3 中所示，各頻道的詳細應用與技術規範可參閱 3GPP Band 71 的相關技術文件，無論如何，無線麥克風與相關設備禁止使用表 9- 3 中所示之操作頻段。

表 9- 3：無線麥克風設備已拍賣之操作頻段

區塊	600 MHz Downlink	600 MHz Uplink
Block A	617-622 MHz	663-668 MHz
Block B	622-627 MHz	668-673 MHz
Block C	627-632 MHz	673-678 MHz
Block D	632-637 MHz	678-683 MHz
Block E	637-642 MHz	683-688 MHz
Block F	642-647 MHz	688-693 MHz
Block G	647-652 MHz	693-698 MHz

依據上述表 9- 3 中應用於 600 MHz 無線通訊服務之操作頻段，FCC 額外增設了兩個可供無線麥克風設備使用的操作頻段，是以對無線麥克風設備而言，在 600 MHz 頻段上具有以下三種操作頻段：

(1) 600 MHz 雙工間隙頻段(600 MHz Duplex Gap)：652-663 MHz 的 11 MHz 雙工間隙頻段，主要用於分隔並保護上行和下行之操作頻段。

(2) 600 MHz 護衛頻段(600 MHz Guard Band)：614-617 MHz 的指定保護頻段，可防止 600 MHz 下行頻段和類比電視頻道 37 之間的干擾。

(3) 600 MHz 服務頻段(600 MHz Service Band)：617-652 MHz 和 663-698 MHz 頻段，為應用於 600 MHz 無線通訊服務之操作頻段。

[305] 47 CFR 27.5 - Frequencies. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/27.5

上述三種操作頻段詳細如圖 9- 2 中所示，其中(1)與(2)的操作頻段可供無線麥克風設備使用，而(3)操作頻段則是禁用無線麥克風設備，而無線麥克風設備操作於(1)與(2)時，會根據是否持有執照，而有操作頻段與發射功率之差別，詳細技術規範與持有執照之比較，會在接下來的章節提出。

Figure 1: 600 MHz Band Plan[22]

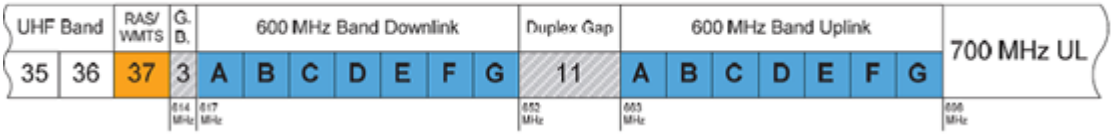


圖 9- 2：614-698 MHz 頻段之頻譜分配圖

資料來源：FCC

(五) 持有執照之無線麥克風設備

1、 操作頻段

如先前所述，無線麥克風設備屬於低功率輔助無線電站(Low Power Auxiliary Stations)，而持有執照之無線麥克風設備必須遵守美國 FCC Part 74 Subpart H (Low Power Auxiliary Stations)中 74.779-74.882 中相關技術規範，根據 47 CFR 74.802 (Frequency assignment) 頻率分配[306]中可得知，持有執照的無線麥克風設備被允許的操作頻段主要來自於電視的操作頻段，其詳細頻譜分配如表 9- 4 中所示。

表 9- 4：持有執照之無線麥克風設備可操作頻段 (Unit: MHz)

26.100-26.480	54.000-72.000	76.000-88.000

[306] 47 CFR 74.802 - Frequency assignment. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=5263d4bf49ef47a11c3f144b4ec5c8a4&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1802

161.625-161.775*	174.000-216.000	450.000-451.000
455.000-456.000	470.000-488.000	488.000-494.000**
494.000-608.000	614.000-698.000***	941.500-944.000
944.000-952.000	952.850-956.250	956.45-959.85
1435-1525	6875.000-6900.000	7100.000-7125.000
*except in Puerto Rico or the Virgin Islands **except Hawaii ***部分操作頻段已於 2017 年 4 月 13 日拍賣		

資料來源：FCC

持有執照之無線麥克風設備必須遵守表 9- 5 中所列出之操作頻段，除此之外還必須遵守下列額外的相關技術規範：

(1) 614.000-698.000 MHz 之操作頻段：如先前所述，由於 600 MHz 部分相關頻段已拍賣給無線通訊服務，其頻譜分配請參閱圖 9- 2 中所示，持有執照之麥克風設備必須操作於 653.000-657.000 MHz（600 MHz 雙工間隙頻段），未來仍須依據配合 GN Docket No. 12-268（600 MHz 雙工間隙頻段決議[307]）、FCC 47 CFR 27.1-27.9（600 MHz 無線通訊服務）、相關公告與相關委員會之決議。

(2) 由於持有執照之無線麥克風設備操作在類比電視之頻段，所應距離同頻道之電視站(Co-channel TV Stations)的保護曲線(Protected Contour) 4 公里以上，其保護曲線詳細參數如表 9- 5 中所示。

表 9- 5：用於保護電視站的保護曲線、場強輪廓與傳播曲線限制值

電臺類型	保護曲線		
	Channel	Contour (dBu)	Propagation curve

[307] FCC (2014), Protective Order in GN Docket No. 12-268 and WT Docket No. 12-269 https://www.fcc.gov/document/protective-order-gn-docket-no-12-268-and-wt-docket-no-12-269

Analog: Class A TV, LPTV, Translator and Booster	Low VHF (2-6)	47	F(50,50)
	High VHF (7-13)	56	F(50,50)
	UHF (14-51)	64	F(50,50)
Digital: Full Service TV, Class A TV, LPTV, Translator and Booster	Low VHF (2-6)	28	F(50,90)
	High VHF (7-13)	36	F(50,90)
	UHF (14-51)	41	F(50,90)

資料來源：FCC

表 9- 6 中之保護曲線應遵守美國 FCC 47 CFR 73.684 - Prediction of coverage 所制定之技術規範[308]，保護曲線之對應參數需查詢 47 CFR 73.699 - TV engineering charts 中 R-6602 curves 曲線圖[309]。而如表 9- 6 中所示，類比與數位電視、不同的操作頻道其相對應的距離限制值均不同，保護曲線又可分成場強輪廓(Field Strength Contour)與傳播曲線(Propagation Curve)，其中場強輪廓主要使用兩種數值單位，分別是相對值 dBu 與絕對值(μV/M)，如美國大部分低功率調頻無線電站台(LPFM Station)其受保護之場強輪廓為 60 dBu (1 μV/M)。而傳播曲線則使用 F(50,50)單位表示，F(50,50) 代表廣播服務區域中 50%以上之接收地點上接收到之信號強度有 50% 以上之機會可超過

[308] 47 CFR 73.684 - Prediction of coverage. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=83671bf5d2d1c96cdc892e3d8cf0f264&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.73_1684

[309] 47 CFR 73.699 - TV engineering charts. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=83671bf5d2d1c96cdc892e3d8cf0f264&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.73_1699

預測之電場強度值。F(50,90) 則代表 50%以上之接收地點(Receiver)有 90%以上之機會可超過預測之電場強度值。

如上述，持有執照之無線麥克風設備操作時，必須遵守表 9-6 中傳播曲線與場強輪廓之規定，以避免影響相關操作於同頻道的電視站，但若有下列情況，則持有執照的無線麥克風設備則得以更加靠近操作於同頻道的電視站：

(1) 受到影響的廣播電視站與低功率輔助無線電站經過協調之後，決議低功率輔助無線電站在該頻道有較佳的優先度。

(2) 受限於不觀看電視的室內場所，且電視訊號之電場強度在整個 6 MHz（如表 9- 2 中所示，電視的操作頻道為 6 MHz）的操作頻道上已經低於-84 dBm。

2、 頻率選擇與避免干擾

不論是防止干擾其他設備，或是避免被其他設備干擾，美國 FCC 用了很多的技術文件來訂出許多技術規範，如之前所敘述的白頻段資料庫（讓持有執照的無線麥克風或其他設備遠離免執照設備的干擾），以及場強輪廓與保護曲線（保護各類無線電廣播台免受無線麥克風設備之干擾），根據 47 CFR 74.803 (Frequency Selection to Avoid Interference)規範[310]，必須遵守以下之規定：

(1) 如果有兩個持有執照之無線麥克風設備在同一個地區營運操作時，其持有執照之許可人必須盡力選擇頻率以避免互相干擾，如果無法達成雙方滿意的安排，則必須通知委員會進行協調，委員會將規定操作頻率給許可人使用。

(2) 在任何地區於分配的電視頻道中選擇操作頻率時，應遵循相關法規避免干擾廣播電視造成有害干擾，低功率輔助無線電

[310] 47 CFR 74.803 - Frequency selection to avoid interference. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=50ddf69ff5bb7f0bb11f368b3b0d62d4&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1803

站（含無線麥克風設備）的使用是次於廣播電視站，如果發生干擾，則低功率輔助無線電站必須立刻關閉，並且在干擾問題解決前不得恢復。

(3) 當低功率輔助無線電站操作在 941.5-944 MHz、944-952 MHz、952.850-956.250 MHz、956.45-959.85 MHz、6875-6900 MHz 和 7100-7125 MHz 上述頻段時，低功率輔助無線電站使用優先度必須低於其他射頻設備(e.g. Aural Broadcast Auxiliary, Television Broadcast Auxiliary, Cable Relay Service, Fixed Point to Point Microwave)，且必須避免造成有害干擾，除此之外在 941.5-944 MHz 頻段上，低功率輔助無線電站使用優先度還必須低於聯邦操作(Federal Operations)，在上述頻段中，在同地區內申請人有責任選擇操作頻率以避免對其他持有執照設備造成干擾，申請人必須諮詢當地的頻率協調委員會，了解該地區的操作頻率，接收點的相對位置，正常傳輸路徑以及預期的操作結果。

(4) 當低功率輔助無線電站操作於 1435-1525 MHz 頻段內時，其設備限制為固定式設備，並且只能在指定的地點操作這些固定式設備：

(a) 1435-1525 MHz 頻段只被授權於為了特定事件或情況，在特定時間下必須佈署大量的低功率輔助無線電站，且該地區內，其他可用的操作頻帶已不敷使用，才得以申請。

(b) 使用 1435-1525 MHz 頻段時必須與航空移動遙測(Aeronautical Mobile Telemetry)的頻率協調者(Frequency Coordinator)進行協調，航空航天和飛行測試無線電協調委員會(Aerospace and Flight Test Radio Coordinating Committee, AFTRCC)有著比申請者更高的優先權，可指定在特定地點與特定時間，哪些操作頻段是不可使用的。低功率輔助無線電站必須在操作之

前完成認證，並且使用軟體或其他類似功能來避免設備在未允許的時間、地點、頻段進行操作。

(c) 在特定的地點，低功率輔助無線電站可以使用不超過 30 MHz 的操作頻寬（約為 1435-1525 MHz 的三分之一），而不同的使用者在同地區內可以各別使用高達 30MHz 的操作頻寬，所有與 AFTRCC 成功協調後於 1435-1525 MHz 頻段內操作之使用者，必須與其他同樣持有執照之使用者進行干擾協調，達到彼此干擾之最小化。

3、 功率限制與技術要求

依據先前所述，研究團隊提出了美國 FCC 對於持有執照之無線麥克風操作頻率的各項考量與技術規範，此節研究團隊將說明關於功率限制與技術要求，而其相關技術規範應遵守 47 CFR 74.861 - Technical requirements[311]以及 European Telecommunications Institute Standard ETSI EN 300 422-1 v1.4.2[312]，低功率輔助無線電站之功率限制與技術要求如下所列：

(1) 除(5)項之規定外，發射功率(Transmitter Power)為傳送到負載（含天線、傳輸線或其他阻抗匹配之負載等）的發射機輸出端功率(Transmitter Output Terminals)，就本節內容而言，發射功率為載波功率(Carrier Power)。

(2) 新的低功率輔助無線電站之每項授權都應使用認證過的設備，每項設備都必須遵守本節(3)-(5)項之規定。

---

311 47 CFR 74.861 - Technical requirements. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=50ddf69ff5bb7f0bb11f368b3b0d62d4&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1861

312 ETSI EN 300 422-1: "Wireless Microphones; Audio PMSE up to 3 GHz; Part 1: Class A Receivers; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU".

(3) 不需要在特定載波頻率上操作的低功率輔助無線電站，應操作在授權頻段內以確保操作頻寬不會落於授權頻段外。

(4) 操作於非電視廣播頻段之低功率輔助無線電站，適用下列技術規範：

(a) 除了 1435-1525 MHz 以外的所有操作頻段，允許最大發射功率為 1 W，操作於 1435-1525 MHz 頻段時，允許最大發射功率為 250 mW，使用者必須遵守其功率限制。

(b) 如果低功率輔助無線電站使用振幅調變(Amplitude Modulation)，其振幅調變後的峰值不允許超過 100%。

(c) 操作於 26.1-26.480 MHz, 161.625-161.775 MHz, 450-451 MHz, and 455-456 MHz 頻段時，其佔用頻寬(Occupied Bandwidth)必須滿足傳輸需求，在任何情況下，落於授權頻段外的離散頻率點其發射功率必須至少被衰減為 $43+10 \log_{10}$ (mean output power, in watts) dB。

註：這裡所指之佔用頻寬為量測主波積分 99%之占用頻寬，其詳細量測方式可參閱 47 CFR 2.1049 - Measurements required: Occupied bandwidth。[313]另授權頻段外之離散頻率點的發射功率限制值可計算得：

= P(W) - [43+10log(P)](dB)

= [30+10log(P)](dB) - [43+10log(P)](dB)

= -13 dBm

(d)

(i) 操作於 653-657 MHz, 941.5-944 MHz, 944-952 MHz, 952.850-956.250 MHz, 956.45-959.85 MHz, 1435-1525 MHz, 6875-6900 MHz and 7100-7125 MHz 頻

[313] 47 CFR 2.1049 - Measurements required: Occupied bandwidth. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=50ddf69ff5bb7f0bb11f368b3b0d62d4&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.2_11049

段時，距載波中心頻率上下 1MHz 內的類比發射(Analog Emissions)，都應遵守 European Telecommunications Institute Standard ETSI EN 300 422-1 中 section 8.3.1.2 所定義之發射遮罩標準(Emission Mask)。

(ii) 操作於 653-657 MHz, 941.5-944 MHz, 944-952 MHz, 952.850-956.250 MHz, 956.45-959.85 MHz, 1435-1525 MHz, 6875-6900 MHz and 7100-7125 MHz 頻段時，其數位載波發射(Digital Emissions)由 1 MHz 以下至 1 MHz 以上的操作頻段，都應遵守 European Telecommunications Institute Standard ETSI EN 300 422-1 中 section 8.3.2.2 (Figure 4) 所定義之發射遮罩標準(Emission Mask)。

(iii) 操作於 6875-6900 MHz and 7100-7125 MHz 頻段時，距載波中心頻率上下 1MHz 內的數位發射(Digital Emissions)，都應遵守 European Telecommunications Institute Standard ETSI EN 300 422-1 中 section 8.3.2.2 (Figure 5) 所定義之發射遮罩標準(Emission Mask)。

(5) 操作於 600 MHz 雙工頻段(600 MHz Duplex Gap)和電視廣播頻段之低功率輔助無線電站，適用於下列技術規範：

(a) 發射功率不可超過下列規定：

(i) 操作於 54-72, 76-88, and 174-216 MHz 頻段時：50 mW (EIRP)

(ii) 操作於 470-608 and 614-698 MHz 頻段時：250 mW (Conducted Power)

(iii) 操作於 600 MHz 雙工頻段時：20 mW (EIRP)

(b) 發射機可由晶體控制發射器(Crystal Controlled)或頻率合成技術(Frequency Synthesized) 所組成。

(c) 任何形式的調變均允許使用，當設備使用頻率調變(FM)時，其最大允許的偏差量(Maximum Deviation)為±75 kHz。

(d) 發射機的頻率容差量(Frequency Tolerance)應為 0.005%以內。

(e) 操作頻寬不可大於 200 KHz。

(f) 平均發射功率應衰減至發射機的平均輸出功率以下，並符合以下幾項規定：

(i) 落於距中心頻率 50%~100%授權頻寬之平均發射功率應至少衰減 25dB；

(ii) 落於距中心頻率 100%~250%授權頻寬之平均發射功率應至少衰減 35dB；

(iii) 落於距中心頻率 250%授權頻寬以上之平均發射功率應至少衰減 $43 + 10\log_{10}$ (mean output power in watts) dB。

(h) 距載波中心頻率上下 1MHz 內的類比發射(Analog Emissions)，都應遵守 European Telecommunications Institute Standard ETSI EN 300 422-1 中 section 8.3.1.2 所定義之發射遮罩標準(Emission Mask)。距載波中心頻率上下 1MHz 內的數位發射(Digital Emissions)，都應遵守 European Telecommunications Institute Standard ETSI EN 300 422-1 中 section 8.3.2.2 (Figure 4) 所定義之發射遮罩標準(Emission Mask)。

(6) 低功率輔助無線電站不得使用少見的發射天線或天線仰角，故意擴張 47 CFR 74.831 所定義的限制範圍。

(7) 如果低功率輔助無線電站發射超出其授權頻段產生有害干擾，委員會可酌情要求被持照人採取必要的進一步措施以消除干擾。

另其他（除了無線麥克風設備）非本計畫主軸的低功率輔助無線電站，如無線視頻輔助站(Wireless Video Assist Devices)，請參閱 47 CFR 74.870 Wireless video assist devices 技術規範與相關法規[314]。

(六) 免執照之無線麥克風設備

如先前所述，有執照的麥克風設備需遵守 47 CFR 74.799 至 47 CFR 74.882 相關技術規範，而免執照的無線麥克風設備則必須遵守 47 CFR 15.236 (Operation of wireless microphones in the bands 54-72 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz, 470-608 MHz and 614-698 MHz)，而依據 47 CFR 15.215 (Additional provisions to the general radiated emission limitations) [315]對一般發射限制的額外規定中，有清楚提到對於免執照麥克風設備須遵守的 47 CFR 15.236，其相關定義如下：

(1)由 47 CFR 15.217 至 47 CFR 15.257 的規範裡，對操作於特定頻段中的意圖發射設備 (Intentional Radiator) 提供了一般性的發射限制值，除非另有規定說明，否則這些章節允許的操作類型沒有限制。

(2) 在多數情況下，操作頻段外的不必要之發射 (Unwanted Emissions) 必須衰減，而其詳細規定如 47 CFR 15.209 (Radiated emission limits; general requirements)[316]中所示，且於任何情況下，操作於額外規定下的意圖發射設備，其不必要之發射不應超過主波發射(Fundamental Emission)的場

[314] 47 CFR 74.870 - Wireless video assist devices. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=50ddf69ff5bb7f0bb11f368b3b0d62d4&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1870

[315] 47 CFR 15.215 Additional provisions to the general radiated emission limitations. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=6c475bba4138c0df1864a530a3a88774&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.15_1215

[316] 47 CFR 15.209 - Radiated emission limits; general requirements. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=6c475bba4138c0df1864a530a3a88774&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.15_1209

強，關於 47 CFR 15.209 中的相關技術規範說明，可參閱我國低功率射頻電機技術規範中 2.8 節之規定。

(3) 操作於一般發射限制下時，意圖發射設備必須遵循 47 CFR 15.217 至 47 CFR 15.257 與 Subpart E 之規定，必須確保 20 dB 的發射頻寬(Bandwidth of the Emission)，或是其他特定章節中的設備操作所規定之發射頻寬，且設備必須操作在規範指定的頻段內，依據 Subpart E 之規定說明，意圖發射設備有可能跨越連續多個操作頻段，在指定頻段內必須遵守的要求，可能包含：發射頻寬、掃頻(Frequency Sweeping)、跳頻(Frequency Hopping)及其他調變技術(Modulation Techniques)的相關規定，以及在預期的溫度與電源電壓變化下，發射機的頻率穩定度(Frequency Stability)，另若無規定頻率穩定度之要求，則建議基本發射至少保持於頻段中央 80%，以盡量減少帶外發射的可能。

由以上三點可得知 47 CFR 15.236 適用於一般的無線麥克風設備，是以免執照的無線麥克風設備應該加以遵守，若是持有執照的無線麥克風設備，則應該遵守 47 CFR 74.799 至 47 CFR 74.882 相關技術規範，相對於 47 CFR 15.236 免執照技術規範，能獲取較高的頻道使用優先度、提高發射功率限制與降低來自其他免執照設備的干擾。

而根據 47 CFR 15.236 之規定，免執照的無線麥克風設備允許的操作頻率如下所列：

(1) 分配的頻道和指定給電視廣播的頻道。

註：指定給電視廣播的頻道如表 9-1 中所示，分別為 54-72 MHz（頻道 2-4）、76-88 MHz（頻道 5-6）、174-216 MHz（頻道 7-13）、470-608 MHz（頻道 14-36），頻道 36 以上為 600 MHz 通訊服務之頻段，請參閱下列說明。

(2) 關於 600 MHz 通訊服務之頻段說明請參閱本節（四）。

(3) 於 600 MHz 雙工間隙(600 MHz Duplex Gap)的 657-663 MHz 頻段。

(4) [Reserved]

(5) 於 600 MHz 護衛頻段(600 MHz Guard Band)的 614-616 MHz 頻段。

(6) 免執照的無線麥克風設備要操作於(2)-(5)頻段時，無線麥克風使用者應根據 47 CFR Part 15, Subpart H - White Space Devices 之技術規範[317]，訪問白頻段資料庫後確認於當地預期使用的操作頻段，是否允許免執照的無線麥克風設備使用，免執照的無線麥克風用戶必須在白頻段資料庫上登記，並確認可用頻道優先度後才能使用，如果無線麥克風用戶移動到其他地區，則必須重新確認白頻段資料庫，有關白頻段資料庫的說明與操作示範，請參閱本節（二）。

以上為免執照無線麥克風設備允許的操作頻段，而根據 47 CFR 15.236 之規定，免執照的無線麥克風設備允許的發射功率限制如下所列：

(1) 分配給廣播電視的操作頻段和 600 MHz 服務頻段：50 mW EIRP。

(2) 600 MHz 保護頻段和 600 MHz 雙工間隙：20 mW EIRP。

另關於保護廣播電視台之相關規定，請參閱第 1 小節的說明，而根據 47 CFR 27.4 - Terms and definitions[318]中之規定，免執照無線麥克風設備操作時，必須遠離 600 MHz 通訊服務持照者，詳細如表 9-6 中所列之距離，以避免有害干擾的發生：

[317] 47 CFR Part 15, Subpart H - White Space Devices https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=c6e0fb307dd4e06b8598054878e4742f&ty=HTML&h=L&mc=true&n=sp47.1.15.h&r=SUBPART

[318] 47 CFR 27.4 - Terms and definitions https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=c6e0fb307dd4e06b8598054878e4742f&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.2.27_14

表 9- 6：用於保護操作於 600 MHz 頻段通訊服務之操作距離限制值

站臺型態	間隔距離（公里）	
	同頻	鄰頻
Base	7	0.2
Mobile	35	31

資料來源：FCC

免執照的無線麥克風設備操作於上述允許頻段時，必須符合下列要求：

(1) 操作頻率之選擇應為上限或下限頻率點偏移 25 kHz 或其整數倍。

(2) 可將單個或多個相鄰 25 kHz 的可分配頻率(Assignable Frequencies)組合成一個最大頻寬不超過 200 kHz 的頻道。操作頻寬不可超過 200 kHz。

(3) 於下列兩種狀況，其載波信號的頻率容差量(Frequency Tolerance)應保持在操作頻率的±0.005%範圍內：

(a) 在正常電源電壓工作下，使溫度變化範圍從-20 至+50 度。

(b) 當溫度維持在 20 度時，使電源電壓變化範圍從 85% to 115%。

(4) 距載波中心頻率上下 1MHz 內的發射，都應遵守 European Telecommunications Institute Standard ETSI EN 300 422-1(Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Wireless microphones in the 25 MHz to 3 GHz frequency range; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement.)中 section 8.4 所定義之發射遮罩標準(Emission Mask)。

(七) 美國無線麥克風設備結論

根據先前的討論與法條分析，本章節整合了無線麥克風設備在各操作頻段的限制功率與適用法條，詳細如表 9- 7 中所示，並應注意持有執照的適用差異性，原則上持有執照的無線麥克風設備，可

輸出較高的發射功率（在某些允許的操作頻段上最高可輸出 1W），而且擁有較多的操作頻段。（除了免執照頻段 614-616 MHz 與 657-663 MHz 以外，表中所列之操作頻段皆可使用）另需注意持有執照之無線麥克風設備於 169-172 MHz（VHF）之操作頻段，應遵守 47 CFR 90.265 相關技術規範。[319]

表 9- 7：美國無線麥克風設備之操作頻段彙整

Frequency Band	Unlicensed		Licensed	
	Rule Part	Output Power	Rule Part	Output Power
26.100-26.480 MHz			74H	1 Watt
54-72 MHz (VHF)(TV Band Ch2-4), 76-88 MHz (VHF)(TV Band Ch5-6)	15.236	50 mW EIRP	74H	50 mW EIRP
161.625 -161.775 MHz (VHF)			74H	1 Watt
169-172 MHz (VHF)			90.265	50 mW
174-216 MHz (VHF)(TV Band Ch7-13)	15.236	50 mW EIRP	74H	50 mW EIRP
450-451 MHz (UHF), 455-456 MHz			74H	1 Watt
470-608 MHz (UHF)(TV Band Ch14-36)	15.236	50 mW EIRP	74H	250 mW
614-616 MHz (guard band)	15.236	20 mW EIRP		
653-657 MHz (duplex gap)			74H	20 mW EIRP

[319] 47 CFR 90.265 - Assignment and use of frequencies in the bands allocated for Federal use. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=c6e0fb307dd4e06b8598054878e4742f&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.5.90_1265

Frequency Band	Unlicensed		Licensed	
	Rule Part	Output Power	Rule Part	Output Power
657-663 MHz (duplex gap)	15.236	20 mW EIRP		
941.5-944, 944 -952.0 MHz, 952.850 -956.250 MHz, 956.450 - 959.85 MHz, 6875 -6900 MHz, 7100 -7125 MHz			74H	1 Watt
1435 -1525 MHz			74H	250 mW

資料來源：FCC

二、 歐盟

相較於美國將無線麥克風設備定義為低功率輔助無線電站，歐盟國際通訊組織則將無線麥克風設備定義為節目製作與特殊服務活動 PMSE (Program Making and Special Events Applications)設備，而這裡所指的歐盟通訊組織則是包含：歐洲郵電行政大會(The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, CEPT)、電子通訊委員會(Electronic Communications Committee, ECC)、歐洲電信標準協會(The European Telecommunications Standards Institute, ETSI)等，是以在歐盟各國境內的無線麥克風設備必須遵循 PMSE 的相關技術規範。PMSE 主要可分為視頻 PMSE (Video PMSE)應用與音頻 PMSE (Audio PMSE)應用（本計畫之無線麥克風設備則屬於音頻 PMSE 應用），過去 PMSE 的相關應用涵蓋了各類戲劇製作(Theatrical Productions)和廣播公司各種大小規模的活動(Broadcasting Contribution Activities)，以及會議、文化、教育活動等，而根據 CEPT Report 51 技術文件中將這些活動定義為 SAP/SAB 與 ENG/OB[320]，其詳細敘述如下所示：

SAP：服務輔助程序製作 (Services Ancillary to Program making, SAP)，支持在製作中進行的節目活動，如電影製作，廣告，企業宣傳片，音樂會，戲劇等類似活動。

SAB：輔助廣播服務(Services Ancillary to Broadcasting, SAB) 支持製作節目的廣播業活動。

SAP 與 SAB 的定義並不會互相獨立排斥，實際上經常在同時間使用，是以稱為 SAP/SAB，更多的小範圍應用如語音回應(Talk-back)、個人監聽音軌(Personal Monitoring of Soundtrack)、遠程指令

[320] CEPT Report 51: "Report B from CEPT to the European Commission in response to the Mandate "On technical conditions regarding spectrum harmonisation options for wireless radio microphones and cordless video-cameras"

控制(Telecommand)和遙控(Telecontrol)等類似應用，泛指透過無線電發射傳遞聲音或影像素材的相關服務。

ENG：電子新聞採集(Electronic News Gathering, ENG) 透過小型手持式無線攝影機、無線麥克風設備與新聞室進行無線電傳遞，廣義也包含便攜式磁帶(Portable Tape)或其他記錄器(Recorders)。

OB：戶外廣播(Outside broadcasting, OB) 臨時於該地點提供節目製作設施正在進行的新聞，體育或其他活動，持續數小時至數禮拜。相關移動式或便攜式無線攝影機或麥克風設備在其地點需要透過無線電傳遞，除此之外，戶外廣播地點之間的臨時點對點連接，則可能需要無線電廣播車輛和臨時的所在地工作室。

ENG 與 OB 的定義同樣不會互相獨立排斥，實際上經常在同時間使用，過去 CEPT 經常使用 SAP/SAB 或 ENG/OB 來分類這些應用產品，但如 CEPT 於官方網頁中所述[321]，近年來，這些相關應用的可用頻譜已經逐漸減少，而這些可用頻譜因為利益而分配給指定的移動寬頻通信或其他服務用途。根據 ECC 針對未來 2015-2020 所制定的策略發展文件[322]中，將為 PMSE 射頻設備計劃確定且專用的頻譜，同時也考慮到未來 PMSE 頻譜的演進，可能使用操作頻率更高的頻段，和 PMSE 設備所需的數位技術規範，以及發展共享頻譜多方面的解決方案，來維持目前 PMSE 射頻設備的使用品質。

值得注意的是，許多 PMSE 設備的使用時機，尤其是針對新聞採集的應用，常常發生在不可預知的時間和地點，需要非常快速的響應時間。在這種情況下，PMSE 設備的訊號傳遞之延遲時間、頻段協調使用、許可程序的複雜度，都必須被限制在最低限度是非常重要的。另一方面，有些是可以事前預測到將使用 PMSE 設備的活動，例如大型活動的戶外廣播，通常是在活動發生之前就已計劃完成的。而對於這種活動事件的頻段分配，就可以耗費較長的時間來，

[321] https://cept.org/ecc/topics/programme-making-and-special-events-applications-pmse
[322] ECC (2014), ECC Strategic Plan for the period 2015-2020 Montreux, 28 November 2014.

特別是當頻段的需求超過了分配給 PMSE 的可用頻段時，操作頻段就必須從其他無線電頻段的操作用戶“借用”。

(一) 無線麥克風操作頻段

由於歐盟的技術規範大多從幾個主要的文件衍伸出來，因此本計畫將直接說明技術規範，根據 ECC ERC Recommendation 70-03 (Relating to the use of Short Range Devices (SRD))[323]中所規定，也同時包含了相關的(PMSE Audio)輔助收聽設備(Assistive Listening Devices, ALD)、無線音頻(Wireless Audio)和多媒體系統(Multimedia Streaming Systems)，本文則擷取 ERC/REC 70-03 Annex 10 中無線麥克風設備操作頻段之部分，並結合了相關技術文件，如：CEPT Report 60[324]、Decision ECC/DEC/(09)03[325]、ECC Report 245[326]、ECC Report 253[327]、EC Decision 2014/641/EU[328]等技術文件，將無線麥克風設備之技術規範整理為表 9- 8 中所示。

表 9- 8：歐盟無線麥克風操作頻段之彙整

Frequency Band (MHz)	Power / Magnetic Field	Modulation / Maximum Occupied Bandwidth	ECC/ERC Deliverable	Notes
29.7-47	**10 mW e.r.p.**	**≤ 50 kHz**	**ERC/REC 70-03**	**Radio microphones. On a tuning range basis. The frequency bands 30.3-30.5 MHz, 32.15-32.45 MHz and 41.015-**

[323] CEPT/ERC/REC 70-03: "Relating to the use of Short Range Devices (SRD)"
[324] CEPT Report 60: "Report B from CEPT to the European Commission in response to the Mandate “to develop harmonised technical conditions for the 6941-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives"
[325] Decision ECC/DEC/(09)03: "ECC Decision of 30 October 2009 on harmonised conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) operating in the band 790 - 862 MHz "
[326] ECC Report 245: "Compatibility studies between PMSE and other systems/services in the band 1350-1400 MHz"
[327] ECC Report 253: "Compatibility studies on audio PMSE at 1492-1518 MHz and 1518-1525 MHz"
[328] EC Decision 2014/641/EU: "on harmonised technical conditions of radio spectrum use by wireless audio programme making and special events equipment in the Union"

				47.00 MHz are harmonised military bands. Individual licence may be required
174-216	**50 mW e.r.p.**	**Not specified**	**ERC/REC 70-03**	**Radio microphones. On a tuning range basis. Individual licence may be required**
470-694	**50 mW e.r.p.**	**Not specified**	**ERC/REC 70-03**	**Radio microphones. On a tuning range basis. Individual licence may be required**
694-790	**20 mW e.i.r.p 80 mW e.i.r.p**	**Not specified**	**CEPT Report 60 ECC Report 221**	**Radio microphones. On a tuning range basis. Individual licence may be required**
823-826	**20 mW e.i.r.p. / 100 mW e.i.r.p.**	**≤ 200 kHz**	**Annex 3 of Decision ECC/DEC/(09)03**	**Radio microphones. Individual licence may be required. 100 mW restricted to body worn equipment.**
826-832	**100 mW e.i.r.p.**	**≤ 200 kHz**	**Annex 3 of Decision ECC/DEC/(09)03**	**Radio microphones. Individual licence may be required.**
863-865	**10 mW e.r.p.**	**Not specified**	**ERC/REC 70-03**	**Radio microphones, wireless audio and multimedia streaming devices.**
1350-1400	**20 mW e.i.r.p. / 50 mW e.i.r.p**	**Not specified**	**ECC Report 245 and ERC/REC 70-03**	**Radio microphones. Individual licence may be required. 50 mW restricted to body worn equipment or equipment with Spectrum Scanning Procedure (SSP) implemented for the 1350-1400 MHz band**
1492-1518	**50 mW e.i.r.p**	**Not specified**	**ECC Report 253 and ERC/REC 70-03**	**Radio microphones. On a tuning range basis. Individual licence required. Restricted to indoor use**
1518-1525	**50 mW e.i.r.p**	**Not specified**	**ECC Report 253 and ERC/REC 70-03**	**Radio microphones. On a tuning range basis. Individual licence required. Restricted to indoor use**
1785-1795	**20 mW e.i.r.p. /**	**Not specified**	**ERC/REC 70-03, and EC Decision**	**Radio microphones. Individual licence may**

	50 mW e.i.r.p		**2014 / 641 / EU**	**be required. 50 mW restricted to body worn equipment or equipment with Spectrum Scanning Procedure (SSP) implemented for the 1785-1804.8 MHz band**
1795-1800	**20 mW e.i.r.p. / 50 mW e.i.r.p**	**Not specified**	**ERC/REC 70-03, and EC Decision 2014 / 641 / EU**	**Radio microphones including wireless audio and multimedia streaming devices. Individual licence may be required. 50 mW restricted to body worn equipment or equipment with Spectrum Scanning Procedure (SSP) implemented for the 1785-1804.8 MHz band**
1800-1804.8	**20 mW e.i.r.p. / 50 mW e.i.r.p**	**Not specified**	**ERC/REC 70-03, and EC Decision 2014 / 641 / EU**	**Radio microphones. Individual licence may be required 50 mW restricted to body worn equipment or equipment with Spectrum Scanning Procedure (SSP) implemented for the 1785-1804.8 MHz band**

資料來源：ECC

如上述表 9- 8 中所示，CEPT 制定出了無線麥克風設備技術規範之大方向，若該操作頻段內有更詳細之技術劃分，則應參考該頻段之技術規範文件，如該表 9- 8 中許多操作頻段的占用頻寬(Occupied Bandwidth)並無明確定義(Not specified)，這部分應參照技術文件 ETSI EN 300 422；另如 694-790 MHz、823-832 MHz、1350-1400 MHz、1492-1525 MHz、1785-1804.8 MHz 等操作頻段中，ERC/REC 70-03 雖已制定各項發射限制值（如：20mW、50mW、100mW e.i.r.p 等），但針對各類 PMSE 設備應用、使用情境等細節仍需依據各操作頻段之相關技術規範文件，詳細內容將在以下小節中，討論幾個較特殊的操作頻段。

1、 694-790 MHz

自從世界無線電通信大會(The World Radiocommunication Conference 2012, WRC-12)於 2012 年同意將 694-790 MHz 操作頻段分配給行動通訊服務(Mobile/Fixed Communication Network, MFCN)後，歐洲聯盟委員會(The European Commission)要求 CEPT 制定出 700 MHz 頻段的無線寬頻通信的技術規範，並研究與現有射頻設備共享頻譜的可能性，例如：PMSE 設備。是以 PMSE 設備可以根據 ECC Report 221[329]與 CEPT Report 60[330]所制定之相關技術規範，與行動寬頻通信業務共同操作於 700 MHz 頻段內。

根據 CEPT Report 60 和 ECC Report 221 技術文件中所示，MFCN 操作頻段詳細如圖 9- 3 中所示：

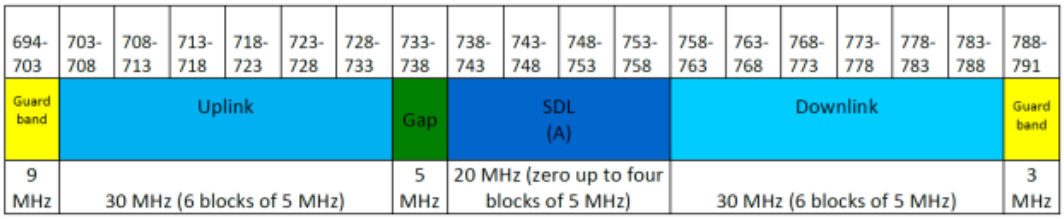


圖 9- 3：694-791 MHz 頻段之頻譜分配圖

資料來源：CEPT

由圖 9- 3 中可得知，其中 MFCN 主要操作頻段分別為：

(1) MFCN 操作雙工頻段 A paired frequency arrangement (FDD)：

(a) 上行鏈路(Uplink) Terminal Station Transmitter: 703-733 MHz；

[329] ECC Report 221: "Adjacent band compatibility between MFCN and PMSE audio applications in the 700 MHz frequency band"

[330] CEPT Report 60: "Report B from CEPT to the European Commission in response to the Mandate "to develop harmonised technical conditions for the 6941-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives"

(b) 下行鏈路(Downlink)Base Station Transmitter: 758-788 MHz；

(2) MFCN 選用的補充下行鏈路(Supplemental Downlink, SDL) An unpaired frequency arrangement on optional basis: 738-758MHz。

原則上 PMSE 設備不能操作在 MFCN 操作雙工頻段上，否則將嚴重影響 MFCN 設備的操作，而 SDL 補充下行鏈路則是 MFCN 可選用的操作頻段，該頻段可至少選用 0（不使用）或最多 4 個頻道(738-758MHz)，需注意 694-790 MHz 頻段上的頻道其頻寬為 5MHz，而 PMSE 設備可於 694-790 MHz 間操作的頻段為：

(a) Guard Band：694-703MHz。

(b) Duplex Gap（含補充下行鏈路 SDL）：733-758MHz。

而在上述可操作頻段中，無線麥克風設備可分為手持式(Handheld Microphone)麥克風與穿戴式麥克風設備(Body Worn Microphone)，各別發射功率限制功率如表 9-9 和表 9-10 中所示，並可注意該表中雖沒有列出護衛頻段(694-703MHz)，但仍需依據表中限制值之規定，以 Uplink 頻段邊緣為基準，進而得出手持式應用與穿戴式應用的麥克風設備操作在保護頻段的發射功率限制值。

表 9-9：手持式麥克風設備發射功率限制值

頻段範圍	e.i.r.p.	Measurement Bandwidth	Reasoning
MFCN Uplink Frequencies	-45 dBm (unwanted emissions)	200 kHz	ETSI EN 300 422
More than -4.2 MHz offset from MFCN downlink lower band edge or lower edge of the lowest SDL block	19 dBm	200 kHz	Annex 2 of ECC Report 221
-4.2 to -2.8 MHz offset	13 dBm	200 kHz	

頻段範圍	e.i.r.p.	Measurement Bandwidth	Reasoning
from MFCN downlink lower band edge or lower edge of the lowest SDL block			
- 2.8 to 0 MHz offset from MFCN downlink lower band edge or lower edge of the lowest SDL block	Guard Band（保護 MFCN）	-	
MFCN, downlink and SDL frequencies	-45 dBm (unwanted emissions)	200 kHz	ETSI EN 300 422

資料來源：CEPT

表 9- 10：穿戴式麥克風設備發射功率限制值

頻段範圍	e.i.r.p.	Measurement Bandwidth	Reasoning
MFCN Uplink Frequencies	-45 dBm (unwanted emissions)	200 kHz	ETSI EN 300 422
More than -1.2 MHz offset from MFCN downlink lower band edge or lower edge of the lowest SDL block	19 dBm	200 kHz	Annex 2 of ECC Report 221
- 1.2 to 0 MHz offset from MFCN downlink lower band edge or lower edge of the lowest SDL block	Guard Band（保護 MFCN）	-	
MFCN, downlink and SDL frequencies	-45 dBm (unwanted emissions)	200 kHz	ETSI EN 300 422

資料來源：CEPT

2、790-862 MHz

世界無線電通信大會(WRC-07)決議將 790-862 MHz 頻段劃分給移動服務(Mobile Service)，執行時間自西元 2015 年 6 月 17 日開始。根據 ECC/DEC/(09)03 (on harmonised conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) operating in the band 790 - 862 MHz)技術文件中之規定，值得注意的是，此份文件提供了 FDD 的頻譜分配與 TDD 的頻譜分配，並說明應該優先統一選擇 FDD 的頻譜分配方式，但若是該國主要管理機關不希望採用，或是無法同時分配整段 790-862 MHz 的頻段（因為 FDD 需要對稱分配頻譜），則可以採用文件中所規定之 TDD 頻譜的分配方式。790-862 MHz 頻段的 FDD 頻譜分配如圖 9- 4 中所示，而 TDD 的頻譜分配則如圖 9- 5 中所示：

(1) 下行鏈路(Downlink)：791-821 MHz (6 blocks of 5 MHz)。

(2) 上行鏈路(Uplink)：832-862 MHz (6 blocks of 5 MHz)。

(3) Guard Band：790-791 MHz。

(4) Duplex Band：821-832 MHz。

790-791	791-796	796-801	801-806	806-811	811-816	816-821	821-832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Guard band	Downlink						Duplex gap	Uplink					
1 MHz	30 MHz (6 blocks of 5 MHz)						11 MHz	30 MHz (6 blocks of 5 MHz)					

圖 9- 4：790-862 MHz 的頻譜分配圖（優先統一選擇的 FDD 頻譜）

資料來源：CEPT

790-797	797-802	802-807	807-812	812-817	817-822	822-827	827-832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Guard band	Unpaired												
7 MHz	65 MHz (13 blocks of 5 MHz)												

圖 9- 5：790-862 MHz 的頻譜分配圖（TDD 頻譜）

資料來源：CEPT

根據 ECC/DEC/(09)03 技術文件中之規定，PMSE 設備可操作的頻段和限制功率如表 9- 11 中所示，需注意 PMSE 設備根據手持式終

端(Handheld Terminals)與穿戴型終端(Bodyworn Terminals)而有著不同的限制功率。

表 9- 11：PMSE 設備操作頻段（790-862MHz）和限制功率

Frequency range of in-band emissions	Maximum mean in-band TRP(Total Radiated Power)
+5 MHz from FDD downlink upper band edge to FDD uplink lower band edge	20 dBm
From broadcasting upper band edge to -5 MHz from TDD lower band edge	
+5 MHz from TDD upper band edge to broadcasting lower band edge	
+2 to +5 MHz from FDD downlink upper band edge	13 dBm handheld terminals 20 dBm bodyworn terminals
-5 to -2 MHz from TDD lower band edge	
+2 to +5 MHz from TDD upper band edge	

資料來源：ECC

3、 1350-1400MHz

根據 ECC Report 245[331] (Compatibility studies between PMSE and other systems/services in the band 1350-1400 MHz)技術文件中所述，目前操作於 1350-1400 MHz 頻段上的射頻設備與應用如表 9- 12 中所示。

[331] ECC Report 245: "Compatibility studies between PMSE and other systems/services in the band 1350-1400 MHz"

表 9- 12：操作於 1350-1400 MHz 頻段上的各類射頻設備

Frequency range (MHz)	European Common Allocation	Applications
1300-1350	Aeronautical Radionavigation 5.337 Radiolocation Radionavigation-Satellite (Earth-to-Space) 5.149, 5.337A	Defence Systems, Radio Astronomy Radiolocation (Civil) Satellite Navigation Systems
1350-1400	Fixed, Mobile, Radiolocation 5.149, 5.338A, 5.339	Defence Systems, Fixed Radio Astronomy
1400-1427	Earth Exploration-Satellite (Passive) Radio Astronomy Space Research (Passive) 5.340, 5.341	Passive Sensors (Satellite) Radio Astronomy

資料來源：ECC

表 9- 13 中各類系統相關應用(5.337, 5.149, 5.337A, 5.338A, 5.339, 5.340, 5.341)請參閱 ITU Radio Regulations Footnotes for Region 1[332]技術文件中之說明，而 PMSE 設備發射功率限制值與相關參數規定如表 9- 13 中所示，另需注意操作於該頻段 PMSE 設備需要具備頻譜掃描之程序 (Spectrum Scanning Procedure, SSP)。

表 9- 13：無線麥克風設備發射功率與頻寬限制值

Applications	Parameters	Value
	Bandwidth (BW)	0.2 MHz

[332] ITU Radio Regulations Footnotes for Region 1.

手持式無線麥克風	Maximum e.i.r.p	13 dBm (約 20 mW)
穿戴式無線麥克風	Bandwidth (BW)	0.2
	Maximum e.i.r.p	17 dBm (約 50 mW)

資料來源：ECC

除了必須遵守表 9- 14 中所制定發射功率限制值，還必須額外遵守表 9- 14 中使用限制，內容為擷取 ECC Report 245 中無線麥克風設備的部分。

表 9- 14：無線麥克風與各射頻設備之間的使用限制

Service	穿戴式 / 手持式 PMSE（無線麥克風）
Radiolocation	Outdoor: separation distance of 15 km Indoor: separation distance of 5 km
Fixed Service - coordinated	Main lobe: 20 km Side lobe Outdoor: separation distance of 2.5 km Indoor: separation distance of 1 km
TRR (Tactical Radio Relay)	None
UAS BS (Unmanned Aircraft System)	200 m outdoor - 50 m indoor
UAV (Unmanned Aerial Vehicle)	2 km outdoor - (no separation needed for indoor)
RAS (Radio Astronomy Service)	1350 - 1400 MHz: Indoor: no separation distance Outdoor: 51 km separation distance 1400 - 1427 MHz: Indoor: no separation distance Outdoor: 1.0 km separation distance (see Note 1)
Note 1: 距離的計算方式為預設 RAS 系統的基本天線增益為 0 dBi，且不考慮系統天線指向性，實際上分隔距離有可能比較短，主要取決於周遭地形、屏蔽性等相關因素。	

資料來源：ECC

4、 1492-1525 MHz

當 PMSE 設備操作在此頻段時，必須注意如表 9- 8 中所述，該設備（無線麥克風）發射功率上限為 50 mW e.i.r.p，但只能被限制在室內使用(Restricted to indoor use)，最主要的原因，就是該頻段有許多高重要性的射頻設備。根據 ECC Report 253 (Compatibility studies on audio PMSE at 1492-1518 MHz and 1518-1525 MHz)技術文件[333]中所示，該頻段中目前現存且正在運行的射頻設備如表 9- 16 中所示。

表 9- 15：操作於 1452-1525 MHz 頻段上的各類射頻設備

Frequency Band (MHz)	SERVICES			
1452-1492	FIXED	MOBILE except aeronautical mobile (5.341A)		
1492-1518	FIXED	MOBILE except aeronautical mobile (5.341A)	Aeronautical Telemetry (5.342)	
1518-1525	FIXED	MOBILE except aeronautical mobile	MOBILE-SATELLITE (s-E)	Aeronautical Telemetry (5.342)

資料來源：ECC

[333] ECC Report 253: "Compatibility studies on audio PMSE at 1492-1518 MHz and 1518-1525 MHz"

根據 ITU Radio Regulations Footnotes for Region 1 技術文件[334]中之說明(5.341A)，於 223 號決議中(Rev.WRC-15)，1427-1452 MHz 頻段與 1492-1518 MHz 頻段正式分配給行動通訊(IMT)，以及在以下國家(Armenia, Azerbaijan, Belarus, the Russian Federation, Uzbekistan, Kyrgystan and Ukraine)中，1429-1535 MHz 頻段則分配給用途為國家領土航空遙測(Aeronautical Telemetry)的航空移動服務(Aeronautical Mobile Service)，是以 ECC Report 253 額外制定了 PMSE 設備使用限制作為防干擾機制，本文擷取無線麥克風設備的部分，詳細如表 9-16 中所示。

表 9- 16：無線麥克風與各射頻設備之間的使用限制

Service	穿戴式 / 手持式 PMSE（無線麥克風）
IMT (downlink) (1492-1518 MHz)	For audio PMSE within 1518-1525 MHz, define minimum physical separation between LTE UE and audio PMSE or to keep a frequency offset above 1518 MHz, or to limit the maximum e.i.r.p. and define a block edge mask (Note 2)
Fixed Service – coordinated (1492-1525 MHz) (Note 1)	Co-channel separation distances Main lobe: 20 km Side lobe: 1 km For guard bands >1 MHz, there will be no interference to the Fixed Service
Fixed Service – uncoordinated (1492-1525 MHz) (Note 1)	No mitigation techniques required
Mobile Service	No mitigation techniques required

[334] ITU Radio Regulations Footnotes for Region 1.

Service	穿戴式 / 手持式 PMSE（無線麥克風）
(1492-1525 MHz)	
Aeronautical Telemetry (1492-1525 MHz)	Separation distance of 3 km. Exact frequencies used by Aeronautical systems are not known therefore a guard band cannot be considered

Service	穿戴式 / 手持式 PMSE（無線麥克風）
MSS (Mobile Satellite Service) (1518-1525 MHz)	For sharing with respect to Land MES (Mobile Earth Station): Feasibility of sharing depends on typical audio PMSE density and deployment conditions as specified in section 4.1.3. (Note 3) For sharing with respect to aeronautical MESs: Feasibility of sharing depends on assumptions regarding key parameters such as building penetration loss and aircraft altitude. No firm conclusions are drawn in this Report. See section 5.6.3 (Note 4)
原文註 1：當位處同地區時，無線麥克風設備與該頻段的固定式設備使用同頻道(Co-channel)的操作，將會造成彼此之間的干擾影響，PMSE 設備可以透過執行頻譜的掃瞄過程，來辨識正在該頻道操作的其他射頻設備，並降低 PMSE 設備與固定式設備之間的干擾影響。 本文註 2：最大輸出功率應如表 9 中所示為 50mW，Edge Mask 請參閱 ETSI EN 300 422。 本文註 3：探討 PMSE 數量密度與 MSS 之間的干擾影響，請參閱 ECC Report 253 section 4.1.3。 本文註 4：探討牆壁厚度與飛機高度對 MSS 的干擾影響，請參閱 ECC Report 253 section 5.6.3。	

資料來源：ECC

5、 1785-1804.8 MHz

根據技術文件 2014/641/EU (on harmonised technical conditions of radio spectrum use by wireless audio programme making and special events equipment in the Union)委員會之決議，操作在 1785-1804.8 MHz 頻段之 PMSE 設備需遵守下列表 9- 17（手持式）和表 9- 18（穿戴式）中之規定。

表 9- 17：手持式無線麥克風於 1785-1804.8 MHz 頻段之參數限制值

	Frequency Range	Handheld equipment (e.i.r.p.)
Out-of-block	< 1785 MHz	- 17 dBm / 200 kHz
Restricted frequency range	1785-1785.2 MHz	4 dBm / 200 kHz
	1785.2-1803.6 MHz	13 dBm / channel
	1803.6-1804.8 MHz	10 dBm / 200 kHz, with a limit of 13 dBm / channel
Restricted frequency range	1804.8-1805 MHz	- 14 dBm / 200 kHz
Out-of-block	> 1805 MHz	- 37 dBm / 200 kHz

資料來源：EU

表 9- 18：穿戴式無線麥克風於 1785-1804.8 MHz 頻段之參數限制值

	Frequency Range	Body worn equipment (e.i.r.p.)
Out-of-block	< 1785 MHz	- 17 dBm / 200 kHz
	1785-1804.8 MHz	17 dBm / channel
Restricted frequency range	1804.8-1805 MHz	0 dBm / 200 kHz
Out-of-block	> 1805 MHz	- 23 dBm / 200 kHz

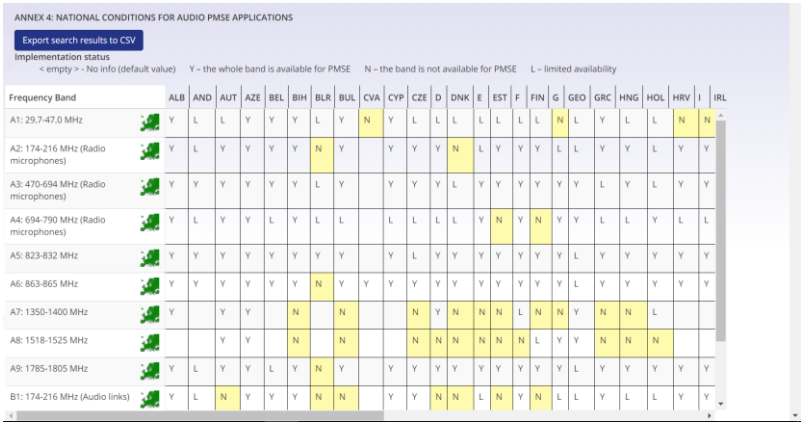
資料來源：EU

(二) PMSE 使用執照

相較美國有很大不同的是，歐盟中不同的國家都有個別的頻段規劃，以及針對 PMSE 設備有著不同的要求，在歐盟各個國家中 PMSE 設備的使用並沒有完全統一。CEPT 沒有強制限制該操作頻段是否需要使用執照，並以可能需要個別許可證告知使用者，需注意是否應該於該國申請執照。而 CEPT 本著追求 PMSE 操作頻段之調

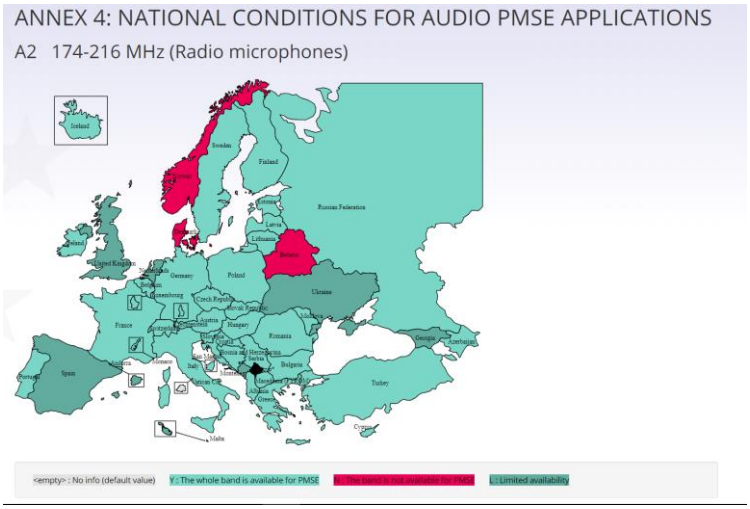
諧範圍(Tuning Range)的概念，在調諧範圍內，CEPT 可以根據頻譜的可用性，為 PMSE 設備分配特定的子頻帶或特定頻段，為歐盟中不同國家的 PMSE 設備提供操作之靈活性。

歐盟各國針對 PMSE 設備的操作頻段分配與執照需求性，可參閱 ECC ERC Recommendation 25-10 (Frequency Ranges for the Use of Terrestrial Audio and Video Programme Making and Special Events (PMSE) applications)技術文件[335]，而另一個較方便的資訊來源，則可參閱 CEPT 官方網站內的 PMSE 的專頁[336]，如圖 9- 6 (a)中所示，其專頁列出了歐盟各國針對 PMSE 設備所分配的操作頻段，其中代號 Y 為該操作頻段可完全讓 PMSE 設備所使用，代號 N 則為該操作頻段 PMSE 設備不可使用，代號 L 為 PMSE 設備必須在有限制條件下使用。而點擊操作頻段右側的 View Map 則可以閱覽歐洲地區的 PMSE 頻段分配（以顏色區分），如圖 9- 6 (b)中所示，而點擊該國家後，則會呈現該國 PMSE 設備各操作頻段是否需要執照，而如圖 9- 6 (c)中所示，其中代號*為可能需要個別許可證，而代號！則為限制型申請（如地理限制）。更多的詳細限制條件與情境說明，應參閱 PMSE 專頁下方針對各國家之各操作頻段之敘述。



(a)

[335] ECC ERC Recommendation 25-10: "Frequency Ranges for the Use of Terrestrial Audio and Video Programme Making and Special Events (PMSE) applications"
[336] https://www.efis.dk/report/report2510AnnexImplementation.do?annexId=1



(b)

France

Implementation status
<empty> : No info (default value) Y : The whole band is available for PMSE
N : The band is not available for PMSE L : Limited availability

Identifier	Frequency band	Implementation
A1	29.7-47.0 MHz	L
A2	174-216 MHz (Radio microphones)	Y
A3	470-694 MHz (Radio microphones)	Y
A4	694-790 MHz (Radio microphones)	Y!
A5	823-832 MHz	Y
A6	863-865 MHz	Y
A7	1350-1400 MHz	L*!
A8	1518-1525 MHz	N
A9	1785-1805 MHz	Y
B1	174-216 MHz (Audio links)	Y
B2	470-694 MHz (Audio links)	Y!
B3	694-790 MHz (Audio links)	Y!

(c)

Germany

Implementation status
<empty> : No info (default value) Y : The whole band is available for PMSE
N : The band is not available for PMSE L : Limited availability

Identifier	Frequency band	Implementation
A1	29.7-47.0 MHz	L
A2	174-216 MHz (Radio microphones)	Y!
A3	470-694 MHz (Radio microphones)	Y*!
A4	694-790 MHz (Radio microphones)	L*!
A5	823-832 MHz	Y
A6	863-865 MHz	Y
A7	1350-1400 MHz	Y*!
A8	1518-1525 MHz	N
A9	1785-1805 MHz	Y
B1	174-216 MHz (Audio links)	N
B2	470-694 MHz (Audio links)	Y*!
B3	694-790 MHz (Audio links)	N

(d)

圖 9- 6：歐盟彙整各國的 PMSE 設備所制定的操作頻段與執照需求

資料來源：ECC

(三) 無線麥克風設備各項參數限制值

如上所述，歐盟各國數個技術規範文件的制定，完備了無線麥克風設備的操作頻段與限制功率，而無線麥克風設備其餘的相關參

數，以及量測方式，則詳細制定在 ETSI EN 300 422 技術文件[337]中，請留意先前章節中所述，美國 FCC 制定了無線麥克風設備的操作頻段、限制功率、使用情境限制與監管機制等，但仍於法規中提及無線麥克風設備的技術要求、操作功率遮罩、量測方式等必需依循 ETSI EN 300 422 之規定，是以可得知該文件之重要性。而我國低功率射頻技術規範中針對無線麥克風所制定的相關法規，也是主要遵循與彙整 ETSI EN 300 422 技術文件中的相關內容，是以本節之內容引用我國低功率射頻技術規範來說明。

必須注意 EN 300 422 中對於必需頻帶寬度(Necessary Bandwidth)之限制：操作頻率(fc)小於 1 GHz 之系統，其必需頻帶寬度應小於或等於 200 kHz，並符合遮罩標準。操作頻率(fc)大於 1 GHz 之系統，其必需頻帶寬度應小於或等於 600 kHz，並符合遮罩標準。

類比式的無線麥克風設備應遵循表 9- 19 中的量測設置與表 9- 20 中的發射遮罩。

表 9- 19：類比式無線麥克風設備之量測設置

偏移量 Δf	類比式系統					
	限制值 Limit (dBc)	RBW	VBW	檢波器 Detector	追蹤 Trace	掃描頻率寬度 span
±(0 ≤ Δf ≤ 0.35B)	0 ~ -20（註 1）	1 KHz	1 KHz	RMS	Max Hold	fc ± 1MHz
±(0.35B ≤ Δf ≤ 0.5B)	-20 ~ -60（註 1）	1 KHz	1 KHz	RMS	Max Hold	fc ± 1MHz

[337] ETSI EN 300 422-1: "Wireless Microphones; Audio PMSE up to 3 GHz; Part 1: Class A Receivers; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU".

±(0.5B ≤ Δf ≤ B)	-60 ~-80 （註 1）	1 KHz	1 KHz	RMS	Max Hold	fc ± 1MHz
±(B ≤ Δf ≤ 1MHz)	-80 ~ -90 （註 1）	1 KHz	1 KHz	RMS	Average	fc ± 1MHz
註：1. 以線性插補法 (linear interpolations) 計算對應之限制值。 2. 各頻段重疊處，以較嚴格之限制值為準。 3. B 指廠商宣告之頻帶寬度。						

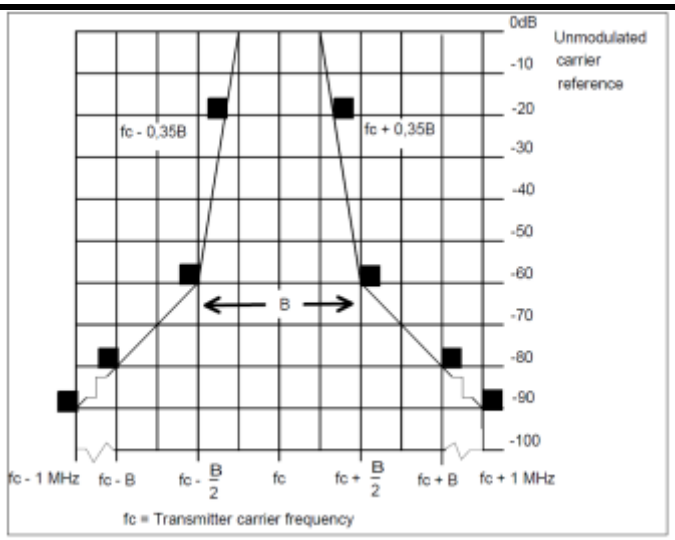


圖 9- 7：類比式無線麥克風設備之發射遮罩

操作頻段低於 1 GHz 的數位式無線麥克風設備應遵循表 9- 20 中的量測設置與圖 9- 8 中的發射遮罩，操作頻段高於 1 GHz 的數位式無線麥克風設備應遵循表 9- 21 中的量測設置與圖 9- 9 中的發射遮罩。

表 9- 20：操作頻段低於 1 GHz 數位式無線麥克風設備之量測設置

偏移量 Δf	數位式系統(<1GHz)						
	限制值 Limit (dBc)	RBW	VBW	檢波器 Detector	追蹤 Trace	掃描頻率寬度 span	掃描時間 Sweep Time
±(0 ≤ Δf ≤ 0.5B)	0	1 KHz	1 KHz	RMS	Max Hold	≥ 5 x B	≥ 2 秒

±(0.5B ≤ Δf ≤ 1.75B)	-30 ~ -80（註 1）	1 KHz	1 KHz	RMS	Max Hold	≥ 5 x B	≥ 2 秒
±(1.75B ≤ Δf ≤ 5B)	-80 ~-90（註 1）	1 KHz	1 KHz	RMS	Average	±(1.75B ≤ Δf ≤ 5B)	2 秒 per 200 KHz
註：1. 以線性插補法 (linear interpolations) 計算對應之限制值，詳圖 8。 2. 各頻段重疊處，以較嚴格之限制值為準。 3. B 指廠商宣告之頻帶寬度。							

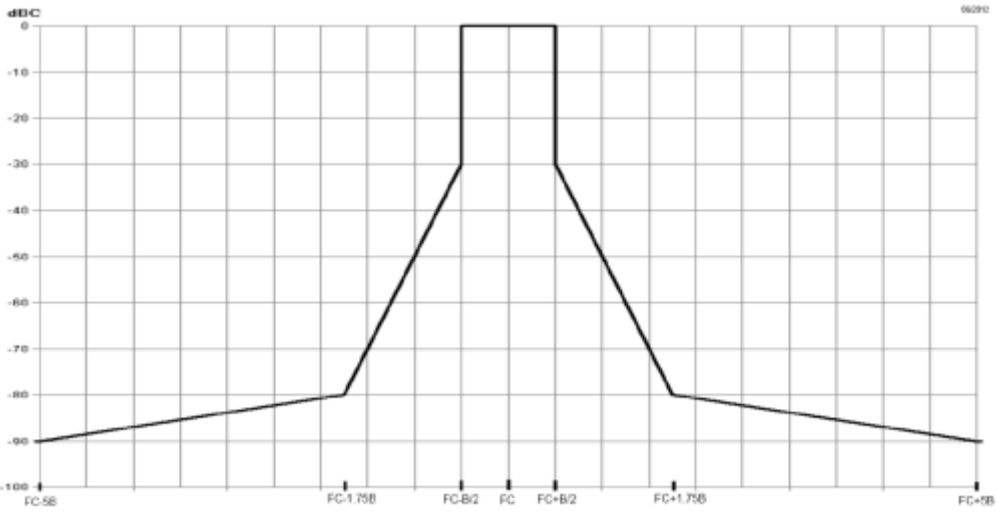


圖 9- 8：操作頻段低於 1 GHz 數位式無線麥克風設備之發射遮罩

表 9- 21：操作頻段高於 1 GHz 數位式無線麥克風設備之量測設置

偏移量 Δf	數位式系統(>1GHz)						
	限制值 Limit (dBc)	RBW	VBW	檢波器 Detector	追蹤 Trace	掃描頻率寬度 span	掃描時間 Sweep Time

±(0 ≤ Δf ≤ 0.5B)	0	1 KHz	1 KHz	RMS	Max Hold	≥ 5 x B	≥ 2 秒
±(0.5B ≤ Δf ≤ B)	-40 ~ -60（註 1）	1 KHz	1 KHz	RMS	Max Hold	≥ 5 x B	≥ 2 秒
±(B ≤ Δf ≤ 1MHz)	-60	1 KHz	1 KHz	RMS	Average	±(B ≤ Δf ≤ 1MHz)	2 秒 per 200 KHz
註：1. 以線性插補法 (linear interpolations) 計算對應之限制值，詳圖 9。 2. 各頻段重疊處，以較嚴格之限制值為準。 3. B 指廠商宣告之頻帶寬度。							

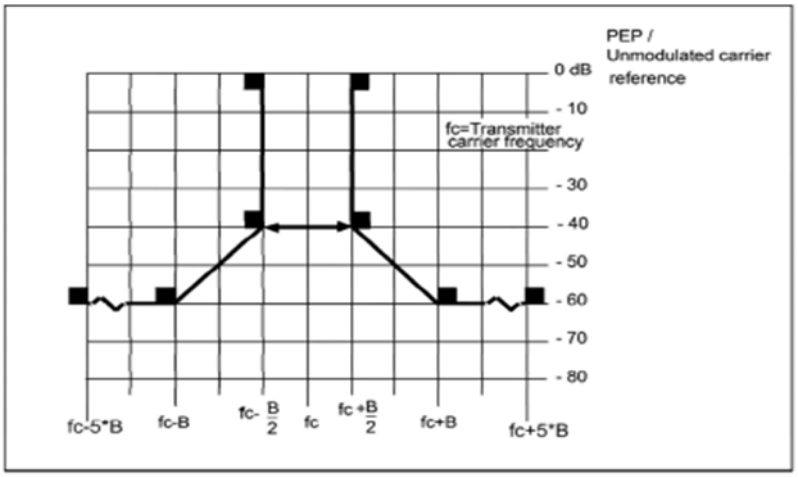


圖 9- 9：操作頻段高於 1 GHz 數位式無線麥克風設備之發射遮罩

頻移量（frequency deviation）：小於或等於±75 kHz，僅適用類比系統。

頻率穩定度（frequency stability）：

操作頻率小於 1 GHz 之系統：20 ppm。

操作頻率大於 1 GHz 之系統：15 ppm。

表 9- 22：無線麥克風混附發射（spurious emissions）(ERP)限制值

	頻率範圍		
	47 MHz～74 MHz、 87.5 MHz～137 MHz、 174 MHz～230 MHz、 470 MHz～862 MHz	< 1GHz	> 1GHz
操作狀態	4 nW 以下	250 nW 以下	1 uW 以下
待機狀態	2 nW 以下	2 nW 以下	20 nW 以下

接收機(receiver)之混附發射(spurious emissions) (ERP)：2 nW(含)以下。

傳輸發射訊號之天線不可與機體分離。

頻率穩定度測量時，在正常供應電壓下，溫度在-10℃～45℃間變化；及在 20℃下，主供應電壓在額定值之±15%內變化時。以電池作業者，應以新電池測試。

(四) 歐盟與美國無線麥克風結論

根據以上各章節針對無線麥克風技術規範之研析與討論，本節彙整了歐盟地區無線麥克風各操作頻段之推薦度，並結合了美國各操作頻段之推薦度，請注意推薦度評估方式為考量他國技術規範與使用情境之限制，其推薦度可作為我國未來開放操作頻段之參考，而這些推薦或不推薦的操作頻段對照我國國情之分析，本計畫將在後續期末報告中討論說明。針對美國與歐盟無線麥克風設備的操作頻段推薦度評估詳細如表 9- 23 中所示。

表 9- 23：美國與歐盟無線麥克風設備各操作頻段之推薦度

美國		
操作頻段(MHz)	推薦度	原因
26.100-26.480 MHz	中	佔用頻寬與授權頻段外的發射功率有特別限制，使用無線麥克風設備時，必須遵循電視站的保護曲線，該操作頻段可申請執照。
54-72 MHz (VHF)(TV Band Ch2-4), 76-88 MHz (VHF)(TV Band Ch5-6)	高	與固定式的白頻段設備共享操作頻段，使用無線麥克風設備時，必須遵循電視站的保護曲線，該操作頻段可申請執照。
161.625 -161.775 MHz (VHF)	中	操作頻段窄，佔用頻寬與授權頻段外的發射功率有特別限制，該操作頻段可申請執照。
169-172 MHz (VHF)	中	操作頻段窄，該操作頻段可申請執照。
174-216 MHz (VHF)(TV Band Ch7-13)	高	與固定式的白頻段設備共享操作頻段，使用無線麥克風設備時，必須遵循電視站的保護曲線，該操作頻段可申請執照。
450-451 MHz (UHF), 455-456 MHz	中	操作頻段窄，佔用頻寬與授權頻段外的發射功率有特別限制，該操作頻段可申請執照。
470-608 MHz (UHF)(TV Band Ch14-36)	高	操作頻段寬，與白頻段設備共享操作頻段，必須遵循電視站的保護曲線，該操作頻段可申請執照。
614-616 MHz (guard band)	極低	與 600 MHz 頻段通訊設備以及白頻段設備共享操作頻段，操作頻段窄、發射功率低 (20mW)、操作限制多，容易互相干擾，應盡量避免使用該頻段。
653-657 MHz (duplex gap)		
657-663 MHz (duplex gap)		
700 MHz	-	該操作頻段已禁用
941.5-944, 944 -952.0 MHz, 952.850 -956.250 MHz, 956.450 -959.85 MHz, 6875 -6900 MHz, 7100 -7125 MHz	低	無線麥克風使用優先度必須低於其他射頻設備，且必須避免造成有害干擾，該操作頻段可申請執照。
1435 -1525 MHz	極低	限於固定式設備，操作限制極多，必須與航空航天和飛行測試無線電協調委員會(AFTRCC)進行協調，才能操作無線麥克風設備，該操作頻段可申請執照。
歐盟		

操作頻段(MHz)	推薦度	原因
29.7-47	中	該操作頻段重疊歐盟軍用頻段，視國家可申請執照。
174-216	高	操作頻段較寬，使用限制較少，視國家可申請執照。
470-694	高	操作頻段較寬，使用限制較少，視國家可申請執照。
694-790	極低	與 700 MHz 頻段通訊設備共享操作頻段，操作頻段窄、操作限制多，容易互相干擾，應盡量避免使用該頻段。
823-826	極低	與 800 MHz 頻段移動服務設備共享操作頻段，操作頻段窄、操作限制多，容易互相干擾，應盡量避免使用該頻段，視國家可申請執照。
826-832		
863-865	中	操作頻段窄，發射功率限制低 (10mW)。
1350-1400	極低	與無線定位設備共享操作頻段，操作限制多，容易互相干擾，應盡量避免使用該頻段，視國家可申請執照。
1492-1518	極低	僅限於室內操作，與行動服務 (IMT) 以及國家領土航空遙測的航空移動服務共享操作頻段，操作限制多，容易互相干擾，應盡量避免使用該頻段，視國家可申請執照。
1518-1525		
1785-1795	中	有特別的發射功率限制與操作頻段規定應遵守，視國家可申請執照。
1795-1800		
1800-1804.8		

從表 9- 23 中可得知若以開放無線麥克風操作頻段的角度，美國以操作頻段 174-216 MHz 和 470-608 MHz 具有較高的推薦度，而歐盟則以操作頻段 174-216 MHz 和 470-694 MHz 具有較高的推薦度，但這都是在尚未考慮我國現有情況所做出之評估，未來本計畫將考量我國目前在該頻段上現有射頻設備使用情形，提出較佳的無線麥克風設備相關修正草案。

第二節　麥克風推薦頻段與我國頻譜使用狀況

由期中報告中可得知無線麥克風設備於各操作頻段之推薦度，詳細內容如表 9- 24 中所示，該推薦度為針對美國與歐盟所制定之技術規範，考量各操作頻段的複雜度、使用情境之限制、頻譜協調管理層面等因素（詳細內容請參閱期中報告），最後彙整出各操作頻段之推薦程度。

值得注意的是，有兩段無線麥克風操作頻段於美國與歐盟的推薦度中為高，該操作頻段分別為：174-216 MHz（美國與歐盟相同）與 470-608 MHz（美國）、470-694 MHz（歐盟），本計畫會優先將開放無線麥克風頻段的目標放在上述頻段，並分別討論我國目前於該頻段的規劃與使用狀況。

一、 174-216 MHz

根據低功率射頻電機技術規範 4.6 節，我國現今無線麥克風設備的操作頻段（如表 9- 24 所示）；若能整合 227.1 - 227.4 MHz、229.4 - 230.0 MHz 與 231.0 - 231.9 MHz 窄操作頻段，再配合預計開放的 174-216 MHz 操作頻段，則將有相當可觀約 45 MHz 的頻寬（主要仍由 174-216 MHz 頻段所貢獻）。

根據交通部所發布的中華民國無線電頻率分配表，於 174-216 MHz 頻段上使用的業務如表 9- 25 中所示，主要業務範圍為提供給數位廣播設備(Digital Audio Broadcasting, DAB)所使用。

我國電信監理單位推廣數位廣播已久，但因各種原因導致推廣困難，根據公共電視策劃部門於 2007 年所發布的數位廣播發展現況分析文件中，有其該時代相關背景說明（以下引用原文）：

2000 年 1 月 14 日，交通部電信總局公告開放數位廣播的試播申請，採 Eureka-147 標準，以 VHF Band III 為試播頻段，分全區 2 張、北區 3 張、中區 2 張、南區 3 張，共發出十張試播執照。當時共 19 家電台，組成十個實驗台，其中九個電台符合試播工程評鑑標準。2005 年，新聞局正式發出 5 張 DAB 數位音訊廣播的籌備執照。2006 年 3 月，NCC 核准發放 DAB 執照給當時亦通過執照籌備審議但因黨政軍爭議而未獲照的中廣，因此共有六家電台獲得籌備執照。然而，

截至目前為止，沒有一家數位廣播電台正式成功開台營運。原本預計於 2007 年第三季開台的台倚數位廣播，因不符合無線廣播電視法中規定的外資限制，因此至今尚未獲得營運許可。

由上述說明則可略為了解數位廣播之背景，根據國家通訊傳播委員會所釋放之廣播電視事業許可家數網頁中，則可由歷史資料得知數位廣播之申請狀況，詳細如表 9-26 中所示，於民國 96 年 2 月時（網站現存最早之資料），可得知第一梯次開放數位廣播電台，有 6 家籌設中，其中 2 家為現有類比廣播電台；於民國 97 年 12 月時，情勢則有了劇烈的轉變：第一梯次開放數位廣播電臺獲准設立 6 家，經本會同意廢止籌設許可 1 家，另 3 家本會辦理廢止中；時至民國 98 年 5 月時，第一梯次開放數位廣播電臺獲准設立 6 家，經本會同意廢止籌設許可 4 家；在同年的隔月，廣播電視事業許可家數上已沒有數位廣播申請的資訊以供參考，該時代背景並非本計畫要討論之重點，若數位廣播在我國無法順利推行，未來也沒有針對數位廣播頻譜有相關規劃，則本計畫建議該頻段（174-216 MHz）未來可開放給無線麥克風設備所使用。

目前我國低功率射頻電機技術規範中，操作於 174-216 MHz 為生物醫學遙測器材，用於傳送人類或動物生理現象測量值，另 3.8.2 節中提及生物醫學遙測器材，限於合法醫療院所內使用，但不得安裝車輛或運輸載具等；生物醫學遙測器材之干擾非本計畫之重點，若國家通訊委員先前考慮開放數位廣播時，有針對生物醫學遙測器材作過評估，則無線麥克風設備開放時，建議亦須作相同之評估。

表 9- 24：我國現今低功率無線麥克風設備之操作頻段

227.1 - 227.4 MHz	229.4 - 230.0 MHz	231.0 - 231.9 MHz	510 - 530 MHz
748 - 758 MHz	803 - 806 MHz	1790 - 1805 MHz	

表 9- 25：中華民國無線電頻率分配表 (174 -235 MHz)

174.0000 - 223.0000 固定（主） 行動（主） 廣播（主）	174.0000 - 216.0000 廣播（主） 固定（次） 行動（次）	210 - 216, 219 - 223 供數位廣播使用 216 - 219 計劃供數位廣播使用 223 - 227 計劃供數位廣播使用 227.1 - 227.4、229.4 - 230、231.0 - 231.9 供低功率無線電麥克風及無線耳機使用
	216.0000 - 223.0000 固定（主） 行動（主）	
223.0000 - 230.0000 固定（主） 行動（主） 廣播（主） 航空無線電助航（主） 無線電定位（次）	223.0000 - 230.0000 固定（主） 行動（主） 廣播（主） 航空無線電助航（主） 無線電定位（次）	
230.0000 - 235.0000 固定（主） 行動（主） 航空無線電助航（主）	230.0000 - 235.0000 固定（主） 行動（主） 航空無線電助航（主）	

表 9- 26：通傳會廣播電視事業許可家數統計（每月統計）

日期	類別	家數	備註
96 年 2 月	無線廣播電台	176 家	1.開放設立前即已存在之電台計 29 家(含中央廣播電台)。 2.前 10 梯次開放設立電台共計 143 家(其中 140 家已取得廣播執照，3 家籌設中)。 3.第一梯次開放數位廣播電台，有 6 家籌設中，其中 2 家為現有類比廣播電台。
97 年 9 月	無線廣播電台	177 家	1.開放設立前即已存在之電臺計 29 家(含中央廣播電台)。 2.前 10 梯次廣播頻率開放獲准設立之電臺共計 143 家（中功率 66 家、小功率 77 家），其中

			141 家電臺已取得廣播執照正式營運，尚有 2 家（小功率）電臺籌設中。 3.第一梯次開放數位廣播電臺，有 5 家籌設中，其中 2 家為現有類比廣播電臺。
97 年 12 月	無線廣播電台	177 家	1.開放設立前即已存在之電臺計 29 家(含中央廣播電台)。 2.前 10 梯次廣播頻率開放獲准設立之電臺共計 143 家（中功率 66 家、小功率 77 家），皆已取得廣播執照正式營運。 3.第一梯次開放數位廣播電臺獲准設立 6 家，經本會同意廢止籌設許可 1 家，另 3 家本會辦理廢止中。
98 年 1 月	無線廣播電台	174 家	1.開放設立前即已存在之電臺計 29 家(含中央廣播電台)。 2.前 10 梯次廣播頻率開放獲准設立之電臺共計 143 家（中功率 66 家、小功率 77 家），皆已取得廣播執照正式營運。 3.第一梯次開放數位廣播電臺獲准設立 6 家，經本會同意廢止籌設許可 4 家。
98 年 5 月	無線廣播電台	174 家	1.開放設立前即已存在之電臺計 29 家(含中央廣播電台)。 2.前 10 梯次廣播頻率開放獲准設立之電臺共計 143 家（中功率 66 家、小功率 77 家），皆已取得廣播執照正式營運。 3.第一梯次開放數位廣播電臺獲准設立 6 家，經本會同意廢止籌設許可 4 家。
98 年 6 月	無線廣播電台	172 家	1.開放設立前即已存在之電臺計 29 家(含中央廣播電台)。 2.前 10 梯次廣播頻率開放獲准設立之電臺共計 143 家（中功率 66 家、小功率 77 家），皆已取得廣播執照正式營運。

二、 470-608 MHz（歐盟為 470-694 MHz）

470 - 608 MHz 是本計畫另一個推薦給無線麥克風設備使用的頻段，可以注意到歐盟在該頻段開放至 694 MHz，但應考慮美國已將 614 - 663 MHz 拍賣給 600 MHz 頻段的通訊設備使用（無線麥克風設備仍可根據執照的有無，操作在 600 MHz 頻段的護衛頻段與 Duplex Band，但操作頻段窄、容易對通訊設備造成干擾、操作情境限制多等因素，該 600 MHz 頻段在表 9- 24 中列為推薦度極低，詳細說明應

參閱期中報告之說明），除此之外，美國禁止無線麥克風操作於 700 MHz，因此本計畫要推薦與討論的操作頻段為 470 - 608 MHz。

根據交通部所發布的中華民國無線電頻率分配表，於 470-610 MHz 操作頻段上的主要業務如表 9- 27 中所示，關於表 9- 28 中之說明應參閱交通部 103 年 7 月 31 日交郵字第 1030024010 號電子公文，該電子公文為交通部發文給國家通訊委員會針對該頻段之業務說明，需注意該前提為考慮到無線麥克風對該頻段現有射頻設備之干擾。

根據該份電子公文之討論與本計畫相關建議如下：

(一) 470 - 485 MHz 頻段，已供機場地勤單位使用，若開放供低功率無線麥克風使用，恐造成電視台於機場採訪時，其無線麥克風設備與地勤單位之無線對講機之干擾。

如上述業務說明，為了避免釀成重大飛安意外，本計畫建議 470 - 485 MHz 不應該開放給無線麥克風設備使用。

(二) 485 - 530 MHz 頻段，本頻段已指配供警、消、計程車業者及政府等單位專用電信使用，尚有部分空餘頻道可供低功率無線麥克風使用。

如上述業務說明，目前我國無線麥克風設備可操作於 510 - 530 MHz 頻段，剩餘 485 - 510 MHz 操作頻段可參閱表 9- 27 中所示，其中警察與消防之救難通訊重要性不可言喻，本計畫建議該頻段應維持目前業務之使用。

(三) 530 - 608 MHz 頻段，本頻段供數位無線電視使用，目前已核發六張執照，惟其餘頻道通傳會已納為第二階段數位無線電視釋照及其他規畫使用，無空餘頻道可供低功率無線麥克風使用。

如上述業務說明，該頻段雖已供數位無線電視業務使用，但國際上無線麥克風設備部分的操作頻段則是使用電視業務之頻譜，詳細說明可參閱期中報告，是以美國與歐盟的無線麥克風設備可操作於 470 - 608 MHz，其餘頻道之規劃與無線麥克風的操作頻段之開放，國家通訊委員會則可斟酌後開放，本計畫建議該頻段可在無線麥克

風有前提的操作使用下，降低減少對數位電視的干擾，進而開放無線麥克風的操作頻段。

無線麥克風於該頻段操作時，應具備何種前提以避免對數位電視造成干擾，本計畫將於接下來的干擾實驗中會逐步說明，並呈現相關量測數據以供國家通訊委員會參考。

（四）608 - 698 MHz 頻段：此頻段目前已有美國規劃供行動寬頻（即 4G）業務使用，我國將視美國處理結果及國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)後續開放，極可能規畫以供行動寬頻業務使用，故目前不宜開放。

如上述業務說明，本計畫先前同樣針對該點已說明，詳細可參閱期中報告，本計畫建議在該頻段不應開放無線麥克風之操作頻段。

表 9- 27：中華民國無線電頻率分配表 (470-610 MHz)

470.0000 - 585.0000 固定（主） 行動（主） 廣播（主）	470.0000 - 585.0000 固定（主） 行動（主） 廣播（主）	480.050 - 480.400 供 0.01W 以下工業用無線電遙控器（低功率射頻電機）使用 470 - 530 供固定及行動業務使用 506.49375 - 507.11875, 522.99375 - 523.61875 供計程車專用無線電業務使用 507.45 - 509.9375, 523.95 - 526.4375 原使用之中繼式無線電話業務已終止，暫予保留 485-530 供低功率無線電麥克風及無線耳機於禁用警、消頻道及不得干擾合法通信且須忍受合法通信干擾之條件下使用
585.0000 - 610.0000 固定（主） 行動（主） 廣播（主） 無線電助航（主）	585.0000 - 610.0000 固定（主） 行動（主） 廣播（主） 無線電助航（主）	530 - 596 供數位電視廣播業務使用 596 - 608 供數位電視使用

三、 特殊頻段之說明 (803 MHz)

根據交通部於 107 年 7 月 16 日所公告之無線電頻率分配表，其主旨為修正中華民國無線電頻率分配表，詳細內容如表 9- 28 中所示，值得注意的是以下頻段之修正：

748-758、794-806 供低功率無線電麥克風及無線耳機於不得干擾行動寬頻業務且須忍受行動寬頻業務干擾之條件下使用

對照目前我國低功率射頻電機無線麥克風操作頻率表（如表 9-24 中所示），則可得知交通部增加了 794-803 MHz 操作頻段給無線麥克風設備使用，而國家通訊傳播委員會尚未將該頻段納入並修正低功率射頻電機技術規範。考慮行動寬頻業務終端設備技術規範(PLMN10)中 2.1 小節中之說明：

分頻雙工：

700 MHz 頻段(上行 703 MHz～748 MHz；下行 758 MHz～803 MHz)、

900 MHz 頻段(上行 885 MHz～915 MHz；下行 930 MHz～960 MHz）、

1800 MHz 頻段(上行 1710 MHz～1770 MHz；下行 1805 MHz～1865 MHz)。

由上述引用法源之說明，可得知若無線麥克風設備操作在交通部所增列的頻段上，會對目前我國的行動寬頻業務終端設備之下行頻段造成干擾，若國家通訊委員會未來要增列該無線麥克風操作頻段，則需考慮與行動寬頻業務終端之干擾問題，並設定其並存使用之情境與各項限制值參數。

而現階段行動寬頻業務終端設備是否可繼續操作在 794-803 MHz，則視我國電信監理機關之未來規畫與協調，非本計畫之討論重點。

表 9- 28：中華民國無線電頻率分配表部分修正內容 (MHz)

ITU 無線電規則	中華民國規定	
第三區域	頻段業務分配	備註
610.0000 - 890.0000 固定（主） 行動（主） 廣播（主）	610.0000 - 890.0000 固定（主） 行動（主） 廣播（主）	703-803 供行動寬頻業務使用 790-960 WRC-07 決議可供 IMT 使用 748-758、794-806 供低功率無線電麥克風及無線耳機於不得干擾行動寬頻業務且須忍受行動寬頻業務干擾之條件下使用 825-845, 870-890 供第三代行動通信業務使用，期限至 107 年 12 月 839-847 供民生公用事業之智慧型讀表系統使用

四、 結論

根據上述無線麥克風推薦頻段與我國頻譜使用狀況之討論，建議國家通訊委員會可考慮我國數位廣播之發展現況，開放或部分開放 174-216 MHz 頻段，並視情況整合低功率射頻技術規範中現有操作頻段(227.1 - 227.4 MHz、229.4 - 230.0 MHz 與 231.0 - 231.9 MHz)，最多可擴展約 45 MHz 的操作頻段專屬分配給無線麥克風設備使用；另本計畫針對數位電視的 530 - 608 MHz 操作頻段，於接下來的章節中提出了無線麥克風干擾實驗，該實驗主要研究為於何種使用情境與限制值參數的前提下，無線麥克風與數位電視可共存使用於現有的頻譜中，國家通訊委員會可考慮與參考本計畫所提出之實驗結論，進而開放或部分開放頻段未來讓無線麥克風設備使用。

第三節　數位增強無線通訊、白頻段設備之頻譜感測技術規範

由期中報告中可得知無線麥克風設備的技術規範，歐盟各國主要遵守 EN 300 422 技術文件，而美國主要遵守 FCC Part 74 Subpart H（具有執照）與 47 CFR 15.236（免執照）；值得注意的是，上述主要麥克風設備技術規範中並未提及頻譜感測(Spectrum Sensing)或先聽後送(Listen Before Talk)等相關技術，主要原因應為於實務上無線麥克風設備是 Live 即時放送，當遇到射頻干擾時已經造成無法回復的訊號失真，是以美國與歐盟防止無線麥克風設備干擾的手段均為：使用執照的有無、地理位置與登錄白頻段資料庫取得該地區專屬頻道與時段使用，以上三種方式在期中報告中均有詳細的討論。無論如何，研究團隊仍有一些可參考的頻譜感測技術可參考，分別是白頻段設備的技術規範與數位增強無線通訊的技術規範；特別需要注意的是，本計畫的無線麥克風干擾結論中，提及無線麥克風設備操作於 530-608 MHz 頻段必須具有頻譜感測技術。

一、 白頻段設備感測技術規範

免執照的白頻段設備操作在 470-608 MHz，與本報告中預計開放的無線麥克風頻段一致，同時主要也是電視設備的操作頻段；免執照白頻段設備在頻譜上使用的優先度是低於電視設備與無線麥克風設備，為了防止干擾其他射頻產品，因而制定了白頻段設備之頻譜感測技術規範；若無線麥克風設備參考以下頻譜感測的技術，主要可發揮在防止干擾電視設備或其他同頻射頻產品，若將頻譜感測技術應用在防止無線麥克風被干擾則效果可能有限。

根據 47 CFR 15.717[338] (White space devices that rely on spectrum sensing) 中所述，白頻段設備的頻譜感測的相關技術必須遵守以下規範。

1. 探測訊號之臨界值：
   (1) 所需的探測訊號之臨界值如下: (a) 進階電視系統委員會標準之數位電視訊號 (ATSC Digital TV Signals)：−114 dBm, 6 MHz 頻寬的平均功率；(b) 美國國家電視系統之類比電視訊號 (NTSC Analog TV Signals)：−114 dBm, 100 KHz 頻寬的平均功率；(c) 低功率輔助設備（含無線麥克風訊號）：−107 dBm, 200 KHz 頻寬的平均功率。
   (2) 量測檢測臨界值所使用的參考天驗為增益為 0 dBi 的全向性接收天線。如果使用最小方向增益小於 0 dBi 的接收天線，則檢測臨界值應等量減少 dB 值。最小方向增益應定義為在該操作頻率上具有最小增益的方向的天線增益。允許用於感測天線的替代方法，例如，電子可旋轉天線，條件是設備授權的申請人可以證明其感測天線具有與 0 dBi 增益的全向性天線相同性能。
2. 頻道可用性檢查時間：如果在 30 秒的最小時間間隔內沒有檢測到高於檢測閾值的電視訊號、無線麥克風訊號或其他低功率輔助設備訊號，則白頻段設備可以開始在數位電視頻段上操作。
3. 線上監測 (in-service monitoring)：白頻段設備必須執行線上監測，並且至少每 60 秒就必須做一次線上監測；另外線上監測沒有最小檢查時間。

---

47 CFR 15.717 - White space devices that rely on spectrum sensing https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=3437b1ccb4bfc915385716218f45f73c&mc=true&node=sp47.1.15.h&rgn=div6#se47.1.15_1717

4. 頻道移動時間：在白空間設備操作信道上檢測到電視訊號、無線麥克風或其他低功率輔助設備訊號之後，白頻段設備的所有傳輸必須在兩秒內停止。

二、 數位增強無線通訊技術規範

數位增強無線通訊設備(Digital Enhanced Cordless Telecommunications, DECT)無線麥克風的技術規範可依據 FCC 針對 UPCS (Unlicensed Personal Communications Service Devices, UPCS) 操作頻段(1920-1930 MHz)所制定的相關技術規範 47 CFR Part 15 Subpart D[339]。

1. [Reserved]
2. 所有的傳輸都必須只能使用數位調變技術(Digital Modulation Techniques)，非同步(Asynchronous)和同步傳輸(Isochronous)所允許的操作頻段為 1920-1930 MHz。
3. 於任何連續傳輸發射區間內(Interval of Continuous Transmission)進行量測，峰值發射功率(Peak Transmit Power)不得超過 100 微瓦(mW)乘上發射頻寬(Emission Bandwidth)的開平方根（以赫茲 Hz 為單位），並且必須使用均方根等效電壓(RMS-equivalent Voltage)校準的量測儀器。量測結果必須因應儀器限制而做適當調整；如二極體的響應時間(Detector Response Times)、不同的發射頻寬(Emission Bandwidth)，必須對應合適的解析頻寬(Resolution Bandwidth)與量測儀器靈敏度(Sensitivity)等，以利量測該頻道中真實的峰值發射功率值與發射頻寬。
4. 使用頻譜分析儀以 3 kHz 作為解析頻寬，並在任何 3 kHz 的量測頻寬中，功率頻譜密度(Power Spectral Density)不得超過 3 毫瓦(uW)。

339 47 CFR Part 15 Subpart D - Unlicensed Personal Communications Service Devices. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/part-15/subpart-D

5. 當天線的最大方向性增益(Maximum Directional Gain)超過 3 dBi 時，峰值發射功率(Peak Transmit Power)需以 dB 為單位等量減少。
6. 設備在缺乏資訊時發射或運作失敗以後應自動改為非連續性的傳輸。當然這個部分不包含特定數位技術為了完備訊框或脈衝周期時所採用的控制信令或重複碼。
7. 儘管本節規定了其他相關技術規範，但不必要發射需衰減以低於 15.209 節中所規定之一般發射限制值。但衰減低於 15.209 節之一般發射限制值的不必要發射是不需要的。
8. 當轉換點有著不同的限制值時，應使用較嚴格者。
9. 免執照個人通訊服務設備(Unlicensed Personal Communications Services, PCS)之電磁暴露量應遵守下列章節：47 CFR 1.1307(b)、2.1091 以及 2.1093，而上述章節內容已被引用並制定於我國低功率射頻技術規範 5.20 小節中。免執照個人通訊服務設備必須遵守一般人/不可控制之暴露限制值，並根據該設備之操作距離與使用情境，其發射機距離人體 20 公分以內者，需遵守電磁波能量吸收率(Specific Absorption Rate, SAR)，而發射機距離人體 20 公分以上者，必須遵守最大暴露允許值(Maximum Permissible Exposure, MPE)。

1. 操作頻段應於 1920-1930 MHz 頻段內，發射頻寬必須小於 2.5 MHz，該設備發射功率必須遵守 15.319 (第 3 點)中之規定，在任何情況下，發射頻寬均不得低於 50 kHz。
2. [Reserved]
3. 該設備必須具備一種機制，用於監控傳輸所佔用的時間和頻譜窗口。該機制功能必須滿足下列條件：
   (1) 當設備預期在訊框週期為 10ms 或更小者發射至少 10ms 時，在即將開始傳輸之前，設備必須監測時域與頻域，對於在 20ms 訊框週期系統下發射超過 20ms 時亦同。
   (2) 監視頻寬與設備所使用的發射頻寬相同，其監控的臨界值(Monitoring Threshold)不得高於熱雜訊功率(Thermal Noise Power)30 dB 以上。

(3) 如果沒有檢測到高於臨界水平的信號，則可以開始以相同的發射頻寬持續傳輸，且無需進一步監測時域和頻域。然而，在不重複執行訪問標準(Access Criteria)的情況下，由單一設備或多個協作設備(Cooperating Devices)連續佔用相同的組合時域和頻域，其時間不允許超過 8 小時。

(4) 一旦獲得對特定組合之時域和頻域的訪問權，新加入的發射機(Initiating Transmitter) 必須在一秒內接收來自系統參與者(System Participant)的確認或是必須停止傳輸。而且必須至少每 30 秒收到一次定期確認，否則必須停止傳輸。專門用於控制和信令信息的通道可以連續發送 30 秒而不必收到確認，此時必須重複執行訪問標準。

(5) 如果系統已經定義了至少 20 個雙工系統進接通道(Duplex System Access Channels)，並且透過上述方式仍無法訪問頻譜，則可以訪問具有最低功率位準的時間和頻譜窗口。使用本節規定的設備，必須在最近 10 秒內，監控系統定義的所有通道，並且必須在實際通道進接之前的 20 毫秒內（若為設計使用 20 毫秒訊框週期的設備則為 40 毫秒）進行驗證，確認時間和頻譜窗口的檢測功率不高於先前檢測到的功率值。該檢測功率之量測解析度，必須精確到 6 dB 以內。於任何訊框週期內，位於一公尺範圍內的任何設備或協作設備組不得佔用超過 6 MHz 的總帶寬，或是超過三分之一系統定義的時間和頻譜窗口。

(6) 如果所選擇的組合時間和頻譜窗口不可用，則設備可以監視並選擇不同的窗口，或者再從 10 到 150 毫秒間的均勻隨機分佈中隨機選擇等待時間後，若通道已淨空，便可尋求使用相同的窗口。

(7) 監測系統頻寬(Monitoring System Bandwidth)必須等於或大於預期傳輸的發射頻寬，且對於處在適用臨界(Threshold Level)值的信號，其最大反應時間(Maximum Reaction Time)應小於 50x（1.25/發射頻寬，以 MHz 為單位）0.5 微秒，但不應低

於 50 微秒。如果檢測到的信號比適用臨界水平高 6 dB 或更多，則最大反應時間應為 35x（1.25/發射頻寬，以 MHz 為單位）0.5 微秒，但不得低於 35 微秒。

(8) 監測系統應使用與傳輸相同的天線，或在該地點使用可產生等效接收(Equivalent Reception)性能的天線

(9) 功率輸出低於允許最大功率之設備，每低於發射功率允許值 1 dB，則可能需要等量增加 1 dB 的監視檢測臨界值。

(10) 新加入的設備(Initiating Device)可以通過監視其預期的發射和接收時間以及頻譜窗口來嘗試建立雙工連接。如果滿足訪問標準，則新加入的設備可以在預期的發送時間和頻譜窗口中發起傳輸。如果響應設備(Responding Device)檢測到的功率可以解碼出新加入設備的雙工連接信號，則響應設備可以立即開始在新加入設備所監測的時域和頻域上進行發送。

(11) 為了避免新加入設備在他預期發射的窗口因監視系統的關係被同區域(在一公尺範圍內)、同系統之其他發射機所阻止，可以在至少 10 毫秒的時間內，監視該設備意圖接收的時間和頻譜窗口。被監視的時間和頻譜窗口必須至少佔 10 毫秒訊框間隔(Frame Interval)的 50%，並且被監視的頻譜必須在該設備或共址協作(Co-located, Co-operating)設備已經佔用頻道且距中心頻率 1.25 MHz 內。如果在上述條件下滿足預期接收時間和頻譜窗口的訪問標準，則可以開始由發起設備在預期發送窗口中的傳輸。

(12) 本節(第 3 點)(10)或(第 3 點)(11)的規定不得用於擴大延展在空間或時間上佔用的頻譜範圍，以阻止對其他設備的頻譜公平接入。

4. 帶外輻射(Emissions Outside the Band)應衰減至低於 112 毫瓦的參考功率，詳細如下所示：落於距離操作頻段上緣和下緣 1.25 MHz 內應衰減 30 dB；距離操作頻段 1.25 MHz 和 2.5 MHz 之間的帶外發射應衰減 50 dB；距離操作頻段 2.5 MHz 或更高時帶外發射應衰減 60 dB。操作頻帶內的發射(In Band)必須符合以下遮罩標準：

以發射頻段中心所量測 1B 和 2B 之間的頻段中，設備發射總功率(Total Power Emitted)應至少比該設備允許的發射功率低 30 dB；從發射頻段中心所量測的 2B 和 3B 之間的頻段中，發射的總功率應至少比允許的發射功率低 50 dB；在 3B 至頻帶邊緣之間的頻段中，所量測的發射總功率應至少比允許的發射功率低 60 dB。上述 B 定義為設備的發射頻寬，單位為赫茲。儀器量測發射限制值之依據是採用峰值檢測器功能(Peak Detector Function)，儀器解析頻寬設定約為設備之發射頻寬的 1.0%。

5. 操作在該頻段的意圖輻射器之訊框週期（一組連序時段，其中每個時段的位置可透過參考同步源而辨識）應為 20 毫秒/X 或 10 毫秒/X，其中 X 為正整數。為了在給定頻率載波上維持雙工連接(Duplex Connection)而執行分時多工(Time Division)的每一個設備，應保持訊框重複率(Frame Repetition Rate)，其頻率穩定性至少為百萬分之 50 (ppm)。為了支持給定頻率載波上的多個通信鏈路(Multiple Communication Links)而進一步分配接入時段(Further Divides Access in Time)的每一個設備應保持訊框重複率，其頻率穩定性至少為 10 ppm。對任何雙連序傳輸(Two Consecutive Transmissions)，於通信鏈路兩端導入的抖動（在訊框間隔持續期間與時間相關的、突發、雜訊變化）不應超過 25 微秒。於設備的訊框週期，每段時間和頻譜窗口中傳輸應為連續的。
6. 意圖輻射器(Intentional Radiator)載波頻率的頻率穩定性(Frequency Stability)應在 1 小時內或在通道接入監視的間隔(Interval Between Channel Access monitoring)內保持在±10 ppm 的範圍內，以時間較短者為主。在正常電源電壓下，在-20°至+ 50°C 的溫度變化範圍內，頻率穩定性必須能維持。並且在 20°C 的溫度下，主電源電壓的變化應保持在額定電壓的 85%至 115%之間。對於只能使用電池供電的設備，頻率穩定性測試應使用新電池進行，無需進一步改變電源電壓。

第四節　麥克風設備干擾實驗

由上述章節，關於麥克風推薦頻段與我國頻譜使用狀況的結論中，可以得知本計畫針對該推薦的 530 - 608 MHz 操作頻段，設計並提出無線麥克風之干擾實驗，為秉持該干擾實驗的公正性，所提出之實驗架構會依據國際上相關的技術規範執行量測。

首先必須瞭解於 530 - 608 MHz 操作頻段中，現存最普遍於台灣社會日常生活中的射頻設備是數位電視，若無線麥克風設備未來開放操作在該頻段時，是否會造成對數位電視設備的干擾？或是在何種的情境限制下，無線麥克風設備和數位電視可以並存於同頻譜中。上述問題是主要必須達成的實驗目的。

在進行實際量測之前，有數項實驗概念與架構、Pre-test 數據與參數設定必須先討論：

一、 無線麥克風設備所支援之操作頻段

為確實了解與評估訊號干擾之程度，本計畫執行至今，已與國內麥克風大廠嘉強電子(MIPRO)取得聯繫，經過數次的溝通與討論，擬調用其類比式與數位式的無線麥克風設備，相關設備如圖 9- 10 中所示，未來將使用這些麥克風設備進行干擾實驗。



(a)數位式麥克風(ACT-828)	(b)類比式麥克風(ACT-72)

圖 9- 10：國內廠商嘉強電子(MIPRO)之無線麥克風設備

因應本計畫所需，嘉強電子協助修正該無線麥克風設備之發射頻段，其出廠操作頻段表如表 9- 29 中所示，主要可涵蓋現有數位電視頻段 554 - 626 MHz，透過無線麥克風設備本身的設定與調整，可以將發射頻道調整至上述支援頻段中的任意頻率點上。而受限於現

有麥克風設備之技術上困難，在短時間內義務開發超寬頻段的無線麥克風設備不切實際，是以低頻段並未支援至 530 MHz 或更低的操作頻段，是以本干擾實驗將著重於 554 - 626 MHz 的電視頻道，其干擾實驗的結果也可同理對應至 530 - 554 MHz 的電視頻道。

根據台灣數位電視協會官方網站上之數位電視頻道列表（如表 9- 30 中所示），於無線麥克風設備所支援頻段(554 - 626 MHz)上的數位電視頻道包含：民視、台視與華視，上述三個數位電視台為本計畫所提出干擾實驗的主要受測頻道。

表 9- 29：嘉強電子無線麥克風設備之發射頻段

5UB（554~626MHz）

Group / Channel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	554.275	554.525	554.775	555.025	555.275	555.525	555.775	556.025	554.925	555.575	554.050	554.125	554.200	554.275	554.350	***.***
2	554.775	555.025	555.275	555.525	555.775	556.025	556.275	556.525	555.425	556.075	554.575	554.650	554.725	554.800	554.875	***.***
3	556.425	556.675	556.925	557.175	557.425	557.675	557.925	558.175	557.075	557.725	556.150	556.225	556.300	556.375	556.450	***.***
4	560.200	560.450	560.700	560.950	561.200	561.450	561.700	561.950	560.850	561.500	556.550	556.625	556.700	556.775	556.850	***.***
5	564.700	564.950	565.200	565.450	565.700	565.950	566.200	566.450	565.350	566.000	557.300	557.375	557.450	557.525	557.600	***.***
6	570.325	570.575	570.825	571.075	571.325	571.575	571.825	572.075	570.975	571.625	558.750	558.825	558.900	558.975	559.050	***.***
7	572.675	572.925	573.175	573.425	573.675	573.925	574.175	574.425	573.325	573.975	559.725	559.800	559.875	559.950	560.025	***.***
8	579.700	579.950	580.200	580.450	580.700	580.950	581.200	581.450	580.350	581.000	562.600	562.675	562.750	562.825	562.900	***.***
9	593.300	593.550	593.800	594.050	594.300	594.550	594.800	595.050	593.950	594.600	563.700	563.775	563.850	563.925	564.000	***.***
10	602.550	604.375	603.850	602.175	603.475	604.075	603.775	607.025	602.075	603.825	564.150	564.225	564.300	564.375	564.450	***.***
11	614.450	614.700	614.950	615.200	615.450	615.700	615.950	616.200	615.100	615.750	565.175	565.250	565.325	565.400	565.475	***.***
12	615.400	615.650	615.900	616.150	616.400	616.650	616.900	617.150	616.050	616.700	567.100	567.175	567.250	567.325	567.400	***.***
13	618.025	618.275	618.525	618.775	619.025	619.275	619.525	619.775	618.675	619.325	568.150	568.225	568.300	568.375	568.450	***.***
14	622.225	622.475	622.725	622.975	623.225	623.475	623.725	623.975	622.875	623.525	569.850	569.925	570.000	570.075	570.150	***.***
15	622.975	623.225	623.475	623.725	623.975	624.225	624.475	624.725	623.625	624.275	578.625	578.700	578.775	578.850	578.925	***.***
16	624.175	624.425	624.675	624.925	625.175	625.425	625.675	625.925	624.825	625.475	581.150	581.225	581.300	581.375	581.450	***.***
17											581.750	581.825	581.900	581.975	582.050	
18											582.700	582.775	582.850	582.925	583.000	
19											583.450	583.525	583.600	583.675	583.750	
20											583.900	583.975	584.050	584.125	584.200	
21											585.550	585.625	585.700	585.775	585.850	
22											586.325	586.400	586.475	586.550	586.625	
23											588.075	588.150	588.225	588.300	588.375	
24											588.500	588.575	588.650	588.725	588.800	
25											590.375	590.450	590.525	590.600	590.675	
26											591.750	591.825	591.900	591.975	592.050	
27											595.725	595.800	595.875	595.950	596.025	
28											596.450	596.525	596.600	596.675	596.750	
29											597.725	597.800	597.875	597.950	598.025	
30											598.400	598.475	598.550	598.625	598.700	
31											599.350	599.425	599.500	599.575	599.650	
32											601.475	601.550	601.625	601.700	601.775	
33											604.025	604.100	604.175	604.250	604.325	
34											608.925	609.000	609.075	609.150	609.225	
35											609.375	609.450	609.525	609.600	609.675	
36											612.125	612.200	612.275	612.350	612.425	
37											612.925	613.000	613.075	613.150	613.225	
38											614.225	614.300	614.375	614.450	614.525	
39											615.075	615.150	615.225	615.300	615.375	
40											616.700	616.775	616.850	616.925	617.000	
41											617.700	617.775	617.850	617.925	618.000	
42											621.550	621.625	621.700	621.775	621.850	
43											622.150	622.225	622.300	622.375	622.450	
44											623.075	623.150	623.225	623.300	623.375	
45											623.725	623.800	623.875	623.950	624.025	
46											623.975	624.050	624.125	624.200	624.275	
47											625.100	625.175	625.250	625.325	625.400	
48											625.650	625.725	625.800	625.875	625.950	

表 9- 30：台灣數位電視協會官方網站上之數位電視頻道列表[340]

電視台	頻道名稱	畫質	頻道	對照頻率 (MHZ)
中視	中視數位台	標準畫質	CH24	530-536
	中視新聞台	標準畫質		
	中視綜藝台	標準畫質		
	中視 HD 台	高畫質		
公視	公共電視台	標準畫質	CH26	542-548
	公視 2 台	標準畫質		
	客家電視	標準畫質		
	公視 HD	Full HD	CH30	566-572
民視	民視綜合台	標準畫質	CH28	554-560
	民視交通台	標準畫質		
	民視新聞台	標準畫質		
	民視四季台	高畫質		
台視	臺灣電視台	高畫質	CH32	578-584
	台視新聞台	標準畫質		
	台視財經台	標準畫質		
	台視綜合台	標準畫質		
華視	華視主頻道	標準畫質	CH34	590-596
	華視教育文化頻道	標準畫質		
	華視新聞資訊台	標準畫質		
	華視 HD 頻道	高畫質		

二、 目前我國傳播數位電視的訊號格式與參數

為瞭解目前我國傳播數位電視的訊號格式，以利於干擾實驗中重現實際使用情境，本計畫使用羅德史瓦茲的手持式電視訊號分析儀進行實際接收量測(ROHDE & SCHWARZ ETH HANDHELD TV ANALYZER - 3.6 GHz)，其相關詳細訊號格式與參數如表 9- 31 至表 9- 33 中所示。

[340]社團法人台灣數位電視協會官方網站之中華民國數位電視頻段
http://www.dtvc.org.tw/View_01.html

表 9- 31：目前我國傳播數位電視的訊號格式與參數－民視

民視	
RF	**557 MHz**
Channel / Band	28 / UHF 26
Channel Table	DTV_tw2
Gain Control / RF Attenuation	Manual RF Attenuator / 0 dB
OFDM Bw / Channel Bw	5.7053571 MHz / 6 MHz
FFT	8K
Guard Interval	1/4
Constellation	QAM64 NH
Code Rate High Priority	2/3
Code Rate Low Priority	2/3
Cell ID	0x0000
TPS-reserved (frame 1 to 4)	0x0, 0x0, 0x0, 0x0
Interleaver	Native
MPE-FEC High Priority	Off
MPE-FEC Low Priority	Off
Time Slicing High Priority	Off
Time Slicing Low Priority	Off
Length Indicator	0x17

表 9- 32：目前我國傳播數位電視的訊號格式與參數－台視

台視	
RF	**581 MHz**
Channel / Band	UHF 26
Channel Table	DTV_tw2
Gain Control / RF Attenuation	Manual RF Attenuator / 0 dB
OFDM Bw / Channel Bw	5.7053571 MHz / 6 MHz
FFT	8K
Guard Interval	1/4
Constellation	QAM64 NH
Code Rate High Priority	2/3
Code Rate Low Priority	2/3
Cell ID	0x0000
TPS-reserved (frame 1 to 4)	0x0, 0x0, 0x0, 0x0
Interleaver	Native
MPE-FEC High Priority	Off
MPE-FEC Low Priority	Off
Time Slicing High Priority	Off
Time Slicing Low Priority	Off
Length Indicator	0x17

表 9- 33：目前我國傳播數位電視的訊號格式與參數－華視

華視	
RF	**593 MHz**
Channel / Band	UHF 34
Channel Table	DTV_tw2
Gain Control / RF Attenuation	Manual RF Attenuator / 0 dB
OFDM Bw / Channel Bw	5.7053571 MHz / 6 MHz
FFT	8K
Guard Interval	1/4
Constellation	QAM64 NH
Code Rate High Priority	2/3
Code Rate Low Priority	2/3
Cell ID	0x0000
TPS-reserved (frame 1 to 4)	0x0, 0x0, 0x0, 0x0
Interleaver	Native
MPE-FEC High Priority	Off
MPE-FEC Low Priority	Off
Time Slicing High Priority	Off
Time Slicing Low Priority	Off
Length Indicator	0x17

三、 干擾實驗之概念說明

國家頻譜的分配直接影響著產業的利益，本計畫秉持專業公正之立場進而提出干擾實驗之概念；無線麥克風設備於我國低功率射頻電機技術規範中，已有明確的發射相關參數之規定，在符合技術規範的前提下，將無線麥克風設備逐漸靠近數位電視設備時，因麥克風發射電場強度相對增加將導致數位電視訊號被干擾之程度也逐漸上升，其干擾程度必須有其限制值上限，其限制值上限則取決於電視設備之電磁耐受性而定，當電視設備的電磁耐受性越高，可忍受無線麥克風設備使用而不被干擾的距離就越近，詳細如圖 9- 11 中所示；而如先前所述，無線麥克風設備仍需遵守我國低功率射頻電機技術規範，是以來自無線麥克風設備的電波最大干擾值仍應小於或等於低功率射頻技術規範 4.6 節中之最大發射功率限制值。

在國際上針對電視設備有完善的電磁耐受性技術規範，是以本計畫將以電視設備的電磁耐受性為基準，設定出無線麥克風設備的推薦使用距離，而關於電視設備的電磁耐受性，在接下來的章節中會詳細說明。

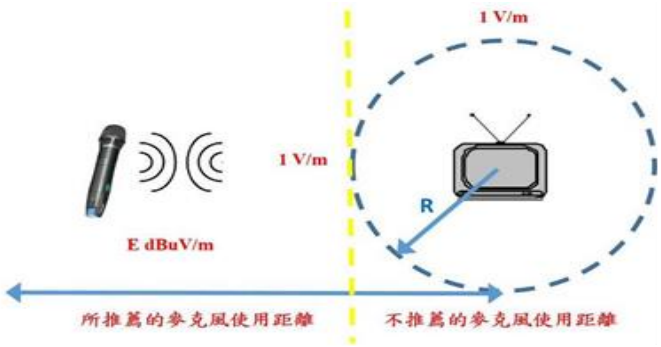


圖 9- 11：無線麥克風干擾實驗之概念說明圖

四、　干擾實驗情境一：同軸纜線（無接收天線）

當無線麥克風設備在數位電視周遭使用時，電視設備是透過同軸纜線接受訊號，接收天線可能在極遠處（如：建築物的屋頂），或可能無接收天線（透過大樓管理所分配之纜線），在此種情況下，無線麥克風設備的輻射電場會透過纜線、轉接頭、訊號分配器等干擾電視設備，在此實際場域中，研究團隊將於電視設備周邊操作無線麥克風設備，並循序接近電視設備與周遭轉接頭、纜線等相關設備，實驗過程均詳細記錄並嚴格評估該電視設備的基頻訊號，評估標準將依據我國有線廣播電視終端設備技術規範。除此之外，該電視設備必須依循 IEC 61000-4-3、CNS 14409 和 CNS 14676-3 等技術規範，在無線麥克風設備的操作頻段上達到輻射耐受≧1 V/m。

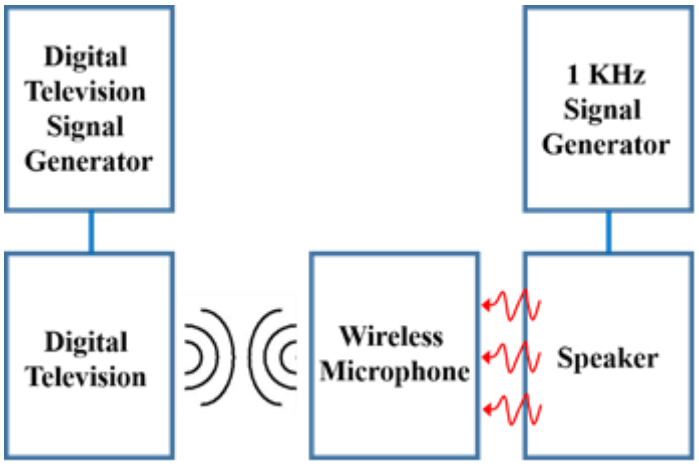


圖 9- 12：數位電視使用同軸電纜傳輸數位電視訊號之干擾實驗設置

實驗設置如圖 9- 12 中所示，根據低功率射頻電機技術規範 5.16.1 節，無線麥克風的音源必須是 1000 Hz 之正弦波；在本干擾實驗中設置一台 1 KHz 的訊號產生器，輸出 1 KHz 透過 3.5 mm 音源線傳遞給喇叭(Speaker)，喇叭的輸出音量為最大，意在使無線麥克風設備的聲音輸入達到飽和。

無線麥克風可藉由接收機調整頻率與通道，經由紅外線感應後，無線麥克風為持續發射狀態，此時接收機可關閉；本實驗中所設置之數位電視訊號產生器為 DekTec 公司所開發的 DTU-315，該設備可透過軟體控制輸出功率，需注意其輸出功率必須校正，其校正設置圖如圖 9- 13 中所示，校正儀器為羅德史瓦茲(Rohde & Schwarz)的 NRVS 75 ohm Power Meter，校正數據如表 35 中所示，並由表中可得知輸出功率約有 3.6~3.8 dB 的損耗，該損耗於實驗中可藉由軟體的等量調整來補償。

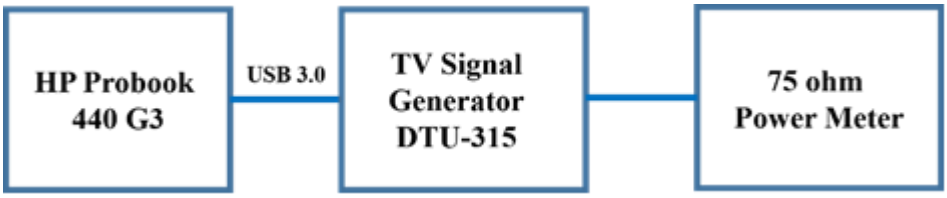


圖 9- 13 DekTec DTU-315 電視訊號產生器校正設置圖

表 9- 34：DekTec DTU-315 電視訊號產生器輸出功率之補償校正值

	Frequency	Power Meter	Loss
RF Television Signal Level in the Control Software = - 40 dBm	557 MHz	-43.63 dBm	3.63 dB
	581 MHz	-43.77 dBm	3.77 dB
	593 MHz	-43.85 dBm	3.85 dB

根據 CNS-14972_地面數位電視接收機技術規範中 4.2 節數位電視機之射頻輸入動態範圍(感度 RF sensitivity 及最小飽和點)要求：4.2.2 數位電視接收機內含之每一個接收頻道，都須能正確接收−76 dBm 之射頻輸入信號。由於 DTU-315 電視訊號產生器最低輸出功率為 -45 dBm，因此需外加 3 個 10 dB 之標準衰減器，輸出功率可設定為 -42.5 dBm。 (For example 557 MHz: -76 dBm + 30 dB（外部衰減器）+ 3.63（修正值） = -42.37 dB)

表 9- 35：DekTec DTU-315 電視訊號產生器輸出功率設定值

RF Television Signal Level in the Control Software = - 40 dBm	Frequency	(+) Loss	(+) 外部衰減器	輸出校正值
	557 MHz	3.63 dB	30 dB	-42.37 dB
	581 MHz	3.77 dB	30 dB	-42.23 dB
	593 MHz	3.85 dB	30 dB	-42.15 dB

(一) 數位電視設備之電磁耐受性討論

依據先前論述，來自無線麥克風設備的干擾限制值應有上限，而其上限則取決於數位電視設備的電磁耐受性。根據我國有線廣播電視終端設備技術規範中 5.10.1.11 電磁耐受性(Electromagilentnetic Susceptibility, EMS)之規定如下：

(1) 應符合 CNS 14409 規定。

(2) 應符合 CNS 14676-3 規定(僅須測試 703 MHz～748 MHz、758 MHz～803 MHz、885 MHz～915 MHz 及 930 MHz～960 MHz 頻段，其輻射耐受≧1 V/m，干擾訊號為 1 千赫(kHz)之正弦波進行 80%振幅調變，測試訊號採 60 dBuV 之 64QAM/256QAM 射頻訊號)。

(3) 應符合 CNS 14676-4 規定(電源線應能符合 1KV 之位準；信號線應符合 500V 之位準)。

(4) 應符合 CNS 14676-5 規定(電源線、中性線與地線之間應能符合 2KV 之位準；線與線之間則應符合 1KV 之位準)。

如上述之規定，其中第一項與第二項為電視設備的輻射耐受性試驗，並應注意到第二項法規之註明：（僅須測試 703 MHz～748 MHz、758 MHz～803 MHz、885 MHz～915 MHz 及 930 MHz～960 MHz 頻段，其輻射耐受≧1 V/m），我國電信監理機關之所以針對上述操作頻段制定電磁耐受性限制值，是因應行動寬頻通訊業務對數位電視設備之干擾，其複雜的時空背景非本計畫討論之重點，無論如何，我國目前所販賣的數位電視設備並沒有被規定在 703 MHz 以下頻段必須接受輻射耐受性試驗；是以本計畫將參考國際上針對數

位電視設備電磁耐受性的技術規範並給予建議，以利未來無線麥克風設備於 530 - 608 MHz 操作頻段的開放；此外必須說明，本計畫並非因為要開放無線麥克風操作頻段之動機，而特別去針對數位電視設備制定電磁耐受性之規定，事實上，國際針對數位電視設備的電磁耐受性有完善的規定，不管是操作頻段內與外， 都有必須遵守的電磁耐受性限制值，以下將對此討論說明。

上述我國有線廣播電視終端設備技術規範 5.10.1.11 中，第一項與第二項的輻射耐受性試驗，其法源來自於 IEC 61000-4-3 (Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test)，根據 IEC 61000-4-3 中 Annex E 中所示，電視設備屬於 Class 1(Class 1: Low-level electromagnetic radiation environment. Levels typical of local radio/television stations located at more than 1 km, and transmitters/receivers of low power.)等級，其測試等級如表 9- 36 中所示。

表 9- 36：電磁耐受度測試等級

Level	Test field strength (V/m)
1	1
2	3
3	10
4	30
x	Special
NOTE x is an open test level and the associated field strength may be any value. This level may be given in the product standard.	

表 9- 36 中測試等級可應用之操作頻段為 0.8 GHz 至 6 GHz，並可依據設備的不同或應用而有多頻段不同的測試標準；根據上述說明，操作於 530-608 MHz 頻段的數位電視設備，其設備之電磁耐受性必須≧1 V/m。除此之外，根據 EN 55020 (CISPR 20: 2006, Sound and Television Broadcast Receivers and Associated Equipment - Immunity

Characteristics - Limits and Methods of Measurement)文件[341]中 Table 15 - Enclosure Port 對電視設備的電磁耐受性還有更完整之說明，詳細如表 9- 37 中所示，其中電視設備於 790-862 MHz 頻段的電磁耐受性必須≧3 V/m（較現今我國法規嚴格），電視設備的操作頻段(In Band, Except the Tuned Channel)的電磁耐受性必須≧1 V/m。根據上述電視設備之電磁耐受性的討論，本計畫建議未來若開放無線麥克風設備可操作於 530-608 MHz 頻段，則電視設備於該頻段的電磁耐受性必須至少≧1 V/m（若能提高至 3V 則更佳）。

表 9- 37：Enclosure Port 電視設備的電磁耐受性

Measurements apply to equipment and with the performance criteria				
Parameter	Test Specification	Test Set-up	Applicability	Performance Criteria
RF e.m. field AM modulated carrier	See 4.7.1 1 kHz, at 80 % depth	See 4.7.1 and 5.8	Mains powered: - FM radio antenna - TV antenna - Ass. video tun. ant. - Ass. Video - Ass. Audio - Ass. other (e.g. audio amplifier) - Camcorders, in playback-mode, - Satellite TV - Satellite radio	A
RF e.m. field Keyed carrier	900 MHz, 3 V/m, duty cycle 1/8, 217 Hz repetition frequency	EN 61000-4-3 With measurement conditions of 5.8.4. and Table 23. Filter B.2 replaced by B.4.		
RF e.m. field AM modulated carrier	(790-862) MHz: 3 V/m AM: 1 kHz, 80 % depth Except the tuned channel ± 0,5 MHz, 1 V/m AM: 1 kHz, 80 % depth	EN 61000-4-3 With measurement conditions from I.5. For this test, I.7.2 does not apply.	Equipment with tuners suitable for reception of digital TV signals (cable, terrestrial and satellite) operated in each mode.	A
Electrostatic discharge	8 kV air discharge 4 kV contact discharge	EN 61000-4-2	All equipment covered by the scope	B
As an alternative method, a non-homogeneous field strength ≥3 V/m of similar characteristics as the test specification (e.g. generated by a dummy GSM portable telephone) may be applied in a shielded room.				

341 EN 55020 (CISPR 20: 2006, Sound and Television Broadcast Receivers and Associated Equipment - Immunity Characteristics - Limits and Methods of Measurement

The dummy shall be placed on a non-metallic stand with a height of 80 cm, at a distance of 1 m to the EUT (see Figure 11). The front side of the EUT shall be placed in parallel to the antenna line of sight. The position shall be described in the measurement report. In case of dispute, measurements shall be carried out in accordance with EN 61000-4-3, with measurement conditions given in 5.8.4 and Table 23, and filter B.2 replaced by B.4.

(二) 同軸電纜通道干擾理論限制值計算與討論

透過上述電視設備的電磁耐受性限制值之討論，可以得知電視設備於 530-608 MHz 頻段的電磁耐受性必須至少≧1 V/m，但若能提高至 3 V/m 會更佳。於實際量測進行前，本小節將以我國法定無線麥克風之發射功率限制值，來計算出理論干擾值與距離的相關參數。

必須注意的是，這裡所引用的無線麥克風發射功率限制值是法定最大上限值，這意味著實務上無線麥克風的發射功率必須低於或等於該限制值，是以本小節所計算的距離可視為無線麥克風設備的安全使用距離。

根據我國低功率射頻電機技術規範 4.6.3 節－主波發射功率(ERP)，無線麥克風設備的發射功率限制值如下所示：

4.6.3 主波發射功率（ERP）：

4.6.3.1 操作於 227.1 MHz～227.4 MHz，229.4 MHz～230.0 MHz，231.0 MHz～231.9 MHz 者：

頻道寬度	*主波發射限制值*
50 kHz(含)以下	*10 mW(含)以下*
50 kHz(不含)～200 kHz	*5 mW(含)以下*

4.6.3.2 操作於 510.0 MHz～530.0 MHz 者：50 mW 以下。

4.6.3.3 操作於 748.0 MHz～758.0 MHz 者：10 mW 以下。

4.6.3.4 操作於 803.0 MHz～806.0 MHz 者：10 mW 以下。

4.6.3.5 操作於 1790.0 MHz～1805.0 MHz 者：10 mW 以下。

需注意以上發射功率限制值單位是有效輻射功率(ERP)，根據 FCC 所釋出之技術文件(Guidelines for Determining the Effective Radiated Power (ERP) and Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP) of a RF Transmitting System) [55]，可以得知有效輻射功率(ERP)與等效全向輻射功率(EIRP)的轉換公式如下：

ERP = EIRP - 2.15 dB

EIRP 可透過 FCC 所釋出之技術文件(Guidelines for Compliance Testing of Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) Devices - Part 15, Subpart E)轉換成電場強度：

E (dBuV/m) = P(dBm EIRP) – 20 log (d) + 104.77

(其中 E 為麥克風設備電場強度，d 為無線麥克風設備量測電場之距離，單位為公尺)

將 ERP 轉換成 dBuV/m 後，便可透過低功率射頻電機技術規範 5.5.1 節，將受測頻率大於或等於 30 MHz 的電場強度，以插補係數(20 dB/十倍距離)換算至規定距離之值，電場測量為線性距離之反比，而電功率密度測量為線性距離平方之反比，該換算方程式如下所示：

1 (EMS, dBV/m) = E (dBuV/m) + 20 log (d/R)

其中方程式左側為電視設備的電磁耐受性 1 V/m (or 3 V/m)，R 為無線麥克風設備與數位電視間之距離，該距離為無線麥克風對數位電視造成 1 V/m 干擾之距離。

根據上述通道干擾理論之分析，可計算獲得無線麥克風設備的安全使用距離 R (m)，詳細如表 9- 38 與表 9- 39 中所示，該安全距離將會在接下來的實際場域中進行量測與驗證。安全距離所代表的意義是，若無線麥克風設備在遵守低功率射頻技術規範的前提下，於安全距離以外區域使用操作時，無線麥克風發射的干擾電場強度將小於等於電視設備的電磁耐受性電場強度。

表 9- 38：數位電視電磁耐受性為 1 (EMS, V/m)之使用安全距離

1 (EMS, V/m), *d* = 3m					
Frequency	**ERP (mW)**	**ERP (dBm)**	**EIRP (dBm)**	**E (dBuV)**	***R* (m)**
227.1-227.4 MHz 229.4-230 MHz 231-231.9 MHz	10	10	12.15	107.3775	**0.7015**
	5	6.9897	9.1397	104.3672	**0.4960**
510-530 MHz	50	16.9897	19.1397	114.3672	**1.5685**
748-758 MHz	10	10	12.15	107.3775	**0.7015**
803-806 MHz	10	10	12.15	107.3775	**0.7015**
1790-1805 MHz	10	10	12.15	107.3775	**0.7015**

表 9- 39：數位電視電磁耐受性為 3 (EMS, V/m)之使用安全距離

3 (EMS, V/m), d = 3m					
Frequency	**ERP (mW)**	**ERP (dBm)**	**EIRP (dBm)**	**E (dBuV)**	***R* (m)**
227.1-227.4 MHz 229.4-230 MHz 231-231.9 MHz	10	10	12.15	107.3775	**0.2338**
	5	6.9897	9.1397	104.3672	**0.1653**
510-530 MHz	50	16.9897	19.1397	114.3672	**0.5228**
748-758 MHz	10	10	12.15	107.3775	**0.2338**
803-806 MHz	10	10	12.15	107.3775	**0.2338**
1790-1805 MHz	10	10	12.15	107.3775	**0.2338**

(三) 無線麥克風設備於無反射室之發射功率

根據上述理論干擾值計算可獲得無線麥克風設備的安全使用距離，而實際上的無線麥克風設備其發射功率應低於低功率法規限制值；透過量測無線麥克風設備的實際發射功率，便可利用上述計算分析獲得實際的安全使用距離，最後在實際場域中驗證實際的安全使用距離。根據低功率射頻電機檢驗規定 5.4.3 小節，若為手持式或穿戴式之裝置，應對其三個正交軸的方位進行評估測試，於 966 無反射室中量測嘉強電子所提供的無線麥克風設備之發射功率（如圖 9- 14 中所示），數位調變(ACT-80H)與類比調變(ACT-70H)麥克風設備之各頻道的發射功率量測數據如附件 2 之圖附 1-2 所示，並可計算獲得實際安全使用距離，詳細如表 9- 40 中所示。

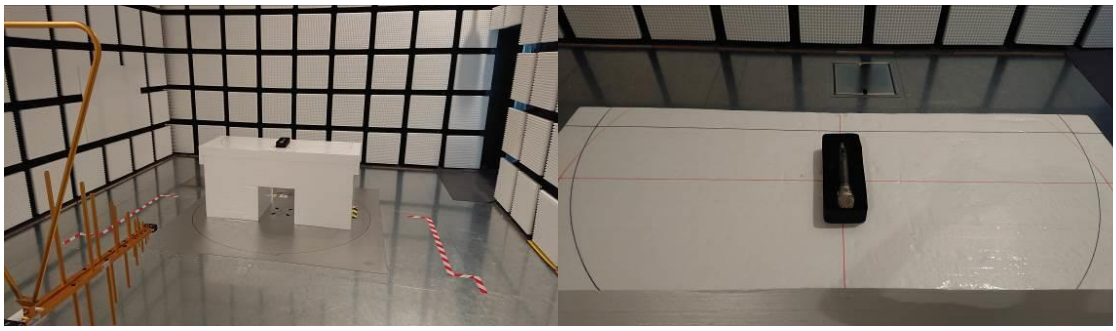


圖 9- 14：嘉強電子無線麥克風設備於無反射室之量測設置圖

表 9- 40：嘉強電子無線麥克風設備操作於各頻道的安全計算距離

Frequency (MHz)	Polarization	Transmit Electromagnetic Field Strength (dBuV/m)		Safe Distance (m)			
		Analog	Digital	Analog		Digital	
				EMS = 1V	**EMS = 3V**	**EMS = 1V**	**EMS = 3V**
554	V	102.10	110.04	0.3820	0.1273	0.9530	0.3176
554	H	110.40	115.61	0.9933	0.3311	1.8097	0.6032
560	V	100.53	110.18	0.3188	0.1062	0.9685	0.3228
560	H	109.59	115.56	0.9049	0.3016	1.7993	0.5997
578	V	98.22	106.79	0.2444	0.0814	0.6555	0.2185
578	H	109.22	115.34	0.8672	0.2890	1.7543	0.5847
584	V	97.65	105.36	0.2288	0.0762	0.5560	0.1853
584	H	109.18	115.18	0.8632	0.2877	1.7223	0.5741
590	V	97.68	104.24	0.2296	0.0765	0.4887	0.1629
590	H	109.66	114.70	0.9122	0.3040	1.6297	0.5432
596	V	98.12	102.80	0.2416	0.0805	0.4141	0.1380
596	H	110.24	114.17	0.9752	0.3250	1.5332	0.5110

(四) 使用同軸電纜傳遞電視訊號之干擾量測結果

調整無線麥克風發射頻率為 554 MHz, 560 MHz, 578 MHz, 584 MHz, 590 MHz, 596 MHz，發射功率為 50 mW ERP（數位調變）和 10 mW ERP（類比調變），並分別針對數位電視設備進行正面與背面的干擾；需注意該頻段於美國和歐盟均可容忍無線麥克風設備 50 mW ERP 功率強度的發射，是以干擾發射功率設定為 50 mW ERP 和 10 mW，此外在情境二實驗裡載噪比的量測中，研究團隊觀察到數位麥克風具有較易干擾電視訊號之特性，因此設定數位麥克風發射 50 mW ERP 進行觀察，其實驗結果如表 9- 41 中所示，表示為電視畫面流暢，或有肉眼無法辨認出的馬賽克，值得注意的是，雖然於本實驗中，無線麥克風仍可操作在 20 cm 內，且電視畫面無肉眼可辨別之干擾，但根據先前理論限制值計算，並不建議於 20 cm 內使用無線麥克風。

表 9- 41：使用同軸電纜傳遞電視訊號之干擾量測結果

Frequency (MHz)	Distance (cm)			
	100 cm	80 cm	50 cm	20 cm

	正面干擾	背面干擾	正面干擾	背面干擾	正面干擾	背面干擾	正面干擾	背面干擾
554 MHz	○	○	○	○	○	○	○	○
560 MHz	○	○	○	○	○	○	○	○
578 MHz	○	○	○	○	○	○	○	○
584 MHz	○	○	○	○	○	○	○	○
590 MHz	○	○	○	○	○	○	○	○
596 MHz	○	○	○	○	○	○	○	○

附註：

該實驗干擾源為嘉強電子(Mipro)所提供之數位麥克風(50mW, ERP)與類比麥克風(10mW, ERP)，且為持續發射。

○：電視畫面流暢，肉眼無法辨認出馬賽克

雖然於本實驗中，無線麥克風仍可操作在 20 cm 內，且電視畫面無肉眼可辨別之干擾，

但根據理論限制值計算，並不建議於 20 cm 內使用無線麥克風。

五、 干擾實驗情境二：數位機上盒（有接收天線）

當無線麥克風設備在數位電視周遭使用時，電視設備是透過無線數位機上盒（或是電視天線、衛星天線就在周遭）接受訊號，在此種情況下，無線麥克風設備的輻射電場除了透過上述纜線、轉接頭、訊號分配器等干擾電視設備，最主要的干擾途徑，則是藉由電視的接收天線造成數位訊號干擾，而無線麥克風設備的輻射電場與 DVB-T 的訊號源，將共同透過數位電視的接收天線傳遞到電視，在此實際場域中，實驗過程均詳細記錄並嚴格評估該電視設備的基頻訊號，評估標準將依據我國有線廣播電視終端設備技術規範。

實驗設置如圖 9- 15 中所示，與同軸纜線使用情境最大的不同是數位電視之接收端設置了單極天線，單極天線主要接收 Live 電視訊號與無線麥克風訊號，Terminated 端口為量測電視載噪比 C/N Ratio (Carrier-to-Noise)所用(Shielding Box 量測路徑)，於正式實驗時則接上 50 ohm 負載(Terminated)。操作於電視訊號 Band-Edge 上的無線麥克風訊號會透過單極天線直接干擾電視訊號並共同進入功率合併器(Power Combiner)，合併後的訊號再進入功率分配器(Power Divider)將能量分別傳遞至數位電視與頻譜分析儀，進而分析量測無線麥克風干擾信號對數位電視的影響，值得注意的是，先前情境一（無接收天線）中的安全距離為無線麥克風至電視設備間之距離，而本情

境（有接收天線）中的安全距離為接收天線至無線麥克風之間的距離。

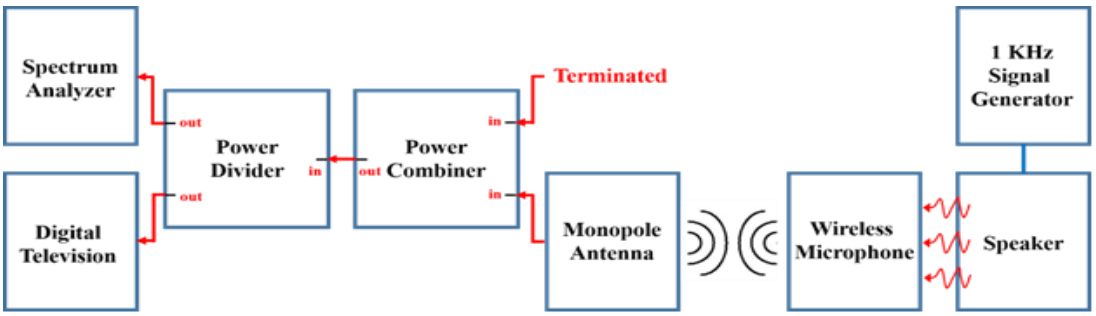


圖 9- 15：數位電視使用天線接收數位電視訊號之干擾實驗設置圖

該實驗設置中共有四條功率傳輸路徑需要校正其損耗，並分別代表不同之意義，若將功率合併器與分配器視為一個四埠被動元件，則損耗路徑如圖 9- 16 與圖 9- 17 中所示。由圖 9- 16 中可得知，路徑 1 和路徑 2 主要用途為量測電視 C/N 比；校正損耗時，單極天線端接口則接入了 50 ohm 的負載(terminal)，當校正路徑 1 時路徑 2 之輸出端必須接入 50 ohm 的負載(terminal)，反之亦然，校正的信號源為是德科技所生產的 E4438C ESG 向量信號產生器，輸出端使用 E4416A 50 ohm Power Meter 進行量測，其校正值如表 9- 43 中所示，路徑 1 的損耗約為 7.36~7.6 dB 間，主要來自功率合併器與功率分配器，而路徑 2 的損耗則高於路徑 1 之損耗，主要是因為數位電視特性阻抗為 75 ohm 之射頻設備，於實驗中必須設置阻抗匹配器(Matching Pad)，因而造成損耗較高約為 13.13~13.16 dB。

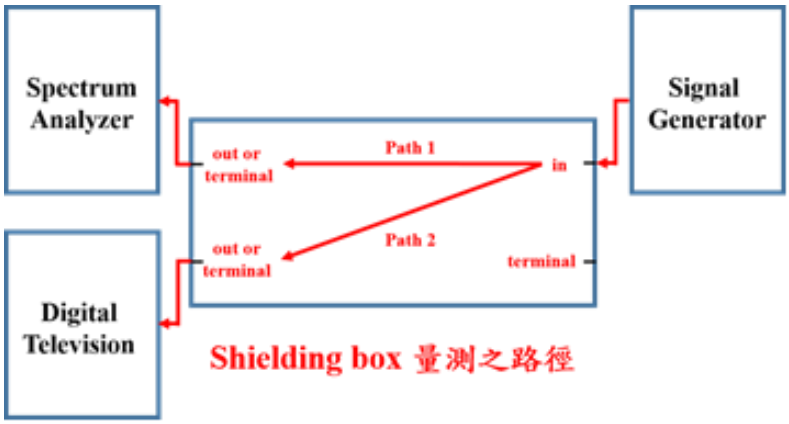


圖 9- 16：Shielding Box 量測路徑損耗校正圖

表 9- 42：Shielding Box 量測路徑損耗校正值

路徑 1			
E4438C ESG 向量信號產生器輸出功率 = - 20 dBm	Frequency	Power Meter	Loss
	557 MHz	-28.01 dBm	8.01 dB
	581 MHz	-28.05 dBm	8.05 dB
	593 MHz	-28.07 dBm	8.07dB
路徑 2			
E4438C ESG 向量信號產生器輸出功率 = - 20 dBm	Frequency	Power Meter	Loss
	557 MHz	-33.16 dBm	13.16 dB
	581 MHz	-33.15 dBm	13.15 dB
	593 MHz	-33.17 dBm	13.17 dB

由圖 9- 17 中所示，路徑 3 和路徑 4 輸入端口為接收無線麥克風干擾訊號與數位電視 Live 訊號的單極天線，該校正數據如表 9- 43 中所示，需注意路徑 3 與路徑 4 與路徑 1 與路徑 2 相比具有額外的 2.5 dB 之損耗，源自於一條長約五公尺連接單極天線的同軸纜線，採用五公尺則是參考大部分市面上所售數位電視天線所附之同軸纜線長度（約 4.5-5 公尺）。

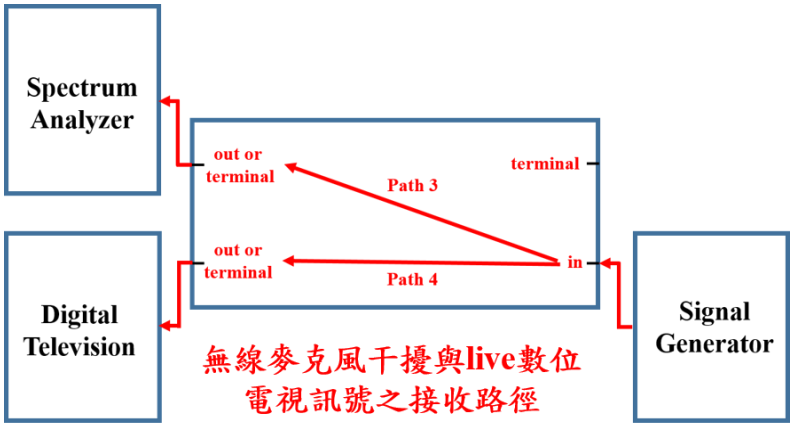


圖 9- 17：無線麥克風干擾路徑損耗校正圖

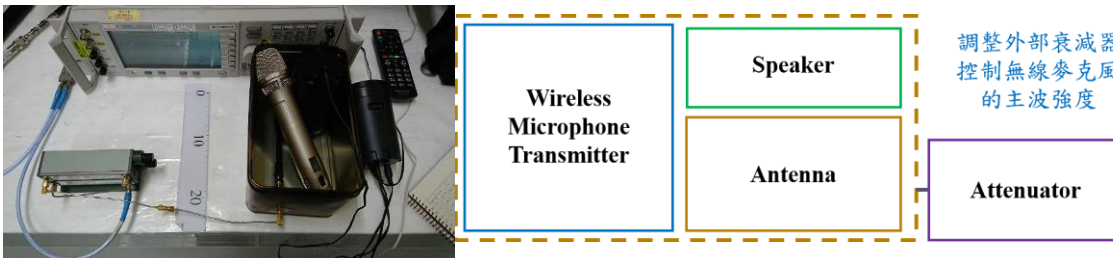
表 9- 43：無線麥克風干擾路徑損耗校正值

路徑 3			
DTU-315 數位電視訊號產生器輸出功率 = - 30 dBm	Frequency	Power Meter	Loss
	557 MHz	-43,78 dBm	13.78 dB
	581 MHz	-43.97 dBm	13.97 dB
	593 MHz	-44,06 dBm	14.06 dB
路徑 4			
	Frequency	Power Meter	Loss

DTU-315 數位電視訊號產生器輸出功率 = - 30 dBm	557 MHz	-48.52 dBm	18.52 dB
	581 MHz	-48.66 dBm	18.66 dB
	593 MHz	-48.80 dBm	18.80 dB

(一) 數位電視設備之電磁耐受性討論數位電視設備之載噪比(C/N Ratio)量測

於同軸電纜使用情境（無接收天線）中，研究團隊依據電視的電磁耐受性制定出無線麥克風設備的安全使用距離；但若電視設備使用天線接收電視訊號，則電磁耐受性已經不適合用來評估無線麥克風的安全使用距離，無線麥克風的干擾訊號會和數位電視訊號一起被接收，因此在無線機上盒的使用情境（有接收天線）中，主要必須評估數位電視設備的載噪比(C/N Ratio)比；主要量測方式會使用一個金屬屏蔽盒(Shielding Box)，該金屬屏蔽盒中有設置接收天線，並於該金屬屏蔽盒中放入無線麥克風與喇叭，接收天線使用同軸纜線連接可調式外接衰減器，詳細設置圖如圖 9- 18 和圖 9- 19 中所示，透過該金屬屏蔽盒便可透過有線的方式，接收並調整數位與類比無線麥克風的發射電場強度；值得注意的是，若是使用訊號產生器產生干擾訊號量測電視設備的 C/N 比，會因為其波形特性與無線麥克風不一致，而在實驗量測中呈現誤差度極高的結果；另外，該金屬屏蔽盒的屏蔽性不需要很好，只要無線麥克風所發射的電場足夠大讓研究團隊使用即可。



(a) (b)

圖 9- 18：使用金屬屏蔽盒量測電視設備載噪比之量測設置圖

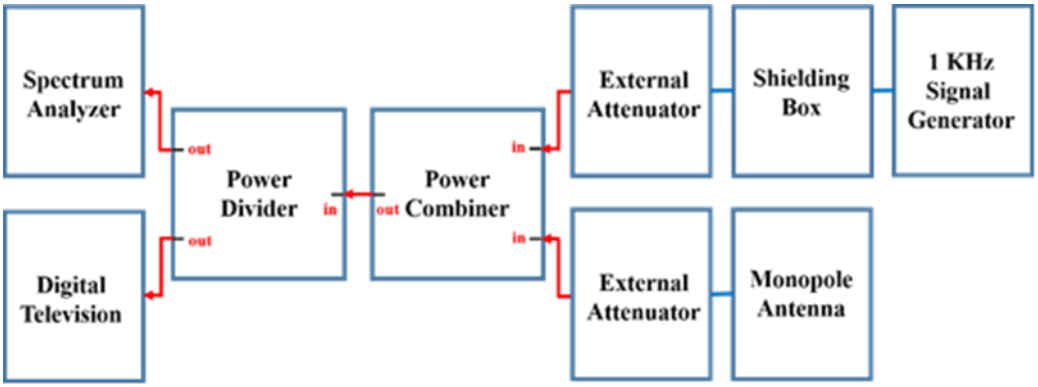
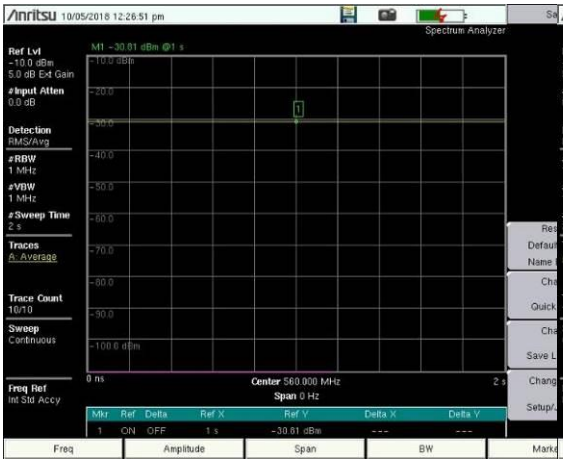


圖 9- 19：使用金屬屏蔽盒量測電視設備載噪比量測設置圖

依據上述實驗設置，分別針對數位和類比無線麥克風，所量測出電視設備載噪比(C/N Ratio)如表 9- 44 與表 9- 45 中所示，量測方式為觀察員於電視螢幕前方觀測，數位電視此時接收並播放 Live 電視訊號（本實驗中測試頻道為民視），調整金屬屏蔽盒的外接衰減器來控制麥克風的干擾電場強度，直至電視畫面出現第一次的馬賽克（或是停頓、不流暢等干擾），必須注意量測載噪比時，根據 CNS-14972 地面數位電視接收機技術規範，電視的 Live 訊號必須控制在−76 dBm 之射頻輸入信號，控制方式為單極天線與功率合併器間串聯一個可調式的外接衰減器，控制後的 Live 訊號強度如圖 9- 20 中所示；由表 9- 44 與表 9- 45 中可得知，當數位電視訊號強度為最低法定接收值-76 dBm 時，無線麥克風的干擾電場強度絕對值，以及當無線麥克風操作頻段逐漸遠離電視頻道護衛頻段時，如表 9- 46 中所示，載噪比因干擾逐漸降低而提升，上述干擾電場強度會作為重要參數依據，在接下來章節中，會使用該參數來計算無線麥克風干擾通道理論，如先前同軸電纜的使用情境，進而推算出無線麥克風設備的使用安全距離。

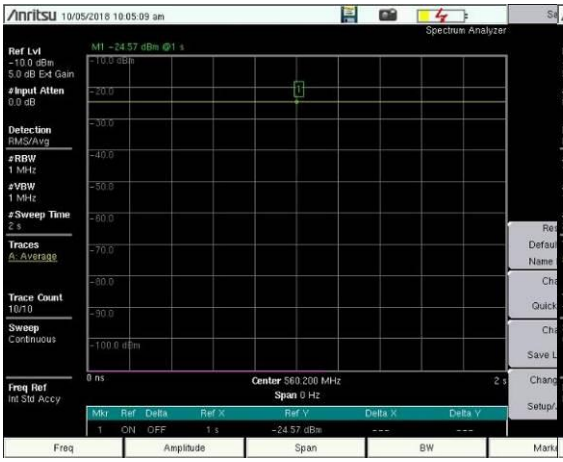
表 9- 44：類比麥克風干擾載噪比(C/N Ratio)與 Guard Band 量測



(a) 560 MHz, -30.81 dBm



(b) 560.1 MHz, -26.33 dBm



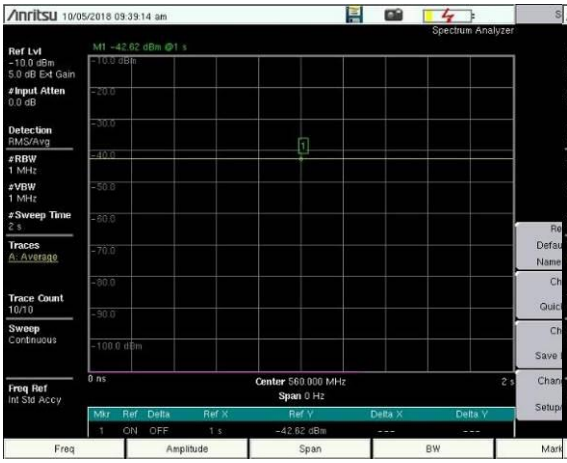
(c) 560.2 MHz, -24.57 dBm



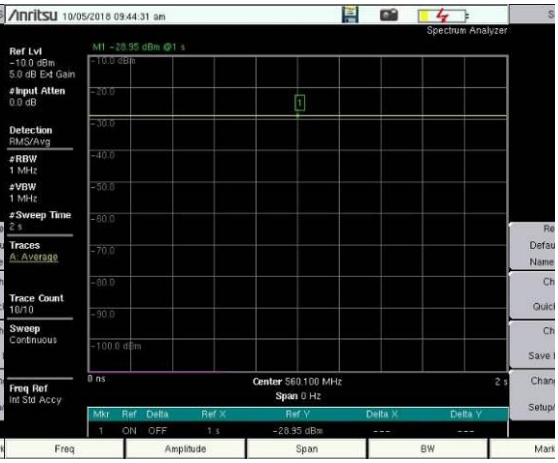
(d) 560.4 MHz, -22.63 dBm

4.6 主波發射功率測量設定：RBW = 5 x B, VBW = 5 x B, 檢波器(Detector)：RMS , 追蹤(Trace)：Average,
掃描頻率寬度(Span)：Zero Span, 掃描時間(Sweep Time)：≥ 2 秒, 備註：B 代表發射頻寬

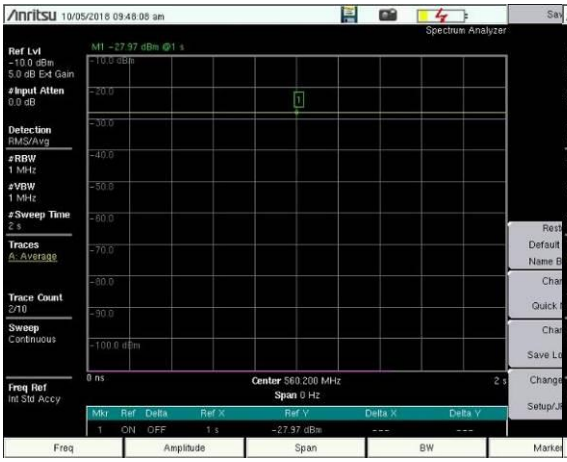
表 9- 45：數位麥克風干擾載噪比(C/N Ratio)與 Guard Band 量測



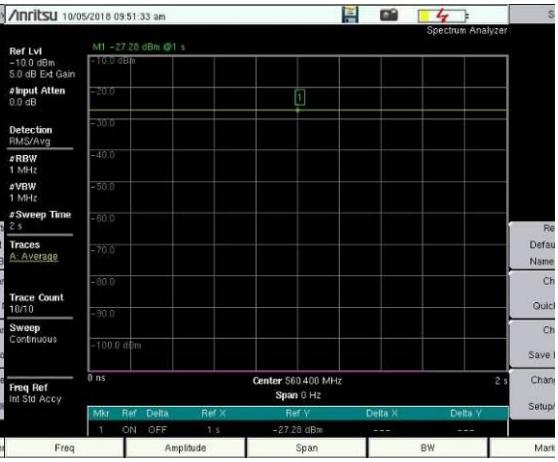
(a) 560 MHz, -42.62 dBm



(b) 560.1 MHz, -28.95 dBm



(c) 560.2 MHz, -27.97 dBm



(d) 560.4 MHz, -27.28 dBm

4.6 主波發射功率測量設定：RBW = 5 x B, VBW = 5 x B, 檢波器(Detector)：RMS , 追蹤(Trace)：Average,
掃描頻率寬度(Span)：Zero Span, 掃描時間(Sweep Time)：≥ 2 秒, 備註：B 代表發射頻寬

表 9- 46：數位麥克風干擾載噪比(C/N Ratio)與 Guard Band 量測值

Analog Wireless Microphone			Digital Wireless Microphone		
Frequency	Power (dBm)	C/N Ratio	Frequency	Power (dBm)	C/N Ratio
560 MHz	-30.81	-45.19	560 MHz	-42.62	-33.38
560.1 MHz	-26.33	-49.67	560.1 MHz	-28.95	-47.05
560.2 MHz	-24.57	-51.43	560.2 MHz	-27.97	-48.03
560.4 MHz	-22.63	-53.37	560.4 MHz	-27.28	-48.72



@557 MHz, 6 MHz Channel Power = -76.3 dBm

圖 9- 20：控制數位電視接收訊號強度為最低法定值-76 dBm

(二) 無線數位機上盒之通道干擾理論限制值計算與討論

由於上述同軸電纜的使用情境中數位電視並沒有使用天線，所以可以利用簡單的距離代換，就可以得知無線麥克風設備在任何距離下的電場強度，進而計算出當數位電視承受來自無線麥克風的電場強度達 1 V/m 與 3 V/m 時，無線麥克風與數位電視之間的準確距離。

當使用情境為無線數位機上盒時（包含衛星天線、電視天線等含天線之設備），數位電視設備是透過天線接收無線訊號，這時候無線麥克風的干擾訊號會透過天線進入數位電視設備，進而干擾電視訊號，這時天線增益和損耗路徑等因素的考慮將變得相當重要，其相關討論與計算如以下所述。

無線麥克風干擾實驗之通道計算如圖 9- 21 中所示，可得知無線麥克風所發射之干擾電場如下式表示：

$$\mathbf{EIRP} = P_R + L_P$$

- P_R = 經過傳播路徑損耗後之調整接收功率 (in dBW, dBm, or psd)
- L_P = 自由空間中傳播路徑之損耗 (in dB)

調整接收之功率可以進一步分解成下列所示：

$$P_R = P_{MEASURED} - G_R + L_C + L_{ATTEN} - G_{AMP}$$

- $P_{MEASURED}$ = 量測接收功率 (in dBW, dBm, or psd)
- G_R = 接收天線之增益 (in dBi)
- L_C = 纜線的訊號損耗 (in dB)
- L_{ATTEN} = 外部所使用的衰減器 (in dB)
- G_{AMP} = 外部所使用的放大器 (in dB)

另自由空間中傳播路徑之損耗可分解為下列所示：

$$L_P = 20 \log F + 20 \log D - 27.5$$

- F = 輻射電場之中心頻率 (in MHz)
- D = 量測距離 (in meters)

由上述章節量測載噪比的結論中，研究團隊得知無線麥克風的絕對干擾電場強度，該干擾電場強度在上述理論中設定為 PMeasured，並代入其餘已知參數，最後可算出量測距離 D，該量測距離可視為無線麥克風的使用安全距離。詳細量測結果與各項參數值於以下章節中說明。

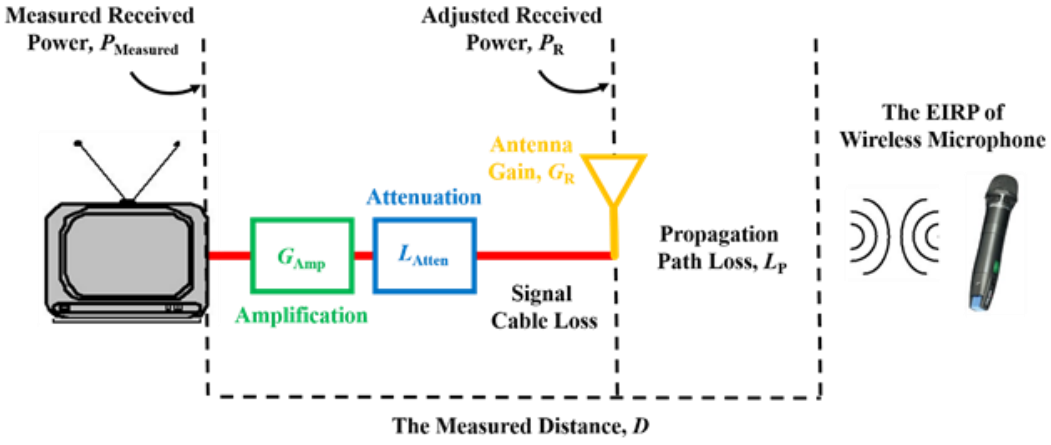


圖 9- 21：無線數位機上盒之通道干擾理論計算參數示意圖

(三) 使用單極天線接受電視訊號之干擾量測結果

根據上述理論公式代入各項參數，相關量測數據如表 9- 47 中所示，其中單極天線的增益(Antenna Gain)約為 2.1 dBi，該增益符合常見與合理的全向性天線增益；傳輸纜線損耗(Lc)約為 15.6 dB（請參考上述章節關於校正損耗之討論），外部衰減值為 2 dB（用來控制電視 Live 訊號至最低法定值 -76 dBm），無線麥克風的發射強度為 10 mW ERP，可計算出無線麥克風的安全使用距離（第一次出現馬賽克的距離）為 3.89 公尺（數位）與 0.99 公尺（類比），而在實際場域量測之安全距離（第一次出現馬賽克的距離）則約為 3.89 公尺（數位）與 0.7 公尺（類比）。

表 9- 47：數位電視設備使用天線接收訊號之無線麥克風干擾量測結果

Frequency (MHz)	ERP (mW)	EIRP (dBm)	$P_{MEASURED}$ (dBm)		Distance (m)		實際量測功率		實際干擾距離	
			Digital	Analog	Digital	Analog	Digital	Analog	Digital	Analog
Digital 560 MHz	10	12.15	Band-Edge -42.62	Band-Edge -30.81	3.89	0.99	-41.56	-32.94	Approx. 3.89	Approx. 0.7
Analog 560 MHz	10	12.15								
Antenna Gain = 2.1 dBi, L_c = 15.6 dB, L_{ATTEN} = 2 dB,										

於上述量測結果中，可以得知干擾通道理論計算值相當具有其參考性，但必須注意的是，於干擾實驗中光是纜線損耗就高達 15.6 dB（功率合併器、功率分波器、阻抗轉換器(50 to 75 ohm Matching Pad)等），事實上一般民眾裝設數位天線並不會有這麼多額外損耗，這意味著無線麥克風設備必須操作在更遠的安全距離，在此前提下，研究團隊必須開始考慮無線麥克風的安全操作護衛頻段，詳細參數特性如表 9- 49 中所示。

根據表 9- 48 中所示，將纜線損耗由 15.6 dB 降低至 2 dB（市面上數位電視天線所附之 4-5 公尺同軸線損耗），此時若無線麥克風仍然操作在電視頻段的 Band-Edge 上，則安全距離則拉長至 23.19 公尺（數位）和 5.95 公尺（類比），是以研究團隊必須考慮安全操作護衛頻段，如表 9- 48 中所示，若保護頻段達 100 KHz 時（無線麥克風操作中心頻率遠離 Band-Edge 200 KHz），其安全距離已可符合實務

使用狀況，其安全距離為 4.29 公尺（數位）與 2.90 公尺（類比），為其頻段使用更加安全與防範未然，研究團隊在結論會建議更寬的保護頻段以確保無線麥克風設備的干擾降至最低。

表 9- 48：考慮低纜線損耗與保護頻段之無線麥克風干擾量測結果

Frequency (MHz)	ERP (mW)	EIRP (dBm)	Antenna Gain(dBi)	L_C (dB)	L_{ATTEN} (dB)	$P_{MEASURED}$ (dBm)		Distance (m)	
						Digital	Analog	Digital	Analog
560 MHz	10	12.15	2.1	2	0	-42.62	-30.81	23.19	5.95
560.1 MHz						-28.95	-26.33	4.81	3.55
560.2 MHz						-27.97	-24.57	4.29	2.90
560.4 MHz						-27.28	-22.63	3.96	2.32

(四) 使用高增益指向性天線接受電視訊號之機率評估

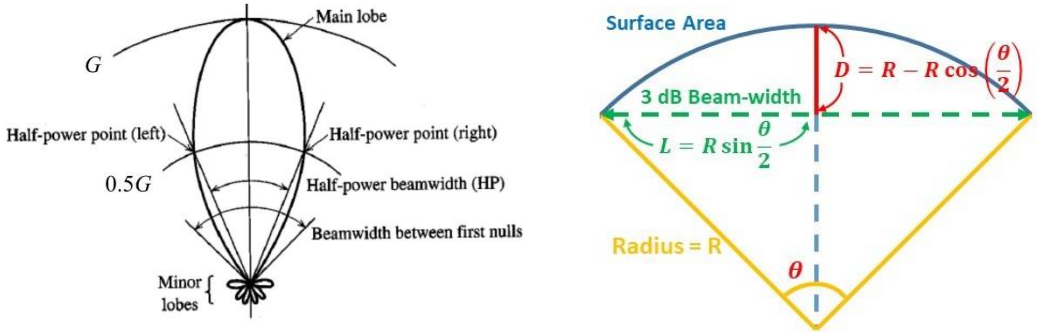
本節主要為計算無線麥克風設備操作於高增益指向性天線正前方之機率評估，其高增益指向性天線場形圖如圖 9- 22(a)中所示，會在某個角度上出現狹窄且增益較高的波束，若增益越高，則波束寬越狹窄，反之若增益越低，波束寬角度越大則越接近全向性天線之場形。

如圖 9- 22(b)中所示，該波束於球體上所投影出來為球冠表面積，若假設該波束夾角為 θ，球冠的表面積計算半徑則為球體半徑，是故球冠的高度為 $R - R\cos(\theta/2)$，並可依據不同角度與半徑，計算出球冠表面積，其中：

球冠表面積：$2 \times \pi \times R(\text{Radius}, R) \times H(\text{Height}, R - R\cos(\theta/2))$

球體表面積：$4\times \pi \times R \times R$

球冠表面積所佔球體表面積之百分比，即為無線麥克風操作在波束前方之機率，而波束夾角與機率的關係如表 9- 49 中所示。



(a) (b)

圖 9- 22：高增益指向性天線場形示意圖

表 9- 49：波束夾角與無線麥克風操作於波束前方之機率關係表

Angle (θ)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Percentage (%)	0.19	0.75	1.7	3.01	4.68	6.69	9.04	11.69	14.64
Angle (θ)	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Percentage (%)	17.86	21.32	25	28.86	32.89	37.05	41.31	45.64	50
註：當夾角大於 180 時，該場形已失去高增益指向性天線之特性									

若數位電視天線使用高增益指向性天線，當無線麥克風設備在波束正前方使用時，若無線麥克風設備操作於電視訊號的 Band Edge 頻段上（無護衛頻段），則根據上述章節中通道理論與實驗驗證，其安全使用距離計算如表 9- 50 中所示。

表 9- 50：高增益指向性天線與無線麥克風安全使用距離表

Antenna Gain (dBi)	2	4	6	8	10	12	14	16
Distance (m)	23.19	29.17	36.72	46.23	58.21	73.28	92.25	116.14
Antenna Gain (dBi)	18	20	22	24	26	28	30	
Distance (m)	146.21	184.07	231.74	291.74	367.28	462.38	582.10	
註：Operating Frequency = 560 MHz , L_c = 2 dB, 若有環境多重反射或其他干擾之考量，建議安全距離可增加 5-10 公尺。								

第五節　麥克風設備干擾實驗之結論

透過情境一同軸電纜（無接收天線）的干擾實驗與情境二無線機上盒（有接收天線）的干擾實驗，研究團隊可彙整出以下數個結論以利無線麥克風今後使用時，對數位電視設備的干擾可降至最低。

1. 若無使用數位電視天線（情境一），則：

（電視訊號使用 Cable、第四台、天線於屋頂等，符合大部分使用情況）

(1) 無線麥克風使用時，建議距離數位電視設備 20 cm 以上。

2. 若附近有數位電視天線（情境二），則：

（無線麥克風設備操作時，電視接收天線位於附近，同時看電視且使用麥克風的少部分實際使用情況）

(1) 評估最短距離時，應以電視天線至無線麥克風之間的距離。

(2) 若數位電視接收天線為全向性天線(2 dBi)時：

- 當無線麥克風設備操作於數位電視訊號 Band-Edge 頻率（鄰頻 Guard Band 300kHz 以內）與 In-Band 6 MHz (數位電視使用頻段)，無線麥克風設備至少必須離數位電視天線 30 公尺。
- 當無線麥克風之中心頻率操作離數位電視訊號 400 KHz 以上（即數位麥克風訊號離數位電視頻帶邊緣 300 KHz 以上），則無線麥克風設備至少必須離數位電視天線 5 公尺以上。

(3) 若數位電視接收天線為高增益指向性天線時：

- 無線麥克風設備的安全距離必須依據表 9- 50 中所示。
- 無線麥克風設備操作於天線波束前方之機率可參考表 9-49 中所示。

- 無線麥克風設備操作於天線波束後方時，可依據表 9- 50 中不同的增益而使用合適的安全距離。

(4) 操作於 530-608 MHz 頻段的無線麥克風設備發射功率最高上限應為 10 mW (ERP)。

第六節　結果分析與建議

本實驗已於 2018 年 10 月 19 日於高雄路竹電信技術中心二樓舉辦展示說明會，該說明會邀情各界電視先進、無線麥克風廠商、實驗室與國家通訊傳播委員會，其邀請開會通知單公文請參閱附錄。各界參與人士簽到名單如圖 9-22 中所示，並於說明會中作成相關結論如下：

1. 因家庭式與消費者個人所使用的無線麥克風設備，以目前低功率射頻電機技術規範所制定的 510~530 MHz 頻段已經足夠使用，本干擾實驗主要乃針對大型集會場合中無線麥克風設備頻段不敷使用而作探討。
2. 當附近無數位電視接收天線時（或接收天線在極遠處），則無線麥克風設備使用時，應距離數位電視設備 20 cm 以上。
3. 操作於 530-608 MHz 頻段的無線麥克風設備萬一發生干擾，監理機關有權廢除該無線麥克風設備之型式認證。
4. 考量電視業者對無線麥克風設備操作於 530-608 MHz 頻段仍有疑慮，會後經詢問相關麥克風設備業者，建議無線麥克風設備可操作於 614-703 MHz，該頻段於低功率射頻技術規範 2.7 節中並未禁用，且交通部頻率分配表中該頻段並無射頻業務，雖未來交通部可能規劃供行動寬頻業務使用，惟依 794-806 MHz 前於低功率射頻技術規範規定供無線麥克風使用，後於「實際場域」行動寬頻業務使用其中 794-803 MHz，並未發生「實際場域」使用 794-803 MHz 之無線麥克風干擾行動寬頻業務情形(但測試環境手機接收信號顯示約 1 格之區域且 RSRP > -96dBm，使用 794-803 MHz 之無線麥克風與手機距離大約 3 公尺處，則手機仍可與基地臺維持通訊。亦即，手機接收信號顯示 1 格以

上之格區，手機與無線麥克風之距離將可小於 3 公尺)，僅有行動寬頻業務干擾使用 794-803 MHz 無線麥克風情形，爰依低功率電波輻射性電機管理辦法第 14 條規定「低功率射頻電機之使用不得影響飛航安全及干擾合法通信；經發現有干擾現象時，應立即停用，並改善至無干擾時方得繼續使用。前項合法通信，指依電信法規定作業之無線電通信。低功率射頻電機須忍受合法通信或工業、科學及醫療用電波輻射性電機設備之干擾。」，建議可提請交通部開放無線麥克風設備使用(614-703 MHz 無線麥克風最高發射限制值為 10 mW ERP)，以解決大型集會場合中無線麥克風設備頻段不敷使用問題。但考量若未來交通部可能規劃 614-703 MHz 供行動寬頻業務使用，致行動寬頻業務可能有干擾使用 614-703 MHz 無線麥克風情形，建議於 614-703 MHz 無線麥克風之包裝盒及說明書標示該辦法第 14 條，及電信法第 48 條第 3 項「國家通訊傳播委員會為整體電信及資訊發展之需要，應對頻率和諧有效共用定期檢討，必要時並得調整使用頻率或要求更新設備，業者及使用者不得拒絕或請求補償。」等規定，以兼顧決解大型集會場合中無線麥克風設備頻段不敷使用，及消費者保護等問題。

展示說明會相關干擾實驗照片如圖 9- 24 與圖 9- 25 中所示。



會議簽到單

姓名	單位	職稱
詹[illegible]	中國電視	工程師
[illegible]	TTV	記者
劉[illegible]	電檢中心	課長
吳[illegible]	交通部	技正
吳[illegible]	NCC	技士
謝[illegible]	NCC	科長
[illegible]	NCC	科員
[illegible]	NCC	技正
[illegible]	NCC	股份
[illegible]	NCC	技正
張仁發	NCC	技佐
[illegible]	NCC	技正
[illegible]	NCC	技士
王怡[illegible]	NCC	技正
[illegible]	NCC	專員

會議簽到單

姓名	單位	職稱
周素妙	公視	組長
林能禹	環境營會	主任
卓[illegible]	民視	副主任
[illegible]	ETC	課長
[illegible]	NAIPYO	副總
[illegible]	電信技術中心	工程師

圖 9- 23：無線麥克風干擾實驗會議簽到單



(a) (b)

圖 9- 24：無線麥克風干擾實驗設置照片



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖 9- 25：無線麥克風干擾實驗展示說明會照片

第十章　舉辦論壇等各項研究成果與結論

第一節　支援通傳會臨時交辦事項與執行成果

本計畫於計畫執行期間，已支援通傳會完成各項計畫範圍內之臨時交辦事項，包括：

- 協助辦理 5G 公開說明會與諮詢會議

本計畫協助通傳會辦理 6 月 20 日召開之「5G 頻譜整備規劃諮詢公開說明會」、8 月 14 日與 8 月 21 日召開之「5G 頻譜整備進一步諮詢會議」，以及 9 月 11 日召開之「5G 頻譜整備續行諮詢會議」與 10 月 25 日召開之「3.5 GHz 頻段量測結果說明及前經諮詢備便頻段供用深入研討會議」。

- 協助蒐集、研析各項計畫範圍內之臨時交辦事項。

本計畫執行過程中，協助提供通傳會召開之 5G 會議相關資料，如國際 5G 頻譜發展動向、主要國家 5G 釋照及規劃概況、3.5GHz 頻段開放與既有業務共存或干擾實證量測評估等。此外，亦協助通傳會整理 5G 頻譜整備相關政策，推動我國 5G 頻譜政策發展。

第二節　舉辦研討會與訪談會議執行成果

一、 執行成果概要

本計畫執行過程中，藉由協助通傳會辦理 5G 各項工作小組會議與諮詢會議蒐集產業利害關係人之看法，另外針對相關研究議題，藉由舉辦研討會與訪談會議之方式，蒐集專家學者之看法。

本計畫分別於 8 月 17 日與 10 月 26 日辦理 5G 與動態頻譜共享相關議題之研討會。8 月 17 日舉辦「5G/IoT 創新應用與頻譜資源整備座談會」，10 月 26 日舉辦「5G 應用 x 動態頻譜趨勢論壇」之「未來應用搶先看」場次，邀請學者專家及產業利害關係人出席與會。

另外，本計畫亦於 6 月 12 日、10 月 4 日與 10 月 11 日分別和 5G、物聯網相關新興領域專家學者會談，蒐集學者專家之專業見解。

本計畫辦理研討會、論壇與訪談會議之與談對象及討論主題如下表10-1。

表 10-1：本計畫辦理研討會與訪談會議與談對象與討論主題

	性質	邀請學者專家	與談/演講主題
8/17	研討會	臺灣大學電機工程系張時中教授	數位匯流時代的頻譜（智慧國土）管理
		臺北市電腦工會高天助顧問	● 5G/IoT 創新應用之頻譜資源與管理 ● 5G 頻譜資源規劃
		元智大學資訊傳播系葉志良教授	
10/26	論壇研討會	資誠創新整合公司劉鏡清董事長	2018 5G 趨勢報告
		佐臻股份有限公司創辦人梁文隆董事長	5G 商轉即時啟動：超越視界的想像
		臺灣大學電機工程系周俊廷教授	共享與試驗：頻譜管理彈性化的起步
		中興保全股份有限公司練文旭協理	未來應用搶先看：5G、IoT 與動態頻譜
6/12	訪談會議	國際數據資訊研究主任 Randy Roberts	亞太區域電信 IoT 趨勢與 5G 影響
10/4	訪談會議	工研院資通所林咨銘博士	5G/IoT 頻譜資源整備、釋出時程與監理制度
10/11	訪談會議	工研院資通所楊人順博士	5G/IoT 頻譜資源整備

資料來源：本計畫整理

二、 執行內容簡述

1、8/17 研討會辦理情形

本次會議邀請到臺灣大學電機系張時中教授擔任專題演講嘉賓，張教授以「數位匯流時代的頻譜（智慧國土）管理」為題，分享其將頻譜視為智慧國土之見解，未來將可促進數位匯流垂直整合應用

創新之蓬勃發展。同時，張教授介紹英國目前規劃 3.8-4.2GHz 作為創新應用使用頻段，美國則有 3.5GHz CBRS 規劃鼓勵創新應用發展。製造業以及醫療產業則因應自身產業對於 5G 之需求，而有可能成為一種微型業者。

本次會議另邀請到臺北市電腦公會高天助顧問與元智大學資訊傳播系葉志良教授擔任與談人，現場有來自台灣電信產業發展協會、中華電信、台灣大哥大、遠傳電信、亞太電信與臺灣之星等電信業者代表出席，另亦有網通業者廣達電腦以及設備製造商愛立信等產業代表出席與會。

本次會議中，葉志良教授認為，由於創新應用的使用範圍很廣，涉及到全國或區域。有些應用像智慧工廠有特定範圍，但有些像車聯網，則是移動的範圍。執照設計應該多元，讓主管機關規管更有彈性。

高天助顧問則表達，為了將來 5G 發展，建議盡快發展試點城市，希望將來主管機關擬定相關規範時，能夠讓實驗頻段的申請更快速、更方便、更有彈性，讓實驗頻譜可以做到 POB。本次會議剪影如下圖 10- 1。





張教授演講及專家學者互動發言情形

圖 10- 1：8/17 研討會議剪影

2、 10/26 論壇研討會

本次會議邀請到國際 PWC 資誠會計師事務所劉鏡清董事長向與會貴賓分享 5G 將帶來的產業衝擊及所產生的區域產值，勾勒出明日

產業新輪廓，同時邀請佐臻股份有限公司梁文隆董事長，分享從智慧眼鏡產品出發，談及未來 AR/VR 產業針對 5G 時代傳輸速率倍增的影響與改變。另外，亦邀請臺灣大學電機系周俊廷教授，從學術觀點，透過面對無線通訊技術的快速發展，探究新型態頻譜使用模式及管理輔助技術之演進、可帶來之新思維、應用發展之新風貌。

本次會議之座談，由財團法人電信技術中心江亮均副執行長擔任主持人，除邀請到梁董事長、周教授擔任與談人外，另外也邀請到中興保全股份有限公司練文旭協理一同參與。本次會議剪影如下圖 10- 2。

<table>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>資誠會計師事務所劉鏡清董事長</td><td>佐臻股份有限公司梁文隆董事長</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>臺灣大學電機系周俊廷教授</td><td>專家學者座談狀態</td></tr>
</table>

圖 10- 2：10/26 研討會議剪影

3、 6/12 訪談會議辦理情形

本次會議邀請到來自國際數據資訊研究主任 Randy Roberts，以亞太區域的 5G、物聯網與智慧城市案例為題，和研究團隊探討物聯網未來發展趨勢，以及和 5G 間的互動影響，行動網路正逐漸從傳統電信網路架構演進到 5G，未來包括網路虛擬化、電信配送網路雲端化以及網路切分等，都會影響市場，許多物聯網應用需要即時且低延遲、大量傳輸的通訊服務，因而仰賴 5G。現階段已有許多東南亞國家開始推動數位轉型與智慧城市，讓市民能獲得更好的市政服務。Randy Roberts 分享新加坡 Singtel、馬來西亞 Celcom 及 Telekom Malaysia、泰國 AIS、True 以及印尼 Indosat 等多家電信業者在行動網路、應用服務以及策略夥伴上的相關布局，以探究全球物聯網市場將來之發展趨勢。

4、 10/4 訪談會議辦理情形

本次會議邀請到來自工研院林咨銘博士，討論對於我國 5G 與物聯網頻譜規劃、釋照時程、執照期限等相關議題。林博士認為，5G 頻譜整備的重點，其釋出頻寬必須足夠滿足市場需求，至於物聯網部份，則應該分為商用與公用事業使用之頻譜資源分別探討。林博士提到，5G 不能只考慮檯面上的電信業者，還要把整體產業、國防、政府與民眾需求一併納入考量，釋出頻率則應考量可用頻段及使用效益、消費者需求、新興應用、技術與設備成熟度、水平與垂直產業之發展協調等多個面向。在考慮技術與設備成熟度時，應觀察全球發展趨勢，讓國內產業能夠趕上。整體產業協調不僅包括電信業者，還應該把晶片業者、設備商等一併納入考量。根據林博士的觀察，大多數國家採取將 3.5GHz 頻譜既有使用者移頻的方式，因為該頻段設備發展較成熟，至於移頻造成之損失，則可透過業者標金中設計部份為分攤補償金額。

5、 10/11 訪談會議辦理情形

本次會議邀請到來自工研院楊人順博士，討論對於我國 5G 與物聯網頻譜資源整備議題。楊博士分享工研院目前無人機計畫整體發展，應用場域包括巡視，例如消防署運用無人機探查火災狀況；另外，也可應用於橋梁安檢、水質檢驗等。目前臺灣的無人機業者，大多數使用免執照頻段，部份大型業者則開始使用 4G 網路，不過困難點在於網路延遲的問題，不同區域下的網路延遲會有差異，像是高密度的臺北市，就會有比較嚴重的網路延遲。因此，未來 5G 時代，預期可帶來低網路延遲與邊際運算等兩個優點，擁有更好的網路效能。

就無人機的使用上，楊博士分享目前可能的營運模式仍以物流較為明顯，其他則有類似海巡署規劃採公部門的監控模式，用機隊巡邏來降低人力需求與巡邏間之空檔等。無人機使用相關頻譜時，免執照頻譜會有干擾的問題，建議未來還是要跟隨國際標準發展。另外，楊博士也認為 CBRS 機制應很適合無人機的使用。

第三節　結論與建議

一、 新世代行動通信技術與動態頻譜共享機制

考量實際場域不易精準掌握 5G 基地臺天線與 ST-2 地面站天線 3 維空間偏軸角度，本計畫建議以 2 維空間水平距離評估兩系統共存安全距離，若考慮實務上甚為極端情形，5G 基地臺與 ST-2 地面接收站同站空曠地區，5G 基地臺使用 45 公尺鐵塔高度 45m(一般基站常用高度)，ST-2 地面站天線在平地，基地臺最大發射功率為 57dBm(500W)條件下，以 ST-2 地面站為中心，需要約 110 公尺方能確保 ST-2 地面站不受影響；為確保兩系統共存時有足夠緩衝空間協商設置，建議以 ST-2 地面站為中心半徑 150 公尺方圓規劃為干擾協調區域

為降低未來 5G 中頻段 3.5GHz 網路布建影響既有 ST-2 地面站收訊，本計畫建議未來 5G 中頻段 3.5GHz 網路建置前 ST-2 地面站加裝

3.61~3.71GHz 頻段 BPF，並以 ST-2 地面站為中心半徑 150 公尺方圓規劃為干擾協調區域，提供電信業者建置前與 ST-2 收訊戶協商基地臺建置位置。另外，本計畫於實際場域測試時，發現 ST-2 接收端 LNB 若位處 3.4~4.2GHz 高功率電波環境下，LNB 電路會產生耦合現象，建議主管機關未來可研究目前 ST-2 收訊戶使用的 LNB 電磁耐受性(Electro-Magnetic Susceptibility，EMS)，以降低 5G 中頻段 3.5GHz 網路布建後干擾 ST-2 收訊風險。

本計畫完成三層式頻譜共享架構機制運作研析，可作為我國未來建立系統時的資料規範參考及確認概念可行性。本計畫持續追蹤國際動態頻譜共享機制發展趨勢，特別重視美國公眾寬頻無線服務(CBRS) 頻段之法令規範及產業生態體系之發展。首先，頻譜共享設備（CBSD）皆需經由頻譜接取系統（SAS）之頻道指配，方能取得頻譜使用權限；針對 CBSD 之干擾管理限制與規範主要包括：(1)既有使用者於使用位置半徑 80 公里內不得有其他使用者使用相同頻段，(2)藉由環境感測能力系統 (ESC) 負責判斷訊號範圍，有效減少干擾半徑，(3)另對於既存 FSS 使用相同頻段，則 FSS 接收站半徑 150 公里內之所有 CBSD 造成的干擾不能超過-129 dBm/MHz。本計畫並針對 CBSD 與 SAS 間之資料交換規範進行實作，完成包括註冊請求、頻道請求以及傳輸請求等處理程序，能在不特定數量之 CBSD 間進行頻道選擇與動態指配。

鑒於 3GPP 標準制定組織持續增強執照輔助接取（LAA）技術之演進發展，本計畫於頻譜共享接取實驗平臺，架構可進行 LAA 與 WiFi 共存之干擾量測與 QoS 分析之 LAA 小細胞基站測試環境。本計畫針對 LAA 對於 WiFi 干擾議題之進行模擬評估與探討，採用 ITRI 的 LAA 小細胞平台，應用採取先聽後送（LBT）通道存取機制的 LAA 競爭窗口參數設計，研發一套排程演算法與可選擇公平共存或效能優先模式之具頻譜管理的網管系統。

本計畫完成 ViSSA 2.0 概念驗證平台運作之整合與展示。延續前期計畫產出之 ViSSA 頻譜共享接取實驗平臺，本計畫將需執照頻段之動態頻譜共享與免執照頻段之動態頻譜共享等相關功能實作於概

念驗證平臺，進行各項使用案例情境之演示；並於 2018 年 10 月 26 日所舉辦之論壇中進行運作展示。藉由交流互動，廣蒐各界意見，持續進行技術優化。期能於下一階段將實驗平臺拓展連結至場域實證及頻譜共享試行運作，提升本計畫之社會及產業實質效益。

二、 新世代行動通訊與物聯網技術與應用趨勢及頻譜整備

針對 5G 技術觀測與應用發展趨勢部份，本計畫研析 ITU 提出的 IMT-2020 計畫，5G 標準制定將於 2020 年完成。3GPP 目前 5G 技術標準發展時程，已於去（2017）年底在澳洲布里斯本會議時初步完成 Release 15 非獨立組網（Non-Standalone，NSA）標準草案制定，原先規劃於今年第三季完成 Release 15 獨立組網（Standalone）版本制定，最終則至提早於今年 6 月完成。5G NR 中主要特徵技術即是採用大規模 MIMO 技術，且運作於 6 GHz 以下頻段、超過 6 GHz 頻段甚至毫米波頻段。按照過往發展經驗，相關產業於標準完成後，約需要 18 個月才能開始佈建網路及部署設備，但在 5G NSA 的情況下，電信業者以及設備製造商都希望可壓縮時程，並預計能將在 2019 年即可佈建，有些廠商/業者甚至在 2018 年末即開始佈建。

隨著技術演進，未來愈來愈多的電子商務、社群互動、智慧家電裝置，或是高畫質影音娛樂等多重服務需求，將加速推動物聯網智慧生活情境的到來，未來人類生活情境將可藉由行動裝置一手掌握生活上的大小事。在不遠的將來，各種新興應用正積極發展，像是行動醫療、車聯網（智慧車）、無人駕駛等，甚至人工智慧（Artificial Intelligence，AI）的應用領域，也需要背後有強大的運算與傳輸平台，為各式各樣的終端設備藉由雲端物聯網聯結萬物的概念做智能化辨識、感知與決策。進而一步步實現長期照護、智慧交通、智慧工廠、智慧城市等，建構新興應用環繞之生活環境。

為確保及時回應產業對 5G 及新興技術之需求，歐洲（5G PPP）積極投入下一代通信網路和服務之發展，深入研究 5G 通訊基礎設施的解決方案、架構、技術以及標準等。5G PPP 的目標是保持和提高歐洲資訊與通信科技（Information and Communication Technology, ICT）產業的競爭力，並確保歐洲社會能夠享受這些未來網路帶來的

經濟和社會效益。5G PPP 計劃將加強歐洲產業，以成功在全球市場上競爭並開闢新的創新機會，包含創造智慧城市，電子醫療，智能交通，教育、娛樂和媒體等新市場領域，能成為全球領導地位。

未來 5G 佈建預計利用更高的頻段，勢將帶來更多小細胞基地臺的需求，也將導致現有網路基站數量的增加。然而行動基礎設施的建設通常具有高額沉沒成本，業者在小細胞基地臺布建上可能面臨網路營運層面(如室內維運困難)、技術資源層面(頻譜趨向共享)、基站規管層面(如全國涵蓋義務)等不同面向的困境與挑戰，因此近來國外產學業界推出「微型業者(Micro-operator)」概念，希冀藉助網路切片和頻譜共享技術，在特定場域布建小細胞基站，提供具有服務等級(QoS)的 5G 整合性應用服務，滿足用戶對室內覆蓋的需求。

針對 5G、物聯網頻譜整備與規管研析部份，本計畫提出我國 5G 頻譜政策行動策略建議，包括：積極整備與釋出頻譜資源、現代化監管制度、促進創新應用以及鼓勵投資等，我國 5G 頻譜政策思維，應著重於推動 5G 對整體經濟與生活帶來之向上提升，使全體國民均可獲得 5G 所帶來之利益。

針對 5G 頻譜整備部份，本計畫建議第一階段除 3300-3570MHz 與 27-29.5 GHz 頻段外，亦可一併釋出 1775-1785/1870-1880 MHz 以及 2355-2390 MHz。第二階段除探詢低頻段釋出 600MHz 與 800MHz 之可能性外，中頻段可考慮研析 3.8-4.2GHz 採共享機制釋出之可能性，以及整備 1.5GHz 與 4.5-5GHz，高頻段部份整備 24.25-26GHz 與 37-40GHz，並探討以免執照方式釋出 64-71GHz 之可能性。

本計畫認為，5G 執照架構應以能提供彈性化頻譜接取為主。另外有關創新應用垂直場域執照議題，本計畫建議透過放寬商業實驗驗證規範，短期內應可符合創新垂直應用業者之需求，長期則視國際發展趨勢，再行評估是否劃定特定頻譜供垂直創新產業之專網使用。

對於物聯網、車聯網與無人機使用頻譜，經過調查後，現階段仍多以免執照為主，儘管已有部份主管機關開始討論無人機使用免執照頻譜時，可能限縮應用範圍及帶來干擾風險，然而，目前尚無

訂定無人機專用頻譜之實際案例，因此，本計畫建議持續觀察新興物聯網應用之發展趨勢，定期檢討、整備適當之頻譜資源。

本計畫認為，現階段物聯網、車聯網與無人機通訊等新興應用，仍多仰賴既有行動通訊業者之執照，或使用免執照頻譜資源。若基於促進物聯網發展之考量，認為有必要以專用執照規管，以避免干擾風險時，本計畫建議主管機關可參考英國與澳洲案例，建立專用輕度執照架構，或以技術規範方式，設定僅限特定技術使用。

三、 無線麥克風設備監理制度研析

根據本計畫研析無線麥克風推薦頻段與我國頻譜使用狀況之討論成果，建議國家通訊委員會可考慮我國數位廣播之發展現況，開放或部分開放 174-216 MHz 頻段，並視情況整合低功率射頻技術規範中現有操作頻段(227.1 - 227.4 MHz、229.4 - 230.0 MHz 與 231.0 - 231.9 MHz)，最多可擴展約 45 MHz 的操作頻段專屬分配給無線麥克風設備使用；另本計畫針對數位電視的 530 - 608 MHz 操作頻段，提出無線麥克風干擾實驗，該實驗主要研究為於何種使用情境與限制值參數的前提下，無線麥克風與數位電視可共存使用於現有的頻譜中，國家通訊委員會可考慮與參考本計畫所提出之實驗結論，進而開放或部分開放頻段未來讓無線麥克風設備使用。

本計畫已於 2018 年 10 月 19 日於高雄路竹電信技術中心二樓舉辦展示說明會，該說明會邀情各界電視先進、無線麥克風廠商、實驗室與國家通訊傳播委員會，並於說明會中作成相關結論如下：

1. 因家庭式與消費者個人所使用的無線麥克風設備，以目前低功率射頻電機技術規範所制定的 510~530 MHz 頻段已經足夠使用，本干擾實驗主要乃針對大型集會場合中無線麥克風設備頻段不敷使用而作探討。
2. 當附近無數位電視接收天線時（或接收天線在極遠處），則無線麥克風設備使用時，應距離數位電視設備 20 cm 以上。
3. 操作於 530-608 MHz 頻段的無線麥克風設備萬一發生干擾，監理機關有權廢除該無線麥克風設備之型式認證。

4. 考量電視業者對無線麥克風設備操作於 530-608 MHz 頻段仍有疑慮，會後經詢問相關麥克風設備業者，建議無線麥克風設備可操作於 614-703 MHz，該頻段於低功率射頻技術規範 2.7 節中並未禁用，且交通部頻率分配表中該頻段並無射頻業務，雖未來交通部可能規劃供行動寬頻業務使用，惟依 794-806 MHz 前於低功率射頻技術規範規定供無線麥克風使用，後於「實際場域」行動寬頻業務使用其中 794-803 MHz，並未發生「實際場域」使用 794-803 MHz 之無線麥克風干擾行動寬頻業務情形(但測試環境手機接收信號顯示約 1 格之區域且 RSRP > -96dBm，使用 794-803 MHz 之無線麥克風與手機距離大約 3 公尺處，則手機仍可與基地臺維持通訊。亦即，手機接收信號顯示 1 格以上之格區，手機與無線麥克風之距離將可小於 3 公尺)，僅有行動寬頻業務干擾使用 794-803 MHz 無線麥克風情形，爰依低功率電波輻射性電機管理辦法第 14 條規定「低功率射頻電機之使用不得影響飛航安全及干擾合法通信；經發現有干擾現象時，應立即停用，並改善至無干擾時方得繼續使用。前項合法通信，指依電信法規定作業之無線電通信。低功率射頻電機須忍受合法通信或工業、科學及醫療用電波輻射性電機設備之干擾。」，建議可提請交通部開放無線麥克風設備使用(614-703 MHz 無線麥克風最高發射限制值為 10 mW ERP)，以解決大型集會場合中無線麥克風設備頻段不敷使用問題。但考量若未來交通部可能規劃 614-703 MHz 供行動寬頻業務使用，致行動寬頻業務可能有干擾使用 614-703 MHz 無線麥克風情形，建議於 614-703 MHz 無線麥克風之包裝盒及說明書標示該辦法第 14 條，及電信法第 48 條第 3 項「國家通訊傳播委員會為整體電信及資訊發展之需要，應對頻率和諧有效共用定期檢討，必要時並得調整使用頻率或要求更新設備，業者及使用者不得拒絕或請求補償。」等規定，以兼顧決解大型集會場合中無線麥克風設備頻段不敷使用，及消費者保護等問題。

附錄一：中英文名詞對照

英文	中文
4G	第四代行動通訊技術
5G	第五代行動通訊技術
Internet of things, IoT	物聯網
International Telecommunication Union, ITU	國際電信聯合會
enhanced Mobile Broadband, eMBB	進階型行動寬頻
ultra-Reliable and Low Latency Communications, uRLLC	極低延遲與高可靠度通訊
massive Machine Type Communication, mMTC	巨量物聯網通訊
47 CFR Part 74, Subpart H - Low Power Auxiliary Stations	FCC 管理規章第 74 章第 H 節
Low Power Auxiliary Stations, LPAS	低功率輔助無線電站
Citizen Broadband Radio Service, CBRS	公眾寬頻無線服務
Spectrum Access System	頻譜接取系統
ST-2	「中新二號」地球同步衛星
Equivalent Isotropically Radiated Power,EIRP	發射功率
spurious emission	帶外輻射
intermodulation	互調變
Low Nosic Block downconverter,LNB	低雜訊降頻放大器
Guard Band	護衛頻段
Geo Distance	地理距離
International Mobile Telecommunications, IMT	行動通訊系統
Fixed Satellite Service, FSS	固定衛星服務
Band-pass Filter, BPF	帶通濾波器

Voltage Standing Wave Ratio，VSWR	電壓駐波比
Network Analyzer	網路分析儀
WG converter	導波管轉換器
the 1dB Compression Point，P1dB	1dB 功率壓縮點
matching pad	匹配器
DVB-S2	衛星電視訊號
5G New Radio, 5G NR	5G 新無線電
Integrated Receiver Decoder，IRD	衛星電視訊號接收器
Signal Analyzer	訊號分析儀
Combiner	結合器
Integrated Receiver Decoder, IRD	衛星電視訊號接收器
Low Nosic Block downconverter , LNB	低雜訊降頻放大器
Splitter	分離器
Integrated Receiver Decoder，IRD	衛星電視訊號接收器
Satellite	衛星
Satellite dish	衛星接收天線
Singal Generator	訊號產生器
Power Amplifier, PA	功率放大器
BS Antenna	基地臺天線
Electro-Magnetic Susceptibility, EMS	電磁耐受性
Federal Communications Commission, FCC	美國聯邦通訊委員會
Citizens Broadband Radio Service Device, CBSD	公民無線寬頻服務設備
SAS (Spectrum Access System)	頻譜接取系統
Registration Request	註冊請求
Grant Request	頻道確認請求
Heartbeat Request	傳輸請求
encode	編碼方式
Incumbent Audience, IA	既有使用者

Priority Access License , PAL	優先接取權
Environmental Sensing Capability, ESC	環境感測能力
Collective Use of Spectrum , CUS	頻譜集體共用
Licensed Shared Access , LSA	授權共享接取
Progarmme Making Special Events, PMSE	節目製作與特殊事件轉播服務
European Telecommunications Standards Institute , ETSI	歐洲電信標準協會
Spectrum Management Strategy	頻譜管理策略
LTE in Unlicensed band, LTE-U	LTE 免執照頻段接取
Licensed Assisted Access, LAA	輔助授權接取
Citizens Broadband Radio Service, CBRS	公民無線寬頻服務
General Authorized Access user, GAA	一般接取使用者
Customer Premise Equipment, CPE	用戶終端設備
Simple Network Management Protocol, SNMP	簡易網路管理功能
E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number, EARFCN	絕對無線頻率信道號
NMS	網路管理系統
Domain Proxy	代理人
Central Frequency	中心頻率
Transmit Expiredtime	頻段傳輸和頻段使用權到期時間
Listen Before Talk, LBT	先聽後送
Packet Data Convergence Protocol , PDCP	封包資料匯聚通訊協定
Radio Link Control , RLC	無線電連結控制
Media Access Control , MAC	媒體存取控制
Physical , PHY	實體
Radio Bearer	無線承載

Physical Layer	實體層
Service Data Unit, SDU	服務資料單元
Protocol Data Unit, PDU	協定資料單元
Segmentation and Reassembly	切割與重組
Logical channel	邏輯通道
Hybrid ARQ, HARQ	混合式自動重送請求
Energy Detection, ED	能量偵測
Carrier Aggregation, CA	載波聚合
threshold	臨界值
resource blocks, RB	資源區塊
busy state	忙碌狀態
idle state	空閒狀態
video stream	影音串流
Throughput	吞吐量
Adaptive Coding and Modulation, ACM	適應性調變與編碼
Initial Clear Channel Assessment , ICCA	初始空閒通道評估
Extended Clear Channel Assessment , ECCA	延伸空閒通道評估
defer duration , Td	延遲時間
Channel Occupancy Time , COT	通道佔用時間
Maximum Channel Occupancy Time, MCOT	最大通道佔有時間
Primary User	主要使用者
Secondary Users	次級使用者
spectrum allocation	頻譜核配
channels evacuation	跳頻
Observatory	觀測站
NTU observatory	臺灣大學頻譜觀測站
Spectral Occupancy Rate	頻譜使用率
Power Spectrum	頻譜功率
Occupancy Status	頻譜使用狀況

Spectrogram	頻譜狀況
Shannon Capacity	通道容量
licensed band	執照頻譜
unlicensed band	免執照頻譜
Markov-Chain	馬可夫鍊
transition flow	狀態轉換流程
Operator	營運商
Micro operator，μO	微型營運商
Mobile network operator, MNO	電信業者
Radio access network, RAN	無線接取網路
Guaranteed bit rate, GBR	保證速率
Non-GBR	無速率保證
Delay	延遲
Priority-oriented UB allocation algorithm, POUBA	優先權重導向分配演算法
μO’s LAA coordination module	μO 協調 LAA 模組
Controller	控制器
LB utilization & UB demand estimator	LB & UB 估計器
Remained licensed band	剩餘量
entity	個體
inference attack	電波干擾攻擊
exclusion or protection zones	禁用區或保護區
public key infrastructure	公眾金鑰設施
Information Blurred Algorithm , IBA	資訊模糊演算法
Certificate Authorities, CA	憑證機構
ITU Radiocommunication, ITU-R	國際電信聯合會-無線電通信部門
Working Parties, WP	工作小組
Task Groups, TG	任務小組
Working Party 5D, WP 5D	5D 工作小組

2019 World Radiocommunication Conference, WRC-19	2019 年世界無線電通信大會
International Mobile Telecommunications , IMT-2020	國際行動通信-2020
radio interface technologies, RIT	無線介面技術
Set of radio interface technologies, SRIT	無線介面技術集
Software-Defined Networking, SDN	軟體定義網路
Network Function Virtualization, NFV	網路功能虛擬化
Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA	非正交多重存取技術
quadrature amplitude modulation, QAM	正交幅度調變
Radio Regulations, RR	無線電管理規則
Voice over Long-Term Evolution, VoLTE	LTE 網路的語音通話服務
Multi User Superposition Transmission, MUST	多用戶疊加傳輸
LTE WLAN Aggregation, LWA	增強型 LTE 與 WiFi 載波聚合
Core network & Protocols ,CP	核心網與終端
Coordinated Multi-Point, CoMP	多點協調技術
Packet Data Convergence Protocol, PDCP	封包資料匯聚通訊協定
Radio Link Control, RLC	無線電連結控制
Effective Isotropic Radiated Power, EIRP	最大等效全向幅射功率
Institute of Electrical and Electronics Engineers , IEEE	電氣與電子工程師協會
Future Direction Committee, FDC	未來指導委員會
Edge Automation Platform, EAP	邊緣自動化平台
High-Efficiency Wireless, HEW	高效率無線標準
5G unlicensed bands,5G-U	5G 免執照頻段

high-efficiency wireless, HEW	高效率無線區域網
vehicle-to-everything, V2X	車輛對萬物通訊
Vehicle-to-Vehicle, V2V	車輛對車輛通訊
Vehicle-to-Pedestrian, V2P	車輛對人通訊
Vehicle-to-Infrastructure, V2I	車對路邊基礎設施
Vehicle-to-Network, V2N	車對互聯網
Dedicated Short Range Communications, DSRC	專用短程無線通訊技術
Cellular Vehicle-to-Everything, C-V2X	V2X 無線通訊技術
Society of Automotive Engineers, SAE	自動車工程師學會
European committee for standardization ,CEN	歐洲標準化委員會
advanced driver assistance systems, ADAS	先進駕駛輔助系統
Road Side Unit, RSU	路側基礎設施設備
On Board Unit, OBU	車載設備
Code of Federal Regulations , CFR	聯邦法規
Device to Device, D2D	設備對設備
5G Automotive Association, 5GAA	5G 汽車協會
Artificial Intelligence, AI	人工智慧
Compound Annual Growth Rate, CAGR	年複合成長率
Central Unit, CU	集中單元
Distributed Unit, DU	分散單元
Intelligent Community Forum, ICF	全球智慧社區論壇
Usage Based Insurance, UBI	保險追蹤
Business Insider, BI	商業內幕
Federal Aviation Administration, FAA	聯邦航空管理局
Business Support Systems, BSs	企業支持系統
5G Infrastructure Public-Private Partnership, 5G PPP	5G 基礎設施公私協會
European Commission, EC	歐盟委員會

Information and Communication Technology, ICT	資訊與通信科技
Key Performance Indicators, KPI	關鍵績效指標
Member States, MSs	會員國
Cloud Radio Access Networks, C-RANs	雲端通訊接取網路
multiple Radio Access Technologies, multi-RATs	多種無線接入技術
5G Verticals Innovation Infrastructure, 5G-VINNI	5G 垂直創新基礎建設
Professional Mobile Radio, PMR	專用行動通訊
Radio Spectrum Policy Group, RSPG	歐盟無線頻譜政策小組
European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, CEPT	歐洲郵政與電信監管機關會議
Government Accountability Office, GAO	美國政府審計辦公室
Transportation Equity Act for the 21st Centry, TEA-21	21 世紀交通平等法
Unlicensed National Information Infrastructure, U-NII	免執照國家基礎設施
Office of Engineering and Technology , OET	工程與技術辦公室
Aerospace Industries Association, AIA	美國航天產業協會
Unmanned Aircraft System, UAS	無人載具系統
Cellular Telecommunications and Internet Association, CTIA	手機電信與網際網路協會
low power wide area, LPWA	低功率廣域網路
Cooperative Intelligent Transport System, C-ITS	協同式智慧運輸系統
Body of European Regulators for Electronic Communications, BEREC	歐洲電子監理者團體
European Investment Bank, EIB Group	歐洲投資銀行集團
European Fund for Strategic Investments, EFSI	歐洲戰略投資基金

Active Antenna System, AAS	主動式天線系統
Total Radiated Power, TRP	天線總輻射功率
Department of Culture, Media and Sport, DCMS	英國文化媒體暨體育部
National Infrastructure Commission, NIC	國家基礎建設委員會
Advanced Wireless Technology Group, AWTG	美國先進無線技術組織
National Health Service, NHS	英國國民保健署
Rural Integrated Testbed, 5GRIT	5G 偏遠地區整合測試平台
National Productivity Investment Fund, NPIF	英國生產投資基金
Recognized Spectrum Access, RSA	核可頻譜接取
Digital Terrestrial Television, DTT	數位地面電視
Programme Making and Special Events, PMSE	節目製作與特別活動
Dynamic spectrum access, DSA	動態頻譜接取
fixed Local Multipoint Distribution Service, LMDS	固定區域多點配送服務
Space Research Service, SRS	太空研究衛星業務
Earth exploration-satellite service, EESS	地球探索衛星
National Telecommunications and Information Administration, NTIA	國家電信資訊局
Partial Economic Area, PEA	部份經濟區域
Broadcast Satellite Service, BSS	廣電衛星服務
Standard Simultaneous Multiple Round, SMR	標準型同步多回合上升標
National Broadband Network, NBN	國家寬頻網路
earth exploration satellite services, EESS	地球探測衛星業務
Technical Liaison Group, TLG	技術聯絡小組

Bundesnetzagentur, BNetzA	聯邦網路管理局
Software Defined Networking, SDN	軟體定義網路
Network Function Virtualization, NFV	網路功能虛擬化
Multi-access Edge Computing, MEC	邊緣運算
Reliable Industrial Communication Over the Air, ReICOvAir	可靠工業通訊
fixed service, FS	固定服務
wireless local loop, WLL	無線用戶迴路
Radio Spectrum Policy Group, RSPG	無線電頻譜政策群組
Site support cabinets, SSCs	輔助設施機櫃
Combinatorial Clock Auction, CCA	組合價格鐘式拍賣
Point to Point, p2p	點對點
Point to Multi-Point, PTM	點對多
Customer Price Index, CPI	消費者物價指數
Sealed Bid Combinatorial Auction, SBCA	密封組合拍賣方式
Frequency division duplexing, FDD	頻分雙工
Time division Duplexing, TDD	時分雙工
Radio Spectrum Committee , RSC	歐洲無線電頻譜委員會
Spectrum Policy Framework for Canada, SPFC	加拿大頻率政策架構
Innovation, Science andEconomic Development Canada, ISED	加拿大創新科學和經濟發展部
Earth station in motion, ESIM	行動地面站
License-exempt, LE	免執照無線設備
Power flux density, PFD	功率通量密度
Generalized Axiom of Revealed Preference ,GARP	廣義定理偏好揭露法則
Alliance for Internet of things Innovation, AIOTI	物聯網創新聯盟

Digital Single Market , DSM	數位單一市場
Intelligent Transport System, ITS	智慧交通運輸系統
Professional mobile radio networks, PMR	專用行動網路
Electronic Communication Service, ECS	電子通訊服務
Communication Based Train Control, CBTC	通訊類列車訊號控制
Transmit Power Control, TPC	傳輸功率控制
Civil Aviation Authority, CAA	民用航空管理局
Business Radio, BR	商業無線電
Statutory Instrument, SI	法規命令
Civil Aviation Safety Authority, CASA	澳洲民用航空安全管理局
Unmanned Aircraft System, UAS	無人駕駛飛機系統
Effective Isotropic Radiated Power, EIRP	有效全向輻射功率
Narrow-Band-IoT, NB-IoT	窄頻廣域物聯網網路
low-power wide area, LPWA	低功率廣域
Australian Driverless Vehicle Initiative, ADVI	澳洲無人駕駛車輛倡議
Department of Planning, Transport and Infrastructure, DPTI	規劃、運輸及基礎設施部
Vehicle to X, V2X	車對所有人事物
Low Interference Potential Devices, LIPD	低干擾潛在設備
low power wide area, LPWA	低功率廣域網路
radio local area networks, RLAN	無線區域網路
private automatic branch exchanges, PABX	無線專用自動分支交換機
industrial, scientific and medical, ISM	工業、科學和醫療
Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, ARPANSA	澳洲輻射防護與核能安全局
Effective Isotropic Radiated Power, EIRP	有效全向輻射功率
low power wide area, LPWA	低功率廣域網路

Public Protection and Disaster Relief, PPDR	公共安全災防
Proof of Business, PoB	商業驗證
Low Power Auxiliary Stations, LPAS	低功率輔助無線電站
Aerospace and Flight Test Radio Coordinating Committee, AFTRCC	航空航天和飛行測試無線電協調委員會
Aeronautical Mobile Telemetry	航空移動遙測
Assistive Listening Devices, ALD	輔助收聽設備
Bandwidth of the Emission	發射頻寬
Broadcast Network Entity	廣播網路實體
Body Worn Microphone	穿戴式麥克風
Cable Television System Operator	有線電視系統營運商
Crystal Controlled	晶體控制發射器
Duplex Gap	雙工間隙頻段
Electronic Communications Committee, ECC	電子通訊委員會
Electronic News Gathering, ENG	電子新聞採集
Electromagnetic Susceptibility, EMS	電磁耐受性
Emission Mask	遮罩標準
Federal Communications Commission, FCC	聯邦通訊傳播委員會
Field Strength Contour	場強輪廓
Frequency Deviation	頻移量
Frequency Hopping	跳頻
Frequency Stability	頻率穩定度
Frequency Sweeping	掃頻
Frequency Synthesized	頻率合成技術
Frequency Tolerance	頻率容差量
Fundamental Emission	主波發射
Handheld Microphone	手持式麥克風
Intentional Radiator	意圖發射設備
Low Power Auxiliary Stations, LPAS	低功率輔助無線電站

Maximum Deviation	最大允許的偏差量
Mobile/Fixed Communication Network, MFCN	行動/固定通訊網路
Motion Picture Producer	電影製作與拍攝
NCC	國家通訊傳播委員會
Occupied Bandwidth	佔用頻寬
Outside broadcasting, OB	戶外廣播
Police, Fire and Emergency Services	公共安全通信
Program Making and Special Events Applications, PMSE	節目製作與特殊服務活動
Propagation Curve	傳播曲線
Protected Contour	保護曲線
Services Ancillary to Broadcasting, SAB	輔助廣播服務
Services Ancillary to Program making, SAP	服務輔助程序製作
Service Band	服務頻段
Spurious Emissions	混附發射
Television Program Producer	電視節目製作
The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, CEPT	歐洲郵電行政大會
The European Telecommunications Standards Institute, ETSI	歐洲電信標準協會
Unwanted Emissions	不必要之發射
White Space	白頻段
White Space Database	白頻段資料庫
Wireless Audio Instrument Links	無線音訊連接設備
Wireless Cueing Equipment	無線指示設備
Wireless In-ear Monitors	無線監聽耳機
Wireless Intercoms	無線對講機
Wireless Microphone	無線麥克風

附錄二：審查會議與管考會議辦理情形

本計畫於 107 年 8 月 1 日、9 月 7 日與 11 月 19 日分別接受通傳會期中審查、管考工作會議與期末審查會議，研究團隊已針對審查建議，配合修正計畫內容。以下分別呈現期中審查建議、管考工作會議與期末審查建議之辦理情形對照表。

期中審查意見

審查建議	辦理情形
一、分項一： （一）對於 3.5GHz 頻段內 5G 與 FSS 間干擾評估，包括香港、日本、加拿大均有相關研究或實驗，請整理我國與其他國家於研究結果及量測作法上的差異分析。 （二）考量未來實際可能布建與使用情況，建議增加二以上之多干擾源量測，以及分析手機為干擾源時的情境。 （三）由於偏軸角與直觀上實際場域仍有落差，建議模擬結果仍應以干擾源與衛星接收站間的高低差 (或 elevation/ azimuth angle) 及水平干擾保護距離呈現。此外，如何驗證模擬結果為正確？模擬結果因何只呈現 4 種偏軸角？量測結果可否驗證或反推模擬結果？亦希望能再作補充。 （四）報告說明 SAS 資料交換介面實作係基於 WInnF 發布之規範，由於前期計畫亦完成了 LSA 介面實作，請問與 FCC 現行 CBRS/ CBSD 相關規範或歐盟 LSA 資料交換介面之差異？ （五）報告提及 ESC 必須要能感測到軍方「將」要使用頻段，	（一）：香港監理機關於 2018 年 3 月發布評估報告，主要針對衛星 C 頻段開放行動通信共用之干擾保護議題進行研究，該報告提出設置 100MHz 之保護頻寬，於衛星地面接收站增設帶通濾波器作為干擾抑制措施，以及 5G 基站設置規範等相關建議。本計畫經與主管機關及產業專家共同進行研析，已參酌相關量測作法，進行增設干擾改善措施之評估測試實驗。 （二）：本計畫於增設干擾改善措施之評估測試項目，已增加二以上之多干擾源之量測分析，詳參期末報告第二章第二節。考量 5G 商用基站、終端設備尚未問世，現階段以確保量測作法之完善妥適為先，俾於未來設備取得後能迅速完成實證量測。 （三）：已於建議事項提出干擾協調區域之作法上，以水平距離進行說明。 （四）：美國 CBRS 頻段共享機制之 SAS 資料庫需能處理不特定多數共享設備之動態頻率需求，相較於 LSA 機制之 LSA 頻譜庫，兩者之資料交換介面雖均

可否說明在軍方還沒發射時，如何感測？	參採國際通用 W3C 相關標準(如 URI、HTTP 等)，惟在資料庫內部處理程序之比較分析，SAS 資料庫應比 LSA 頻譜庫更為複雜。 （五）已修正文字說明。
二、分項二： 諸多國家仍持續進行 5G/IoT 頻譜整備相關工作，例如：FCC 甫於 7 月份提出 NPRM: Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum Between 3.7 and 24 GHz；請團隊持續追蹤相關動態，於期末報告作必要之補充說明。	已補充於第七章。
三、分項三： （一）國內過往屢有戶外活動場合中出現麥克風沒有聲音，突顯被干擾蓋台的問題；另據了解，在電視台攝影棚內同時有 2、30 隻麥克風卻無干擾，其作法係引進他國規格頻段之麥克風來使用；換句話說，業者擔心被蓋台，不使用合於國內現行法規之麥克風設備，顯見相關規範已不敷實際使用及管理需求。 （二）無線麥克風使用免執照頻段，其本身可能為干擾源或受干擾源。支援多頻段的麥克風通常會先掃頻，確認頻道沒干擾才會用。有些地方甚至會使用到 DECT 系統來當麥克風。綜上，希能在實驗設計中放入各種抗干擾機制的研究分析。	（一）：已於期末報告提出開放無線麥克風頻段的結論，未來 NCC 可依據該結論要點並制定出相關規範。 （二）：已於期末報告提出白頻段設備和 DECT 設備的技術規範，均有包含掃頻的技術規範可供未來 NCC 開放無線麥克風參考。
一、溫委員志宏： （一）衛星通訊可接受的 performance 是基於很多的參數、條件，暫時還看不出來偏軸角還是水平距離會 dominate。在實驗	（一）：經實驗發現，將干擾功率控制低於臨界值，方能確保衛星節目接收之品質。本計畫已參酌香港相關量測作法，進行增設干擾改善措施之評估測試實驗。

場域的選擇上，75 公尺距離的干擾源擺放處是如何決定出來的？量測要做到何種程度，才能得到較完整數值進行分析？建議再多思考一下，亦可參考國外作法。 （二）有關整理歐盟與美國麥克風使用頻譜之高、中、低推薦度的作法可取，接續從高推薦度所列頻率深入分析，雖然不見得都適用於國內，仍期盼最後能依照國內使用需求提出更明確的建議。 （三）對於免執照頻段共享之模擬分析，係基於一些簡單假設條件，並觀察如傳輸流量(throughput) 等數據變化。若從所提出演算法的判斷式來看，User traffic pattern、Scheduling 應該都有關係，是否能再予以明朗化？ （四）關於 5G/IoT 選用頻段的建議，或可參照麥克風子項作法，提出高、中、低不同級別的推薦。 （五）縮寫對照表、參考文獻的寫法要再調整。	（二）：於期末報告中有提出開放無線麥克風頻段的結論，未來 NCC 可依據該結論要點並制定出相關規範。 （三）：免執照頻段設備係基於一致的技術規範，如 LBT，達到共存機會使用。經研究分析 LAA 競爭窗口參數設計，本計畫研發一套排程演算法與可選擇公平共存或效能優先模式之具頻譜管理的網管示範系統，如期末報告第五章第三節所述。 （四）：本計畫參考國際經驗與國內利害關係人回應意見，提出建議之候選頻段與釋出時機，如第八章各節所述。 （五）：已調整期末報告附錄。
二、陳委員文字： （一）麥克風干擾可能情境要考量得更全面，是否只有數位電視干擾？或許還有其他可能的干擾訊號源，需要了解。麥克風若是採數位調變的話，200K 頻寬其實還滿大的。美國麥克風頻段不見得全部可用，請釐清當中是否還包含了其他使用。 （二）5G/IoT 頻譜整備部份已整理了許多國家資訊，但比較偏供給面。是否可從當中國家找出案	（一）：目前干擾實驗所量測的 530-608 MHz 頻段，主要是數位電視的操作頻段。關於期中報告所推薦的高推薦度頻段，於期末報告中有分析與對應我國目前的使用狀況，並以此為前提去進行干擾實驗。 （二）：已補充 5G 應用案例於第六章。 （三）：已補充於第二章各節。 （四）：已配合修正期末報告，縮小排版間距。

例，俾便了解其需求面與供給面的相關論述。 （三）在干擾評估部份，模擬結果雖可參考，但由於難以掌握所有環境變數，所以重點還是在實測。從使用的 LNB 工作頻率範圍來看，干擾源頻點究竟是鄰頻或同頻 (in-band)，可能還要釐清。 （四）排版需再調整。部份頁面留白過多，行距不宜過寬，圖表及標題所代表的意義要明確。推導公式要有編號及出處。	
三、陳委員玟良： （一）動態頻譜共享概念驗證部分，與團隊已有研究成果要有區隔性，比方說強調對哪部份的測試或研究，是跟先前不同的。 （二）為了保持與國際接軌，在頻譜共享資料庫方面的研究仍屬必要。惟由於其他國家頻譜共享頻段在我國可能有所不同，未來假設要實施動態頻譜共享，希望團隊能提出因應的具體建議。 （三）已有國內業者想要發展 LAA，未來在監理上有沒有特別需要注意的部份？部份研究宣稱 LAA 對 WiFi 影響顯著，是否真的如此，請協助釐清。 （四）5G 在使用情境及頻譜釋照作法勢必與 4G 不同，希望從整理國家的釋照情形當中，找出有哪些是必須要注意的重點，讓主管機關未來在規劃釋照時，能從其他國家經驗中得到啟發。 （五）已知歐盟在 5G 高頻段傾向使用 26GHz band，韓國、美國則傾向 28GHz band，此二頻	（一）：前期研究係以歐盟 LSA 機制為題，完成共享使用者清空、移頻之概念性驗證與時延評估，以及同、異質網路之共存效能及干擾評估等實例。本計畫經追蹤國際動態頻譜共享機制最新發展動態，當中以美國公眾寬頻無線服務 (Citizens Broadband Radio Service，CBRS) 頻段之法令規範及產業生態體系之發展最為突出，故於進階概念驗證選擇 CBSD 與 SAS 間之資料交換規範進行實作，已完成包括註冊請求、頻道請求以及傳輸請求等處理程序，能在不特定數量之 CBSD 間進行頻道選擇與動態指配。 （二）：本計畫藉由規範實作與概念驗證之執行，對頻譜共享資料庫之服務與功能設計已有更多了解；後續規劃透過場域實證，檢視服務及商業模式可行性，並參考國外頻譜共享機制之落實，就我國所需法規配套進行研擬，以建構頻譜共享所需之條件環

段的選擇有何影響？我國未來釋照是要跟中頻段一起考量還是分開處理？後續研究請再提供一些意見。	境，落實電信管理法草案頻譜彈性使用之規劃目標。 （三）：鑒於 3GPP 標準制定組織持續增強執照輔助接取（LAA）技術之演進發展，本計畫增建 LAA 小細胞基站測試環境於頻譜共享接取實驗平臺，已可進行 LAA 與 WiFi 共存之干擾量測與 QoS 分析，並利用同樣採取先聽後送（Listen-before-Talk, LBT）通道存取機制的 LAA 競爭窗口參數設計，開發可選擇公平共存（Fairness）或效能（Efficiency）優先模式之網管系統，可供主管機關及業者參考。 （四）：已整理各國 5G 頻譜政策重點於第八章。 （五）：已提供我國 5G 高頻段釋出政策重點於第八章。
四、蔡委員炳煌： （一）衛星干擾、麥克風干擾是本會關切的重要課題。希望後續在辦理研討或訪談時，能有機會了解專家學者的意見，於期末報告補充對相關議題的看法與建議。 （二）在舉辦研討會當中，雖然與會者各言爾志，團隊仍要儘量地綜整歸納，並做出小結與建議。 （三）期中報告內容雖然豐富，但各分項由不同人負責，寫法亦不同。例如，前五章均有小結，但六到八章就沒看到小結或結論分析。這些小結、結論分析，對委託機關來說是最重要的。希望	感謝委員建議，說明如下： （一）：有開過干擾實驗展示說明會，說明會中之建議已在期末報告結論中。 （二）：已整理與會者與談建議。 （三）：已於第六章至第九章中整理小結。

在期末報告中能看到更完整的結論、建議及相關論述。	

管考工作會議

審查建議	辦理情形
一、建議就下列事項補充闡述 5G 頻譜整備之內容並納入報告中： （一）請補充說明歐盟對於 5G 實驗案例推廣計畫中垂直業者之詳細論述。 （二）請將各國不同頻段之釋出時程整理為總表，同時比較各國與我國間之差異說明。 （三）請增列調查研究後之建議方案，並提供政策方向以協助本會做政策判斷，如提出適合我國釋出 5G 頻譜資源之最有利時間。 （四）請增列 5G 頻譜整備之 milestone(包含今年、去年、未來 2 年之工作目標)，及中頻段、高頻段、實驗場域、頻譜共享等之期程，並配合每年滾動式之修正。	感謝委員建議，辦理如下。 （一）已補充於本計畫第六章第五節。 （二）已整理於本計畫第七章第三節與第八章第一節。 （三）已整理於第八章第一節。 （四）已補充於第一章第三節。
二、請將 micro operator 納入研析；韓國、日本已將 5G 運動場館類應用在奧運展示，請再補充說明法國、芬蘭等國在歐盟之應用場域規劃及其可行性。	感謝委員建議，已補充於第六章第四節、第五節與第六節。
三、我國頻譜共享政策應將國內產業需求納入研析，同時蒐集並瞭解國際頻譜共享之現況。	感謝委員建議，本計畫擬於明 (108) 年持續蒐集掌握國際頻譜共享最新發展動態，完成進一步將國內產業需求納入頻譜共享政策之研析。
四、研析 5G 頻譜國外政策可做為政策制定參考，惟國外業者與我國業者之情境不同，建議應考量國內營運要素，併同納入報告中詳予說明。	感謝委員建議，已整理於第八章第一節。
五、建議將 5G 頻譜規劃在不同頻段之應用納入，例如在應用實例下，6GHz 以下跟毫米波頻譜之考量點可能不同。	感謝委員建議，已補充於第七章第一節各國 5G 頻譜政策研析。

期末審查會議

審查建議	辦理情形
主席蔡炳煌委員 1、P.735 第十章結論與各項研究成果之「第一節支援通傳會臨時交辦事項」標頭，請增列「執行成果」。增列計畫執行成果摘要，例如簡報 P4 之表格。 2、請依審查委員建議修正及工作小組審查一件調整，並如期完成完整期末報告。	1、已將執行成果進度圖補充於第一章執行進度。 2、感謝委員指導。
溫志宏委員 1、各項工作皆已如期完成，成果豐碩，執行單位之努力值得肯定。 2、簡報檔第 5 頁有關「我國 5G 中頻段與衛星共存之政策建議」第二點「5G 基站加裝濾波器」係指傳送端抑或接收端？同理「或規範帶外輻射限值為-52dBm/MHz」係指傳送端或接收端？若為傳送端，對衛星接收端而言，欲抑制來自 5G 之干擾，必須是第一點及第二點皆需加裝？抑或只需加裝其中之一？	1、感謝委員指導。 2、為確保 ST-2 於所建議之護衛頻寬及保護距離下仍能正常運作，對衛星接收端加裝濾波器實為必要；另考量 5G 訊號進入衛星接收頻道的混附發射亦為影響主因，故建議於干擾保護協調區域中，視實際需求同步於 5G 基站傳送端加裝濾波器，以充分滿足共存所需條件。 3、600MHz 頻段與 700MHz 頻段未來主要使用設備應為行動寬頻設備，非本次計畫考慮

3、我國無線麥克風設備目前皆為免執照使用，於類比電視頻道回收之後續使用，不論是為有照操作頻段，或無照操作頻段（如 600MHz、700MHz 等），是否會發生新應用與無線麥克風設備之干擾？或無線麥克風彼此間之干擾？若有，如何規劃防患措施？ 4、縮寫對照表仍有補強空間（宜強化其完整性） 5、參考文獻的完整性仍有補強空間，譬如第 355 頁倒數第二段「2017 數位經濟法」並未出現在參考文獻中；第 639 頁之倒數第 6 行所述「291」格式，與其他文獻註解格式不一致，且所列 291 文獻僅是網頁位址，也未出現在參考文獻清單中，建議於定稿版中依一般期刊或書籍之參考文獻寫法撰寫，以改善其可讀性。 6、部分文章敘述與圖表顯示不一致，建議於定稿版中修訂好。（譬如 P.639-640 敘述）	與建議頻段，干擾實驗主要應用頻段為 530-608MHz，而若交通部未來開放該頻段(600-700 MHz)給無線麥克風使用，NCC 需有額外的考量與評估。 4、將於完整期末報告中補充。 5、將於完整期末報告中修訂。 6、已更改文字敘述，並說明該資料來源。
曾文方委員	1、已修正相關標題。 2、已分別修正如下：

1、章節目錄一致性：第五及第六章是否比照第二、四章，最後一小節改為「結果分析與建議」 2、第六章第六節「微型業者運作案例」： (1) 請確認提到的芬蘭使用 2.3-2.4 GHz 頻段發展動態頻譜共享保護機制，及 3.4-3.8GHz 頻段的應用驗證係為商用或實驗階段？ (2) 請增加芬蘭 107 年 3.5GHz 釋照規則中，有關垂直場域應用之規範。 (3) 法國規劃 2.6GHz 的 TDD 頻段（2570-2620MHz）供專用 LTE 網路使用，請補充相關申請資格與相關規定。 (4) 請補充德國有關 3.5GHz 頻段區域執照規劃。 (5) 排版問題 (6) 小節與建議中是否加入監理機關對於滿足垂直場域需求之綜合考量（unlicensed spectrum、公平競爭）。	(1) 芬蘭為發展動態頻譜共享應用，陸續在 2.3-2.4 GHz 及 3.4-3.8GHz 頻段進行相關實驗，包括: 芬蘭國家技術研究中心（VTT）於 2013 年 4 月在商用 4G LTE 網路下運用業者之 2.3-2.4 GHz 頻段，成功進行全球首次的 ASA/LSA 實境場測（Live Trial）運作展示。另外，2017 年芬蘭產業界(Nokia、Fairspectrum)也成功驗證將 LSA 演進(LSAevo)、網路架構及自動化工業微型業者(industrial automation Micro-operator)概念應用在 3.4-3.8 GHz 頻段，以解決頻譜碎片化情形，讓會員國有更多的頻段可運用在 5G 創新服務上。相關內容已補充修訂於期末報告。

3、 排版部分：p.314、p.536（圖）	(2) 已增補相關規範； (3) 法國監理機關 Arcep 於 2017 年 11 月暫時性配置 (Temporary Allocation) 2.6 GHz TDD（2575 - 2615 MHz）實驗頻段，供業者於法國機場進行專業移動式無線（PMR）網路驗證，為期 6 個月，以便為未來巴黎所有機場布建 LTE 專業網路(LTE Pro Network)提供機場營運有效覆蓋及行動寬頻服務。同時，Arcep 也尋求利益相關者有關 2.6 GHz TDD 頻段 40 MHz 配置給 LTE 專業移動無線電（PMR）網路使用徵詢意見，預計 2019 年將進行該段頻譜的拍賣。相關內容已補充修訂於期末報告； (4) 已增補相關文字。

	(5) 已修正。 (6) 已增補相關文字。 3、 已修正。
陳玟良委員 1、 書面報告內容豐富，多數章節以實驗研究成果為主，各節結論仍偏向技術上的討論，與計畫全程效益目標、市場需求、法規面、業務模式等面向之建議較少，建議可再補強。 2、 書面報告頁數計 838 頁，為利閱讀，建議文章前面應先整理重要研究結果（例如審查會議簡報已呈現本研究結果）之考慮摘入。 3、 出國蒐集資料 p.833，摘述 TDD 護衛頻寬作法，建議參考內涵，於報告內容補充，俾利本會監理之依據。	1、 已補充我國行動寬頻市場相關論述。 2、 完整期末報告時將於文章起始處呈現提要與重要研究成果。 3、 將於完整期末報告進行補充說明。
蘇思漢委員 1、 P.9 衛星每 36MHz 到達地面電波強度約-119dBm，P.61 說半徑 150 公里內，CBSD 對 FSS 的干擾不能超過-129dBm/MHz，對於衛星地面站的干擾比-119dBm 要更低，兩者有無關聯性？	1、 由於衛星訊號抵達地球表面時已經非常微弱（約為-119dBm），規範 CBSD 不得逾越干擾限值（如報告所提，-129dBm），才不會對衛星通訊造成干擾；此為兩者之主要不同處。

2、P.13 之 Dipole 的全向性小細胞基站天線，是業界會大量使用的形式嗎？p.63 提到用商用室內型的小細胞基站。 3、P.276 之 Aquila 無人機的傳輸鏈路用什麼方式，穩定嗎？ 4、P.373 之其他模式，1800MHz 之保護頻段就是其中一個例子，目前的 1800MHz 是否算 WRC 規劃的 5G 頻譜？在 P.438 日本的案例，要求 1.7GHz 電波涵蓋率非常高，這種目前 4G 使用的 1.8GHz、2.1GHz 頻段，適合作 5G 的何種應用？	2、為能將訊號有效地覆蓋於室內環境，除非另有特殊用途考量，不論是 Wi-Fi 分享器或是小細胞基站，只要是用於室內，幾乎皆使用 Dipole 全向性天線。 3、Aquila 無人機使用之傳輸鏈路為 LTE 網路。 4、目前 1800MHz 頻段已被列為 3GPP 5GNR 頻段。
陳文字委員 1、第二章在 ST2 受干擾之測試中（P.47），在不同偏軸角下，ST2 耐干擾之功率不同，若量測點在 F92-30 之 A 點，則上述功率之不同，需進一步說明。 2、第三章目的在評估 FSS 受 CBSD 干擾情形（IA 受 PAL 干擾），但此處皆在評估 CBSD 受干擾情形，似有不妥，請解釋之（P.63）。在	1、將於完整期末報告補充說明。 2、該實驗設計係為延伸探討 CBSD 之間可能存在之干擾風險，將可作為後續研析共享頻率資料庫干擾防範與處理程序之參考；E4438C ESG 經開啟數位調變模式，可支援 10MHz，一般模式下則最大支援 4MHz。

P.67 中，E4438C ESG 只支援 4MHz，和 p.12 可設至 10MHz 不同，請說明 3、P.88 頁之測試，不太符合 FDD 之條件，請說明之。 4、P.69 頁測試頻率不在 3550-3700 MHz 間，請說明。 註：3550-3700MHz 為 CBRS 之頻段 5、動態頻譜接取之概念驗證，通過之準則須擬定。 6、對未來無人載具使用之頻譜，建議由需求面及執照類別進行探討。 7、第 9 章之測試中，表 9-46 之 C/N 值過小（-333~-53 間）請說明。 並請注意在 TV 系統有加衰減器，此作法會增加 Noise，降低 C/N。是否影響結果，請說明。 8、第 9 章似乎未進行無線麥克風受干擾情形，請說明之。	3、實驗使用基站為支援 3.5GHz 頻段，採 TDD 模式運作。 4、實驗使用基站目前僅能支援 3GPP Band 42 (3400-3600 MHz)，尚有 3550-3600 MHz 頻率範圍與美國 CBRS 交疊。 5、研究團隊參考歐盟 ECC 經驗，該組織初步探討各國主管機關對於無人載具之頻譜整備與執照類別，現階段多數國家仍以免執照頻譜處理，未來隨著需求成長，預期應有更多相關討論與整備措施可供參考。 6、無線麥克風的窄頻(200 KHz, N)訊號操作在數位電視訊號(6MHz, C)的 Band-Edge 上(N 高於 C)，電視畫面第一次出現的 C/N 值如同報告中所示，該 C/N 值等同目前數位電視設備的解調能力，除了本次所呈現的電視設備外，也量測過其他廠牌的電視設備進行重複驗證。TV 訊號路徑上有加入衰減器

	以控制 LIVE 訊號為-76dBm（法定接收最低值），衰減器會小幅提高 noise，使電視設備解調困難度增加，但是必須注意，此時麥克風訊號將更容易干擾電視訊號，意味著麥克風設備使用距離必須小幅度增加，這會使未來開放無線麥克風設備會有更加安全的使用距離。 7、 通傳會所交付的研究主軸為開放無線麥克風設備的操作頻段，並評估開放後是否會影響現有射頻設備，是以干擾實驗中無線麥克風為干擾源，數位電視設備為被干擾源；且於 2014-2016 年間，因應 LTE 頻段的開放，NCC 已經做過多次無線麥克風設備被干擾的實驗，這些實驗報告同時包含各種使用情境與實際場域建置，證實無線麥克風設備被干擾，實際上大型集會也不斷出現麥克風訊號被干擾的情況，是

	以本計畫並未驗證無線麥克風被干擾的實驗。

參考文獻

一、 中文文獻

[1] 中華民國低功率射頻電機技術規範。

[2] 中華民國無線電頻率分配表。

[3] 社團法人台灣數位電視協會官方網站之中華民國數位電視頻段 http://www.dtvc.org.tw/View_01.html

[4] Digitimes (2018), 丹佛市投資 IoT 技術，改善交通與道路安全, available at: https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=30&id=0000521850_LXI7IWGU605Q8HL9A4AIO。

[5] Digitimes (2018), 改善無人機影像追蹤痛點－臺大 CES 團隊推無線電波追隨功能, available at: https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&id=0000522464_SUB5WDOE568FB055M7BHY。

[6] Digitimes (2018), 南韓加速推動智慧城市，世宗、釜山將建國家示範都市, available at: https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=35&id=0000523942_YESLH0X734D7PZ3Y5YA5H。

[7] Digitimes (2018), 美大學研究團隊擬以無人機來監控羊群, available at: https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=65&id=0000523853_LBD7J6AI64RU6H2TEKE78。

[8] Digitimes (2018), 格鬥遊戲電競 5G 實際測試能滿足需求, available at: https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?CnlID=1&cat=60&id=0000523888_XQ97TZFY9T6N517DOIRWB&ct=1。

[9] Digitimes (2018), 開放資料為智慧城市關鍵，芝加哥創新及效率呈典範, available at: https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=35&id=0000521704_AFA6T3ZW1BV62X3V20ESA。

[10]Digitimes (2018), 搶攻智慧城市新亮點 光寶、歐司朗分頭布局, available at: https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?CnlID=1&cat=&id=0000524119_6I12TN2L0NVJ5ELN8AIUC&ct=1。

[11]Digitimes (2018),西班牙政府與 Mobileye 合作，打造適合自駕車道路環境, available at: https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=30&id=0000522738_ICE6IDL949K0657YVWHS6。

[12]Digitimes (2018),澳洲成功以 4G 網路測試 V2P 技術，參見：https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=30&id=0000509358_opo201xj65n97f7ehh1bq。

[13]Digitimes (2018),澳洲政府建立工業 4.0 測試實驗室，參見：https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=10&id=0000511227_21w3f60j19txfy8tqtogx。

[14]MSN 財經：澳洲進行全球首個 5G 行動網路公眾測試，參見：https://goo.gl/xruUC7。

[15]中國時報(2017)，陶喆金曲超糗！「連 3 麥克風被消音」原因找到了，參見：http://www.chinatimes.com/realtimenews/20170701003025-260404。

[16]台灣經貿網：澳洲電信公司率先全球開始測試 5G 無線網路系統，參見：https://goo.gl/8cGgQH。

[17]通傳會(2014)。為 4G 部分頻段與無線電麥克風頻段重疊疑慮，NCC 積極辦理相關配套措施，參見: https://www.ncc.gov.tw/chinese/print.aspx?table_name=news&site_content_sn=8&sn_f=32092。

[18]吳禎庭, "共享頻譜資料庫對推斷式攻擊之位置隱私保護方法研究", 臺灣大學電信工程學研究所學位論文, 2016, 1-77。

[19]澳洲 Telstra 推出 NB-IoT，參見：http://iot.ofweek.com/2018-01/ART-132200-8130-30190963.html。

[20]蘋果日報(2017)，1999 當機竟達 2 小時 柯：最好的醫生開刀死亡率也不是零，https://tw.appledaily.com/new/realtime/20180310/1311956/。

二、 日、韓文文獻

[1] Connected Car 社会の実現に向けた研究会（2017），〈Connected Car 社会の実現に向けて(概要)〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000501373.pdf>。

[2] ＩｏＴ新時代の未来づくり検討委員会（2018），〈事務局資料〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000529641.pdf>。

[3] 小林優多郎（2018），〈もう１つの“平昌五輪”、サムスン電子が「初公開」5G タブレットで実証実験〉，Business Insider，<https://www.businessinsider.jp/post-162173>。

[4] 山本竜也（2017），〈VISA、NFC 搭載「おサイフ手袋」を発表。平昌オリンピック会場で手袋をかざして決済可能に〉，engadget 日文版網站，<https://japanese.engadget.com/2017/11/09/visa-nfc/>。

[5] 山田祥平（2018），〈平昌オリンピックで見てきた 5G や VR〉，engadget 日文版網站，<https://pc.watch.impress.co.jp/docs/news/1106389.html>。

[6] 山根博士（2018），〈世界初の 5G タブレットを触った！ 平昌オリンピックでサムスンが実機を展示〉，engadget 日文版，<https://japanese.engadget.com/2018/02/12/5g>。

[7] 中村隆治（2018），〈5GMF の活動紹介〉，http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/equ/mra/pdf/29/j/11.pdf。

[8] 公益財団法人東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員會（2017），《東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会周波数基本計画》，網址：https://tokyo2020.org/jp/games/plan/environmental-arrangement/data/basic-spectrum-plan-JP.pdf。

[9] 占部雅一（2018），〈平昌五輪で「5G」をプレビュー　そこで見えた課題と、東京五輪への要望〉，<http://www.itmedia.co.jp/mobile/articles/1802/21/news075.html>。

[10]韓國未來部（2016），〈4차 산업혁명에 대응한 중장기 주파수 종합계획인「K-ICT 스펙트럼 플랜」확정〉，網址：<https://www.konkuk.ac.kr/do/MessageBoard/ArticleFile.do?id=11683748>。

[11]杉野勲（2018），〈電波政策の最新動向〉，網址：<https://www.kiai.gr.jp/jigyou/h30/PDF/0606p1.pdf>。

[12]周波数オークションに関する懇談会（2011），〈周波数オークションに関する懇談会報告書〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000146432.pdf>。

[13]砂田篤子（2012），〈周波数オークションをめぐる議論〉，《調査と情報》，国立国会図書館第 750 号，網址：<http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_3489044_po_0750.pdf?contentNo=1&alternativeNo=>。

[14]科學技術情報通信部（2017），〈초연결 네트워크 구축으로 자율주행차·스마트시티 기반 닦는다〉，網址：<https://goo.gl/6mQBy4 >。

[15]科學技術情報通信部（2018），〈이동통신(IMT)용 주파수할당 공고〉，網址：<https://goo.gl/6MWpFU>。

[16]情報通信審議会 ＩｏＴ新時代の未来づくり検討委員会（2018），〈未来をつかむ TECH 戦略〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000548068.pdf>。

[17]情報通信審議会（2017），〈「IoT 総合戦略（改訂）」案概要〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000493847.pdf>。

[18]情報通信審議会情報通信技術分科会（2018），〈5.2GHz 帯及び 5.6GHz 帯を使用する無線 LAN の技術的条件〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000532610.pdf>。

[19]規制改革推進会議（2017），〈電波割当制度の改革〉，網址：< https://goo.gl/NjZEQJ >。
[20]総合通信基盤局（2018），〈第４世代移動通信システムの普及のための特定基地局の開設計画の認定について〉，<http://www.soumu.go.jp/main_content/000544012.pdf>。
[21]総合通信基盤局電波部電波政策課（2017），〈「周波数再編アクションプラン(平成 29 年 11 月改定版)」の公表〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000516209.pdf>。
[22]廣谷徹（2018），〈2020 年東京五輪にむけて 5G サービスの実現は可能か？〉，<https://blog.goo.ne.jp/imssr_media_2015/e/613da7ebaa98d93fa6db5bb15c2bed9e>。
[23]總務省移動通信課（2018），〈LPWA に関する無線システムの動向について〉，網址：<http://www.soumu.go.jp/main_content/000543715.pdf>。
[24]韓國頻率促進協會網站：< https://goo.gl/BDyHzr >。
[25]박지성（2018），〈주파수경매, 3 조 6000 억원에 종료...이통 3 사 5G 전략 본격화〉，etnews，網址：<http://www.etnews.com/20180618000354>。

三、 西文文獻

[1] 3GPP (2016), High-level Features and Studiies, www.3gpp.org/images/presentations/optimised_poster.pdf.
[2] 3GPP (2010), Technical specification group radio access network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), further advancements for E-UTRA physical layer aspects (release 9). Technical report, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), March 2010.
[3] 3GPP (2015), Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum,3GPP TR 36.889, May 2015.

[4] 3GPP TR 36.893 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); 700MHz band for Arab Region.
[5] 47 CFR 15.717 - White space devices that rely on spectrum sensing https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=3437b1ccb4bfc915385716218f45f73c&mc=true&node=sp47.1.15.h&rgn=div6#se47.1.15_1717
[6] 47 CFR Part 15 Subpart D - Unlicensed Personal Communications Service Devices. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/part-15/subpart-D
[7] 47 CFR 15.209 - Radiated emission limits; general requirements. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=6c475bba4138c0df1864a530a3a88774&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.15_1209
[8] 47 CFR 15.215 Additional provisions to the general radiated emission limitations. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=6c475bba4138c0df1864a530a3a88774&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.15_1215
[9] 47 CFR 15.236 - Operation of wireless microphones in the bands 54-72 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz, 470-608 MHz and 614-698 MHz. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=87420ebd2544faccbe8066460091c6e3&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.15_1236
[10] 47 CFR 15.707 - Permissible channels of operation. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=ad36553095e32335b6878f805ebe8d48&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.15_1707
[11] 47 CFR 15.715 White space database administrator https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=2bf1440516e8081e8041794b94cec270&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.15_1715
[12] 47 CFR 2.1049 - Measurements required: Occupied bandwidth. https://www.ecfr.gov/cgi-

bin/retrieveECFR?gp=1&SID=50ddf69ff5bb7f0bb11f368b3b0d62d4&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.1.2_11049
[13]47 CFR 27.4 - Terms and definitions https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=c6e0fb307dd4e06b8598054878e4742f&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.2.27_14
[14]47 CFR 27.5 - Frequencies. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/27.5
[15]47 CFR 73.684 - Prediction of coverage. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=83671bf5d2d1c96cdc892e3d8cf0f264&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.73_1684
[16]47 CFR 73.699 - TV engineering charts. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=83671bf5d2d1c96cdc892e3d8cf0f264&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.73_1699
[17]47 CFR 74.802 - Frequency assignment. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=5263d4bf49ef47a11c3f144b4ec5c8a4&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1802
[18]47 CFR 74.803 - Frequency selection to avoid interference. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=50ddf69ff5bb7f0bb11f368b3b0d62d4&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1803
[19]47 CFR 74.851 - Certification of equipment; prohibition on manufacture, import, sale, lease, offer for sale or lease, or shipment of devices that operate in the 700 MHz...700 MHz or 600 MHz band equipment destined for non-U.S. markets; disclosures. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=2bf1440516e8081e8041794b94cec270&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1851
[20]47 CFR 74.861 - Technical requirements. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=50ddf69ff5bb7f0bb11f368b3b0d62d4&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1861
[21]47 CFR 74.870 - Wireless video assist devices. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=50ddf69ff5bb7f0bb11f368b3b0d62d4&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.4.74_1870

[22]47 CFR 90.265 - Assignment and use of frequencies in the bands allocated for Federal use. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=c6e0fb307dd4e06b8598054878e4742f&ty=HTML&h=L&mc=true&r=SECTION&n=se47.5.90_1265

[23]47 CFR Part 15, Subpart H - White Space Devices https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=c6e0fb307dd4e06b8598054878e4742f&ty=HTML&h=L&mc=true&n=sp47.1.15.h&r=SUBPART

[24]47 CFR Part 74—Experimental Radio, Auxiliary, Special Broadcast and Other Program Distributional Services, Subpart H, available at: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=9782529bdb285d192053c53f9b212ade&mc=true&n=pt47.4.74&r=PART&ty=HTML#sp47.4.74.h

[25]47 CFR Part 90, Subpart R (Regulations Governing the Licensing and Use of Frequencies in the 763-775 and 793-805 MHz Bands) https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=5263d4bf49ef47a11c3f144b4ec5c8a4&mc=true&node=pt47.5.90&rgn=div5#sp47.5.90.r

[26]5GPPP (2018), 5G Pan-European trial roadmap version 3.0, available at: https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2018/05/5GInfraPPP_TrialsWG_Roadmap_Version3.0.pdf

[27]ACMA (2009), Planning for intelligent transport systems, Proposals for the introduction of intelligent transport systems into the 5.9 GHz band in Australia, https://goo.gl/WWNc9W

[28]ACMA (2015), Internet of Things and the ACMA's areas of focus, http://www.acma.gov.au/theacma/internet-of-things-and-the-acmas-areas-of-focus-occasional-paper

[29]ACMA (2017), Discussion paper: Future use of the 3.6 GHz band—Options paper, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/~/media/8C4B47BE6C4B48EC860D24B8ED058D31.ashx

[30]ACMA (2017), Five-year spectrum outlook 2017–21: the ACMA’s spectrum management work program, available at:

https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/229627FEEE544D76A554FF9EAAA59372.ashx
[31] ACMA (2017), Future use of the 3.6 GHz band—Decisions and preliminary views paper, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/~/link.aspx?_id=17BFF36784FF4151B1217647D6957112&_z=z
[32] ACMA (2017), Spectrum for broadband in mmWave bands, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/spectrum-for-broadband-in-mmwave-bands
[33] ACMA (2017), Spectrum reallocation for the 3.6 GHz band, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/spectrum-reallocation-for-the-3-6-ghz-band
[34] ACMA (2017), Spectrum tune-up: Spectrum for 5G broadband in mmWave bands, available at: http://www.acma.gov.au/Home/theACMA/~/link.aspx?_id=5C6E9FA9517844359BD38DCBD2F85423&_z=z
[35] ACMA (2018), 3.6 GHz auction system format Information paper, available at: https://www.acma.gov.au/-/media/Spectrum-Monitoring-and-Analysis/Information/Word-Document/3-6-GHz-band-auction-system_information-paper-docx.docx?la=en
[36] ACMA (2018), Consultation paper: Draft allocation instruments for 3.6 GHz band (3575–3700 MHz) metropolitan and regional lots auction, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/-/media/9FD3C5CAFE4C444C988BD30C45555329.ashx
[37] ACMA (2018), Spectrum licensing FAQs, available at: https://www.acma.gov.au/Industry/Spectrum/Radiocomms-licensing/Spectrum-licences/spectrum_20
[38] ACMA (2018), Spectrum tune-up: 3.6 GHz band auction system, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/spectrum-tune-up-3-6-ghz-band-auction-system
[39] ACMA (2018), The ACMA's auction capability, available at: https://www.acma.gov.au/Industry/Spectrum/Radiocomms-licensing/Spectrum-licences/the-acmas-auction-capability

[40]ACMA LIPD class licence, available at: https://www.acma.gov.au/Industry/Spectrum/Radiocomms-licensing/Class-licences/lipd-class-licence-spectrum-acma
[41]AIA（2018）, Petition for rulemaking, available at: http://www.aia-aerospace.org/wp-content/uploads/2018/02/AIA-Petition-for-Rulemaking-on-UAS-2018-02-08-FILED.pdf
[42]Analysys Mason (2018), Global Race to 5G — Spectrum and Infrastructure Plans and Priorities, retrieved from "https://api.ctia.org/wp-content/uploads/2018/04/Analysys-Mason-Global-Race-To-5G_2018.pdf".
[43]Australian Government (2017), 5G—Enabling the future economy, available at: https://www.communications.gov.au/departmental-news/5g-enabling-future-economy
[44]Australian Government (2017), Fact sheet - Introducing the Single Licensing System, available at: https://communications.govcms.gov.au/file/27021/download?token=sTYWZtg6
[45]BEREC (2018), Draft Common position on monitoring mobile coverage, https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/public_consultations/8165-draft-common-position-on-monitoring-mobile-coverage
[46]BEREC (2018), Notice for the launch of the public consultation for the common position on monitoring mobile coverage, available at: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/public_consultations/8166-notice-for-the-launch-of-the-public-consultation-for-the-common-position-on-monitoring-mobile-coverage
[47]BNetzA (2017), Eckpunkt für dne Ausbau digitaler Infrastrukturen und Bedarfsermittlung für bundeswite Zuteilungen in den Bereichen 2 GHz und 3.6GHz, S.16f.
[48]Bundesnetzagentur (2016), Points of Orientation for the provision of spectrum for the rollout of digital infrastructures.

[49]CBRS Communications Security Technical Specification Document, WINNF-15-S-0065 Version V2.0.0, winnforum, available at: https://workspace.winnforum.org/higherlogic/ws/public/document?document_id=4486&wg_abbrev=SSC.

[50]CBRS Operational Security Document, WINNF-TS-0071 Version V1.0.0, winnforum, available at: https://workspace.winnforum.org/higherlogic/ws/public/download/4487/WINNF-TS-0071-V1.0.0%20CBRS%20Operational%20Security.pdf

[51]CEPT Report 20，available at:https://www.ecodocdb.dk/download/cf30339d-ff12/CEPTREP020.PDF

[52]CEPT Report 51: "Report B from CEPT to the European Commission in response to the Mandate “On technical conditions regarding spectrum harmonisation options for wireless radio microphones and cordless video-cameras".

[53]CEPT Report 60: "Report B from CEPT to the European Commission in response to the Mandate“to develop harmonised technical conditions for the 6941-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives

[54]CEPT/ERC/REC 70-03: "Relating to the use of Short Range Devices (SRD)

[55]Civil Aviation Regulations 1988, available at: https://www.legislation.gov.au/Series/F1997B00935

[56]Civil Aviation Safety Regulations 1998, available at: https://www.legislation.gov.au/Series/F1998B00220

[57]CTIA (2018), Reply comments of CTIA, available at: https://ecfsapi.fcc.gov/file/10613290456688/CTIA%20FCC%20UAS%20reply%20comment%206.13.18.pdf

[58]DCMS (2017), Next Generation Mobile Technologies : An update to the 5G strategy for the UK, available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/677598/Next_Generation_Mobile_Techn

ologies__An_Update_to_the_5G_Strategy_for_the_UK_Final_Version_with_Citation.pdf
[59]DCMS (2018), Future Telecoms Infrastructure Review, available at : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/732496/Future_Telecoms_Infrastructure_Review.pdf
[60]Decision ECC/DEC/(09)03: "ECC Decision of 30 October 2009 on harmonised conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) operating in the band 790 - 862 MHz "
[61]EC (2016), 5G for Europe: An action plan, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-5g-europe-action-plan-and-accompanying-staff-working-document
[62]EC (2016), Staff Working Document: Advancing the Internet of Things in Europe, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/staff-working-document-advancing-internet-things-europe
[63]EC (2018), European Commission Staff Working Document: Liability for emerging digital technologies, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-commission-staff-working-document-liability-emerging-digital-technologies
[64]EC (2018), Radio Spectrum: coordination, harmonization and information, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/node/230
[65]EC Decision 2014/641/EU: "on harmonised technical conditions of radio spectrum use by wireless audio programme making and special events equipment in the Union"
[66]ECC (2014), ECC Strategic Plan for the period 2015-2020 Montreux, 28 November 2014.
[67]ECC (2018), Technical and Regulatory Aspects and the needs for Spectrum Regulation for Unmanned Aircraft System (UAS), available at::https://www.ecodocdb.dk/download/efbd2f57-f227/ECCRep268.pdf

[68]ECC ERC Recommendation 25-10: "Frequency Ranges for the Use of Terrestrial Audio and Video Programme Making and Special Events (PMSE) applications"
[69]ECC Report 221: "Adjacent band compatibility between MFCN and PMSE audio applications in the 700 MHz frequency band"
[70]ECC Report 245: "Compatibility studies between PMSE and other systems/services in the band 1350-1400 MHz"
[71]ECC Report 253: "Compatibility studies on audio PMSE at 1492-1518 MHz and 1518-1525 MHz"
[72]EN 55020 (CISPR 20: 2006, Sound and Television Broadcast Receivers and Associated Equipment - Immunity Characteristics - Limits and Methods of Measurement
[73]ETSI EN 300 422-1: "Wireless Microphones; Audio PMSE up to 3 GHz; Part 1: Class A Receivers; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU"
[74]EU (2018), Research & Innovation in Internet of Things, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/research-innovation-iot
[75]EU (2018), The internet of things, available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/policies/internet-things
[76]EU (2018), Unmanned aircraft (drones) , available at: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/uas_en
[77]FCC (2010), Wireless Microphones Are Not Permitted to Operate on Certain Frequencies after June 12, 2010; Users are Urged to Check Their Equipment and Take Necessary Steps to Ensure Compliance, Public Notice, DA 10-1053.
[78]FCC (2011), Approval for Spectrum Bridge's TV Bands Database System DA 11-2044, available at: https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-11-2044A1.pdf
[79]FCC (2014), Protective Order in GN Docket No. 12-268 and WT Docket No. 12-269 https://www.fcc.gov/document/protective-order-gn-docket-no-12-268-and-wt-docket-no-12-269
[80]FCC (2015), Conversion Chart for Unlicensed Wireless Microphone Registrations, available at: https://www.fcc.gov/help/conversion-chart-unlicensed-wireless-microphone-registrations

[81]FCC (2015), FAQs for Unlicensed LPAD (Including Wireless Microphone) Registrations - Why do I need to register my wireless microphones? ,available at: https://www.fcc.gov/wireless/systems-utilities/unlicensed-lpad-including-wireless-microphone-registrations/faqs
[82]FCC (2016), "Amendment of the commissions rules with regard to commercial operations in the 3550-3650 MHz band" Doc. No. 12-354.
[83]FCC (2016), Use of spectrum bands above 24GHz : Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-16-89A1.pdf
[84]FCC (2017), Exploring Flexible Use in Mid-Band Spectrum between 3.7GHz and 24 GHz : Notice of Inquiry, available at: https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DOC-345789A1.pdf
[85]FCC (2017), Promoting Investment in the 3550-3700 MHz : Notice of Proposed Rulemaking and Order, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-347045A1.pdf
[86]FCC (2017), Use of spectrum bands above 24GHz : Second Report and Order and Second Further Notice of Proposed Rulemaking Order on reconsideration and Memorandum opinion and order, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-347449A1.pdf
[87]FCC (2018), Auction of upper microwave flexible use licenses for next-generation wireless services: Comment sought on competitive bidding procedures for Auction 101 (28GHz) and 102 (24GHz), available at: https://transition.fcc.gov/Daily_Releases/Daily_Business/2018/db0417/FCC-18-43A1.pdf
[88]FCC (2018), Chairman response regarding GAO report on internet of things, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-349011A1.pdf
[89]FCC (2018), Experimental special temporary authorization, available at: https://apps.fcc.gov/els/GetAtt.html?id=209919&x=

[90]FCC (2018), Spectrum Horizons : Notice of Proposed Rulemaking and Order, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-348982A1.pdf
[91]FCC (2018), Transforming the 2.5 GHz Band , available at: https://transition.fcc.gov/Daily_Releases/Daily_Business/2018/db0511/FCC-18-59A1.pdf
[92]FCC (2018), Use of spectrum bands above 24GHz : Third Report and Order, Memorandum Opinion and Order, and Third Further Notice of Proposed Rulemaking, available at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-18-73A1.pdf
[93]FCC(2014), FCC REPORT AND ORDER: In the Matter of Expanding the Economic and Innovation Opportunities of Spectrum Through Incentive Auctions June 2, 2014
[94]Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) (2017), 5G Strategy for Germany: A Scheme to promote the development of Germany to become a lead market for 5G networks and applications.
[95]Fierce Wireless（2018）, Verizon remains encouraged by millimeter wave propagation : analysts, available at: https://www.fiercewireless.com/wireless/verizon-remains-encouraged-by-millimeter-wave-propagation-analysts
[96]GAO （2017）, Internet of things : FCC should track growth to ensure sufficient spectrum remains available, available at: https://www.gao.gov/assets/690/688450.pdf
[97]IEC 61000-4-3: "Electromagnetic compatibility (EMC)–Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test"
[98]ISED (2017), Consultation on Releasing Millimetre Wave Spectrum to Support 5G, available at: https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf11298.html
[99]ITU (2006), Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed-satellite service (FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interference for systems operating below 30 GHz,2000-2006.

[100] Legal Information Institute, “Part 96 - CITIZENS BROADBAND RADIO SERVICE” - https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/part-96

[101] Marko Palola, et al. (2017), “Field trial of the 3.5 GHz citizens broadband radio service governed by a spectrum access system (SAS)” Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), 2017 IEEE International Symposium on. IEEE, 2017.

[102] Proposed regulatory measures for the introduction of cooperative intelligent transport systems in Australia, available at: https://www.acma.gov.au/theACMA/~/media/6383B3CBF78E4A4595CF035F103824F6.ashx

[103] Radiation Protection Standard - Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields - 3 kHz to 300 GHz, available at: http://www.arpansa.gov.au/Publications/codes/rps3.cfm

[104] Radiocommunications (Intelligent Transport Systems) Class Licence 2017, available at: https://www.legislation.gov.au/Details/F2018L00026

[105] Radiocommunications (Intelligent Transport Systems) Class Licence 2017, available at: https://www.legislation.gov.au/Details/F2018L00026

[106] Radiocommunications (Low Interference Potential Devices) Class Licence 2015, available at: https://www.legislation.gov.au/Details/F2016C00432

[107] Radiocommunications (subsection 145(3) Certificates) Determination 2012, available at: https://www.legislation.gov.au/Details/F2012L01719

[108] RSPG (2017), Opinion on spectrum aspects of Intelligent Transport system, available at: https://circabc.europa.eu/sd/a/b30590d7-5190-480b-b1d1-def24719e061/RSPG17-008-Final_opinion_ITS.pdf

[109] RSPG (2018), Strategic spectrum roadmap towards 5G for Europe, available at: https://circabc.europa.eu/sd/a/fe1a3338-b751-43e3-9ed8-a5632f051d1f/RSPG18-005final-2nd_opinion_on_5G.pdf

[110] Sohul, Munawwar M., et al.(2015), "Spectrum access system for the citizen broadband radio service." IEEE Communications Magazine 53.7 (2015): 18-25.

[111] Wireless Innovation Forum (2017), “Spectrum Access System (SAS) - Citizens Broadband Radio Service Device (CBSD) Interface Technical Specification”, Document WINNF-TS-0016, Jul. 2017.
[112] Wireless Innovation Forum(2017), “Requirements for Commercial Operation in the U.S. 3550-3700 MHz Citizens Broadband Radio Service Band”, Document WINNF-TS-0112, Sep. 2017.

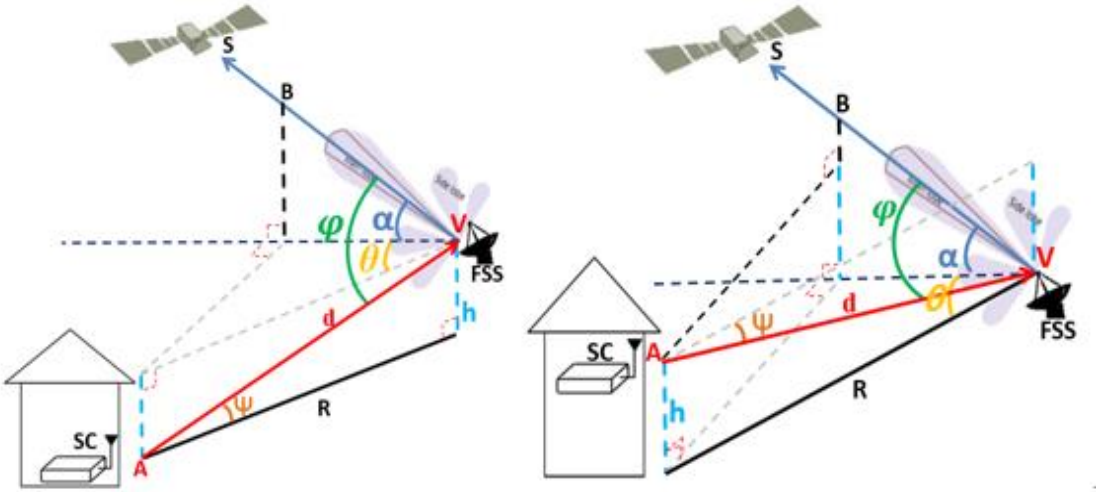
附件 1：LTE 系統與 FSS 系統干擾共存理論

LTE 系統與 FSS 系統共存時可能存在干擾問題，為使其干擾功率在允許的容限範圍內，使兩系統均可正常工作，通常採用保護距離的方法解決。

本計畫針對保護距離進行理論分析計算，其保護距離範圍可作為實際中兩系統共存時抑制干擾的條件。首先根據電波傳播模型之適用範圍，結合兩系統的實際情況，分析干擾傳播模型並選取適當模型，接著根據接收干擾功率計算方法，配合系統的干擾保護標準，分析最大帶內干擾容忍值，並透過計算所需參數的分析，得到 LOS 或 NLOS 環境下兩系統存在同頻干擾或鄰頻干擾時，干擾功率與兩系統間距的理論模型。

其中涉及分析保護距離的參數包括 FSS 地面站的天線增益的計算[342]，路徑損失的計算[343]，頻率偏移因子的計算[344]，最後根據干擾功率與兩系統間距的理論模型，進一步解出當達到最大帶內干擾容限時，LTE 系統與 FSS 系統的間距，此間距即為兩系統共存時，抑制干擾所需的保護距離。小細胞基站與 FSS 系統間的干擾模型，如下所示。

[342] ITU (2006), Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed-satellite service (FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interference for systems operating below 30 GHz,2000-2006.
[343] 3GPP (2015), Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum,3GPP TR 36.889, May 2015.
[344] 3GPP (2010), Technical specification group radio access network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), further advancements for E-UTRA physical layer aspects (release 9). Technical report, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), March 2010.



圖附 1- 1：小細胞基站低於或高於 FSS 之干擾模型

資料來源：本計畫繪製

首先計算 FSS 地面站收到小細胞基站的干擾功率I_{SC}，再根據 FSS 地面站接收機性能，其接收機雜訊位準 N = KTB = -118.6dBm/MHz，其中 K 為波茲曼常數，T 為 100°K，B 為 1MHz。若I_{SC}/N 小於 FSS 干擾保護標準 (I/N = -12.2 dB)[345]，則認為小細胞基站不會對 FSS 地面站造成干擾，反之，則認為會造成干擾。

根據以上分析，得到最大帶內干擾容忍值：

$$I_{inband} = N + (I/N) = -130.8 \text{ dBm/MHz}$$

若只考慮一個小細胞基站對 FSS 地面站干擾時，則 FSS 地面站收到的干擾功率：

$$I_{SC} = P_{SC} + G_{SC}(\Psi) + G_{FSS}(\phi) - L(f, d) - R - F$$

I_{SC}為 FSS 地面站接收到 1 MHz 頻寬內來自小細胞基站的干擾功率 (dBm)，P_{SC}為小細胞基站 1 MHz 頻寬的發射功率 (dBm)，$G_{SC}(\Psi)$為小細胞基站的天線增益 (dBi)，$G_{FSS}(\phi)$為 FSS 地面站天線增益 (dB)，

[345] ITU (2006), Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed-satellite service (FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interference for systems operating below 30 GHz,2000-2006.

L(f, d)為路徑損耗 (dB)，R 為 FSS 地面站的干擾隔離因子，取決於實際環境對干擾訊號的衰減作用，F 為頻率偏離因子，小細胞基站頻段與 FSS 地面站工作頻段的頻率偏移，同頻干擾時，F = 0。

其中，小細胞基站天線增益$G_{SC}(\Psi)$根據 ITU 文獻[346]配合實際佈建位置與 FSS 地面站相對位置求得：

$$G(\Psi) = \text{Max}[G_1(\Psi), G_2(\Psi)]$$

$$G_1 = G_0 - 12\left(\frac{\Psi}{\Psi_3}\right)^2 \quad , \Psi_3 \approx 107.6 * 10^{-0.1G_0}$$

$$G_2(\Psi) = G_0 - 12 + 10\log\left[\left(max\left\{\frac{|\Psi|}{\Psi_3},\ 1\right\}\right)^{-1.5} + k\right]$$

G(Ψ)為相對於等向天線的增益 (dBi)，G_0為天線在水平面上或接近水平面的最大增益 (dBi)，Ψ為相對於最大增益方向仰角的絕對值(0 °~90°)，Ψ_3為垂直面上的 3dB 波束寬 (degree)，k 為修正因子。

而 FSS 地面站之接收天線增益根據 ITU 文獻[347]，由干擾方向與 FSS 地面站主瓣 (main beam) 夾角，即偏軸角，計算不同偏軸角的接收增益：

$$G(\varphi) = G_{Max} - 2.5\times 10^{-3}\left(\frac{D}{\lambda}\varphi\right)^2 \quad , 0° \le \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_I \quad , \varphi_m \le \varphi < 100\frac{\lambda}{D}$$

$$G(\varphi) = 52 - 10\log\left(\frac{D}{\lambda}\right) - 25\log(\varphi) \quad , 100\frac{\lambda}{D} \le \varphi < 48°$$

$$G(\varphi) = 10 - 10\log\left(\frac{D}{\lambda}\right) \quad , 48° \le \varphi < 180°$$

式中，$G_I = 2 + 15\log\frac{D}{\lambda}$ ，$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D}\sqrt{G_{Max} - G_I}$

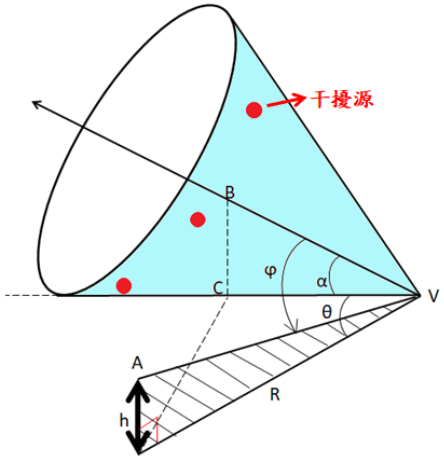
[346] 同前註。
[347] 同前註。

G(φ)為天線在被干擾方向上的增益 (dBi)，G_{Max}為天線主瓣的增益 (dBi)，G_1為第一旁瓣增益(dBi)，φ為偏軸角(°)，D 為天線直徑(m)，λ為波長。

$$\varphi = \cos^{-1}\left(\frac{\overline{AB}^2 - \overline{AV}^2 - \overline{VB}^2}{-2\overline{AV}\cdot\overline{VB}}\right)$$

在圖附 1- 1 中，V 為 FSS 地面站位置，$\overline{VS}$為 FSS 地面站天線主軸方向，$\overline{AV}$為小細胞基站對 FSS 地面站的干擾方向，h 為小細胞基站與 FSS 地面站的高度差，α為 FSS 地面站仰角，θ為干擾方向在水平面與 FSS 地面站的水平夾角（即以 FSS 地面站為原點之兩系統方位角差），$\boldsymbol{\varphi}$為干擾方向相對於 FSS 地面站天線主軸方向的偏軸角，Ψ為相對於最大增益方向之仰角的絕對值，R 為水平距離，d 為直線距離。在量測時，高度差 h、FSS 地面站仰角α、水平夾角θ與水平距離 R 皆可由量測工具量測得知，因此偏軸角φ可由下式推算：

在分析保護距離理論值時，如圖附 1- 2 所示，干擾源可由不同的高度 h 及水平角θ組合成相同的偏軸角，所以在固定偏軸角φ下，干擾源對於 FSS 地面站的干擾影響，即 FSS 地面站之接收增益相同。



圖附 1- 2：固定偏軸角φ之干擾模型

資料來源：本計畫繪製

接著，路徑損失是根據 3GPP 文獻[348]中，傳播模型選擇 Urban Micro，環境則分為 LOS，NLOS 及 Outdoor-to-Indoor，如表附 1- 1 所示。

表附 1- 1：傳播模型

傳播模型		路徑損耗(dB) $f_c(GHz)$, $d(m)$	適用範圍
Urban Micro (Umi)	LOS	PL=28 + 22log(d) + 20log(f_c) PL=7.8 + 40log(d) – 18log(h'_{BS}) – 18log(h'_{UT}) + 2log(f_c)	10m < d < d'_{BP} d'_{BP} < d < 5000m
	NLOS	PL=22.7 + 36.7log(d) + 26log(f_c)	10m < d < 2000m
	O-to-I	PL =PL_b + PL_{tw} +PL_{in} PL_b = PL_{B1}(d_{out} + d_{in}) PL_{tw} = 20 PL_{in}= 0.5d_{in} + q*$L_{in-wall}$	10m< d_{out} +d_{in} <1000m 0m < d_{in}< 25m

資料來源：3GPP，本計畫整理

PL_b為基本路徑損失，PL_{B1}為室外場景路徑損失，d_{out}為 FSS 到牆面的距離, d_{in} 為牆面到室內節點的直線距離，PL_{tw}為通過牆壁損失，PL_{in}為室內損失，q 為 FSS 與基站間通過的室內牆壁數量，$L_{in-wall}$為室內牆壁損失。

最後，計算小細胞基站對 FSS 地面站的干擾功率時，F 為頻率偏移因子，取決於小細胞基站室內覆蓋系統頻段與 FSS 系統工作頻段的偏移量，僅統計對一個衛星轉頻器 (36 MHz 頻寬) 之平均干擾。

[348] 參見前揭註 343。

各標準中一般都定義了頻譜發射遮罩，來表示其發射機的允許發射功率。頻譜發射遮罩是根據發射機分別在帶內 (in-band) 發射，帶外 (out-of-band) 發射與雜散發射之功率密度允許值。根據頻譜發射遮罩，可以透過 SEM 積分計算，得到系統帶外發射功率值，進而進行後續 EMC 分析。此外，鄰道洩漏功率比 (ACLR)，表示工作在進通道的接收機受到干擾而接收到的鄰頻洩漏功率與發射功率的比值，根據頻譜發射遮罩，不同載波間距時的帶外發射功率：

$$P_{OoB} = \int P(f)df$$

則洩漏功率比:

$$\text{ACLR} = P_{OoB} - P_t$$

其中，$P(f)$為發射功率頻譜密度 (dBm/MHz)，P_{OoB}為發射機的帶外洩漏功率(dBm)，P_t為發射機發射功率 (dBm)。

當小細胞基站與 FSS 地面戰系統同頻共存時，頻率偏移因子 F 為 0 dB。當小細胞基站與 FSS 地面站系統鄰頻共存時，因 FSS 地面站信號為 36 MHz，因此對小細胞基站相鄰 0~36MHz 信號的頻譜發射遮罩積分。

表附 1- 2：小細胞基站在 5/10/15/20 M 訊號帶寬時的頻譜遮罩

Frequency offset of measurement filter -3dB point, Δf	Frequency offset of measurement filter centre frequency, f_offset	Minimum requirement (Note 1, 2))	Measurement bandwidth (Note 8)
0 MHz ≤ Δf < 5 MHz	0.05 MHz ≤ f_offset < 5.05 MHz	$-30dBm - \frac{7}{5}\left(\frac{f\_offset}{MHz} - 0.05\right)dB$	100 kHz
5 MHz ≤ Δf < min(10 MHz, Δf_{max})	5.05 MHz ≤ f_offset < min(10.05 MHz, f_offset_{max})	-37 dBm	100 kHz
10 MHz ≤ Δf ≤ Δf_{max}	10.05 MHz ≤ f_offset < f_offset_{max}	-37 dBm (Note 10)	100 kHz

資料來源：本計畫整理

頻譜發射遮罩積分為：

P(dBm) = -10.6 dBm / 36MHz = -26.16 dBm/MHz

當小細胞基站的發射功率為 24 dBm/10MHz 時，換算為 1MHz 帶寬後的結果為 14 dBm/MHz，故 ACLR 為：

ACLR = -26.16 dBm/MHz – 14dBm/MHz = -40.16 dB

綜合以上理論分析，當接收干擾功率達到最大帶內干擾容忍值時，兩系統的間距即為保護距離，因此建立等式：

$$\boldsymbol{I_{inband}} = I_{SC} = P_{SC} + G_{SC}(\Psi) + G_{FSS}(\varphi) - \mathrm{L(f, d)} - \mathrm{R} - \mathrm{F}$$

則保護距離根據傳播模型分為 LOS 與 NLOS 計算：

LOS:

$d_{protection}=$

$10^{[P_{SC}+G_{SC}(\Psi)+G_{FSS}(\varphi)-28-20\log(f)-PL_{tw}-PL_{in}-\mathrm{R}-\mathrm{F}-I_{inband}]/22}$

NLOS:

$d_{protection}=$

$10^{[P_{SC}+G_{SC}(\Psi)+G_{FSS}(\varphi)-22.7-26\log(f)-PL_{tw}-PL_{in}-\mathrm{R}-\mathrm{F}-I_{inband}]/36.7}$

因此根據 LOS 與 NLOS 環境，分別推算出同頻干擾與鄰頻干擾的保護距離理論值，如表附 1- 3 與表附 1- 4 所示：

表附 1- 3：同頻干擾保護距離

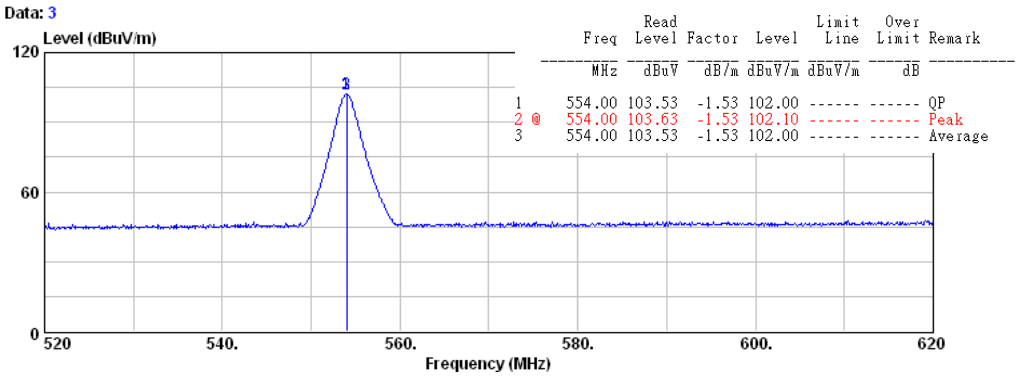
干擾情況 / 偏軸角 φ	同頻干擾保護距離	
	LOS	NLOS
15°	147 km	1.4 km
40°	48 km	724 m
53°	39 km	640 m
71°	39 km	640 m

表附 1- 4：鄰頻干擾保護距離

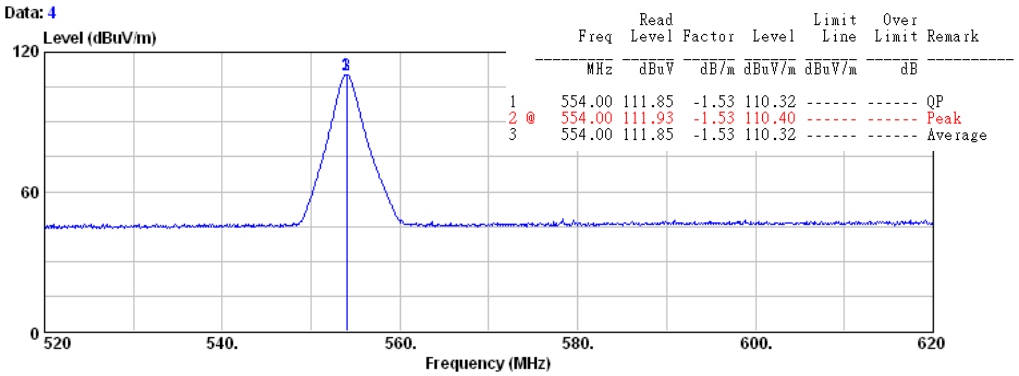
干擾情況 / 偏軸角 φ	鄰頻干擾保護距離	
	LOS	NLOS
15°	2.2 km	114 m
40°	733 m	58 m
53°	597 m	52 m
71°	597 m	52 m

附件 2：Mipro 無線麥克風量測數據圖

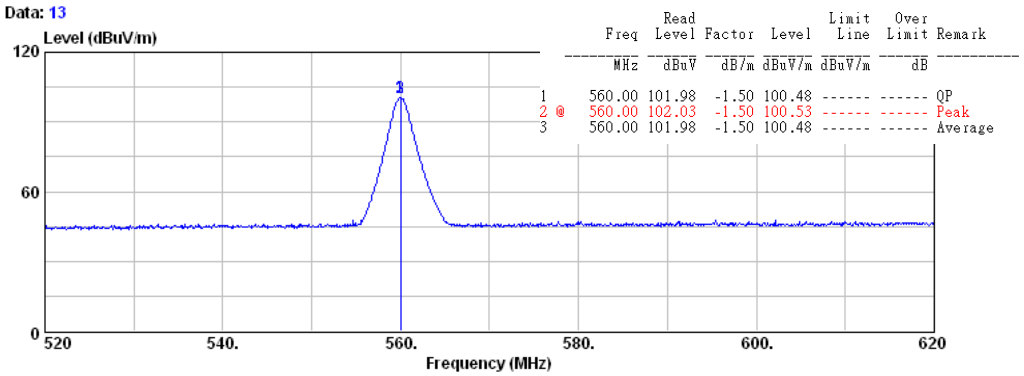
圖附 2-1： 類比無線麥克風 (ACT-70H)



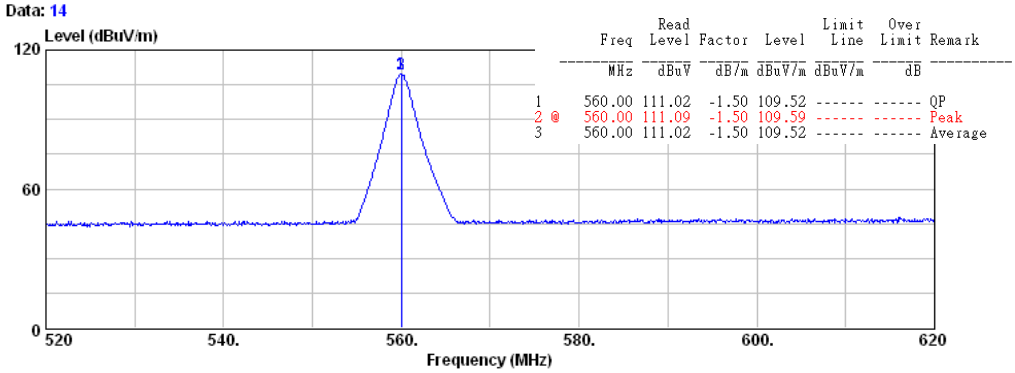
Frequency: 554 MHz, Polarization: Vertical



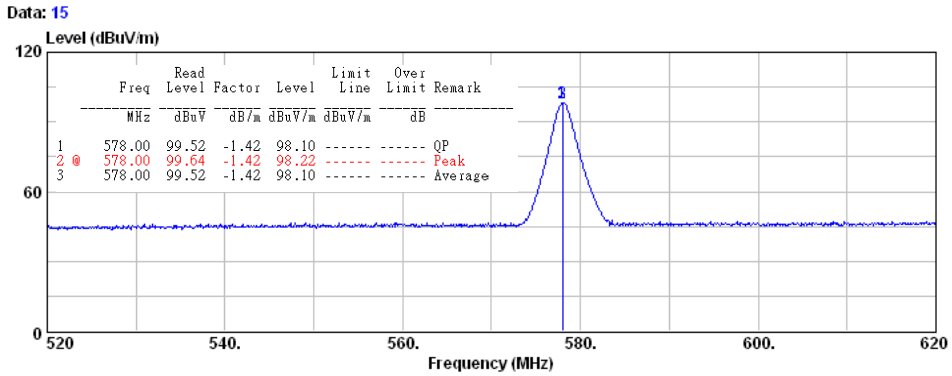
Frequency: 554 MHz, Polarization: Horizontal



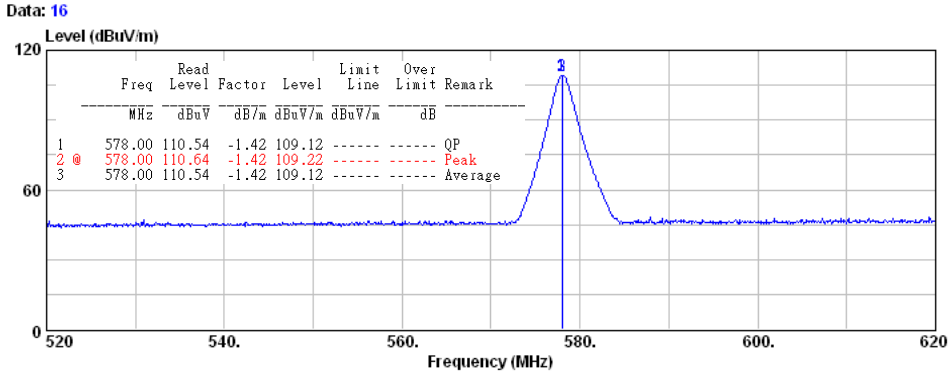
Frequency: 560 MHz, Polarization: Vertical



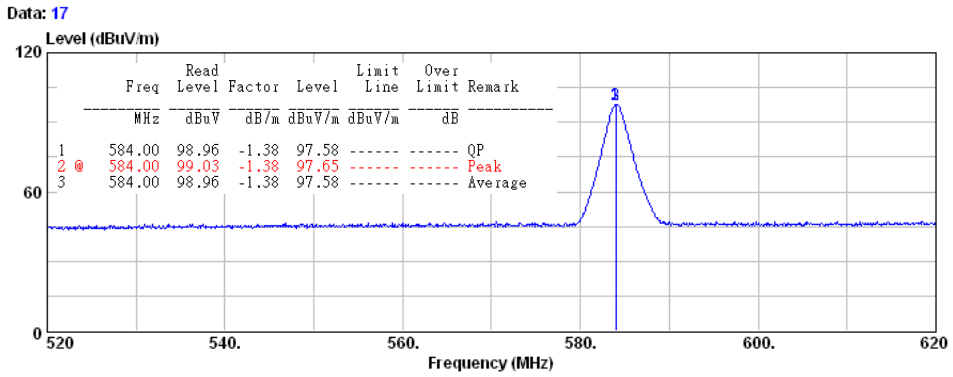
Frequency: 560 MHz, Polarization: Horizontal



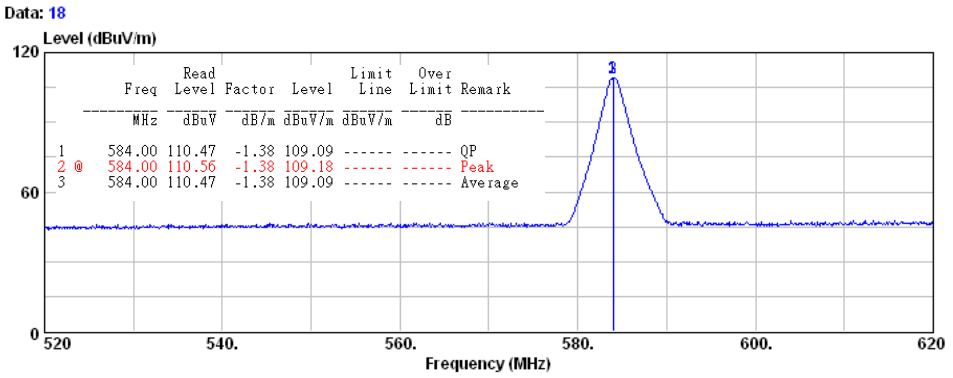
Frequency: 578 MHz, Polarization: Vertical



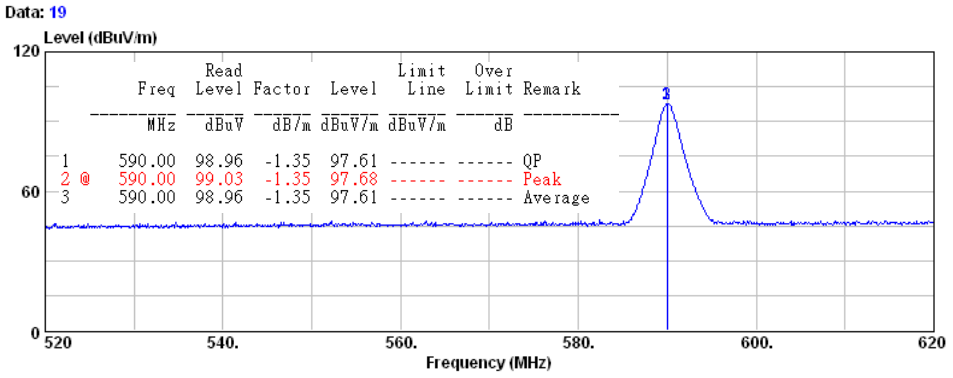
Frequency: 578 MHz, Polarization: Horizontal



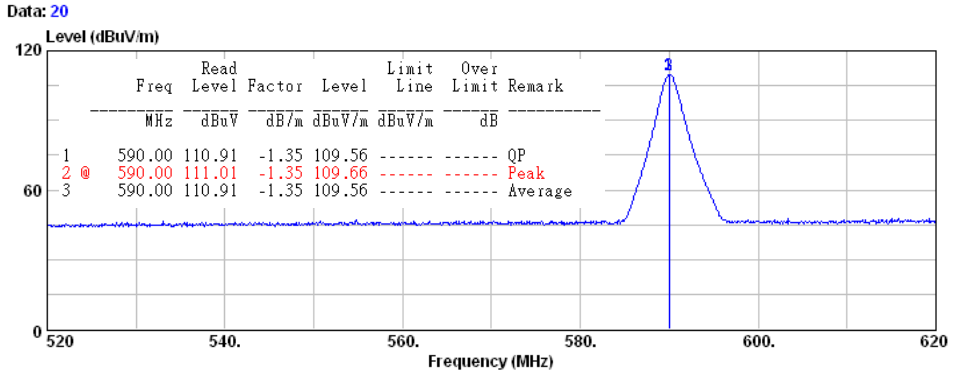
Frequency: 584 MHz, Polarization: Vertical



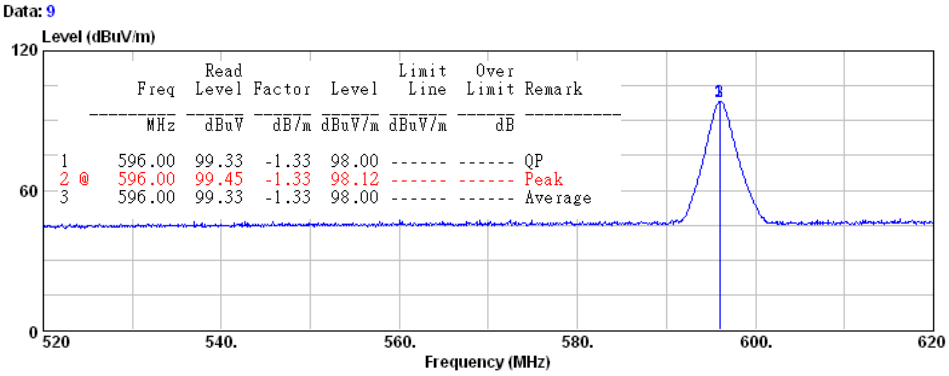
Frequency: 584 MHz, Polarization: Horizontal



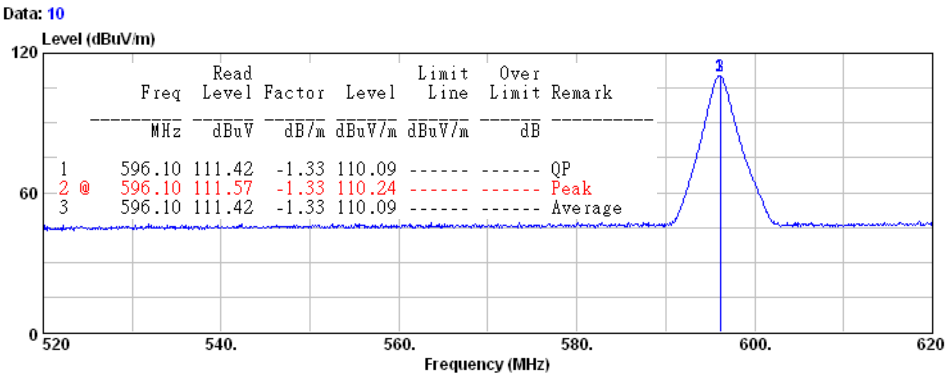
Frequency: 590 MHz, Polarization: Vertical



Frequency: 590 MHz, Polarization: Horizontal

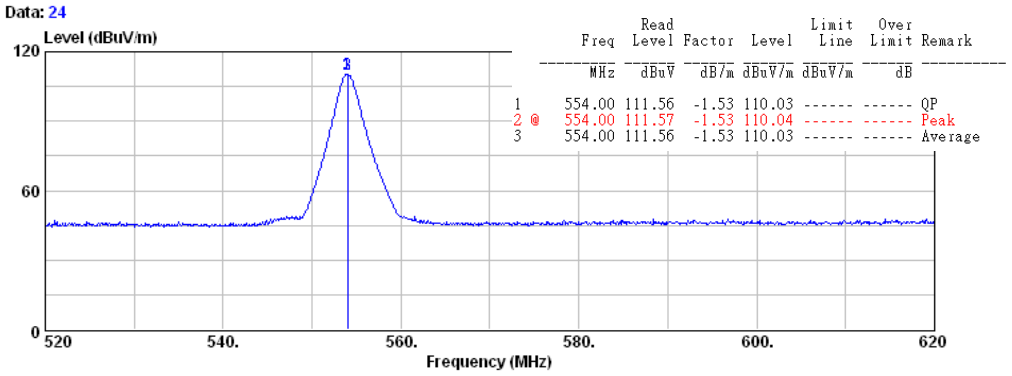


Frequency: 596 MHz, Polarization: Vertical

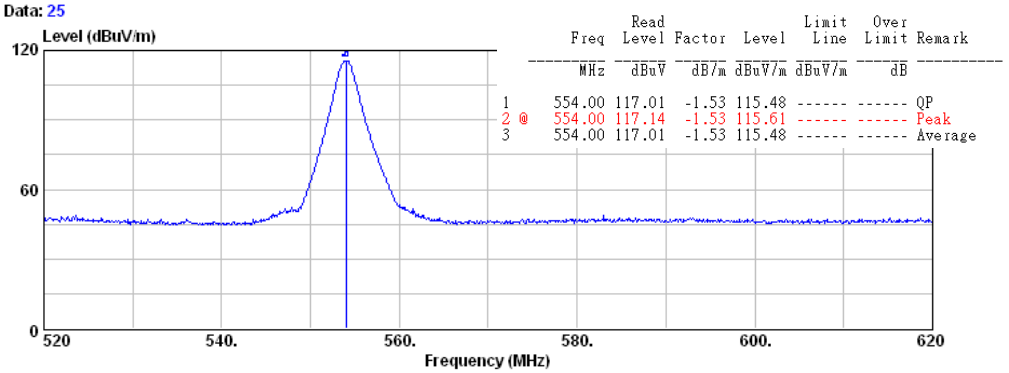


Frequency: 596 MHz, Polarization: Horizontal

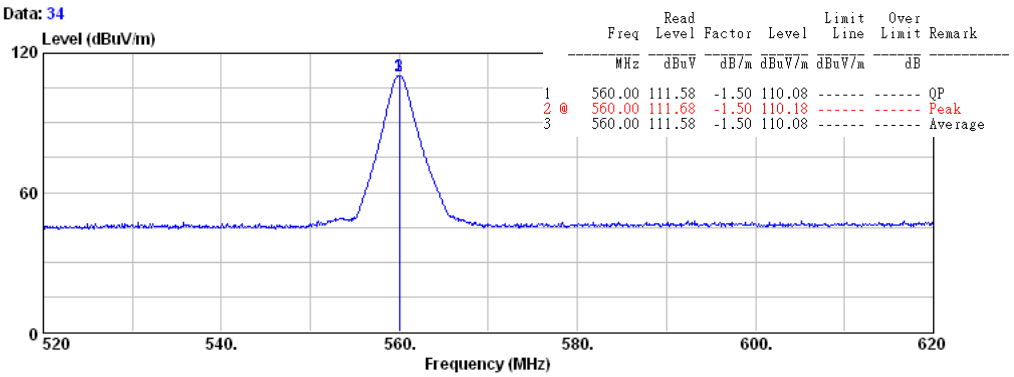
圖附 2-2：數位無線麥克風 (ACT-80H)



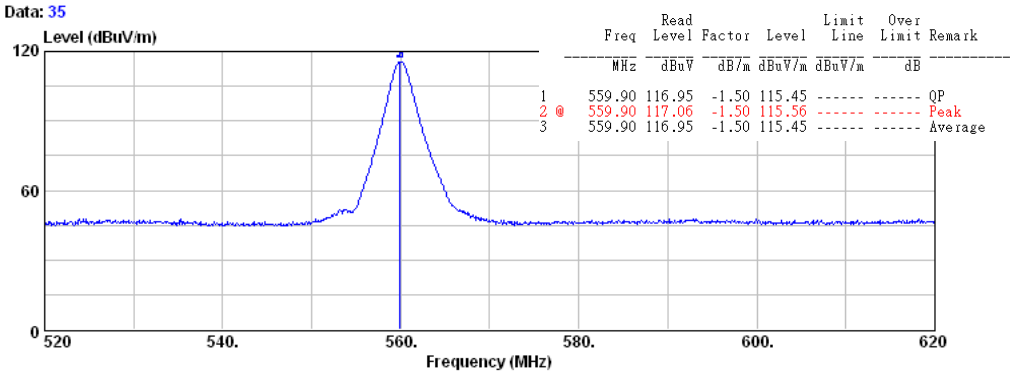
Frequency: 554 MHz, Polarization: Vertical



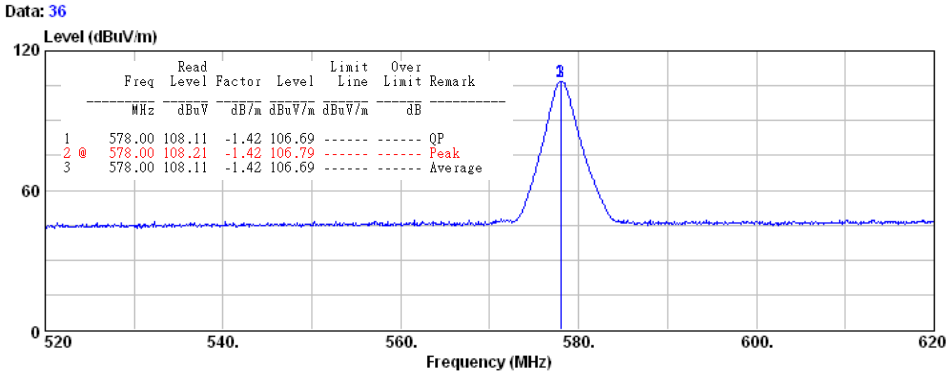
Frequency: 554 MHz, Polarization: Horizontal



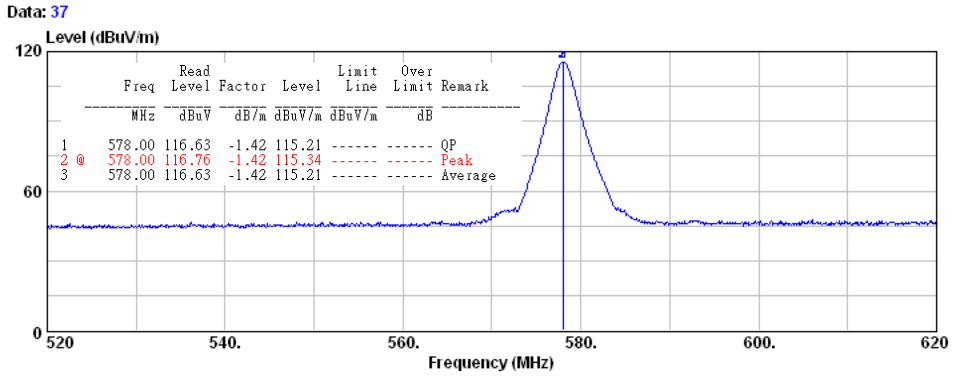
Frequency: 560 MHz, Polarization: Vertical



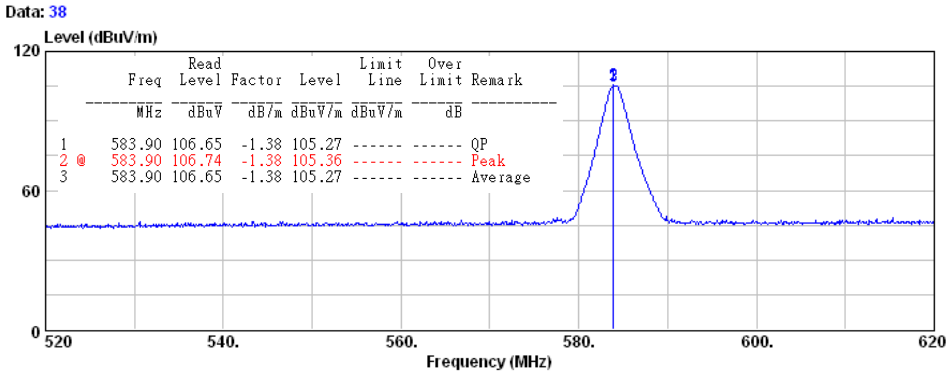
Frequency: 560 MHz, Polarization: Horizontal



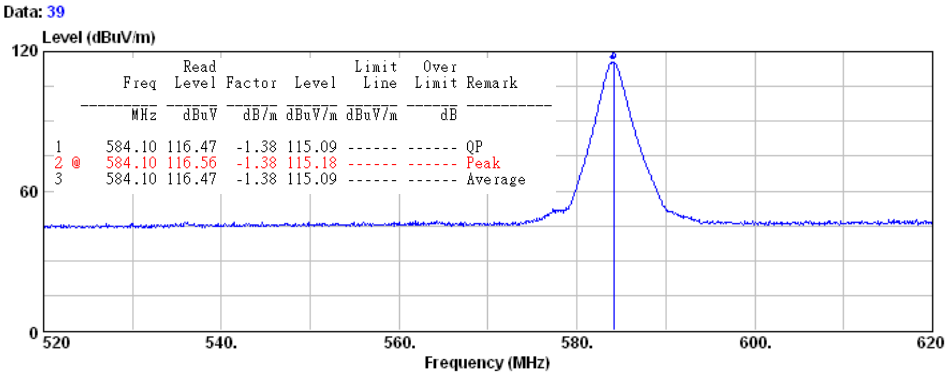
Frequency: 578 MHz, Polarization: Vertical



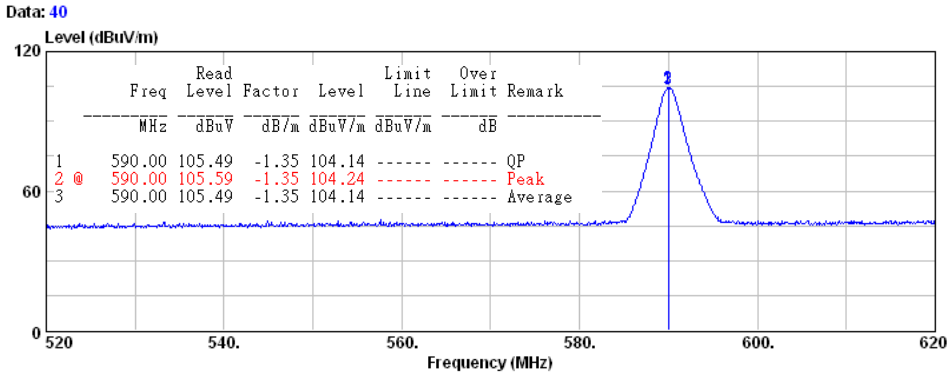
Frequency: 578 MHz, Polarization: Horizontal



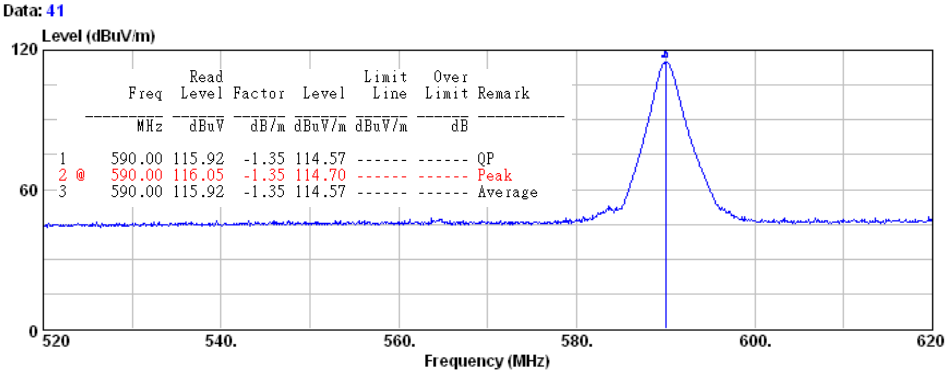
Frequency: 584 MHz, Polarization: Vertical



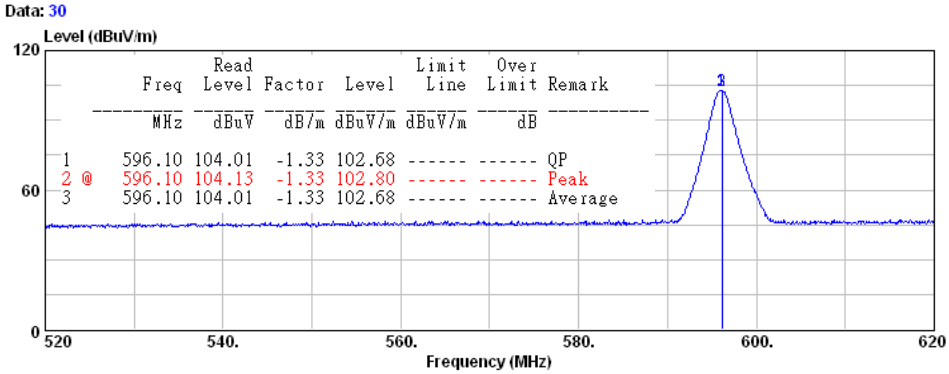
Frequency: 584 MHz, Polarization: Horizontal



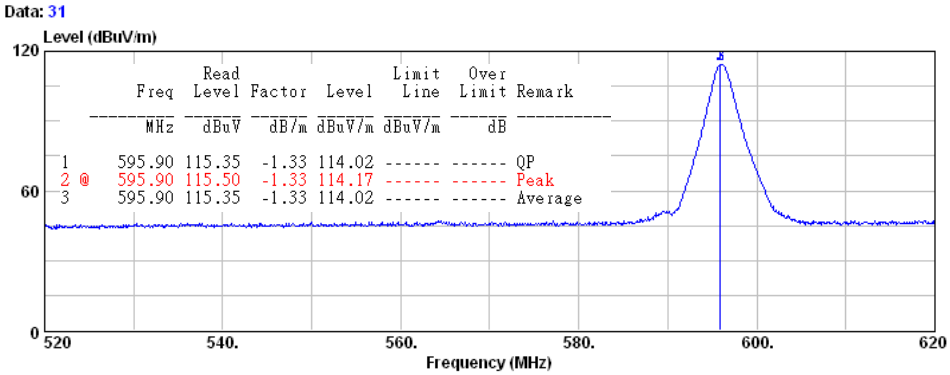
Frequency: 590 MHz, Polarization: Vertical



Frequency: 590 MHz, Polarization: Horizontal



Frequency: 596 MHz, Polarization: Vertical



Frequency: 596 MHz, Polarization: Horizontal

附件 3：出國報告（一）

財團法人電信技術中心

參加第三代合作夥伴計畫(3GPP)
無線接取網路第 1 工作組(RAN WG1, RAN1)
第 92 次會議

單位名稱：電信技術中心

姓名職稱：李淑華 助理研究員

派赴國家：希臘雅典

出國期間：107 年 2 月 24 日至 3 月 7 日

報告日期：107 年 4 月 3 日

目錄

壹、 目的……..……..789
貳、 過程……..……..791
參、 心得與建議……..……811

壹、目的

本中心今年度接受國家通訊傳播委員會補助，執行「新世代行動通信及物聯網技術發展之頻譜共享機制規範、頻譜整備與超寬頻技術設備監理制度研究」，為更進一步了解現有國際行動通訊標準組織架構第三代合作夥伴（The 3rd Generation Partnership Project, 3GPP）對第五代行動通訊（5G）標準制定動態，有必要藉由參與3GPP相關標準制定會議之契機，了解5G最新技術發展趨勢。

5G 標準制定，已成為先進國家與國際組織彼此競逐之試煉場，例如韓國政府宣稱將推出韓國版5G標準，藉以促使全球行動通訊產業採用該國5G標準。目前國際間致力於制定行動通訊產業相關的標準組織包括3GPP、3GPP 2與IEEE及WiMAX Forum等，其中較積極者，包括 3GPP LTE / LTE-Advanced、IEEE 802.16m、WiMAX Forum 等。因此，全球行動通訊產業從行動通訊業者、學術機構與研究機構莫不積極參與相關標準組織，一方面提出標準貢獻，熟悉標準組織運作與培養專職參與標準制定之人才，另一方面藉由觀察標準組織對5G的制定時程與推動下世代網路與科技發展之進程，得以蒐集資訊、充分掌握國際通訊傳播監理趨勢、資通訊技術發展對電信市場可能帶來之衝擊。

3GPP 長期作為行動通訊產業標準之制定者，其 5G 標準制定過程更是動見觀瞻，牽動全球行動通訊產業發展。按照 3GPP 對於 5G 新無線電（New Radio, NR）之時程規劃，預計將於2018年第一季確定 5G Non-standalone 版本（仰賴 4G 網路的非單獨運作版本），因此，為更進一步了解 5G NR 定版前，各界所提 5G 相關技術規範與討論，並藉由掌握3GPP會議實際討論過程以觀測行動通訊市場趨勢，本中心3GPP於3GPP TSG RAN(無線接取網路)下第1工作小組(WG1)舉行之第92次會議，蒐集5G NR標準制定的動向及各界業者提案方向，以利掌握下世代通訊系統的趨勢和系統模擬(System Level Simulation)平臺的建構。同時藉由參與本次工作會議，本中心得和其他大廠接觸，討論未來可能的合作項目，也能對於 3GPP RAN1

NR 的工作重點，包括多重輸入多重輸出(Multiple Input Multiple Output, MIMO)相關技術進行了解。

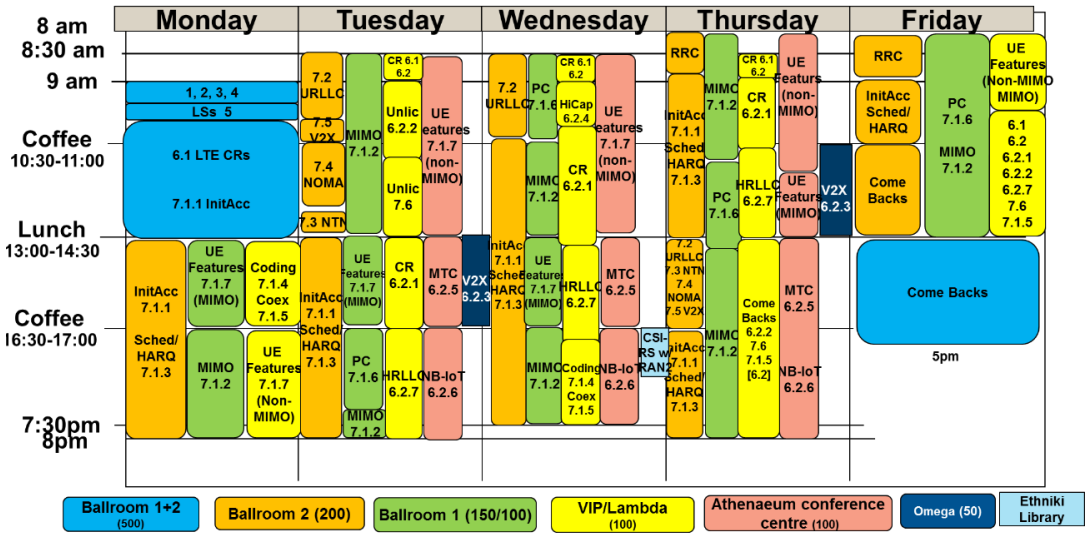
3GPP 依其各項技術執掌區分不同工作小組， TSG RAN WG1 主要負責處理跟無線接取技術相關之議題，本次會議中將討論包括 MIMO、車對萬物通訊（Vehicle-to-everything, V2X）、窄頻物聯網（NB-IoT）與 MTC(物聯網)等各會員對相關標準制定之提案以及表決結果，同時也會討論 Release 14、Release 15 等技術規範細節。由於本中心今年度執行「新世代行動通信及物聯網技術發展之頻譜共享機制規範、頻譜整備與超寬頻技術設備監理制度研究」補助研究案時，工作項目包括研析 5G 技術以及相關新興應用技術型態如車聯網與物聯網，因此藉由參與本次會議的機會，能更進一步蒐集、掌握相關技術發展與應用面之動向，並整理會議成果後作為我國主管機關對新世代行動通信技術與頻譜整備政策制定之參考。

貳、過程

一、會議議程

日期	上午場次(8:30~12:30)	下午場次(14:00~21:30)
第 1 日 2/26(一)	● Opening of the meeting ● Approval of the agenda ● NR General	● Continue UE feature list ● NR System Parameters ● Continue Channel bandwidth
第 2 日 2/27(二)	● MIMO (Multi-antenna scheme 、 CSI acquisition and beam management)	● HPUE ● Coherent UL MIMO ● Other Tx requirements ● Other Tx requirements ● [FR2] UE RF ● Common to Tx and Rx ● Power class
第 3 日 2/28(三)	● LTE RF/NR UE RF (Hiromasa Umeda) ● Reserved for offline sessions ● [FR2] UE RF Tx ● Power control(9) ● PA calibration gap (5) ● Other Tx requirements (3) ● Band combination including NR band(80)	● Band combination continues ● [FR1] UE RF Rx ● Receiver characteristics (3) ● Peak EIS (1) ● ACS/IBB(9) ● OOBB(2) ● Evening AH for NR UE RF
第 4 日 3/1(四)	● Rel15 new WI ● LTE operation in unlicensed spectrum(8) ● 6.30 8Rx (4) ● V2X ● UE RF (36.101) (5) ● NR General ● NR bands (8) ● Band definition (2)	● 3.3GHz - 4.2GHz (5) ● 28GHz (1) ● SUL/LTE-NR co-existence (13)
第 5 日 3/2(五)	MIMO	Come Backs

本次會議期程共計 5 日（2/26-3/2），會議區分為上午場及下午場，從上午 8 點 30 分至中午 12 時 30 分，下午場則從下午 2 時至晚間 9 時 30 分。本次會議各項議程編排如下圖。


Monday
Tuesday
Wednesday
Thursday
Friday
8 am
8:30 am
9 am
Coffee
10:30-11:00
Lunch
13:00-14:30
Coffee
16:30-17:00
7:30pm
8pm
1, 2, 3, 4
LSs 5
6.1 LTE CRs
7.1.1 InitAcc
InitAcc 7.1.1
Sched/ HARQ 7.1.3
UE Features 7.1.7 (MIMO)
MIMO 7.1.2
Coding 7.1.4 Coex 7.1.5
UE Features 7.1.7 (Non-MIMO)
7.2 URLLC
7.5 V2X
7.4 NOMA
7.3 NTN
MIMO 7.1.2
CR 6.1 6.2
Unlic 6.2.2
Unlic 7.6
UE Features 7.1.7 (non-MIMO)
InitAcc 7.1.1 Sched/ HARQ 7.1.3
UE Features 7.1.7 (MIMO)
CR 6.2.1
MTC 6.2.5
PC 7.1.6
MIMO 7.1.2
HRLLC 6.2.7
NB-IoT 6.2.6
V2X 6.2.3
7.2 URLLC
PC 7.1.6
CR 6.1 6.2
HiCap 6.2.4
UE Features 7.1.7 (non-MIMO)
MIMO 7.1.2
CR 6.2.1
UE Features 7.1.7 (MIMO)
HRLLC 6.2.7
MTC 6.2.5
Coding 7.1.4 Coex 7.1.5
NB-IoT 6.2.6
CSI-RS w/ TRAN2
RRC
InitAcc 7.1.1 Sched/ HARQ 7.1.3
7.2 URLLC 7.3 NTN 7.4 NOMA 7.5 V2X
MIMO 7.1.2
PC 7.1.6
CR 6.1 6.2
CR 6.2.1
HRLLC 6.2.7
Come Backs 6.2.2 7.6 7.1.5 [6.2]
UE Features (non-MIMO)
UE Features (MIMO)
MTC 6.2.5
NB-IoT 6.2.6
V2X 6.2.3
RRC
InitAcc Sched/ HARQ
Come Backs
PC 7.1.6
MIMO 7.1.2
UE Features (Non-MIMO MIMO)
6.1 6.2 6.2.1 6.2.2 6.2.7 7.6 7.1.5
Come Backs
5pm
Ballroom 1+2 (500)
Ballroom 2 (200)
Ballroom 1 (150/100)
VIP/Lambda (100)
Athenaeum conference centre (100)
Omega (50)
Ethniki Library

二、會議資訊

本中心首次出席位於希臘雅典的無線存取網路第 1 工作組，本次會議共計 190 個單位及 546 人報名參與。參與著名大廠有高通(Qualcomm)、蘋果(Apple)、黑莓(Blackburry)、英國 BT、愛立信(Ericsson)、華為(Huawei)、英特爾(Intel)、InterDigital、KPN、摩托羅拉(Motorola)、諾基亞(Nokia)、Orange、SIM 聯盟(SIM Alliance)、索尼(Sony)、Telefonica、Telenor、Thales、德國電信(Deutsche Telekom)、沃達丰(Vodafone)；我國派員參與此次會議之公司/機構有 Acer、CHTTL、ITRI、HTC、III、MediaTek、ASUS 等 6 家。

本次會議蒐集了來自世界各地廠商提交之文件共計 2,192 份，於此次會議通過 Rel-14 及 Rel-15 共計 287 份技術文件（TDoc），大多數通過文件之主要議題為物聯網通訊應用於更進一步的 LTE 實體層強化(Further LTE Physical Layer Enhancements for MTC)、採輔助授權接取方式使用免執照頻譜(Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum)相關議題、非洲 GPP 5G NR 規範將使用 TDD3300 接取方案、以 LTE 為基礎研析車對萬物聯線服務之研究 (Study on LTE-based V2X Services)、窄頻物聯網(NB-IoT)、NR 的新無線電接取集合 new RAT、LTE 用戶端設備(UE)議題、LTE 載波聚合(LTE Carrier Aggregation)、LTE 系統下的升降波束成型與全維度多重輸入多重輸出(Elevation Beamforming/Full-Dimension (FD) MIMO for LTE)及與國際公共安全頻段(PPDR)有關的歐洲 LTE450 及 700MHz，美國對於 LTE 600MHz 的標準制定，以及關於 Rel-10、Rel-11 以及 Rel-13 的相關討論。

三、會議主題與 5G 應用發展

3GPP 做為 5G 技術標準制定者，自 2016 年以來，即開始推動 5G 技術標準訂定作業，從 2016 年至 2018 年中，主要為 Release 15 版之制定期間，相關版本將持續演進至 2019 年底完成 Release 16 版本制定作業。3GPP 對 5G 技術整體規劃發展時程如下圖。

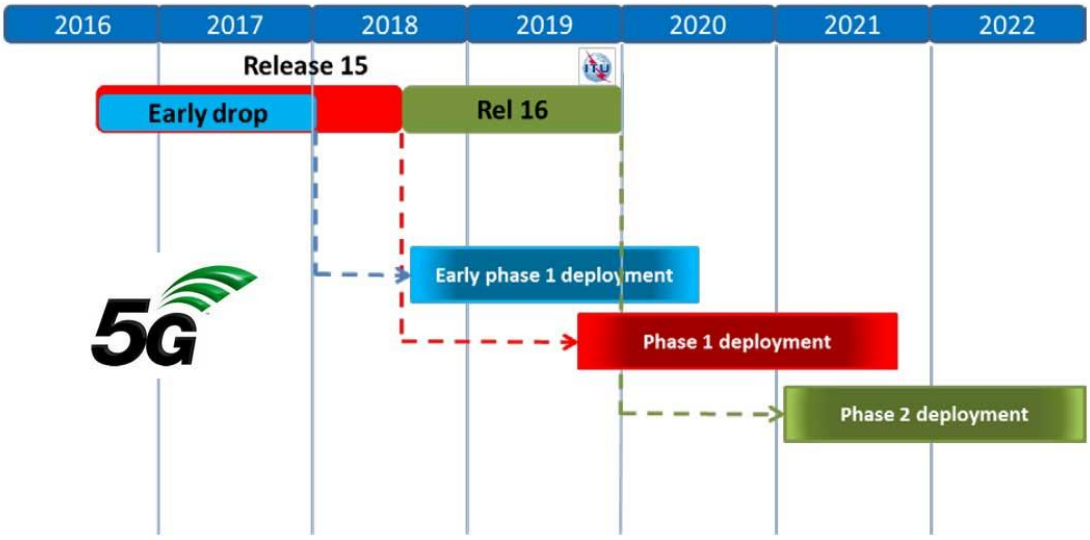


圖 1、3GPP 之 IMT-2020 發展時程規劃

未來 5G 應用範圍將十分廣泛，涵蓋面向包括財務金融、汽車、公共運輸、媒體娛樂、醫療照護、能源、製造以及公共安全等領域，根據愛立信與研究機構共同進行的預測，5G 對整體資通訊產業預計在 2026 年帶來超過 3.3 兆美元，若聚焦於此八大產業，則未來在 2026 年將帶來超過 1.233 兆美元的產值，其中比重最大者為能源事業，預期將占 20%，製造業占比次之，約 19%，公共安全領域與醫療照護領域占比達 13%，媒體娛樂、公共交通運輸、汽車與財務金融領域占比則為 10%-6%，如下圖。[349]

[349] ERICSSON (2017), The 5G Business Potential, available at:

http://www.5gamericas.org/files/7114/9971/4226/Ericsson_The_5G_Business_Potential.pdf

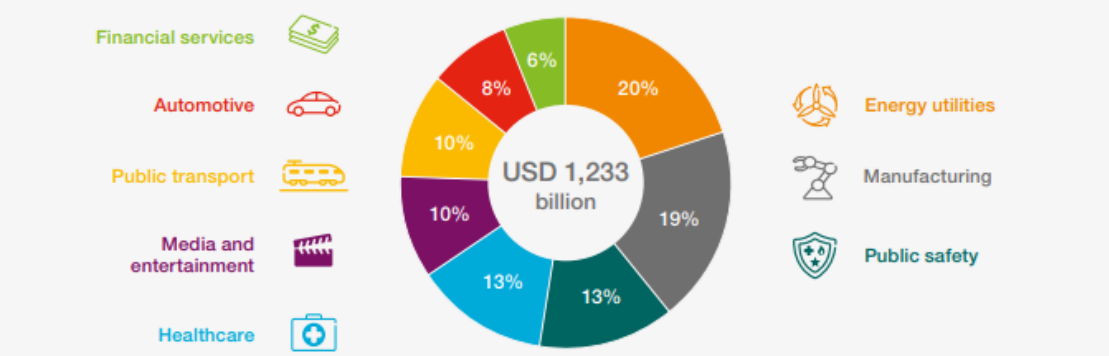


圖 2、5G 應用於八大產業所帶來之產值

資料來源：愛立信

若從網路服務業者營運 5G 網路基礎設施、服務提供與應用服務開發的角度觀察，則此 1.233 兆美元中，有 2,170 億美元可歸類於 5G 網路基礎設施，網路服務提供約可產出 6,060 億美元，應用服務開發與提供則約有 4,100 億美元的產值。從電信業者的角度，主要營收來源以網路基礎設施為主，預期 2,170 億美元中，有 89%的營收會由電信業者收取，服務提供之 6,060 億美元中，有 52%的營收會歸屬於電信業者，在應用服務開發與提供部分，則預期有 18%的營收會屬於電信業者，整體而言，預期全球電信業者將可從 5G 獲得約 5,820 億美元的營收，如下圖。

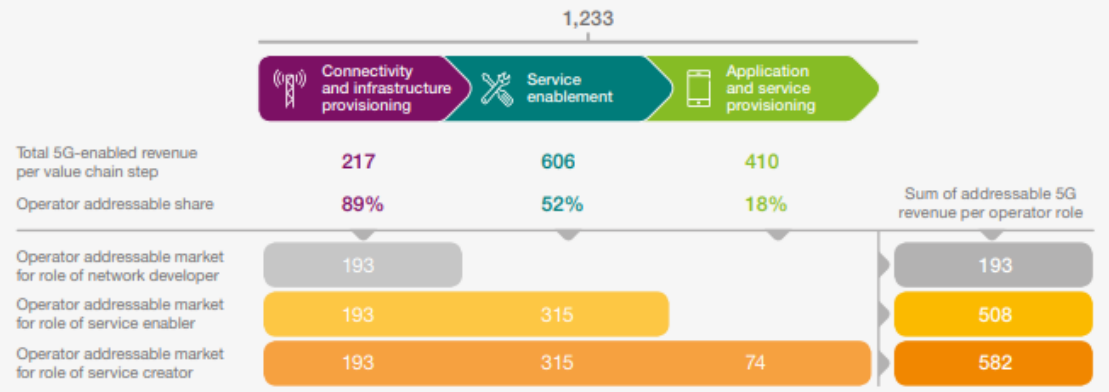


圖 3、5G 應用產值對電信業者之影響

資料來源：愛立信

由於 5G 應用將橫跨多種產業，各產業所需網路功能略有差異，因此增添技術標準制定之困難與複雜度，也因此 3GPP 希望藉由工作小組定期會議舉行，處理跟無線接取技術相關之議題。不同產業對於網路特性之需求亦有差異，例如製造業、能源業與公共安全領域，可能更重視萬物聯網相關技術，故可能關注 NB IoT 議題之發展，至於汽車、公共交通，則可能需要 MIMO 與 V2X 等相關技術之推動，才有機會實現預期的應用服務。對於頻譜資源的整備與使用，則屬政府與產業各界共通關切之議題。

四、會議討論議題

由於 5G 技術標準時程之訂定，已緊鑼密鼓進入 Release 15 版本的收尾階段，因此本次會議討論議題繁多。若從議題區分，包括有 5G NR 免執照頻段、LTE、MIMO、V2X 以及 NB-IoT 等，分別說明如后列。

(一) NR unlicensed：

高通電子（Qualcomm）持續提出相關 5G 技術標準規範草案，今年 R1-1803272 文件，已在此次會議中被批准。Qualcomm 研究的目標是確定物理層設計所需的附加功能（除了通道接入程序以外），以利運作於免執照頻譜。該免執照頻譜可適用於特定的頻率範圍（例如，低於 7 GHz、7-52.6 GHz 或超過 52.6 GHz）。

Qualcomm 研究的最終目標，是依據適用該頻段的共存性及納入監管等考量因素，藉以設計該頻段的通道接取程序。會議中，該公司代表強調此研究包括確定技術中立及頻道接取程序，相關頻段可能隨規範而提高可用性，且該研究假設前提為監管制度將為該類頻段提供保護，亦不使用未經許可的技術框架。

英特爾（Intel）亦針對此議題，提出相關候選頻譜推進方案(Way Forward；WF)，該議題有 26 家廠商參與討論，如 Sony、AT＆T、Nokia、Ericsson、Qualcomm、中興通訊、Sanechips、LG、華為、海思半導體、Samsumg、Verizon、聯發科、德國電信、T-Mobile、Oppo、NTT DOCOMO 等。

- 1GHz 以下頻段

雖然各家廠商對不同頻段各有立場，但對於 1 GHz 以下頻段，所有 26 家公司都一致同意，應優先考慮 1GHz 以下頻段作為 5G NR 免執照頻段之研究。由於 1 GHz 以下頻譜資源有限，該頻段被認為較不適用於增強型行動寬頻(Enhance Mobile Broadband；eMBB)應用型態。不過，有幾家公司指出，1GHz 以下頻段可以考慮用於後期的物聯網用途。

- 2.4GHz 頻段

針對於 2.4 GHz 頻段，26 家公司中有 25 家同意該頻段應該被優先考慮為 NR 免執照之研究。由於 2.4 GHz 頻段的擁擠程度非常高，因此該類頻譜被認為不適合 eMBB 之應用型態。InterDigital 則認為，郊區及偏鄉地區的 mMTC 和 eMBB 仍應考慮 2.4 GHz 頻段。

- 3.5GHz 頻段

在 26 家公司中，有 24 家公司表示 3.5GHz 頻段不應該被視為 NR 免執照研究的候選頻段，或應該低度優先。顯見業界並不認為應以免執照方式看待 3.5GHz 頻段。主要原因為該頻段目前已被歸類為 5G 主要頻譜使用，僅在美國有採取免執照使用的可能。同時，需將系統改善到可使用的狀況，故整體而言並不理想。

有一些廠商質疑該頻段是否可在 5G NR 系統尚未重大修正的情況下，作為 5G 執照頻譜使用。共有 8 家公司（Sony、AT＆T、Charter Communications、Qualcomm、InterDigital、聯發科、

Comcast，CableLabs）贊成將 3.5GHz 頻段納入 NR 免執照研究。廠商指出，該頻段是 eMBB 和其他解決方案中較有吸引力的中庸選擇。

- 5GHz

對於 5 GHz 頻段，所有 26 家公司一致同意 5 GHz 頻段作為 NR 免執照研究的主要候選頻譜。5 GHz 頻段為現階段 6 GHz 以下頻段中最廣泛可用者，亦被全球各地廣泛使用，故該頻段應適用於 eMBB 應用型態。

由於以 LTE 設計為基礎，因此基本上 NR 免執照的頻道接取機制較為穩定，從頻譜效率的改善來看，更低延遲及更高的數據速率等優勢，使 5G NR 免執照可以提供優於 LTE LAA 的方案。有廠商指出，LTE LAA 已經被部署在 5GHz 頻段，並且預期 LTE LAA 可從免執照頻譜取得重大收益。

- 6GHz

26 家公司中有 19 家認為 6 GHz 頻段適合作為 5G NR 免執照頻段的候選頻譜，並認為應該盡可能開放較大頻寬，使之設計成適合 eMBB 應用場景，且沒有既有 Wi-Fi 系統在其中運作。

有 8 家晶片商及電信業者提到，由於尚未建立監管機制，因此該頻段做為免執照頻譜使用將存在風險。有 7 家電信業及製造商代表認為，6 GHz 頻段不應被視為 NR 免執照研究的候選頻譜，或應被列為後期低優先考慮的頻譜，原因也是監管制度尚未建立。

- 37GHz

25 家參與公司中，有 24 家提議暫不考慮 37 GHz 頻段作為 NR 免執照研究的候選頻譜，或者將其作為留在後期階段低優先度的潛在頻譜。37 GHz 頻段可能僅在特定地區(即美國)，且該相關機制尚未建立。但 Qualcomm 仍建議應將 37 GHz 頻段視為 NR

免執照研究的候選頻譜，因為該頻段具備大頻寬的性質，並且3GPP 若早期參與主管機關的監管制度討論，將可影響監管規則制定。

- 60GHz

25 家公司均認為 60GHz 頻段應可被視為低優先級。由於此部分需要與 NR 開發同步，被歸類於超過 52.6 GHz 的頻譜類型。有 10 家製造商及電信業者表明傾向將 60 GHz 頻段納入尚非 5G NR 的研究範圍。

由於 60 GHz 頻段具備較大頻寬、較高的等效全向輻射功率(Effective Isotropic Radiated Power； EIRP)限制（針對 P2P）及穩定的全球監管制度支持，以及穩定的回傳/前傳效率，擁有固定無線接取通訊的良好潛力，且頻譜較不擁擠。基於以上背景，各家廠商建議未來可依照以下順序討論建議方案，並排除 1 GHz 以下和 2.4 GHz 頻段。

- 建議 1：5 GHz 頻段處於 5G NR 免執照的研究範圍內。（注： 26 家公司一致支持）
- 建議 2：6 GHz 頻段屬於 5G NR 免執照的研究範圍。（注：26 家公司中的 19 家支持）
- 建議 3：60 GHz 頻段處於 5G NR 免執照的研究範圍。（注：25 家公司中的 10 家支持）
- 建議 4：3.5 GHz 頻段屬於 5G NR 免執照的研究範圍。（注：24 家公司中的 8 家支持）

(二) LTE

對於 LTE 議題，包括 3GPP 無線接取第二工作小組（RAN 2）、高通電子（Qualcomm）、華為、NTT Docomo 以及愛立信等晶片商、製造商與行動通訊業者均藉由本次會議，提出該公司對於 LTE 相關

議題之提案。若更進一步觀察各業者之提案方向，則聚焦在 LTE CA SCell 與 MTC 等項目。

會議詳細討論內容如下：

1. 3GPP 第二工作組（RAN 2）及晶片商 Qualcomm 提出 LTE CA SCell 協議，RAN2 請求 RAN1 對於公版參考信號(common reference signal, CRS)的信號結構中，傳輸模式為新的 SCell 狀態指定基於 CRS 的三種傳輸方式：CQI / PMI / RI，其各自的週期性發送方式（例如，過程和報告週期性），此部分並未達成結論，僅記錄討論過程。

2. Qualcomm 於新狀態協議(New State agreements)中提出關於 Rel-15 LTE CA SCell 的實體層(PHY)影響。建議內容如下：
   - 建議 1：新協議下的通道狀態訊息(Channel State Information；CSI)反饋週期不應小於 40 毫秒[40ms]。
   - 建議 2：RAN1 建議 RAN2 引入新的參數組 cqi-pmi-ConfigIndex-newState 和 ri-ConfigIndex-newState，該類參數僅能在新特定狀態下適用。傳統 cqi-pmi-ConfigIndex / ri-ConfigIndex 適用於主動模式。
     *CQI 提供通道品質資訊分為寬頻及子頻兩類。
   - 建議 3：假設 UE 在新狀態運作時，僅運作於單一子訊框(subframe)。
   - 建議 4：CSI 反饋模式在運行及非運行模式下保持不變。
   - 建議 5：如果 RAN2 在新狀態中導入對以發現訊號之無線資源管理（RRM）量測的支持，則子訊框中用於 CSI 反饋的 CSI 參考子訊框是 n-4 之前的最後一個探索參考訊號(Discovery Reference Signal；DRS)子訊框。
   - 建議 6：在 MIMO 傳輸模式中，TM 測試案例如 TM9 (支援最大八層傳輸)及 TM10(則為 CoMP 之波束成形應

用)等，基於傳輸分集(Transmit Diversity) /單一天線端口（端口 0）於新狀態下的 CSI 反饋傳輸方案。

此部分議題討論內容，其他廠商代表如 Nokia 關心重點於建議 1 方案會減少週期性；華為則是表示也對新狀態(SCell)感到擔憂，故最後該文件僅被記錄。

3. 華為提出 Rel-15 中 LTE MTC 喚醒信號(wake-up signal；WUS)之建議方案，希望縮短其資訊採集時間，在 R1-1719207 文件中指出，許多公司已經提出增加運作之複雜性且對資訊收穫量的擔憂。
4. Ericsson 於 R1-1801309 文件中亦響應此種趨勢，其提出以下技術將有助於從 RAN WG4 的角度減少系統採集時間：

•實體廣播通道(Physical Broadcast Channel；PBCH)

– 約 40 毫秒的 PBCH 週期，RAN4 假設可為 PBCH 提供 2 個主資訊區塊(Master Information Block； MIB)及傳輸時間區間(Transmission Time Interval； TTI)組合。

•多種系統資訊區塊(System Information Block；SIB)-(bandwidth reduced； BR)

– o SIB1-BR 在 SIB1-BR TTI 上的累積，假定 E-UTRAN 節點 B（E-UTRAN Node B； eNB）至少不會在修改週期內更改 SIB1-BR 資訊。

•系統資訊(System Information ；SI)

假定 eNB 至少在廣播控制邏輯通道(broadcast control channel； BCCH)修改週期內不改變 SI 資訊。

以上議題仍在討論中，尚未最終定案。

(三) NR 及 V2X

對於 NR 議題，包括 3GPP 無線接取第二工作小組（RAN 2）及第四工作小組（RAN 4）， Qualcomm、NTT DOCOMO 及聯發科等晶片商、製造商與行動通訊業者均藉由本次會議，提出該公司對於 NR 相關議題之提案。

1. Qualcomm 以 R1-1801312 回應 R1-1719239 文件，該文件為關於自駕車工程師學會(Society of Automotive Engineers, SAE)下之技術委員會（TC：technical committees），其車聯網小組(Cellular Vehicle-to-Everything； C-V2X)對於 eV2X 評估方法的觀點如下：

。SAE C-V2X TC 的成立目標為基於連接各界與自動化車輛（CAV），該市場非常重要且即將到來。因此，各業者急於開發解決方案以滿足產業需求。SAE C-V2X TC 同意去年 RP-171093 文件中之目標重點，即強調演進及開發評估方法，相關成果均與 KPI 有關。在 SAE C-V2X TC 中， 3GPP Rel-16 將進一步開發低於 10 GHz 與毫米波頻率的 V2X 技術，其潛在的更高階汽車應用方式。

關於 3GPP 關於評估方法的問題，SAE C-V2X TC 建議 3GPP 在本次研究的模擬使用經現場校準的 V2V 資訊通道模型。

本項議題僅被記錄，仍待未來會議討論後續處理。

2. NTT DOCOMO 發表 R1-1801317 文件，RAN 2 要求 RAN 1 回答是否支持以下 NR 相關問題：

– RAN2 理解 NR 支持跨主要實體上行控制通道(Physical Uplink Control Channel； PUCCH)和輔助 PUCCH 的 PUCCH 及實體上行共享通道（Physical Uplink Shared Channel； PUSCH)的並行傳輸。 RAN2 想了解 RAN1 是否支持 PUCCH 的場域和發射功率之理論值。

- ✓ 同時配置 LTE 與 5G NR 技術的雙通道連線(LTE-NR Dual Connectivity； EN-DC)及 NR 實體上行控制通道型次細胞(PUCCH SCell)
- ✓ 用於 EN-DC 之 LTE 中的 PUCCH 及 PUSCH 的同時傳輸狀態。

•更新 RAN1 規範，使用術語“Type3 PH”來引用 PH 中的 SRS，使其與 LTE 技術相同。

*3GPP 於 2017 年 2 月會議中已決定 Type 類型：主要探討 NR 與 LTE 互通下，用戶端設備(UE)的協調能力，UE 的能力被分成三類，第一類是 NR 與 LTE 各自獨立的 UE 能力，不需任何協調動作；第二類是其中一方使用無線存取技術時，會影響到另一方使用，但對方網路端無法解析其行為；第三類亦是其中一個無線存取技術使用時會影響到另一方使用，但對方網路端可解析其行為，當需要協調時則會讓兩個基站透過特定介面來溝通，以免超過用戶設備的能力。

至今仍有部份公司認為對於第二類與第三類 UE 能力的定義不夠清楚，相關定義將來只會用來協助討論後續議題。

•確認功率餘裕回報(Power Headroom Report；PHR)模式 cell group (CG)是否可用於 EN-DC（與 LTE-LTE 雙連結 Dual Connectivity 相同）。

3. 聯發科於 R1-1801323 的(Liaison Statement；LS)討論(Radio Resource Control； RRC)配置光柵與之同步通道。該案聯發科代表請主席及其他業者確認之內容如下：

•Q1：LS 中部分協議是否與 RAN1 所傾向之設計及協議保持一致？

•Q2：如果使用全球同步通道號(Global Synchronization Channel Number）指示同步訊號區塊(SS block)頻率位置，MO 內是否也需要子載波偏移量？

•Q3：除了指示 SSB 頻率位置的 GSCN 值外，無線電資源控制(Radio Resource Control； RRC)資訊中是否還需要使用同步（PCell 修正）及 SCell 需進行重新配置子載波偏移？
•Q4：絕對射頻通道號碼(Absolute Radio Frequency Channel Number； NR-ARFCN)是否可指示 MO 中的通道狀態訊息參考訊號(Channel Status Information Reference Signal； CSI-RS)中的頻率參考，以及與 RRC 消息中指示特定點的 NR-ARFCN 值相同以用於具有同步的重新配置？

(四) 窄頻物聯網(Narrow Band Internet of Things； NB-IoT)

海思半導體(HiSilicon)及華為皆提出在 Rel-14 版中關於 LTE NB-IoT 的增強(R1-1801882 文件)，內容主要提及 2 個混合式自動重送請求(Hybrid Automatic Repeat reQuest； HARQ）過程在窄頻物理上行共享通道(Narrow Band Physical Uplink Share Channel； NPUSCH)之補償機制。

此次 RAN1＃92 會議之相關廠商提案及說明如下：

1. 中國移動提出 R1-1802031 文件，主要討論 NB-IoT 的覆蓋層次，像是 DL level 及 CE 等級確認，及 NB-IoT 下行通道品質等問題；
2. 華為則提出 R1-1801883 文件，說明關於 NB-IoT 中 UL 與 DL 覆蓋增強之間潛在的不匹配問題；
3. 三星提出 R1-1801910 文件，說明關於 NB-IoT 測量報告的討論；Ericsson 提出 R1-1802527 文件，說明關於 NB-IoT Msg3[350]早期

350當 UE 收到隨機接取訊息時(Random Access Response)，就可以進行初次的傳輸，此傳輸可能夾帶 RRC 接取需求。

參考訊號接收品質 RSRQ(Reference Signal Received Quality；RSRQ)報告；

4. 綜合會議中之討論內容，許多廠商像是 CMCC、中興通訊、Sanechips、三星、聯發科、LGE、CATT、Ericsson 皆對於 R1-1803152 文件中所提 NB-IoT 下行通道品質測定均存有疑慮。

(五) 用戶終端設備功能（UE feature）：

本次會議對於此次用戶終端設備功能表（UE feature list）通過的文件有 NTT DOCOMO 公司，該公司代表 Yousuke Sano 提出 Rel-15 的 5G LS on UE feature list 提議案。

另外，RAN WG4 則已經達成 Rel-15 NR 功能的協議，如下表 1 所示。

表 1 UE 功能表議題及同意內容

UE feature	同意內容
FR1 的 60kHz 次載波間隔(subcarrier spacing； SCS)	對於 60KHz 的 SCS，同意為頻率範圍一也就是 6 GHz(Frequency range 1； FR1)引入每個 UE 信號。
長循環前綴(Extended CP； ECP)	若引入信號，ECP 的能力信號將屬類型 4（每個 UE）。對於 ECP 是強制還是可選擇性。未來還會討論是否需要 FR2 的這項功能。
1 符號 GP，用在 FR2 中不成對頻譜的 120kHz SCS 中	對於 FR2，未成對頻譜中的 120KHz SCS 的 1 符號 GP 的能力信號類型將屬類型 4。RAN4 將進一步討論在 Rel-15 中是否支持該功能。
1 符號 GP，用在 FR2 中不成對頻譜的 60kHz SCS 中	對於 FR2，未成對頻譜中的 60KHz SCS 的 1 符號 GP 的能力信號類型將屬類型 4。RAN4 將進一步討論在 Rel-15 中是否支持該功能。
從 UE 角度支持 UL(uplink)共享，和從 UE 角度在 UL 共享中針對具有 LTE-NR 共存的 EN-DC 的 LTE	眾所周知，某些 UE 從 UE 的角度支持 UL 共享，某些 UE 不支持從 UE 的角度來看 UL 共享，UE 需要支持網路指示。對於支持來自 UE 的 UL 共享的 UE，對於“從 UE 的角度來看，在 UL 共享中具有 LTE-NR 共存用於 EN-DC 的 LTE UL 和 NR UL

UL 和 NR UL 之間的切換時間	之間的切換時間”的能力信號類型應當是每個頻段組合
7.5kHz UL 光柵移位	無論是從 UE 的角度還是從網路的角度來看，上行鏈路共享都需要 7.5kHzUL 的光柵位移 未來會進一步討論支持頻段 n2、n5 及 n66 的 LTE-NR 共存的 7.5kHz UL 光柵位移。
輔助上行 (Supplementary Uplink, SUL)	未來會持續討論
DL 和 UL 的每個頻段支持的最大信號頻寬以及 UE 支持的每個 SCS 的最大信號頻寬	在 RAN4＃86 期間，主要討論包括（聚合）信號頻寬，CA 頻寬類別，以及支持的 SCS 和非連續頻寬內 CA 頻率跨頻等的整體 EN-DC / NR CA 能力框架。
CA 的混合場域	在 CA 配置中支持單一載波內的 SCS 的能力將被單獨發信號，即在 CA 情況下不需要強制 UE 支持混合場域。 如果 UE 支持包括 FR1 頻段和 FR2 頻段兩者的頻段間 NR CA，則 UE 應支持 DL 和 UL 中具有或不具有能力的 FR1 頻段和 FR2 頻段之間的兩個混合數字信號。
異步模式下 FDD-FDD 頻段內 LTE-NR DC	每個頻段的組合需要具備異步模式下 FDD-FDD 頻段內 LTE-NR DC 的能力
非連續的 UL CP-OFDM	將於 2018 年 6 月討論上行鏈路功能的非連續 CP-OFDM。
UE 功率等級	引入 UE 功率等級的信號能力，以及類型 1（每頻段）信號，未來會討論 FR2 的默認功率等級（不同的 UE 設備類型可能具有不同的默認功率等級），以及在頻段間 NR CA 和 EN-DC 下的定義
當 UE 進行服務小區測量或同頻測量時，同時接收具有不同場域的數據和 SS 區塊	改名為“當 UE 在 BWP 內使用 SSB 進行服務小區測量或同頻測量時，同時接收不同數字的數據和 SS 區塊”，未來會探討頻段間 CA 案例。 類型 4（每個 UE）僅適用於 FR1。
UE 接收端數量和 UE Tx 端數量	Rx / Tx 端口數量沒有能力信號。未來討論 MIMO 層數時，可重新考慮一下 Tx 端數目的能力信號需求。

資料來源：本計畫整理

上表所提之 FR1 及 FR2 為 3GPP 於 TS 38.104 rel-15 的規範，FR1 指的是 450 MHz – 6000 MHz；FR2 則是指 24250 MHz – 52600 MHz 頻段。NR 傳輸頻寬如下表 2、3 所示：

表 2 NRB-FR1 的傳輸頻段配置

SCS [kHz]	5 MHz	10 MHz	15 MHz		20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}		N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}
15	25	52	79		106	133	[160]	216	270	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
30	11	24	38		51	65	[78]	106	133	162	[189]	217	[245]	273
60	N.A	11	18		24	31	[38]	51	65	79	[93]	107	[121]	135

資料來源：3GPP(2018.3)

表 3 NRB-FR1 的傳輸頻段配置

SCS [kHz]	50 MHz	100 MHz	200 MHz	400 MHz
	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}
60	66	132	264	N.A
120	32	66	132	264

資料來源：3GPP(2018.3)

於 FR1 頻寬範圍中，有關於每個 BS 頻寬及 SCS 的最小保護頻段如表 4 所示，FR2 頻寬範圍中之每個 BS 的頻寬及 SCS 的最小保護頻段如表 5 所示。

表 4 FR1 的最小保護頻段配置[kHz]

SCS [kHz]	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
15	242.5	312.5	382.5	452.5	522.5	[592.5]	552.5	692.5	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
30	505	665	645	805	785	[945]	905	1045	825	[965]	925	[885]	845
60	N.A	1010	990	1330	1310	[1290]	1610	1570	1530	[1490]	1450	[1410]	1370

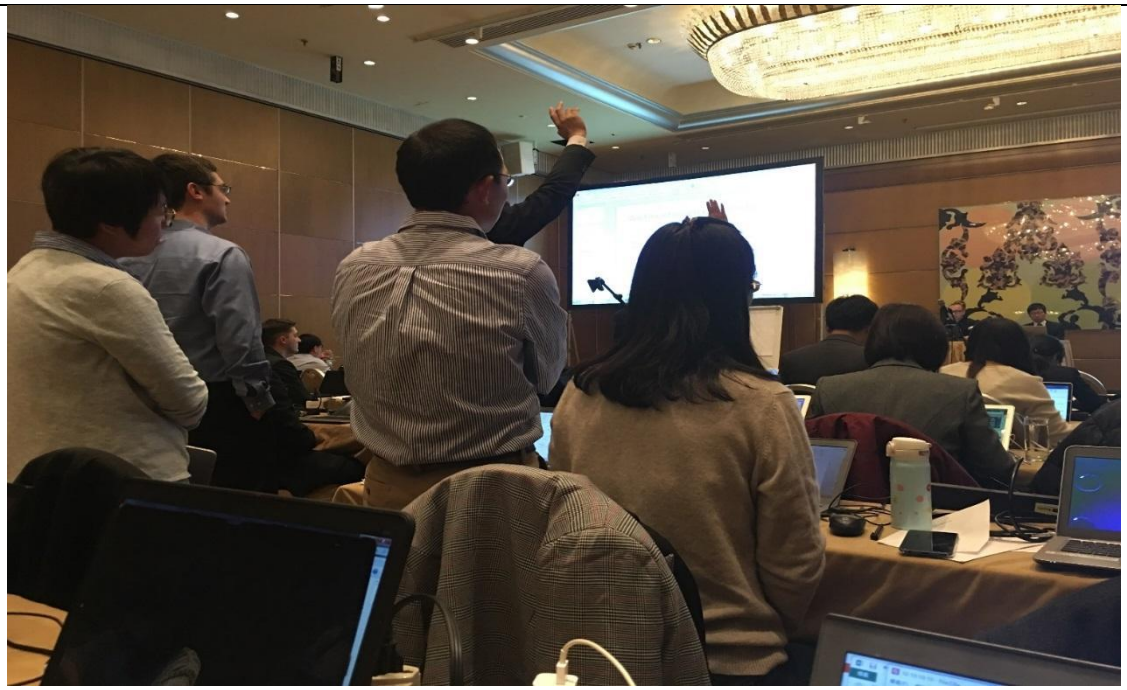
資料來源：3GPP(2018.3)

表 5 FR2 的最小保護頻段配置[kHz]

SCS [kHz]	50 MHz	100 MHz	200 MHz	400 MHz
60	1210	2450	4930	N.A
120	1900	2420	4900	9860

資料來源：3GPP(2018.3)

會場相關照片如下



各界熱烈提案與討論情形



綜合討論會議現場

參、小結(含心得與建議)

本次會議重點著眼於 5G 頻譜（包含執照頻譜與免執照頻譜）、5G NR-MIMO 及 UE 端功能相關議題，針對 5G 免執照候選頻段，各業者表達了對可納入候選頻段與優先進行研析之看法；至於 5G MIMO，如多個波束傳輸及頻段組合等，像是從最初傳輸波形與多工模式之後續設計等，均已達成共識。藉由此一發展可觀察到 5G 與 4G LTE 系統的差異，5G NR 系統相當程度地沿用了 4G LTE 系統之設計原則與技術，並在部分技術上進行改善，值得持續觀察後續發展。

因此，藉由本次會議，本中心可更進一步了解現階段國際間對於 5G 免執照頻譜，主要以 5GHz、6GHz、60GHz 等頻段做為優先選項。對於 3.5GHz 頻段是否納為 5G 免執照頻譜之各界看法不一，主要原因在於大多數國家均將該頻段視為 5G 重點執照頻段。另外也藉由本次會議，蒐集關於 MIMO 以及 V2X 相關技術發展，更進一步了解未來 5G 網路下之增強型行動寬頻應用與車聯網相關發展，相關成果均可做為本中心執行「新世代行動通信及物聯網技術發展之頻譜共享機制規範、頻譜整備與超寬頻技術設備監理制度研究」之研究產出，據以提出關於 5G 技術、頻譜整備、應用趨勢與規管方式之相關建議供主管機關參考。

本次會議之進行過程雖十分有效率，但由於待討論議題仍眾，且各公司對許多重要議題的看法仍有分歧，因而部份技術並未被此次會議通過。就 3GPP 的內部分工，RAN1 主要是在討論實體層設計與上層 RRC 的相關參數，以傳送相關參數給 RAN2 接手制訂相關資訊格式，由於此一設計，導致實體層其他領域設計之討論時間相對被壓縮。許多尚不夠具體、詳細的決議，並無法收錄於本次技術標準。

就本次參與 RAN 1 會議而言，由於會議時程緊湊及議題涵蓋範圍非常龐大，因此實難以通盤收集所有會議資訊。參考其他公司之作法，對於一項議題通常指派一位專員負責深入追蹤，若提早參與討論，則有助於在該項標準制定工作取得先機。由於此次

會議舉辦時，3GPP RAN 第 4 工作小組（RAN 4）會議恰好鄰近會議地點，因此淑華也藉此機會和國內外相關業者交換看法與互相了解。RAN4 之任務分工著重於頻段及應用面，在交流過程中，許多國外業者均認為，就本中心扮演政府通訊領域智庫之定位與未來發展，應持續派員參與相關標準制定之討論。

基於本中心協助政府推動資通訊產業發展之核心目標，若能持續參與 3GPP 相關會議，將有助於掌握行動通訊產業標準制定、技術發展動向與應用發展趨勢，相關資訊經由彙整、分析後可提供給我國通訊主管機關國家通訊傳播委員會參考，包括本次會議中蒐集到各產業界對 5G 免執照頻譜動向之觀察、用戶設備端（UE）的標準制定、5G NR 系統規範與相關功能等，均屬主管機關未來制定 5G 規管政策時應納入考量之重要工作項目與探討議題。

行動通訊將全方面的涉入人類生活，此一趨勢已然浮現於 3GPP 各項會議與標準制定，許多公司均藉由會議召開時提出或支持對該公司有利之技術標準，相關領域則從傳統行動通訊，擴張到萬物聯網範疇，包括物聯網與車聯網等。未來行動通訊產業將與各不同垂直產業間相互合作、協同溝通，包括製造業、運輸業、能源業與農業等，行動通訊的影響範圍將擴張更廣，建議對於相關重點子題領域，需要有專責負責的人進行追蹤，以掌握未來發展契機。

附件 4：出國報告（二）

財團法人電信技術中心

赴泰國參加 2018 亞太頻譜管理論壇
The 4th Annual Asia-Pacific Spectrum Management Conference
出國報告書

單位名稱：電信技術中心
姓名職稱：王彥中 研究員
派赴國家：泰國曼谷
出國期間：107 年 7 月 17 日至 7 月 19 日
報告日期：107 年 10 月 19 日

目錄

壹、 目的……..……..835
貳、 過程……..……..836
參、 會議過程及內容……..……837
肆、 心得及建議……..……859
伍、附件：相關照片及資料……860

摘 要

亞太頻譜管理論壇年會已連續三年於泰國曼谷舉辦，此一年會主辦單位 Forum Europe 與 Forum Global 每年均分別於歐、美、東亞、中東及非洲等區域舉辦系列論壇，藉由提供一個跨國、跨領域交流平台，針對頻譜管理政策相關重要議題，進行研究經驗分享與交流。除會議舉辦國家，亞太地區論壇向來由 ITU 與 APT 共同參與主辦，與會人數通常介於 250-350 人，邀請來自各國監理機關、行動業者、設備供應商、頻譜政策顧問公司以及頻譜專家共同與會。

本屆年會在連續三天的議程當中討論頻譜管理議題甚廣，包括從服務覆蓋範圍及網路承載容量來看 4G 頻譜分配、5G 及 IoT 對於頻譜資源的需求與監理、如何讓 C 頻段及毫米波頻段在 5G 應用中發揮作用、各區域電信組織對於 WRC-19 大會的準備情形、頻譜拍賣及定價、數位經濟發展與國家寬頻接取計畫等，除邀請監理機關代表及產業資深專家提供觀點與建議外，亦穿插安排案例分享，由報告者就其國家處理頻譜管理相關議題時，所面臨的問題或相關作法，供與會者參考。

壹、目的

財團法人電信技術中心（以下簡稱本中心）接受國家通訊傳播委員會補助，執行「新世代行動通信及物聯網技術發展之頻譜共享機制規範、頻譜整備與超寬頻技術設備監理制度研究」。研究過程當中，已廣泛蒐集 ITU、3GPP 等國際組織，以及各先進國家在 5G 頻譜規劃、國際標準共同推進等領域進行戰略合作等資訊。

亞太頻譜管理論壇年會已連續三年於泰國曼谷舉辦，此一年會主辦單位 Forum Europe 與 Forum Global 每年均分別於歐、美、東亞、中東及非洲等區域舉辦系列論壇，藉由提供一個跨國、跨領域交流平台，針對頻譜管理政策相關重要議題，進行研究經驗分享與交流。亞太地區論壇除會議舉辦國家外，向來由 ITU 與 APT 共同參與主辦，與會人數通常介於 250-350 人，邀請來自各國監理機關、行動業者、設備供應商、頻譜政策顧問公司以及頻譜專家共同與會。

藉由參與本次亞太頻譜管理論壇年會，將能更進一步了解亞太區域組織對於 WRC-19 會議之準備，以及國際間對於 5G、物聯網與工業 4.0 之頻譜需求現況與未來趨勢、頻譜管理與整備規劃等相關議題之看法。

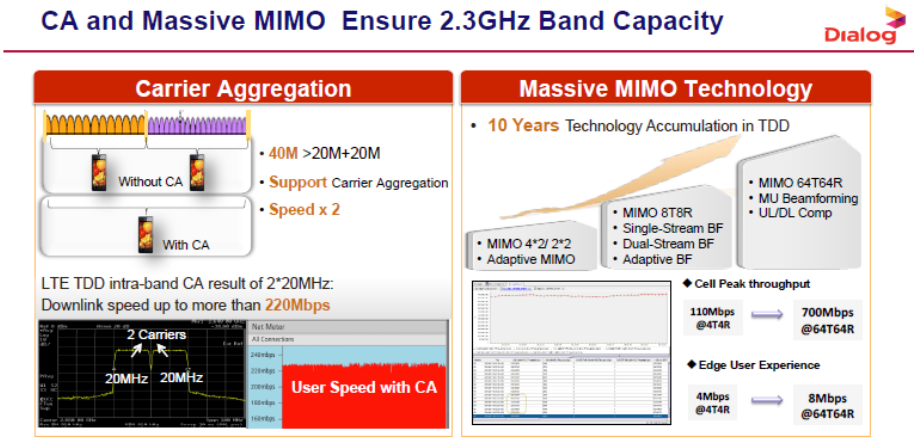
貳、過程

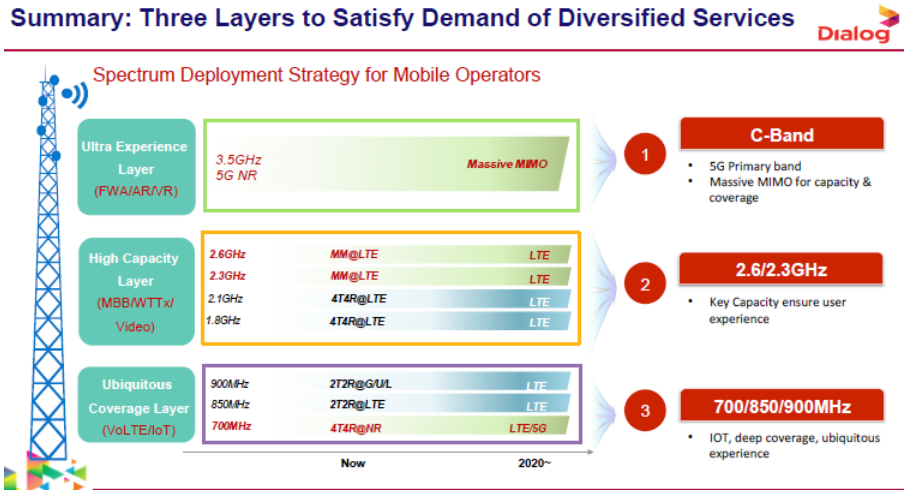
日期	行程
7/16 （一）	出發（臺灣 14:05 出發，於當地時間 16:50 抵達泰國曼谷蘇凡納布機場）
7/17 （二）	全程參與「The 4th Annual Asia-Pacific Spectrum Management Conference」年會
7/18 （三）	
7/19 （四）	
7/20 （五）	回程（泰國當地時間 17:40 出發，於 22:20 抵達臺灣桃園機場）

參、會議過程及內容

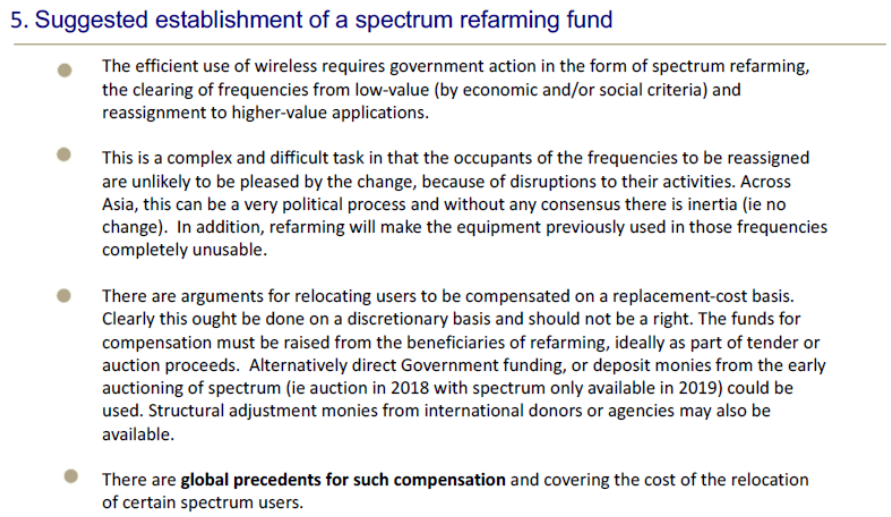
（一）4G 頻譜分配

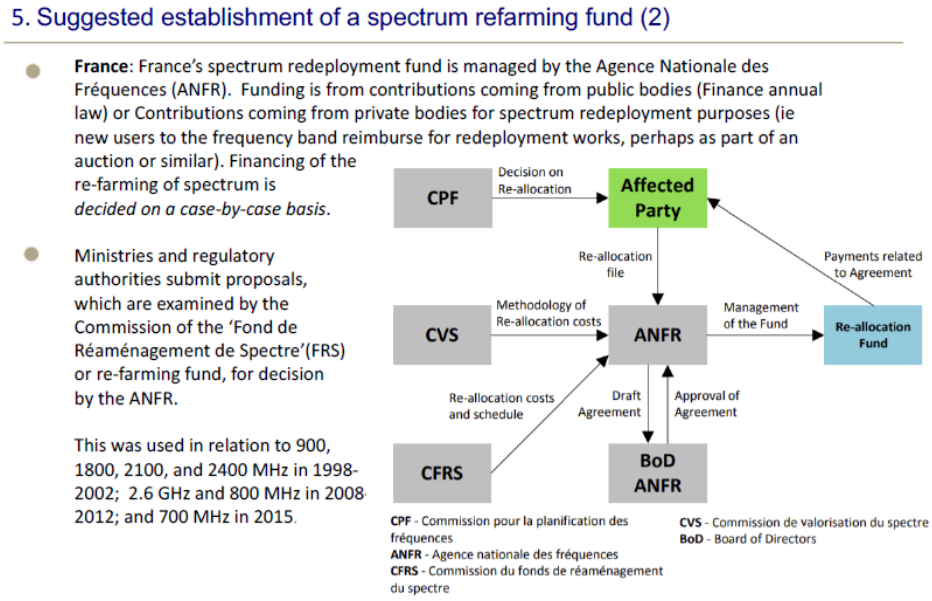
斯里蘭卡電信公司 Dialog Axiata 的集團技術長 Pradeep De Almeida 以 2.3GHz 頻段為例，當一家電信公司取得 2*20MHz 頻寬，目前可先透過同頻段 (intra-band) 之載波聚合 (CA)，將下載速率提升兩倍 (220Mbps)，後續隨著巨量天線 (Massive MIMO Antenna) 技術之演進發展，將來在 64T64R Massive MIMO 之下，基站尖峰吞吐量可望達到 700Mbps。Pradeep 並認為，透過廣覆蓋、高容量與極致體驗的三層式頻譜配置，以及 TDD 頻段搭配 Masive MIMO 技術，將可設計出既彈性且符合未來多樣化服務之行動寬頻網路。





澳洲通訊產業顧問公司 Windsor Place Consulting 的 Scott Minehane 首先談到澳洲政府對於 3.6GHz 頻段進行重整規劃(reframing)，經考量既有持照者可能受到之衝擊，該頻段將採 2/5/7 年分批完成重新分配；另由於該頻段僅將重新釋出 125 MHz 頻寬，對於都會區及其他區域 (regional areas)，將分別設有 40MHz 及 60MHz 之頻寬上限 (cap)，以確保各業者均有充分機會取得 5G 建設所需之頻譜資源。講者就頻譜重整經費議題提出相關建議，並針對既有用戶遷移補償，分以法國、美國及日本之作法為例進行說明。



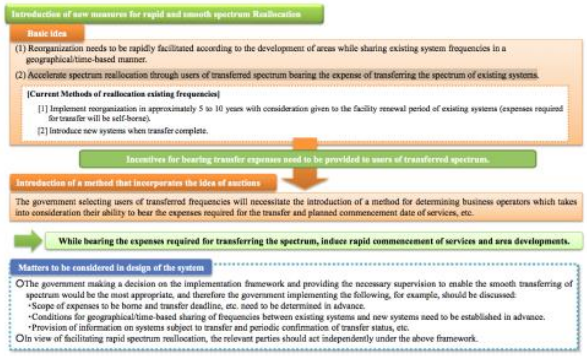


5. Suggested establishment of a spectrum refarming fund (3)

- **United States:** The Spectrum Relocation Fund (SRF) was created in 2004 and has enabled federal agencies make more spectrum available for commercial use. It is administered by the Office of Management and Budget (OMB) and the National Telecommunications & Information Administration (NTIA).
- The fund is used to finance the costs of spectrum reallocation and sharing for *federal government entities* that use a US government station assignment. Spectrum Refarming Fund consists of funds raised by a spectrum auction to cover the associated costs of relocating to another spectrum band (eg AWS Band where USD1.5 billion was the final relocation cost of 12 Federal entities versus USD6.9 billion in auction proceeds).
- The *Spectrum Pipeline Act* ('SPA') was passed in November 2015. The SPA makes changes to the SRF. The SPA broadens the scope of eligible expenses, enabling agencies to use funds from the SRF to pay for research and related activities that promise to increase spectrum efficiency and that may lead to repurposing of spectrum for commercial use. These modifications provide an initial USD500 million in funding as well as a mechanism to replenish the funding pool with proceeds from future auctions.
- *The Supplementing the Pipeline for Efficient Control of The Resources for Users Making New Opportunities for Wireless Act — aka, the SPECTRUM NOW Act* was introduced into Congress in June 2018 with bipartisan support and is currently in the first stage of the legislative process. The new legislation would allow the existing SRF funding (approximately USD8 billion) to support research-related activities that examine the feasibility of federal spectrum users relocating or sharing spectrum with non-federal users.

5. Suggested establishment of a spectrum refarming fund (4)

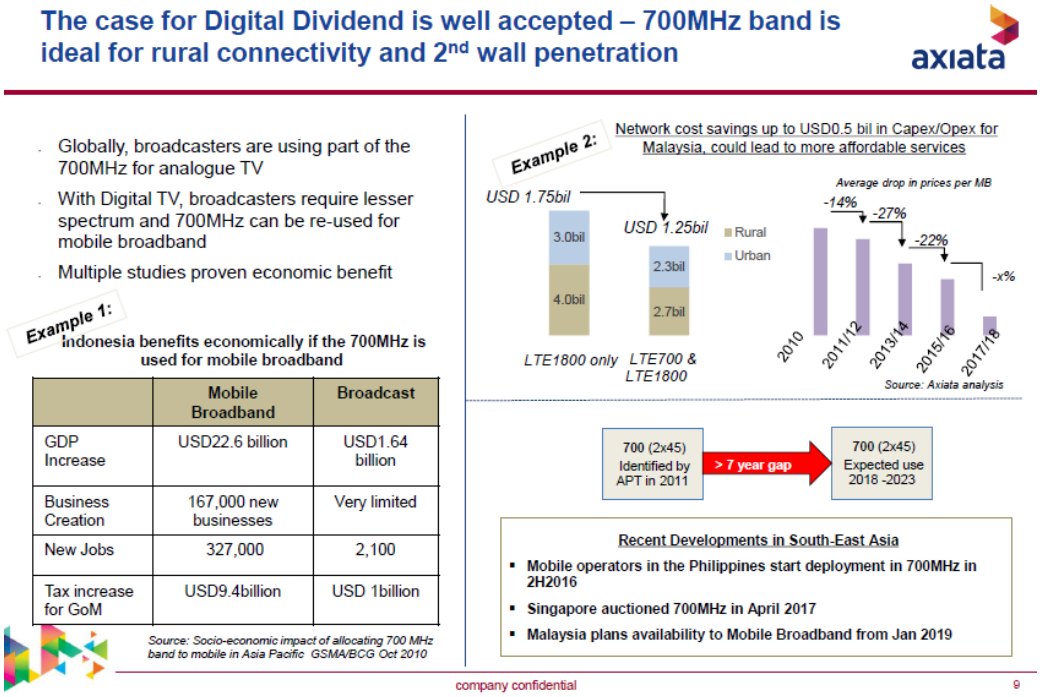
- **Japan:** Japan introduced a compensation system for spectrum refarming in 2004. The system was designed to cover the economic loss of incumbent spectrum users who relinquish their spectrum (salvage value, removal cost, etc.). The funding of compensation is achieved through the collection of additional spectrum usage fees for new spectrum users. Compensation payments are made from the spectrum fee fund when a user voluntarily vacates a band or its licence is revoked by the government. The compensation paid is 50% of the remaining book value of the equipment less a standard allowance for the terminal value (of 10% of the original value).



GSMA 負責頻譜政策與監管事務的 Cristian Gomez 亦認同採取適當方式進行頻譜重整規劃，允許執照換發 (renewal) 不失為一個健全監管的作法。

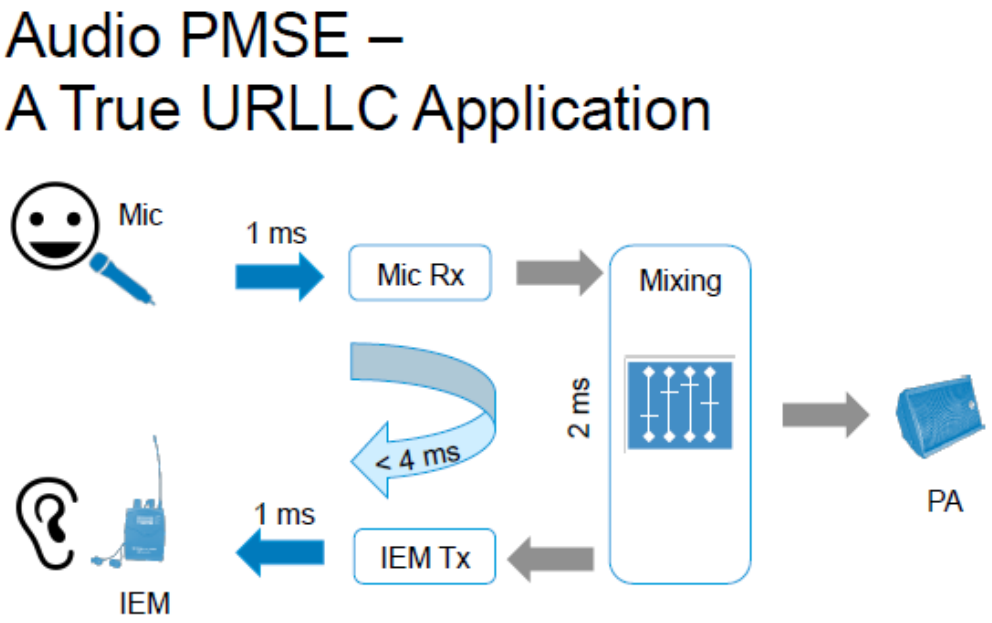
過去不乏有研究指出，700MHz 頻段用於行動寬頻服務，將對國家帶來可觀之經濟利益；axiata 公司法務長 CK Foong 即以馬來西亞市場為例，相較於單純使用 1800MHz 頻段布建網路，業者若能同時

使用 700MHz 與 1800MHz 頻段，將帶來節省 5 億美元資本及營運支出 (Capex/Opex)，以及降低每 MB 價格之效益。然而，受限於相鄰國家之無線電視數位轉換 (ASO) 進程，在東南亞國家當中，目前僅有菲律賓及新加坡已分於 2016、2017 年完成 700MHz 頻段之行動釋照，馬來西亞行動業者則殷切期待政府於 2019 年初辦理釋照。

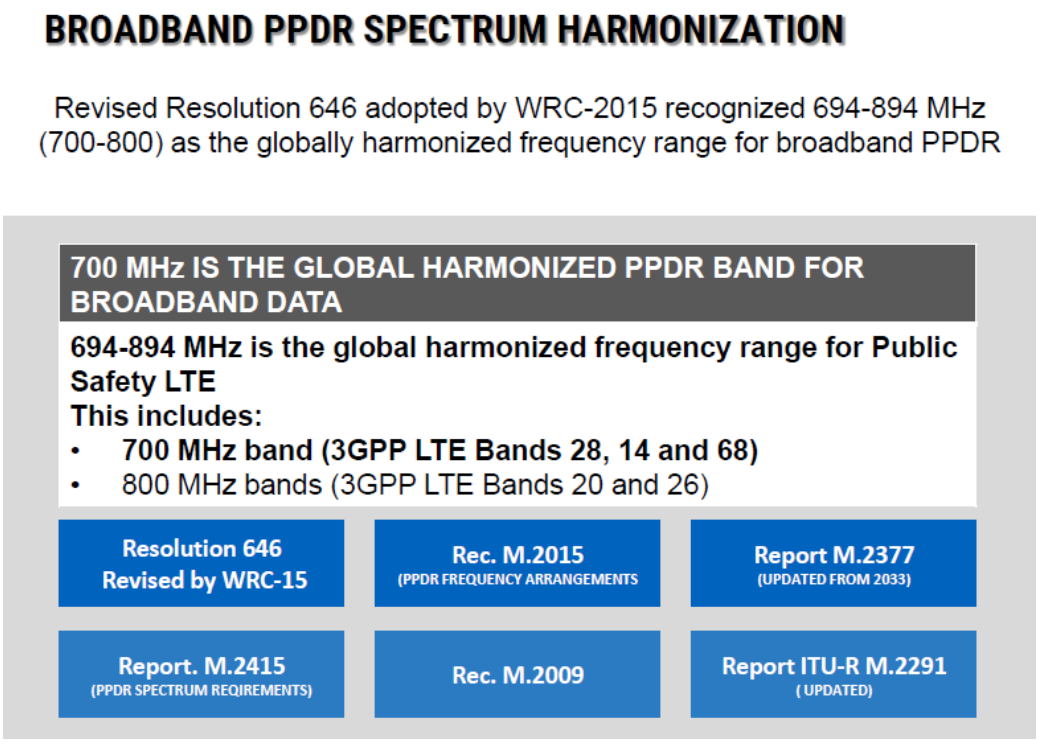


設計生產無線麥克風等視聽音響設備廠商 Sennheiser Electronic 的 Andreas Wilzeck 談到了 UHF-TV 頻段轉為行動使用，對 PMSE（Programme-Making and Special Events）音頻設備所帶來的影響；並整理了歐盟與美國所釋出之替代頻率使用範圍，其包括：

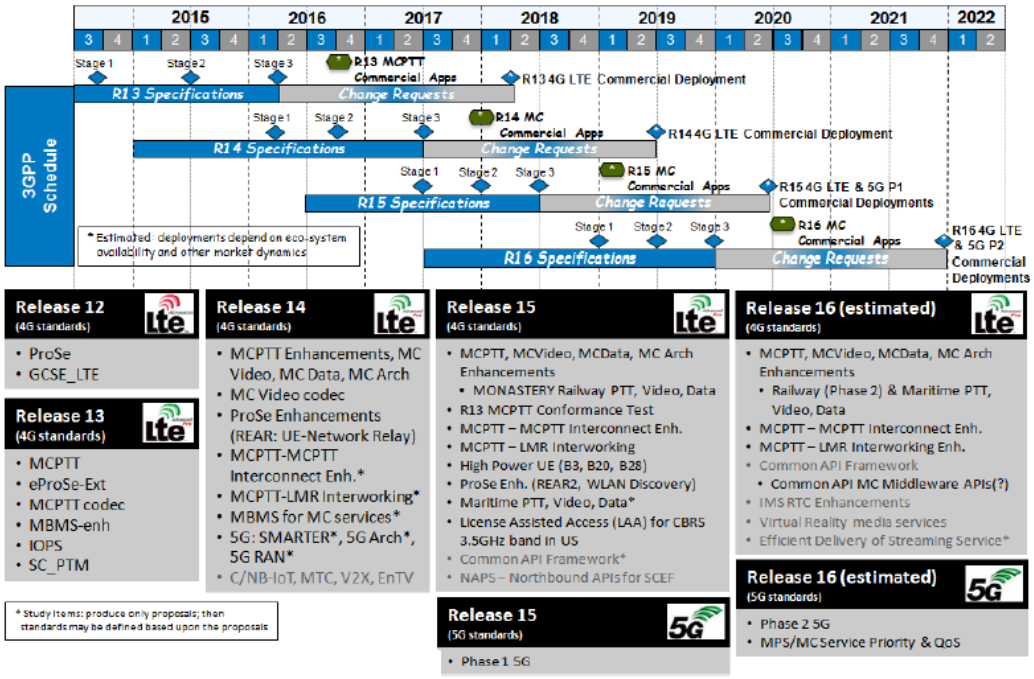
- 歐盟：1350 - 1400 MHz, 1518 - 1525 MHz, 1785 - 1804.8 MHz
- 美國：1435 MHz – 1525 MHz



目前擔任 ITU - APT Foundation of India 總裁的 Bharat Bhatia 則是深入分析「頻譜協同（spectrum harmonization）」對 PPDR 之重要性，並依序說明寬頻 PPDR 頻譜協同選項，LTE 與 5G-NR 技術規格如何滿足 PPDR 需求，最後並列舉了數種 PPDR 網路布建模式之分析比較。



LTE and 5G-NR are the key technologies for Broadband PPDR



Release 12 (4G standards)
- ProSe
- GCSE_LTE

Release 13 (4G standards)
- MCPTT
- eProSe-Ext
- MCPTT codec
- MBMS-enh
- IOPS
- SC_PTM

Release 14 (4G standards)
- MCPTT Enhancements, MC Video, MC Data, MC Arch
- MC Video codec
- ProSe Enhancements (REAR: UE-Network Relay)
- MCPTT-MCPTT Interconnect Enh.*
- MCPTT-LMR Interworking*
- MBMS for MC services*
- 5G: SMARTER*, 5G Arch*, 5G RAN*
- C/NB-IoT, MTC, V2X, EnTV

Release 15 (4G standards)
- MCPTT, MCVideo, MCData, MC Arch Enhancements
  - MONASTERY Railway PTT, Video, Data
- R13 MCPTT Conformance Test
- MCPTT – MCPTT Interconnect Enh.
- MCPTT – LMR Interworking
- High Power UE (B3, B20, B28)
- ProSe Enh. (REAR2, WLAN Discovery)
- Maritime PTT, Video, Data*
- License Assisted Access (LAA) for CBRS 3.5GHz band in US
- Common API Framework*
- NAPS – Northbound APIs for SCEF

Release 16 (estimated) (4G standards)
- MCPTT, MCVideo, MCData, MC Arch Enhancements
  - Railway (Phase 2) & Maritime PTT, Video, Data
- MCPTT – MCPTT Interconnect Enh.
- MCPTT – LMR Interworking Enh.
- Common API Framework
  - Common API MC Middleware APIs(?)
- IMS RTC Enhancements
- Virtual Reality media services
- Efficient Delivery of Streaming Service*

Release 15 (5G standards)
- Phase 1 5G

Release 16 (estimated) (5G standards)
- Phase 2 5G
- MPS/MC Service Priority & QoS

* Study Items: produce only proposals; then standards may be defined based upon the proposals

MULTIPLE LTE DEPLOYMENT MODELS
VALUE PROPOSITIONS FOR ALL MODELS

DEDICATED/STANDALONE PS LTE NETWORK	HYBRID PUBLIC-PRIVATE	CARRIER LEVERAGED (ps & non ps)
Dedicated Spectrum	Dedicated Spectrum	Shared Spectrum
Dedicated Network	Shared Network	Shared Network
• Utilized only by Government agencies • Owned and Operated by Govt agency, usually as a CAPEX model	• PS-LTE network shared with other entities (e.g., utilities, carriers, military) • Requires unique governance and operating model to accommodate PS demands and reduce costs	• Network shared with consumers, businesses, and PS agencies • Select enhancements and hardening to meet PS agency needs
Examples US Firstnet, Korea GRN, Singapore, Middle east	**Examples** Mexico MVNO	**Examples** UK ESN,

LOWER LEVELS OF PS CONTROL, FUNCTIONALITY, RELIABILITY
LOWER COST PER USER
MORE LIKELY AN 'aaS' DEPLOYMENT

HIGHER LEVELS OF PS CONTROL, FUNCTIONALITY, RELIABILITY
HIGHER COST PER USER
MORE LIKELY A CAPEX-BASED DEPLOYMENT

PAGE 20

（二）5G 及 IoT 對頻譜資源之需求與監理

成立於 2017 年 3 月的福州物聯網開放實驗室 (FIoT-LAB) 總裁高騰博士除詳細介紹了大陸地區基於 NB-IoT 技術的產業生態鏈發展現況，並以智慧城市建設模式為例，說明政府當局、行動業者及企業於其中各自扮演之角色。





來自德國電信監理機關聯邦網路管理局（Bundesnetzagentur, BNetzA）的 Thomas Ewers 介紹了在公眾行動網路、專用網路及短距離裝置 (SRD) 各別適用之物聯網技術與頻譜，並談到德國目前正在就 5875-5925 MHz 用於 ITS，以及 5925-6425 MHz 開放給 RLAN 等工作進行相關研究，其包括：

- Commission mandate on RLAN in the 6-GHz band
  - Compatibility studies in the band 5925-6425 MHz
  - Development of harmonised technical specifications
- Commission mandate on ITS
  - Extension of the band to 5875-5925 MHz
  - Various modes of transport and technologies under consideration

任職於 ITU 亞太辦公室的 Aamir Riaz 同樣談到了物聯網應用及物聯網連結的多樣性需求；在行動通訊頻譜方面，亦整理出目前各區域 (Region 1~3) 適用之 IMT 頻段，並且從 WRC-19 議題項目當中整理出不同業務用途所提出的頻段重疊情形，如下附圖。



Overlapping Bands in WRC-19 Agenda Items

1.6 – NGSO FSS Res. 159 (WRC-15)	1.13 – IMT Res. 238 (WRC-15)	1.14 – HAPS Res. 160 (WRC-15)	9.1 (9.1.9) – FSS Res. 162 (WRC-15)
	24.25 - 27.5	24.25 - 27.5 (Reg. 2)	
37.5 - 39.5 (s-E*)	37 - 40.5	38 - 39.5 (globally)	
39.5 - 42.5 (s-E*)	40.5 - 42.5		
47.2 - 50.2 (E-s*)	47.2 - 50.2		
50.4 - 51.4 (E-s*)	50.4 - 52.6		51.4 - 52.4 (E-s*)

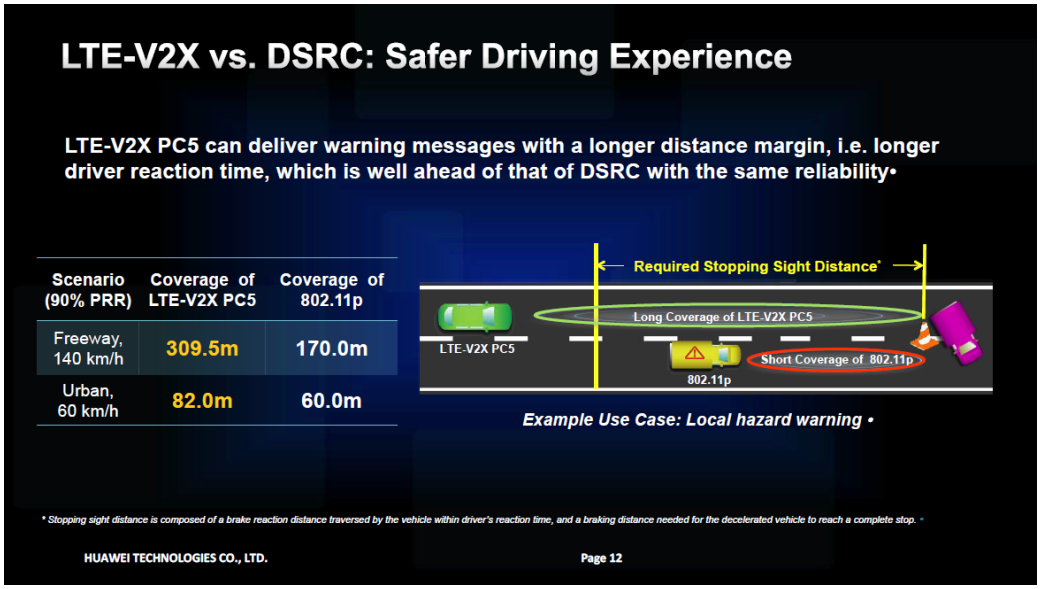
- E-s: Earth-to-space; s-E: space-to-Earth.
- All bands in GHz

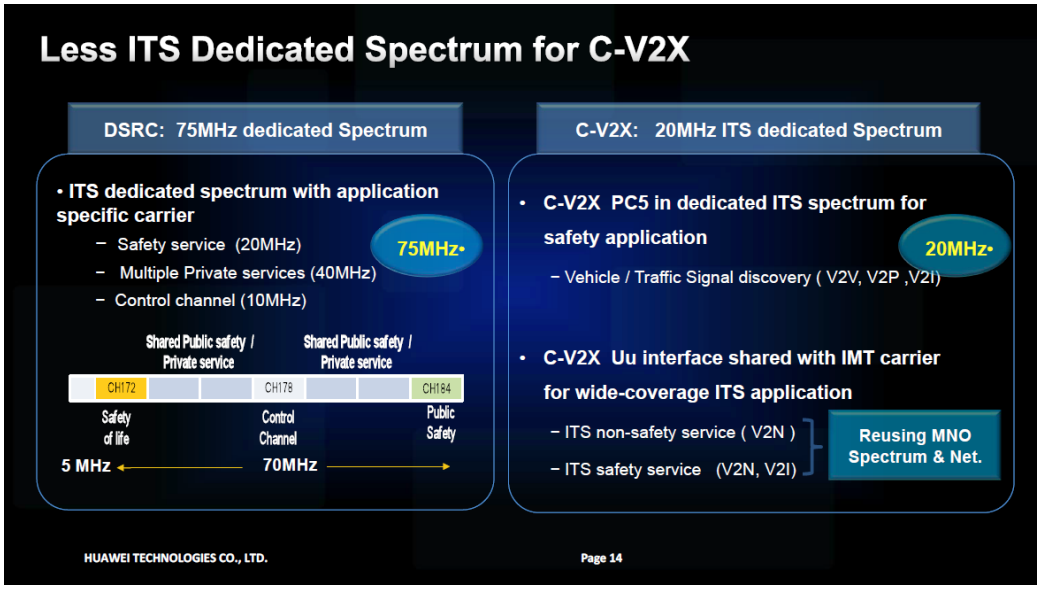
Aamir Riaz 最後提到根據 ITU-R WP5D 所作研究，WP5D 考慮了三種不同的方式評估 5G 毫米波頻譜需求，其結果總結如下表。

	關聯條件	需求頻寬總和 (GHz)
基於應用 ITU-R M.1651	人潮擁擠、人口密集與都會區域 Overcrowded, Dense urban and Urban areas	18.7
	人口密集與都會區域 Dense urban and Urban areas	11.4
	高擁擠區域 Highly crowded area	3.7
	擁擠區域 Crowded area	1.8
基於技術性能	在室內等小範圍之基站邊緣為 N 個用戶同時提供服務，每一用戶體驗速率達 1Gbps	3.33 (N=1) 6.67 (N=2) 13.33 (N=4)
	在較大範圍之基站邊緣為 N 個用戶同時提供服務，每一用戶體驗速率達 100Mbps	0.67 (N=1) 1.32 (N=2) 2.64 (N=4)
	eMBB 人口密集	0.83 ~ 4.17
	eMBB 室內熱點	3 ~ 15
	在基站邊緣向一位用戶傳送檔案，其速率達 10 Mbits/msec	33.3
	在基站邊緣向一位用戶傳送檔案，其速率達 1 Mbits/msec	3.33
	在基站邊緣向一位用戶傳送檔案，其速率達 0.1 Mbits/msec	0.333
	人口密集區的小基站及室內熱點	14.8 ~ 19.7

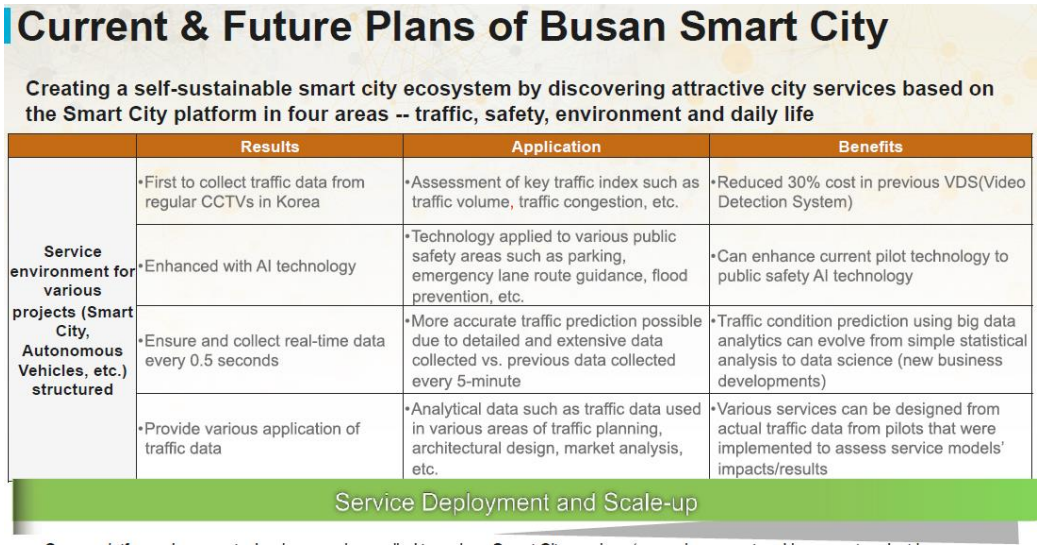
基於特定國家考量	-	7 ~ 16

華為資深工程師則就 3GPP 所發展之 C-V2X 標準制定進程談起，除分析 Uu（與基站通訊）及 PC5（車間直接通訊）兩個介面之功能特性，亦由安全駕駛體驗（接獲告警後的煞停距離）及頻寬需求，對 C-V2X 與 DSRC 進行比較。





在 IoT 應用發展方面，來自南韓釜山智慧城市計畫的代表分享了導入利用 AI 人工智慧進行知識創造的智慧運輸服務為起點，希能在交通、安全、環境和日常生活中，透過智慧城市平臺發掘具吸引力的城市服務，以創建一個可自我持續的智慧城市生態系統。



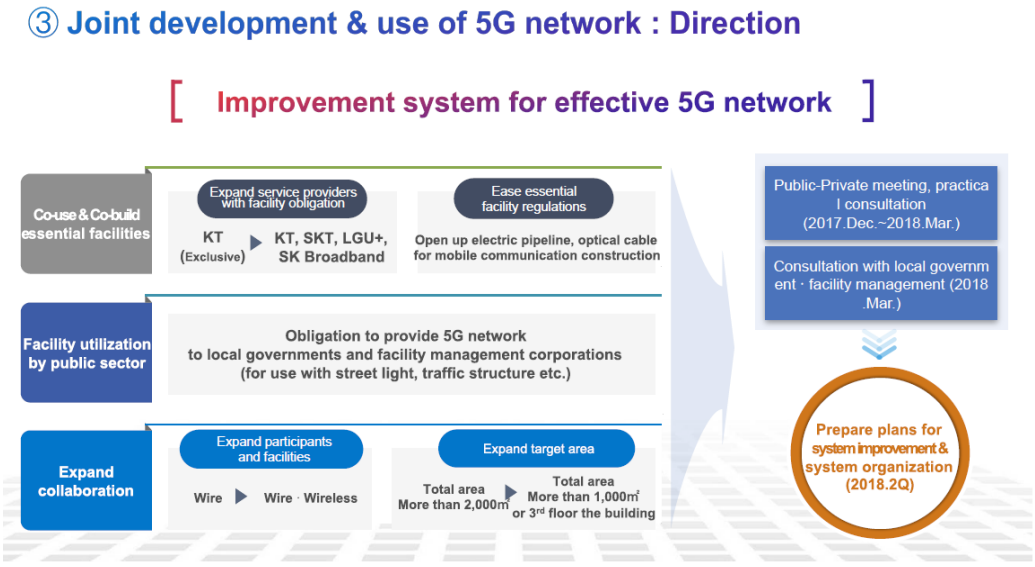
Current & Future Plans of Busan Smart City

Creating a self-sustainable smart city ecosystem by discovering attractive city services based on the Smart City platform in four areas -- traffic, safety, environment and daily life

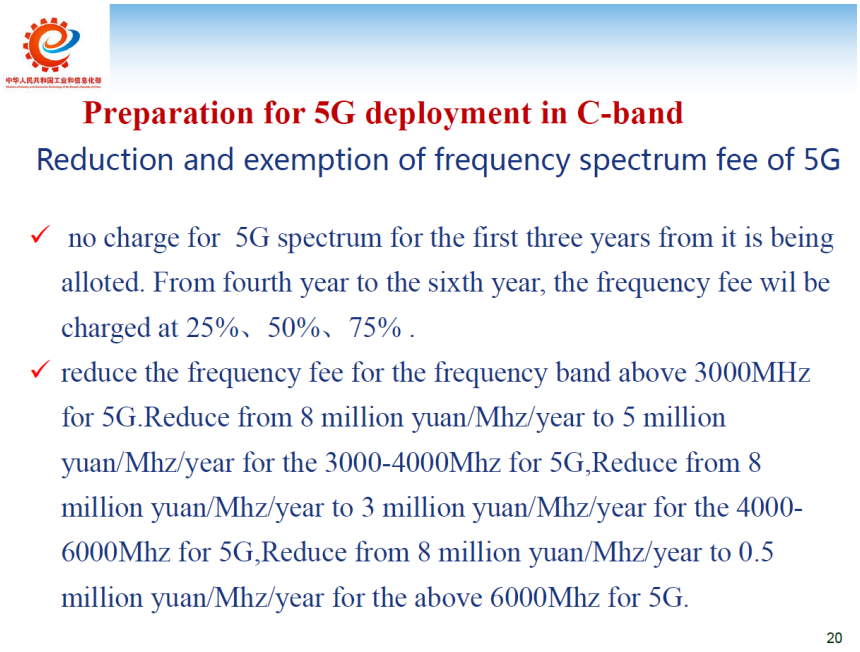
	Results	Application	Benefits
Service environment for various projects (Smart City, Autonomous Vehicles, etc.) structured	•First to collect traffic data from regular CCTVs in Korea	•Assessment of key traffic index such as traffic volume, traffic congestion, etc.	•Reduced 30% cost in previous VDS(Video Detection System)
	•Enhanced with AI technology	•Technology applied to various public safety areas such as parking, emergency lane route guidance, flood prevention, etc.	•Can enhance current pilot technology to public safety AI technology
	•Ensure and collect real-time data every 0.5 seconds	•More accurate traffic prediction possible due to detailed and extensive data collected vs. previous data collected every 5-minute	•Traffic condition prediction using big data analytics can evolve from simple statistical analysis to data science (new business developments)
	•Provide various application of traffic data	•Analytical data such as traffic data used in various areas of traffic planning, architectural design, market analysis, etc.	•Various services can be designed from actual traffic data from pilots that were implemented to assess service models' impacts/results

Service Deployment and Scale-up

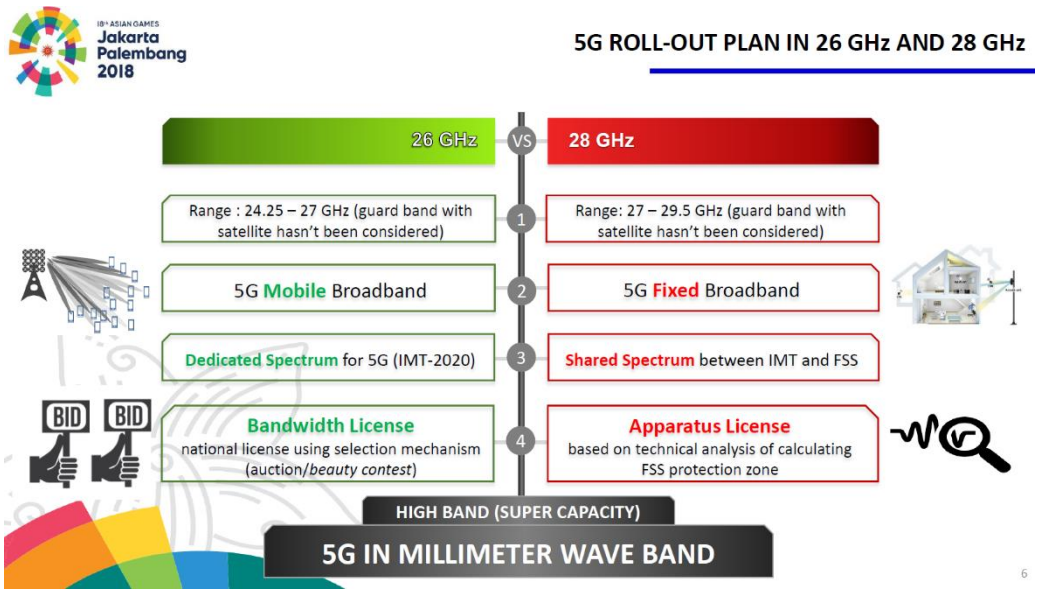
同樣來自南韓的代表分享平昌冬奧舉辦期間所作之 5G 各項應用示範；南韓政府甫於今年完成 3.5GHz 與 28GHz 頻段之 5G 頻譜釋照，並以全國基站總數 15 萬臺為基準，要求業者在 3 年達到 15%（2.25 萬臺）、5 年內倍增至 30%（4.5 萬臺）之網路建設義務，同時，為避免基礎設施之過度投資，亦有類似於我國鼓勵業者共站共構，以及開放公有建物設施之舉措。



中國大陸代表特別提到了 5G 頻譜使用費減措施，包括：前三年免收，第四年起逐步調升（25%→50%→75%→100%）。

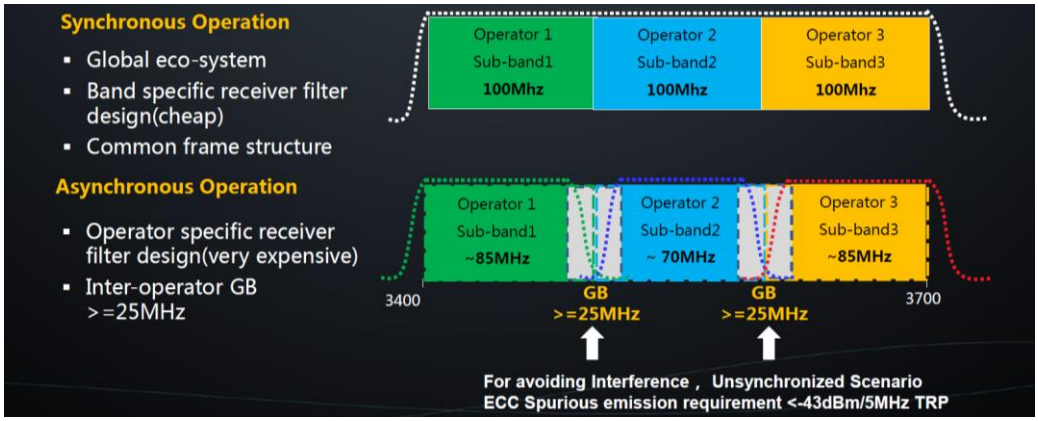


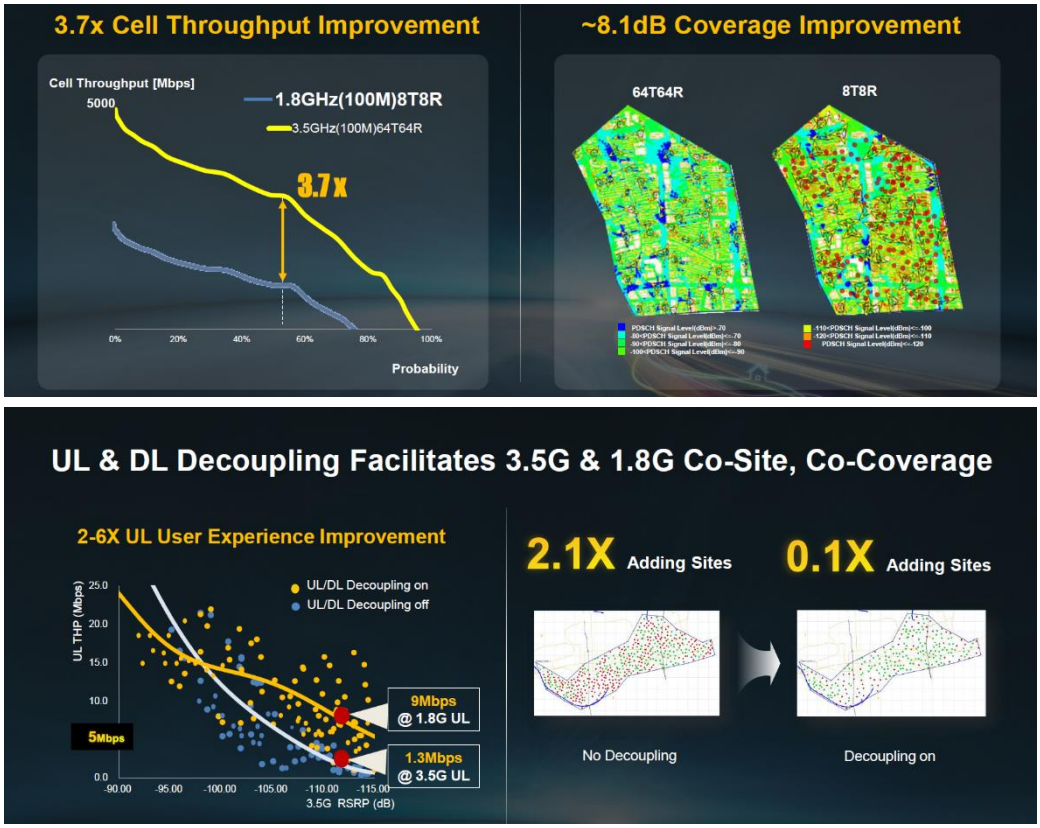
5G 政策方面，在印尼監理機關代表分享 5G 發展藍圖當中，較為特殊的是針對 26GHz 及 28GHz 頻段之開放，該國政府傾向將 WRC-19 會議可望確認之 26GHz 頻段作為 5G 專屬頻段並規劃頻譜釋照，另在可能列為 WRC-23 討論之 28GHz 頻段，將考慮先以設備執照形式開放作為固定無線寬頻使用。



（三）3.5GHz、mmWave 毫米波頻段配置與其他應用

華為分享該公司對於 3.5GHz 頻段配置 5G 及效能研究，基於 TDD 之特性，相鄰頻段業者採取同步模式 (synchronous operation) 為佳；倘若不強制業者間同步，則需預留至少 25MHz 護衛頻寬，以避免鄰頻間彼此干擾。業者並建議，採取 Massive MIMO、UL/DL Decoupling (1.8GHz UL & 3.5GHz DL) 等作法，均有助於強化 5G 訊號涵蓋。





全球最大的衛星運營商 SES 公司資深副總 Gerry Oberst 引用歐盟 ECC Report 所列衛星與 5G 融合的四種主要使用情境，強調衛星通訊可作為 5G 理想的解決方案；SES 並強烈呼籲 28GHz 頻段 (27.5-29.5GHz) 保留作為衛星資源（註：已有不少 HTS 寬頻衛星通訊系統使用 Ka band/27.5-31.5GHz 作為上鏈）。

▲ Four main use cases for satellite integration in 5G networks have been identified in ECC Report 280 "Satellite Solutions for 5G", approved 18 May 2018

- Report gives overview of key capabilities and looks at various use cases with specific requirements
- Prepared in context of CEPT Roadmap for 5G
- Also describes innovation in satellite sector that will further support 5G



▲ These four "sweet spots" leverage the advantages of satellites – **ubiquitous coverage** and **reliability** – to enable and accelerate development of terrestrial 5G networks

▲ Elements of future applications already are key ingredients in existing networks, such as 3G/4G/LTE and others. Examples:

- Disaster relief and Emergency response
- Connectivity for remotely deployed battery activated M2M/IoT sensors
- IoT devices on containers (e.g., for tracking and tracing)

▲ C and Ku bands already are heavily used by satellite

▲ Satellite use of Ka band is experiencing rapid growth due to broadband applications -- the millimetre wave 27.5-29.5 GHz band ("28 GHz") is a key satellite resource:

- Not within scope of WRC-19 AI 1.13 and unlikely to be internationally harmonised as only considered by few countries
- EU has recently announced focus on 26 GHz band and no IMT use of 28 GHz; US approach uses a portion of 28 GHz for IMT with provisions for continued satellite operation
- Key uplink band for GEO and non-GEO traditional and HTS systems, both for user terminals and gateways
- NBN satellites; IPStar; Inmarsat GlobalXpress (x4); O3b MEO constellation (x16); Viasat-1,2; Jupiter-1,2; Hylas-1,2; JCSat-16; Amazonas-3; Spaceway-3; Wildblue-1; Superbird 4; AMC-15,16; and several DIRECTV satellites

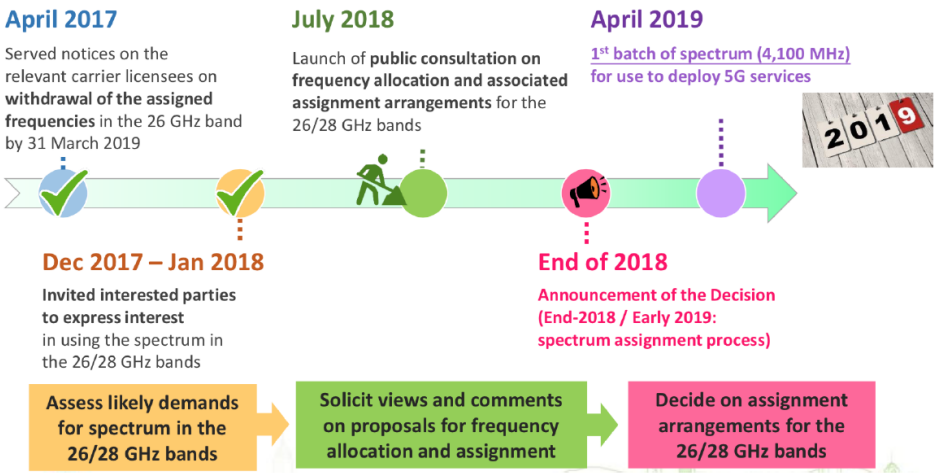
▲ V band will be critical to future GSO and NGSO HTS systems. Core spectrum needs to be reserved for satellite end user terminals and access for individually-licensed earth stations should be preserved in the entire band. This should be harmonized at least at the regional level

▲ SES and others in the satellite industry are actively engaged in technical standards bodies (e.g. 3GPP) and international forums (e.g. ITU, CEPT, 5G PPP) in order help make 5G a truly inclusive reality – which depends on spectrum availability for satellite systems

▲ Spectrum decisions relating to terrestrial 5G should not and need not be mutually exclusive of current and next generation HTS systems, especially when there is ample spectrum under study that is not used or planned to be used by satellites

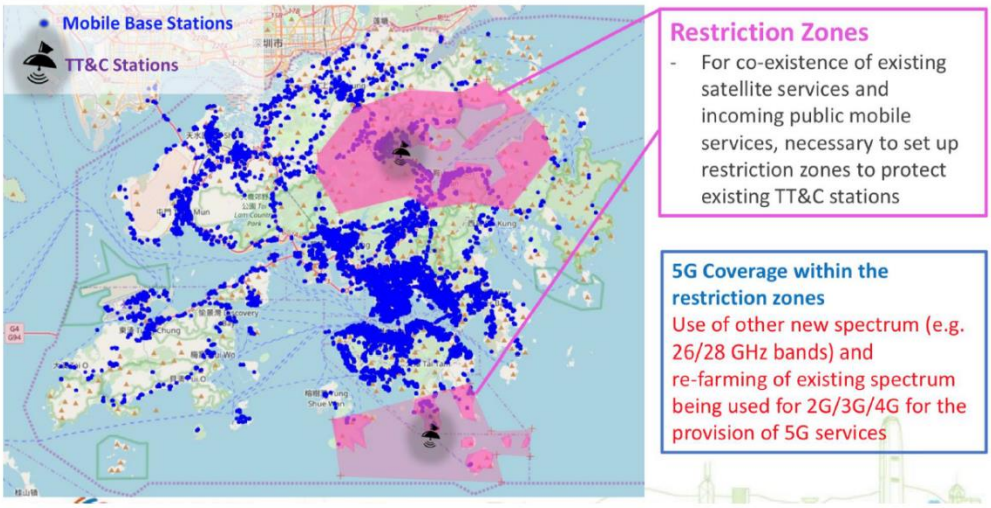
---

曾擔任香港警務處總電訊工程師的黃振球博士介紹了香港 5G 布建計畫與毫米波頻段之釋照規劃；考量到 TT&C 站台之保護，在難以利用 3.5GHz 頻段之限制區域內，尚可借助 2G/3G/4G 既有頻段及 26/28GHz 頻段提供 5G 服務。



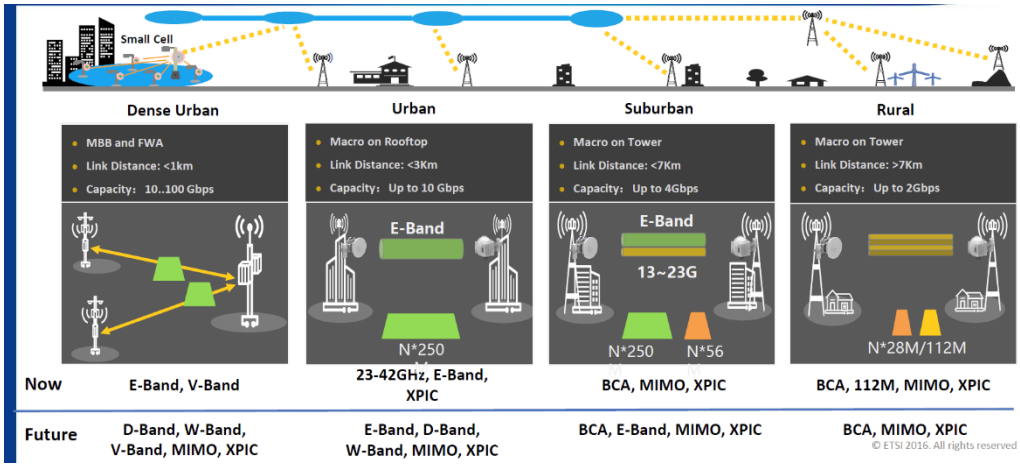
Source: **OFCA (HK)**

Restriction Zones of the C Band to Protect TT&C Stations



Source: **OFCA (HK)**

本項議程當中亦邀請了 ETSI ISG mWT (Industry Specification Group on millimetre Wave Transmission)、AIRBUS 等產業代表，分享包括 5G microwave solution for backhaul、High Altitude Platforms Stations (HAPS) 等無線寬頻接取技術發展現況與頻段選項。





WRC-19

AI 1.14: *to consider, on the basis of ITU-R studies in accordance with Resolution 160 (WRC-15), appropriate regulatory actions for high-altitude platform stations (HAPS), within existing fixed-service allocations;*

Current HAPS Identifications	New HAPS candidate Identifications
6 440-6 520 MHz ↓ 6 560-6 640 MHz ↑ 27.9-28.2 GHz ↓ 31.0-31.3 GHz ↑ Strong Regional Limitations 47.2-47.5 GHz ↓ 47.9-48.2 GHz ↑ Attenuation Constraints	38-39.5 MHz on a global level 21.4-22.0 GHz 24.25-27.5 GHz on a regional level in Region 2

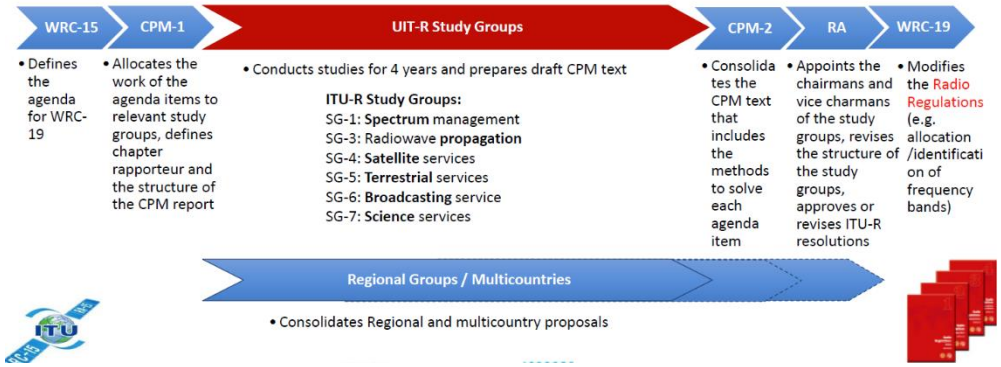
RESOLUTION 160 (WRC-15):
„Facilitating access to broadband applications delivered by high-altitude platform stations"

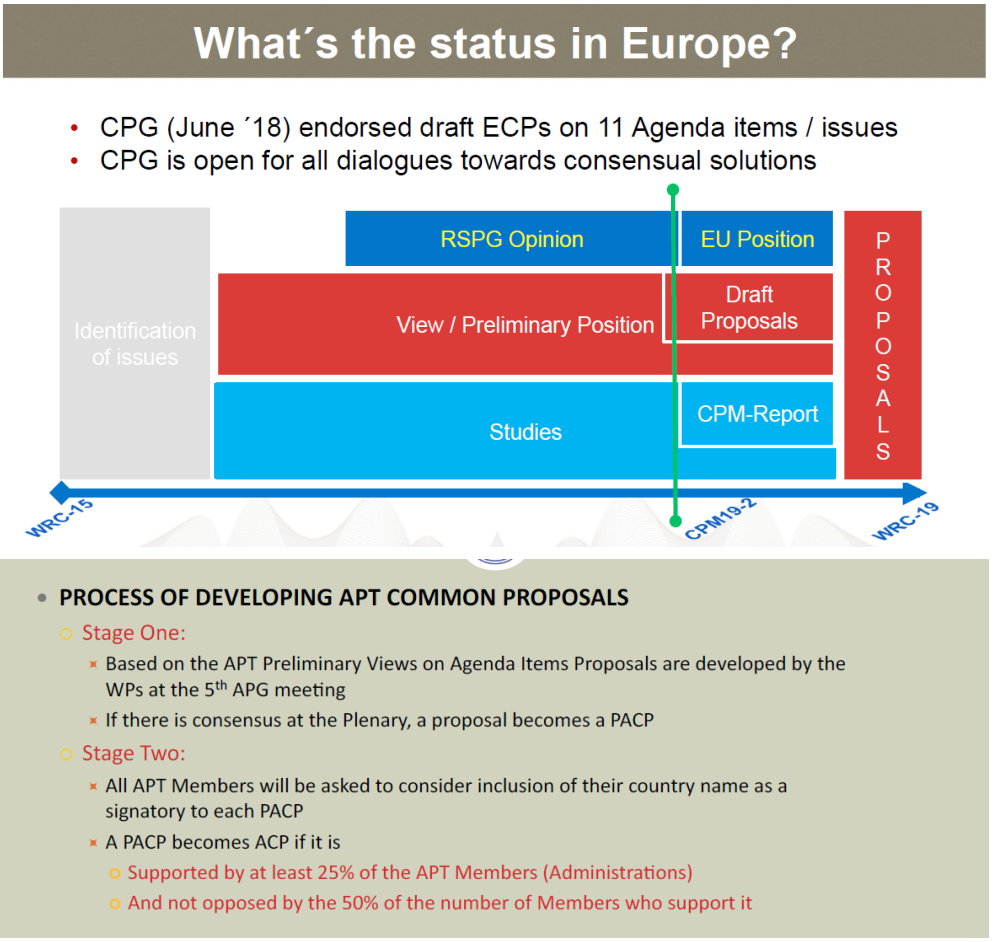
ITU HAPS Definition:
*HAPS is defined in No. 1.66A of the Radio Regulations as a station located on an **object** at an altitude of 20-50 km and at a specified, nominal, fixed point relative to the Earth, and is subject to No. 4.23;*

Article 4.23 of the Radio Regulations states
*"Transmissions to or from high altitude platform **stations** shall be limited to bands specifically identified in Article 5. (WRC-12)".*

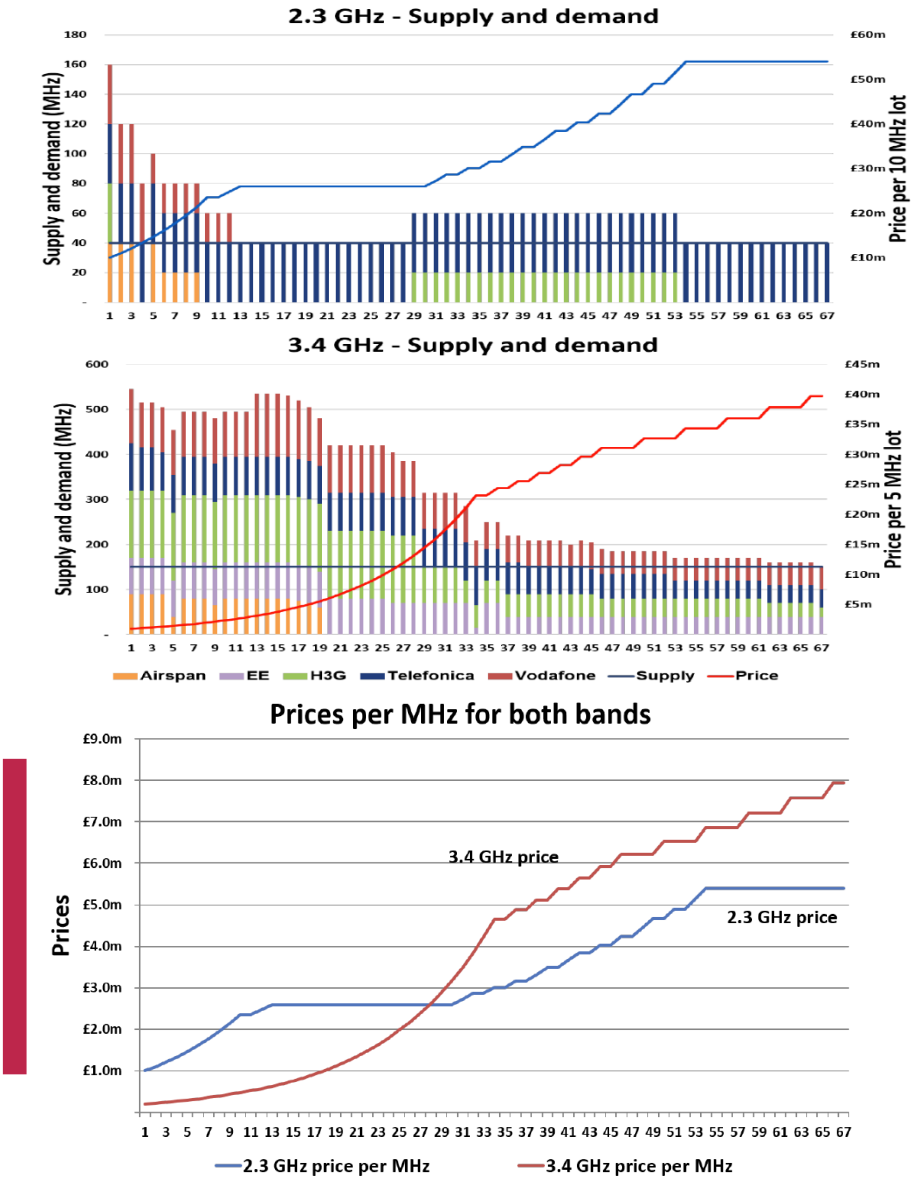
（四）WRC-19 大會、頻譜拍賣及定價

- 各區域電信組織對於 WRC-19 大會的準備情形：本項議程分別由 ITU、APT、ATU 介紹了 WRC-19 大會之運作，以及歐、亞、非等區域組織針對各項議程 (Agenda Item, AI) 的準備進展。





- 頻譜拍賣及定價：本項議程首先由顧問公司 NERA 簡介近年亞太地區國家之頻譜釋照競標拍賣情形，並對已開發及發展中國家之拍賣底價與 GDP 占比提出觀察。ITU 代表除了從經濟觀點提出頻譜未及時釋出對投資帶動經濟之影響，並提醒未來在各種共享可能及更多頻寬需求之下，可考慮採行拍賣以外的方式進行頻譜分配。Ofcom 國際事務及頻譜政策部部長 Chris Woolford 則分享了英國 2.3/3.4GHz 頻段、合計 190MHz 頻寬之拍賣結果。



（五）案例分享

本次大會亦邀請了許多國家代表，分享該國頻譜整備及寬頻基礎建設相關之政策發展。

- 柬埔寨：該國政府鼓勵三家既有業者使用 900MHz 頻段維持 2G 業務，其餘 1800MHz (Band 3)、1900MHz (Band 2) 及 2100MHz (Band 1) 等 3G 業務使用頻段，均可自由轉換為 4G 業務使用；此外，除了 2600MHz (Band 38 & 7) 頻段已全數用於 4G 業務，續將評估 700MHz、1427-1518MHz (L-Band) 及 2300MHz 等頻段之釋出。

- 緬甸：該國自 2013 年宣佈結束該國國營企業-緬甸郵政電信公司 (Myanmar Posts and Telecommunications, MPT) 之獨占，並對電信市場行一系列改革，並以「mobile-first, digitally connected nation」為施政願景，大力推動行動寬頻服務與通訊基礎建設，且在 2016-2017 兩年有限的時間內頗有建樹。例如：國家光纖骨幹從 7,600km 擴充至 34,000km、連外頻寬由 30Gbps 成長至超過 200Gbps、行動用戶量更是從 2013 年的 530 萬增至 5,080 萬（至 2017 年底）；未來並將持續開放市場參進，及早釋出頻譜用於寬頻服務之發展。

- 寮國：該國於 2010 年啟動無線電視數位轉換 (ASO)，原訂 2020 年完成，並在 2015 年宣佈將 700MHz 頻段 (698-806 MHz) 轉作 IMT 使用；迄今雖已大致完成頻段清空，惟受限於鄰國 DTV 使用可能造成之干擾問題，致使目前尚無法加以利用。

- 泰國：該國將 700MHz 頻段整備分為三部份，首先是將目前使用 470-510MHz 頻率範圍的 Conventional Mobile (Wireless Local Loop)、Trunked Radio 等業務，分別移頻至 380-

399.9MHz 及 430-450MHz，預期將於 2019 年 Q2 完成；其次，將原使用 510-790MHz 的類比電視進行數位轉換，新的數位無線電視頻段為 470-694MHz，此部份預定於 2019/2020 年間完成；最後，則是以 APT700 頻段方案（即 3GPP B28），預計於 2019 年 Q2 釋出 703-748/758-803MHz 作為 IMT 用途，原使用於 794-806MHz 的無線麥克風設備，未來亦將變更為使用 694-703、748-758 及 803-806MHz。

- 英國：Ofcom 國際事務及頻譜政策部部長 Chris Woolford 在簡報當中談到歐盟 5G 頻譜整備情形，包括：該國今 (2018) 年甫完成拍賣釋照的 3.4-3.6GHz 頻段，規劃在 2019 年接續釋照的 700MHz 及 3.6-3.8GHz 頻段；3.8-4.2GHz 頻段進一步探索既有用途和新用途共享的潛力；在毫米波頻段部份，26GHz 頻段目前已可透過「Trial and Innovation licences」機制申請研發或實驗，66-71GHz 將採免執照方式供 5G 使用，並支持國際間更廣泛協調範圍之 40GHz 頻段 (37-43.5GHz) 利用。

- 孟加拉：該國於 2018 年 2 月完成 2100/1800/900MHz 頻段剩餘頻譜之競價拍賣，既有業者亦可將原持有之頻譜經轉換為技術中立執照後，用以提供 2G、3G 或 4G 服務。

- 印尼：該國於 2017 年完成 2.1/2.3GHz 頻段釋照，該次拍賣成功釋出 2.1GHz 頻段之 2x5MHz 成對頻塊及 2.3GHz 頻段之 30MHz 單一頻塊。考量得標業者應負擔全國涵蓋義務，監理機關設計初始執照年限 10 年，但允許續照一次（同樣 10 年），得標業者需以 2 倍得標價金作為頻譜費用 (spectrum fee) 之首付款 (upfront fee)，另以 2.1GHz 頻段之最低得標價金 (the lowest bidding price of all the selection winner)、2.3GHz

頻段之個別業者得標價金 (the bidding price of selection winner) 支付年費 (annual fee)。此外，2.1GHz 頻段之所有持照業者將根據拍賣結果進行頻率調整，以達成各業者均為連續頻寬之結果。

- 不丹：考量國土多為山地、78 餘萬人口之市場，以及網路布建成本所形成之侷限，該國選擇由政府負責全國光纖線路之布建，並無償提供電信服務業者使用，其頻譜使用年費亦為區域國家當中最為低廉。藉由各項政策之輔助與帶動，現今行動通訊之涵蓋已達 91%。

肆、心得及建議

本屆會議在連續三天的議程當中討論頻譜管理議題甚廣，包括從服務覆蓋範圍及網路承載容量來看 4G 頻譜分配、5G 及 IoT 對於頻譜資源的需求與監理、如何讓 C 頻段及毫米波頻段在 5G 應用中發揮作用、各區域電信組織對於 WRC-19 大會的準備情形、頻譜拍賣及定價、數位經濟發展與國家寬頻接取計畫等，除邀請監理機關代表及產業資深專家提供觀點與建議外，亦穿插安排案例分享，由報告者就其國家處理頻譜管理相關議題時，所面臨的問題或相關作法，供與會者參考。

過去我國於進行相關國際之研究，多半以歐美先進國家之政策作為為主，然在此次活動當中，個人發現亦可自不少區域國家代表之分享從中獲益。此外，藉此次參與機會，能與如英國 Ofcom 國際事務部門、APT 頻譜部門等代表接觸，多次於會間進行交流，適時地傳遞我國於相關政策及研究發展之資訊，亦埋下未來邀請對方來臺參與國內主辦年度性頻譜論壇之可能性。

基於地緣關係，雖然與會者多數來自東南亞及中亞等地區之國家代表，但在舉辦單位的專業規劃下，仍有不少來自於 ITU 等國際標準組織，以及歐美亞先進國家監理機關代表受邀擔任講者，並穿插安排此區域內國家代表就該國之政策發展進行案例分享，從促進國際經驗與區域之交流來看，不失為一巧妙之安排。

伍、附件：相關照片及資料

一、會議議程

第一天 (Tuesday 17 July, 2018)

09:00 – 09:40	**Opening Ceremony and Keynote Presentation**
09:00 – 09:30	Opening Ceremony Takorn Tantasith, Secretary General, National Broadcasting and Telecommunications Commission, NBTC, Thailand Areewan Haorangsi, Secretary General, Asia Pacific Telecommunity (APT) Ioane Koroivuki, Asia-Pacific Regional Director, ITU
09:30 – 09:40	Keynote Presentation and Introduction Istvan Bozsoki, Head of Telecommunication Networks and Spectrum Management Division, ITU
09:40 – 13:30	**Session 2: Future orientated network deployment and evolution - ensuring the required bandwidth is made available in a timely and efficient manner**
09:40 – 11:00	**Session 2i: Assignment of key 4G capacity bands** **Moderator: Stefan Zehle, CEO, Coleago**
09:40 – 09:55	Presentation: Key requirements for 4G spectrum in the capacity bands - what spectrum is required and when? Cristian Gomez, Director, Spectrum Policy and Regulatory Affairs, Asia-Pacific, GSMA
09:55 – 10:10	Presentation: Spectrum and Technology options to provide capacity for 4G and 4.5G and future porrofing for 5G Pradeep de Almelda, Group Chief Technology Officer, Dialog Axiata

10:10 – 10:25	Presentation: How much spectrum can be made available through the refarming, replanning and defragmentation of existing mobile bands? Scott Minehane, Managing Director, Windsor Place Consulting
10:25 – 10:40	Country Case Study: Cambodia Sopheak Cheang, Deputy Director General, General Department of Posts and Telecommunications, Ministry of Posts and Telecommunications, Cambodia
10:40 – 11:00	Interactive Room Wide Discussion
11:00 – 11:20	Morning Refreshments
11:20 – 12:40	**Session 2ii: Delivering the required spectrum in 4G coverage bands** **Moderator: Masanori Kondo, Deputy Secretary General, APT**
11:20 – 12:40	A focus on... Assignment of 700MHz band in APAC countries
11:20 – 11:40	The importance of reallocating the 700MHz spectrum quickly and efficiently, and potential implications of delays CK Foong, Head of Regulatory Affairs, Axiata
11:40 – 12:00	Country Case Study: Myanmar Zar Ne Aung, Director, Posts and Telecommunications Department, Myanmar
12:00 – 12:20	Country Case Study: Laos Monesili Douangmany, Acting Director of Radio Frequency Allocation and Licensing Division, Ministry of Post and Telecommunication, Laos

12:20 – 12:40	Country Case Study: Thailand Nattawut Ard-Paru, Division Director, Spectrum Policy and Strategy, Office of National Broadcasting and Telecommunications Commission
12:40 – 13:00	**The importance of 700MHz for PPDR in APAC region** **Bharat Bhatia, President, ITU - APT Foundation of India; and Head of International Spectrum and Regulatory Team, Motorola Solutions Inc**
13:00 – 13:20	**Tackling the digital dividend - A perspective of the Culture and Creative Industry** **Andreas Wilzeck, Spectrum and Innovation, Sennheiser Electronic**
13:20 – 14:25	Lunch
14:25 – 14:45	**Presentation: 5G and spectrum - value creation across verticals and smart industries** **Seizo Onoe, Chief Technology Architect, NTT DOCOMO Inc., President, DOCOMO Technology Inc.**
14:45 – 17:40	**Session 3: Powering the IoT revolution - spectrum and regulatory requirements**
14:45 – 15:50	**Session 3i: Country perspectives - IoT developments and spectrum requirements** **Moderator: Monsinee Keeratikrainon, Country Director, Detecon Asia Pacific**
14:45 – 15:05	Presentation - IoT and IMT - Spectrum Issues Aamir Riaz, Program Officer, ITU

15:05 – 15:20	Presentation - China Teng Gao, President, FIOT-LAB
15:20 – 15:35	Presentation - Korea Jeong Jongmo, CEO, DELI-i
15:35 – 15:50	Presentation - Germany Thomas Ewers, Representative, CEPT, Head of Section, International Frequency Matters, BNetzA
15:50 – 16:10	Afternoon Refreshments
16:10 – 17:40	**Session 3ii: Industry and Technology Perspectives - Connectivity solutions to maximise the potential of IoT** **Moderator: Monsinee Keeratikrainon, Country Director, Detecon Asia Pacific**
16:10 – 16:25	Presentation - Powering the factories of the future Mats Norin, Program Manager 5G for Industries, Ericsson
16:25 – 16:40	Presentation Mary Lim, Spectrum and Regulatory Affairs Manager APAC, SIGFOX
16:40 – 16:55	Presentation Jeffrey Yan, Director, Technology Policy, Microsoft
16:55 – 17:10	Presentation - Delivering the required connectivity for the connected-vehicle ecosystem Li Bo, Senior Engineer, Huawei

17:10 – 17:40	Interactive Room Wide Discussion

第二天 (Wednesday 18 July, 2018)

09:00 – 15:45	**Session 4: Meeting the 5G spectrum requirements of today and of the future**
09:00 – 10:40	**Session 4i: Setting the scene: Powering the 5G vision - spectrum and technology requirements** **Moderator: Richard Handford, Asia Correspondent, PolicyTracker**
09:00 – 09:20	Setting the Scene: Delivering the 5G vision Hu Wang, GSA Spectrum Coordinator for APT Region, GSA
09:20 – 09:40	Case Study: Korea's 5G Policy EunTae Gwon, Ministry of Science, ICT , Deputy Director
09:40 – 10:00	Case Study - Plans for Roll-out of 5G in Indonesia, and how the spectrum requirements can be met Denny Setiawan, Director of Spectrum Policy and Planning, Ministry of Communications and Information Technology (MCIT), Indonesia
10:00 – 10:20	Presentation: 5G for Transport - the reality of Road and Rail Richard Womersley, Director of Spectrum Consulting, LS telcom
10:20 – 10:40	Presentation: The Defragmentation Dividend Marc Eschenburg, Partner, Aetha Consulting

10:40 – 11:10	Morning Refreshments
11:10 – 12:45	**Session 4ii: Maximising the benefits of the mid range C-Band frequencies** **Moderator: Marc Eschenburg, Partner, Aetha Consulting**
11:10 – 11:25	Industry view - C-Band key spectrum for 5G business success Yeqing Du, Vice President of 5G Production Line , Huawei
11:25 – 11:40	The view from the satellite sector Andrew Jordan, Senior Advisor, AsiaSat
11:40 – 11:55	Case Study - proposed use of the C-Band in Europe Chris Woolford, Director, International Spectrum Policy, Ofcom
11:55 – 12:10	Case Study - proposed use of the C-Band in China Ping Li, Bureau of Radio Regulation, MIIT, China
12:10 – 12:45	Interactive Room Wide Discussion
12:45 – 13:45	Lunch
13:45 – 15:10	**Session 4iii: 5G connectivity in the millimetre bands - Releasing the required bandwidth to meet the deadlines and targets for 5G roll-out** **Moderator: Marc Eschenburg, Partner, Aetha Consulting**

13:45 – 14:00	Industry Perspective - meeting the requirements for 5G rollout in the mmWave frequency bands Kai Sahala, Head of 5G, Asia Pacific Japan, Nokia
14:00 – 14:15	Satellite Perspective Gerry Oberst, Senior Vice President, Global Regulatory and Governmental Strategy, SES
14:15 – 14:30	Plans for 5G rollout in the millimetre wave bands in Hong Kong Jolly Wong Chun-kau, Adjunct Professor, School of Telecommunications Management, Beijing University of Posts and Telecomunications;, Policy Fellow, Center for Science and Policy, University of Cambridge
14:30 – 14:45	Industry perspective – how we can make sufficient amounts of millimetre wave spectrum for IMT a global reality Brett Tarnutzer, Head of Spectrum, GSMA
14:45 – 15:10	Interactive Room Wide Discussion
15:10 – 15:50	**Thinking Point... Using mmWave frequencies to deliver backhaul solutions**
15:10 – 15:30	5G Microwave Solutions for Backahaul Leonida , ETSI ISG mWT
15:30 – 15:50	Presentation: New broadband connectivity use cases enabled by modern High Altitude Platforms Stations Sergio Bovelli, Manager, Market Access and Regulation, Airbus
15:45 – 16:05	Afternoon Refreshments

16:05 – 17:30	**Session 5: Pursuing the success of WRC-19 - Sharing the preparatory process and outcomes in Asia and elsewhere**
16:05 – 16:15	Introductory Presentation Diana Tomimura, Spectrum Regulation and Policy Officer, Radiocommunications Bureau, ITU
16:15 – 16:25	Preparation for WRC-19 in the APAC region - An update from APT Masanori Kondo, Deputy Secretary General, APT
16:25 – 16:35	Preparation for WRC-19 in the Sub-Saharan region - An update from ATU Kezias Mwale, Radiocommunications Coordinator , African Telecommunications Union (ATU)
16:35 – 16:45	Preparation for WRC-19 in the European region - An update from CEPT Thomas Ewers, Representative, CEPT, Head of Section, International Frequency Matters, BNetzA
16:45 – 17:30	Fireside Chat: How can we best ensure the success of WRC-19, and what role do individual stakeholders need to play

第三天 (Thursday 19 July, 2018)

09:00 – 12:30	**Session 6: Spectrum auctions and pricing - Tools and techniques to ensure a successful outcome**
09:00 – 10:40	**Session 6i: A look at recent auction and spectrum awards in Asia** **Moderator: Hans Ihle, Senior Consultant, Nera Economic Consulting**

09:10 – 09:20	Introduction from the moderator – An overview of recent auctions and awards in APAC and around the world Moderator: Hans Ihle, Senior Consultant, Nera Economic Consulting
09:20 – 09:40	Presentation: Spectrum Auctions in the Asia Pacific Region: Lessons Learned Ismail Shah, ITU Area Representative for Southeast Asia and Timor-Leste, ITU
09:40 – 10:00	Country Case Study: Bangladesh Tawhid Hussain, Deputy Director, Bangladesh Telecommunication Regulatory Commission
10:00 – 10:20	Country Case Study: Indonesia Denny Setiawan, Director of Spectrum Policy and Planning, Ministry of Communications and Information Technology (MCIT), Indonesia
10:20 – 10:40	Country Case Study: Recent auctions in the UK Chris Woolford, Director, International Spectrum Policy, Ofcom
10:40 – 11:00	Morning Refreshments
11:00 – 12:15	**Session 6ii: Spectrum pricing and award strategy to ensure a competitive and innovative market** **Moderator: Hans Ihle, Senior Consultant, Nera Economic Consulting**
11:00 – 11:15	Presentation - The operator view Stein Gudbjorgsrud, Director Spectrum Strategy, Telenor

11:15 – 11:30	Presentation: The impact of spectrum pricing and licence terms on the business case for LTE and 5G Stefan Zehle, Co-Founder and CEO, Coleago Consulting
11:30 – 12:15	Interactive Room Wide Discussion
12:15 – 13:15	Lunch
13:15 – 14:55	**Session 7: Delivering the digital economy - A focus on national connectivity plans** **Moderator: Scott Minehane, Managing Director, Windsor Place Consulting**
13:15 – 13:30	Presentation Aamir Riaz, Program Officer, ITU
13:30 – 13:45	Presentation Guillaume Mascot, Head of Government Relations APJ (Asia-Pacific, Japan) & India , Nokia
13:45 – 14:00	Case Study: National ICT and connectivity plans in Bhutan Wangay Dorji, Chief Communication Officer, Bhutan Infocomm & Media Authority
14:00 – 14:15	Case Study: National ICT and connectivity plans in Vanuatu Brad Partidge, Manager Technical, Market and UA, Telecommunications and Radiocommunications Regulator, Vanuatu

14:15 – 14:45	Interactive Room Wide Discussion
14:45 – 14:55	Summing up by ITU Representative Istvan Bozsoki, Head of Telecommunication Networks and Spectrum Management Division, ITU

二、會場活動相片



三位開幕致詞貴賓：

（左起）APT 秘書長、泰國 NBTC 主任秘書、ITU 亞太區處長



會議現場





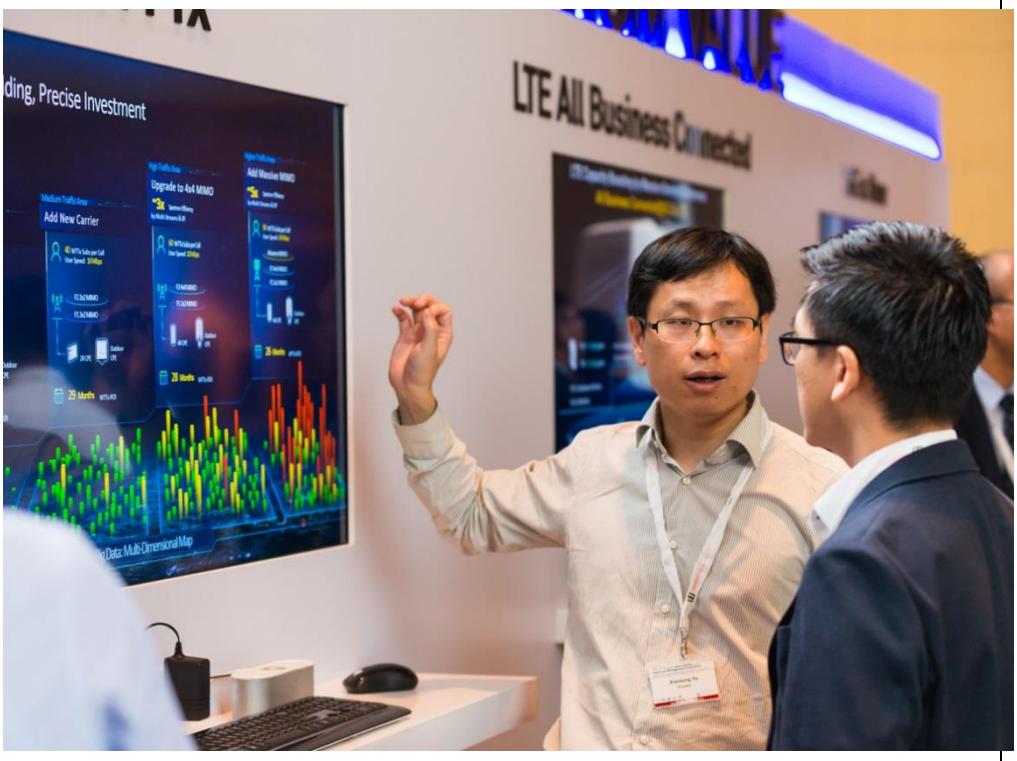
部份研討場次主持人及講者（與談人）進行討論





臺下發問時間





會場外設置廠商基站設備及系統展示區域