

一〇五年委託研究報告

我國動態頻譜共享機制研析 與實驗平臺建置委託研究採購案

計畫委託機關：國家通訊傳播委員會

中華民國一〇七年二月

一〇五年委託研究報告

PG10512-0117

我國動態頻譜共享機制研析與實驗平臺建置委託研究 採購案

受委託單位

財團法人電信技術中心

計畫主持人

王彥中

共同主持人

張時中、鍾偉和

研究人員

周俊廷、許蒼嶺、張志鵬、巫國豪、陳志宇

研究期程：中華民國一〇五年十二月至一〇七年二月

研究經費：新臺幣捌佰陸拾肆萬元

本報告不必然代表國家通訊傳播委員會意見

中華民國一〇七年二月

目 次

表 次	V
圖 次	VII
提 要	XIII
第一章 緒論	1
第一節 研究背景與目的	1
第二節 研究議題與範圍	4
第三節 研究方法與步驟	10
第四節 計畫工作項目與完成進度	13
第二章 國際頻譜共享監理發展概況之蒐集及研析	15
第一節 電視頻段共享 (TVWS)	17
第二節 歐盟許可共享接取 (LSA)	35
第三節 美國公民無線寬頻服務 (CBRS)	50
第四節 LSA 與 CBRS/SAS 之比較	93
第五節 5 GHz 免執照頻段共享機制	96
第三章 國際頻譜共享機制與我國需求之比較分析	119
第一節 國際頻譜共享機制之分析比較	119
第二節 相關頻段於我國之運用情境與需求分析	134
第三節 適合我國之監理架構初步分析	136
第四章 我國頻譜共享機制之架構研析	141
第一節 適合我國之頻譜共享機制及候選頻段分析	141

第二節 我國頻譜共享機制所需之規範建議	145
第三節 我國頻譜共享法制環境建構與重要衍生議題分析	151
第四節 研擬我國匯流法規架構下頻率共享監理政策及管理法規	157
第五章 頻譜使用效能優化探討	173
第一節 概述	173
第二節 電波監測與頻譜管理資料庫	179
第三節 運用 CROWD SOURCING 掌握頻譜使用現況	182
第四節 研析頻譜地理資料庫的干擾防範機制	202
第五節 研究成果	217
第六章 頻譜共享實驗平臺規劃與建置	219
第一節 概述	219
第二節 國際 LSA 與 LAA 模式頻譜共享之研析	221
第三節 LSA 模式應用情境分析與設計	242
第四節 頻譜共享接取系統功能與驗證	247
第七章 研究成果綜整	299
第一節 研究成果	299
第二節 頻譜共享機制之基本架構規範及未來實施共享機制之準備	308
參考文獻	309
原文對照表	316

附錄

附錄壹：產業訪談紀錄摘要

附錄貳：研討會辦理成果

附錄參：共享頻率管理規則草案總說明

附錄肆、ViSSA 頻譜共享接取實驗平臺

附錄伍、LSA 控制器安裝說明

附錄陸、TTC 監控介面說明(安裝)

附錄柒、以資料庫引導為基礎的清空與重啟系統使用說明

附錄捌、以感測為基礎的清空與重啟系統使用說明

附錄玖、DSA Lab 情境一時延評估

附錄拾、期末報告審查意見回覆表

(本頁空白)

表 次

表 1 -1：研究計畫執行甘特圖	14
表 2 -1：頻譜使用方式比較	36
表 2 -2：歐盟 2.3GHz 頻段 LSA 共享機制技術規範	42
表 2 -3：英國頻譜共享諮詢議題	48
表 2 -4：美國 CBRS 管理規則條文	60
表 2 -5：美國 CBRS 管理規則之重要名詞定義	62
表 2 -6：CBSD 與終端用戶裝置之功率限制	76
表 4 -1：共享頻率管理規則草案	160
表 5 -1：群眾外包與外包的特性比較	185
表 5 -2：群眾外包應用實例比較	190
表 6 -1：LSA 頻段清頻時延結果分析[PMP14]	229
表 6 -2：Incumbent 受保護之要求參數[MiS16]	231
表 6 -3：LTE 模型及設備規格[Vel16]	231
表 6 -4：LSA 清頻所需平均時間	234
表 6 -5：自動更改 eNB 頻段並重啟所花費的時間	266
表 6 -6：情境二測試結果	270
表 6 -7：eNB1 MCS Index：9 (QPSK)	272
表 6 -8：eNB1 MCS Index：16 (16QAM)	273
表 6 -9：eNB1 MCS Index：28 (64QAM)	273
表 6 -10：eNB1 MCS Index：9 (QPSK)	279

表 6 -11 : eNB1 MCS Index : 16 (16QAM)	279
表 6 -12 : eNB1 MCS Index : 28 (64QAM)	280
表 6 -13 : eNB2 MCS Index : 9 (QPSK)	281
表 6 -14 : eNB2 MCS Index : 16 (16QAM)	281
表 6 -15 : eNB2 MCS Index : 28 (64QAM)	282
表 6 -16 : eNB1 MCS Index : 9 (QPSK)	283
表 6 -17 : eNB1 MCS Index : 16 (16QAM)	284
表 6 -18 : eNB1 MCS Index : 28 (64QAM)	284
表 6 -19 : eNB2 MCS Index : 9 (QPSK)	285
表 6 -20 : eNB2 MCS Index : 16 (16QAM)	286
表 6 -21 : eNB2 MCS Index : 28 (64QAM)	286
表 6 -22 : MCS Index : 9 (QPSK)	297
表 6 -23 : MCS Index : 16 (16QAM)	298
表 6 -24 : MCS Index : 28 (64QAM)	298

圖 次

圖 1 -1：我國至 2020 年前可釋出之行動頻譜.....	2
圖 1 -2：本計畫研究架構.....	8
圖 1 -3：本計畫研究流程與進行步驟.....	12
圖 2 -1：國際主要頻譜共享機制比較整理.....	16
圖 2 -2：NICT White Space 頻段資料庫操作介面	33
圖 2 -3：NICT White Space 頻段資料庫與基地臺運作架構示意	34
圖 2 -4：歐盟各國 2.3 GHz 頻段業務分配與未來規劃	39
圖 2 -5：LSA 頻譜共享機制之運作	40
圖 2 -6：芬蘭 LSA 場測實驗架構示意	44
圖 2 -7：義大利 LSA Pilot 實驗架構示意	45
圖 2 -8：法國 LSA 場測實驗架構示意	46
圖 2 -9：美國 3.5 GHz 頻段發射功率限制	77
圖 2 -10：傳統式無線寬頻服務之保護.....	83
圖 2 -11：LTE 標準於免執照頻譜技術規範與適用情境.....	98
圖 2 -12：5 GHz 免執照國際無線資訊傳輸頻段分配	99
圖 2 -13：我國與其他主要國家 5 GHz 免執照頻段規劃與使用現況	100
圖 2 -14：2.4GHz 與 5 GHz 免執照頻段頻寬統計.....	102
圖 2 -15：LTE 於免執照頻段接取情境圖	104
圖 2 -16：LTE-U 與 LAA 技術差異示意圖	105
圖 2 -17：各國 5 GHz 應用情境及容許最大發射功率及接取規約	106

圖 2 -18：發射功率控制（TPS）機制流程	108
圖 2 -19：載波感測可適性傳輸（CSAT）機制流程	109
圖 2 -20：先聽後送（LBT）機制範例	110
圖 2 -21：補充下行鏈路（SDL）情境	111
圖 2 -22：LWA 系統運作情境	115
圖 2 -23：LTE-U、LAA 與 LWA 比較	116
圖 2 -24：5 GHz 免執照頻段共享機制未來規劃及評估所需考量之面向..	117
圖 3 -1：層級式共享機制之法規定位	136
圖 3 -2：國際頻譜共享機制發展狀況整理	139
圖 5 -1：電波監測系統架構圖	181
圖 5 -2：電波監測系統與頻譜管理系統之互動	182
圖 5 -3：Crowd Sourcing 運作示意	186
圖 5 -4：Crowd Sourcing 應用至行動裝置	187
圖 5 -5：Amazon Mechanical Turk 運作原理	188
圖 5 -6：行動計算以及行動感測的應用	192
圖 5 -7：大眾網路與區域網路	193
圖 5 -8：解決方案(一) 示意圖	195
圖 5 -9：解決方案(二) 示意圖	197
圖 5 -10：自適性演算法示意圖	199
圖 5 -11：自適性演算法電腦模擬結果	200
圖 5 -12：頻譜共享機制之需求	203

圖 5 -13：頻譜地理位置資料庫之參數.....	206
圖 5 -14：頻譜地理資料庫參數交換.....	209
圖 5 -15：參數優化演算法模擬情境圖.....	213
圖 5 -16：優化演算法成果圖.....	216
圖 6 -1：進行頻譜共享機制概念性驗證之目的.....	220
圖 6 -2：LSA 運行模式概念.....	222
圖 6 -3：芬蘭 LSA 概念實作架構.....	223
圖 6 -4：既有使用者所使用的 LSA Incumbent Manager 介面.....	224
圖 6 -5：次級授權用戶與 LSA 頻譜庫之連線架構.....	225
圖 6 -6：次級授權用戶使用的介面.....	226
圖 6 -7：Topology view 介面圖.....	227
圖 6 -8：Map view 介面.....	228
圖 6 -9：羅馬 LSA 試驗之架構示意圖 [MiS16].....	229
圖 6 -10：室外 LTE 佈建位置示意圖 [MiS16].....	230
圖 6 -11：室內 LTE 佈建位置示意圖 [MiS16].....	230
圖 6 -12：室外之干擾情形(全部 BS 接開啟) [MiS16].....	232
圖 6 -13：室內之干擾情形(只有一台室內 BS 開啟) [MiS16].....	232
圖 6 -14：室內之干擾情形(只有一台室外 BS 開啟) [MiS16].....	233
圖 6 -15：LSA channel evacuation scheme [MiS16].....	234
圖 6 -16：LAA 的 LBT 機制流程.....	236
圖 6 -17：Ericsson 吞吐量實驗結果 [Eri15].....	237

圖 6 -18：Qualcomm 吞吐量實驗結果 [Qua16].....	238
圖 6 -19：Qualcomm 佔用通道比例實驗結果 [Qua16].....	238
圖 6 -20：Qualcomm 實驗場景 [Qua16].....	239
圖 6 -21：實驗情境網路拓樸 [MB16].....	239
圖 6 -22：NS3 實驗模擬結果 [MB16].....	240
圖 6 -23：本情境之 Zone 的設定與描述之概念示意.....	243
圖 6 -24：依頻譜資料庫來執行清空與重啟共享頻段之流程示意.....	244
圖 6 -25：依頻譜資料庫來執行清空與重啟共享頻段 (使用 ITRI SON server) ..	245
圖 6 -26：依頻譜感測器來執行清空共享頻段之流程示意.....	246
圖 6 -27：燈號顯示面板.....	248
圖 6 -28：地圖.....	248
圖 6 -29：Incumbent 收回頻段.....	250
圖 6 -30：控制器同步及控制底下硬體.....	251
圖 6 -31：監控面板顯示的資訊流.....	251
圖 6 -32：Zone4 是 MNO2 使用 2340MHz.....	252
圖 6 -33：按下清空按鈕顯示 allocating.....	253
圖 6 -34：LSA 控制器提示要求收回的訊息.....	253
圖 6 -35：頻譜分析儀顯示已清空.....	254
圖 6 -36：LSA 頻譜庫網頁顯示 2340MHz 頻段已回收.....	254
圖 6 -37：網頁介面顯示使用頻段已切換.....	255
圖 6 -38：頻譜分析儀顯示已換頻到 2370MHz.....	255

圖 6 -39：完成頻段的清空與跳頻.....	256
圖 6 -40：無預警的打開 Incumbent 的訊號.....	257
圖 6 -41：感測到 Incumbent 訊號.....	258
圖 6 -42：控制器清空頻段.....	258
圖 6 -43：控制器完成跳頻.....	259
圖 6 -44：情境二作用過程.....	260
圖 6 -45：Incumbent 發出請求，開始計時.....	263
圖 6 -46：頻譜分析儀顯示頻段已清空.....	264
圖 6 -47：Incumbent 網頁顯示已收回釋放頻段.....	264
圖 6 -48：Small Cell 已開機並回報使用頻段.....	265
圖 6 -49：頻譜分析儀顯示已換頻段.....	265
圖 6 -50：情境一之端到端時延量測定義.....	267
圖 6 -51：情境二之端到端時延量測定義.....	269
圖 6 -52：單一一台 LTE 小細胞基站 eNB 架構.....	271
圖 6 -53：實驗室平面圖.....	274
圖 6 -54：路徑損失量測結果.....	275
圖 6 -55：fading(log-normal distribution).....	276
圖 6 -56：兩台 LTE 小細胞基站 eNB (使用不同頻段)架構.....	278
圖 6 -57：台大明達館三樓半開放式廣場.....	287
圖 6 -58：SINR 累積分布函數.....	289
圖 6 -59：通道容量累積分佈函數.....	290

圖 6 -60：Collision 發生情境	292
圖 6 -61：Silent LBT 發生情境	293
圖 6 -62：802.22 偵測主要使用者 superframe 架構	293
圖 6 -63：TDMA 與 CSMA 共存機制	294
圖 6 -64：工研院的 LWA 架構圖	295
圖 6 -65：以 OAI 平台實作 LAA	296
圖 6 -66：一台 LTE 小細胞基站 eNB 與一台 WiFi 的架構	296

提 要

關鍵字：頻譜共享、監理架構、許可共享接取、許可輔助接取

一、研究緣起

本研究旨在探討動態頻譜共享機制於我國運作之可行性，協助主管機關擬訂規管政策法規，期能確保我國頻譜資源能充分供給，並與國際頻譜應用趨勢接軌。

二、研究方法及過程

本研究首先蒐集、整理、歸納國際組織、歐美及亞太地區推動動態頻譜共享之主要國家相關監理與規管之最新作法及發展趨勢，包含其規劃共享使用之頻段、頻譜共享監理架構、共享機制之規範發展狀況等。

根據觀察，各國均以政策規範為基礎，先行進行概念性驗證 (Proof of Concept, PoC)，初步確認頻譜共享整體概念的可行性。因此，本研究參考國際最新規範，具體設計使用情境，成功完成以資料庫引導 (Database-guided) 及感測 (Sensing) 為基礎的共享使用者清空與移頻之概念性驗證與時延評估兩例，以及同頻段同、異質網路之共存效能及干擾評估四例。

此外，本研究亦探討頻譜地理位置資料庫及其運作，針對未來實際之通訊情境進行干擾防護與參數優化演算法之模擬。另就利用 Crowd sourcing 來檢測特定頻段的使用情形，研究提出自適性演算法來處理惡意使用者存在的問題，以提升頻譜檢測之準確率。

由於頻譜共享機制之建立涉及爭議層面眾多，從法規架構、環境差異至政策取向差異，均顯示我國與國際發展狀況有許多不同的考量層面亟待釐清。本研究爰透過深入訪談及舉辦座談會等方式，與產、官、學、研各界進行雙向交流及研討，以

增進並凝聚各界對頻譜共享機制的了解及共識，俾利本研究之範疇更加完整，成果分析亦更加堅實。

三、重要發現

（一）國際頻譜共享法制歸納

在頻譜利用之法制規範上，由於歐美主要國家將頻譜資源以獨立使用權釋出，因此，能夠以頻譜為管理核心制訂行政規則加以開放。

TVWS 之頻譜使用為免執照，其使用管理偏重於設備規範，美國、英國及新加坡均有相對之法源依據。歐盟倡議之 LSA 機制尚未被會員國加以落實，但由 CEPT/ECC 相關建議文件可知，歐盟電子通訊管制指令之足以作為許可基礎，會員國僅需制訂共享架構規範。美國 CBRS 則被視為新型態無線寬頻服務，在電信法規之授權下，擁有完整的執照規範、頻譜範圍與技術規範。

（二）國際頻譜共享機制相關頻段分析

針對各國已建立頻譜共享機制所納入規劃之頻段，在 TVWS 部分可歸納為 470~790MHz，歐盟 LSA 機制規劃 2.3GHz，美國 CBRS 則規劃 3.5 GHz (3550~3700MHz)。

前述各頻段在我國多已有專用電信使用，短期內可能不易清頻與重整，故建議可調查既有專用電信之使用狀況，研析是否具有頻譜共享之機會。倘既有使用者無法移頻，亦可先行規劃做為室內用途以及限制區域之實驗頻譜之用。

（三）共享頻率管理規則草案之擬定

本研究研訂之共享頻率管理規則草案，在共享使用者部分依據「核配許可」

之優先權，區分為二類別。

本草案係先針對使用者、頻率分配原則、共享頻率資料庫以及設備等事項進行規範，但尚未納入具體頻段之規劃。未來視主管機關規劃開放特定頻段及共享使用者開放範圍之進程，再依據後續需求增訂相關規範。

（四）優化資料庫運作參數提升頻譜使用效率

本研究探討頻譜地理位置資料庫所需運作參數，並針對未來之通訊情境進行干擾防護與參數優化演算法之模擬。然而，最佳化演算法需額外付出運算複雜度與建置成本，未來需進一步考量成本與效能之間的取捨議題。針對利用 Crowd sourcing 來檢測特定頻段的使用情形，研究亦提出自適性演算法來處理惡意使用者存在的問題，以提升頻譜檢測之準確率。

（五）使用頻譜共享實驗平臺進行概念性驗證

本研究成功整合電信技術中心無線電頻譜實驗室、台大電信工程研究所動態頻譜接取實驗室與中山大學行動寬頻網路實驗室，以三者既有設備環境為基礎，建置 ViSSA 頻譜共享接取實驗平臺 (Virtual Lab of Shared Spectrum Access)。

本研究參照歐盟 ETSI TS 103 379 技術規範，成功實作 LSA 頻譜庫介面與管理系統。並具體設計應用情境，進行了以資料庫引導 (Database guided) 及感測為基礎 (Sensing-based) 的次級使用者清空與移頻使用概念性驗證。實驗結果顯示，從既有使用者要求使用其頻譜到次級共享者繳回頻譜使用權之端到端時延評估，絕大多數 70 秒內可完成。

在同、異質網路之共存效能及干擾評估方面，本研究亦於實驗室環境中進

行 LTE 小細胞基站與 WiFi 站台間的干擾量測與效能評估等實驗。相關量測與模擬結果，可作為未來 LAA 與 WiFi 公平友善共存的進階實驗與干擾量測場景之基礎。

四、主要建議事項

本研究已提出共享頻率管理規則草案建議（參閱第四章第四節），其內容包含頻譜執照規劃、既有使用者保護原則、共享使用者的管理、共享機制之運作技術規範與管理原則、地理資料庫之管理與技術規範、干擾處理以及設備技術規範等。

在共享機制之政策準備上，本研究亦於第四章第二節建議包括：需建立頻譜/地理位置資料庫，並選任專業第三方加以管理營運；其次，共享機制之開放應分階段，由電信業者再至新興技術服務業者；再者，需建立干擾即時處理機制，以妥善保護既有使用者之權益；最後則是相關技術規範之測試與完善。

Abstract

Key words: Spectrum Sharing, Regulatory Framework, Licensed Shared Access (LSA),
Licensed Assisted Access (LAA)

Radio spectrum is a scarce and precious resource that is significantly difficult to confront the proliferation of mobile devices and diverse mobile applications. It has been estimated that a capacity expansion by a factor of 1000 is needed by the year 2020 in order to satisfy future 5G communications demands.

According to international experiences, it is essential to improve the efficiency of spectrum use, for the spectrum is insufficient for the long-term requirement. Furthermore, spectrum sharing is a new tendency, and the corresponding technologies as well as policies energetically develop in Europe and America. In addition, to keep on the development of new types of spectrum sharing mechanism, part of them has been ready for the implementation of commercialization.

The research work of this project was conducted involving analyzing every spectrum sharing scheme, built on dynamic spectrum sharing techniques, such as TV white space (TVWS), licensed shared access (LSA), the three-tier model to support the Citizen's Broadband Radio Service (CBRS) in the US, and licensed assisted access (LAA). Specifically, to figure out the required policies, supervisions, regulations, and technology management platforms (e.g. shared spectrum geolocation database), then, to draw up the suitable spectrum management strategies, spectrum sharing regulation, and technical specifications in Taiwan.

Such the new types of sharing framework are novel spectrum coordination schemes beyond the current "licensed exclusive use" and "unlicensed open access". These new

schemes provide effective interference preventing mechanism in spectrum sharing, to guarantee that the primary users (incumbents) could not be influenced by the transmission of the secondary users. Therefore, we can re-examine the use of wireless spectrum in Taiwan, and also seek out more feasible solutions for improving efficiency of spectrum use, and promote more applications for wireless spectrum. Our results show that current implementations of the spectrum sharing inference scheme may not be limited to the TV bands, but based on the international trends will figure out more favorable bands.

On the legal and policy aspects, the draft Telecommunications Management Act that NCC proposed recently is also comprised the relative rules for the development of new spectrum access technologies, which including the framework of spectrum sharing and the administration of unlicensed spectrum, to assure sufficient spectrum resources for the long-term development of mobile broadband technologies. It is expected that these measures could promote the efficiency of the spectrum utilization, ensure the development of wireless technologies, and encourage the innovation of new technologies and services in communications.

Therefore, it is necessary to make new administrative rules to specify the shared conditions, scenarios, and technical standards. On the other hand, sharing in the licensed frequency band relies on the database management system to protect the incumbents. The corresponding regulations for governing database systems are also required so that the operators could make arrangements for database administration. In the meantime, the experimental platform for spectrum sharing has been established in parallel to execute the proof of concept and to ensure the feasibility. The experimental results have helped in the development of a sound regulation.

第一章 緒論

第一節 研究背景與目的

一、 行動寬頻應用持續驅動頻譜需求

自 3G 行動通訊服務開展以來，行動通訊技術的傳輸頻寬不斷增加，到了 4G 行動寬頻時代，傳輸速率幾乎已與固網寬頻比肩。各式行動寬頻服務隨著頻寬的擴充不斷發展，其中行動影音服務更是促使數據流量快速成長的主因。隨著科技進步，為了提供更佳的用戶體驗，新聞、廣告及社群媒體亦正逐步擴大提供線上影音服務（OTT），包括 YouTube、Netflix、愛奇藝 PPS 等，大幅提升影音串流成長。在消費者大量使用線上影音服務的情況下，行動數據流量呈現爆炸性成長。

面對行動寬頻的增長趨勢，2010 年高通為無線通訊技術的開發目標提出「對應 1000 倍的數據流量」，依據當前行動寬頻成長速度，估計至 2020 年，行動寬頻網路將需要具備提升基站數量及頻譜效率達 10 倍的技術組合，以處理 1000 倍的數據流量。高通並指出，要實現 1000 倍數據流量的行動寬頻，需綜合運用三方面的技術進步，包括（1）行動寬頻技術的進化；（2）利用更多的頻譜資源；以及（3）利用無線區域網路（WLAN）和小型基地臺（Small Cell）。因此，除了全世界先進廠商正在進行多項研發和標準化工作外，各國通訊監理機關皆陸續釋出更多的頻譜及研究提高頻譜使用效率之方法，以對應未來行動寬頻需求趨勢。

二、 頻譜特許執照資源釋出有限

行動寬頻應用服務對於頻譜的需求非常大，為了得到最佳通訊品質，必須給予完整、無干擾的頻譜區塊，但各國原始的無線電頻率利用與規劃的政策並不一致，

有時也並未有良好的規劃，即使在新的行動通訊技術發展下，對於頻寬的需求仍是不易滿足。因此，除重整並釋出專屬頻譜資源外，為獲得更多可用頻譜供應，歐美主要國家亦開始研究頻譜共享機制。

以我國而言，在行動寬頻頻譜經過三波釋照後，在 3GHz 以下頻譜資源已所剩無幾（如圖 1 -1），未來亦需持續向 3-6GHz 或更高頻段發展。

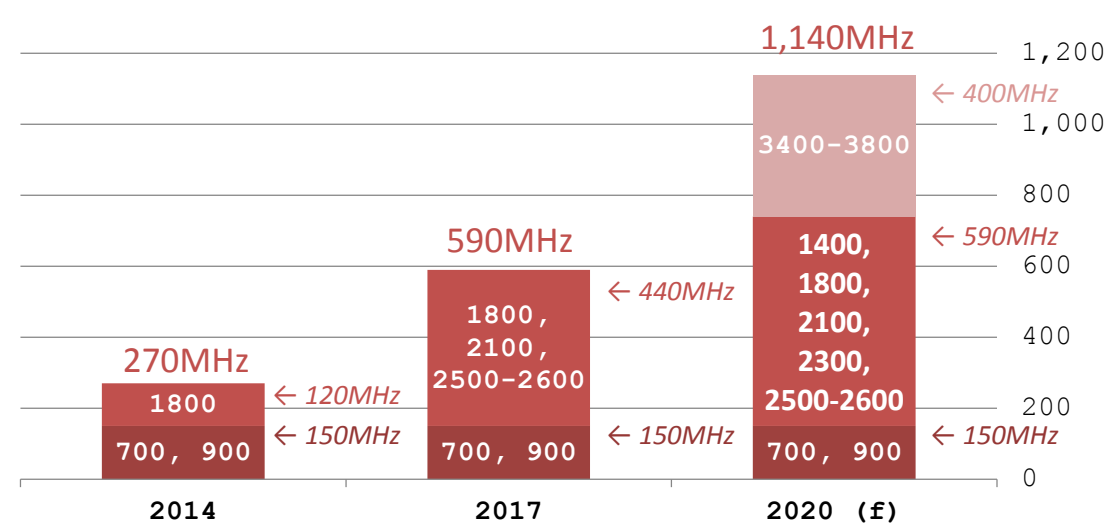


圖 1 -1：我國至 2020 年前可釋出之行動頻譜

資料來源：本研究整理

三、改善既有頻譜使用效率

頻譜資源專用權釋出之限制已如前述，如何尋找更多可用的頻譜便成為各國頻譜政策之重要議題。由國際發展趨勢可觀察到，各種無線通訊相關應用之頻譜使用程度不同，行動寬頻服務必須重視訊號涵蓋率，故頻譜資源使用效率極高；然而部分無線技術之頻譜使用具有區域性或時間性，例如醫療、工業、國防等，因此特定頻段在某些區域或時間產生閒置狀況，產生了可共享使用的機會。

然而，頻譜共享機制之建立，需面對許多困難，例如需執照頻段係指已經授予專屬權利或用途，故存在著既有使用者；同時，該頻段存在之共享機會，可能來自於既有使用者的閒置，但既有使用者的閒置狀態若為動態，則保障既有使用者不受干擾之難度較高；其他處理多個使用者之間的和諧共用亦是一大挑戰。

第二節 研究議題與範圍

本計畫首先分析主要國家頻譜共享機制之頻段規劃、服務發展與規範趨勢，並考量我國法規、環境及頻譜管理實務，分析各機制、頻段與使用模式是否適於導入我國。並藉由蒐集主要國家頻譜共享機制之監理與規管趨勢，參酌國外經驗之發展，針對我國未來建立頻譜共享機制之技術規範及相關法規需求提出建議。

為因應我國建立頻譜共享機制之需，本計畫規劃研析國際相關共享技術與管理機制，初步建立概念驗證平台，以探索頻譜共享機制於我國運作之可行性，並瞭解共享機制運作之狀況與需改進之處，俾利作為未來建立適切我國環境之頻譜共享營運平台之參考。

本計畫目標如下：

一、研析國際動態頻譜共享(Dynamic Spectrum Sharing)之監理與規管趨勢，瞭解國際有關頻譜共享機制之發展現況。

頻譜共享機制在美國與歐盟均有相當的發展，由於完整的頻譜區塊有限，而頻段的重整與清理均需要相當長的時間與成本，同時必須兼顧國際標準的協調，無論就增加額外可用頻譜資源、或是在重整期間仍能盡快釋出頻譜之角度來看，頻譜共享機制均可以作為頻譜商業化使用之外的輔助機制，增加頻譜使用的效率，並促進新頻譜利用技術的創新。初步看來，美國與歐盟均已有相當多類型的新頻譜利用模式正在發展，無論是使用模式、情境、法規與政策上的規劃，均有相當多的不同的適用條件，本計畫將深入蒐集進行主要國家頻譜共享機制之規管資訊，完善整理主要國家頻譜共享機制之政策發展及規範趨勢。

二、研析國際動態頻譜共享之頻段、監理架構與應用模式於我國之可行性，探討我國頻譜共享機制之需求及可能性。

我國目前的頻譜管制規範相對嚴格，即使是已經釋出之頻譜，也未許可業者進行租賃、共用或交易。然而，各種發展中的新興頻譜利用模式，有許多使用情境與我國未來積極推展的產業或新興商業模式，有非常大的關連，例如以智慧服務為核心的智慧城市計畫、導入機器間通訊(M2M)而推廣的工業 4.0、智慧製造等產業提升方向；又如結合物聯網 (IoT) 的智慧交通系統與智慧電網，這些新興產業與頻譜的新利用模式有很大關連，因此，主要國家所發展的各類型的頻譜共享機制，是否具有可行性或是否適合導入？又主要國家與我國在管制規範上必然有著相當差異，亦需進行國際規範與我國法規的比較與分析，針對我國應用環境與規範狀況加以分析，了解各類型頻譜共享機制在我國之可行性，並分析出可能需改進解決之議題。

三、針對使用機制、技術規範及相關法規提出我國法制建議，做為我國建立頻譜共享機制之參考。

最後，這些新型態的利用模式將如何導入我國，有哪些可能的頻譜需要整理，有些部分歐美與我國的情形相近，例如 3.5 GHz 的共享機制，便可為我國參考；但相對而言，電視頻段則因我國政策偏向提升數位無線電視的涵蓋率，而可能較無法參酌，凡此，皆將於本研究計畫的後續，以研究歐美頻譜利用政策之所得，進行我國相關可行性分析，並檢討可能適用頻段，為我國新型態頻譜利用提出完善建議。

四、研析我國電波監測系統搭配地理位置資料庫，提升整體頻譜效能開發

此項目研究旨在提升頻譜使用效率，以解決頻譜不足的問題。具體而言，本研究欲探討「頻譜共享」此一提升頻譜使用效率之技術，特別是在新世代電波監測系統與頻譜地理位置資料庫提供之資訊，研析如何互相共享資訊，協調共享之使用者，以解決「頻譜共享」需處理之資源分配與干擾控制的問題。本研究期能發展新世代電波監測系統搭配頻譜地理位置資料庫之可行運作機制，以實現適用於我國之頻譜共享模式。具體而言本研究主要目的如下：

- 瞭解各國電波監測系統整合頻譜管理系統資料庫之系統架構設計與頻譜使用資訊的取得方式。
- 瞭解各國頻譜共享技術現況與未來發展方向，並提出我國動態頻譜共享模式之建議。
- 基於上述兩點與我國頻譜使用現況，研析新世代電波監測系統如何進行電波使用狀況調查之可行機制。
- 研析使用 crowd sourcing 的機制，使進行實際頻譜使用現況的調查。
- 基於上述幾點研究與我國頻譜使用現況，提出新世代電波監測系統搭配頻譜地理位置資料庫(Geo-location Database)之可行運作機制，用以實現低干擾之動態頻譜共享，提升通訊服務品質。

五、以頻譜共享實驗平臺進行概念性驗證，做為未來進一步場域測試與服務驗證之基礎。

由於我國並無實際運作過頻譜共享機制，參酌歐美主要國家共享機制發展歷程之累積經驗，無論是技術規範或政策方向，均不斷依據實際環境測試與國際頻譜政策之演進而調整。至目前為止，歐盟許可共享接取（Licensed Shared Access，LSA）與美國公民無線寬頻服務（Citizens Broadband Radio Service，CBRS）之發展，在法規面及技術面均仍在持續發展當中。由於歐盟 LSA 頻譜共享機制已累積較多的測試案例，故作為本研究觀察重點，經研析後發現其目標在於大幅降低行動基礎建設成本，並且嘗試在商業模式、網路及競爭等方面促進創新。既有使用者利用空閒的頻譜資源實現社會與經濟價值，且不影響頻譜權利歸屬；行動業者（共享使用者）則以較低代價獲得額外頻譜使用權，向用戶提供高品質服務。然而，共享頻譜長期潛在經濟效益是否超過投資專用頻譜相對得到的效益，將是行動業者評估投入與否的重要考量因素。共享頻譜可視為頻譜可用性的補充方案，但不會取代提供行動寬頻服務的專用頻譜需求，同時，需執照共享頻譜可能面臨執行上的嚴格限制及取得頻譜成本與補償利益等問題。

由國際發展歷程可觀察出，為了確保頻譜和諧共用、既有使用者不被干擾、共享機制的參與者能夠確保其投資獲得收益，而服務提供及使用者能夠享有一定程度的品質，必須以政策規範為基礎，先行進行概念性驗證（Proof of Concept，PoC），以初步確認整體概念的可行性。為了驗證概念是否能確實執行，本研究將設計實驗平臺，以作為解釋架構的概念依據，協助瞭解頻譜共享機制的運作概況與驗證可行性。提供後續規劃情境與測試場域，進行實際實地驗證之基礎。

研究團隊經綜整本計畫委託辦理工作項目，將其歸納為「趨勢觀測」、「法制建構」、「優化探討」與「概念驗證」等研究分項，整體研究架構如圖 1-2 所示。

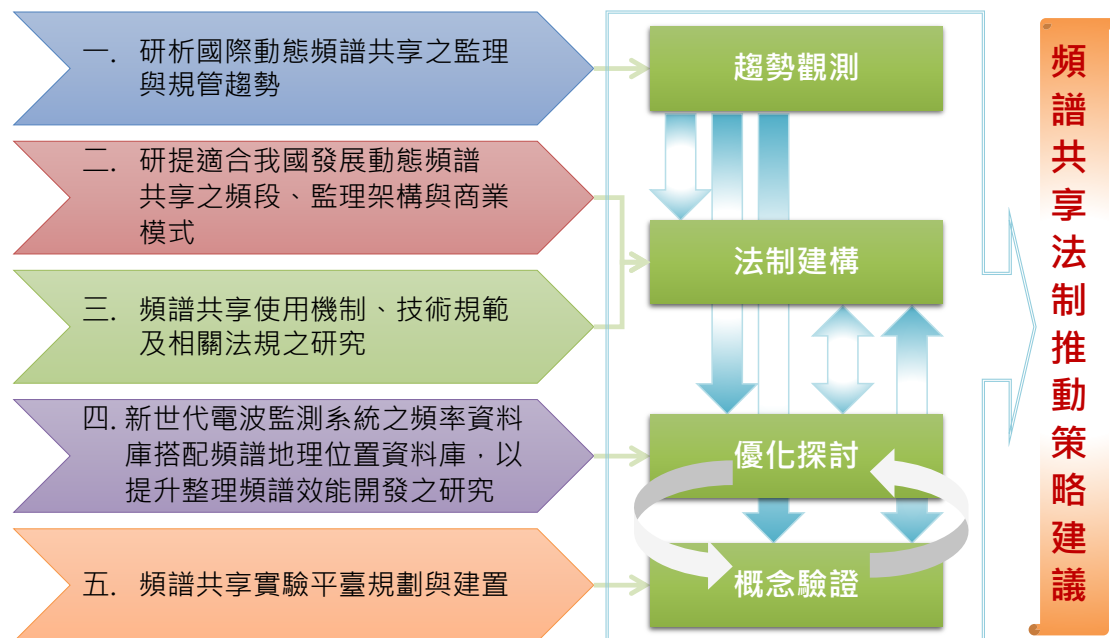


圖 1-2：本計畫研究架構

資料來源：本研究自行繪製

「趨勢觀測」主要研究內容包括研析國際動態頻譜共享之監理與規管趨勢，蒐集、整理、歸納國際組織、歐美及亞太地區推動動態頻譜共享之主要國家（例如：英國、美國及新加坡）相關監理與規管之最新作法及發展趨勢，包含其規劃共享使用之頻段、頻譜共享監理架構、共享機制之規範發展狀況等。並針對有關之政策與技術議題進行深入探討，例如：是否採用執照規範、機制參與者的權利義務、對既有使用者的保護等。

「法制建構」將比較各共享機制之規範重點，分析其背景、理由與目的，找出各機制實務發展與運作狀況之優勢與機會，評估適合我國的商業應用模式。另一方面，頻譜共享使用機制、技術規範及相關法規之研究也將會同時進行，內容包含調查蒐集產官學研各界對頻譜共享使用機制的需求意見，彙整研析各界意見後擬具相關建議，如：頻譜共享運作頻段、機制運作流程、頻譜共享資料庫建構、終端及服務設備使用管理規範等。

為了提升頻譜使用效率、通訊服務品質，以及避免無線電干擾，「優化探討」將研析在免執照頻段及需執照頻段中，如何以新世代電波監測系統、頻譜管理系統資料庫為基礎，搭配頻譜管理地理資料庫等頻譜共享使用技術，提升整體頻譜效能開發，提供良好的干擾防範機制及通訊服務品質。本團隊依據 ITU 頻譜監測手冊及相關國際測試標準，廣泛蒐集電波監測系統的技術資料，研擬射頻技術規格，探討射頻訊號如何做技術上的規範、定義、及記錄，並將研究結果應用於後續規劃頻譜共享資料庫之規格參考，達成頻譜共享架構所設定的目標。

由於頻譜共享機制之建立涉及爭議層面眾多，從法規架構、環境差異至政策取向差異，均顯示我國與國際發展狀況有許多不同的考量層面亟待釐清。因此，本團隊亦計畫透過舉辦研討及座談會方式，廣泛蒐集資訊，並與產、官、學、研各界進行雙向交流及研討，以凝聚各界對頻譜共享架構的建置共識，俾利本研究之範疇更加完整，成果分析亦更加堅實。「概念驗證」將藉由上述各項研究成果為基礎，並參考國際最新規範，規劃應用情境，建置實驗平臺，並進行頻譜共享概念性驗證測試。

第三節 研究方法與步驟

研究團隊依據本計畫委託辦理工作項目相關之需釐清或探討的議題，採用適當的研究方法進行，再串連這些工作項目成果產出彙編為研究報告，分述如下：

➤ 文獻分析法

本研究有關國際頻譜共享機制之發展趨勢，著重於收集歐美亞主要國家之頻譜共享機制發展之相關資訊，包含其主要法規、行政規範、技術規範與政策文件等，並進行文獻分析，以歸納主要國家發展共享機制之重要核心議題，例如執照規劃、頻率規劃、設備型態、運作架構、推動政策與技術標準發展等，以全面瞭解國際頻譜共享機制之發展狀況、應用模式、測試或商業發展等。

➤ 比較分析法

依據文獻分析所得，就我國之相對條件進行分析比較。例如我國目前相對的頻段狀況，我國目前的電信法制架構以及未來匯流法架構之差異。此外，我國之地理及國情條件之影響，其他推動之政策與頻譜共享機制之關連或影響等，均需進行相對之比較與分析，以瞭解我國與國際各式發展條件之差異性，並研析最適我國之發展方向。

➤ 訪談、研討會與座談會

由於頻譜共享機制之建立涉及爭議層面眾多，從法規架構、環境差異至政策取向差異，均顯示我國與國際發展狀況有許多不同的考量層面亟待釐清。因此，本研究透過安排個別訪談及舉辦研討會等方式，邀集產、官、學、研等方面之專家提供建議與參考資訊，俾利本研究之範疇更加完整，成果分析亦更加堅實。

➤ 概念性情境設計驗證

「頻譜共享實驗平臺規劃」，為了確保頻譜能夠和諧共用，研究團隊以前述各項研究成果為基礎，進行概念性驗證，確認所欲建構頻譜共享管理系統之可行性後，才著手規劃細部設計與規格書。

此平臺規劃成果能夠了解驗證平臺建構的可能性，藉著部分元件的確定，以及溝通介面的制定，由下往上（bottom up）的整合方式，逐一地驗證該平臺實作的可能性。可以讓本計畫在執行階段時，立即知道此驗證平臺於未來建構完成所能夠實現的模擬能力。

反之，若於部分項目因技術不足、功能不公開、實作未知、設備無法修改、採購金額過於昂貴等因素，無法由現有的系統銜接，則會撰寫原因及另外可行的方案。此規劃書可以節省不必要的開銷，也可以儘早想出可能的替代架構，此成果將會影響平臺建置的實際情況。

研究團隊參採前述研究方法，制定研究流程與進行步驟，如圖 1 -3 所示。

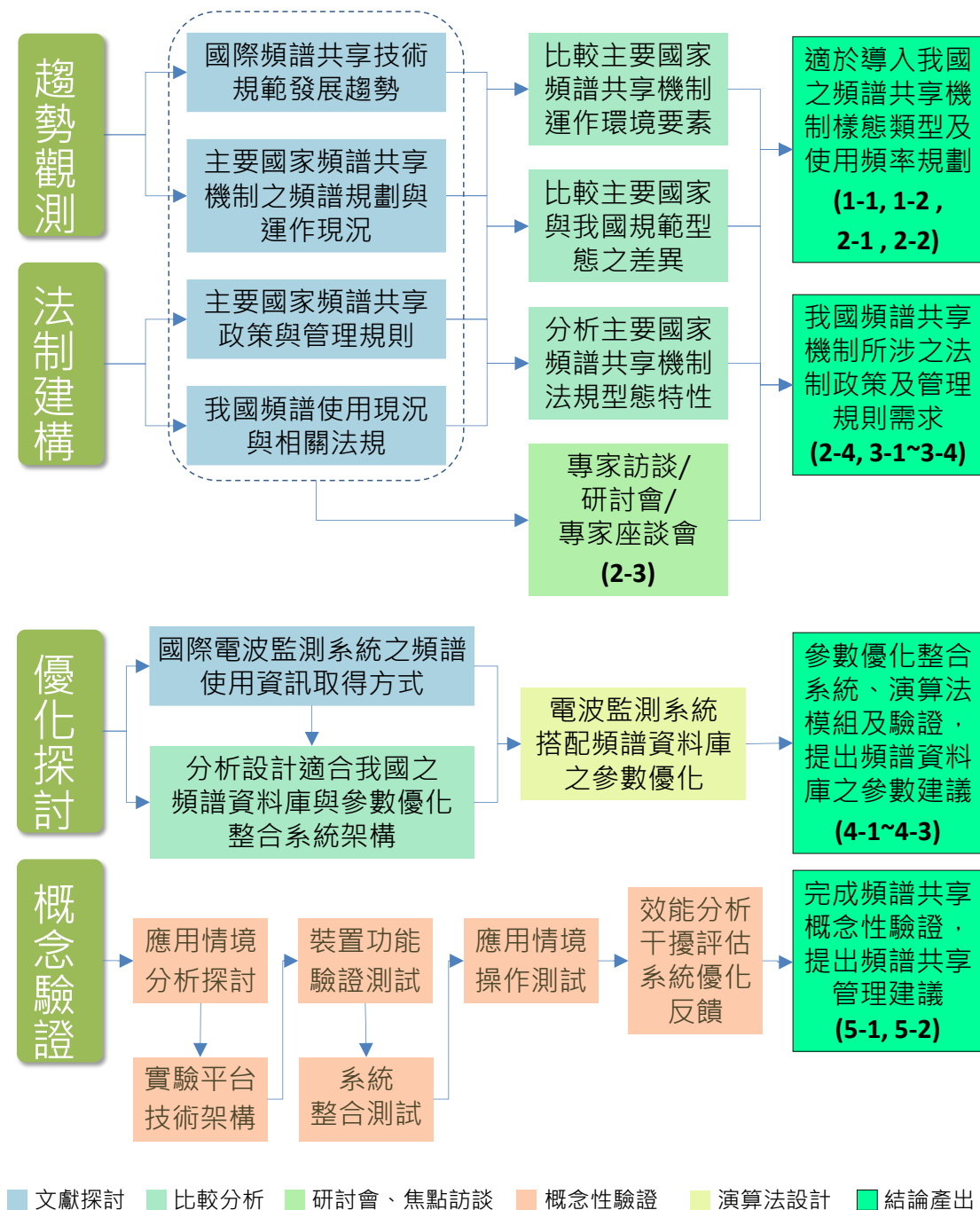


圖 1-3：本計畫研究流程與進行步驟

資料來源：本研究自行繪製

第四節 計畫工作項目與完成進度

研究團隊依據本計畫委託辦理工作項目相關之需釐清或探討的議題，採用適當的研究方法進行，再串連這些工作項目成果產出彙編為研究報告，分述如下：

為配合前述研究議題與研究方法之落實推動，本計畫訂於契約生效次工作日 180 日內提出期中報告，契約生效次工作日 360 日內提出期末報告，經委辦機關審查後，於指定期限內修正完畢送交完整之期末報告相關資料，俾符合委辦機關之業務時程需求外，更具體研擬計畫執行甘特圖。

另為確保工作進度及研究品質，研究團隊配合委辦機關要求，定期於每月第三週辦理工作小組會議或提交工作進度報告。

表 1-1：研究計畫執行甘特圖

契約期程	D +	D +	D +	D +	D +	D +	D +	D +	D +	D +	D +	D +
工作項目	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
趨勢觀測												
1-1 國際近期發展綜整												
1-2 推動國家案例研析												
法制建構												
2-1 研析我國需求情境												
2-2 比較機制規範重點												
2-3 評估我國應用模式												
3-1 調查蒐集需求意見												
3-2 提出推動策略建議												
優化探討												
4-1 頻譜資訊取得方式												
4-2 頻譜接取動態優化												
概念驗證												
5-1 實驗平臺規劃設計												
5-2 平臺建置概念驗證												
工作進度估計百分比 (累積數)	8	17	25	33	41	50	58	67	75	83	91	100
預定查核點	1. 於契約生效次工作日起180日內提出期中報告。 2. 於契約生效次工作日起360日內提出期末報告 (完整研究報告初稿)。 期末審查完成後，依通傳會指定期限內提出完整期 末報告。											

資料來源：本研究整理

第二章 國際頻譜共享監理發展概況之蒐集及研析

在我國 4G 完成釋照後，行動寬頻服務快速普及，短短兩年多的時間便已成為主流行動通訊服務。根據資策會在 2016 年 7 月執行的調查¹，我國已有八成上網民眾採智慧型手機進行連網。於此同時，下世代的行動通訊標準亦正發展中，B4G/5G 的時代逐漸接近，可預見全球行動通訊的流量，將持續以等比級數的幅度成長。

為對應此一趨勢，在技術面，必須以更先進的頻譜技術促成更高效率的頻譜使用；在政策面，釋出頻譜專屬執照之制度已有不足，歐美先進國家通訊監理機關透過頻譜共享機制釋出更多補充性的頻譜資源，在多年的研究及探索下，亦漸漸有落實商用化之發展。

由於頻譜共享機制本質上為在同一頻段上之異質技術和諧共用，在藉由此類機制促進頻譜資源有效利用之發展下，需執照頻段以及免執照頻段均分別開展出不同之途徑。

➤ 需執照頻段之共享頻率管理機制

在需執照頻段方面，主要為既有用途、但並非電信業者專屬執照之頻段下，所發展出之共享頻率管理機制，分別有電視頻段共享(TV White Space, TVWS)、歐盟之「許可共享接取(Licensed Shared Access, LSA)」以及美國之「公民無線寬頻服務(Citizens Broadband Radio Service, CBRS)」。

由於既有使用者之保護為重要之共享頻率監理核心議題，為了避免干擾既有用途，前述機制皆透過資料庫之建立以利既有/共享之異質系統共存。

¹ 資策會 FIND/經濟部技術處「資策會 FIND (2016) / 服務系統體系驅動新興事業研發計畫 (2/4)」, 2017, available at http://www.iii.org.tw/Press/NewsDtl.aspx?nsp_sqno=1934&fm_sqno=14

➤ 免執照頻段之服務和諧共存

在免執照頻段方面，國際組織及歐美主要電信業者開始研究並評估導入免執照頻段 LTE(LTE in Unlicensed band, LTE-U)、許可輔助接取 LTE(Licensed Assisted Access, LAA)、LTE 與廣域網路聚合 (LTE-WLAN aggregation, LWA) 等技術，主要使用 5 GHz 免執照頻段擴增行動寬頻之可用頻譜。

其中 LTE-U/LAA 為電信業者以 LTE 技術同時使用專屬執照頻段與 5 GHz 免執照頻段，擴增其可用頻譜資源；而 LWA 為電信業者在其網路上聚合專屬執照頻段 LTE 與 WiFi 兩種異質技術，以擴大其服務頻寬。

	免許可使用	需許可使用	
機制	TVWS (美、英、星)	CBRS (美國)	LSA (歐盟)
頻段	470-698MHz	3.5GHz	2.3GHz
既有使用	數位無線電視	衛星、雷達	衛星、雷達、PMSE
Eco System	無線寬頻接取 (IEEE 802.11af/ah...)	行動寬頻 (3GPP Band 42/43/48)	行動寬頻 (3GPP Band 40)
監理架構	二層 (既有/免許可)	三層 (既有/優先/免許可)	二層 (既有/共享許可)
頻譜分配	動態 (被動查詢)	動態 (主動分配)	靜態 (固定區塊)
額外規範	新加坡：高優先頻道 (HPC)	ESC環境感測能力	尚無額外規範
運作狀況	用於無線寬頻、物聯網應用、科學研究等	2016年7家業者通過第一階段審查，進行第二階段測試與認證	義大利、芬蘭、法國等進行場域測試

圖 2 -1：國際主要頻譜共享機制比較整理

資料來源：本研究整理

國際主要頻譜共享機制將於以下第一節至第四節加以介紹，包括美國、英國、新加坡之電視頻段共享（TVWS）、歐盟 LSA 與美國 CBRS 三類機制之發展情形與分析整理，以及 5 GHz 免執照頻段共享之 LTE-U/LAA 與 LWA 相關接取技術之綜合比較。

第一節 電視頻段共享（TVWS）

一、 頻段規劃

電視頻段共享（TV White Space, TVWS）為目前發展最早，運作也最為成熟之頻譜共享機制，整體而言，TVWS 的頻段範圍大約由 470MHz-800MHz，由於部分國家（如美國與我國）已完成無線電視數位轉換，因此 700MHz（約指 698MHz-800MHz）完成清頻釋出，對應 3GPP Band 28。而其他國家（如英國與新加坡）也正進行或預定進行無線電視數位轉換，故頻段範圍仍有變化，原則上將主要集中於 470MHz-698MHz。以下詳述之。

（一） 美國

依據 FCC 規範²，所有的電視頻段設備（TV Band Devices，TVBDs）被允許使用 470-698MHz 頻段（TV Channels 14~51），608-614（TV Channels 37）則保留為無線麥克風使用。而當固定式 TVBDs 與其他固定式 TVBDs 相互通訊時，可例外使用 54~60MHz 頻段（TV Channel 2）、76~88MHz 頻段（TV Channels 5 and 6）、174~216MHz 頻段（TV Channels 7~13）與 470~512MHz

² 47 C.F.R §15.707

頻段（TV Channels 14～20）。

此外，美國已經完成 600MHz 頻段之誘因拍賣（Incentive Auction），因此未來美國 TVWS 之可用頻道數量還會再有所變化。目前因應 600MHz 頻段的變化，在 TVWS 規範中增列有關 600MHz 頻段的限制，如每頻道可用頻寬被限制為 6MHz、與 600MHz 既有服務必須間隔 3MHz 等。

（二）新加坡

依據新加坡資通訊發展管理局（The Infocomm Development Authority of Singapore，IDA）的規劃，TVWS 的操作頻率在 VHF 頻段 Channel 6（181～188MHz）、Channel 10 與 11（209～223MHz）；在 UHF 頻段 Channel 25-26（502～518）、Channel 39（614～622MHz）、Channel 41-50（630～710MHz）、Channel 52～54（718～742）、Channel 56～58（750～774）、Channel 61～62（790～806）共 189MHz 頻寬。但新加坡預計至 2020 年之前展開無線電視數位轉換，故屆時 700MHz 的 14 個頻道 Channel 49～62（694～806MHz）將重新分配給國際行動通訊（IMT）使用，不再許可提供給 TVWS。此外，Channel 25～26 將利用地理資料庫鎖定不提供使用，直到與鄰頻干擾的問題獲得解決。而 Channel 25 與 47 將保留給免執照無線麥克風，以短距設備技術規範（Short Range Device Technical Specification）運作，故 Channel 47 也將利用地理資料庫加以鎖定。

（三）英國

英國 White Space 使用的頻段為 470～790MHz，但在此一頻段範圍內仍有數位電視（Digital Terrestrial Television，DTT）與節目製作與特殊活動（Programme Makers and Special Events，PMSE）所使用，White Space 的利用

必須防止干擾上述用途，DTT 與 PMSE 將會把服務地點資訊設定於地理定位資料庫，提供 White Space 裝置存取，避免干擾；此外，Ofcom 預期在 2022 年左右，700MHz 頻段（694～790MHz）將轉移作為行動通訊用途，因此最早可能於 2018 年開始，英國 White Space 將被限制在 470～694MHz 頻段。

（四） 日本

日本 White Space 共享的相關政策可追溯自 2009 年 12 月，總務省組成研究小組，從增進無線電頻率使用彈性的角度出發，該小組於 2010 年 8 月提出對無線電頻率使用的檢討報告，並規劃建立 White Space 特區，自 2009 年至 2010 年間，邀集各界對 White Space 頻段利用提出實驗計畫，相關計畫內容包括有提供行動數位電視的 One-Seg 等³。

日本對於 White Space 頻段並不侷限於特定頻段，不過多以數位無線電視使用的 UHF 頻段為主。最初 White Space 頻段實驗頻段尚包括 710-806MHz，不過隨著總務省指配 700MHz 供行動通信服務使用後，White Space 頻段便以 410-710MHz 頻段為主要使用對象。

二、 運作機制

TVWS 機制能夠避免干擾既有使用者，主要因各國發展出以地理資料庫系統管制頻譜使用與共享者所在區域，從而使共享者可避開既有使用者所在地。

美國、英國、新加坡及日本之資料庫運作流程均大同小異，當使用於 TVWS 的設備（White Space Device，WSD）查詢所在地資訊時，須先連線至通過認證的

³總務省，「新たな電波の活用ビジョンに関する検討チーム」報告書概要，2010，available at http://www.soumu.go.jp/main_content/000080629.pdf (最後瀏覽日期：2017 年 2 月 7 日)

頻譜地理位置資料庫（White Space Data Base，WSDBs）。WSDBs 可能由不同的服務業者提供，資訊包含既有使用者之狀況、各地區的頻譜使用狀況資訊。WSD 則向 WSDB 取得設備所在地的可用頻譜以及最大可傳輸功率等資訊，以確保不會對既有服務造成有害干擾。各個 WSDB 可分別獨立運作，但彼此之間有交換資訊的需求。擁有既有執照授權的頻譜使用者，如：無線電視、PMSE（Programme Makers and Special Events）服務，需要提供關於所擁有的頻譜在各地區使用狀況的資訊。

各國之 WSDB 均必須經過主管機關的測試，以確保資料庫能夠依據相關規範架構，正確的提供資訊。資料庫的資訊必須在執照服務提供資訊後迅速更新。資料庫必須保持隨時可用，保持高度的可用性。WSD 必須週期性的向 WSDB 查詢，以確保資訊的及時性。一個具有充分資訊與智慧化的 WSDB，除了可以提供閒置頻譜的資訊予 WSD，也可進一步提供可用頻道以及可用傳輸功率的資訊。因為 WSDB 登載既有使用者射頻器材與 WSD 的相對距離，這些資訊可以輔助計算適當的發射功率與相鄰頻道的溢波限制。換言之，WSD 可以用不逾越主管機關原先所設定功率限制及參數來運作。

頻譜地理位置資料庫系統的發展，成為往後各種新頻譜共享機制的管理核心，也使存在既有用途之頻譜，其閒置可用機會能夠被善加利用，提升整體的頻譜使用效率，也為行動寬頻服務提供更多的額外頻譜，可說是頻譜共享機制核心要素之一。

三、 監理架構及相關技術規範

（一） 美國 TVWS 電視頻段共享機制

FCC 規劃 White Space 可免執照使用，但因該頻段仍存在持執照的使用者，必須嚴格管制干擾，故 FCC 制定了相當細緻而嚴格的規範，包含裝置的種類、用以管理頻譜使用的資料庫系統、天線的高度、感測信號的靈敏度、避

免干擾的範圍等。由於 TVWS 以免執照為基礎，故整體規範相似於低功率射頻器材管制，為了避免對既有使用者造成有害干擾，對於發射功率與既有使用者相距位置均有相當細密的規範。

1、免執照使用

針對閒置頻譜之利用，FCC 於 2008 年 11 月發布「Second Report and Order」(下稱 2008 R&O)⁴，自此展開頻譜共享之發展。只要符合 FCC 行政命令與技術規範之 TVBDs，即可免執照利用閒置之電視頻段。

FCC 指出，開放閒置頻譜共享利用，除了增加無線通訊之頻譜供給外，同時提升頻譜的使用效率，有助於提供各式無線通訊的業者推出新興服務。

FCC 認為，在免執照的基礎上開放使用 TVBDs 的裝置，另透過一系列限制規範來保護取得執照的既有服務商，是符合公眾利益的方式。如此不僅可為這些頻譜引進創新的使用，也同時保護廣播電視或其他授權服務的持續經營與成長。此特點也獲得無線網路服務商（Wireless Internet Service Providers，WISPs）之認同，尤其低頻段的特性，適於提供經濟的無線網路服務於偏遠不經濟區域⁵。

美國 TVWS 開放的細部條件規範於 Part.15，因涉及無線電裝置，故合乎電視頻段使用的需求，因 Part.15 的規則原本即為限制開放性的、低

⁴ FCC, Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order, FCC 08-260, 2008, available at http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-08-260A1.pdf (last visited Sep 22, 2014).

⁵ id. at para.45

功率的無線電裝置，不得對授權的使用者造成有害干擾⁶。美國 TVWS 可用頻譜資源分佈與數量不穩定，隨著頻段使用率、地點、時間的不同，頻率的可使用條件亦各地不一，因此規劃不以執照管制。

2、地理資料庫系統管理干擾

最初 FCC 在 2008 R&O 文件規劃，認為地理定位（geo-location）/資料庫（database）與頻譜感測（spectrum sensing）的方式，較能確實的識別出閒置未使用的電視頻譜，避免干擾⁷，故兩種方式都納入免執照 TVBDs 的規範中⁸。

地理定位意指透過 GPS 系統，準確的定位免執照設備的位置，經由資料庫比對廣播電視或其他執照服務的位置與區域。建立這些地理定位資訊之後，便能提供廣播電視或執照服務充足而可靠的保護。頻譜感測技術則使用了「Listen Before Talk」的方式，檢測電視頻段是否在該區域為閒置狀態。亦即，感測裝置必須時刻監控頻譜的使用狀況，先確定該頻段為閒置，再行傳輸資料。

FCC 於 2010 年 9 月公布了 Second Memorandum Opinion and Order（下稱 2010 MO&O）⁹，則修正部分 2008 R&O 之內容，取消了要求閒置頻譜的使用裝置，須具備感測既有服務訊號之功能；亦即，FCC 認為閒

⁶ FCC, 47 C.F.R, Part.15 “Radio Frequency Devices”

⁷ FCC, supra note 4

⁸ id. at para.71

⁹ FCC, Second Memorandum Opinion and Order, FCC 10-174, 2010, available at http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-10-174A1.pdf, at para. 97-100 (last visited Sep 22, 2014)

置頻譜之通訊裝置，僅需使用地理定位與存取管理資料庫功能，便能避免干擾既有之服務，無須再具備頻譜感測功能。這樣的修正也可降低相關通訊裝置之開發與製造成本。資料庫系統包含重要規範如下：

➤ 資料庫登錄資訊的要求

依據規範要求，資料庫應能依據 TVBDs 要求與其所在位置，提供可用的電視頻道資訊。可用頻道的確定，應符合 47 C.F.R §15.712 干擾保護的要求。資料庫應登錄固定式 TVBDs 的認證與地理位置資訊。同時規範中亦詳細說明各種資訊登錄的要求，例如對於固定式及可攜式設備，要求其於初始化時，必須核對註冊其登錄資訊，以確定其所在位置與認證資訊。Mode II 可攜式設備應提供 FCC 所要求之識別資訊，以及符合要求的精確所在位置資訊¹⁰。

➤ 資料庫管理者的責任

FCC 可指定一個或多個實體負責管理電視頻道共享資料庫，管理者的主要責任有¹¹：

- 維護符合 47 C.F.R §15.713 所要求的各項資訊。
- 建立獲取必要與適當資訊的程序，並應定時與 FCC 之官方資料進行同步，包含執照與設施的更新。對於非由 FCC 所提供之資訊，亦應建立註冊登記的程序。
- 在無差別待遇的基礎上，提供足夠資訊予所有免執照的 TVBDs 用戶。

¹⁰ 47 C.F.R §15.713

¹¹ 47 C.F.R §15.715

- 提供服務的期限為五年，期限可由 FCC 加以更新延展。
- 當有多個資料庫同時運作時，資料庫管理者應進行合作，制訂一個標準化的程序，確保記錄資訊的一致性。

3、 資料庫的安全要求

FCC 在 2010 MO&O 當中強化了資料庫的安全要求，透過合理與穩定的安全保障措施，避免不當的存取、修改、損毀資料庫的內容，也防止各種使用裝置存取未經授權的資料庫。

首先，TVBDs 只能存取經 FCC 認可指定的業者所建置的資料庫，而不能使用非授權業者的資料庫，以維持資料的正確性與即時性。其次，必須使用安全的方法，以防止設備與資料庫間的通訊，受到不當干擾與破壞，亦即透過加密、設備識別、電子認證或安全通訊的技術，維持通訊的安全。最後，為了避免未經授權的資訊輸入或更改資料庫，資料庫的存取與資訊的輸入，資料庫管理業者必須建立適當的驗證程序，確保所有的通訊裝置所收到的資訊，是由合法授權的來源所得。然而，FCC 並不指定特定的技術來滿足安全要求，FCC 認為資料庫的管理員和設備製造商，能夠自行協調發展最好的方式。

(二) 新加坡 TVWS 電視頻段共享機制

1、 免執照使用

IDA 決定 TVWS 的使用將在免執照的基礎上，使用者必須遵守 IDA 所定義之技術操作規範。而使用於 TVWS 頻段的設備(White Space Device, WSD)，必須通過 IDA 的設備檢驗規範。因為 WSD 是一項新技術，可能有潛在造成干擾的問題，IDA 實施「一般設備登記 (General Equipment

Registration, GRE)」計畫，以全面性的驗證過程，通過 IDA 認可的驗證機構檢驗或通過 IDA 評估，要求設備商與供應商必須依據 GRE，向 IDA 登記 WSD，方能於市面販售。

2、地理資料庫系統管理干擾

地理資料庫將負責提供 WSD 就其所在位置之有關可用頻道、最大發射功率的資訊。資料庫應至少每 6 小時進行許可狀態的更新。資料庫管理者必須防止未經授權的資料輸入或更改既存的資訊，因此資料庫管理者必須提供安全的通訊認證程序，以使固定式或 Mode II 的 WSD 能夠確認其獲得的資訊是來自於正確授權的來源。

資料庫在提供可用頻道的資訊時，應確保資料庫與 WSD 之間的通訊具有適當的安全措施，避免未經授權的使用者可存取或修改資料庫內容，以及防範其他不當影響資料庫或 WSD 運作的行為。

由於固定式 WSD 必須在首次啟動時或更改位置時，提供資料庫註冊相關資訊，利用 WSD 提供網路服務的業者，必須確保資料庫獲得最新的資訊。

3、資料庫管理者需申請執照

資料庫管理者必須向 IDA 申請服務營運商（Services-Based Operator, SBO）執照¹²，在提供服務的前二年無須繳執照費，二年之後，IDA 將評估是否可繼續豁免。IDA 目前並未限制管理者的數量，但在申請執照時，IDA 將要求申請者提供商業模式計畫，以瞭解申請者如何確保業務永續性。

¹²相對於一般電信業者為「設施營運商（Facilities-Based Operators, FBO）」。

4、 高優先權頻道（HPC）指定

IDA 許可在一定條件下，使用者可申請使用高優先權頻道。經 IDA 許可並動態分配兩個專屬頻段，於地理資料庫註記為高優先權。許可條件為：

- 在申請當下的時間與地點中，所有一般的 White Space 頻道均已被使用。
- HPC 的頻譜分配，必須根據經 IDA 事前同意的公平程序分配。
- 當 HPC 的分配方式改變時，須以書面通知 IDA。
- 採取合理的預防措施，避免 HPC 被許可使用之間、HPC 與一般使用者之間的干擾。使用者亦應配合相關預防措施。

IDA 認為，HPC 可提供企業使用者所需的頻譜可用性與相對較高階的服務，IDA 將允許地理資料庫管理者以商業判斷運作 HPC 機制，不同的資料庫管理者之間可協調彼此的 HPC 管理，使 HPC 與一般 TVWS 使用者共存。

（三） 英國 TVWS 電視頻段共享機制

由於歐盟無線頻譜政策的落實，需與其會員國相互協調，因此整體尚未有較為具體的發展。但歐盟會員會之一的英國，管制機關 Ofcom 也已開始針對 White Space 的利用進行研究，但由於英國頻譜政策必須與歐盟進行協調，故目前針對 White Space 僅展開測試場域的規劃與實驗，尚未如美國的發展，已經擴大至全國範圍。

1、 免執照使用

2007 年底，Ofcom 在「Digital Dividend Review」中建議允許豁免執

照（licence-exempt）的感知設備利用閒置頻譜，但不保留任何數位紅利作為專屬的免執照頻段，或作為創新保留之用。之後 Ofcom 在 2009 年 7 月 1 日的「Digital Dividend:cognitive access」建議中，決定將以免執照方式，以地理定位與頻譜感知技術作為替代辦法，並設定謹慎的參數以檢測相關設備。依據 2006 年無線電信法（Wireless Telegraphy Act 2006）Section 8(4)與(5)之規定，Ofcom 認為無線通信基地臺或設備的使用不會產生有害干擾時，可制訂規則豁免其執照。

2012 年 11 月的設備諮詢中，則初步規劃了 WSD 的可能態樣。Ofcom 將設備規劃為 type A 與 type B 兩種類型，與美國類似，A 類型設備的發射天線是安裝在室外不可移動的平台上，即性質上屬於基地臺，B 類型的設備則屬於室內/外的輕型或行動設備上，即使用者端的分享器或手持裝置。

A 類型設備受到較嚴格的管制，在通訊前必須接收由 Ofcom 核可的地理資料庫業者的名單，接收到相關頻譜與地理資料參數後，方能進行通訊。B 類型設備必須依附在 A 類型設備之下，換言之，A、B 類型設備間以「主、從（master-slave）」的機制相互配合運作。

隨著 2015 年 2 月「實現電視 White Spaces 頻段（Implementing TV White Spaces）」聲明文件¹³的發布，同年 12 月亦公布了 White Spaces 設備豁免管制規則¹⁴，除規範設備要求外，也闡明設備與地理定位資料庫的運作規範。其後，Ofcom 於 2016 年小幅修訂增加合格資料庫業者名單。

¹³ Ofcom, TV white spaces: approach to coexistence, 2015, available at <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/white-space-coexistence>

¹⁴ Ofcom, The Wireless Telegraphy (White Space Devices) (Exemption) Regulations 2015, 2015, available at <http://www.legislation.gov.uk/uksi/2015/2066/contents/made>

2、地理資料庫系統管理干擾

地理資料庫是在頻譜感測技術之外，另一個用以讓閒置頻譜設備可以得知所在位置以及可用頻譜狀況的方式。對於數位電視服務而言，由於數位電視電台的位置與發射功率都較為固定，使用地理資料庫的方式，可有效率的防止干擾的發生。即使對於無線麥克風而言，在短期使用如體育賽事的播報，也可以發揮良好的效果。資料庫之功能與規劃介紹如下：

➤ 資料庫設計

當 TVWDs 查詢所在地資訊時，須先連線至 Ofcom 查詢合格的資料庫名單¹⁵，因此，地理資料庫將會由不同的業者提供，包含英國各地區的頻譜使用狀況資訊。接著，TVWDs 可自行選擇向合格的資料庫業者取得設備所在地的可用頻譜以及最大可傳輸功率等資訊，以確保不會對既有服務造成有害干擾。目前各個 WSDBs 分別獨立運作，彼此之間並未交換資訊，Ofcom 表示，若未來 WSD 的使用越來越廣泛，WSDBs 之間便可能有交換資訊的需求，至於是 by WSDBs 之間直接相互交換資訊，或是由 Ofcom 匯集資訊後同步，將視未來發展狀況而定。擁有執照授權的頻譜使用者，如 DTT 以及 PMSE 服務，需要提供關於所擁有的頻譜在各地區使用狀況的資訊。Ofcom 認為這是一種創新的頻譜分配方式，但因為潛在使用者數量與商業利益尚不明朗，因此至少在 White Space 服務開始的前三年，Ofcom 不會針對合格的資料庫業者收取費用。

資料庫必須經過 Ofcom 的測試，以確保資料庫能夠依據 Ofcom 的規範架構，正確的提供資訊。資料庫的資訊必須在執照服務提供資訊後迅速

¹⁵ Ofcom, TV White Space Databases, available at <https://www.ofcom.org.uk/spectrum/spectrum-management/TV-white-space-databases>

更新。資料庫必須保持隨時可用，Ofcom 建議最低 99.99% 的可用性。資料庫的查詢與下載，應使用適當的通訊協定，Ofcom 建議為以網際網路為基礎的協定（Internet-based protocols）以及使用標準查詢語言（standard enquiry languages）。

➤ 用於頻譜管理及設備功率之彈性調整

Ofcom 將會提供四種資訊給 WSDB，首先是「數位電視共存資料 (DTT Coexistence data)」，包含因避免干擾 DTT 服務而需遵守之最大傳輸功率；其次是「未知位置資料 (Location Agnostic data)」，包含有關保留給 PMSE 使用的 Channel 38 及附近頻段的最大功率限制，由於此類 PMSE 的既有使用者位置是動態的，因此除了保留頻段之外，也設有功率限制；再者是「PMSE 資料 (PMSE Data)」，主要是持執照的 PMSE 資訊，持照 PMSE 可能會使用 Channel 38 以外的頻段，故 Ofcom 將因應持照 PMSE 的狀況，計算特定地點與特定時間的可用功率資訊，提供給 WSDB；最後則是「非計畫內調整資料 (Unscheduled Adjustments data)」，是由 Ofcom 因應特定地區的臨時性需求，提供功率限制資訊給 WSD。

地理資料庫的基本功能有二個層面，首先 WSD 必須提供本身的技術標準與位置資訊等設備參數傳送至 WSDB，WSDB 再根據 WSD 的設備參數，將 Ofcom 提供的可用頻譜及傳輸功率限制等操作參數，傳送給 WSD。操作參數的有效期間將很短，WSD 必須週期性的向 WSDB 查詢，以確保資訊的及時性。當 WSD 由 WSDB 取得可用頻譜資訊後，亦必須將其決定使用的頻率範圍回傳給 WSDB，符合 Ofcom 管理可用頻譜及管理干擾的目的。Ofcom 認為管制的重點在於地點的精準度，在經過公眾諮詢之後，Ofcom 結論是預設資訊的準確度必須限制在 100 公尺內，但若設備的準確度不足，則必須註明於資料庫中。

Ofcom 認為地理資料庫的方式亦可作為有效率的頻譜管理工具。例如所有的感知設備在無可用頻道時，可即刻停止運作；WSD 也可由 WSDB 要求關閉傳輸功能。個別頻道亦可依需求而在全國或特定區域關閉。當創新或更有價值的執照應用服務出現在閒置頻段，而有受到 WSD 干擾可能時，便可關閉免執照使用。

一個具有充分資訊與智慧化的資料庫，除了可以提供閒置頻譜的資訊予服務設備，也可進一步提供可用頻道以及可用傳輸功率的資訊。因為資料庫記載執照裝置與免執照裝置的相對距離，這些資訊可以輔助計算適當的發射功率與相鄰頻道的溢波限制。換言之，閒置頻譜裝置有機會可以用高於 Ofcom 所設定參數的功率運作。

➤ 動態調整基站（base stations）功率，避免有害干擾

地理定位資料庫對於固定式基站也有額外的功用。相較於僅單獨使用感測技術的基站，能接取地理資料庫的基站可能因充分的頻譜與地理資訊，而能以較高功率運作，對於基本上高度較高或具備天線的基站而言，較高的功率可使其服務的範圍加大，訊號也較為穩定。相對的，當該區域的閒置頻譜狀態改變時，基站也會被要求以較低的功率運作，以避免有害干擾。Ofcom 認為一個適當定義的地理定位資料庫可完全避免有害干擾。因此儘管需付出較高的行政成本，但能夠提供執照服務商比感測技術更高水準的保護。

（四）日本 TVWS 電視頻段共享機制

1、需執照使用

2011 年 9 月，White Space 頻段推動會議成立檢討小組，從運作面、

技術面與制度面著手研析，並於 2012 年提出「White Space 頻段利用系統共享策略」，確立 White Space 頻段使用優先權主要分為三種。使用優先權最高者為地面數位電視服務，其次則為特殊無線微波電話，最後則為區域廣播系統、感測網路、災害通訊網路等 White Space 頻段使用系統¹⁶。

此一優先權之設計，在於確保任何透過 White Space 頻段提供服務的通訊系統，不得對數位電視服務的提供造成干擾。同時，使用 White Space 頻段的通訊系統，提供服務時，必須考慮來自於數位電視服務的干擾，並且採取預防干擾的相關措施。

在日本 White Space 頻段的使用架構下，申請使用 White Space 頻段的機構（含公司、學術單位或行政機關）必須取得執照。為了確保 White Space 頻段通訊系統在相關服務區域得以使用特定頻道，主管機關總務省需要在確保不會干擾數位電視服務的前提下，提供各 White Space 頻段通訊系統可使用的通訊頻道。

總務省透過 White Space 頻段推動會議，更進一步建立 White Space 頻段工作小組，由該小組建構 White Space 頻段的運作機制與資料庫運作等細節，包括以下：

- 管理規範：申請使用之註冊程序、干擾發生時的回覆程序、災害發生時的對應策略以及資料庫參照方式。
- 資料庫建構：針對使用區域、時間與頻率的 White Space 頻段使用計畫。
- 其他必要調整事項。

¹⁶總務省，ホワイトスペース利用システムの共用方針, 2012, available at http://www.soumu.go.jp/main_content/000143369.pdf (最後瀏覽日期：2017 年 2 月 13 日)

對於避免干擾數位電視的規範上，工作小組主要參考 ITU 對數位電視保護之文件：「ITU-R REC.BT.1895 (Protection criteria for terrestrial broadcasting systems)」的保護基準（ $I/N < -10\text{dB}$ ）進行檢討。

2、資料庫建置

在 White Space 頻段資料庫的建置上，總務省與獨立行政法人研究機構「國家資訊技術研究院（National Institute of Information and Communications Technology, NICT）間簽訂研究發展契約，開發工作交由 NICT 負責。

NICT 所設計的資料庫系統能計算主要通訊系統（既有使用者）與次要通訊系統（White Space 頻段使用者）間的干擾狀況，再提出可使用的頻道清單供次要通訊系統運用。White Space 頻段基站會向資料庫提出申請，並配置於可用頻率。NICT 整合了 White Space 頻段資料庫與基站資訊，藉由自動選擇適當頻道，確保透過數位電視頻段（470-710MHz）提供無線通訊服務時，不會干擾到既有使用者（數位電視服務）¹⁷。

NICT 於 2012 年 6 月宣布完成 White Space 頻段資料庫之建置與開發，該資料庫操作介面設計如圖 2-2 所示。

¹⁷ NICT, Wireless communication in TV white space succeeded, available at: <https://www.nict.go.jp/en/press/2012/06/07en-1.html> (最後瀏覽日期：2017 年 2 月 10 日)

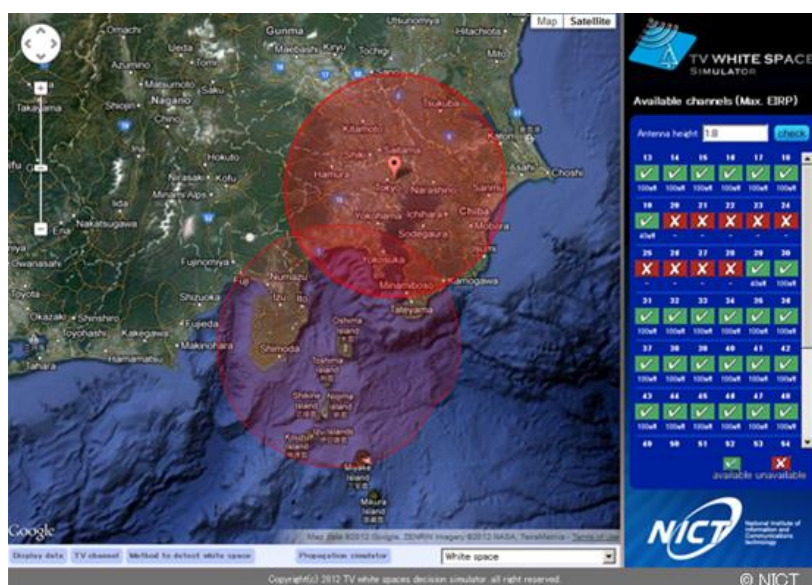


圖 2 -2：NICT White Space 頻段資料庫操作介面

資料來源：NICT

在運作概念上，White Space 頻段資料庫收到來自 White Space 頻段基站的要求後，會自動運算主要通訊系統與次要通訊系統間的干擾，並提供給每個 White Space 頻段基站該地域適合的頻道。White Space 頻段基站必須要在獲得 White Space 頻段資料庫的許可後，才可使用。

在運作架構上，White Space 頻段基站會先透過 ISM 頻段（2.4GHz）組織成網狀網路（mesh network）並連結 White Space 頻段資料庫，以取得可用頻道資訊。可用頻道資訊會提供給網狀網路管理者（Mesh Manager），讓管理者決定使用頻道並回報 White Space 頻段基站，而後即會開始接取 White Space 頻段可用頻道。整體運作架構如圖 2 -3 所示。

2013 年 5 月，White Space 頻段推進會議發布 White Space 頻段制度整備進展相關文件，其中提到將會更進一步發展透過 White Space 頻段資料庫提供服務的實際應用。透過 White Space 頻段資料庫，得以使多個系統間彼此更有效且更協調的運作。為達成此一目標，需要持續調整既有

White Space 頻段系統的運作，同時，亦需要將執照相關資訊與運作細節輸入至資料庫之中。

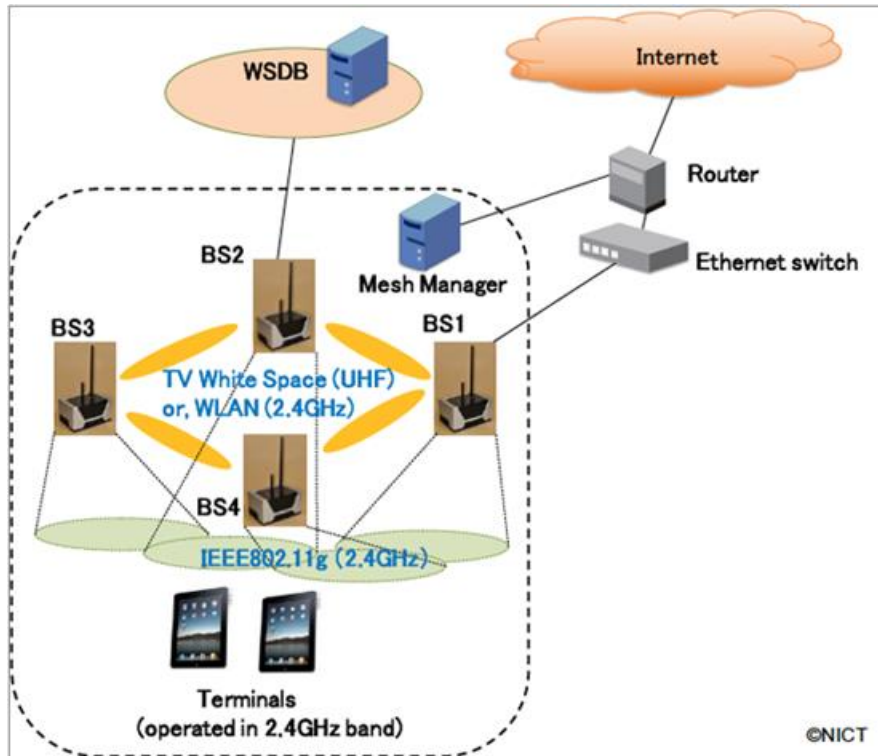


圖 2 -3：NICT White Space 頻段資料庫與基地臺運作架構示意

資料來源：NICT

第二節 歐盟許可共享接取（LSA）

隨著無線寬頻應用的蓬勃發展與日趨多元，歐美先進國家均積極透過市場機制提昇頻譜使用效率，主管機關希冀經由頻譜管理政策的調整，達到鼓勵技術與服務的創新與提昇，促進頻譜資源的有效分配與利用，提供廣泛的無線網路涵蓋遍及各地等目標。

爰此，歐盟無線電頻譜政策小組（Radio Spectrum Policy Group，RSPG）於 2008 年、2011 年陸續展開「頻譜集體共用（Collective Use of Spectrum，CUS）」及「許可共享接取（Licensed Shared Access，LSA）」等兩種頻譜共享模式之探究，其定義分別為：

- 頻譜集體共用（CUS）：於同一時間及同一地理區域中，允許不限數量之獨立使用者或裝置在明確定義之條件下利用同一頻段。
- 許可共享接取（LSA）：允許在存有一個或多個既有使用者的頻段中，採個別許可（individual licensing）方式再行分配頻譜資源給數量有限的持照者（licensees），以利持照者導入無線電通信系統的運作。在此種方式下，新的（共享）使用者可根據規範其頻譜使用條件之共享規則，獲授權使用頻譜（或部分頻譜）；包括既有使用者在內的所有獲授權使用者，均提供一定的服務品質（QoS）。

大多數 CUS 建置技術之共通點為降低各式無線應用服務的頻譜接取障礙，並透過促進創新與競爭，使一般消費者獲得極大利益。然而，降低進入障礙同時意味著干擾之管制更加困難，更多樣化的應用服務也使得服務品質有較難確保之疑慮。

相較之下，LSA 模式能提供一種有利於各方的互補方式－其允許既有使用者

與行動業者之間以分地、分頻或分時等方式共享使用頻譜資源，在頻譜主管機關與頻譜使用雙方商討出的共享協議下，以類似獨占式（exclusive）使用權的方式滿足雙方利益，故被歐盟視為一個潛在獲得頻譜資源的補充作法。

表 2 -1 為前述兩種頻譜共享模式與專用頻譜模式之特點比較。

表 2 -1：頻譜使用方式比較

頻譜集體共用 (CUS)	許可共享接取 (LSA)	專用頻譜
- 免執照、使用者數量與選用技術不設限 - 機會接取、缺乏使用品質保證 - 鼓勵創新應用	- 區分為既有使用者與共享使用者 - 執照數量有限 - 可預期的服務品質，為增加頻譜供給的補充作法	- 獨占式使用權 - 重整釋出時間及成本耗費大 - 執照效期長，有利於刺激業者投資

資料來源：本研究整理

2012 年 9 月歐盟執委會發布「促進無線電頻譜資源共享（Promoting the shared use of radio spectrum resources in the EU）」政策通訊文件¹⁸，說明頻譜共享技術的重要性、創新發展的誘因及明確的法律規範需求；歐洲郵電主管部門大會（Conference of European Postal and Telecommunications administration，CEPT）、歐洲電信標準組

¹⁸ EU, Promoting the shared use of radio spectrum resources in the EU, 2012, available at <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/promoting-shared-use-europes-radio-spectrum>

織（the European Telecommunications Standards Institute，ETSI）及電子通訊委員會（Electronic Communications Committee，ECC）等權責單位，則依照歐盟執委會在 2012 年¹⁹及 2014 年²⁰所頒布的指令（mandate），進行相關政策法規及技術標準的研究制定。

理論上，LSA 模式將有助於實現多贏與價值共存；其包括：大幅降低行動基礎建設成本，並且在商業模式、網路及競爭等方面促進創新。既有使用者利用空間的頻譜資源實現社會與經濟價值，且不影響頻譜權利歸屬。行動業者以較低代價獲得使用權，並提升提供給用戶的服務品質。LSA 頻譜共享機制不僅是保障頻譜有效供給的中、短期補充方案，亦能作為促進頻譜創新使用的長期解決方案²¹。

然而，共享頻譜長期潛在經濟效益是否超過投資專用頻譜相對得到的效益，將是行動業者評估投入與否的重要考量因素。行動通信產業組織 GSMA（Global System for Mobile Communications Association）在 2014 年發布報告²²，即指出 LSA 模式雖可作為增加頻譜可用性的補充方案，但尚難以取代提供行動寬頻服務的專用頻譜需求。GSMA 同時提醒，LSA 模式可能面臨執行上的嚴格限制及取得頻譜成本與補償利益等問題；例如：既有使用者和共享使用者之間的協議期限長短、基礎設施建設的責任分擔、頻譜共用範圍是否具經濟規模等。

¹⁹ EC, Standardisation mandate to CEN, CENELEC and ETSI for Reconfigurable Radio System, 2012, available at <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates//index.cfm?fuseaction=search.detail&id=574>

²⁰ EC, Mandate to CEPT to develop harmonised technical conditions for the 2300-2400 MHz ('2.3 GHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband electronic communications services, 2014, available at <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/radio-spectrum-cept-mandates-0>

²¹ Digital Europe, Position Paper on LSA Common Understanding Status and Next Steps, 2013, available at http://www.digitaleurope.org/Document-Download/Command/Core_Download/EntryId/519

²² GSMA, The Impact of Licensed Shared Use of Spectrum, 2014, available at <https://www.gsma.com/gsmadeurope/gsma-europe-blog/the-impacts-of-licensed-shared-use-of-spectrum/>

一、 頻段

早於 2007 年世界無線電通訊會議（World Radiocommunication Conference 2007，WRC-07）即決議將 2.3 GHz 頻段新增為國際行動電信（International Mobile Telecommunications，IMT）使用。另根據全球行動供應商協會（the Global mobile Suppliers Association，GSA）近期統計數據顯示，截至 2017 年 4 月，在 3,074 款可運作 TDD 模式的終端設備中，支援 2.3 GHz 頻段（Band 20）者達 2,369 款²³，顯示已有不少終端設備廠商將 Band 20 列為重要標準，其設備生態體系（ecosystem）具有一定的成熟度。

2013 年顧問公司 Plum Consulting 曾作研究²⁴，歐盟協同一致規劃 2.3 GHz 頻段供行動寬頻服務應用，將可為歐洲地區創造每年高達 220 億歐元的經濟價值。GSMA 2014 年報告亦指出，及時地為行動寬頻服務釋出該頻段的專用或共享頻譜，將為歐盟各國創造更為廣泛的社會經濟價值。

圖 2-4 說明歐盟各國原在 2.3-2.4 GHz 頻率範圍中既有業務使用情形與行動通信業務用途之規劃。目前僅有愛爾蘭、瑞典、丹麥等國家已規劃將其全數轉用於行動通信業務專用頻譜；英國已初步協調軍方騰讓頻率範圍 2350-2390 MHz、總頻寬 40 MHz 轉為商用；其餘多數歐洲國家則由於分配給國防和航空遙測（Telemetry）等政府用途、無線視頻鏈路和無線麥克風等 PMSE（Program Making and Special Events）商業用途，故適合進行 LSA 模式之評估，以加速釋出該頻段供行動通信業務使用。

²³ GSA, Status of the LTE Ecosystem, 2017, available at <https://gsacom.com/paper/lte-user-devices-ecosystem-7847-devices-announced/>

²⁴ Plum, The economic benefits of LSA in 2.3 GHz in Europe, 2013, available at <http://plumconsulting.co.uk/economic-benefits-lsa-23-ghz-europe/>

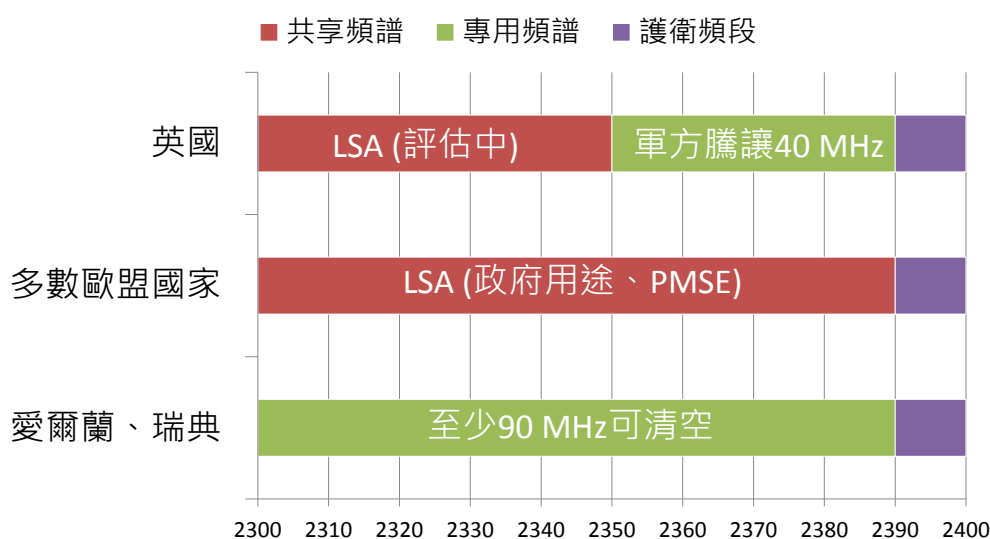


圖 2-4：歐盟各國 2.3 GHz 頻段業務分配與未來規劃

資料來源：本研究整理

二、運作機制

根據既有使用者的頻譜使用模式，將產生以下三類可能的共享機會：

- 靜態共享 (Static sharing)：既有使用者僅在特殊地域使用特定頻段，與時域無關。例如：為軍事、航空雷達劃分「禁止／保護區 (exclusion / protection zone)」；限定行動業者僅能在室內環境接取使用。
- 半靜態共享 (Semi-static sharing)：既有使用者在可預先定義的時域及（或）地域條件下使用特定頻段。例如：運動賽事、棚內節目製播等場所之無線麥克風接取使用。
- 動態共享 (Dynamic sharing)：來自既有者的保護請求是無法預測的，既有使用者可動態決定在特定時域及（或）地域條件下使用特定頻段。例如：戶外新聞採訪現場之無線麥克風、無線視頻鏈路接取使用。

LSA 頻譜共享機制中另需要 LSA Repository 和 LSA Controller 兩個新元件。其中，LSA Repository 主要提供基於既有使用者頻譜使用情形的共享頻譜資訊，共享使用者利用 LSA Controller 自 LSA Repository 取得頻譜使用許可條件，再依其可用性調整行動接取網路的頻段配置。

監理機關可根據既有使用者的頻譜使用模式，協調既有使用者與共享使用者訂出合適的共享框架及釋照相關規則。共享使用者需遵循執照規則，自監理機關取得 LSA 頻譜執照後，在確保既有使用者不受有害干擾的使用條件下共享頻譜資源。

圖 2-5 說明在 LSA 頻譜共享機制下之利益相關者 (stakeholders)、主要元件，以及推動實施的程序步驟。在該機制中，主要利益相關者包括：既有使用者、頻譜監理機關和共享使用者（通常為行動業者）。

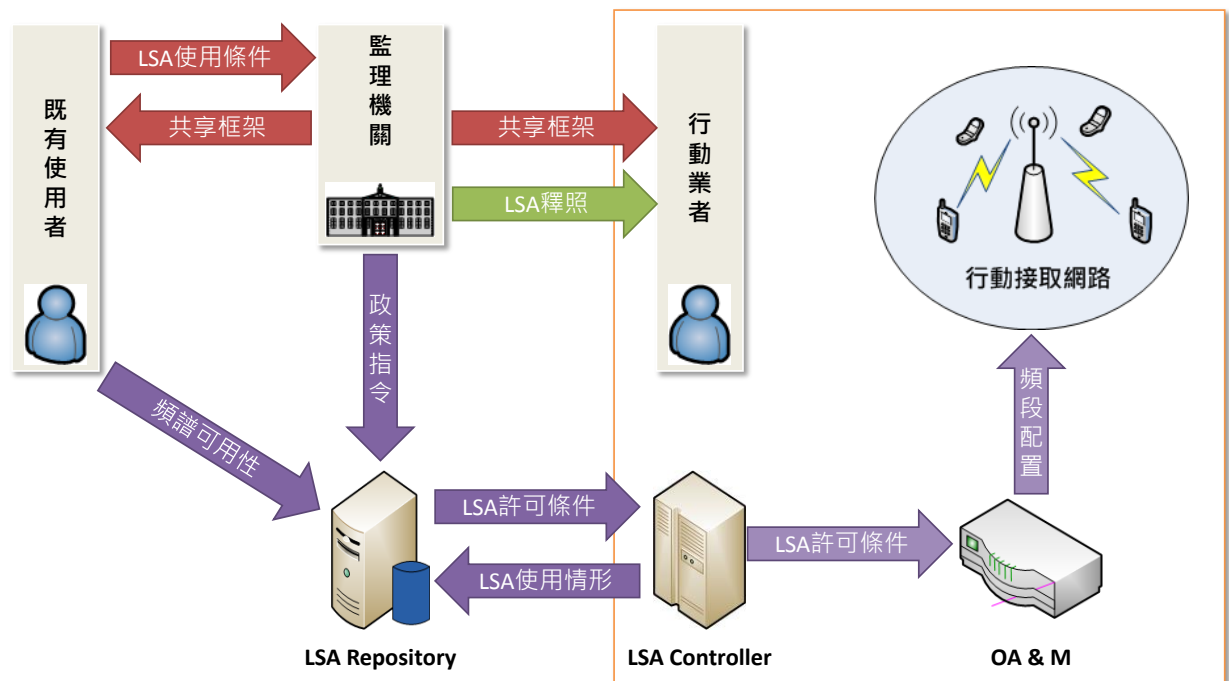


圖 2-5：LSA 頻譜共享機制之運作

資料來源：IEEE 研討會論文，本研究整理

三、 監理架構及相關技術規範

為了在行動通信系統中將 LSA 模式發展為可實踐的整體架構，ECC 頻率管理工作小組（Working Group Frequency Management，WG FM）於 2012 年 10 月設立 FM 52、FM 53 兩項專案。

- FM 52 負責進行以 LSA 模式應用於 2.3 GHz 頻段之 MFCN（mobile/fixed communications networks）適用性研究；著重在協同實施措施及邊境協調工作相關議題，並提出相關監理規定建議文件草案²⁵。主要產出包括：
 - ECC Decision(14)02 - Harmonised technical and regulatory conditions for the use of the band 2300-2400 MHz for Mobile / Fixed Communications Networks (MFCN), 2014/06.
 - ECC Recommendation(14)04 - Cross-border coordination for MFCN and between MFCN and other systems in the frequency band 2300-2400 MHz, 2014/05.
- FM 53 負責進行以 LSA 模式應用於包括 LTE 行動通信系統之 MFCN 監理架構發展；在符合歐盟架構協定的前提下研析 LSA 持照者頻譜使用權的指配程序，並根據研究成果提出相關報告²⁶。主要產出為：
 - ECC Report 205 on LSA, 2014/02.

歐洲地區的無線電頻率相關技術標準及規範訂定，概由隸屬於 CEPT 的 ETSI 負責。ETSI 根據歐盟執委會相關指令的要求，由其轄下的「可重構無線電系統技術委員會（Technical Committee on Reconfigurable Radio Systems，TC RRS）」負責

²⁵ ECC WG FM, FM 52 on 2300-2400 MHz band, available at <https://www.cept.org/ecc/groups/ecc/closed-groups/fm-52/client/introduction/>

²⁶ ECC WG FM, FM 53 - RRS and LSA, available at <https://www.cept.org/ecc/groups/ecc/closed-groups/fm-53/client/introduction/>

LSA 頻譜共享機制的標準化研究與規範制定。目前，TC RRS 已完成四份 2.3 GHz 頻段 LSA 共享機制之技術規範參考文件，如下表所示。

表 2 -2：歐盟 2.3GHz 頻段 LSA 共享機制技術規範

文件編號	發布日期
TR 103 113 使用案例定義	2013/07
TS 103 154 系統需求	2014/10
TS 103 235 系統架構規格	2015/10
TS 103 379 介面協定規格	2017/01

資料來源：ETSI，本研究整理

此外，CEPT 亦持續就頻譜監管變革等議題進行研析，以利相關系統早日進入市場實現商業化應用。

相較於美、星、英等國家之 TVWS 應用商轉實例及美國 3.5 GHz 頻段 CBRS 服務之法規架構完備，歐盟主要國家對於 2.3 GHz 頻段 LSA 共享機制監理架構仍處於場域實證或法規諮詢階段，故本研究目前僅先整理芬蘭、法國、義大利及英國在技術、應用和法規等方面的推動現況。

（一）芬蘭

隸屬芬蘭就業與經濟部(Ministry of Employment and the Economy)之 Tekes (Finnish Funding Agency for Technology and Innovation ，國家技術創新局)，為芬蘭最重要之補助創新研究、發展與應用之公立專業機構。

在 LSA 模式相關技術的發展上，芬蘭係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，並獲得 Tekes 資助其相關經費。WISE2 計畫著眼於提供服務試驗和解

決方案示範之開放式場域（test bed）環境，使用 2360-2400 MHz 頻率範圍，發展 PMSE 使用者為主的動態共享保護機制，研發成果包括可用於感知無線電技術的頻譜地理位置資料庫（geolocation database）、既有使用者雲端管理工具 Incumbent manager。

CORE+ 計畫由芬蘭國家技術研究中心（Technical Research Centre of Finland，即 VTT）帶領，其 10 餘個成員來自於研究機構、通訊產業廠商，以及主管國防、通訊產業的兩個政府機關。該計畫於 2013 年 4 月成功進行全球首次在商用 4G LTE 網路下的 LSA 運作展示，同時評估既有使用者要求 LSA 頻段所需的釋放時間（evacuation times）及用戶終端的服務品質，完整測試結果可參閱 CEPT 文件 CEPT Report 19 (2008/10/30)，。該實測環境如圖 2-6 所示，當中所包含的主要元件如下：

- LSA Controller（由 VTT 研發提供）；
- LSA Repository（由 FairSpectrum 與 WISE2 計畫研發提供）；
- 依據 3GPP R8 (Release 8) 標準的商用 4G LTE 核心網路及網路管理系統，以及 4 座支援 2.3 GHz 頻段、用於 LSA 運作模式的 LTE 基地臺，包括：合計 5 個扇區（sectors）的大型基地臺 3 座，以及搭配全向性天線（Omni-antenna）的小型基地臺 1 座；另有支援 2.1 GHz 頻段的基地臺 2 座，作為該 4G 網路的主要部份；
- 支援 TDD/FDD 移動換手（handover）機制的商用 4G LTE 手機；以及
- 顯示 LSA 運作模式的網路視覺化圖形介面工具。

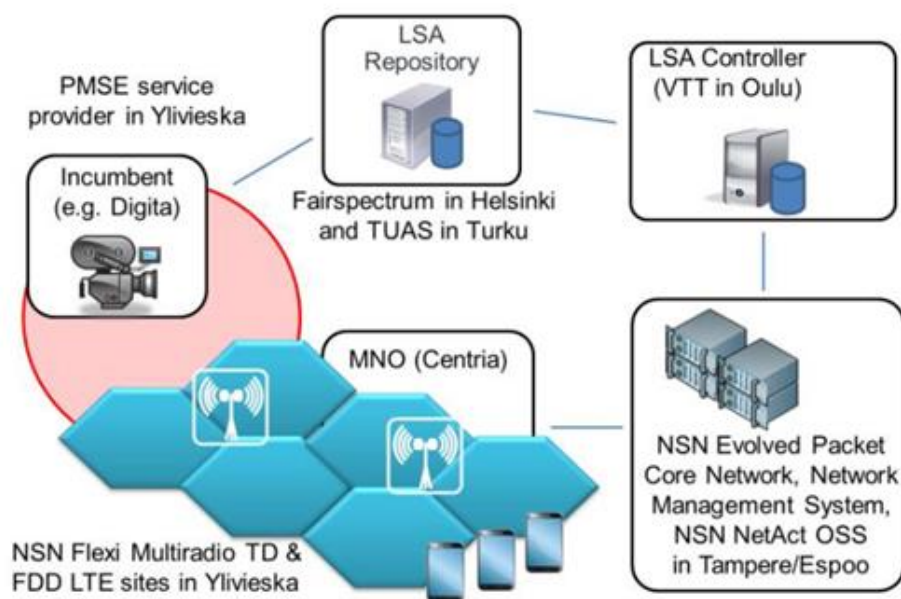


圖 2-6：芬蘭 LSA 場測實驗架構示意

資料來源：VTT

（二）義大利

義大利政府 2015 年 7 月宣布啟動一項頻譜共享先導計畫 (pilot project)，該計畫係根據歐盟執委會所屬聯合研究中心 (Joint Research Center, JRC) 之提議，由義大利經濟發展部 (Ministry of Economic Development) 主導，在技術合作與發展方面，則邀請包括 Qualcomm、Nokia、Fairspectrum、RED Technologies 等歐洲各國通訊產業廠商參與，並委託研究機構 Foundation Ugo Bordoni 負責統籌²⁷。

²⁷ Italian Ministry of Economic Development, Licensed Shared Access (LSA) Pilot, available at

鑑於透過行動裝置的上網行多半發生在室內，提昇建築物內部訊號涵蓋與上網品質可說是當前行動網路建置所面臨的最大挑戰。先導計畫爰設計在室內布建 LTE 小型基地臺（small cells）的應用場景下，使用 2.3-2.4 GHz 頻率範圍，於羅馬近郊的 EUR 區進行 LSA 頻譜共享管理模式與系統機制的相關測試。其實驗架構設計如圖 2-7 所示。

該項計畫為歐洲地區首次進行的大規模 LSA 實測，藉以深入研究 LSA 機制的技術條件（technical conditions）和操作可行性（operational feasibility），並特別以實地射頻量測，分析 LSA 頻段之同、鄰頻干擾情形，以協助定義頻譜共享使用的規則和條件。

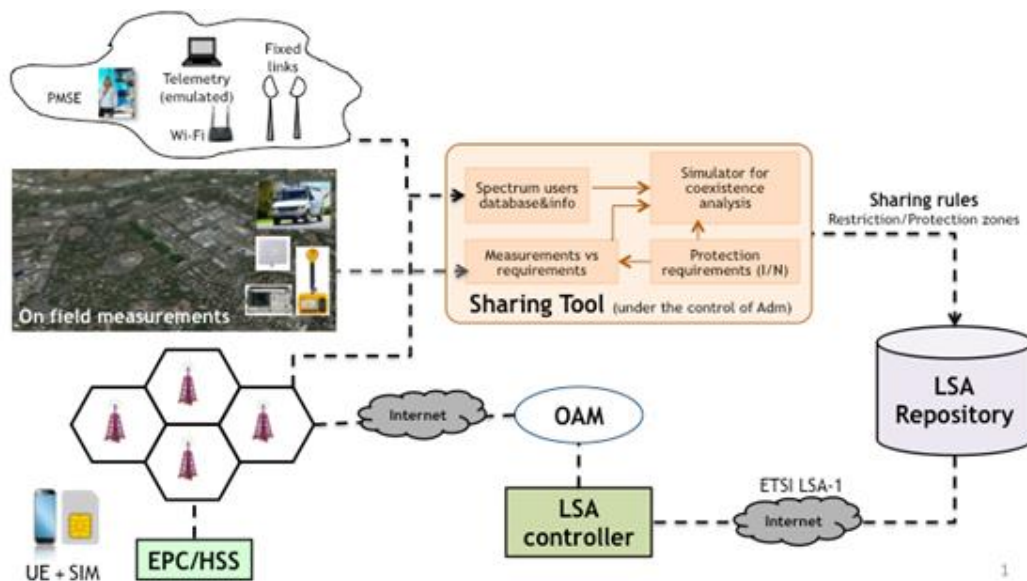


圖 2-7：義大利 LSA Pilot 實驗架構示意

資料來源：Italian Ministry of Economic Development

(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。該工作小組由頻譜政策主管機關 ANFR (Agence nationale des frequences) 擔任協調角色，成員包括通訊產業主管機關 ARCEP (Autorité de régulation des télécommunications)、國防機關 (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。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，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，其實驗架構設計如圖 2-8 所示。

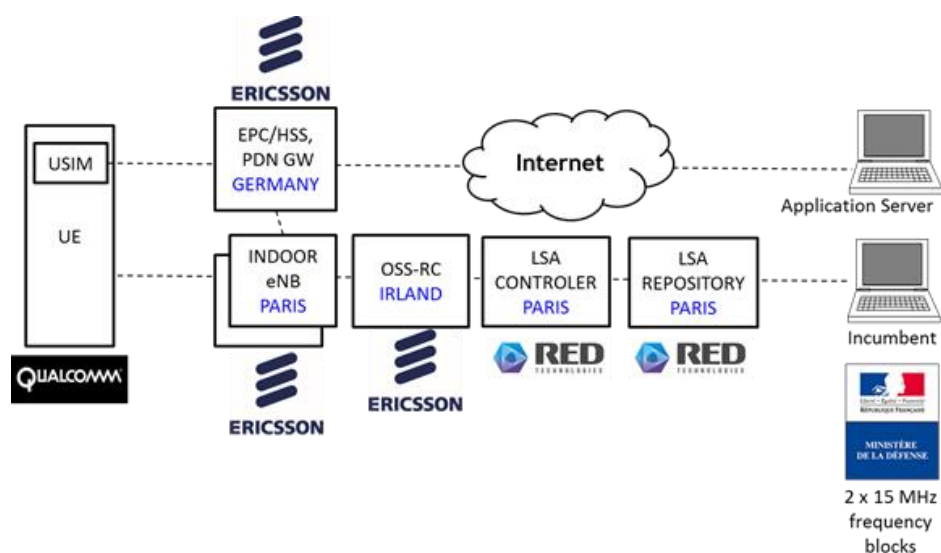


圖 2-8：法國 LSA 場測實驗架構示意

資料來源：ARCEP

（四） 英國

英國頻譜規劃主管機關文化傳媒與體育部（Department of Culture, Media and Sport, DCMS）於 2011 年 9 月發布「公部門頻譜釋出計畫（Public Sector Spectrum Release Programme, PSSRP）」²⁸及 2014 年 3 月「英國頻譜策略（The UK Spectrum Strategy）」政策指引文件²⁹，相關行動方案包括：

- 責成英國通訊傳播管理局（Office of Communications, Ofcom）在 5 GHz 以下的頻率範圍中，由公部門使用的頻譜資源當中釋出 500 MHz 頻寬，並儘快將 2.3 GHz 頻段中 40 MHz 頻寬及 3.4 GHz 頻段中 150 MHz 頻寬的頻譜資源，協調國防機關騰讓清理後轉為商用。
- 發展單一性的公部門頻譜使用情形資料庫。
- 發展一致性的頻譜價值評估方法。

Ofcom 在 2013 年 8 月首次就頻譜共享議題進行公眾意見諮詢³⁰，提出採取分地頻譜共享（Geographical Spectrum Sharing）執照授權、動態頻譜接取（Dynamic Spectrum Access, DSA）及免執照使用等增加頻譜供給的管理措施，並探討增加更多可用頻譜的方法、支援頻譜共享的創新應用，及任何與頻譜共享方式有關的優缺點，例如共享相同頻譜的不同使用者是否會增加干擾管理上的困難等，其聚焦議題如表 2-3 所示。Ofcom 已於 2014 年 4 月發布該次諮詢的聲明文件。

²⁸ UK DCMS, Enabling UK Growth: Releasing Public Sector Spectrum, 2011, available at <https://www.gov.uk/government/publications/enabling-uk-growth-releasing-public-sector-spectrum-march-2011>

²⁹ UK DCMS, The UK Spectrum Strategy, 2014, available at <https://www.gov.uk/government/publications/spectrum-strategy>

³⁰ Ofcom, The future role of spectrum sharing for mobile and wireless data services, 2013, available at <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/spectrum-sharing>

表 2-3：英國頻譜共享諮詢議題

	聚焦議題	說明
1	是否需要開放更多的頻譜供 Wi-Fi 服務使用？	於 5 GHz 頻段開放額外頻率範圍，可提供更高速度的無線網路連接；可廣泛應用於 Wi-Fi 分流行動數據、室外服務熱點、M2M 應用，以及提供室內無線接取。
2	越來越多應用於室外（outdoor applications）的 Wi-Fi 服務，未來是否可能產生更為嚴重的干擾？	來自不同營運商的室外 Wi-Fi 服務，增加大量的熱點布建可能導致干擾的增加和服務品質的降低。對於 Wi-Fi 在公共網路的可行性和潛在的室外 M2M 應用將有不好的影響。
3	分地頻譜共享用的方式是否能夠滿足無線數據服務的頻譜需求？	分地（地理）頻譜共享特別適合在高頻譜需求的都市地區，提供予小型細胞及 M2M 的應用。在低於 6 GHz 的頻段，有超過數百 MHz 的可用頻譜。
4	未來是否需要為室外應用服務提供新的共用頻譜，例如動態頻譜接入的應用？	頻譜共用使得管理不同頻譜使用者之間的干擾，比在專用頻段的使用者更加的困難。動態頻譜接入（DSA）技術可以提供使用者的終端設備，於操作共用頻譜時做出更明智的決策。例如特定的位置、頻率，功率等級等，以減少干擾產生。
5	英國是否需要更積極主動的提供頻譜予研究和開發新興無線技術及服務？	分地頻譜共享和 DSA 提供可用頻譜予行動寬頻服務和 M2M 應用，但這些技術尚處於萌芽階段。Ofcom 已考慮到政府應能有效取得實驗用途頻譜，以支援未來的頻譜需求增長和技術創新的研究和開發。

資料來源：Ofcom，本研究整理

Ofcom 於 2015 年 7 月 31 日進行「頻譜共享架構」諮詢³¹，針對未來推動頻譜共享之策略與選擇提出評估架構；該架構概分為三大部分，首先是頻譜共享可能遭遇的障礙，包含市場因素、技術因素與法規因素；其次是可促進頻譜共享的工具或機制，包括提供更為充分透明的各類頻譜資訊、市場誘因與技術

³¹ Ofcom, A framework for spectrum sharing, 2015, available at <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/spectrum-sharing-framework>

標準等；最後則是透過分析不同頻段特性，辨識出頻譜共享的各種可能機會，例如透過時間、地理區域、品質控制、使用目的等。

其後，Ofcom 於 2016 年 4 月 14 日發布聲明（statement），確立了未來頻譜共享之評估架構。Ofcom 說明，頻譜共享架構有三個要素，一是頻段使用特性，包含既有使用者與潛在共享者，以識別共享機會及相關共享工具；二是可能限制共享程度的阻礙；三是可促進頻譜共享的監管工具，以及市場面或技術面的解決方案。Ofcom 在聲明中回應了利益相關者（stakeholders）所關切的議題，例如國際協調、共享成本及頻譜使用費；Ofcom 也補充一些新的看法，如層級區分的共享模式、頻譜感測技術、共享形式與既有執照的關連性等。

在頻段使用特性方面，Ofcom 前於諮詢文件當中，將頻譜使用特性如涵蓋率、技術標準等考量因素整理成清單，並在聲明補充若干特性因素，如使用密度、規模與國際協調狀況等。在頻譜共享可能遭遇的阻礙方面，Ofcom 強調將持續解決已提出之四種類型障礙，包含資訊可用性、市場障礙、技術挑戰及許可限制。最後在促進頻譜共享的機制方面，Ofcom 將就技術面持續強化各種可能的新解決方案，例如頻譜感測、地理資料庫的增強，以及在規範面考慮層級式的許可與管理機制，交叉運用使用者之間的優先權、執照與免執照方式，以平衡既有使用與共享使用的利益。

此外，由資通訊產業廠商組成的英國頻譜政策論壇（UK Spectrum Policy Forum），亦積極配合政府推動頻譜管理相關研究，扮演產業與政府溝通橋樑的角色，協助主管機關在作成決策前充分地考量到產業實際需求，並能適時地對於政府相關政策提供建言。

第三節 美國公民無線寬頻服務（CBRS）

一、 頻段規劃

2015 年 4 月 17 日美國聯邦通訊委員會（Federal Communications Commission，FCC）通過建立新的公民無線寬頻服務（Citizens Broadband Radio Service，CBRS），開放對 3550-3700MHz 頻段之共享頻率使用。

在 FCC 建立 CBRS 架構之前，3550-3650MHz 頻段原先保留給國防部雷達系統以及商用固定式衛星服務（Fixed satellite service, FSS）地面站使用，而 3650-3700MHz 則有少量的國防部雷達系統與 FSS 使用。

2015 年 FCC 通過 CBRS 報告與命令（3.5 GHz Report and Order）後，將 CBRS 管理規則修正於 FCC 管理規章第 96 部（47 CFR Part 96）。

根據管理規章第 96.11 條規範說明³²，CBRS 的使用頻段為 3550-3700MHz，其中又細分為以下三種：

- 一般許可接取（General Authorized Access）使用者可在 3550-3700MHz 頻段中運作；
- 優先接取（Priority Access）使用者可在 3550-3650MHz 頻段中運作；
- 傳統式無線寬頻執照持有人（Grandfathered Wireless Broadband Licensees）可繼續使用其原先取得管理規章第 90.1338 條授權使用的 3650-3700MHz 頻段。

2016 年 4 月 28 日，FCC 通過對於 CBRS 管理規則修正案（3.5 GHz Second

³² §96.11 Frequencies.

Report and Order)³³，針對原先於 2015 年通過的管理規則增刪相關規範內容，例如原先於 2015 年法令公告時，FCC 並不允許優先接取執照持有人租用、轉讓其優先接取執照，惟經過一年的執行期間，考量各界對相關議題之看法，遂修正允許優先接取執照持有人出租、轉讓其優先接取執照。2016 年的修正案也針對一般許可接取使用之公民無線寬頻服務設備 (Citizen Broadband Radio Service Device, CBSD) 與終端用戶設備發射功率等技術規範進行調整。

二、 運作機制

CBRS 的運作機制採三層式授權執照架構，此架構使聯邦使用者與非聯邦使用者得以在共享基礎下可容納各種商業用途。頻譜接取和運作將會透過動態頻譜接取系統管理，概念上類似於管理電視白頻段的資料庫。CBRS 的三層式使用者分別為：既有接取使用者 (Incumbent Access)、優先接取使用者 (Priority Access) 與一般許可接取使用者 (General Authorized Access)。

既有接取使用者包括取得執照許可的聯邦使用者以及固定式衛星服務使用者，目前此二使用者均使用 3.5 GHz 頻段。既有接取使用者應受保護，免受優先接取使用者與一般許可接取使用者的干擾。

FCC 採取兩階段方法保護既有聯邦使用者，第一階段會建立「禁制區(exclusion zones)」，以保護聯邦雷達系統。第二階段該雷達系統會由頻譜接取系統 (Spectrum access system, SAS) 保護，藉由環境感測能力 (Environment Sensing Capability, ESC) 所提供的資訊，偵測是否存在雷達傳輸的訊號，並回報相關資訊給 SAS。

優先接取使用者為取得優先接取執照 (Priority Access Licenses, PAL) 的業者。

³³ https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-16-55A1.pdf

該執照適用標的為 3550-3650MHz 頻段。優先接取使用者不得對既有聯邦使用者和既有非聯邦使用者產生有害干擾。

一般許可接取使用者為取得許可的使用者，其使用一個或多個 CBSD 運作一般許可接取服務。一般許可接取使用者不得對既有使用者與優先接取使用者產生有害干擾。

優先接取使用者與一般許可接取使用者所運作的固定式公民無線寬頻服務設備(CBSD)，例如接取點等，必須向頻譜接取系統（SAS）註冊。至於終端用戶之裝置則不屬於 CBSDs，同時也無需向 SAS 註冊。

頻譜接取系統(SAS)與 ESC 環境感測能力在 CBRS 中扮演不可或缺的角色。根據 FCC 對 3.5 GHz 頻段命令（3.5 GHz Order）文件指出，欲成為 SAS 管理者需達成以下規範並具備以下功能：

- SAS 提供先進、高度自動化的頻譜協調者角色，保護較高層級的使用者免受較低層級使用者的干擾，並優化頻譜使用效率以促進頻段中所有使用者共存。
- FCC 對於 SAS 管理者採取較高等級的規範，以管理 SAS 的許可與運作。
- SAS 管理者的主要功能，為遵循相關連接埠與程序，以確保實現 SAS 的核心功能，包含維護 SAS 與公眾寬頻無線接取設備（CBSD）間安全可信賴的通訊，以及保護既有使用者免受干擾。既有使用者包含聯邦雷達系統以及非聯邦使用者，如固定式衛星通信服務地面站等。
- 此外，SAS 管理者必須符合特定資訊蒐集以及資訊保存的規範，以便安全的維護正確註冊資訊、調查干擾來源、有效避免干擾、並立即回應來自 FCC 的要求，包括由 SAS 所儲存或維護的資訊內容。
- SAS 管理者被允許向優先接取執照持有人（PAL）與一般許可接取使用者

(GAA) 收取合理費用，FCC 必要時可要求檢視費用，當費用不合理時可要求改正。

- SAS 溝通、協調三層使用者被指派使用的頻譜資源，同時尚需建立註冊流程、使用者註冊以及儲存相關資訊。

至於 ESC，則為由感測器構築而成的網路，用以偵測頻段中有無聯邦系統使用訊號的存在，並傳遞相關訊息給一家或多家 SAS，藉以促進對頻段中聯邦使用者的保護。FCC 對 ESC 原則上採技術中立方法，無論採取以設施為基礎、裝置為基礎或混合型感測系統，只要能達到 FCC 規章的要求即可。感測器應布建於排除區 (exclusion zones) 附近，且不得儲存、保留、傳輸或揭露任何關於聯邦系統的位置或移動資訊。此外，ESC 應由非聯邦機構開發、管理與維護，且不受 NTIA 或國防部的監督。根據 FCC 對 3.5 GHz 頻段命令 (3.5 GHz Order) 文件指出，欲成為 ESC 營運商需達成以下規範，並具備以下功能：

- 準確偵測 3550-3700MHz 頻段與相鄰頻段中，有無存在聯邦系統運作；
- 若有聯邦系統的訊號存在，則 ESC 與經核准的一個或多個 SAS 通訊；
- 確保偵測和傳輸訊號資訊的安全性；
- 即時回應經授權的 FCC 人員向 ESC 收集或傳輸資訊的要求；
- 確保 ESC 運作時不會和任何軍方或其他敏感性聯邦資料庫或系統連線；
- 確保 ESC 不會儲存、保留、傳輸或揭露關於任何聯邦系統的位置或移動等運作資訊，若相關資訊並非屬於 FCC 規章中對有效運作 ESC 的規範，而有可能揭露其他聯邦系統的運作資訊時，相關資訊也不得被儲存、保留、傳輸或揭露。

SAS 收到 ESC 的資訊後，必要時可要求商業用戶撤回其目前占用的頻譜資源。

SAS 需具備和其他 SAS 與其附屬 ESC 相互溝通的能力，而 ESC 必須具備能和其

關連 SAS 溝通的能力。FCC 允許私企業同時設計與運作 SAS 和 ESC，只要經過 FCC 的批准並受 FCC 監督即可。

FCC 於 2015 年 4 月通過 3.5 GHz 公眾寬頻無線接取 (CBRS) 第一次命令 (3.5 GHz First Order) 時，責成其下轄之無線電信局 (Wireless Telecommunications Bureau, WTB) 與工程技術辦公室 (Office of Engineering and Technology, OET) 應與國防部和國家電信資訊管理局 (National Telecommunications and Information Administration, NTIA) 共同協調，監督多家業者尋求批准以成為頻譜接取系統管理者 (SAS Administrators) 與環境感測能力營運商 (ESC Operators) 的過程。

2015 年 12 月 16 日，WTB 與 OET 發布申請公告文件³⁴，內容詳述申請流程與相關規則，包括申請者應如何證明其有能力妥善運作 SAS 管理者，讓有意經營 SAS 或 ESC 的業者可參考。此份申請書公告 (SAS/ESC Proposal Public Notice) 建立兩階段的審查程序，申請者於第一階段應提交書面建議文件，說明其 SAS 或 ESC 的規劃內容，經過 WTB 與 OET 審核有條件通過後，第二階段則進行實際系統測試以及最終驗證。

有意參與經營 SAS 管理者或 ESC 營運商的企業，提交建議文件時，應符合以下規範：

- 詳細說明 SAS 和/或 ESC 運作的功能與範疇；
- 有機會成為 SAS 管理者或 ESC 營運商的業者，必須證明有足夠的技術能力運作 SAS 和/或 ESC，包括負責運作與維護 SAS/ESC 關鍵人員的資格。
- 有機會成為 SAS 管理者或 ESC 營運商的業者，必須證明有足夠的財務能

³⁴ FCC, Wireless Telecommunications Bureau and Office of Engineering and Technology Establish procedure and deadline for filling Spectrum Access System (SAS) Administrator(s) and Environmental Sensing Capability (ESC) Operator (s) Applications, available at https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-15-1426A1.pdf

力可持續運作 SAS/ESC 至少五年。業者所提之建議書內容，應該說明商業結構組成型態，包括所有權資訊等。針對提案計畫中所述為了支撐維運所需的相關費用，建議書中應說明收費流程，以及向誰收費。

- 說明如何確保 SAS 與其相關 ESC 間數據的安全通訊，以及如何相關通訊如何快速且可靠的實現。
- 呈現 SAS 和/或 ESC 架構的技術圖表，以及詳細說明每個功能如何運作、以及如何與其他功能相互作用。
- 針對傳播模型的描述，以及 SAS 管理者或 ESC 營運商規劃使用於模型運作和促進頻段間協調的任何假設說明。
- 說明預計採用之軟硬體更新方法，以及快速識別和解決安全漏洞方法的描述。
- 有機會成為 SAS 管理者或 ESC 營運商之業者，承諾將遵守所有適用規則、執行機制和程序。

WTB 與 OET 於 2016 年 5 月時建立第一波申請案，並於 2016 年 12 月 21 日公告有條件通過七家業者提出的申請書³⁵。第一波申請通過成為 SAS 管理者的業者包括：Amdocs、Comsearch、CTIA、Federated Wireless, Google、Key Bridge 以及 Sony。當時另外有六家業者申請成為 ESC 營運商，包括 Comsearch、CTIA、Federated Wireless、Google、iPosi 以及 Key Bridge，惟當時 WTB 與 OET 尚未公告審查結果，僅表示會持續檢視各申請者的建議書

根據 WTB 與 OET 的公告文件³⁶指出，其有條件通過七家業者的申請，七家申

³⁵ FCC, Wireless Telecommunications Bureau and Office of Engineering and Technology conditionally approve seven spectrum access system administrators for the 3.5 GHz band, available at https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-16-1426A1.pdf

³⁶同前註。

請人應符合以下規範：

- 每一家有條件通過的 SAS 管理者，都應該遵守聯邦通訊委員會現在與未來的相關管理規則；
- 每一家有條件通過的 SAS 管理者，都應該遵守 WTB 與 OET 依據委員會規範賦予權責所發布的所有命令與說明。
- 所有有條件通過的 SAS 管理者都應該參加由聯邦委員會或 WTB、OET 所組織的工作坊或會議。相關會議主題可能包括：1、SAS 的佈建與運作；2、SAS 測試與驗證程序；3、與 SAS 持續佈建相關的其他主題。
- 如果一家有條件通過的 SAS 管理者的規劃建議書中，仰賴第三方業者或自身擁有的規格、標準提供 SAS 服務，則該使用規格或標準必須符合 FCC 的相關規章。WTB 與 OET 將檢視所有規格與標準以確保與 FCC 的規則一致。
- 每一家有條件通過的 SAS 管理者，必須證明其有能力保護既有接取層的使用者，例如既有聯邦使用者與既有固定衛星服務（FSS）執照持有者、傳統式無線寬頻執照持有者（Grandfathered Wireless Broadband Licensees ,GWBL），並符合由 FCC 建立的參數規範。
- 每一家有條件通過的 SAS 管理者必須遵守協調程序，以保護美國海軍和地面式雷達的使用，並且能夠接收和處理來自既有聯邦接取層級使用者的干擾報告。FCC 目前正與 NTIA、國防部合作，發展協調與干擾回報程序，有條件通過的 SAS 管理者必須遵守 FCC 規章中的相關規範。
- 每一家有條件通過的 SAS 管理者必須能夠接收來自非聯邦層級既有使用者的干擾報告，例如來自固定衛星服務（FSS）或傳統式無線寬頻服務執照持有者（GWBL）的報告。SAS 管理者應發展必要機制以解決、補救相關干擾報告，並在基於 FCC 的要求下提供干擾報告以及決議結果。
- 每一家有條件通過的 SAS 管理者必須發展其訊號傳播模型，或設定可被

FCC 接受的訊號傳播模型演算法，以保護以下四種使用者：1、既有聯邦接取層級使用者；2、固定衛星服務(FSS)；3、傳統式無線寬頻服務(GWBL)以及 4、優先接取執照持有人 (PAL)。SAS 可以使用一組傳播模型來保護四種使用者，或使用多組模型，但同一類型中的所有使用者適用同一組模型。相關模型必須和所有 SAS 一致。

- 每一家有條件通過的 SAS 管理者必須證明其有能力符合 FCC 規章中第 96.59 條有關頻譜指派功能的規範。WTB 與 OET 鼓勵產業發展共同的方法來實現此一規範。
- SAS 管理者必須符合 FCC 規章第 96.55 條之規範，提供一切必要資訊，確保公眾寬頻無線接取設備(CBSDs)與其他 SAS 管理者間能有效協調、運作。SAS 管理者之間或管理者內部的資訊共享協議的紀錄或摘要均應提交給 GN 第 15-319 號文件 (GN Docket No. 15-319)。
- SAS 管理者必須確保公眾寬頻無線接取設備 (CBSD) 的註冊資訊為公開可取得，但必須遮蔽、模糊執照持有者的身份，提供必要可公開揭露之資訊。公開揭露資訊包括 FCC 規章第 96.45 條之所有資訊，以確保符合 FCC 規章第 96.35(e)條有關促進協調的規範。為保護個別使用者和執照持有人的身份，有條件通過的 SAS 管理者可以模糊 CBSD 的註冊位置，偏移上限為水平面 50 公尺與垂直面 3 公尺。
- 根據 FCC 的規格要求，所有有條件通過的 SAS 管理者均應提供外部測試介面，讓 WTB、OET、NTIA 與國防部可使用並驗證該 SAS 是否符合相關規範。

FCC 於 2017 年 4 月建立 3.5 GHz SAS 管理者以及 ESC 營運商的第二波申請案，邀請各界於 2017 年 5 月 31 日前遞交相關申請文件³⁷。有意參與經營的第二波

³⁷ FCC, Wireless Telecommunications Bureau and Office of Engineering and Technology Establish

申請者，其申請流程、呈報需求與審查程序均與第一波申請者相似，申請成為 SAS 管理者的業者應詳細說明其未來如何遵守管理規章第 96 部第 F 節之規範要求與核心功能。申請成為 ESC 營運商的業者則應詳細說明其未來如何遵守管理規章第 96 部第 G 節之規範要求與核心功能。所有的申請者應證明其有意願也有能力達成 FCC 相關規範，具備最基本技術能量以符合技術資格。

若申請者已初步具備通過 FCC 審查的條件，WTB 與 OET 會再向申請者尋求更多相關資訊，並針對相關條件進行評估與測試。評估項目包括要求申請者進行公開測試或評估對既有使用者的保護能力等。WTB 與 OET 也可能要求申請者應參加研討會、工作坊或相關會議。

自 2016 年底 FCC 核准七家有意成為 SAS 管理者的申請案後，有合格申請人已經開始進行 3.5 GHz 頻段的硬體測試。Google 於 2017 年 2 月宣布與合作夥伴諾基亞（Nokia）與高通（Qualcomm）進行以 3.5 GHz 頻段作為專用 LTE 網路的佈建測試，三家公司合組的團隊於拉斯維加斯高速公路上展示在時速 180 英里的駕駛情況下，透過 3.5 GHz 共享頻譜提供 360 度視訊串流服務的測試。

另一家有條件通過的申請人 Federated wireless 公司則於 2017 年 2 月宣布與合作夥伴易利信（Ericsson）完成共享頻譜的測試³⁸，成功整合易利信的無線電系統架構與 Federated wireless 的頻譜接取系統，相關測試經驗將可作為對共享頻譜與 5G 頻譜實務運作的參考。

"Second Wave" Deadline for Proposals from Prospective Spectrum Access System (SAS) Administrator(s) and Environmental Sensing Capability (ESC) Operator(s) Opens a New Window, available at https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-17-339A1.pdf

³⁸ "Ericsson and Federated Wireless Complete Testing to Further Drive Shared Spectrum Market Momentum", available at <http://www.businesswire.com/news/home/20170224005123/en/Ericsson-Federated-Wireless-Complete-Testing-Drive-Shared>

三、 監理架構及相關技術規範

(一) 執照管理方式

CBRS 對消費者、企業以及政府部門帶來許多優點。首先，規範保障重要的軍事防衛用雷達系統免受干擾；其次，增加額外的頻譜資源於無線寬頻使用，進而改善消費者寬頻接取機會與效益。最後，藉由促進無線寬頻於產業之應用，例如高階製造業、能源以及醫療等，將可帶來更多創新機會並推動經濟成長。

FCC 最早於 2012 年底即建立 CBRS 管理規則制訂作業，其後於 2015 年 4 月通過 3.5 GHz 報告與命令後，正式將管理規則訂定於 FCC 管理規章第 96 部³⁹。綜觀管理規章第 96 部之章節架構，區分為七個子節，整理如表 2 -4。

³⁹ FCC, 47 CFR Part 96: Citizens Broadband Radio Service, available at <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=f98b1d7f3e3f6473db0adbb7d891f1a1&mc=true&node=pt47.5.96&rgn=div5>

表 2 -4：美國 CBRS 管理規則條文

章節	名稱	條文大綱
A 子節	一般通則	§96.1：範圍 §96.3：定義 §96.5：資格 §96.7：需求許可 §96.9：監理狀態 §96.11：頻率位置 §96.13：頻率指派
B 子節	既有使用者保護	§96.15：既有聯邦使用者之保護 §96.17：對既有固定式衛星通訊服務使用 3600-3700MHz 頻段與 3700-4200MHz 頻段之保護 §96.19：與相鄰國家加拿大與墨西哥之跨境運作 §96.21：對 3650-3700MHz 頻段既有使用者之保護
C 子節	優先接取	§96.23：許可內容 §96.25：優先接取執照 §96.27：申請方式 §96.29：競標程序 §96.31：優先接取執照整合 §96.32：優先接取指派的許可、控制權移轉和租借方式
D 子節	一般許可接取	§96.33：許可內容 §96.35：一般許可接取使用

E 子節	技術規範	§96.39：CBSD 一般規範 §96.41：一般性無線規範 §96.43：A 類 CBSD 額外規範 §96.45：B 類 CBSD 額外規範 §96.47：終端使用者設備額外規範 §96.49：設備許可 §96.51：無線電頻率安全
F 子節	頻譜接取系統	§96.53：頻譜接取系統目標與功能 §96.55：資訊蒐集與保留 §96.57：CBSD 註冊、認證與許可 §96.59：頻率指派 §96.61：安全性 §96.63：頻譜接取系統管理者 §96.65：頻譜接取系統管理費 §96.66：當優先接取頻譜管理者租借時， 與頻譜接取系統相關得責任。
G 子節	環境感測能力	§96.67：環境感測能力

管理規章第 96.3 條定義重要名詞摘錄如下表。

表 2 -5：美國 CBRS 管理規則之重要名詞定義⁴⁰

項目	內容
公眾寬頻接取服務設備 Citizens Broadband Radio Service Device (CBSD)	指固定式站臺或網路，用於優先接取或一般許可接取服務運作公眾寬頻接取服務。對於擁有多個節點或節點網路的 CBSD，每一節點都需要能夠和頻譜接取系統（SAS）相溝通，不管是否透過單一網路介面進行連線。終端用戶的裝置不被認為是 CBSD。
A 類 CBSD	較低功率的 CBSD，必須符合第 96.41 條與第 96.43 條之特定規範
B 類 CBSD	較高功率的 CBSD，必須符合第 96.41 條與第 96.45 條之特定規範
終端用戶設備 End User Device	由取得許可的 CBSD 所授權、控制的裝置。該裝置不得作為中繼服務鏈路或使用第 96.41 條所列頻率範圍為其他終端用戶設備或 CBSD 提供服務。
環境感測能力 Environmental Sensing Capability (ESC)	一系統可用來偵測、溝通既有用戶訊號之存在，相關訊息提供給 SAS，以促進共享頻譜接取符合第 96.15 條與第 96.67 條之規範。
禁制區 Exclusion Zones	所有 CBSD 均不得於該區域內運作。禁制區由 SAS 管理與維護，若經過核准和佈建商業性 ESC 和 SAS 後，可將禁制區轉換為保護區。
一般許可接取使用者 General Authorized Access (GAA) user	一取得許可的使用者有一個或多個 CBSD 運作一般許可接取服務。
傳統式無線寬頻執照持有人 Grandfathered Wireless Broadband Licensee	一執照持有人依據第 90.1338 條規範，取得許可運作 3650-3700MHz 之權利。
傳統式無線保護區 Grandfathered Wireless Protection Zone	傳統式無線寬頻執照持有人於該地理區域和頻率範圍可受到 CBRS 傳送訊號的保護。所使用之計算方法由 FCC 之無線電信局（Wireless Telecommunications

⁴⁰本表僅節錄部分重要定義。

	Bureau, WTB) 和工程技術辦公室 (Office of Engineering and Technology, OET) 所制定。
既有使用者 Incumbent User	一取得許可的聯邦機關，其運作業務為頻率分配表上的主要業務，或頻率使用為該頻段主要業務的固定式衛星服務業者或傳統式無線寬頻執照持有者。
優先接取執照 Priority Access License (PAL)	一張可從事優先接取的執照。
優先接取執照持有人 Priority Access Licensee	持有一張或多張 PAL 的業者，有權依據本規範，在 PAL 定義的時間、地點與頻率範圍內受到保護，免受一般許可使用者或其他優先接取執照持有人干擾。
頻譜接取系統 Spectrum Access System (SAS)	一系統用以授權、管理 CBRS 之頻譜使用。
頻譜接取系統管理者 SAS Administrator	一企業取得 FCC 的許可，得在符合本規範情況下運作 SAS。

管理規章第 96.13 條明訂執照頻率指派，內容包括以下：

- a) 每一張 PAL 指配一個頻道 (3550-3650MHz 頻段中的 10MHz 頻寬)。
 - 任何指定執照區域最多同時釋出七張 PAL；
 - 同一優先接取執照持有人於指定執照區域內使用多個頻道時，應符合管理規章第 96.25 條規範；
 - 任何指定給優先接取使用的頻率範圍，若優先接取執照持有人未使用時，可以由一般許可接取使用者使用。
- b) 3650-3700MHz 頻段應保留給傳統式無線寬頻執照持有人和一般許可接取使用者使用。
- c) 頻譜接取系統應指派特定頻率範圍給取得許可的 CBSD，頻率範圍可由 SAS 重新分配。

（二） 機制參與者權利義務

CBRS 的執照管理方式，依照不同使用層級區分為三層，第一層為既有聯邦使用者，第二層為優先接取執照持有人，第三層為一般許可接取使用者。除了三層次之使用者外，尚須透過頻譜接取系統與環境感測能力之協助，方可能實現 CBRS 頻譜共享。以下將更進一步詳述不同類別參與者之權利義務。

在管理規章第 96.1 條 b 項⁴¹中，定義 CBRS 會包含優先接取（Priority Access）與一般許可接取（General Authorized Access）之使用，優先接取執照持有人（Priority Access Licensees）和一般許可接取使用者均不能對既有使用者產生有害干擾(harmful interference)，而且必須接受來自既有使用者的干擾。一般許可接取使用者不可對優先接取執照持有人產生有害干擾，且必須接受來自優先接取執照持有人之干擾。

以下分述不同類別參與者之權利義務。

1、 既有使用者

管理規章第 96 部第 B 子節中，明定既有聯邦使用者、既有使用 3600-3700MHz 頻段與 3700-4200MHz 頻段之固定式衛星服務地面電臺以及使用 3650-3700MHz 頻段之既有使用者，擁有免受有害干擾的保護權利。

(1) 既有聯邦使用者

➤ 使用 3550-3650MHz 之 CBSD

管理規章第 96.15 條中，規範 CBSD 與終端用戶裝置不得對使用

⁴¹ §96.1 Scope.

3550-3700MHz 與低於 3550MHz 頻段之既有聯邦使用者產生有害干擾。
只有在從許可 ESC 獲得聯邦頻率使用資訊的前提下，SAS 才能許可 CBSD 使用該頻率。

FCC 規範 A 類 CBSD 的禁制區為海岸沿線地帶，同時聯邦無線通訊站臺區域也屬 A 類 CBSD 的禁制區域。當受保護的聯邦無線通訊站臺位置更新時，NTIA 會通知 FCC。禁制區會一直維持 CBSD 不得使用的狀態，直到一個或多個 ESC 被批准且被至少一個 SAS 使用的狀況下，才可能把禁制區轉換為保護區。

只有在聯邦系統之訊號資訊出現，並藉由核可之 ESC 提供給 SAS 時，才可能許可 B 類 CBSD 的使用。當 ESC 發出訊號表示其偵測到聯邦系統的 300 秒內，或者 SAS 已被通知既有聯邦使用者正使用該頻段時，SAS 必須中止 CBSD 的運作，或將其重新配置到另一空閒頻率。當聯邦政府通知發出終止 CBSD 運作的命令時，SAS 管理者必須盡快指示 CBSD 停止運作。

➤ 使用 3650-3700MHz 之 CBSD

CBSD 與終端用戶設備不得對使用 3500-3700MHz 頻段之既有聯邦使用者產生有害干擾，且必須接受聯邦使用者的干擾。

對於使用 3650-3700MHz 頻段 CBSD 之禁制區域，為聯邦無線電站臺周圍半徑 80 公里。禁制區會一直維持 CBSD 不得使用的狀態，直到一個或多個 ESC 被批准且被至少一個 SAS 使用的狀況下，才可能把禁制區轉換為保護區。

(2) 使用 3600-3700MHz、3700-4200MHz 頻段之既有固定式衛星服務

對於使用 3600-3700MHz 及 3700-4200MHz 頻段之既有固定式衛

星服務執照持有人有權受到保護，免受 CBSD 運作時產生的干擾。

既有固定式衛星服務執照持有人可以向 SAS 管理者要求額外的保護措施，以避免產生有害干擾。SAS 管理者必須建立相關處理程序以回應固定式衛星服務業者的需求。

(3) 使用 3650-3700MHz 既有使用者

對於使用 3650-3700MHz 頻段之傳統式無線寬頻服務執照持有人不得對既有聯邦使用者與既有固定式衛星服務業者產生有害干擾。對於傳統式無線寬頻服務執照持有人的保護，則限定於傳統式無線寬頻保護區之中。

2、 優先接取執照持有人

管理規章第 96 部 C 子節設定優先接取執照持有人的權利義務，包括：

➤ 連續性執照使用

- 管理規章第 96.25 條規範，基於頻譜使用效率，SAS 分派各地區頻譜資源時，應考量優先接取業者的地理連續性。例如 A 業者若於甲地區分配到頻率位置為 3550-3560MHz，則與甲地區相鄰的乙地區之 3550-3560MHz 也應該分配給 A 業者。
- 基於頻譜聚合之考量，當 SAS 分派給一個優先接取執照持有人多張執照時，應考量頻譜連續性，指派連續頻率給該業者。例如 A 業者若於甲地區分配到 2 張 PAL 執照，則頻率分派位置應為連續的 20MHz 頻寬。

➤ 執照使用規範

- 每一張 PAL 執照使用頻道均為 10MHz 頻寬，使用期限為三年，當使用期間屆滿後自動終止，且不可換照。不過，執照持有人於執照屆滿後可再申請使用該頻率。
- 有意成為 PAL 的業者也可以在提交申請時，一次申請連續兩個期程的執照年限，即可持續使用該頻率六年。

➤ 執照競價程序

- 根據管理規章第 96.29 條 a 項之規範，申請取得優先接取執照時，每一申請人必須都是獨立營運的業者，不得出現聯合申請行為，並以競價方式取得使用頻譜之權利。
- 若申請人於一特定區域欲取得多張優先接取執照時，必須對各執照分別出價，而非對優先接取執照的數量出價。
- 當有兩家以上的申請者申請參與競價程序時，FCC 會依據申請該執照區域內之申請者總數減少一張，一區域可釋出優先接取執照張數上限為七張。FCC 設計此種機制的理由，在於讓一般許可接取使用者（GAA）能夠更容易且有效率的使用共享頻譜資源，優先接取執照則提供給對干擾保護需求較明確的申請者。
- 如果一執照區域中只有一家申請者申請取得優先接取執照時，則 FCC 不會舉辦拍賣，也不會核配優先接取執照。不過，FCC 認為在鄉村區域讓業者能取得優先接取執照之作法，應可符合公共利益，因此當鄉村區域只有一家申請者申請優先接取執照時，FCC 會直接核發優先接取執照給該申請者。

➤ 執照聚合規範

- 根據管理規章第 96.31 條，一優先接取執照持有人可聚合的優先

接取張數上限為四張。

- 優先接取執照指派之許可、控制權移轉以及租用協議
 - 根據管理規章第 96.32 條，優先接取執照持有人可將其執照移轉，或依據租用協議將執照指派給其他業者。
 - 優先接取執照持有人不得分割、拆解其執照，或將執照部份指派與部份轉讓給其他業者，也不得以租用協議方式將執照部份內容轉給其他業者。

3、一般許可接取使用者

- 使用資格
 - 根據管理規章第 96.33 條，任何符合 FCC 對技術、財務、特性或公民資格等項目規範的企業，若不屬於 1934 年通訊法第 310 條對外資控股公司等特定型態之業者，即有資格成為優先接取使用者及一般許可接取使用者。
 - 一般許可接取使用的公民無線寬頻服務設備（CBSD）必須向頻譜接取系統（SAS）註冊，並符合相關說明。
- 執照使用
 - 當 SAS 確定原先指派給優先接取執照的頻率未使用時，SAS 可將該頻率指派給一般許可接取使用。
 - 一般許可接取使用的頻率將以共享方式提供。
 - 一般許可接取使用者無法保證免受其他一般許可接取使用者的干擾保護。
 - 一般許可接取使用者不得對優先接取執照持有人與既有使用者

造成有害干擾，且必須接受來自優先接取執照持有人與既有使用者的干擾。

- 一般許可接取使用者運作 B 類 CBSD 時，必須盡可能和 SAS 所提供的可用頻率協調使用，盡可能降低干擾的可能性，確保合格使用者有效使用。使用者在尋求基站的許可前，應與 SAS 協調，確認 CBSD 運作區域與技術參數，減少 CBSD 運作時產生干擾或受到干擾的可能性。

4、頻譜接取系統（SAS）管理者

管理規章第 96 部 F 子節設定頻譜接取系統管理者的權利義務。

根據管理規章第 96.53 條規範，頻譜接取系統應實現以下目標與功能：

- 實現頻譜接取管理者的政策與程序；
- 決定 CBSD 所在地可使用的頻率並指派頻率；
- 決定 CBSD 最大許可發射功率；
- 註冊與認證 CBSD 的身份與位置資訊；
- 提供禁制區與保護區相關資訊；
- 與 ESC 環境感測能力通訊，以獲得既有聯邦使用者的傳輸資訊，並指示 CBSD 移至其他頻率位置或終止傳輸；
- 確保 CBSD 於區域位置運作時符合最大功率規範，避免對既有聯邦使用者產生有害干擾，以保護既有聯邦使用者；
- 確保 CBSD 不會對非聯邦性質之既有使用者造成有害干擾；
- 保護優先接取執照持有人免受其他優先接取執照持有人和一般許可接取使用者的干擾，透過計算與實施 PAL 保護區來達成此一目標；

- 促進一般許可接取使用者運作 B 類 CBSD 的協調作業；
- 解決頻段衝突使用，維護穩定的無線電頻率環境；
- 確保 SAS 與 CBSD 之間安全、可信賴的資訊傳輸；
- 保護傳統式無線寬頻執照持有人的使用；
- 實施與公民無線寬頻服務有關的現有與未來國際協議；
- 接受來自既有使用者的干擾報告，並回應既有使用者提出額外保護的要求，及時處理干擾問題。

根據管理規章第 96.63 條規範，FCC 可於國內指定一家或多家頻譜接取系統管理者，FCC 可將 SAS 的功能依性質分拆給多家業者，例如分為資訊儲存、註冊和查詢服務等。不過，FCC 必須指定一家或多家企業為負責整體 SAS 協調的 SAS 管理者，並向公民無線寬頻服務業者提供服務。經由 FCC 指定的 SAS 管理者必須符合以下規範：

- 維護定期更新的資料庫；相關蒐集資訊包括註冊 CBSD 的使用資訊、受保護既有使用者的地理位置與配置資訊，以及既有聯邦使用者的禁制區與保護區。
- 建立從聯邦資料庫獲得與儲存必要資訊與適當資訊於資料庫中的流程，相關資訊應包含優先接取執照之指派資訊。SAS 管理者之資料庫每日應至少與聯邦資料庫同步一次，以掌握新獲得許可的設備與原執照設備有變動的狀態。
- 建立並依循相關程序，確保 SAS、ESC 與 CBSD 間溝通與互動訊息的精確性與安全，未授權機構不得接取或修改 SAS，無法取得從 SAS 發送至 CBSD 的資訊。
- 服務提供以五年為期程，FCC 可視需要延長該期程。
- 資料庫管理者應該及時回覆由 FCC 或使用方提出有關驗證、改

正或刪除的要求。

- 安全傳送 SAS 的資訊到接取方的系統。如果 SAS 管理者服務期滿不再提供服務時，也應將註冊 CBSD 資訊清單安全傳送到其他取得許可之業者。SAS 管理者對於移轉過程可能會酌收合理費用。
- SAS 管理者應與其他 SAS 協調，共同發展標準化作業流程，避免指派頻譜實發生衝突，將頻譜共享使用效益最大化，並確保所有已註冊 CBSD 的服務連續性。
- SAS 管理者應與其他 SAS 管理者協調，盡可能共享相關資訊，促進 CBSD 連線至其他 SAS 時免受干擾，藉由於相同地理區域中指派相似頻率給優先接取使用的方式，最大化一般許可接取頻率的可得性。
- SAS 管理者應發展相關措施，讓非聯邦、非專用的相關資訊能為公眾合理接取。
- 確保 SAS 能夠及時回覆來自取得授權的 FCC 人員所提對出對於 SAS 資訊儲存或保留之需求。
- 建立與遵守相關措施，以回應來自美國總統或其他指定聯邦政府機關的指示。
- 確保 SAS 不會與任何軍事或具敏感性之聯邦資料庫或系統相連線。SAS 不會儲存、保留、傳送或揭露任何聯邦體系的移動或位置相關運作資訊，或揭露與運作 SAS 無關的聯邦系統運作訊息。

管理規章第 96.65 條規範 SAS 管理者的收費機制。SAS 管理者可基於其所提供之服務內容，向公民無線寬頻服務使用者收取合理費用。FCC 可依據使用者的要求，審查相關費用是否合理，如果發現費用不合理，可要求 SAS 管理者修改費用。

管理規章第 96.66 條規範 SAS 管理者處理優先接取執照持有者租用的相關責任，其包括：

- SAS 管理者必須選擇接受或支持相關公告，包括驗證租用人是否有在驗證列表之中，並建立取得、儲存租用資訊的過程，與聯邦資料庫應每天至少同步一次。
- SAS 管理者應驗證租用人所持有的優先接取頻譜資源於一區域中不會超過 40MHz。
- SAS 管理者應驗證租用區域為優先接取執照持有人的服務區域之內，且在優先接取執照持有人的保護區域之外。
- SAS 管理者應向執照業者與租用業者確認是否已收到並驗證相關通知內容。
- 若處於租用期間與租用區域，SAS 管理者應將租用業者運作的 CBSD 視為與出租業者的 CBSD 為同一類別，並指派相同的頻率以減輕干擾。

5、ESC 環境感測能力

管理規章第 96 部 G 子節設定環境感測能力的權利義務，包括：

- 根據管理規章第 96.67 條規範，環境感測能力的主要目的，為透過訊號感測，促進既有聯邦使用者與公民無線寬頻服務之共存。環境感測能力由非政府部門運作，不會依賴政府機關傳輸關於既有無線系統的運作資訊。
- ESC 的運作必須經過 FCC 許可，並符合 FCC 設定的相關條件與規範，FCC 必要時可撤銷、修改或有條件通過 ESC。
- ESC 具備以下基本性質：

- 由非政府部門管理與維護；
- 使用經核准的方法，準確偵測聯邦系統使用 3550-3700MHz 頻段與相鄰頻段時出現的訊號，確保依據 ESC 所運作的所有 CBSD 不會對既有聯邦使用者產生有害干擾；
- ESC 應將來自既有聯邦使用者系統的訊號資訊傳送給一家或多家經由 FCC 核准的頻譜接取系統（SAS）；
- ESC 應維護偵測與傳輸訊號資訊的安全性；
- 遵守 FCC 對於 ESC 的建置、運作與核准之所有規範與指導原則；
- 確保 ESC 於任何時間均能即時回應來自取得授權的 FCC 人員所提向 ESC 資訊收集與通訊之要求；
- 確保 ESC 運作時不會和任何軍方或其他敏感性聯邦資料庫或系統連線，且不會儲存、保留、傳輸或揭露任何關於聯邦系統的移動或位置資訊，或顯示任何與運作 ESC 無關的聯邦系統運作資訊。
- ESC 相關設備應佈建在禁制區與保護區附近，已準確偵測既有聯邦使用者的訊號傳輸。

（三） 干擾防制機制

為有效管理 CBRS 不會對既有使用者造成有害干擾，FCC 於管理規章第 96 部 E 子節設定相關技術規範，分別針對 CBSD、一般通訊規範、A 類 CBSD、B 類 CBSD 與終端用戶裝置設定相關規範措施。

1、 公民無線寬頻服務設備（CBSD）

管理規章第 96.39 條設定 CBSD 的一般規範，分別整理如下：

➤ 地理位置與回報能力規範

- CBSD 必須有能力確定其地理座標，準確度達水平距離正負 50 公尺、垂直高度正負 3 公尺。當 CBSD 第一次啟用時就應該回報相關資訊給 SAS。
- 對於專業人員安裝的 CBSD，則其精確地理位置應與前項相符，且於安裝與註冊過程中即應回報 SAS 準確地理位置，若每次更換新的位置都應確認並回報地理座標給 SAS。
- 對於非專業安裝的 CBSD，若其位置變換與原位置距離之差異超過水平距離 50 公尺與高度正負 3 公尺時，必須檢查其位置資訊後，回報給 SAS，當其位置改變時，必須於 60 秒內向 SAS 回報最後位置。

➤ 運作規範

- 所有 CBSD 都必須具備在許可頻率位置上雙向操作的能力。

➤ 向 SAS 註冊之規範

- CBSD 向 SAS 註冊時，必須將地理位置、天線高度、裝置型態（依功率高低分為 A、B 類）、欲取得之許可型態（優先接取或一般許可接許）、FCC 識別碼、呼叫標誌、使用者聯絡資訊、空中介面技術、製造商特殊識別碼、感測能力以及其他規範所需之相關資訊。當前述資訊更改時，CBSD 應於 60 秒內將相關更新訊息回報給 SAS。CBSD 應保證其提供給 SAS 的資訊為真實、完整、正確及善意提供。
- CBSD 接受到 SAS 傳送之功率限制或頻率位置等更改指令時，

應停止傳送並於 60 秒內按照 SAS 的指示移動到其他頻率位置或調整功率。

- 訊號等級規範：CBSD 必須向 SAS 回報其自身與附屬終端用戶裝置的使用頻率與相鄰頻率的接收訊號強度、接收封包錯誤率或其他與干擾相關的共同標準量測值。
- 頻率回報規範：當直接連線 SAS 時，CBSD 從 SAS 接收一定範圍的可用頻率位置或頻道，必須即時向 SAS 回報還有哪些可利用的頻率或頻道。
- 安全規範：CBSD 應具備一定的安全措施，確保能夠與取得許可的 SAS 管理者通訊。CBSD 與 SAS 之間的通訊、不同 CBSD 間的通訊、CBSD 與終端使用者裝置的通訊，都必須確保安全性，能防止損害或未經許可攔截數據。
- 設備安全性：CBSD 與終端用戶裝置都必須符合設備安全性，避免未經許可的修改軟硬體元件。CBSD 和終端用戶裝置申請認證時，必須包含其欲採取技術與措施之操作說明，以符合設備安全性。
- 空中運作：CBSD 與終端用戶裝置禁止採空中運作。

2、一般通訊規範（General radio requirement）

管理規章第 96.41 條對 CBSD 與其關連終端用戶裝置的一般規範，規定如下：

- 數位調變技術：CBRS 系統必須使用數位調變技術。
- 功率限制：CBSD 與終端用戶裝置的功率限制如下表。

表 2 -6：CBSD 與終端用戶裝置之功率限制

裝置種類	等效全向輻射功率最大值 EIRP (effective isotropic radiated power) (單位：dBm/10MHz)	功率頻譜密度最大值 PSD (Power Spectral Density) (單位：dBm/MHz)
終端用戶裝置	23	n/a
A 類 CBSD	30	20
B 類 CBSD	47	37

資料來源：FCC，本研究整理

- 接收訊號強度限制：優先接取執照持有人與一般許可接取使用者必須管理其 CBSD 的傳輸功率，使其位於優先接取保護區中的所有位置之整合接收訊號強度，任何方向的訊號強度不得高於-80dBm(當參考頻寬為 10MHz，量測天線高度位於地面上 1.5 公尺之狀態)。
- 發射與干擾限制：
 - 一般保護等級:對於 SAS 指派頻率位置與頻道給 CBSD 時，依照其指派頻寬邊界，將發射與干擾限制功率設定如下：
 - ◆ SAS 指派頻道邊界介於 0 到 10MHz 時，其發射之傳導功率不得超過-13dBm/MHz；
 - ◆ SAS 指派頻道邊界超過 10MHz，邊界介於 3530 至 3570MHz 之間時，其發射之傳導功率不得超過-25dBm/MHz；
 - 額外保護等級：
 - ◆ 當 SAS 指派頻道邊界低於 3530MHz 且超過 3720MHz 時，其發射之傳導功率不得超過-40dBm/MHz；

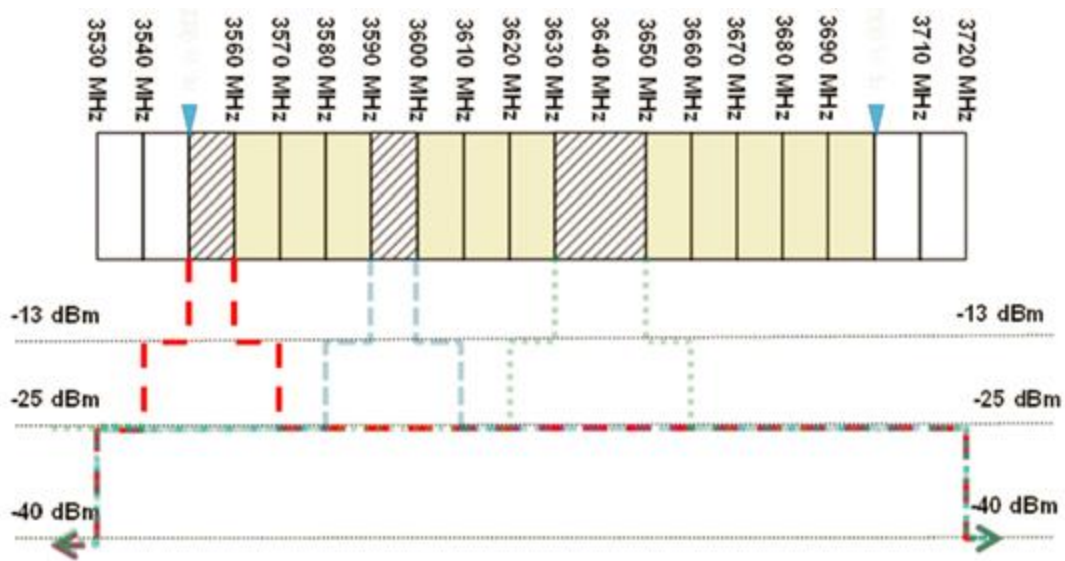


圖 2-9：美國 3.5 GHz 頻段發射功率限制

資料來源：FCC，本研究整理

- 接收限制：優先接取執照持有人必須接受相鄰頻道與帶內阻斷干擾(來自其他使用 3550-3700MHz 之合格優先接取執照持有人或一般許可接取使用者)，其功率頻譜密度標準不得超過-40dBm。
- 功率量測：任何 CBSD 傳送輸出功率的尖峰/平均功率比不超過 13dB。

除了前述技術規範外，CBRS 的干擾防制措施尚有禁制區以及即時回應的規範，在禁制區域內，所有 CBSD 均不可運作。至於即時回應規範，指當 ESC 偵測到聯邦系統之訊號出現時，SAS 應於 300 秒內中止 CBSD 的運作，或將 CBSD 使用頻率重新配置到另一空閒頻率。

(四) 既有使用者之保護機制

為確保既有使用者不因 CBRS 使用而遭受有害干擾，故 FCC 於管理規章第 96 部 B 子節設定對既有使用者保護之相關規範。

管理規章第 96.15 條規範對既有聯邦使用者的保護規範，若頻率範圍為 3550-3650MHz，則規定如下：

- CBRS 與終端用戶裝置不得對既有聯邦使用者造成有害干擾，除非法令另有規範；
- 對於 A 類 CBSD，必須遵守海岸沿線為禁制區的規範；若有一個或多個 ESC 被允許使用時，才可將禁制區轉換為保護區。CBSD 只有在保護區內才可獲得使用的機會。
- B 類 CBSD 只能在 ESC 被允許使用時，由 SAS 分配頻率使用。
- 當 ESC 偵測到來自既有聯邦系統的訊號，應於 300 秒內通知 SAS 終止 CBSD 的使用或調整 CBSD 使用頻率。

若頻率範圍為 3650-3700MHz，則保護規定如下：

- CBRS 與終端用戶裝置不得對使用 3500-3700MHz 頻段之既有聯邦使用者造成有害干擾，除非法令另有規範；
- 針對已註冊的聯邦無線基地臺位置，其半徑 80 公里內為禁制區；若有一個或多個 ESC 被允許使用時，才可將禁制區轉換為保護區。CBSD 只有在保護區內才可獲得使用的機會。
- 當 ESC 偵測到來自既有聯邦系統的訊號，應於 300 秒內通知 SAS 終止 CBSD 的使用或調整 CBSD 使用頻率。

管理規章第 96.16 條規範對使用 3600-3700MHz 與 3700-4200MHz 頻段既有固定式衛星服務業者的保護規範，相關保護標準將由 SAS 執行，規定如下：

- 已向 FCC 註冊使用 3600-3700MHz 頻段的固定式衛星服務業者地面站臺，應受保護，免受 CBSD 的干擾；

- 若 CBSD 欲於固定式衛星服務地面站臺使用 3600-3700MHz 頻段下運作，則所有共頻道 CBSD（距離 150 公里內）發射功率的中位數 RMS 值均不得超過-129dB /MHz。
- 若 CBSD 欲於固定式衛星服務地面站臺使用 3600-3700MHz 頻段下運作，則所有 CBSD（距離 40 公里內）在 RF 濾波器與天線輸出產生的總 RF 功率之中位數 RMS 值均不得超過-60dBm。
- 已向 FCC 註冊使用 3700-4200MHz 頻段的固定式衛星服務業者地面站臺，應受保護，免受 CBSD 的干擾；
- 固定式衛星服務的帶外發射功率：若 CBSD 欲於固定式衛星服務地面站臺使用 3700-4200MHz 頻段下運作，則所有 CBSD（距離 40 公里內）之總 RF 功率頻譜密度值的中位數 RMS 值均不得超過-129dB /MHz。
- 若 CBSD 欲於固定式衛星服務地面站臺使用 3700-4200MHz 頻段下運作，則所有 CBSD（距離 40 公里內）在 RF 濾波器與天線輸出產生的總 RF 功率之中位數 RMS 值均不得超過-60dBm。
- 固定式衛星服務業者地面站臺應於前一日曆年結束前 30 日將提交相關參數向 FCC 註冊，該類註冊資訊將提供給 SAS。相關參數包括地面站臺的地理位置、天線增益、天線增益模式之方位與仰角、天線與正北方的角度、天線仰角與是否使用衛星遙測、追蹤與控制（限於使用 3700-4200MHz 之地面站臺）。

2016 年 8 月 19 日，FCC 發布針對 3650-3700MHz 既有使用者（傳統式無線服務）劃定保護區輪廓計算方法的相關決議⁴²。針對 3650-3700MHz 既有執

⁴² FCC, Wireless Telecommunications Bureau and Office of Engineering and Technology announce methodology for determining the protected contours for grandfathered 3650-3700MHz band licensees,

照使用者（傳統式無線服務），WTB 與 OET 使用一種雙管齊下的評估方法，以決定既有執照使用者的保護區域，分別適用於已註冊和未註冊消費者終端設備（Consumer premises equipment, CPEs）的不同狀態。根據 FCC 的規範，若終端設備移動時的運作功率低於 1 瓦/ 25MHz EIRP 時，無需向 FCC 的通用執照系統（Universal Licensing System, ULS）註冊。

最初 2015 年 10 月 FCC 針對設計保護區的評估方法進行公開意見徵詢時，當時定義保護區的扇形區域為透過基站已註冊之方位角度與波束頻寬計算。最初對傳統式無線服務每一個合法註冊基地臺保護區域定義如下：

- 若扇形區域內包含未註冊的 CPE，基於註冊基站的方位角度和波束頻寬，則保護區為以每一註冊基地臺為中心，半徑 4.4 公里內之扇形區域為保護區。
- 若扇形區域內包含已註冊的 CPE，則以基站為中心，扇形區域範圍為基站訊號涵蓋內所有註冊基站。

惟經過公眾諮詢後，FCC 依據回應意見，從以下相關層面修正評估方法，包括：

- 免除原先要求執照持有人應確定每個運作區域內使用特定頻段之規範，調整為依照執照持有人現行於通用執照系統（ULS）註冊的頻率設定保護範圍；
- 規範公民無線寬頻服務設備業者（CBSD）在傳統式無線服務保護區的所有位置均應滿足干擾保護規範，而非僅適用於邊緣區域；

- 修正未註冊 CPE 的保護區域距離；
- 修正干擾保護等級，以符合對優先接取執照持有人的干擾保護標準，例如在傳統式無線寬頻保護區域中，CBSD 同頻道的總功率不得超過 -80dBm/ 10MHz。

FCC 設定計算未註冊 CPE 最大距離時，會考量以下相關情境：

- FCC 採用接收器敏感度的加權平均值，該數值從大多數執照持有人的基地臺資料中挑選得出，介於-94.95dBm 到 95dBm 之間。
- 未註冊 CPE 的等效全向輻射功率(EIRP)平均值之傳輸功率值為 23 dBm。
- 基地臺天線增益值（Base station antenna gain）為 17.2 dBi。
- 最大可容許路徑損耗值（Maximum Allowable Path Loss）的計算結果為系統增益值（System Gain）加上接收器端的天線增益值（Antenna Gain）減去衰退邊限（Fade Margin）再減去發送端的線路損耗率（Line Losses）。
- 系統增益值為 EIRP 減去接收器敏感度，計算結果為 23 dBm - (-95dBm)後為 118dBm。
- 最大可容許路徑損耗值為系統增益值（118dBm）加上基地臺天線增益值(17.2dBi)減去衰退邊限(15dBm)減去發送端線路損耗率(2dBm)後得出數值為 118.2dBm。
- 微分計算後可得出距離為 5.3 公里。

因此，在 FCC 於 2016 年 8 月 19 日發布的決議文件中，修正原先對保護區域的定義，在未註冊 CPE 的部分，保護區域從原先以註冊基地臺為中心的半徑 4.4 公里之內，擴張到半徑 5.3 公里為保護區。若區域內包含已註冊 CPE，

則保護區之定義為以一註冊基地臺為中心，涵蓋該基地臺發射方位角度與波束頻寬內可達到之所有註冊 CPE。整體概念如圖 2-10 所示。

確定傳統式無線服務保護區的計算方法後，為計算保護區域，FCC 要求傳統式無線服務執照持有人應於 2016 年 4 月 17 日前提出已建置完成、運作中的基地臺資訊，且完全符合相關規範。同時執照持有人應證明已確認基地臺內有無未註冊 CPE，以及每個服務區內最遠註冊 CPE 的距離。執照持有人只需要提供基地臺的相關資訊，無需提供關於已註冊 CPE 的補充資訊。

同時，FCC 正在進行其通用執照系統（ULS）的現代化，使該系統能夠收集必要數據。當此機制成熟後，無線電信局（WTB）將可與執照持有人通訊，要求執照持有人必須提交額外資訊。既有已記載於 ULS 中的註冊資訊，則可作為決定傳統式無線服務保護區的補充資訊，未來此保護區的相關訊息便可與頻譜接取系統（SAS）溝通。

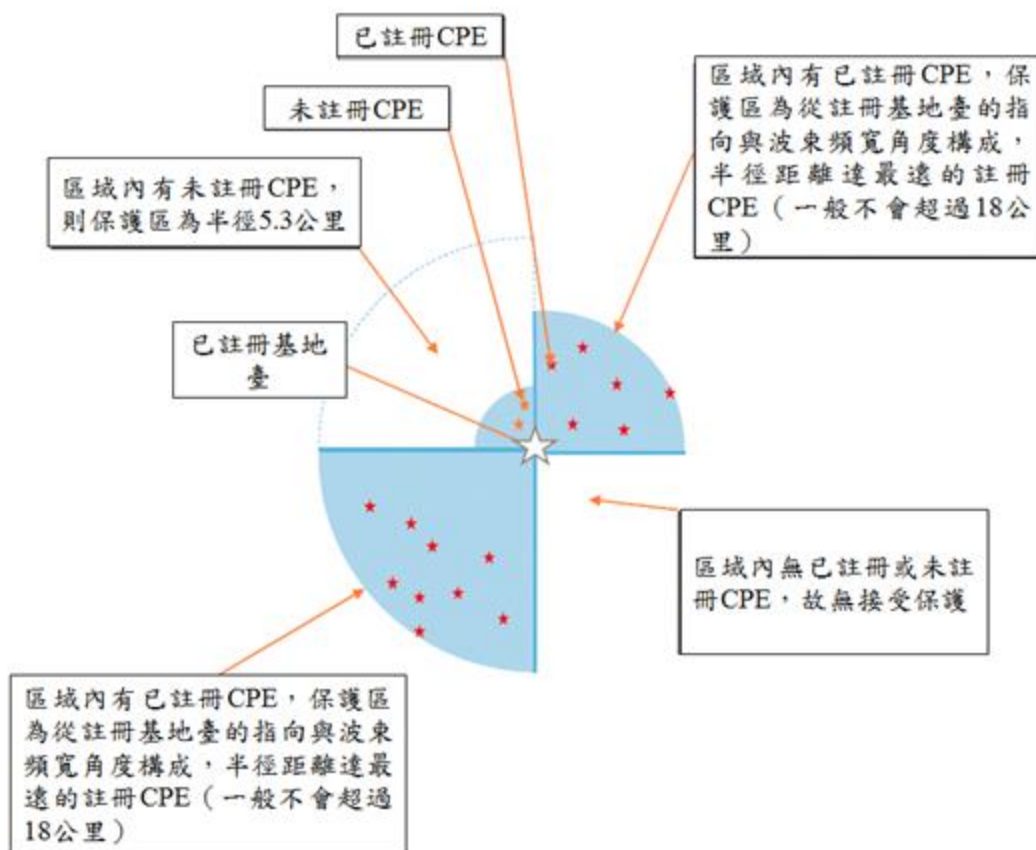


圖 2-10：傳統式無線寬頻服務之保護

資料來源：FCC，本研究整理

此一建立傳統式無線通訊服務保護區的機制將為一次性活動，每一個基地臺的保護區域不會改變，直到該基地臺不再使用為止。如果該基地臺停止運作，FCC 要求執照持有人需要刪除該基地臺註冊資訊，且 FCC 將通知 SAS 該基地臺已不再提供服務，故不再提供傳統式無線服務之保護區。

在 FCC 的設計中，此註冊系統會提供連結供外部查詢傳統式無線服務之保護區位置。因此，執照持有人需要清查其運作中的基地臺資訊，包括：1、該基地臺於 2015 年 4 月 17 日或更早之前就註冊者；2、該基地臺於 2016 年 4 月 17 日前建造、維運和提供正式服務；3、基地臺符合 FCC 的相關規範。

（五）CBRS 管理規則修正草案

自 2015 年 4 月 CBRS 管理規則通過後，2017 年 6 月美國電信協會 CTIA 與電信業者 T-Mobile 共同提交請願書，希望 FCC 重新調整 PAL 執照規範。請願人認為對管理規範之修正有助於在 CBRS 頻段布建 5G 網路。

因應國內市場發展與國際間對於 5G 頻譜規劃相關議題之探討，FCC 再次於 2017 年 10 月公告 CBRS 管理規則修正草案⁴³，關於修正規範內容主要可分為兩大項，第一大項為對 PAL 之規範內容，第二大項為訊號發射功率與干擾限制。第一大項對於 PAL 的規範可再細分為以下五點：

- 執照效期與換發：PAL 執照年限將由 3 年延長為 10 年，並享有「換照預期 (renewal expectancy)」權利；
- 地理執照區域：PAL 執照區域將由現行「小普查區 (Census Tracts)」擴大到「局部經濟區域」(Partial Economic Areas, PEA)或郡縣；
- 頻譜次級市場交易：PAL 持照者將有權對獲指配頻率進行分割轉讓或出租出借；
- SAS 對 CBSD 註冊資訊之公開揭露：禁止 SAS 管理者揭露公開的 CBSD 註冊資訊，以避免危害關鍵性的網路布建安全性與影響競爭；以及
- PAL 執照競價程序：取消需至少有 2 家以上合格申請者參與競價之規定，同時解除或修訂現行 PAL 執照之 40MHz 頻寬上限。

⁴³ FCC (2017), Notice of proposed rulemaking and order terminating petitions: Promoting investment in the 3550-3700MHz Band, available at: http://transition.fcc.gov/Daily_Releases/Daily_Business/2017/db1024/FCC-17-134A1.pdf (last visited :2017/11/14)

自 FCC 於 2017 年 10 月 24 日公布法規修正諮詢文件，各界需於公告後 30 日內提報回應意見，FCC 則於 60 日內回應。現階段產業對於 CBRS 規範意見仍分歧，T-Mobile 和 CTIA 等電信業者偏好轉向為傳統式的行動通信執照架構，並強調 CBRS 的 PAL 執照年限過短、執照地理範圍過小且不可換照等設計，會讓業者缺乏投資意願；Google 等業者則認為應該維持原議。該份修正案獲得 FCC 主席 Ajit Pai 和兩位委員 Michael O’Rielly 與 Brendan Carr 的支持。另外一位委員 Jessica Rosenworcel 則認為修法的結果讓監理機關失去其「前瞻性」，讓美國的頻譜政策無法保有其創新精神，不在乎 3.5 GHz 頻段制訂之初的創新精神，而轉向支持現有的商業模式。

許多評論家認為，修法後將讓執照只有大型行動業者有能力負擔，拒絕數以千計其他公司取得頻譜執照的機會，部份評論家擔心 FCC 的作法將使 5G 生態系統落入單一大型業者商業模式的窠臼，綜而導致缺乏競爭力。

亦有評論家認為修正草案將使美國頻譜政策落入雙輸的結果。執照區域從人口普查區擴大到 PEA 部分經濟區，可能讓偏鄉寬頻服務的潛在進入者打退堂鼓。另外，將執照期限從三年延長到十年，將提高執照取得成本，導致小型業者退出市場。

動態頻譜聯盟 DSA 則強烈支持維持既有規範，但 FCC 委員 Michael O’Rielly 認為 FCC 使用靈活的頻譜政策，讓拍賣得標者可以依其需要佈建網路和服務，同時，O’Rielly 委員認為目前的 PAL 執照制度會讓業界覺得似乎保留給偏鄉服務業者和其他潛在進入者，這種想法是錯誤的，監理機關不應向任何企業承諾會核發執照，FCC 必須確保寬頻網路於偏鄉地區之佈建。

以下將針對 FCC 提出之政策修正規劃內容進行說明。

1、執照效期與換發

請願人向 FCC 建議執照使用期限應從原先法規設定的三年，延長調整為十年，同時也採取預期可換照之機制。請願人 T-Mobile 認為既有規範可能延遲網路布建的速度。例如 CTIA 提到許多業者於申請取得站台許可時遇到困難或障礙，因此建議 FCC 應採取和目前行動通信業務執照年限一致之作法。

FCC 考量網路布建實務與技術發展等要素後，規劃修正原有 PAL 執照年限為三年的做法，調整為十年，同時也允許 PAL 執照換照。FCC 更進一步諮詢公眾對於 PAL 換照時申請規範與標準之相關建議。

FCC 希望藉由公眾諮詢，了解產業對於執照年限改為十年後，對可能帶來提升網路布建投資、推動偏鄉區域網路布建等議題之看法。另外，有部分學者如 Paul Milgrom 建議 FCC 應於執照屆期後以拍賣方式釋出，因此 FCC 也諮詢公眾對於執照屆期後重新釋出的看法，希望找出能促進競爭與頻譜有效使用的機制。

2、擴大地理執照區域

FCC 原先對於 PAL 執照採取人口普查區（Census Tract）的執照範圍。請願人認為 FCC 應該增加執照地理區域範圍，從人口普查區擴大到部分經濟區（Partial Economic Area, PEAs）。請願人之 T-Mobile 認為擴大執照地理區域的做法有助於 FCC 推動 5G 發展。如果原先採人口普查區的執照地理區域發照，將可能會出現超過 50 萬張 PAL 執照，增加 SAS、FCC 跟執照持有人的管理難度，也會增加不確定性干擾風險。若改採 PEAs 地理區域發照，仍能確保有足夠的網路數量，且大幅減少行政負擔。

有些回應意見則反對擴大執照地理區域，認為此舉將迫使小型企業無法和區域中的大型業者相競爭。有些回應意見如 Google、Sony 等已申請成為 SAS 管理者的業者，則認為隨著近年來資料庫管理技術、雲端計算，以及其他工程技術的進步，要管理超過 7 萬個地理區域內的執照並不會太過負擔。

FCC 考量各界意見後，爰向公眾諮詢將執照地理區域改採 PEAs 的做法是否妥適，是否能帶來更多的投資、促進創新和鼓勵頻譜有效使用。FCC 同時也向公眾諮詢更大的執照地理區域是否更具彈性，得以促進新興技術如 5G 的發展。另外也尋求若變更為更大的執照地理區域，是否會影響拍賣機制的複雜度。

原先 FCC 對於 PAL 執照設有取得上限 40MHz 的規範，FCC 同樣欲了解若擴大執照地理區域後，此一上限規範是否仍有持續之必要。

3、 二次交易市場

最早 FCC 對於 3.5 GHz 之政策規範，禁止 PAL 執照持有人切割或減持其執照，僅允許輕度管制的出租。請願人 T-Mobile 建議 FCC 若執照地理區域改採 PEAs 後，應允許執照持有人得對 PAL 執照的進行部分切割售出與減持，包括 T-Mobile、AT&T、易利信、高通、USCC 及 Verizon 等回應意見均同意允許 PAL 執照切割或減持有助於對 PAL 執照的最佳化利用，並支持多樣化的佈建需求。

而 DSA、Southern Linc 和 WISPA 等回應意見則反對允許 PAL 執照進入二次交易市場，因為即便有此規定，執照持有人未必會出租或交易閒置頻譜資源。

FCC 擬同意讓 PAL 執照進入二次交易市場，得部分切割售出或減持。FCC 希望尋求各界對此規劃之公眾意見。若 FCC 決定採用較大的執照地理區域，則允許 PAL 執照部分切割或減持的設計，能否讓執照持有人能在較小地理區域取得所需頻譜資源，發展當地所需的商業活動？FCC 希望確保該規劃得以促進多樣化應用發展的機會。

4、SAS 對 CBSD 註冊資訊之公開揭露

FCC 最早的規範中，要求 SAS 管理者應向公眾揭露 CBSD 的註冊資訊。同時 SAS 管理者必須隱蔽執照持有人的身分，避免使機敏商業訊息曝光。請願人 CTIA 及 T-Mobile 均要求 FCC 應取消此一公開揭露註冊資訊之規範，認為此一作法可能導致影響競爭和網路安全。AT&T 認為 SAS 蒐集關於用戶的敏感數據、網路配置、使用狀況與技術參數，相關關鍵基礎設施數據必須要妥善保護，避免導致影響競爭和網路安全。

Google、OTI/PK 和 WISPA 等業者則認為應維持既有規範，認為此一做法有助於讓潛在業者能在參與拍賣前調查以 GAA 布建或 PAL 布建的可行性。Google 否認匿名公開註冊數據會影響安全性和競爭，該公司認為許多資訊目前已公開可取得，例如行動業者的接收站台位置等。

FCC 最後規劃修正既有規範，禁止 SAS 管理者公開揭露 CBSD 的註冊資訊，避免危害關鍵網路布建的安全性，或影響競爭。FCC 同時向公眾諮詢哪一些特定資訊也應該被保留不公開，以避免造成外界疑慮。

5、 PAL 執照競價程序

(1) PAL 執照的指派

FCC 最早規範拍賣 PAL 執照時，一區域應至少有二家以上的申請者，才會釋出申請者總數減一的執照張數，一區域最多釋出七張 PAL 執照。此外，執照必須以競價方式釋出，因此若有一區域只有一家申請者，則該區域不會釋出 PAL 執照，區域內頻段資源改供 GAA 使用。

請願人 T-Mobile 及許多業者如 5G Americas、AT&T、易利信、GeoLinks、GSMA、諾基亞以及 USCC 均建議 FCC 應確保 PAL 執照皆釋出可用，無論一區域內有幾家申請者。GeoLinks 認為，如果 FCC 對只有一家業者有興趣投入之執照區域限制其取得 PAL 執照的機會，則將會導致偏鄉地區和都會區的落差，有些偏鄉區域的業者家數可能不如都會區。

FCC 考量未來 PAL 執照使用期限可能延長，也將允許 PAL 執照換照、增加執照地理區域，故規劃取消對 PAL 執照的限制。即便一執照區域內只有一家申請者，若該申請者符合 FCC 之條件規範，則將核發 PAL 執照給該申請者。同時，原先對於 PAL 設定之競價規範限制也會取消。

隨著 FCC 規劃將 PAL 執照年限延長，許多回應意見認為 FCC 亦可同時檢討一執照區域最多釋出七張 PAL 執照的規範。因此，FCC 亦向公眾諮詢若 PAL 執照年限延長，則是否仍有限制一區域最多釋出七張 PAL 執照的必要。

(2) PAL 執照區塊之競價

FCC 目前對 PAL 執照競價之設計，執照持有人得標時，並非取得特定頻率位置，而是由 SAS 管理者依據 PAL 業者取得之頻譜資源，來指派一執照區域內的實際使用頻率位置。

請願人 T-Mobile 建議 FCC 應讓申請者直接對特定頻率競價，而非取得數量後再由 SAS 指派使用頻率位置。有部份回應意見支持 T-Mobile 的看法，易利信認為此種機制較能確保穩定、可預期之頻譜環境。5G Americas 和 GSMA 也認為此種方法較能鼓勵業者應用該頻段於 5G 網路。

反對意見則有 Vivint Wireless、Google 等，認為某些執照區域需確保不損害既有業者之使用權利，因此對實際頻率位置競價的做法未必能順利運作。Google 認為若採取對特定頻率競價的做法，則業者可能會對 PAL 頻譜的中端位置集中出價，可以限制其他業者取得連續頻譜的機會，因此建議維持現有做法，讓 SAS 管理者動態分配，以保障聯邦既有業者和 PAL 業者運作時能不間斷的提供服務給終端消費者。

FCC 擬規劃讓 PAL 執照業者對實際頻率位置出價，其中對於如何保障既有使用者權益、頻率指派程序等相關議題諮詢公眾意見。諮詢議題亦包括是否採先競價數量、再對實際頻率位置出價等競價程序。另外，FCC 亦徵詢是否有其他適合的競價方式，能滿足 SAS 管理者因應避免干擾的動態分配需求，並讓 PAL 執照持有人有機會取得連續頻譜。

6、CBSD 發射功率限制

FCC 原先對 CBRS 發射功率規範如下：

- SAS 指派頻道邊界介於 0 到 10MHz 時，其發射之傳導功率不得超過-13dBm/MHz；
- SAS 指派頻道邊界超過 10MHz，邊界介於 3530 至 3570MHz 之間時，其發射之傳導功率不得超過-25dBm/MHz；
- 當 SAS 指派頻道邊界低於 3530MHz 且超過 3720MHz 時，其發射之傳導功率不得超過-40dBm/MHz；

請願人 T-Mobile 認為發射功率應適度放寬，若頻道邊界介於 0 到 20MHz 時，其發射之傳導功率不得超過-13dBm/MHz，同時取消原規範 -25dBm/MHz 與-40dBm/MHz 的限制。

高通公司同樣認為適度放寬發射功率，建議採以下規範：

- 指派頻道邊界介於 0 到持有頻寬 B 的一半 ($B/2$) 時，其發射之傳導功率不得超過-13dBm/MHz；
- 指派頻道邊界介於 3530MHz 至 3720MHz 之間時，其發射之傳導功率不得超過-25dBm/MHz；
- 指派頻道邊界低於 3530MHz 且超過 3720MHz 時，其發射之傳導功率不得超過-40dBm/MHz。

FCC 經參考高通公司之提議，擬於以下兩方案擇一作為發射功率限制之規範：

方案一：

- 指派頻道邊界介於 0 到持有頻寬 B 時，其發射之傳導功率不得超過-13dBm/MHz；
- 指派持有頻寬 B 內之發射傳導功率不得超過-25dBm/MHz；
- 指派頻道邊界低於 3530MHz 且超過 3720MHz 時，其發射之傳導功率不得超過-40dBm/MHz。

方案二：

- 指派頻道邊界介於 0 到持有頻寬 B 的一半時 ($B/2$)，其發射之傳導功率不得超過-13dBm/MHz；
- 指派頻道邊界從 $B/2$ 到持有頻寬 B 時，其發射之傳導功率不得超過-20dBm/MHz；
- 指派頻道邊界介於 3530 至 3720MHz 之間時，持有頻寬 B 內之發射傳導功率不得超過-25dBm/MHz；
- 指派頻道邊界低於 3530MHz 且超過 3720MHz 時，其發射之傳導功率不得超過-40dBm/MHz。

第四節 LSA 與 CBRS/SAS 之比較

在其他國家方面，澳洲通訊傳播主管機關 ACMA 曾於 2017 年 6 月發布對 3.6GHz 頻段未來使用的討論文件中，向公眾諮詢是否採用類似美國 CBRS 或歐盟 LSA 等共享機制，對 3.6GHz 頻段以共享方式開放使用。ACMA 在 2017 年 10 月公布 3.6GHz 頻段未來使用決議當中指出，考慮到 3.6GHz 頻段對 5G 的重要性，同時行動通信業者多不支持以共享方式開放 3.6GHz 頻段，認為該等機制不適用於澳洲，其主因為低層級使用者可能在任何時刻失去頻譜使用權。ACMA 最終決定對 3.6GHz 頻段將採頻譜重整方式重新釋出，並盡早讓業者於 2018 年初即可開始用以布建於大型基地臺與小型基地臺之用途。

從表面上看，歐盟 LSA 機制與美國 CBRS 頻段下的 SAS 系統，均屬於層級式頻譜共享機制，並以頻譜地理位置資料庫作為機制核心，讓需執照頻段得以在不影響既有使用者頻譜使用權利的前提下，增加次級授權用戶共享頻率的機會。就規範層面來看，彼此並不互斥。此二機制在發展初期雖各有適用頻段，惟長期來看，仍有可能擴大適用到其他更多頻段，茲再比較說明此二機制之特性及差異，俾利未來發展適用我國之頻譜共享評估機制。

一、 共享需獨立許可 v.s. 優先/免執照 (license by rule)

依據歐盟指令，頻譜使用權之授予可分為兩種模式，給予獨立使用權以及免執照一般許可制，在考量干擾防護等因素之下，爰建議 LSA 應採取授予獨立使用權之模式。因此，未來各會員國可能採取獨立使用權之方式，無論是以執照的形式或登記制，均需共享使用者事前向主管機關申請並獲得許可。

而美國 CBRS/SAS 的設計為三層架構，具有優先接取的 PAL，係採取執照制。然而，若 PAL 在某區域不存在或未使用任何頻段，則第三層的一般許可接取使用

者(GAA)，便可免執照接取。當然，即使 PAL 存在，合計達 150MHz 頻寬之 CBRS 頻段仍然保留至少 80MHz 頻寬予 GAA 使用。故 CBRS 係兼採執照制與免執照制，其頻譜之共享使用高度仰賴 SAS 系統。

二、 共享頻率靜態分配 v.s. 共享頻率動態分配

在歐盟規劃的 LSA 運作架構上，LSA 共享使用者僅能在獲得授權使用的固定頻率範圍內運作，某一地區內若既有使用者向 LSA 頻譜庫提出要求恢復使用頻譜，相應之共享使用者必須在收到資料庫通知後配合退出使用，不可干擾既有使用者。故對於行動業者而言，運作於 LSA 機制下的授權頻譜，僅適合作為聚合補充頻段。CBRS 頻段則以 SAS 系統進行頻譜動態分配，當既有使用者開始使用其頻段時，由 SAS 系統另外分配可用頻率範圍給共享使用者，因此，CBRS 的共享使用者所提供之服務，較具有穩定性。

然而，CBRS 所依賴之 SAS 系統相對複雜，從收到既有使用者出現的訊息，到通知 SAS 系統，再重新指配新的可用頻譜給共享使用者的過程，對於既有使用者的保護時間相對難以預料。而且，由於 SAS 系統將會動態重新分配可用頻譜，因此需要技術層次較高的操作系統，管制難度也相對提高。SAS 系統必須擁有較為充分與即時的頻譜使用狀況，與動態頻譜需求的預測模型，這些技術發展均相對需要更為完善的基礎設施（如區域性的頻譜監測系統），與先進的運算預測模型。

三、 既有使用者參與（資料庫保護） v.s. 既有使用者不參與（感測機制保護）

在 LSA 機制下，既有使用者必須將本身的頻譜需用情形告知資料庫，當共享使用者存取資料庫時，便能得知該區域的頻譜使用狀況，當既有使用者恢復使用其授權頻譜時，也能透過資料庫告知共享使用者進行迴避。CBRS 系統的既有使用者由於身份相對敏感，故美國目前以劃設禁制區的方式，既有使用者的資訊無須詳細

的輸入資料庫，同時，CBRS 所使用的 SAS 系統也較具有主動性，當既有使用者出現時，SAS 系統將會另外分配頻譜。同時，CBRS 也預期在未來透過 ESC 環境感測能力的佈建，縮小禁制區的範圍，透過感測系統主動偵測既有使用者與區域的頻譜使用狀況，進一步提升該頻段的頻譜使用效率。

在既有使用者是否參與的議題上，主要的顧慮在於使用者身份的敏感性，由於 CBRS 所使用的 3.5 GHz 頻段當中有涉及國家安全之用，因此美國目前以禁制區的方式處理，若未來能夠建置 ESC 環境感測能力，則可進一步縮小禁制區。然而，在 LSA 的架構中，既有使用者僅面對 LSA 頻譜庫，共享使用者使用 LSA 控制器與 LSA 頻譜庫連線，兩者之介面協定 LSRAI (LSA Spectrum Resource Availability Information) 僅包含有限之區域 (Zone) 資訊，以類似資訊防火牆的概念設立一道關卡，避免敏感的既有使用者資訊不當洩漏。

四、 使用共享頻率設備無須註冊 v.s. 使用共享頻率設備需註冊

類似於 TVWS 機制，美國 CRBS 服務下的 SAS 系統要求共享使用者必須註冊其服務設備，由 SAS 系統動態指配可用的頻率範圍，當 ESC 機制偵測到既有使用者恢復使用頻譜時，SAS 系統會重新指配其他可用的頻率範圍給共享頻率設備，為確保不致對受保護的既有或授權使用者產生有害干擾，必須高度仰賴資料庫系統的可操作性，以及對於各類型無線系統之電波傳播模型選用的正確性。

共享規範有無要求資料庫公開揭露共享使用者所註冊之服務設備，其差異在於共享使用者網路佈建狀況是否可知，尤其頻譜共享機制的運作以小型基站為主，若業者需公開其所有服務設備的位置資訊，對於業者之網路投資較無保障。此外，當資料庫完全掌握所有既設電臺及共享者服務設備時，便能更為動態地指配可用頻率範圍，此種資料庫系統的功能較為強大，但也相對較為複雜。

第五節 5 GHz 免執照頻段共享機制

根據 GSMA 的調查指出⁴⁴，2014 全球 LTE (4G) 用戶規模已達 4 億，3G 用戶正快速向 4G 過渡，行動上網設備數量和數據流量皆急遽成長中，並正快速驅動 ICT 產業之變革。

眾所周知，行動影音服務是促使數據流量快速成長的主因。而隨著科技進步，行動影音終端設備朝更大的螢幕及更高的解析度而演化，以提供更佳的用戶體驗。新聞、廣告及社群媒體正逐步擴大提供線上影音服務，包括 YouTube、Netflix、愛藝奇 PPS 等影音 OTT 服務，更促進影音串流成長。在消費者大量使用線上影音服務的情況下，導致行動數據流量爆炸性成長。

對於行動寬頻的願景，2010 年高通公司為無線通信技術的開發目標提出了一句口號，即「對應 1000 倍的數據流量」。2014 年全球數據流量比 2013 年成長了一倍，按照這樣的速度，至 2020 年，行動寬頻網路會需要可將基站數量及頻譜效率提高 10 倍的技術組合，以處理 1000 倍的數據流量。

高通並指出⁴⁵，要實現 1000 倍數據流量的行動通訊，需要綜合運用三方面的技術進步，包括 (1) 行動寬頻技術的進化；(2) 利用更多的頻譜資源；以及 (3) 利用 WLAN 和小型基地臺 (Small Cell)。因此，除了全世界先進廠商正在進行多項研發和標準化工作外，各國通訊監理機關皆陸續釋出更多的頻譜及設法提高頻

⁴⁴ GSMA, GSMA Mobile Economy 2015, 2015, available at http://gsmamobileeconomy.com/global/GSMA_Global_Mobile_Economy_Report_2015.pdf (最後瀏覽日：2015/10/01)

⁴⁵ Qualcomm, The 1000X challenge, available at: <https://www.qualcomm.com/invention/1000x> (最後瀏覽日：2015/10/01)

譜使用效率，以供行動寬頻服務使用。

為有效利用更多的頻譜資源，歐美國家已開始研究並評估導入免執照 LTE（LTE in Unlicensed band, LTE-U）以及許可輔助接取 LTE（Licensed Assisted Access, LAA）等機制。在研發與演進的過程中，LTE-U 及 LAA 便是符合高通所提出三項條件的新技術，其基本概念即是使用免執照頻段以擴增現行行動通訊的可用頻譜。由於 LTE-U 及 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 5 GHz，故系統共存及頻譜乾淨度極為重要。

Wi-Fi 奠基於 IEEE 802.11 技術標準，通常稱為資訊技術（Information Technology，IT）產業。LTE-U 及 LAA 則奠基於 3GPP 技術標準，通常稱為通訊技術（Communication Technology，CT）產業。若此兩個原屬於不同產業的系統能和諧共存，將是資訊技術與通訊技術產業在未來良性發展與互相整合的開端。另外，透過 WiFi 來分攤或卸載（offload）原先 3G/LTE 訊務的作法也行之有年，目前全球主要的行動寬頻業者皆有在公眾區域建置 WiFi 無線區域網路（Wireless Local Area Network，WLAN），透過 LTE 與 WiFi 的相互運作（Interworking）提昇用戶體驗速率，這個方法經過演進發展出 LWA（LTE-WLAN Aggregation），是一個尊重原來 IT 與 CT 接取網路本質的 ICT 融合技術，透過用戶終端以及核心網路將資料分拆組合進行雙連結，達到更高速下載的用戶體驗。

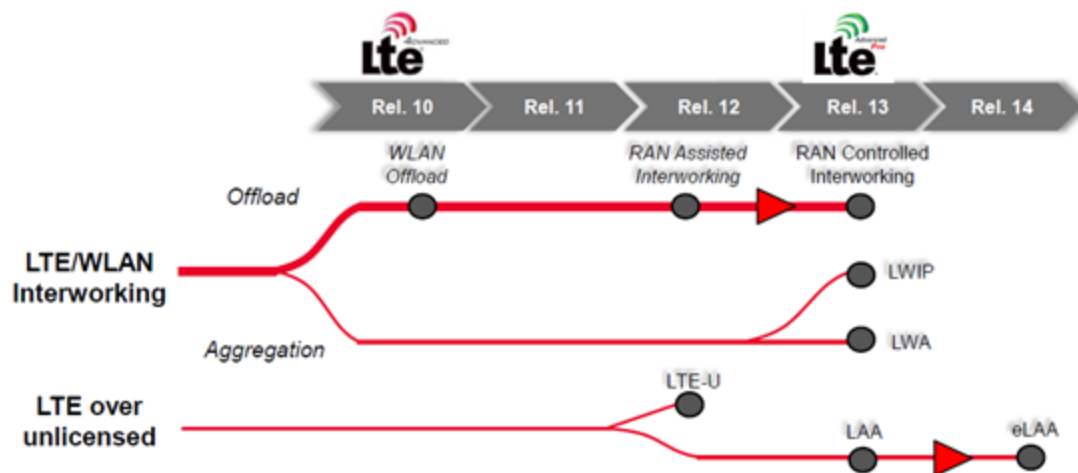


圖 2 -11：LTE 標準於免執照頻譜技術規範與適用情境

資料來源: Keysight, LTE in Unlicensed Spectrum

本節主要將首先探討國際及台灣免執照頻段使用現況，其次討論 LTE-U、LAA 及 LWA 的技術特色，並討論其監理架構與法規盤點，以及提出未來展望與監理規範考量。

一、免執照頻段介紹與各國現況

(一) 何謂免執照頻段

免執照頻段的管理通則是各國監理機關皆會規範容許操作的頻率範圍及功率範圍，以下是幾種免執照頻段的名詞定義。

➤ 工科醫用電機頻段（Industrial Scientific Medical Band，ISM band）

工科醫用電機，係指使用射頻能或轉換射頻能供工業、科學、醫療或其他目的使用之非通信用電波輻射性電機。包括工業電熱設備、超音波設備、電氣透熱或磁共振醫療設備，及其他各種電氣設備，操作頻率範圍 9KHz-300GHz。（非資訊傳輸交換類別）

- 免執照國際無線資訊傳輸頻段（Unlicensed National Information Infrastructure Bands，UNII bands）

具跳頻（frequency hopping）或數位調變（digitally modulated）之資訊傳輸系統，操作頻率分別為 2400MHz-2483.5MHz（舊屬 ISM）及 5150MHz-5850MHz。

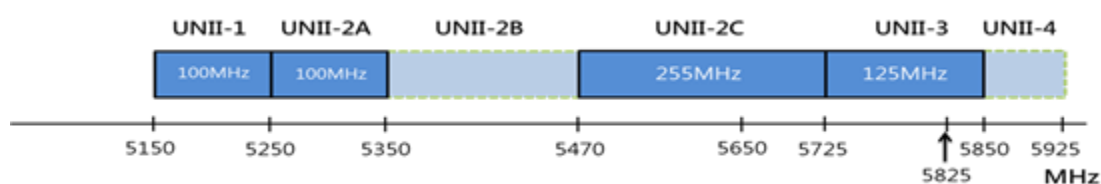


圖 2-12：5 GHz 免執照國際無線資訊傳輸頻段分配

資料來源：本研究整理

- 至高頻段（Millimetre Wave Band，mmW band）

如短距離多媒體寬頻網路使用之高密度固定業務及車輛雷達感測系統，操作頻率範圍 30-300 GHz，將來 IMT2020（5G）亦將使用到此頻段。台灣目前規範 57-64 GHz 供高密度固定業務（High-Density applications in the Fixed Service，HDFS）使用，以及 76-77 GHz 供車輛雷達感測系統使用

- 免執照個人通信系統頻段（Unlicensed Personnel Communication System Band，UPCS band）

主要用於室內無線專用交換機系統，例如 DECT 系統。主要提供個人或者中小型企業內部無線電話通訊，其操作頻率為 1880MHz-1930MHz（台灣採用歐規 1880MHz-1895MHz）。

(二) 5 GHz UNII 頻段國際現況與規劃

我國與其他主要國家 5 GHz 免執照頻段規劃與使用現況⁴⁶，整理如下。

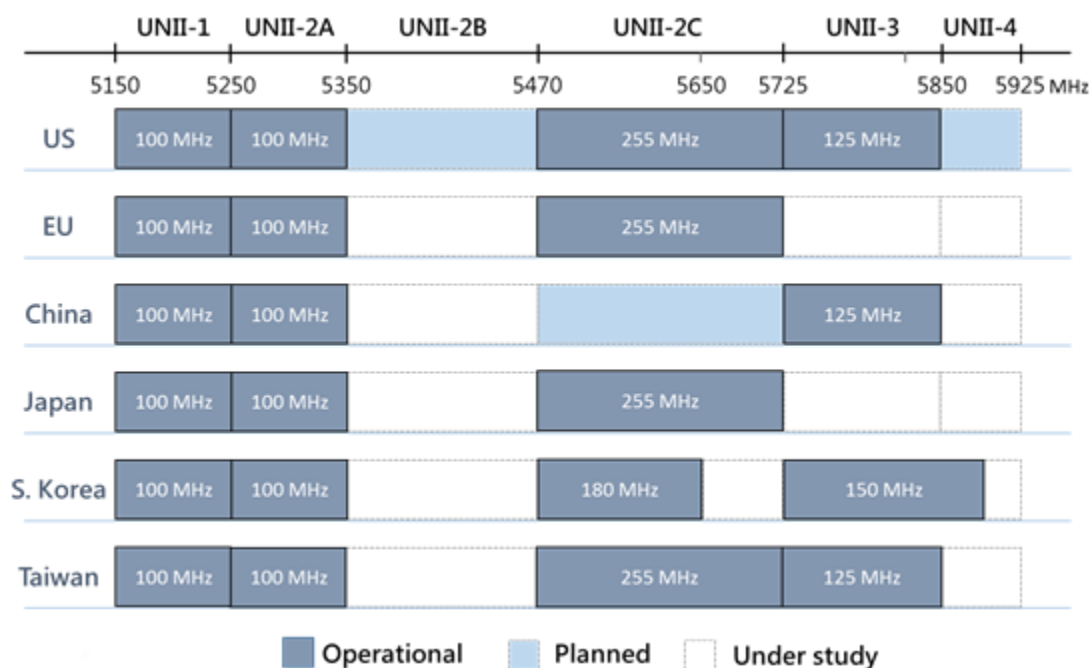


圖 2-13：我國與其他主要國家 5 GHz 免執照頻段規劃與使用現況

資料來源：本研究整理

2013 年 7 月美國國防部（Department of Defense, DoD）公告 5150MHz-5250MHz 不繼續使用於遙感勘測（Telemetry），美國聯邦通訊委員會（Federal Communications Commission, FCC）遂於 2014 年 4 月 1 日發布行政命令 FCC 14-80，開放 5150MHz-5250MHz 為 UNII-1 作業頻段，並將既有 5725MHz-5825MHz 之 UNII-3 頻段擴展為 5725MHz-5850MHz。同時，FCC 也計劃未來進一步將 UNII-2B 與 UNII-4 頻段釋出。

⁴⁶ 3GPP, TR36.889 - Feasibility Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum, , 2015, available at http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/36_series/36.889/

歐盟部分，由於歐盟衛星管理局（European Space Agency, ESA）依據 European Earth observation programme 整體計畫（GMES）堅持 UNII-2B 不可開放，目前僅 UNII-3 研究開放中。而日本在頻譜規劃與技術規範係參照 ETSI，也有互相承認，因此與歐洲一致。

中國大陸與南韓由於地區特性且技術交流頻繁，頻譜開放脈絡相似，當中較特別的是南韓近期開放 UNII-2C，但因後段存在既有軍方設備，故保留 75MHz。中國大陸也準備開放 UNII-2C，值得一提的是中國大陸將 5725MHz-5825MHz UNII-3 頻段內共計 100MHz 頻寬直接分配給中國移動、中國電信、中國聯通來佈放高功率室內外「運營商公眾網路接取點」（Service Provider WLAN APs, SP-AP）。

我國部分，依據行政院於 105 年 8 月 23 日公告的低功率射頻電機技術規範⁴⁷，目前已開放 UNII-1、UNII-2A、UNII-2C、UNII-3，發展脈絡及技術審驗規範均與美國 FCC 相似。

（三）LTE-U 與 LAA 採用 5 GHz UNII 頻段

由於 2.4GHz 頻段設備在住宅區與公共區域的設置皆已非常普遍甚至擁擠（桃園機場自建公眾 Wi-Fi 就有 500 個），總頻寬為 72MHz。而至高頻（mmW）又受限於無線技術開發困難，且要與 LTE 執照頻段搭配，目前暫不可行。

5 GHz UNII 頻段具有將近 500MHz 的總頻寬，而且在傳播損耗的物理特性上也相近於 LTE 系統效能，因此成為 LTE-U 與 LAA 採用頻段。其中，LTE-

⁴⁷國家通訊傳播委員會，修正「低功率射頻電機技術規範」，2016, available at http://gazette.nat.gov.tw/EG_FileManager/eguploadpub/eg022158/ch06/type1/gov53/num8/Eg.htm

U 於 3GPP band plan 分別為 Band 252 (5150-5250MHz / UNII-1) 與 Band 255 (5725-5850MHz / UNII-3)，只是這種技術並未正式列為標準規格，僅在某些區域開放採用。而 LAA 的 3GPP band plan 是 Band 46 (5150-5925MHz)，其相容性高且設備與終端為 3GPP 標準化產品。

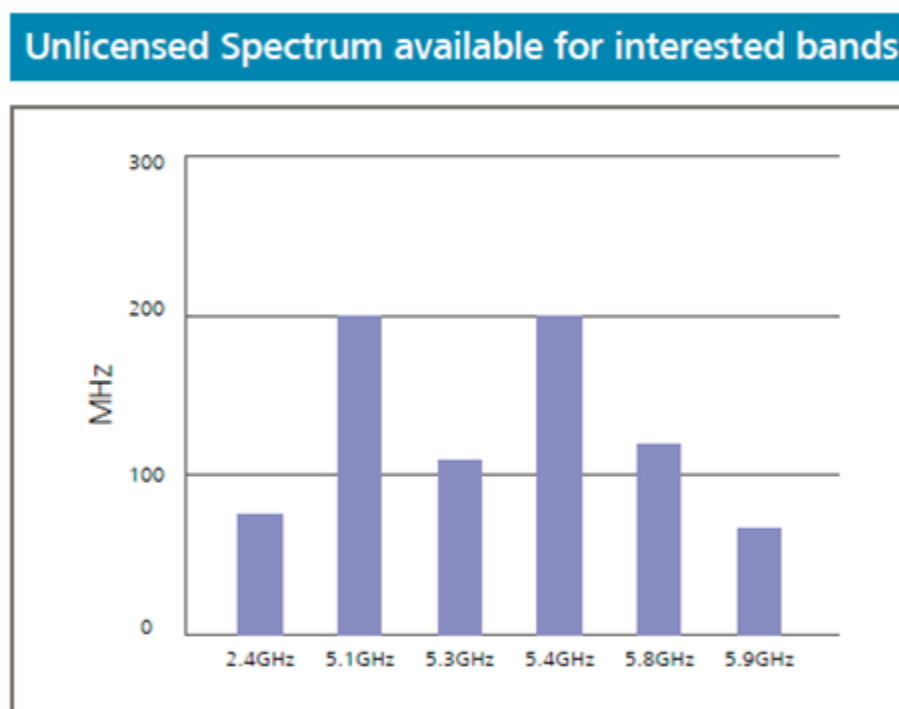


圖 2 -14：2.4GHz 與 5 GHz 免執照頻段頻寬統計

資料來源：Huawei U-LTE whitepaper

二、LTE-U、LAA 與 LWA 技術特色

LTE-U 與 LAA 是目前 4G 行動寬頻網路於免執照頻段 (Unlicensed band) 中一個新的接取模式，LTE-U 目前被定位為 3GPP Rel. 12 前的專有技術 (Proprietary) 產品規格，LAA 則在 3GPP Rel. 13 通過並將正式列為技術標準。兩者差異在於空中介面之異系統間分享與共存機制，LTE-U 採用高通公司提出的 CSAT (Carrier Sense Adaptive Transmission) 接取規約，而 LAA 則採用 3GPP 與 IEEE 共識下所發展出的 LBT (Listen Before Talk) 接取規約。兩種形式的 4G 行動寬頻網路免執照

接取都是基於載波聚合（Carrier Aggregation，CA）。

以下針對 LTE-U/LAA 之技術演進與 5 GHz 免執照頻譜使用進行介紹，由於 LTE-U/LAA 所涉及之技術類型眾多，故首先將說明較為核心之技術演進，其他相關技術說明則補充於後。

（一） LTE-U/LAA 技術演進與規範調和

1、 LTE-U/LAA 技術演進

5 GHz 頻段目前普遍存在各種服務與應用，而最具代表的便是 Wi-Fi 無線區域網路。5 GHz 頻段具有近 500MHz 的總頻寬，且在傳播損耗的物理特性上相近於 LTE 系統效能。因此，以高通為首陣營提出使用部分 5 GHz 免執照頻段(Unlicensed band)提供行動寬頻服務，並發展免執照 LTE（LTE in Unlicensed spectrum, LTE-U）技術。

LTE-U 或 LAA 都是基於載波聚合及補充下行鏈路（Supplemental Downlink, SDL）或全下行訊框（LTE Frame Structure Type 3）技術衍生出的應用模式，利用免執照的共用頻段彌補執照頻段頻寬的不足。由於現行規範對 5 GHz 免執照接取有功率限制，故需以小細胞（Small Cell）設備形式存在。且 LTE-U/LAA 單獨存在（non-standalone）的設置情境並不被允許，而需以 LTE 執照頻段作為主要載波，免執照頻段作為補充頻段使用，如下圖。

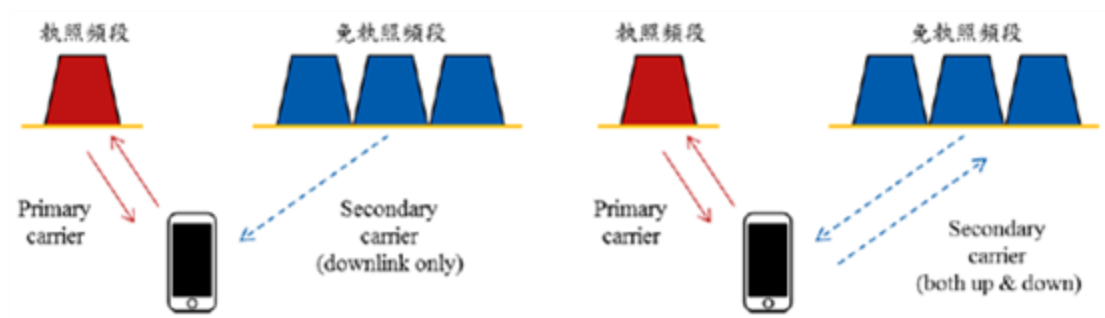


圖 2 -15：LTE 於免執照頻段接取情境圖

資料來源：新通訊雜誌

在高通提出 LTE-U 技術之後，3GPP 於 2014 年 9 月 Rel.13 的討論中，將 LTE-U 技術結合 LBT 機制後，納入 Rel.13 的研究項目(Study Item)中，並正式定名為許可輔助接取 LAA (Licensed Assisted Access)。2016 年 3 月正式列為 3GPP Rel.13 標準規範。免執照頻段具有上下行鏈路接取的機制(如圖 2-15 右)目前正由 3GPP Rel.14 標準制定中，其名稱為 eLAA (Enhanced LAA)。

LTE-U 與 LAA 主要的差異在於採用不同的接取規約，如圖 2 -16 所示。LTE-U 採用載波感測可適性傳輸 (Carrier Sense Adaptation Transmission, CSAT) 機制，在免執照頻段使用間歇性連線；LAA 則是採用先聽後送 (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。兩種模式皆是為了與既有 Wi-Fi 服務於免執照頻段中共享與共存。

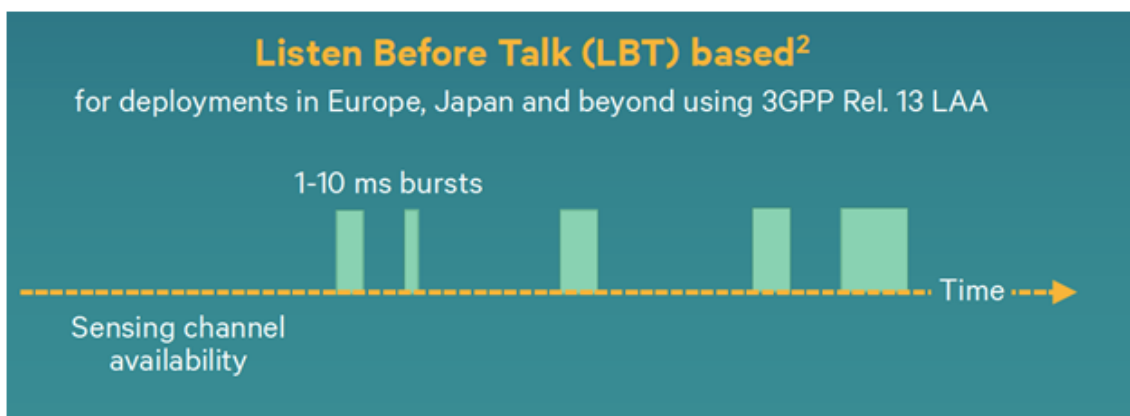
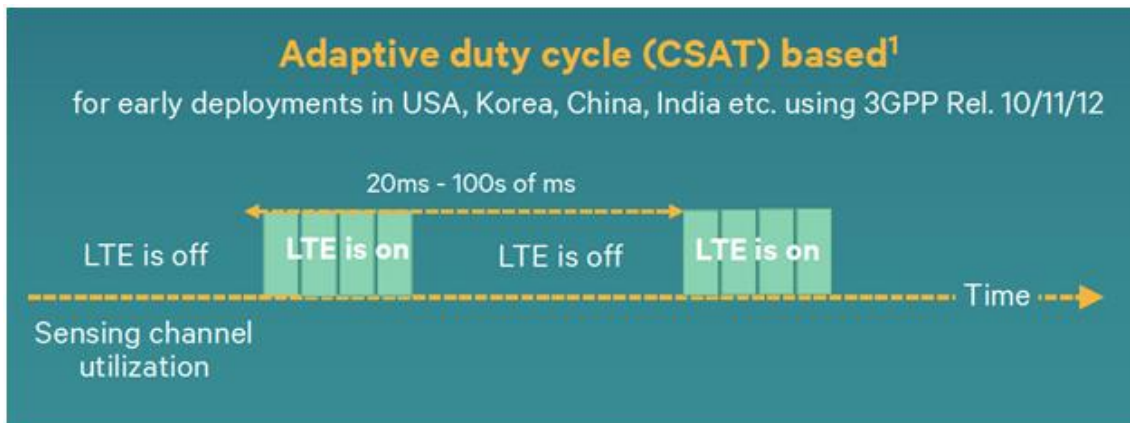


圖 2 -16：LTE-U 與 LAA 技術差異示意圖

資料來源：Qualcomm

此外，LTE-U 所採 CSAT 機制原屬於設備商的專利設計，相容於 Rel.12 前的載波聚合概念，在部分地區（美國、南韓、中國及印度等）的使用只需要終端支援而不需要額外的防干擾規範；LAA 則需遵守 3GPP Rel.13 規範，目前已明確採用 LBT 的地區如：歐盟及日本等，雖未見歐盟或日本開放 LAA，但主要原因在於該地區操作 5 GHz 頻段之資訊設備需有 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA 功能規範導致。

2、LTE-U/LAA 與 5 GHz 頻段既有規範調和

由於各國在 5 GHz 免執照頻段的頻率使用範圍不盡相同，要求的技術標準也並不一致，且 CSAT 與 LBT 主要是 LTE-U/LAA 導入後與 Wi-Fi 的共享與共存機制。然而除了 Wi-Fi 外，還必須考量與更早的既有系統共享與共存，因此 LTE-U/LAA 尚須遵守 IEEE 802 的技術規範，例如：應用場景、容許最大發射功率、發射功率控制(Transmit Power Control, TPC)及動態頻率選擇(Dynamic Frequency Selection, DFS)等干擾迴避機制，整理如下圖所示。

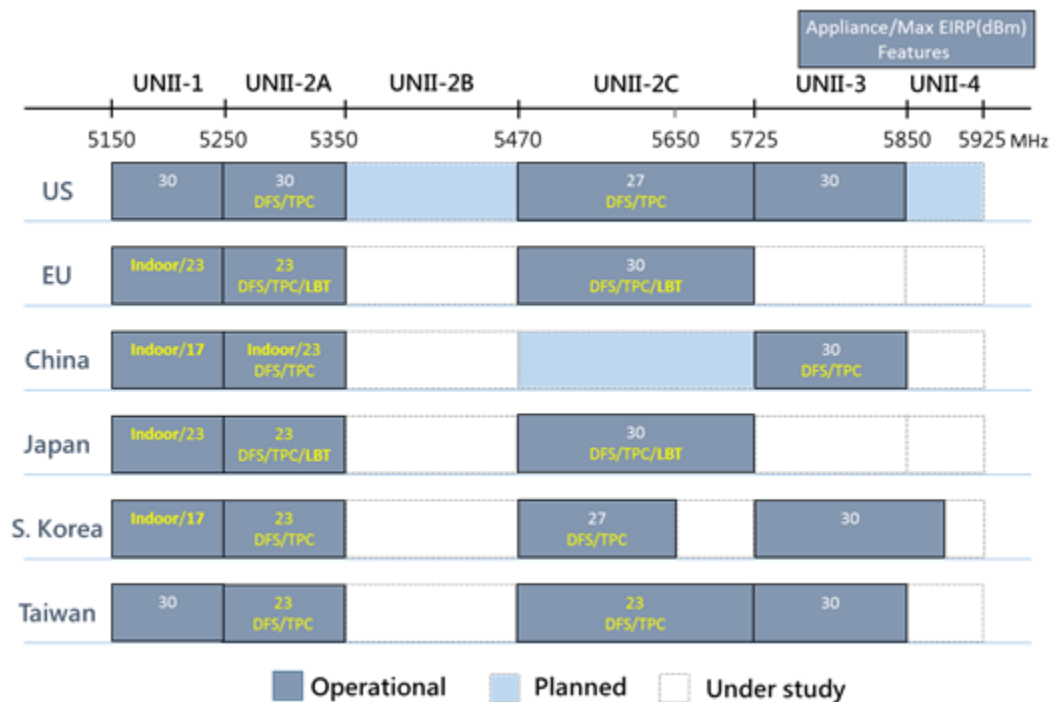


圖 2 -17：各國 5 GHz 應用情境及容許最大發射功率及接取規約

資料來源：本研究整理

雖然各國市場環境與商業模式不同，仍有相似的頻段規劃及技術準則；日本⁴⁸與歐盟 2015 年 1 月 1 日起採用相同的 ETSI 規範標準⁴⁹；我國則與美國 FCC Part 15 脈絡相近，通傳會於「低功率射頻電機技術規範」第 4.7 節明訂「無線資訊傳輸設備（Unlicensed National Information Infrastructure, UNII）」之相關規範，依據 4.7.1 之說明，UNII 係指操作於 5.15-5.25 GHz、5.25-5.35 GHz、5.470-5.725 GHz 及 5.725-5.85 GHz 之發射設備，應用寬頻數位調變技術，提供個人、商業及相關機構高資料傳輸速率之行動及固定通信。相關規範概述如下：

- 4.7.2：功率限制值。
- 4.7.3：不必要發射之限值，在操作頻帶外的峰值發射衰減。
- 4.7.4：自動中斷傳輸、發射功率控制（TPC）及動態頻率選擇（DFS）。
- 4.7.5：在 5.25-5.35 GHz 內操作之無線資訊傳輸設備，限於室內使用。
- 4.7.6：無線資訊傳輸設備須忍受合法通信之干擾，且不得干擾合法通信；如造成干擾，應立即停用，俟無干擾之虞，始得繼續使用。
- 4.7.7：無線資訊傳輸設備的製造廠商應確保頻率穩定性，如依製造廠商使用手冊上所述正常操作，發射的信號應維持於操作頻帶中。
- 4.7.8：天線之規格不受第 2.2 節規定之限制。

若我國未來將開放電信業者導入 LTE-U/LAA 之技術，上述規範需同時考慮。

⁴⁸總務省，5 GHz 無線設備の試験方法，2014，available at

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/ref/material/test/index.htm> (最後瀏覽日：2017/06/01)

⁴⁹ ETSI, Radio and telecommunications terminal equipment (RTTE), 2014, available at

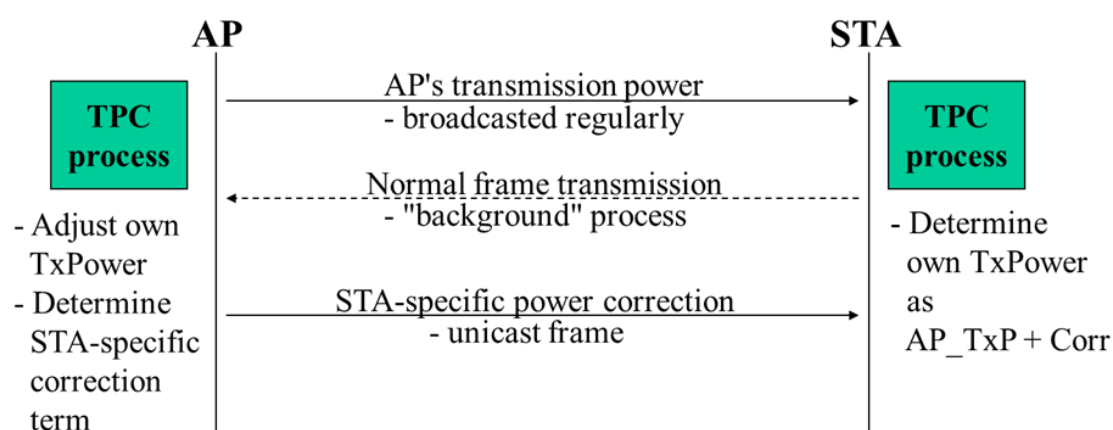
http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/rte/index_en.htm (最後瀏覽日：2017/06/01)

(二) LTE-U/LAA 其他相關重要技術與標準化進程

1、 相關重要技術

(1) 發射功率控制 (TPC)

於 Wi-Fi 涵蓋充足情況下，無線基地臺發射機與用戶終端發射機利用通訊協定來相互約束發射功率，避免對衛星涵蓋產生干擾與功率損耗，運作機制與行動通信的 GSM 功率控制相似，下圖為運作協議流程：



- New control signals conveyed in
 - *BeaconTxP* in Beacon management frames
 - ΔTxP in Poll data frames

圖 2 -18：發射功率控制 (TPS) 機制流程

資料來源：IEEE

(2) 動態頻率選擇 (DFS)

DFS 是針對 5 GHz 既存的都普勒氣象雷達系統的干擾迴避措施，Wi-Fi 在開始運作前偵測欲使用頻道的雷達系統能量，一旦偵測雷達能量高於門限值，便不使用該頻道。在運作中的 Wi-Fi 也會執行雷達

能量監測，發現偵測能量高於門限值，便啟動換頻道機制，確保對既有雷達系統不致產生干擾，在無 DFS 功能下，都普勒氣象雷達將受 WiFi 干擾。

(3) 載波感測可適性傳輸 (CSAT)

為了與 Wi-Fi 共存，LTE-U 採用 CSAT 技術，針對使用中的頻段偵測分析鄰近的基地臺數（包括 LTE-U 基站及 Wi-Fi AP），統計後依照總數切分可適性工作週期（Adaptive Duty Cycle），按時間切分進行共享運作，以達到時間上與相鄰基地臺公平共享之目的⁵⁰，運作機制如下圖所示。

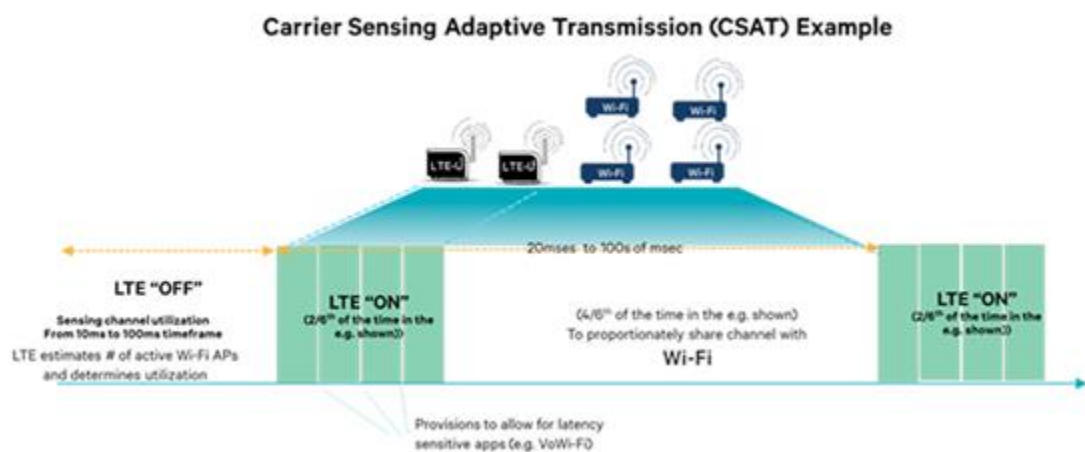


圖 2 -19：載波感測可適性傳輸（CSAT）機制流程

資料來源：Qualcomm

⁵⁰ Qualcomm, Making the Best Use of Unlicensed Spectrum, 2015, available at <https://www.qualcomm.com/documents/making-best-use-unlicensed-spectrum-presentation> (最後瀏覽日：2017/06/01)

(4) 先聽後送 (LBT)

為了與 Wi-Fi 共存，LAA 採用的是 LBT 技術。LBT 的運作機制是 LAA 基地臺在數據傳輸前先偵聽欲使用頻段上是否有數據在傳輸，基於各種基地臺 (LTE-U、LAA、Wi-Fi AP) 訊務考量下，迴避訊號互相干擾，提升頻段的使用效率。基本運作機制如下圖所示。

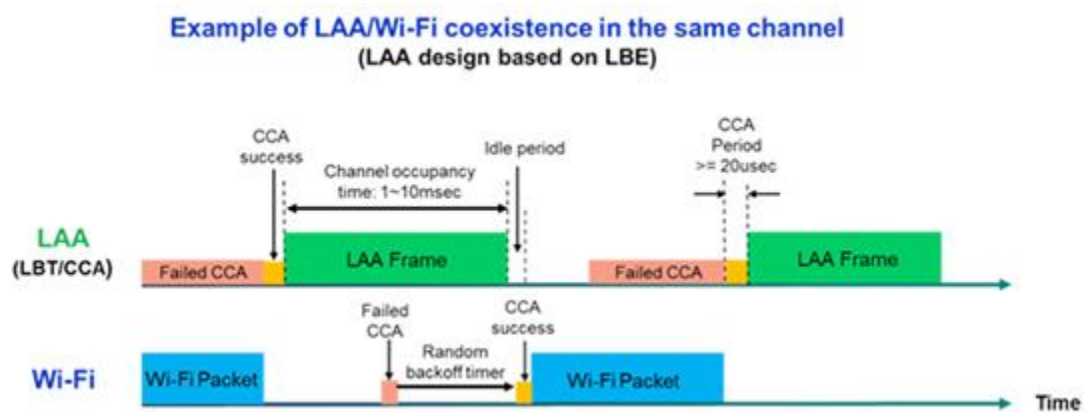


圖 2-20：先聽後送 (LBT) 機制範例

資料來源：Ericsson, 3GPP

(5) 載波聚合 (CA)

LTE 有分頻雙工 (frequency division duplex, FDD) 與分時雙工 (time division duplex, TDD) 兩種模式版本，相較於傳統的行動通訊技術，LTE 對於頻譜的使用非常有彈性，LTE 支援 1.4 MHz 至 20 MHz 的載波頻寬，3GPP R10 LTE-A (LTE-Advanced) 所定義的載波聚合 (CA) 允許將至多五個載波組合在一起，稱為成分載波 (component carrier, CC)。

行動業者依照其擁有的需執照頻譜找出適合運行的組合，可有效

提升頻率的可用性，擴大可用頻寬。隨著載波聚合技術持續演進，從僅在單一模式（FDD 或 TDD）的頻段內、頻段間進行聚合，到了 3GPP R12 已能允許 FDD 與 TDD 間混合模式聚合，大幅提升頻段資源利用的可能性。

(6) 分頻雙工補充下行鏈路（FDD SDL）

傳統的分頻雙工定義具備成對 1:1 的上下行頻率，由於行動寬頻流量對下行鏈路的需求比上行鏈路的需求更高，在國際標準制定討論及開發多載波聚合技術上，採用非成對頻譜對現有成對頻譜進行補強，以提高下行鏈路的容量，此概念被稱為「補充下行鏈路」（Supplemental Downlink, SDL），可說是載波聚合的一個特例。

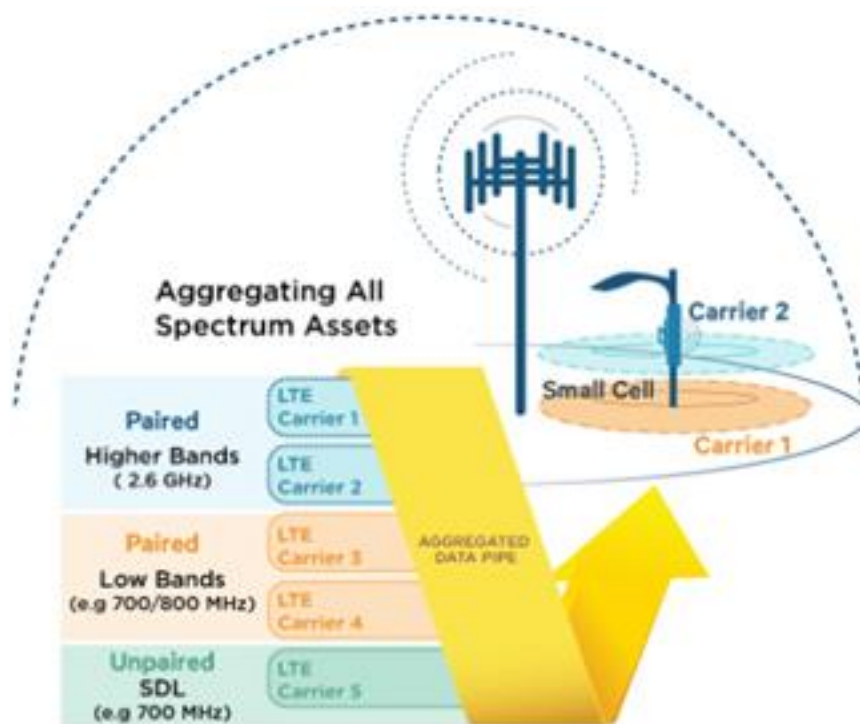


圖 2-21：補充下行鏈路（SDL）情境

SDL 已於 FDD 系統中實現並列為標準 3GPP R10 規範，其實現方法便是將 FDD 的上行碼框 (UL_Frame) 關閉，而運用此方法做成的系統因為沒有對應的上行頻率與通道存在，故無法單獨存在提供服務，必須於載波聚合情境下作為第二或第三以上聚合用頻譜資源，提供下行數據資料傳輸。

補充下行鏈路所使用之頻段目前在全球範圍內的商業化布建不多。依據目前 3GPP 的規劃，分佈在 700MHz 頻段，採用 Band 29 (717-728 MHz)、Band 67 (738-758 MHz) 規劃；1.4GHz 頻段，採 Band 32 (1452-1496 MHz, L-Band) 規劃，以及 2.6GHz 頻段，採 Band 69 (2570-2665MHz) 規劃，此類型頻段僅規劃下行鏈路頻率 (Downlink Only)；此外，尚有免執照頻段的 Band 252 (5150-5250 MHz, UNII-1) 及 Band 255 (5725-5850 MHz, UNII-3)。因此，未來 SDL 的開放使用上，也會因應需執照頻段與免執照頻段的規劃，而有不同的管制需求。

(7) 全下行訊框 (LTE frame structure type 3)

為了制定 LAA 的僅下行傳輸，3GPP Rel. 13 規範同時將原先只有 FDD (Type 1) 與 TDD (Type 2) 兩種碼框的標準增加了新的全下行訊框 (LTE frame structure type 3) 並規範僅用於 5 GHz 的 Band 43 (3GPP TS 36.211)，原理是將原先的 TDD 訊框中 10 個次訊框 (subframe) 全設置為下行與分頻雙工補充下行鏈路功能描述的方法相似但次訊框結構細節不同。

2、 3GPP 對於 LBT 與 SDL 標準化進展

(1) LBT 於 3GPP 標準化的技術內容與進展

目前 3GPP Rel.13 的研究項目 (Study Item) 中已將 LBT 確立為 LAA 的功能之一，並明確針對 LBT 定義了四種設置類別，分別為 Cat.1 至 Cat.4。並確立 LAA(含 LBT)將納入 3GPP Rel.13 規範。以下介紹 LBT 四種設置類別：

➤ 設置類別一 (Cat. 1)：No LBT

因應免執照頻段仍可能存在專屬頻段（例如中國大陸將專屬頻率配給三家運營商），也就無共享情境，故可以將 LBT 設置為關閉選項 (Cat. 1)。類似一般執照頻段載波聚合運作模式，預先規範為正規 FDD SDL 方式使用即可。

➤ 設置類別二 (Cat. 2)：LBT without random back-off

作法為符合 ETSI 規範 EN 301 893⁵¹當中的碼框時間判斷 (Frame Based Equipment) 分享；相近於 LTE-U CSAT 概念。

➤ 設置類別三 (Cat. 3)：LBT with random back-off with fixed size of contention window

作法為相似 ETSI 規範 EN 301 893 中的負載判斷 (Load Based Equipment) 分享，也就是會於固定時間內偵測通道使用情況，若同時有其他同頻設備使用中，則執行迴避，關閉發射。

⁵¹ ETSI, 5 GHz RLAN; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU, available at https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report_WorkItem.asp?wki_id=46061 (最後瀏覽日：2015/10/01)

- 設置類別四 (Cat. 4) : LBT with random back-off with variable size of contention window

作法為相似 ETSI 規範 EN 301 893 中的負載判斷 (Load Based Equipment) 分享，但是與 Cat. 3 不同之處在於 Cat. 4 係於非固定且較密集的時間內偵測通道使用情況，若同時有其他同頻設備使用中，則執行迴避，關閉發射。

以上四種設置類別，引起相當大的討論，因為 LAA 是否能夠完全於 3GPP 會議中被接受成為規格之一，最大的顧慮在於 5 GHz 免執照頻段已先由 IEEE 陣營的 Wi-Fi 使用，因此需要提出所有可能的干擾迴避措施，並確保與 Wi-Fi 能和諧共用才會被採納。經過一年的研究與討論，終於在 2015 年 9 月 3GPP RAN Plenary 第 69 次會議通過 LAA 成為工作項目，但 IEEE 陣營仍要求設置情境內有 Wi-Fi 共存時，需採用設置類別 4 較公平。

至於 LAA 與其他 LAA 共存規範，以及免執照頻段聚合通道具備上行鏈路的規範，在 3GPP Rel. 14 工作小組研究並制定。

(2) 補充下行鏈路與全下行訊框於 3GPP 標準化的技術內容與進展

3GPP Rel.13 對於 LAA 載波聚合在免執照頻段的規範，採用了新創的全下行訊框且僅准許於 5 GHz (Band 43) 操作。這其實是很奇怪的定義，探究 TDD 的訊框結構僅需新增一個格式便可完成，為何需要繞道多增加 Type 3，因為 TDD 系統陣營不希望這種全下行的訊框被擴及到全部的 TDD 頻段上使用導致角色淪為 FDD 的聚合補充頻段。當然 LTE-U 雖未能寫入 3GPP 標準但也需避免訊框設置踩到 TDD 陣營紅線，因此 LTE-U 的訊框設計利用了 FDD 訊框結構採用 3GPP Rel.10 的 FDD Supplemental Downlink。

(三) LWA 技術介紹

採用免執照頻譜 LTE 的另一個方法就是 LTE 與 WiFi 鏈路聚合技術(LTE-WLAN Link Aggregation, LWA)。雖然與 LTE-U 和 LAA 仍有一些差異，但是其實現的效果與 LTE-U 和 LAA 仍然非常類似。借助 LWA，可分離 LTE 資料有效載荷，一些流量會通過 Wi-Fi 傳輸，剩餘的則通過 LTE 本身來傳送。LWA 使用電信級 Wi-Fi 熱點來增大 LTE 數據服務能力，在 802.11 MAC 框架中傳送 LTE，因此雖然它正在傳送 LTE 資料，但是看起來卻像另一個網路的 Wi-Fi。

LWA 鏈路聚合其 Wi-Fi 鏈路在免執照頻段上運行，而 LTE 鏈路在執照頻段上運行，這種方法的最大優勢是，所有 Wi-Fi 流量都能從行動電話運營商 EPC 提供的服務中獲益。這些服務包括計費、深度封包檢測、合法攔截、策略、身份驗證等。當 LTE 信號消失，此服務就會中斷，而用戶仍可以通過 Wi-Fi 重新連接上網。這種方法與多鏈路或多路徑 TCP (MPTCP) 有點類似，不同的是，流量可結合到行動寬頻網路中，而不是返回 Internet。

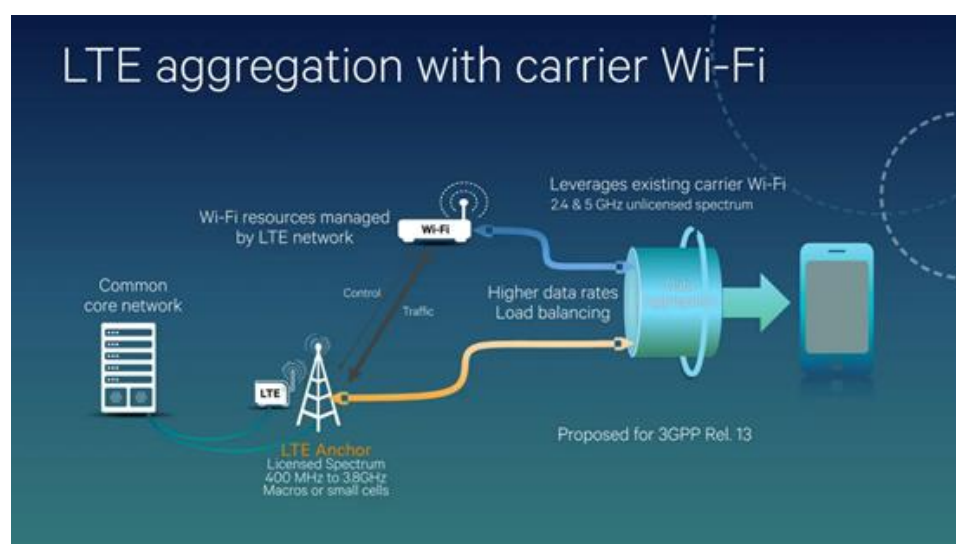


圖 2-22：LWA 系統運作情境

資料來源：Qualcomm

LWA 規範制定的進程與 LAA 一致，於 2016 年 3 月正式成為 3GPP Rel. 13 版本規範。

LWA 技術沿用雙連線 (Dual Connectivity) 架構，允許終端裝置 (UE) 同時與一個基地臺 (eNB) 和一個 Wi-Fi 接取點 (Access Point, AP) 進行通訊。其主要作法係在規範 eNB 及 UE 間無線 Uu 介面的封包資料匯聚通訊協定 (Packet Data Convergence Protocol Layer, PDCP) 中，建立一個 Split DRB (Data Radio Bearer)，由 eNB 將下行 (Downlink) 資料封包在 PDCP 層分流，而由 UE 端再將分流的資料封包依序重新組合 (Reordering) 回來，不僅可以達到流量卸載的效果，更可以提升使用者對高頻寬的實際感受。

三、LTE-U、LAA 與 LWA 的綜合比較與監理規範分析

本節所介紹之 LTE-U/LAA/LWA 三種機制，雖然都屬於利用 5 GHz 頻段補充行動寬頻之用途，但其所涉及的規範也因其運作機制以及技術的差異，而有所不同。

解決方案	LTE-U LTE in Unlicensed Spectrum	LAA Licensed Assisted Access	LWA LTE-WLAN Aggregation
標準	專有技術 Proprietary	3GPP Rel. 13	3GPP Rel. 12 and beyond
僅應用於小細胞	Yes	Yes	Yes
利用第三方WiFi基地台	N/A	N/A	No
無線接取方式	LTE based	LTE based	LTE+WiFi dual connectivity
系統接取規約	CSAT	LBT	CSMA/CA
免執照頻段採用	Band 252(UNII-1) Band 255(UNII-3)	Band 46	UNII 1-4
網路升級程度	無線接取網路與用戶終端需升級	無線接取網路與用戶終端需升級	無線接取網路與用戶終端需升級
後續發展	No	3GPP Rel. 14 eLAA可能實現 Stand alone	3GPP Rel. 14 eLWA可能實現 Uplink transmission

圖 2-23：LTE-U、LAA 與 LWA 比較

資料來源：本研究整理

觀察相關資訊可知，LTE-U、LAA 與 LWA 的技術發展，對行動寬頻市場注入了一個全新的頻譜使用模式，同時也為監理機關帶來了一些管理上的挑戰：

- 新技術顯示，LTE 與 Wi-Fi 於免執照頻段可以公平和諧共存，但在管理上應防止行動寬頻業者或 Wi-Fi 提供者於系統建置時便將相關避免干擾的功能（LBT/ CSMA）關閉而獨佔頻譜。
- 考量目前產品研發到市場商用時程，須同時注意 5G 系統進入市場時間，妥適進行開放規劃。
- 行動寬頻業者是否可使用免執照頻段提供商業服務並收費？
- 行動寬頻業者針對用戶於免執照頻段之使用流量如何計費？
- 將來各行動寬頻業者大量佈建 LTE-U/ LAA 後，是否會跟現在 2.4G Wi-Fi 一樣，變得非常擁擠以致速率慢不好使用？

針對 5 GHz 免執照頻段共享機制相關技術問題及監理規範，吾人認為未來的相關研究、規劃及評估，大略可以分為頻譜清查、器材、技術、營運與標準等面向來進行討論。根據我國目前的監理法規以及選用技術，初步就 LTE-U/LAA 及 LWA 所需法規調整議題綜合分析如后。



圖 2-24：5 GHz 免執照頻段共享機制未來規劃及評估所需考量之面向

資料來源：本研究整理

5 GHz 屬於免執照頻段，任何人都可以使用經審驗合格之設備利用該頻段。然而，從電信業務監理的角度而言，使用者的身份若為電信事業，則在其營業網路中使用到免執照頻段，即牽涉到其業務之監理，從而必須修訂法規或規範業者必須經一定之過程，才能使用免執照頻譜提供電信服務。

LWA 要求在一固定場所部署 LTE eNB，任何非與 eNB 整合之 Wi-Fi AP 都要進行軟體升級以支持 LWA。國內通訊晶片大廠聯發科與法人合作，積極投入開發，繼完成可支援 LWA 之數據晶片後，續與主要行動業者、小型基地臺設備商及智慧終端廠商攜手合作，成功打造自主完整的 LWA 生態體系。

LTE-U/LAA 則相對較為複雜，兩者在技術性質上皆是將 LTE 技術用於 5 GHz 頻段，相較於 5 GHz 之既有技術，屬於新加入之技術。

LTE-U/LAA 最大的差異在於其與 WiFi 和諧共存之技術機制，LTE-U 符合我國既有低功率射頻器材之規範，但其設備仍屬於電信業者端之設備，故在業者進行設備佈建時，應考慮進行審驗與管理。惟 LTE-U 並非 3GPP 標準，並使用到設備商之自有技術，致使未來該技術之演進有難以估計的問題。

使用 LBT 機制之 LAA 已納入 3GPP 標準，未來仍將持續演進。由於歐盟明確採用 LBT 規約作為使用 5GHz 頻段設備審驗之依循，有關 LBT 機制之功能需求及測試流程，可參閱 ETSI TS 36.104 及 TS 36.141 等技術規範。

第三章 國際頻譜共享機制與我國需求之比較分析

第一節 國際頻譜共享機制之分析比較

一、 電視頻段共享 (TVWS)

(一) 機制背景

綜合主要國家 TVWS 之發展，美國、英國主要是因為進行無線電視數位轉換，2009 年美國完成無線電視數位轉換，數位無線電視服務對於頻譜的需求下降。此外，美國有許多地區並未被數位電視訊號涵蓋、且美國數位電視採取複頻網配置，為了防止訊號干擾而規劃區隔之頻段，在部分地區亦閒置未用，這些閒置頻段被稱為 White Space。英國於 2005 年進行數位電視轉換計畫，於 2012 年完成。數位轉換後，保留予數位電視多頻道傳輸平台的 256MHz 頻譜，尚有部份未充分利用的閒置頻段 (Interleaved Spectrum，即為 White Space)，後續即考量規劃如何有效利用此類型閒置頻段。

也因此，頻譜共享機制在此一階段中，主要考量為頻譜效率之提升，並促進偏遠地區之無線寬頻服務。由於頻譜共享資源較不穩定，相對使用成本也較低，故美國、英國多數 TVWS 之案例均為鄉村地區或偏遠地區寬頻服務。

新加坡則並非因為無線電視數位轉換而關注 TVWS 之發展，主因在於新加坡與馬來西亞、印尼等國家相鄰，因此為了避免彼此的電視訊號干擾，相互規劃使用不同的電視頻段，因此新加坡在電視頻段中擁有相對較多之閒置頻譜，故新加坡主管機關 IMDA (Info-communications Media Development Authority of Singapore) 亦於 2011 年起，結合資通訊服務與設備相關業者進行概念實證與規範研擬，展開 TVWS 技術之運用。

（二）法源依據

美國規劃 TVWS 頻譜共享機制，法規授權來自於 1934 年通訊法（Communications Act of 1934）第 301、303、306 條之規範，無線電頻率之使用需得到 FCC 許可；FCC 亦有責任與權力，針對干擾防止、無線電台位置、種類、營運資格、條件等制訂規範，並可考量公眾便利、公共利益與必要性前提，為新技術開發與實驗用途，規劃更有效率之頻譜使用。

在法規授權之下，FCC 制訂 TVWS 的使用規範於美國聯邦行政規則 47 C.F.R Part 15，以開放無線電設備（Radio Frequency Devices）規範之。其中電視頻段設備（Television Band Devices，TVBDs）共享之技術標準與規範為第 15.701~15.717 條閒置頻段設備（White Space Device，WSD），整體規範，包含：免執照原則、設備類型及功率限制、地理位置資料庫之要求及管理者之責任。

英國無線電頻率管制規範為 2006 年無線電信法 Wireless Telegraphy Act 2006（下稱 WT Act），包含：頻譜使用規劃、執照管理、設備許可管理、干擾、禁止規範與相關罰則等。針對 TVWS 規範之授權則來自於 WT Act 第 8 條有關頻譜執照之授予與豁免，第 8 條（3）、（4）、（5）項授權 Ofcom 在考量無線電服務不會造成有害干擾之前提下，可制訂行政規則開放特定服務可以免執照之方式利用頻譜資源。

Ofcom 依據上述授權制訂 The Wireless Telegraphy（White Space Devices）（Exemption）Regulations 2015 行政規則，此一規範以 TVWS 設備為主，並未涉及地理位置資料庫及管理者之規範。推測原因在於 Ofcom 於 2015 年 12 月才正式開放 TVWS 服務，之前雖有許多業者展開商業測試，但當時尚未正式

開放。目前 Ofcom 已通過審查二家資料庫業者之資格與技術，並與業者簽訂行政契約。

新加坡無線電頻率之管理規範主要依據電信法第 33~35 條，非經主管機關許可，不得使用、販售、安裝維護無線電通信設備。新加坡 TVWS 共享機制由 3 個環節構成，首先是頻譜共享之使用與管理，主管機關 IDA 依據法律制訂了豁免規則 Telecommunications (Exemption from Sections 33, 34 (1) (b) and 35) (Amendment No. 2) Notification 2014，使 TVBDs 之設備可使用相對應之電視頻段；另外 TVBDs 必須經過一般設備登記 (General Equipment Registration, GER) 計畫審驗通過並登記。第 2 個環節是針對地理位置資料庫管理者，IDA 決定資料庫管理者必須依據新加坡電信法申請以服務為基礎之業者許可 (Services-Based Operator, SBO)。最後是頻譜共享管理架構，IDA 在 2014 年 11 月發布了管制架構，具體規定頻譜使用條件、頻段規劃、禁止有害干擾等，正式開放 TVWS 之使用。

(三) 規範重點

1、 以免執照為基礎

美國於 2008 年發布行政命令，展開閒置頻譜之利用，只要符合 FCC 行政命令與技術規範之設備 (TV Band Devices, TVBDs)，即可免執照利用閒置之電視頻段。FCC 指出，開放閒置頻譜共享利用，除了增加無線通訊之頻譜供給外，同時提升頻譜的使用效率，有助於提供各式無線通訊的業者推出新興服務。FCC 認為在免執照的基礎上開放使用 TVBDs 的裝置，另透過一系列的限製規範來保護取得執照的既有服務商，是符合公眾利益的方式。如此不僅可為這些頻譜引進創新的使用，也同時保護廣播電視或其他授權服務的經營。另一個考量點在於，當電信業者使用頻譜提供

服務時，較佳的模式是給予明確界定的、排他的、靈活及可轉讓的頻譜使用權，但頻譜共享機制缺乏這些特性，服務具有不確定性，頻譜的分布與數量不穩定，隨著頻段使用率、地點、時間的不同，頻率的可使用條件亦各地不一，因此不以執照管制。

新加坡同樣決定 TVWS 的使用將在免執照的基礎上，使用者必須遵守 IDA 所定義之技術操作規範。而使用於 TVWS 的設備（White Space Device，WSD），必須通過 IDA 的設備檢驗規範。因為 WSD 是一項新技術，可能有潛在造成干擾的問題，IDA 實施一般設備登記（General Equipment Registration，GER）計畫，以全面性的驗證過程，通過 IDA 認可的驗證機構檢驗或通過 IDA 評估，要求設備商與供應商必須依據 GER，向 IDA 登記 WSD，方能於市面販售。

英國於 2007 年開始規劃 TVWS 時，Ofcom 在 Digital Dividend Review 中便已建議免執照（Licence-Exempt）的基礎，而後於 2009 年 Digital Dividend：Cognitive Access 中，依據 2006 年無線電信法（Wireless Telegraphy Act 2006）Section 8（4）與（5）之規定，Ofcom 認為無線通信基地臺或設備的使用不會產生有害干擾，決定以免執照方式、結合地理定位資料庫，並設定設備使用參數管理 TVWS 之使用。隨著 2015 年 2 月實現電視 White Spaces 頻段（Implementing TV White Spaces）聲明文件的發布，Ofcom 同時也公布了有關 White Spaces 設備豁免管制規則（White Space Devices Exemption Regulations），除規範設備的要求外，也闡明設備與地理定位資料庫的運作規範。

2、 地理資料庫管理頻譜

TVWS 機制能夠避免干擾既有使用者，主要因各國發展出以地理資料庫系統管制頻譜使用與共享者所在區域，從而使共享者可避開既有使用者所在地。美國、英國、新加坡之資料庫運作流程均大同小異，當使用於 TVWS 頻段的設備（White Space Device，WSD）查詢所在地資訊時，須先連線至合格的資料庫業者，地理資料庫將會由不同的業者提供，資訊包含既有使用者之狀況、各地區的頻譜使用狀況資訊。WSD 則向合格的資料庫業者，取得設備所在地的可用頻譜以及最大可傳輸功率等資訊，以確保不會對既有服務造成有害干擾。目前各個資料庫業者（White Space Data Base，WSDB）分別獨立運作，彼此之間並未交換資訊，但未來 WSD 的使用越來越廣泛，WSDB 之間便可能有交換資訊的需求。擁有既有執照授權的頻譜使用者，如：無線電視、PMSE（Programme Makers and Special Events）服務，需要提供關於所擁有的頻譜在各地區使用狀況的資訊。

各國之資料庫均必須經過主管機關的測試，以確保資料庫能夠依據相關規範架構，正確的提供資訊。資料庫的資訊必須在執照服務提供資訊後迅速更新。資料庫必須保持隨時可用，保持高度的可用性。TVWS 設備必須週期性的向 WSDBs 查詢，以確保資訊的及時性。一個具有充分資訊與智慧化的資料庫，除了可以提供閒置頻譜的資訊予服務設備，也可進一步提供可用頻道以及可用傳輸功率的資訊。因為資料庫記載執照裝置與免執照裝置的相對距離，這些資訊可以輔助計算適當的發射功率與相鄰頻道的溢波限制。換言之，閒置頻譜裝置有機會可以用高於主管機關原先所設定參數的功率運作。

3、 整體分析

TVWS 係以電機電子工程師協會 (IEEE) 802 系列為通訊技術標準，主要用於新興服務之發展，在案例中包括鄉村地區無線寬頻服務、物聯網服務等，也因此，TVWS 頻段之使用以免執照為基礎。

TVWS 機制的另一重要意義在於頻譜地理位置資料庫系統的發展，成為往後各種新頻譜共享機制的管理核心，也使存在既有用途之頻譜，其可能的閒置可用機會能夠被善加利用，提升整體的頻譜使用效率，也為行動寬頻服務提供更多的額外頻譜，可說是頻譜共享機制核心要素之一。

由於 TVWS 頻段之既有使用者主要為數位無線電視，電視訊號涵蓋區域在美國、英國此類國土範圍較大之國家而言，其可用區域相對較大，但即使如此，已開放運作之案例仍不易見到高度商用化的案例。

同時，TVWS 機制所使用之頻段範圍 (470-698MHz)，目前 ITU 尚未完成全球一致的國際行動通訊頻段 (IMT) 協調，也並未納入主流行動通訊 (4G LTE) 之頻段計畫 (3GPP Band Plan)。目前為止，尚無法找到具 TVWS 通訊模組支援能力的手機、平板等用戶終端設備。

二、 美國 CBRS

(一) 規範背景

前述 TVWS 之產生較偏向頻譜效率提升、新技術發展以及偏遠地區寬頻補充，而美國 CBRS 之規劃背景，則為因應高速成長的行動寬頻網路傳輸量。FCC 於 2010 年 3 月發布之國家寬頻計畫 (National Broadband Plan) 中指出，寬頻傳輸量持續成長將導致頻譜資源短缺。故 FCC 與美國國家電信暨資訊管

理局（National Telecommunications and Information Administration, NTIA）共同合作調查無線頻譜資源現狀，並宣示 2020 年前應釋出約 500MHz 頻譜資源供寬頻服務使用。

2010 年 6 月，美國總統歐巴馬發布釋放無線寬頻革命（Unleashing the Wireless Broadband Revolution）備忘錄⁵²，要求商業部（DOC）、NTIA 與 FCC 協同合作，持續尋找可釋出、運用於行動寬頻服務的頻譜資源，除透過專用執照的釋出外，亦可藉由頻譜共享機制釋出更多可用頻譜，提升整體使用效率。

2010 年 10 月，NTIA 發布調查報告⁵³，由聯邦政府使用頻段挑選具有潛力，可供行動通訊服務之頻段，其中 3550-3650MHz 頻段既有使用者為軍方雷達及固定式衛星，具有共享釋出之潛力，且該頻段之物理特性可做為行動寬頻補充。

另一方面，頻譜執照釋出需經過清頻、規劃、拍賣與核配等漫長過程，因此美國總統科技顧問諮議會（President's Council of Advisors on Science and Technology, PCAST）於 2012 年 7 月提交給總統的「釋放公部門持有頻譜的完整潛力以促進經濟成長（Report to the President：Realizing the Full Potential of Government-Held Spectrum to Spur Economic Growth）」報告中提到，頻譜使用技術的改善，為頻譜使用帶來更多彈性，使公部門頻譜可透過共享機制提升使用效率，並提升網路傳輸容量，促進新服務與新技術的投資。

⁵² US, Presidential Memorandum on Unleashing the Wireless Broadband Revolution, 2010, available at <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/DCPD-201000556/pdf/DCPD-201000556.pdf>

⁵³ NTIA, An Assessment of the Near-Term Viability of Accommodating Wireless Broadband Systems in the 1675-1710 MHz, 1755-1780 MHz, 3500-3650 MHz, and 4200-4220 MHz, 4380-4400 MHz Bands (President's Spectrum Plan Report), 2010, available at <https://www.ntia.doc.gov/report/2010/assessment-near-term-viability-accommodating-wireless-broadband-systems-1675-1710-mhz-17>

FCC 據此展開公民無線寬頻服務(Citizens Broadband Radio Service, CBRS)之規劃，期望在避免既有使用者遭受有害干擾前提下，透過有效之技術規範提供共享使用。3.5 GHz 頻段的既有使用者有國防部雷達、非聯邦的固定衛星服務(FSS)的下行傳輸以及太空對地球通信操作等，在其相鄰 3550MHz 頻段則有軍方高功率地面及空中雷達，也因此短期內難以遷移軍方設施或升級相關設備。若能透過先進的頻譜共享機制，可讓聯邦或非聯邦的專用頻譜亦可用於商用行動服務。

(二) 規範重點

1、小區域、短效期之優先接取執照(PAL)

3.5 GHz 的特點，由於既有使用者為國防部雷達及固定衛星服務，且頻段傳輸距離較短，在考量以禁制區保護既有使用者後，並不適合如目前商用行動寬頻的方式，以一般基地臺布建服務，而需使用小型基地臺以及頻譜共享使用，以增加 3.5 GHz 頻段的可用性。CBRS 採取 3 層級的授權架構。包含第 1 層級的既有使用者(Incumbent Access, IA)、第 2 層級的優先接取執照(Priority Access Licenses, PAL)、第 3 層級的一般許可接取(General Authorized Access, GAA)。

小型基地臺的低功率特性，可覆蓋有針對性的室內或室外局部大小不等的區域，如家庭、辦公室、體育館、商場、醫院建築物密集區域的室外空間，在覆蓋區域中提供更大的網路傳輸容量，相比起一般基地臺，小型基地臺可由企業用戶或電信業者以低廉的成本加以布建。因應此一特性，FCC 也將 PAL 執照依人口普查區域進行畫分，而非一般固定大小的地理區域，因為普查區結合人口密度與行政區界，故 FCC 認為人口普查區域的畫分可讓有意申請 PAL 執照的業者選擇特定需加強網路傳輸涵蓋的區域，而可避免不必要的範圍申請。

PAL 執照效期僅有 3 年，並得延長 1 次，也因此許多業者認為執照效期過短將影響業者的參進意願，並對於設備投資能否回收有所顧慮，因為執照效期短，業者可能不願意進行大規模投資。FCC 認為，參酌 TVWS 係基於免執照頻譜共享的經驗，在美國各地仍有非常多的業者投資在網路布建及設備發展上。實際上由 CBRS 的三層級架構規劃可以得知，PAL 執照是在 GAA 免執照的基礎上作為額外的誘因，吸引更多的業者參與 3.5 GHz 之共享，也針對頻譜品質保障要求較高的業者，提供一個以競標為基礎的方式取得 PAL 執照。同時，由於 GAA 擁有保留可用的頻段，即使 PAL 執照屆期，未續取得 PAL 執照的業者仍可以 GAA 的身份繼續使用頻譜，已投資設備並不會陷入無法使用的情況。此外，由於 3.5 GHz 的頻譜特性，業者布建設備將以小型基地臺為主，投資成本相較於一般基地臺布建相對較低，若 CBRS 服務確實為業者帶來相當益處，業者也有更大的誘因繼續參與更新一輪的 PAL 執照拍賣。

最後，FCC 希望能鼓勵業者在短效期執照制度下，發展新的商業模式，例如共享分布式天線系統（Distributed Antenna Systems，DAS）可能也適用於 3.5 GHz 頻段的小型基地臺網路，或是其他網路設備共享的商業模式，促進此類型網路基礎設施的投資。而願意競標取得 PAL 執照的業者，亦可反映出業者利用 3.5 GHz 頻譜提供無線服務之意願。

2、 以免執照為基礎之一般許可接取（GAA）

CBRS 的 GAA 使用者將透過「依規則許可（License-by-Rule）」的方式取得頻譜使用權。所謂的依規則許可，是一種管制程度介於執照許可及免執照規範之間，以免執照為基礎，針對使用者額外設定使用規範與許可授權的制度，在 CBRS 中將透過頻譜接取系統（Spectrum Access System, SAS）執行使用者授權許可與頻譜分配管理的任務。FCC 認為在 CBRS 多

層級架構下，透過許可制進行管理，可有效降低干擾既有服務的可能性；其次，依規則許可制能夠讓該頻段之使用授權具有一致性，避免涉及 FCC 其他行政規範，尤其在 FCC 免執照頻譜行政規範類型眾多，若僅以免執照規範，可能面臨與其他規範衝突。

3、環境感測能力佈建對頻譜可用性的影響

3.5 GHz 頻段的共享概念係由 NTIA 所提出，而 NTIA 本身即負責美國聯邦公部門的頻譜使用管理，因此前述 NTIA 針對短期間可用於無線寬頻之無線頻譜所做之調查報告中，詳細的分析了該頻段的既有使用者的分布狀況，包含軍方使用的機載、艦載、地面雷達的干擾分析與禁制區（Exclusion Zones）的劃定，也針對基地臺與行動終端設備在 3.5 GHz 頻段中運作進行訊號與功率的分析，故初期估計約需劃設由海岸線向內陸延伸約 50~60 公里之禁制區，而後經 FCC、NTIA 與國防部合作分析後，將範圍縮小至約 3 公里範圍。FCC 並規劃後續第二階段將藉由環境感測能力（Environmental Sensing Capability，ESC）的布建，能夠進一步縮小禁制區，轉換為保護區，在設備的功率使用上將更有彈性，也能夠獲得較大的頻譜可用性。

三、 歐盟 LSA

（一） 規範背景

歐盟於 2012 年 9 月發布促進無線頻譜資源共享（Promoting the Shared Use of Radio Spectrum Resources in the EU）通訊文件，提到無線頻譜共享技術的重要性、創新發展的誘因及明確的法律規範需求，其中可觀察到歐盟對於頻譜共享之機制設計重點，在於提供經濟上的誘因與明確的規範，在共享頻譜的接取

上，授予一個保證的使用權（Guaranteed Rights of Use），作為管制機關的規範基礎。而後由歐盟 RSPG(Radio Spectrum Policy Group，無線電頻譜政策小組)於 2011 年 11 月的「Report on Collective Use of Spectrum (CUS) and Other Spectrum Sharing Approaches」中發展成為許可共享接取（Licensed Shared Access,LSA)機制，而後 RSPG 於 2013 年 11 月發布「RSPG Opinion in Licensed Shared Access」，進一步奠定 LSA 的基礎。

由前述歷程可知，歐盟 LSA 機制的背景，主要在於利用頻譜的共享機會，以因應行動寬頻的需求，尤其某些頻段在部分會員國的既有用途，在短期之內不易重整釋出。例如：2.3GHz 頻段在歐盟各國的利用狀況便有不少差異。而頻譜的共享機會主要係因頻譜的使用具有時間或空間上的閒置狀況，例如部分用途在固定地理區域，因此其他區域便可使用相同頻段；或者，部分用途係事先安排於特定時間地點，因此只要有適當的管理工具，便可妥利用閒置的時間或地點。

歐盟各國在 2.3GHz 的使用情況均有所不同，因此並非所有國家均能使用全部的 2.3GHz 頻段，考量到部分國家長期政策係保障既有服務，倘若部分國家準備利用 2.3GHz 於行動/固網通訊網路（Mobile/Fixed Communications Network, MFCN），需要協調統一的頻譜管理規範，包含頻譜區塊規劃以及技術標準規範，因應部分歐盟會員國於 2.3GHz 頻段希望兼顧保留既有服務、與同時提供 MFCN 服務之需求。故若歐盟會員國希望能在 2.3GHz 頻段同時保護既有服務以及提供 MFCN，可執行 LSA 機制，建立自身的頻譜共享架構。

在考量建立頻譜共享架構時，必須先考量可能的頻譜共享機會，根據既有使用者的頻譜使用模式，共享機會可能來自於以下三種情境：

- 靜態共享（Static Sharing）：既有使用者僅在特殊地域使用特定頻段，與時

域無關。例如軍事、航空雷達畫分「禁止/保護區 (Exclusion/Protection Zone)」；或者依功率限制行動業者僅能在室內環境接取使用。

- 半靜態共享 (Semi-Static Sharing)：既有使用者在可預先定義的時域，或特定地域條件下，使用特定頻段。例如：運動賽事、棚內節目製播等場所之無線攝影、麥克風等設備接取使用。
- 動態共享 (Dynamic Sharing)：來自既有者的保護請求是無法預測的，既有使用者可動態決定在特定時域，或特定地域條件下使用特定頻段。例如戶外新聞採訪現場之無線麥克風、無線視頻鏈路接取使用。

在上述情境之下，LSA 機制必須能兼顧提供 MFCN 額外可用頻譜、並保護 2.3GHz 頻段既有服務之目的。歐盟 ECC 針對各式既有服務與 MFCN 設備共存之技術條件進行許多測試，ECC 則建議實施 LSA 的會員國主管機關進行全國性的研究（如：確定一個合適的傳輸模式模型，設置相應的國情的技術特性），以獲得更有效的共享。

（二） 規範重點

1、 LSA 頻譜共享架構

2.3GHz 的既有服務多數具有限定時間或地點的特性，可透過如地理資料庫的方式，在分時、分地或分頻的基礎上進行頻譜共享。對此，歐盟電子通訊委員會 (Electronic Communications Committee, ECC) 在 2014 年 2 月的 ECC Report 205，針對 LSA 整體架構提出相應的規劃建議。

LSA 頻譜共享機制亦以地理資料庫系統作為頻譜管理的核心，主要由 LSA 頻譜庫 (LSA Repository) 和 LSA 控制器 (LSA Controller) 兩個重要角色所構成。其中，LSA 頻譜庫主要提供依據既有使用者頻譜使用情形而

得之的頻譜可用性資訊、共享使用者的許可狀況以及主管機關可能的政策指示；LSA 控制器則依據共享架構，控制共享使用者自 LSA 頻譜庫取得特定頻譜使用許可條件，再依其可用性調整行動網路的頻段配置。從另一個層面來說，兩者之間的區分實益在於，提供頻譜共享的既有使用者，可能是較為敏感的公部門，如：軍方、科學研究等，這些使用者的資訊可能屬於機密或敏感事由，此時 LSA 頻譜庫與 LSA 控制器兩者之間角色相互獨立，可形成一道資訊防火牆，避免機密敏感資訊洩漏。

2、 授予共享使用者獨立使用許可

在規範授權許可部分，依據歐盟電子通訊管制之架構指令（Framework Directive）Art. 9 § 1 之規範，無線頻率之分配，需依據客觀、透明、無差別待遇與適當的標準。歐盟會員國在實施 LSA 前，必須制訂相應的頻譜共享規範，根據既有使用者的頻譜使用模式，訂定合適的共享架構及相關許可規則。共享使用者需遵循執照規則，自監理機關取得 LSA 頻譜許可後，在確保既有使用者不受有害干擾的使用條件下共享頻譜資源。

針對許可的性質，ECC Report 205 中也提及，依據歐盟電子通訊管制之許可指令（Authorisation Directive）Art. 5 § 1，所謂的許可，係指一般許可（General Authorisations）或獨立使用權（Individual Rights of Use），ECC 建議採取獨立使用權之許可。依據 RSPG 之意見，LSA 之許可並非新的頻譜執照類型，而是在特定頻段上引進共享使用者，促進頻譜的使用效率。LSA 機制重視既有使用者的保護，並期待共享使用者的服務品質是可預測的，因此不規劃免執照使用，而以有限制數量的個別許可為基礎，依據 ECC 的建議，LSA 的每個使用者都需要一個獨立的（但不一定是唯一的）的許可。

也因此，LSA 機制與頻譜次級使用（Secondary Service）不同，LSA 機

制係在既有使用者不使用頻譜時，給予共享使用者利用頻譜的機會，既有使用者要求使用權時，共享使用者便需退出；次級使用則是頻譜使用權優先授予既有使用者，在既有使用者完全未使用的區域，才分配給次級授權用戶，主要用途申請新的執照時，將先收回次級用途的執照，主/次使用者相互不重疊。不干擾此種規劃的另一個目的也在於提供參與誘因給潛在的共享者，透過明確的管制措施、穩定的頻譜可用性，保障共享者的投資，提升參進意願。

3、 頻譜資源資訊之交換、保密與正確

LSA 系統係為既有使用者與 LSA 持照者間之溝通橋樑，提供既有使用者之可共享頻段與時機等資訊。同時，LSA 系統在某特定的頻譜共享架構下，對於其所掌握的可利用頻譜資源資訊，僅能夠知會相關的既有使用者與 LSA 持照者，既有使用者與 LSA 持照者之間已協調好的共享頻段，也不能讓其他既有使用者知道。

此外，LSA 系統必須能把錯誤訊息提供給既有使用者與 LSA 持照者，讓雙方能有後續適當的反應動作。舉例來說，當 LSA 系統偵測出既有使用者所提供的資訊無效時，LSA 系統會通知既有使用者與 LSA 持照者，讓雙方能依據於協議共享頻譜時所訂定的系統錯誤處理程序來進行後續動作。

4、 支援監理機關共享政策、資料儲存與回報

LSA 系統必須要能夠在國家層級之頻譜共享架構下運作，也就是必須遵守監理機關針對頻譜共享架構所設定的共享規則與條件。另外 LSA 系統須具備其運作時所有資訊存取、修改與更新之功能，這些資訊包含 LSA 頻譜資源之定義、共享規則之定義、頻譜既有使用者所需求之頻譜及干擾防護程度等等。

LSA 系統之運作是依據可靠的共享規則，而共享規則之訂定除了透過事前協議外，也能視系統運作情況來修訂，因此，LSA 系統需具備回報功能，讓利益相關者能瞭解系統運行狀況。

第二節 相關頻段於我國之運用情境與需求分析

依據本文前章節針對各國發展頻譜共享機制時，所納入規劃之頻段，在 TVWS 部分，可概略歸納為 470~790MHz，歐盟 LSA 機制規劃 2.3GHz，美國 CBRS 則規劃為 3.5 GHz (3550~3700MHz)。以下針對各相關頻段進行可用性分析。

➤ 470~790MHz

在此一頻段中，其中 700MHz (694~790MHz) 部分已分別經由 ITU 之 WRC-12、WRC-15 兩次會議決議，規劃為全球行動通訊 (IMT) 頻段，而我國在完成無線電視數位轉換後，亦已將重整完成之 700MHz 採 3GPP LTE Band 28 (上行：703~748MHz；下行：758~803MHz) 釋出為行動寬頻業務，與國際趨勢一致，商用網路與終端設備支援都非常豐富。

另一區塊為 500~700MHz (470~698MHz)，由於該頻段並未經 ITU 協調一致，僅第 2、3 區 (我國為第 3 區) 部分規劃為 IMT 頻段，故 3GPP 尚未針對此頻段有任何規劃。我國在此一區塊的狀況，目前 530~608MHz 部分規劃為無線數位電視服務，部分則保留尚未釋出。我國既有無線數位電視服務採單頻網配置，但後續數位無線電視頻率政策仍有變動可能 (如第二單頻網) 保留頻段的意義與美國、英國採複頻網配置有所不同，但仍保留導入 TVWS 之可能性。

而 608~698MHz 的部分則無規劃，但其上仍有既設電台使用中。目前計畫在限制範圍區域內可供作實驗用途。由於 3GPP 並無規劃，建議可作為促進新興無線服務發展之用。

➤ 2.3GHz

ITU 早於 WRC-07 已決議將 2.3GHz 規劃為 IMT 頻段，3GPP 分別納入規劃為 FDD LTE Band 30（上行：2305～2315MHz、下行：2350～2360MHz）、以及 TDD LTE Band 40（2.3～2.4GHz）。我國與英國發展類似，已規劃將 2355～2390MHz 部分以 TDD Band 40 釋出為行動寬頻業務。而 2300～2350MHz 則仍存在專用電信，短期內該頻段應無法規劃以共享機制釋出，但可規劃將該頻段部份頻率提供限制區域範圍之實驗用途。

➤ 3.4～3.8GHz

ITU 於 WRC-15 決議將 3.4～3.6GHz 規劃為 IMT 頻段；而 3GPP 則將 3.4～3.8GHz 分別規劃為 FDD LTE Band 22（上行：3410～3490MHz、下行 3510～3590MHz）；TDD LTE Band 42（3.4～3.6GHz）、Band 43（3.6～3.8GHz）、Band 48（3550～3700MHz）。我國則將 3.4～3.6GHz 規劃為行動寬頻候選頻段，3.6～3.8GHz 則尚無規劃。整體而言，3.4～3.8GHz 頻段在我國仍為專用電信使用，且以衛星通訊為主，短期內可能不易清頻與重整，故建議可調查既有專用電信之使用狀況，研析是否具有頻譜共享之機會，以決定是否可以共享釋出，或先行規劃做為室內用途以及實驗頻譜之用。

第三節 適合我國之監理架構初步分析

管理架構	專屬權利	層級式共享		開放共用	
頻段		需執照		免執照	
使用		許可使用	免許可使用		
機制發展	3G、4G	歐盟LSA	TVWS	LTE-U/LAA WiFi	
		美國CBRS			
創新性	低				高
QOS	高				低
使用成本	高				低

圖 3 -1：層級式共享機制之法規定位

資料來源：本研究整理

由主要國家頻譜共享機制之發展可以觀察到，在監理規範層面，應先就以下問題進行分析：

一、採取許可制或免許可制

在三套共享機制中，僅有 TVWS 是免許可使用，亦即共享使用者並無特別設限；但在後許發展之美國 CBRS 與歐盟 LSA 機制，則均設定有共享使用者之限制，美國的三層式架構中，具有優先權之 PAL 係採取執照制，可能採競標釋出，歐盟 LSA 之共享使用者也是需取得執照，這樣的轉變也是因為共享機制必須保護既有使用者，倘若共享使用者之數量過多，可能造成干擾難以管理。

我國頻譜使用環境限制較多，國土範圍小，因此共享使用者之管理也是我國導入共享機制之主要問題，故參酌國際發展之考量，我國應考慮採取許可制，由主管機關對共享使用者之數量進行限制，以降低機制運作初期頻譜和諧共用之風險。

二、 共享使用者範圍

共享使用者之範圍，在主要國家共享機制中並無特別限制；然而，由於美國 CBRS 與歐盟 LSA 機制仍在發展初期，故仍難謂國際發展對此問題有妥適的答案。也因此，針對頻譜共享議題在我國之討論，研究團隊分別與電信業者及設備商進行深度訪談，並於 2017 年 4 月舉辦研討會。

對於共享使用者範圍之討論，主要重點在於若共享使用者範圍過大（不做限制），則管制成本相對較高，而範圍過小（例如僅限制取得頻譜之電信業者），則共享頻譜之用途受限，未必能達成提升頻譜效率之目的。

故總體而言，各界意見對於共享使用者的範圍認為並無必要設限，然而應該分階段進行考量與開放，初期可先限制於電信業者，後續再開放至其他可能使用頻譜提供服務之使用者。此外，由於共享使用者應將相關的資訊詳實的登錄至資料庫，在干擾發生時，必須有相對之處理機制，可立即查詢來源並透過主管機關授權加以處理，維持共享機制之穩定性。

三、 頻譜管理資料庫之建立需求

頻譜共享機制之妥善運作，需具備足夠能力進行風險控制與辨識干擾來源，若既有使用者受到有害干擾，能盡快予以處理；同時機制之運作，亦必須遵守中立及無差別待遇之原則，對於共享機制所仰賴之地理位置/頻譜管理資料庫之資料正確與安全性，亦必須能予以維持。

由於我國法規對於頻譜管制較為嚴格，頻譜之回收與指配均需經主管機關同

意，然而，動態頻譜共享機制需求較高的專業人力與較具彈性之制度運作，我國主管機關之人力限制與運作彈性皆有不足之處，專業與彈性均恐難以應付頻譜共享機制運作所需。為維持頻譜共享機制之公平性，遵守無差別待遇原則，且兼顧制度運作所需之彈性，頻譜共享機制實宜由中立第三方建置與維運。此一中立第三方接受主管機關監督與政策指令，對外公平提供頻譜共享管理，對內具備維持資料庫安全與正確之專業，如此具有彈性之運作機制較能維持共享機制之妥善穩定。

四、 頻譜之用途

在頻譜共享機制發展之初，係於電視頻段之共享，共享者係以免執照為原則，其目的便是在於促進創新頻譜技術的發展，而歐盟 LSA 機制因考量頻譜使用的穩定性、避免干擾既有業者，故制度設計上，共享者需取得獨立使用權；而美國 CBRS 之三層共享架構，兼採執照與免執照設計，且刻意保留相當資源予免執照使用，其目的仍是在於促進創新技術之發展。

因此，目前 4G 服務正處於蓬勃發展時期，5G 的應用也開始規劃與構思，頻譜之利用可預期將會更加的多元，無論是因應更高速的寬頻，或是能容納更大量的連線要求，亦或是提供更低延遲的傳輸，越往下世代通訊技術演進，對於頻譜的利用情境就將越多元化。為了促進更多元的技術發展，實需設計完善之頻譜共享機制，將閒置的資源做更為有效的利用，同時使用動態分享技術亦可改善頻譜需經主管機關核配、回收的行政效率，在同樣的時間或空間內，讓更多不同的頻譜用途可分別運作，促成更多新興技術的可能性。

五、 持續觀察國際發展與保持規範彈性

國際上已實際運作之層級式頻譜共享機制，較為成熟者為電視頻段共享，可算是已近入商用階段，而美國 CBRS 與歐盟 LSA 則正進入商業驗證階段（PoB）或已進行服務驗證（PoS）。而我國目前正進行概念驗證階段（PoC）。

頻譜共享機制在本質上屬於額外頻譜釋出之機會，觀察國際行動通訊的世代演進，各國隨著不同技術與政策之發展，也漸漸因應新的市場需求而規劃相對應之頻譜使用，這些可能供未來技術或服務使用之頻譜在我國同樣可能面臨存在既有使用者而難以短期內清頻、跟隨國際發展。另一方面，頻譜共享機制仍然需要技術標準化、且亦有可能隨著技術演進而改變內涵。

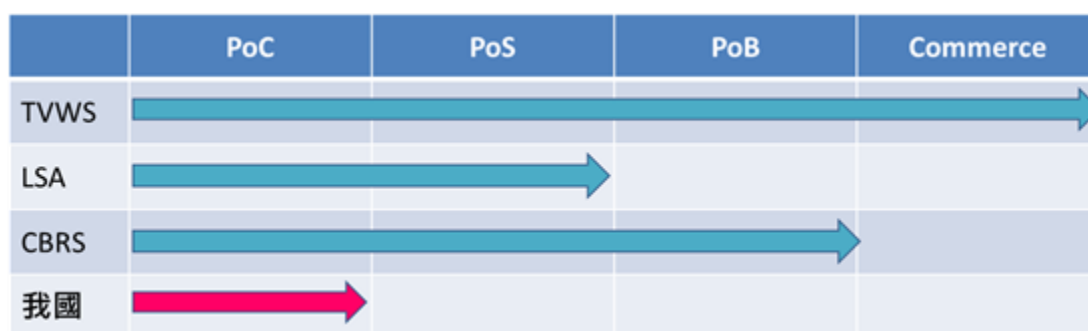


圖 3-2：國際頻譜共享機制發展狀況整理

資料來源：本研究整理

研究團隊認為，近年由於 5G 與物聯網發展迅速，其利用頻譜之技術也有大幅變革，頻譜共享機制或可持續發揮提供額外頻譜之功能，或可能隨著技術演進而扮演不同角色，前者如持續提供行動寬頻服務之頻段擴展，後者則可能因應物聯網的需求而可提供較低成本之頻譜資源。

無論如何，在此一階段進行初步的頻譜共享機制建立，均應保持規範之彈性，接續將在第四章討論共享機制之建構原則，並提出本階段可先行制定之頻譜共享管理辦法草案。

（本頁空白）

第四章 我國頻譜共享機制之架構研析

第一節 適合我國之頻譜共享機制及候選頻段分析

一、 可用頻譜及適合共享機制之分析原則

頻譜是否適合共享、以及採用何種模式共享，參酌英國主管機關所公布之「頻譜共享架構 (Spectrum Sharing Framework)」，其中提出頻譜共享的三項評估要素，分別為一、頻段使用特性，包含既有使用者與潛在共享者，以識別共享機會及相關共享工具；二、可能限制共享程度的阻礙；三、可促進頻譜共享的監管工具，以及市場面或技術面的解決方案。此外，由於我國並非如英、美等主要國家擁有較大的內國市場、或是對國際標準有較大影響力，共享頻段是否納入國際標準，亦對我國之頻譜共享機制造成影響。

- 頻段使用特性：既有使用者的使用行為主要影響頻段的可用區域範圍以及可用時間，倘若既有使用者僅在特定區域使用，那麼在其他非特定區域便可提供共享，而也不一定需要使用資料庫系統，可採用靜態安排的方式。可用時間亦同。而潛在共享使用者則決定了市場需求，倘若既有使用者頻譜閒置的時間在深夜，此時共享使用者額外頻譜需求不大。
- 限制共享程度的阻礙：包含資訊可用性、市場障礙、技術挑戰及許可限制。此要素主要影響共享價值，例如頻譜既有區塊大小、既有使用者數量多導致資源破碎等，而即使頻譜具有共享價值，但技術不支援、或共享使用者無法取得足夠資訊，此時頻譜即使提供共享，也沒有使用者。
- 促進頻譜共享的監管工具：由於頻譜共享機制必須保護既有使用者不受有害干擾，同時能夠提升頻譜使用效率，必須建立完善的機制協調既有

與共享使用者之和諧共用。此時，如頻譜感測機制、頻譜共享資料庫的建立、設立不同優先程度的多層級式共享許可架構等，均有助於頻譜共享機制的推動。

- 頻段是否納入國際標準：主要影響頻段的用途以及共享使用者的參與可能性，倘若共享頻段以納入國際標準（如 3GPP），那麼在相對設備支援、商業模式與生態系統支援下，共享使用者較有誘因參與；同時也可用在主流行動通訊標準，例如行動寬頻業務。但倘若頻段尚未納入國際標準，則以我國的產業狀況，先期供實驗或技術研發較有可能。

二、 我國行動寬頻候選頻段之共享可用性分析

除行動寬頻業務總計三波釋照所完成核配之頻率外，依據交通部正式公布之「頻率供應計畫（2015 年）」以及 2017 年 8 月發布之修正草案，尚列出 1452-1492MHz、2300-2390MHz、3300-3800MHz、3800-4200MHz 以及 4800-4990MHz 等候選頻段，作為行動寬頻業務未來使用之規劃。惟其中多有既設電臺使用因素，故均須經過協商，以及完成清、移頻作業或採行共享頻率新使用機制，方能進行釋出規劃。修正草案當中，對 6GHz 以下頻段預計於 2019 年啟動 3300-3800MHz、3800-4200MHz，以及 4400-4990MHz 等頻段之規劃，並將觀察國內 2019 年第 1 季開始進行之大規模測試結果，對 5G 頻譜提出初步規劃，另在 6GHz 以上頻段，將依循 ITU WRC-19 會議之決定，並視國際間 5G 極高頻區段接取技術發展情況，同時觀察國內相關實驗結果，預計於 2020 年啟動規劃釋出作業。

現就各頻段共享可用性分析如後。

- 1GHz 以下低頻區域

依據電波特性，1GHz 以下低頻區域適用於小頻寬且需良好覆蓋率的服務應用。國內 700MHz、900MHz 頻段均已釋出供行動寬頻業務使用，800MHz 頻段於修正草案當中亦規劃給公眾保護及災防用途之寬頻服務 (Public Protection and Disaster Recovery, PPDR)、公共事業（如智慧讀錶）等使用。

綜觀國際潛在重要 5G 之 1GHz 以下低頻區段，主要以美國 600MHz 頻段，以及歐盟 700MHz 等頻段為主。由於我國在無線電視數位轉換過程中，將部分既有電臺移頻至 600MHz 頻段，故此頻段目前尚存在眾多應用使用中。因此，考量行動業者未來布建 5G 涵蓋網路之需，尚可盤點 600MHz 頻段使用情形，並對清頻釋出或採行共享頻率新使用機制等選項展開評估。

- 1.4GHz 頻段

該頻段目前為 3GPP Band 32 (L-Band, 1452~1496MHz)，由於係以補充下行鏈路 (Supplemental Downlink, SDL) 之形式提供，無法單獨使用，相對價值較低。未來若擬規劃釋出，建議先諮詢行動業者有無使用意願，再行調查既有電臺之使用狀況，以評估是否具共享頻率使用之價值。

- 2.3GHz 頻段

如前章第二節分析，交通部曾規劃將 2355-2390MHz 部分以 TDD Band 40 釋出為行動寬頻業務，2300-2350MHz 則維持專用電信使用，短期內該頻段應無法規劃以共享機制釋出。

- 3.3-4.2GHz 頻段

依據前章第二節之分析，該頻段適合以頻譜共享機制釋出，其既有使用者為衛星業務，故可先行調查業者衛星發射及接收站位置、相對發射功率等資訊，

以確認頻譜之可用性。

此外，此一頻段亦為國際上熱門的 5G 候選頻段，以目前國際產業發展與研究進度，著重在 3.3-3.8GHz 頻段，其中多鎖定在 2020 年前先期發展 3.5GHz 頻段，許多國際電信公司也在電信管理單位的配合下，率續開展先期試驗及商用服務。由於目前亞太地區鄰近國家，多已決定先將 3.4-3.6GHz 頻段規劃為 5G 頻譜使用，故除進一步評估在此頻段以共享機制釋出之技術可行性外，亦可考量在功率限制或使用區域制定相對之規範，以利實驗或室內用途之先行開放，促進 5G 新技術發展。

● 4800-4990MHz 部分

我國在 4800-4990MHz 頻段存在既有專用電信，主要為微波通信，由於 ITU 並未確認該頻段為全球一致的 IMT 頻段，目前仍以維護各國既有通訊服務為原則，同時，4800-4990MHz 頻段上，IMT 服務與既有固定及行動業務的和諧共用機制上，也仍然存在許多爭議，相關技術標準與規範也仍在討論中。

依據 WRC-15 第 646 號決議，針對寬頻 PPDR 之議題，ITU 亦認為寬頻 PPDR 將能於 IMT 用途之頻段中加以布建與實現。由 ITU WRC-15 會議結論來看，4800-4990MHz 頻段真正確認用於行動通訊服務，也僅有第 2 區及部分國家。因此，綜合目前收集到國際發展狀況、IMT 服務與既有服務的共存性不佳等因素，ITU 建議各國在 4940-4990MHz 考量寬頻 PPDR 之發展，以在未來達成 PPDR 全球協調之規劃。

在考量本頻段短期間難以清頻，IMT 服務與既有用途共存性不佳，估計該頻段在目前共享釋出之價值相對較低。本研究建議保留 4800-4990MHz 待國際發展狀況較為明朗後再行決定。

第二節 我國頻譜共享機制所需之規範建議

在頻譜共享機制之建立上，法規面將由電信法或是未來的電信管理法（草案）提供法源依據，而後依據法源授權制定頻譜共享管理規則以及技術規範。執行面則針對特定開放共享之頻段，需先經頻譜可用性之評估與量測，確認頻譜的使用條件，才能依據不同頻段進一步決定對既有使用者的保護政策，其次，頻譜共享資料庫將扮演機制運作之核心，故管理者的角色與管理政策、以及共享使用者的規範等，均需加以研析。由於 TVWS 為較早期發展之機制，CBRS 與 LSA 均以其為基礎加以增強或改良，以下各項之分析將以 LSA 與 CBRS 為主。

一、 使用許可

歸納主要國家之執照管制模式目的可知，採取免執照規劃的主要目的在於促進新興服務的發展與偏遠地區服務；相對的，採取執照管制的目的，則係對既有使用者有較佳保護，並維持共享使用者一定程度的服務品質。而發展最早之電視頻段共享（TVWS）以免執照使用為主，在法律定位上，美國、英國與新加坡均採類似低功率之設備規管作法，其原因在於 TVWS 主要利用電視頻段間之閒置區塊與電視訊號未涵蓋區域；因此，其既有使用者（無線電視台）之站點及頻譜使用狀況可預測性高，對設備之功率、型態進行規範便已足夠。

而歐盟 LSA 則考量既有使用者之保護與服務品質，故 ECC 建議採取授予獨立使用權（執照）之原則；因此，LSA 機制為既有使用者與共享使用者 2 層級，共享使用者需取得許可執照。美國 CBRS 則採取三層級架構，其共享使用者分為：優先執照（PAL）與一般許可接取（GAA）。PAL 雖具有優先權，但執照張數與可用頻譜數量皆有限制，保留相當的頻譜資源供一般許可之 GAA 使用，可說是兼顧既有使用者保護與促進新興服務之目的。

考量我國本身條件與法規狀況，本研究建議採取執照管制原則。首先，由主要國家共享機制之發展歷程觀察，其實均由免執照原則走向不同程度之執照管理原則；其次，我國國土範圍較小，採取執照管理較能限制共享使用者之數量，可提升管理之效率；最後，執照門檻仍應盡可能降低，以促進新興服務之發展。

二、 機制運作流程

頻譜共享機制之運作流程，其主要功能在於可用頻譜資源之分配。因此機制之運作流程設計，均會涉及頻率使用之分配。TVWS 機制為最早發展之機制，由於其以免執照為基礎，並規範相當多的功率限制，故相當偏向設備規範，因此「共享使用者」之角色並不顯著。而在此一概念之下，後續美國與歐盟分別發展出 CBRS 與 LSA 機制，有了較為明確的共享使用者規範。

歐盟 LSA 與美國 CBRS 在機制上的不同點，在於 LSA 分配給共享使用者特定的頻段，當既有使用者開始使用其頻段時，共享使用者便須關閉其服務，不可干擾既有使用者。而 CBRS 則以頻譜接取系統（SAS）進行頻譜動態分配，當既有使用者開始使用其頻段時，由 SAS 系統另外分配可用頻率範圍給共享使用者，CBRS 的共享使用者所提供之服務，較具有穩定性。換言之，LSA 機制之角色，為「既有使用與共享使用之協調者」，管控特定頻段中，既有使用者與想使用者之進場與退場；CBRS 所扮演之角色為「可用頻譜資源之分配者」，可用頻譜由 CBRS 動態分配，無論既有使用者進場或退場，共享使用者都將由 CBRS 獲得頻譜的分配⁵⁴。

從技術與運作難度而言，運作 CBRS 之 SAS 系統相對複雜，當既有使用者出現至 SAS 系統收到訊息，SAS 再重新調配頻段給共享使用者，此一過程當中，需

⁵⁴ Intel, Spectrum Sharing: Licensed Shared Access (LSA) and Spectrum Access System (SAS), 2015, available at <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/spectrum-sharing-lsa-sas-paper.pdf>

盡量滿足對既有使用者的保護。其次，SAS 系統動態重新分配可用頻率範圍，因此資料庫系統之技術層次較高，管制難度也相對提高。進一步而言，SAS 系統需彙整即時的頻譜使用狀況，搭配動態頻譜需求預測模型，俾便能在共享使用者增加（或減少）的過程中，尚能滿足多數需求，此等優化處理均涉及先進技術開發。在我國並未有運作頻譜共享機制之前提，宜採階段性導入的做法，由架構較為靜態的 LSA 優先，逐步開放至彈性動態的 CBRS。

三、 共享使用者資格

我國頻譜管制規範與美國、歐盟與新加坡等國家不同，我國之頻譜使用權並未設立為獨立的許可或權利，而係附屬於業務執照之下；因此，在實務上僅有低功率射頻電機規範屬於免業務執照之頻譜使用。主要國家對於電信業者之參進門檻相對較低，如：歐盟以登記制為主、美國除傳統電話業者需負擔共同載具（Common Carrier）之高度管制義務外，新興服務業者之管制程度相當低。在我國若欲以共享頻段提供通訊服務，業者仍須申請成為第 1 類電信事業，可能難以吸引新業者投入。

另一個問題是共享使用者之規劃，美國 CBRS 多規劃了第 3 層級的一般許可，雖然提升了促進新興服務發展的可能性，但管制的複雜度也提升許多。因此整體而言，我國共享使用者之管理應僅參酌歐盟 LSA 之規劃，共享使用者給予平等地位即可，無須設計較為複雜之層級。

四、 和諧共用

各國發展頻譜共享機制的最基本原則，均是不得造成既有使用者有害干擾；因此，在共享規範上，設計有劃定保護區、共享使用必須透過頻譜地理位置資料庫加以確認頻譜的可用性、必須及時退出與設備射頻功率限制等原則。

在 LSA 機制之下，既有使用者必須將本身的資訊寫入資料庫，當共享使用者存取資料庫時，便能得知該區域的頻譜使用狀況，當既有使用者開始使用其頻段時，也能透過資料庫予以迴避。CBRS 系統的既有使用者由於身份相對敏感，故美國目前以劃設禁制區的方式，既有使用者的資訊無須詳細的輸入資料庫，同時，CBRS 所使用的 SAS 系統也較具有主動性，當既有使用者出現時，SAS 系統將會另外分配頻譜。同時，CBRS 也預期在未來透過 ESC 環境感測能力的佈建，縮小禁制區的範圍，透過感測系統主動偵測既有使用者與區域的頻譜使用狀況，既有使用者無須將資訊通知資料庫。

在既有使用者是否參與的議題上，主要的顧慮在於使用者身份的敏感性，由於 CBRS 所使用的 3.5 GHz 涉及軍方的設備，因此美國目前以禁制區的方式處理，若未來能夠建置 ESC 環境感測能力，則可進一步縮小禁制區。然而，在 LSA 的架構中，既有使用者僅面對 LSA 頻譜庫，而共享使用者面對 LSA 控制器，LSA 頻譜庫與 LSA 控制器的區分，即在於類似資訊防火牆的概念，設立一道關卡以避免敏感的既有使用者資訊不當洩漏。

因此，考量到我國地理區域不大，倘若劃設禁制區，可能頻譜共享的機會便會減少；同時，禁制區與環境感測的設計，提高了共享機制的複雜度，因此原則上仍應以既有使用者參與，並在顧及資訊安全的前提下，監督資料庫的存取。

然而，共享使用者仍有可能造成干擾；此時，便需要有及時處理的機制以確保既有使用者權益。目前僅有美國 CBRS 規範 SAS 資料庫業者負擔通報干擾的義務，故未來我國規劃共享機制時，亦應明訂干擾處理之責任，使既有使用者遭受干擾時，能及時排除侵害。

五、 頻譜共享資料庫建構及驗證

目前，頻譜共享機制的另一核心角色—地理位置資料庫之管理者，目前我國法規尚難以定位其屬性，美國、英國均並未特別限制其資格，但若欲成為資料庫管理者，則需通過主管機關測試合格。新加坡將資料庫管理者視為電信業者之一環，要求需取得電信事業之 SBO 執照，其性質類似我國第 2 類電信事業，若再考量管制程度需求，則可能需歸屬於第 2 類電信事業特殊業務，明訂其管理辦法。

頻譜共享機制之妥善運作，需具備足夠能力進行風險控制與辨識干擾來源，若既有使用者受到有害干擾，能盡快予以處理；同時機制之運作，亦必須遵守中立及無差別待遇之原則，對於共享機制所仰賴之地理位置/頻譜管理資料庫之資料正確與安全性，亦必須能予以維持。

由於我國法規對於頻譜管制較為嚴格，頻譜之回收與指配均需經主管機關同意；然而，動態頻譜共享機制需求較高的專業人力與較具彈性之制度運作，為維持頻譜共享機制之公平性，遵守無差別待遇原則，且兼顧制度運作所需之彈性，頻譜共享機制原則上可由中立第 3 方建置與維運。此一中立第 3 方接受主管機關監督與政策指令，對外公平提供頻譜共享管理，對內具備維持資料庫安全與正確之專業，如此具有彈性之運作機制應較能維持共享機制之妥善穩定。

六、 終端及服務設備管理及驗證規範

由於頻譜共享機制涉及既有使用者的保護，即使共享機制以頻譜地理位置資料庫進行管理，但仍需謹慎處理對既有使用者免受妨害性干擾的保護；在較為成熟的 TVWS 共享機制上，各國同時針對共享頻率設備訂定詳細的使用參數，對於發射功率、天線高度、設備反應時間等均進行規範；共享頻率設備須先向頻譜地理位置資料庫完成註冊，方能取得資料庫所指配的操作頻率範圍及其他運作指令，因此，資料庫當中除了既有使用者電臺資訊外，亦可詳細知悉某一地區內的共享頻率設備使用情形。

共享頻率設備在 TVWS、LSA 與 CBRS 機制中，均指提供接取服務之基地臺、分享器與終端設備，接取網路的架構與目前無線/行動網路相似。共享頻率設備相較於一般射頻器材，需額外審驗設備之識別、能完全配合共享資料庫運作（頻譜之進退）等事項，方能有效防範與管理使用者行為。共享頻率設備與資料庫需定時連線更新資訊，此部分規範需依據配合技術驗證結果加以訂定。

在歐盟規劃的 LSA 運作架構上，LSA 共享使用者僅能在獲得授權使用的固定頻率範圍內運作，在 LSA 的規範下，某一地區內若既有使用者向 LSA 頻譜庫提出要求恢復使用頻譜，相應之共享使用者必須在收到資料庫通知後配合退出使用，故對於行動業者而言，運作於 LSA 機制下的授權頻譜，僅適合作為聚合補充頻段。美國 CBRS 服務下的 SAS 系統要求共享使用者必須註冊其服務設備，由 SAS 系統動態指配可用的頻率範圍，當 ESC 機制偵測到既有使用者恢復使用頻譜時，SAS 系統會重新指配其他可用的頻率範圍給共享頻率設備，為確保不致對受保護的既有或授權使用者產生有害干擾，必須高度仰賴資料庫系統的可操作性，以及對於各類型無線系統之電波傳播模型選用的正確性。

共享規範有無要求資料庫公開揭露共享使用者所註冊之服務設備，其差異在於共享使用者網路佈建狀況是否可知，尤其頻譜共享機制的運作以小型基站為主，若業者需公開其所有服務設備的位置資訊，對於業者之網路投資較無保障。此外，當資料庫完全掌握所有既設電臺及共享者服務設備時，便能更為動態地指配可用頻率範圍，此種資料庫系統的功能較為強大，但也相對較為複雜。

第三節 我國頻譜共享法制環境建構與重要衍生議題分析

一、 現行電信法架構

目前我國頻譜管理規範，係以電信法為母法，對於頻率使用管理原則，制定有「電波監理業務管理辦法」，為頻譜管理制度之主要原則，該辦法於第 4 條例示有 38 款業務。主管機關針對前述之業務執照，制訂並公布管理規則進行管制，如：行動寬頻服務之行動寬頻業務管理規則。在現行電信法架構下，頻譜釋出之主要制度為審議制及拍賣制，也依循國際標準開放部分頻段及用途（如醫科工）可免執照使用無線電頻率。

免執照規範以低功率設備管制為主，依電信法第 48 條第 1 項前段，以及電波監理業務管理規則第 8 條規定，目前我國免執照頻率在不發生妨害性干擾之原則下，允許部份頻段作免執照使用。如：2.4GHz 及 5 GHz 頻段為我國目前主要免執照頻段，供低功率無線區域網路（WLAN）使用。在設備部分，則制定「低功率電波輻射性電機管理辦法（細部技術規範於「低功率射頻電機技術規範）」，內詳列免執照頻段之使用頻率、技術與功率限制等。

依據低功率電波輻射性電機管理辦法，第 9 條第 1 項設置 2.4GHz 及 5 GHz 頻段低功率無線區域網路（WLAN）提供電信服務者，應依電信法第 14 條第 6 項制定之「第一類電信事業管理規則」，或同法第 17 條第 2 項所制定「第二類電信事業管理規則」之規定辦理。第 2 項非供經營電信服務之 2.4GHz 及 5 GHz 頻段低功率無線區域網路，經審驗或型式認證合格者，得自行設置使用。由條文內容可知，無線電頻率涉及電信服務者，仍必須以電信事業之身分方能提供服務。

我國現行電信法第 48 條已規範業務執照與頻率合併發放。例如實務上頻譜以拍賣制釋出時，主管機關依據電信法第 14 條制訂各項業務管理規則，規劃特定業

務執照類型、相對之無線電頻率規劃以及拍賣規則，而後執行拍賣釋出業務執照。拍賣結束後，核配得標者經營該業務所需之頻譜，得標者於取得籌設同意書後，再向主管機關申請指配無線電頻率。

承上所述，受限於現行電信法架構與預算法規範，無線電頻率並非以頻率執照釋出，故無所謂獨立之「頻譜使用權執照」，而附屬於業務執照，如：第3代行動通訊業務（3G）、行動寬頻業務（4G）等，業者均以拍賣取得業務執照後，再向主管機關申請頻率指配。

以行動寬頻業務為例，其執照為特許制，釋出執照張數依據釋出之頻譜數量及持有頻譜下限等規範而有限制，業務型態與經營條件均於管理規則中明定。如行動寬頻業務管理規則中定義，行動寬頻系統為指經營者利用第7條所指配之頻率，並採用國際電信聯合會公布之行動通訊技術標準，以提供行動通信之行動台、基地臺、高速基地臺、交換設備、傳輸機線設備、網路管理設備及帳務管理設備等設備，所構成之通信系統；而行動寬頻業務則指經營者設置行動寬頻系統，提供寬頻行動通信服務之業務。

而由第7條第一項文字「…特許執照得使用頻段及頻率…」內容可知，無線電頻率之使用為附屬於特許執照之條件，申請經營業務之業者於競價中勝出得標後，經過籌設、架設許可等階段後可取得特許執照，身份則由得標者變為經營者。經營者有權使用特許執照中指配頻率，如果使用頻率遭受其他經核准之既設合法電台無線電頻率干擾時，則該經營者應與其設置者協調處理。

一般行動通訊業務執照期限大多以15年為基準，行動寬頻業務執照期限因主管機關之考量，2次釋照之期限分別為17年（民國102～119年）及18年（民國104～122年）。執照期限屆滿後，依據行動寬頻業務管理規則內容，屆滿後執照失其效力，後續事宜由主管機關另訂之。

整體而言，我國頻譜管理使用係附屬於業務執照條件，主管機關預先規劃各業務執照使用之特定頻段，將頻譜與業務執照一併核配予特定電信或廣電業者。而根據各業務的管理規則可知，頻譜的使用受業務限制，對於業務或頻率所採取之技術、頻帶、頻寬與基地臺發射功率等事項，各項業務管理規則亦多設有嚴格規範。

也因此，在電信法頻率與業務相結合之監理原則下，在不修訂電信法之前提下，頻譜共享機制應被視為與審議制或拍賣制相互對應之頻譜釋出機制，在此一考量下，頻譜共享機制必須寫入各個業務管理規則內，同時各業務管理規則也必須將所監理之頻段納入，例如 A 頻段屬於甲業務、B 頻段屬於乙業務，若要將 A 頻段分享至乙業務，則頻譜共享機制必須同時寫入甲乙業務，而 A 頻段亦必須納入乙業務，法規制定技術相對繁雜。

二、 新電信管理法架構

由國家通訊傳播委員會擬具、行政院會於 2017 年 11 月 16 日通過之電信管理法草案，係依據匯流法原則制定，並為未來頻譜共享機制的主要法源依據。其中，免執照頻段之指定與開放規定於第 52 條第 6 項，不同類型無線電通信系統間之頻譜共享則規範於第 57 條；主管機關得考量頻率使用特性，核配 2 以上使用者共享頻率。此外，尚有第 58 條規範電信事業間協議共享其獲配頻率之條文。

第 52 條、57 條均為授權性規範，依條文內容觀之，僅有基礎的法源授權基礎，尚須制訂一套完整的管理規則。第 52 條第 6 項依據國際趨勢指定開放免執照頻段，由於各國頻譜使用均需依據 ITU 協調分配，故我國依據國際趨勢發展而開放免執照頻段，符合國際規範亦對我國社會及產業有益。

而第 57 條規範內容依文意解釋，頻率使用之規劃與管理需經主管機關許可，頻譜之分配則考量無線電頻率使用特性、國家安全、技術可行性及市場競爭等，由主管機關依職權或申請核配確認。依據立法理由，該條之立法主要參酌歐盟 LSA

模式，由於頻率共享機制之主要精神在於共享需執照頻段，意即該頻率本即存在既有使用者，而該既有使用者應係依據管理法其他條文取得頻率使用執照（權）。

依據第 57 條內容規範之共享型態，屬於動態頻率分享機制，可用頻譜以及既有使用者均可能為動態，草案中並已規劃動態頻譜地理資料庫的建立，相較於既有之電信法，電信管理法草案已經制定頻譜共享所需之法源授權條款，未來國家通訊傳播委員會需再參酌國外頻譜共享機制規範，制定一套新管理規範，並著手建立頻譜地理位置資料庫，認證合格之第三方資料庫業者，便可逐漸開放頻譜共享機制。

三、 其他政策與規範之相關議題

在我國制定頻譜共享機制之後，僅完成開放頻譜共享機制之基礎，由於我國之前並無任何相關之監理政策以及實務經驗，後續仍有許多法規以外之政策或配套措施需加以輔助完成，方能完善我國頻譜共享機制之運作。

本研究經綜整各國發展經驗，並參考訪談國內專家學者及相關業者深度訪談之意見，提出初步看法如下：

（一） 共享使用者之範圍

共享使用者範圍牽涉到管制之成本以及頻譜共享之效益，共享使用者範圍越大，參與者越多，頻譜共享之效益也越大，但隨之產生的管制需求與可能之干擾處理，將考驗主管機關以及共享機制參與者。

在初期階段，共享使用者之範圍僅限於已取得各類頻譜執照之電信業者（行動通訊業者），主因在於在頻譜利用上，行動通訊業者之技術能力、管理能力均相對較為充分，因此在監理上成本較低。此外，國際間頻譜共享機制發展的重點之一，在於補充行動寬頻的可用頻譜資源，在初期限制開放對象範圍

亦可累積實務管理經驗。

而在本機制運作一段時間之後，行動通訊補充頻譜資源之需求已獲滿足，此時，為了更進一步提升頻譜使用效率，應逐漸開放共享使用者之範圍，亦使更多的需頻譜的新興通訊服務可有效利用頻譜。

（二） 頻譜既有使用者調查與可用性量測

頻譜共享機制之另一環節，在指定特定可開放之頻段，然而，特定頻段是否可提供共享使用，需先經過相對的評估程序，瞭解既有使用者之行為模式與可用頻譜資源之數量，此時必須透過技術量測之過程，評估共享使用者可能受到的限制、既有使用者可能受到的干擾等問題，後續方可針對各個特定頻段，在既有之共享管理辦法之基礎上，制定特定、具體之保護措施，以逐步開放特定之頻段。

（三） 依據不同頻段需求制定對應之保護規範

如前述，在評估、量測特定頻段之狀況後，參酌歐美主要國家之經驗，由於頻譜共享機制需保障既有使用者之權利，避免造成有害干擾，必須制定較為具體、細緻之保護規範，以促進既有、共享使用者之和諧使用。

例如，美國 3.5 GHz 頻段之既有使用者為軍方雷達以及衛星，由於軍方設備較為敏感，因此美國在 3.5 GHz 頻段採取劃設禁制區的方式，並後續建立 ESC 環境感測能力等。我國也需針對我國特定頻段之既有使用者保護，制定保護措施與規範，為開放特定頻段做好準備。

（四） 頻譜共享資料庫之建立、驗證、維運及監督

頻譜共享機制之核心為頻譜共享資料庫之建立，資料庫之實際建立需經過主管機關的監督與業者相互配合之運作，主管機關必須確認資料庫的運作符合要求，並建立後續驗證及維運監督之流程。

以我國法制而言，頻譜共享資料庫擔任頻譜核配給共享使用者之角色，性質近於公權力之行使，因此必須確保維運及監督的穩定，同時，依據我國運作政策，亦有可能指定某一業者作為主要資料庫，並開放其他業者參與。

（五） 智慧多元化頻譜利用環境

在共享機制運作較為成熟之後，由於我國採匯流架構制定之電信管理法，增修了許多頻譜彈性使用之規範，除許可頻譜共享外，也許可業者間彼此出租、出借等，而業者亦可在契約協議之下，以頻譜共享機制作為其合意之履行輔助單位，而主管機關也可將更多頻譜管理之需求，納入資料庫之管理核心，未來，頻譜共享機制便可升級成為我國智慧多元頻譜管理之基礎。

第四節 研擬我國匯流法規架構下頻率共享監理政策及管理法規

一、 共享頻率管理規則架構原則

「共享頻率管理規則」係以電信管理法（草案）第 57 條為基礎加以建立，因此除主管機關外，尚牽涉到三種角色之權利義務關係。

首先是既有使用者，既有使用者係依據電信管理法其他條文取得頻率使用權之人，因此其使用權受到信賴保護，共享使用者對之不得造成有害干擾。因此，為了落實既有使用者之保護，在管理規則設計了多層次的干擾防制思維。在設備上，必須使用經審驗合格之設備。在共享使用者管理上，則區分為二層級，並必須依據共享頻率資料庫之資訊使用頻率。在干擾發生時，則以共享頻率資料庫先行處理，若共享使用者不遵守使用規則，或干擾發生於頻率共享機制之外，則通知主管機關處理。

在共享使用者的層級上，則設計「共享頻率核配許可」，並分為「一般核配許可」以及「優先核配許可」，共享使用者也依據可申請之許可類型而區分為第一級以及第二級使用者，第一級使用者在特定條件下擁有頻率使用的優先權、第二級使用者則僅能依據共享頻率資料庫之分配使用頻率。此二層級之使用者皆須向主管機關申請許可，此與美國 CBRs 之免許可使用有別，由於我國並無管理頻率共享機制之前例，故採取許可制加以管理，未來亦可視機制成熟度而加以放寬。

在共享頻率資料庫的規範上，則明訂其頻率分配責任、資料安全、正確以及干擾處理之責任，由於頻率分配為主管機關之權力，資料庫為受託管理單位，自然必須與主管機關緊密配合，未來亦可視機制運作之成熟度，開放業者各自進行更多類型加值服務之可能性。

二、 共享頻率管理規則草案

為確保我國行動寬頻長遠發展所需的頻譜資源能充分供給，並與國際頻譜應用趨勢接軌，我國展開頻譜共享機制之研議及監理規範之擬定，充實我國頻譜發展策略及技術法規。由於頻譜共享機制之建立，係在特定頻段仍在既有使用者的前提下，利用可能的閒置機會以提升整體頻譜效率，也因此增加可用頻譜資源的同時，也必須妥善保障既有使用者之權益，增進頻譜和諧使用。

參酌國外主要機制之發展，有包含執照以及免執照使用之三層式架構，以及僅包含執照使用之二層式架構，考量我國並無運作頻譜共享機制之前例，本研究擬提「頻譜共享管理規則草案」，如表 4-1 所示。本規則草案係以執照使用之二層架構為基礎，並參酌美國已擬定之共享規則規範，明確化既有使用者、共享使用者以及頻譜共享資料庫、管理者各別之權利義務，以及共享頻率設備之基本運作規範。

在頻譜共享機制之建立上，為了妥善維護既有使用者之權利，並有效利用頻譜之閒置機會，必須建立頻譜共享資料庫以進行動態即時共享，並避免對既有使用者造成有害干擾，在此前提之下，本規則草案制定重點如下：

一、法源依據、定義、主管機關、共享機制原則、既有使用者保護、開放共享之頻率範圍公告及頻譜共享資料庫之角色（草案第一條至第六條）。

二、共享使用者之規範，包含基本資格、須經主管機關核准，並應指定合作之頻譜共享資料庫，可提供之服務範圍亦須經主管機關許可。（草案第七條至第九條）

三、頻譜共享資料庫以及管理者為頻譜共享機制之核心，所有共享頻率設備都必須先與頻譜共享資料庫通訊後才可運作，故須明訂其責任、義務以及與頻譜共享設備之關連性。同時為了確保共享機制運作之穩定性，亦要求

需確保資訊安全以及落實資料收集與保存義務（草案第十條至第十四條）。

四、營運管理及運作流程，包含頻段區塊及數量需由主管機關依據頻率特性加以決定並公告。此外頻率分配原則以及合理服務費用收取，由於頻譜共享機制之最初目的在提升我國整體頻譜使用效率，為使頻譜最大效益能夠發揮，爰明訂頻譜分配得考量地理區域或頻譜區塊之連續性，使同一業者在不同區域可取得相同頻譜、或同一業者在同一區域可取得連續之複數頻譜區塊，以提升頻譜效率（草案第十五條至第十八條）。

五、在頻譜共享設備規範上，明訂設備需通過主管機關審驗，並須配合頻譜管理資料庫之指示運作，共享設備必須能夠回報其所在位置之地理座標，提供服務前必須向頻譜共享資料庫取得可用頻率及發射功率之資訊，也必須向資料庫註冊並傳送相關資訊以認證設備所屬共享使用者身份。最後共享設備亦需具備足夠的網路安全能力，以維護資料傳輸的完整、安全及穩定性。（草案第十九條至第二十一條）

表 4-1：共享頻率管理規則草案

第一章 總 則	
第一條 本辦法依電信管理法（以下簡稱本法）第 57 條規定訂定之。	指定管理規則法源。
第二條 本辦法之主管機關為國家通訊傳播委員會。	指定主管機關。
第三條 本規則名詞定義如下： 既有頻率使用者：依據電信管理法第 57 條以外之規定，獲核配頻率使用權之人。 共享頻率使用者：依據本規則獲核配共享頻率使用權之人，包含第一級與第二級共享頻率使用者。 共享頻率：經主管機關公告，依本規則界定具共享使用之無線電頻率。 共享頻率設備：符合本規則要求，依據本規則使用頻率之設備。 共享頻率資料庫：經主管機關許可，依據本規則核配頻率予共享頻	本規則相關名詞之定義。

率使用者。 共享頻率資料庫管理者：負責管理共享頻率資料庫之人。	
第二章 共享頻率分配原則	
第四條 依據本規則許可共享頻率之頻段及頻寬分配，由主管機關公告之。	並非所有無線電頻段均可適用於共享機制，不同頻段有不同保護之需求，因此特定頻段之開放應由主管機關另行公告之。
第五條 共享頻率使用者申請使用共享頻率，應先向主管機關申請共享頻率核配許可，並向經主管機關認可之共享頻率資料庫申請核配頻率。 共享頻率使用者應依共享頻率資料庫提供之資訊使用頻率。	由於頻率共享機制之頻率使用並非由主管機關直接核配，而係委由共享頻率資料庫動態核配，因此使用者應先向主管機關申請共享頻率核配許可，再向資料庫申請核配頻率。 頻率共享機制中，由共享頻率資料庫實際負責頻率管理，故使用者應依資料庫提供之資訊使用頻譜。

第六條 共享頻率核配許可依據核配之優先順序，分為優先核配許可及一般核配許可。 電信事業可申請優先核配許可及一般核配許可，其他共享頻率使用者可申請一般核配許可。	參酌美國 CBRS 架構，共享頻率之用途應兼顧寬頻補充與新興服務用途，故設計具優先權設計之三層式架構。 由於我國具備頻率使用能力之電信業者數量有限，擬直接許可電信業者選擇申請優先或一般核配許可；其他類型使用者僅能申請一般核配許可。
第七條 共享頻率之核配，應考量地理區域或是頻段的連續性，以提升頻率使用效率。 共享頻率之核配，除依前條及第三章規定外，應遵守無差別待遇原則。	為提升頻率使用效益，於核配頻率時應盡可能考量地理區域或是頻段的連續性，使共享頻率使用者能盡可能充分利用共享頻率。 除依共享頻率核配許可之優先權規範外，頻率核配應遵守無差別待遇原則。

第三章 共享頻率使用者	
第八條 符合以下條件者得向主管機關申請使用共享頻率核配許可。 一、依電信管理法取得頻率執照之電信事業。 二、依電信管理法取得頻率使用權之電信事業。 三、依電信管理法有關無線電頻率用途規定申請使用頻率，經主管機關許可之自然人或法人。	由於我國取得頻率執照之電信業者數量不多，且此類業者在使用頻率之能力均相對較高，擬直接例示為具備之資格。 其他依電信管理法取得頻率使用權或有需求使用頻率用途（例：實驗、公益用途、專用電信等）之自然人或法人，亦可考量開放申請使用共享頻率。
第九條 共享頻率使用者依據第六條之核配許可，區分為第一級共享頻率使用者及第二級共享頻率使用者。 一、取得優先核配許可者，為第一級共享頻率使用者； 二、取得一般核配許可者，為第二級共享頻率使用者。 第一級共享頻率使用者依據優先核配許可記載之時間、地理區域、頻率、頻段及頻寬，向共享頻率資料庫申請優先核配使用共享頻率。 第二級共享頻率使用者依據一般	規範共享頻率之許可及不同層級使用者之優先權。

核配許可，向共享頻率資料庫申請核配使用共享頻率。 第二級共享頻率使用者不得對既有使用者及第一級共享頻率使用者造成有害干擾，且不得要求任何干擾保護。 第二級共享頻率使用者之間應和諧共用共享頻率。	
第四章 共享頻率資料庫之管理	
第十條 共享頻率資料庫應經主管機關許可，提供共享頻率使用者以下資訊： 一、共享頻率資料庫管理者制定之營運政策與作業流程。 二、確定並向共享頻率設備提供其所在位置之可用頻率與最大允許發射功率。 三、註冊和認證共享頻率設備之識別資訊與位置。 四、主管機關指示之頻率管理事項。	頻率共享機制之運作核心為頻率共享資料庫，負責頻率之分配與管理，故資料庫之設立與運作，需由主管機關加以審核與許可。 由於共享使用者必須依據資料庫提供之資訊使用頻率，故參酌美國 CBRS 與歐盟 LSA 共享機制之規範，歸納並擬定頻率共享資料庫所應提供之資訊。

第十一條 共享頻率資料庫管理者經主管機關指定及委任，處理共享頻率事務。 共享頻率資料庫管理者應負擔以下責任： 一、維護並定期更新主要共享頻率資料庫之軟硬體設備及內容。 二、確保共享頻率使用者之服務穩定性。 三、確保共享頻率資料庫之運作符合主管機關公佈之規範。 四、依據主管機關指示確認、更正或刪除共享頻率資料庫之資訊。 共享頻率資料庫管理者應為以下事項建立標準作業程序。 一、共享頻率干擾問題之申訴及處理。 二、向主管機關不定期（至少每日一次）更新共享頻率設備管理資訊。 三、與其他經主管機關許可之共享頻率資料庫進行資料共享與協調合作，避免頻率指配衝突，促進頻率和諧使用。	資料庫管理者負責營運資料庫，並需配合主管機關政策與規範，維護頻率共享機制之穩定，促進頻率和諧使用，故參酌美國與歐盟之相關規範，擬定資料庫管理者之負擔責任。 資料庫管理者為提供服務，應建立標準作業程序以處理使用者問題、資料共享、及接受主管機關監督。
---	---

第十二條 資訊安全 一、 共享頻率資料庫管理者應建立資料傳輸安全作業流程，確保共享頻率使用者、資料庫與設備間所有通訊與資訊傳輸之正確與安全。 二、 共享頻率資料庫管理者應建立資訊安全機制，確保共享頻率資料庫與設備間通訊之正確與安全，未得許可不得任意存取、訪問或更改共享頻率資料庫發送至各共享頻率設備之資訊。 三、 各共享頻率資料庫間、各共享頻率設備與各資料庫間、各共享頻率設備間之通訊必須確保安全。 四、 共享頻率資料管理者須確保其管理之共享頻率資料庫免受未經許可資訊入侵，及未經許可之資訊更動。 五、 共享頻率資料庫必須驗證共享頻率設備提供的識別資訊是否用於經認證的設備，並且不得向未經認證的設備提供服務。 六、 共享頻率資料庫管理者應確保未經授權不得取得任何有關共享頻率機制之運作資訊。	頻率共享機制之資料庫與設備之間均需透過網路連接，為了確保頻率分配的穩定、資料庫資訊的正確性，避免不當的存取及竄改，必須確保所有通訊的安全性。 除規範連線與通訊的安全性外，資料庫亦需針對連線設備進行識別，未經認證之設備不得使用，以維護機制之穩定與安全。
--	---

第十三條 資訊之收集與保留 一、 共享頻率資料庫應保留已註冊之共享頻率設備資訊及既有頻率使用者註冊之設備資訊。 二、 共享頻率資料庫管理者應提供必要的資訊，以有效地協調其他管理者與共享頻率設備間之操作。 三、 非經主管機關許可，各共享頻率資料庫管理者不得對外揭露任何有關共享頻率設備之註冊資訊，且應保密該設備使用人身份。 四、 共享頻率資料庫管理者操作紀錄為時至少 6 個月。 五、 當共享頻率資料庫不再繼續提供服務時，共享頻率資料庫管理者應將資料庫中之相關資訊完整、正確、安全地傳輸至其他經主管機關許可及指定之資料庫，經主管機關確認後，刪除所有委任期間取得之資訊。	明訂資料庫應予以收集及保留之資訊，並規範資訊保留的期間。
---	-------------------------------------

第十四條 設備之註冊與授權 一、 共享頻率設備必須向共享頻率資料庫註冊、認證並取得許可授權。 二、 共享頻率設備之識別資訊，須經共享頻率資料庫驗證是否有效，確定有效後，該設備始得提供服務。有效的識別資訊以及經許可之設備列表由主管機關提供。 三、 共享頻率資料庫不得授權共享頻率設備在未經許可之地理區域內使用。 四、 各共享頻率資料庫之許可地理區域劃分應保持一致。	為妥善管理頻率共享之範圍，共享設備亦需向資料庫註冊，並提供識別資訊以確認身份及是否通過審驗。 為維護既有使用者之權利，資料庫可授權之區域設有限制，且所有資料庫均需保持資料與主管機關同步。
第十五條 （資料正確性） 一、 為確保頻率分配之效率，共享頻率資料庫管理者必須確認共享頻率設備所在地之可用與適當的頻段。 二、 為了確保前項資訊之精確性，共享頻率資料庫得使用周邊區域其他共享頻率設備之位置、許可狀態和操作參數、及其他共享頻率資料庫之資訊，以確保頻率有效利用。 三、 共享頻率資料庫必須確認特定頻段在特定區域內之可用性。	明訂頻率共享機制之保持資料正確性之責任，並得利用共享頻率設備所收集之資訊（如 crowd sourcing），輔助確保資料正確性。

第十六條 （干擾之處理） 共享頻率資料庫於共享頻率設備所在位置之運作期間內，有保護既有頻率使用者在該設備涵蓋範圍內免受有害干擾之責任。 一、 既有頻率使用者或共享頻率使用者受到有害干擾時，得通知共享頻率資料庫。 二、 共享頻率資料庫接獲前項通知，應立即確認共享頻率使用者及頻率使用狀況。若確認干擾為共享頻率使用者造成，共享頻率資料庫應立即協調處理之。 三、 共享頻率資料庫無法處理前項問題時，應即通知主管機關。 四、 有害干擾來自於頻率共享機制以外之因素時，共享頻率資料庫應即通知主管機關。	共享頻率資料庫需保護既有使用者及維護共享頻率之和諧使用，故應扮演一定之處理干擾角色。若無法協調或干擾源來自共享機制之外，亦應通知主管機關並協助處理。
第十七條 費用 共享頻率資料庫管理者可向使用其服務之共享使用者收取合理服務費用。 前項服務費用應經主管機關審核通過。	明訂頻率共享資料庫服務可收取合理服務費用。

第五章 設備規範	
第十八條 頻率共享設備應經主管機關審驗通過，並向主管機關登錄識別資訊。	共享設備屬於射頻管制器材，需經審驗合格。
第十九條 一般規範 一、 共享頻率設備必須能夠確認其所在位置座標，並應於設備首次啟動時，即時通知共享頻率資料庫。 二、 共享頻率設備應能即時自我定位，並即時將更新之定位資訊通知共享頻率資料庫。 三、 共享頻率設備須能由共享頻率資料庫核配之頻率進行雙向通訊。在初始服務傳輸之前，共享頻率設備必須向頻共享譜資料庫註冊並取得共享頻率使用資訊。 四、 共享頻率設備須向共享頻率資料庫提供必要之完整與正確資訊。當該資訊改變時，應於 60 秒內通知共享頻率資料庫。 五、 共享頻率設備應僅能運作於共享頻率資料庫許可最大功率水平以下。 六、 共享頻率設備應接收並遵守共享頻率資料庫提供之功率限制和核	明訂頻率共享設備運作時所應遵守之基本規範，以維持機制運作穩定。

配頻率。當共享頻率資料庫更動前揭指示時，共享頻率設備必須停止傳輸、移動到另一指定頻率、或者在 60 秒內更動其功率。 七、 在接收共享頻率資料庫之資訊後，共享頻率設備必須通知共享頻率資料庫有關其使用頻率和相鄰頻率的接收信號強度、信號傳輸錯誤率或其他相關干擾資訊。 八、 在接收共享頻率資料庫核配一定範圍的可用頻率或頻道的共享頻率設備，必須即時通知共享頻率資料庫其所使用之頻率。 九、 共享頻率設備應具有足夠的安全性，以確保與共享頻率資料庫、其他共享頻率設備與用戶端設備間之通訊安全。 十、 共享頻率設備應僅能與經主管機關許可之共享頻率資料庫通訊。 十一、 共享頻率設備與用戶端設備必須符合主管機關的安全性要求。	
第六章 附則	
第二十條 經主管機關許可之共享頻譜資料庫名單，由主管機關公告之。	明訂由主管機關需公告合格共享頻率資料庫名單。

（本頁空白）

第五章 頻譜使用效能優化探討

本章旨在提升頻譜使用效率，以解決頻譜不足的問題。具體而言，本研究欲探討「頻譜共享」此一提升頻譜使用效率之技術，並研析電波監測系統與頻譜地理位置資料庫（Geo-location Database）提供之資訊，協調共享之使用者，以解決「頻譜共享」需處理之資源分配與干擾控制的問題。

第一節 概述

一、 研究目的

觀察國際頻譜共享機制之發展，其運作核心均仰賴於完善的頻譜地理位置資料庫系統，透過資料庫系統，頻譜共享設備可得知其所在區域之頻譜使用狀況、既有使用者(incumbent user)是否存在。當共享使用者之設備準備於共享頻段上進行無線通訊時，必須先由頻譜地理位置資料庫取得授權資訊，確認既有使用者閒置，方能提供服務。因此，共享頻段於何時何地可以提供服務，將是重要的資訊。一般而言，這些資訊可藉由使用者回報，或直接由電波監測站之量測而取得，並儲存更新至頻譜地理位置資料庫。精確的地理定位資訊以及完整的頻譜可用性資訊，是動態頻譜共享機制能否妥善運作的主因。

我國在建立頻譜共享機制的同時，亦應瞭解電波監測系統，研析相關的參數格式與運作模式，俾利未來頻譜共享機制下之地理位置資料庫能取用相關資訊，有了完整的電波監測資訊，可瞭解特定區域內的頻譜可用性，亦可對既有使用者的免受干擾權益多一分保障。

二、 初步看法

現今各國使用的「執照式」頻譜管理策略，其優點為較佳的干擾控制，因為具執照的使用者理論上不會受未具執照的使用者干擾。另一方面，其缺點為較差的頻譜使用效率，因為具執照的使用者並非隨時隨處都在使用該頻段，而在其未使用的時間與地點，該頻段亦無法供其餘使用者運用，而成為頻譜的閒置與浪費。

有鑑於此，動態頻譜共享的概念被提出以改善上述「頻譜浪費」的情況。在動態頻譜共享的概念中，未具執照的使用者可在頻譜閒置期間與地點，使用該頻段而不對具執照使用者造成干擾。此概念可大幅提升頻譜的使用率，因此，各國近年均積極發展相關研究。

綜觀各國研究，欲最大程度地實現動態頻譜共享，干擾控制為其中關鍵之議題。亦即，未具執照或經許可的共享用戶必須在對原有用戶產生最低限度的干擾下使用該頻段。因此，各頻段於何時何處的使用狀態成為一項重要資訊。一般而言，此資訊可藉由電波監測站之量測或由用戶端回報而取得，並存於頻譜地理位置資料庫。

綜合以上所述，發展適用於我國之電波監測系統搭配頻譜地理位置資料庫的運作機制，將使我國得以實現動態頻譜共享，進而優化我國之頻譜規劃，以提升我國無線通訊領域之國際競爭力。

本研究認為，欲設計電波監測系統搭配頻譜地理位置資料庫之可行運作機制，以達成頻譜共享，須先釐清相關技術議題，以下列出本研究欲探討的議題與吾人之初步看法。

(一) 頻譜地理位置資料庫須儲存之參數

本研究將探討頻譜地理位置資料庫須儲存之參數，以及電波監測站須監測之參數。針對此議題，吾人認為頻譜地理位置資料庫須儲存下列參數：

- 區域內各時段地形、地貌、主要建築分布情況、各地形建築之反射折射散射特性，其最終目標為建立任兩點間具方向性之傳輸通道模型。
- 既有使用者頻譜使用資訊。

另一方面，吾人認為電波監測站須監測並儲存下列參數：各時段於何處測量、各頻段接收功率（包括方向性與偏振，並考慮接收機效應）以及調變。

(二) 頻譜共享地理資料庫須提供之服務

本研究將探討頻譜共享地理資料庫須提供之服務項目。具體而言，係指頻譜共享地理資料庫須提供原用戶與新用戶之參數。針對此議題，吾人認為頻譜共享地理資料庫須提供新進用戶下列條件下之頻譜使用權限：

- 時間
- 發射機與接收機位置
- 可使用的頻段與其最大發射功率與方向性

與此同時，提供原有用戶下列資訊：干擾信號之資訊，包括頻段、功率、方向性、時間與地點。

(三) 頻譜共享機制與應用於參數優化系統之演算法

為使頻譜共享地理資料庫提供上述服務，本研究將探討用戶與頻譜共享地理資料庫互動之機制，以及參數優化系統所需演算法。具體而言，係指用戶提出需求與頻譜共享地理資料庫回應用戶需求之機制。針對參數優化系統之運作，吾人提出以下機制，此機制不受限於傳收機使用之雙工系統，因此包括頻分雙工(Frequency Division Duplex, FDD)與時分雙工(Time Division Duplex, TDD)系統均適用。在此機制下，用戶與系統之互動分為三個階段，如下：

1. 新進用戶提出需求（頻段、時間、發射機位置、接收機位置、發射功率與方向性）予頻譜共享地理資料庫。
2. 頻譜共享地理資料庫向原有用戶索取相關資訊（使用頻段、時間、發射機位置、接收機位置、發射功率與方向性、干擾容忍程度）。
3. 參數優化系統算出參數並提供頻譜共享地理資料庫，由其回應予新進用戶，同時告知原有用戶可能產生之干擾。

其中，互動之週期建議與原有用戶之排程週期一致。此外，系統須持續監測新進用戶是否造成過大干擾，此程序可由電波監測站進行，也可由原有用戶之反饋得知，其結果將影響第三階段中，參數優化系統所使用演算法之參數。關於應用於參數優化系統之演算法設計，我們提出下列建議：

1. 根據頻譜共享地理資料庫提供之參數算出適用通道模型，一種可能的作法為採用現有數學模型，並利用地理資料庫提供之參數藉由迴歸求出模型中參數。
2. 根據原有用戶之參數與一動態頻譜共享參數，算出給予新進用戶之參數。

3. 動態頻譜共享參數係依據干擾情況而調整。舉例而言，當干擾情況嚴重，將朝保守的方向調整係數，反之亦然。

三、 執行方式

(一) 研析電波監測系統與頻譜管理資料庫之運作

世界上多數國家均將無線電頻譜作為「公共財」對待，亦即，將頻譜視為國家之財產，由政府管制其使用權限並監測其使用情況，因此，各國均設有頻譜管理資料庫以管理頻譜使用權限，並設置電波監測系統以監測頻譜使用情況，由於頻譜管理與頻譜監測密切相關，其間互動之機制成為重要的議題。本研究將探討國際電波監測系統在頻譜管理中擔負之任務，亦即電波監測系統之運作機制，以及其與頻譜管理資料庫之協同運作。此部分以文獻蒐集與整理的方式進行。

(二) 研析 Crowd Sourcing 取得頻譜使用狀況之機制

具體而言，此工作項目是去探究現在各式群眾外包平台的功能及特性，例如 CloudCrowd⁵⁵是一個提供各種任務的工作平台，較為大眾化，Servio⁵⁶則是一個提供委託工作者釋放工作機會的平台。另外，CrowdFlower⁵⁷也是一個提

⁵⁵ CloudCrowd, <http://www.cloudcrowd.com/>

⁵⁶ Servio, <http://www.serv.io/>

⁵⁷ CrowdFlower, <http://crowdfower.com/>

供外包技術的平台，具有評價機制來管理使用者的工作品質。而 InnoCentive⁵⁸ 是讓專業委託者針對研究或開發新產品過程中遇到的問題尋求解決方法。前兩者是較為一般性的委託項目，例如問卷、產品使用習慣調查等等，後兩者則是提供較為技術性或具專業性的委託，我們將探究上述（但不限於）委託平台的特性及其對我們想取得頻譜使用狀況之可行性，及委託方式應如何規劃之參考，並探討對參與者付費或其它誘因之可能性。

另一工作項目是探討讓用戶安裝 APP 做為 Crowd Sourcing 工具的可行性及該 APP 應具有的功能模組規格。以現在用戶智慧手機裝置功能的齊全及普及性，我們將探討利用裝置的通訊模組做頻譜使用記錄及回報，我們探討將這項技術做為 Crowd Sourcing 的技術實現方式的可行性，並且探討該技術功能模組的大致規格。

（三） 研析頻譜地理位置資料庫干擾防範機制

考量動態頻譜共享模式，本研究將探討頻譜地理位置資料庫之頻譜使用資訊取得方式。具體而言，吾人將探討頻譜地理資料庫須從電波監測系統與使用者取得之參數、須提供各使用者之參數，與各使用者如何依據這些參數決定其頻譜使用行為，以實現動態頻譜共享。此外，本研究亦將探討參數優化整合系統在其中的角色，亦即，參數優化系統如何與頻譜共享地理資料庫互動。此部分以文獻蒐集與討論之方式進行。

⁵⁸ InnoCentive, <https://www.innocentive.com/>

第二節 電波監測與頻譜管理資料庫

頻譜共享是在不干擾既有使用者的前提下，共享使用者合理使用閒置的頻譜，如何掌握共享頻段的使用狀況將是頻譜共享機制中重要的程序。

電波監測系統是一種偵測無線電波的工具，透過電波監測系統所建立的數據資料庫，可瞭解各個頻段的使用情形，並得到頻譜管理資料庫所需要的參數。

頻率管理資料庫搭配頻譜地理位置資料庫，即可瞭解共享頻段在各區域的使用情形，並作有效率的分配與管理。另一方面，由固定式電波監測站與行動式監測站所組成的電波監測系統，能無死角地監控特定區域內的頻譜使用情形，並偵測是否有未經許可而發送的無線電波，如地下電台或惡意電波干擾，有效地進行干擾排除程序，進而提升頻譜使用的品質與效率。

一、電波監測的目的

電波監測在頻譜管理過程中是必要的程序，因為在現實中所授權的頻譜並不一定能保證會按照授權規範來使用，特別是複雜性高的通訊設備，其設備之間的交互作用、故障或惡意濫用等等，此外，不同的通訊系統間，例如地面的無線電系統與衛星通訊系統，也可能相互干擾，造成頻譜無法有效分配或長時間遭佔用，大幅降低頻譜效益和通訊品質，因此透過電波監測系統的偵測，能夠即時掌握頻譜使用狀況，標記非法或惡意使用無線電之行為，並對監測資料進行分析、管理以提供頻譜管理層面所需要的干擾驗證與評估，也能做為主管單位在推動政策時之依據，將決策風險降至最低。

一般而言，無線電波是無時無刻都可能在發送，倘若要達到有效頻譜管理的目的，電波監測必須連續不間斷的運作，特別是頻率分配和頻譜規劃的過程，因此必

須不斷更新電波監測的數據資料。換句話說，電波監測系統除了監測頻譜外，也必須具備協助解決電磁波干擾的能力，使電信業者、廣播電台、無線電業務等通訊服務可以兼容並存，減少通訊服務業者所需的成本。另一方面，為確保消費者使用寬頻上網、廣播、數位電視等通無線通訊的品質，電波監測系統將提供有價值的參考數據讓決策者方便且有效率的做頻譜管理。

偵測與查驗無線電波，對於評估無線通訊業者是否符合授權使用規範是非常重要的。如對已註冊之用戶進行電波監測能夠快速的識別與測量該用戶頻譜的使用狀況，當有異常的功率發射也能即時確定干擾源和驗證訊號的正確性，更能檢查和識別未授權非法的發射機等等。具體而言，透過用戶註冊的行為，能方便監測系統對傳輸通道與頻寬的測量，包含技術與操作上達到更有效率的統計分析，也能進一步測量各用戶分佈情形，依據上述經驗即可針對各地區對頻譜監測不同需求，做出適當的人力和資源佈署。

電波監測對於頻譜管理的貢獻，在於協助頻譜監管機關即時了解頻譜的實際使用情形，並提升頻譜的使用效率。值得一提的是，電波監測系統可以在特別的情境下，協助解決超出無線電系統授權範圍的問題，電波監測系統可以偵查無線電站台的運行狀況，或判斷造成干擾的無線電裝置之位置與身分。總體而論，電波監測系統為頻譜監管機關提供頻譜的實際使用狀況，讓頻譜監管機關瞭解頻譜的使用是否符合國家規範，及未來頻譜規劃之依據。由此可見，電波監測系統並非只單一的提供某項服務，而是從監控、管理至提供有效建議的一套完整作業流程。

二、 電波監測系統及訊號分析程序

電波監測系統架構主要是由中央控制中心、固定式監測站、行動監測站及可攜式監測站組成，如下圖所示。中央控制中心能對各監測站進行任務分配，並蒐集、分析、統整各類回報的監測資訊。固定式監測站主要建設在人口密集地區，並負責

較大範圍的電波監測任務。由行動監測車運載的行動監測站，其具備高機動性，能深入固定監測站無法涵蓋之監測範圍。可攜式監測站便於監測人員攜帶，可於小範圍內迅速找出干擾源。借由該系統的運作與各司其職，能有效對一地區進行全面性的頻譜監控。

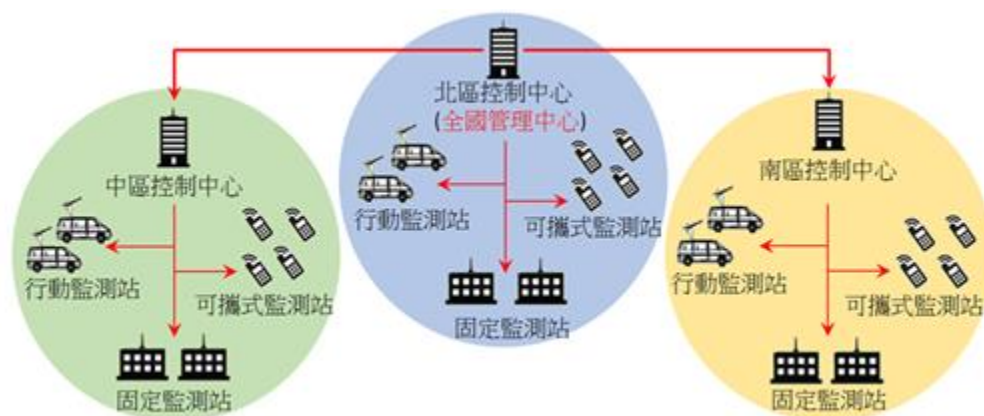


圖 5-1：電波監測系統架構圖

資料來源：本研究整理

頻譜監測系統運作時，通常透過頻譜分析儀輔助，其具備了快速識別及分類各複雜傳送端的能力，藉由調整掃描頻譜的上下限，針對預監測的頻段進行掃描偵測，螢幕會顯示被測訊號在不同頻率的幅度且加以記錄，根據這些紀錄，即可了解受測設備是否超出規定標準的干擾發射或產生干擾的訊號頻率。

頻譜偵測系統蒐集的各類資料(如頻譜的使用狀況、造成干擾的原因、干擾源的所在位置等)將其輸入資料庫後，即可進行各類型的分析，例如對監管單位來說發射機的識別是相當重要的，因此所有傳播的訊號，應通過訊號分析等方法(如代號、註冊、站名等)進行識別或排除惡意的干擾。主管部門在人力和資源的分配上，也能依照經過統計的數據，進行有效的管理。

三、電波監測系統連結頻譜管理資料庫

電波監測與頻譜管理之間有密切的關係，如下圖所示，透過計算機系統互連運作，使得電波監測資料庫和頻譜管理資料庫之間建立起良好的合作關係（如：交換資訊、任務回報等），提高兩者之間的有效性和成本效益。實施頻譜管理，首先必需要有完整性結構的系統，因此建立相關頻譜資訊的資料庫顯得相當重要。

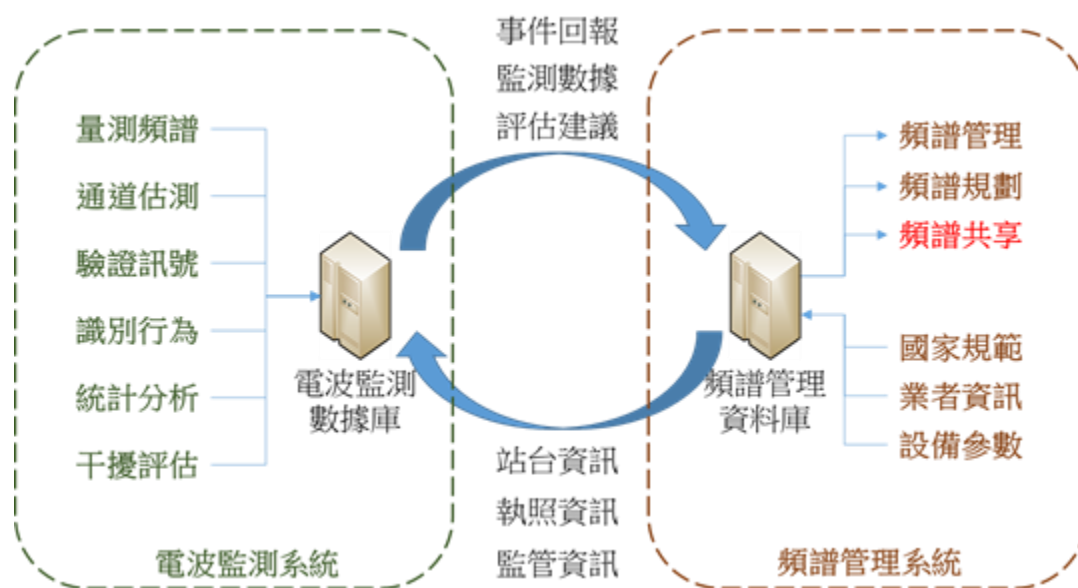


圖 5 -2：電波監測系統與頻譜管理系統之互動

資料來源：本研究整理

電波監測系統紀錄所監測的數據結果與事件，以自動化方式蒐集數據，計算、分析、評估、處理無線電干擾的任務，並建立屬於自己的電波監測資料庫，以利頻譜監管機關即時掌握頻譜資訊。

頻譜管理系統具備儲存、維護和調查各個通訊網路使用資訊的能力，這些資訊統整起來形成頻譜管理資料庫，並負責提供無線電設備的相關參數，除此之外頻譜管理資料庫包含頻譜管理、頻譜規劃、頻譜共享等相關服務。頻譜管理資料庫進行

各種查驗工程與管理分析之前，必須依據國家管理規範所制訂頻譜共享之管理規則，如頻譜的分配方式、管理者及使用者需遵守的權利義務、通訊業者資訊使用規範、設備參數的規範要求等，以確保頻譜使用、操作能在統一的標準下進行，更能避免各系統設備因在不同標準下交互作用所產生的干擾。

電波監測資料庫與頻譜管理資料庫連結時，透過互相協同合作，能快速且更有效率的實行管理。當頻譜管理系統欲對頻譜進行規劃時，其會根據電波監測資料庫回報的通道狀況估測、干擾情形或統計分析等資訊進行評估，了解目前欲使用的通道是否為暢通且未遭占用，並做適當指配，監測系統甚至會主動提出有效建議讓管理系統進行參考。而頻譜資料庫所儲存的各類執照、設備、業者資訊和相關國家規範，也能提供給電波監測系統，使電波監測系統可以驗證使用者是否經過授權或授權使用者的頻譜分配條件，並識別標記出非法使用者，最後再回報可靠性更高的頻譜資訊給頻譜管理系統。經由兩者間不斷的循環運作，將會不斷地更新頻譜資料庫，使得頻譜管理程序更加完善。

第三節 運用 Crowd Sourcing 掌握頻譜使用現況

一、 Crowd Sourcing 簡介

Crowd sourcing，或稱為群眾外包，是源自於美國雜誌『Wired』中的記者 Jeff Howe 於 2006 年 6 月的月刊上所發明的新名詞。其意指公司或是機構，把過去由員工或是交付給其他專業公司所執行的工作任務，用公開招標的方式把工作任務分配給非特定且為大型的群眾來執行，其工作任務可以是個人來執行，或結合多人共同協作執行，工作任務完成後，會由提供工作任務的一方來審查結果，勝出的個人或群體將能獲得獎勵，其可能是金錢上的獎勵或是知名度的提升等。因工作任務是利用傳播的方式公告，所以接受工作任務的大多是對獎勵有興趣或是對工作任務有興趣的人士，所以專業度及正確度將不及於利用傳統外包的方式，儘管如此，群眾外包亦有其特殊的優點，說明如下：

- 工作任務可以利用較少成本來探究及討論
- 有提出工作任務之解決方案，才需要付費
- 工作任務可以受到更多關注，並能蒐集到更多的結果

群眾外包與傳統外包所具備的核心概念不同，傳統外包就像是雇傭人員一樣，雇傭專業員工來幫忙解決在研發或是工作任務上所遇到的瓶頸。但是群眾外包就如同讓更多人，甚至更多的專業員工投入這項工作任務，利用大量且不同的方式面對同樣的工作任務，將能夠跳脫出因相同專業而導出類似結果的框架，甚至讓原本提出工作任務的機構獲得更多想法，或瞭解大多數群眾的喜好，其並不像傳統外包一樣只侷限於固定的群體，但這樣的特性卻對專業領域帶來無比的衝擊，例如，具備經驗及美感程度累積的攝影師所拍攝的照片，會被許多過路人隨手拍攝的照片所取代，只因為取得照片所需花費的成本可以大幅減少。

群眾外包與傳統外包有許多不同的特性，面對相同工作任務，這兩種外包方式的特點比較，如下表所示。

表 5 -1：群眾外包與外包的特性比較

	群眾外包 (CrowSource)	傳統外包 (OutSource)
專業程度	參差不齊	高
所需要付出的成本	低	高
取得成果的可信度	低	高

資料來源：本研究整理

二、 Crowd Sourcing 運作方式

群眾外包在運作上有許多需要注意的機制，如以下幾點所示：

1. 明確的獎勵機制

群眾外包需要有明確的獎勵機制，不論是金錢還是知名度，在提供工作任務的同時，亦需要提供獎勵說明，因為所提供的獎勵將會影響到接受工作任務的群眾人數，以及群眾解決問題的積極程度，所以權衡獎勵也是群眾外包所需要考量的重點。

2. 傳播平台

為了將工作任務的資訊公告予群體，特定的資訊傳播平台是非常重要的角色，不論是紀錄參與這項工作任務的人，或是想要接收此項工作任務的群體，都需要平台來串連。

3. 大量的群眾

群眾外包的核心就是將工作任務託付給大量的群眾，不論是取得大量的解決方案，或是收集大量第一手群眾的資料，這些都是需要一定數量的樣本數才有辦法成形。

經由上述幾點，可以將群眾外包分成以下的流程，由提供工作任務者，無論是公司或是組織機構，內部討論出工作任務極其相對應的獎勵後出，提交至傳播平台，再由傳播平台傳遞給大型群眾，這些群眾可能為任意的群體或是有依照特性來區分的群體，在群體內的個人接收到工作任務後，提出解決方案，並將成果上傳至傳播平台。傳播平台統整所有解決方案後，提交給工作任務提供者，由其選出最滿意的方案，並透過傳播平台把獎勵發放給勝出的工作者。詳細流程如下圖所示。

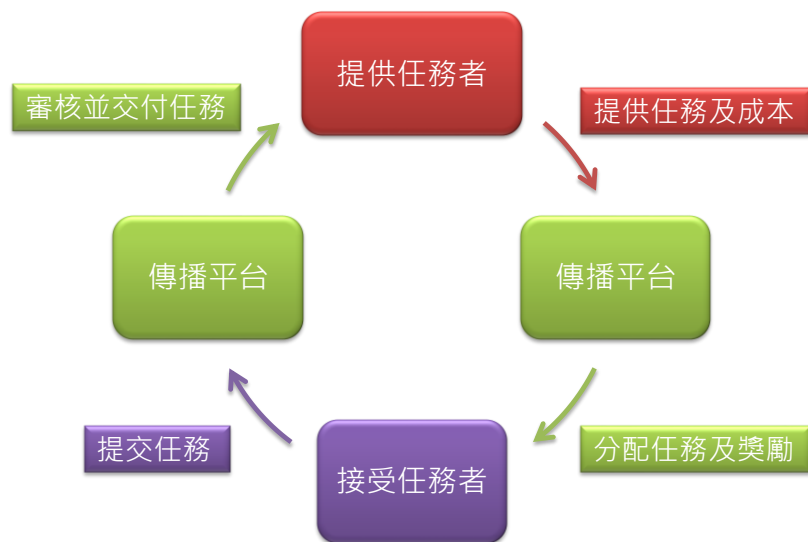


圖 5 -3：Crowd Sourcing 運作示意

資料來源：本研究整理

因為時代的演進，所以越來越多 Crowdsourcing 的應用已經轉移到行動裝置上，如下圖所示，不論是美食評論亦或是交通路況，都已經利用行動裝置的特有的特性，並且結合 Crowdsourcing 的概念，完整的使用在多樣化的手機軟體，對於可以將這樣的模式轉移到行動裝置上的討論，我們將於第四節會有更詳盡的討論與說明。



圖 5 -4：Crowd Sourcing 應用至行動裝置

資料來源：本研究整理

三、 Crowd Sourcing 實例分析

透過群眾外包，可依提供不同的工作任務，而得到許多不同的資訊。現行利用群眾外包的傳播平台，多數以商業模式來進行營利行為，在本章節會詳細介紹，並探討這些商業平台的特性及所收集到的資訊為何、營運平台獲利方式，同時進一步分析較合適於檢測特定頻段之使用狀況的群眾外包平台。

(一) Amazon Mechanical Turk

近年來討論最熱烈並且完全符合群眾外包概念的平台就是 Amazon mechanical turk⁵⁹，這個平台主要的運作方式如圖 5 -5 所示，但 Amazon mechanical turk 為了讓工作任務的複雜度降低，網站本身會將原始工作任務再細分成數個小型工作任務，同時也將獎勵依工作任務難易程度分級，再將任務發派給接收任務的人。這個網路平台強調的是工作任務簡單而獎勵不高，適合利用零碎時間來賺取小額的群眾。

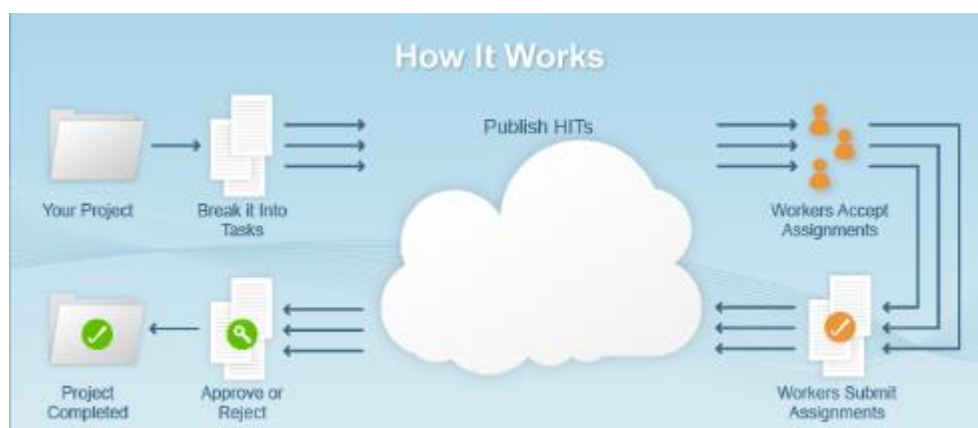


圖 5 -5：Amazon Mechanical Turk 運作原理

資料來源：Amazon

營運模式分析：Amazon mechanical turk 營運平台將會從提供任務廠商獲利，來維持此項平台的維護與營運，其中使用者參與任務的獎勵開銷跟平台無關，只需由廠商支付即可。由於任務及獎勵都由廠商提供，任務可能會以圖利廠商的方式呈現，例如:用以增加網站點閱率等，失去利用群眾收集資訊的原意。

⁵⁹ Amazon mechanical turk, <https://www.mturk.com/mturk/welcome>

（二）InnoCentive

InnoCentive 這個平台主要負責解決化學難題，在這個網站上可以看到許多企業會利用高額的懸賞金來徵求正確與有效的解決方案。

營運模式分析：跟 Amazon mechanical turk 平台類似，都是由提供任務廠商獲利，但也因任務難度高，解決問題的時限較長，平台在每項任務的中可抽取的獲利相對提高，以維持平台營運。

（三）McDonalds Burger builder

McDonalds Burger builder⁶⁰這項服務利用群眾外包，收集顧客需求的資訊，讓顧客可以自行決定漢堡的用料，藉以得知廣大的顧客群所喜好的口味搭配。這項工作任務的獎勵，即當月所設計出最有人氣的組合，將可以在當地的店面做為產品販售，並且會附上少數的利潤給製作者。

營運模式分析：McDonalds Burger builder 由 McDonalds 公司自行營運，此項平台用於了解顧客群的喜好，並建立顧客喜好資料庫，同時將最具人氣的種類進行販賣，增加自身產品項目，這樣的平台造就一舉數得的利益，用此來獲取更多利潤。

（四）Waze

Waze 手機導航軟體⁶¹，利用特定使用者的回報來安排最佳路線給每一位使用者，只要使用者們越加勤於回報路況，則越可以讓軟體安排出最適合每個

⁶⁰ McDonalds Burger builder, <http://www4.mcdonalds.ca/createyourtaste/>

⁶¹ Waze, <https://www.waze.com/zh-TW/>

使用者的路線，利用互惠的方式作為獎勵機制，使其在國外登上前幾名熱門的手機導航系統。

營運模式分析：Waze 為行動裝置上免費的應用程式，利用應用程式中的廣告來賺取費用，由於 Waze 可以得知此刻交通狀況，以避開壅塞路段，利用使用者們互惠的方式，越多使用者參與，平台可獲利的利潤將越多，並且從其中維持平台營運。

(五) 綜合比較

前述四項群眾外包的應用實例與比較整理如下表，其中最能有效運用於檢測特定頻譜的使用狀況為第四項，也就是參考利用 Waze 手機軟體工具來檢測頻譜，並回報檢測結果。為了能夠達到隨時檢測特定地區特定頻段的目標，手機的移動性及群眾外包的大數量群眾特性將是最大的優勢。Waze 的手機應用程式雖然無法直接用來檢測頻譜的使用狀況，但其群眾外包的運作架構卻是值得探討與評估是否在未來能應用於頻譜共享的機制。

表 5 -2：群眾外包應用實例比較

實務運用	傳播平台	目的	移動性	即時性	是否可以指定特定地區
Amazon Mechanical Turk	網站	利用大量人力解決瑣碎的事情	關聯性較低	視任務而定	無法
InnoCentive	網站	利用大量人力解決困難的問題	關聯性較低	視任務而定	無法
McDonalds Burger Builder	應用程式	了解顧客的喜好	低	低	依店家分布
Waze	移動裝置	利用使用者經驗來作路線規劃	高	高	可以

資料來源：本研究整理

四、 Crowd Sourcing 於行動裝置之應用

隨著通訊科技的演進，讓 Crowd sourcing 技術應用不再只是用電腦網頁瀏覽的方式來接收並且完成任務，Crowd sourcing 已經能夠由行動裝置來完成任務，特別是利用行動裝置來進行收集資料、檢測環境狀態等，這項進步使得環境檢測亦或是監控地區性交通的狀況不再是依靠昂貴專業器材檢測的結果，而是可以利用行動裝置收集、回傳資料的方式來進行驗證，換言之，運用 Crowd sourcing 機制結合行動裝置來進行頻譜檢測的可行性，本研究認為可行性極高。

將 Crowd sourcing 這項機制應用在行動裝置，在現今的社會中可以找出許多相關案例，不論是用蒐集大眾的意見，或是交通狀態的概況等，都是讓我們認為 Crowd sourcing 這項技術應用在檢測地區的頻譜上可行的，並且可以由以下幾點來佐證：

- 根據國際研究暨顧問機構 Gartner 預測，行動終端將在 2018 年達到 19 億以上⁶²
- 考慮到基於動態頻譜分配(Dynamic Spectrum Allocation)的無線系統的預期普遍性，行動裝置將能夠進行頻譜感測
- 行動裝置的定位、通訊、計算能力正在大幅進步，使得移動式 Crowd sourcing 應用程式大幅增加

將 Crowd sourcing 技術應用在行動裝置，得以讓檢測的項目以及精準度大幅提升，任務不再侷限於人力才有辦法完成的任務，因為現今的行動裝置內搭載兩項技術：

⁶² <http://www.gartner.com/newsroom/id/3560517>

- 行動計算
- 行動感測

有前述能力的輔助，讓 Crowd sourcing 的應用有更完善的規劃，利用行動裝置計算的能力，可以算出單次的任務檢測花費多少成本以及時間來完成，並且可以將任務需要的資料整合後再送出，也可以將行動裝置當成資料統計平台，結合雲端運算的能力，讓指定區域的行動雲做為資料統合平台，行動感測方面，則是可以將行動裝置作為專業儀器，用於檢測多種用肉眼檢測不到的環境參數，例如：譜使用狀況、人體健康檢測等，都是可以利用行動裝置輔助檢測，並且利用網路的方式上傳到雲端，再由資料庫平台將資料整合⁶³。如下圖所示。



圖 5 -6：行動計算以及行動感測的應用

資料來源：本研究整理

對於行動裝置來說，使用網路做跟大眾交流的媒介是常見的，如下圖。因為有這樣的能力，使得將 Crowd sourcing 應用在行動裝置上時會有更多的面向來應用，例如：蒐集在指定餐廳內用餐客戶的意見，讓意見只侷限於用餐顧客等，限制使用

⁶³ Ju Ren, Yaoxue Zhang, Kuan Zhang, and Xuemin (Sherman) Shen "Exploiting Mobile Crowdsourcing for Pervasive Cloud Services : Challenges and Solutions" IEEE Communications Magazine • March 2015

者在指定區域內完成的事情，相對的，應用在頻譜共享的狀況也是十分雷同的，本次任務可能只局限於在指定區域內的使用者才能進行頻譜共享的行為；跟大眾交流時，則可以利用多隻手機聚集成一行動雲，來完成非固定式的指派任務，或是做為統計現況的資料庫，譬如：到海港邊蒐集船隻停靠數量等，可以利用移動的特性到特定的區域完成網路上的指派任務，對於頻譜共享來說，這項的技術可以輔助統合全國的頻譜狀況，共享使用者們的頻譜檢測結果，利用網路的方式上傳網路平台，並且交由頻譜管理資料庫做統合及更新。

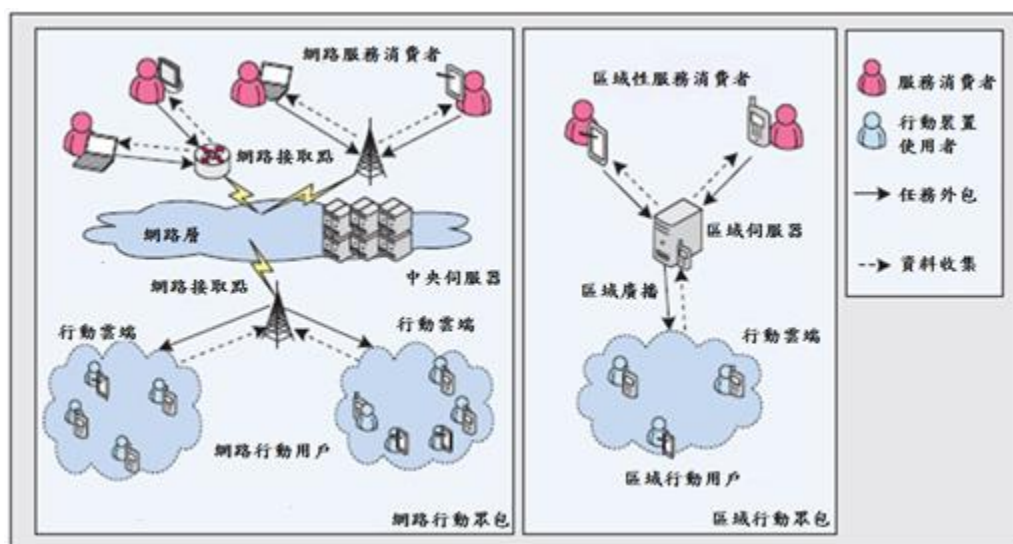


圖 5-7：大眾網路與區域網路

資料來源：本研究整理

行動裝置有著上述的能力，評估 Crowd sourcing 這項技術結合行動裝置做頻譜檢測，本研究認為可行性極高，但因為 Crowd sourcing 是以大眾做為回報資訊的參與者，對於參與者的知識背景是無法掌握的，進行專業度高的任務時，可能會發生預期之外的誤判，本研究也在下一節討論是否會有回傳使用者誤判或是刻意回傳惡意資訊的情況發生。

五、以 Crowd sourcing 於行動裝置進行頻譜檢測之問題剖析

Crowd Sourcing 機制是利用非特定且大量的群眾來執行，相較於過去頻譜檢測是屬特定機構且專業性高的工作，頻譜檢測不單是需要專業儀器來操作，也須考量環境的因素。現今因行動裝置的普及與功能提升，以行動裝置來進行頻譜檢測並非難事。然而，當每個人都能夠利用手上的智慧型手機來量測頻譜，檢測結果的不確定性就會提高。例如：某些群眾可能會因為想要盡量完成大量的任務，獲得獎勵，而沒有注意到所處環境對檢測結果的影響，如處在通訊環境差的空間(地下室、屋內)或充滿雜訊的環境(都會區、市集)等。沒有考量到周遭環境的干擾，都會讓檢測結果充滿不確定性的因素，除了完全沒有通訊背景的群眾會發生這樣誤判的結果外，本計畫執行過程中，我們也考量到可能存在著具有專業知識背景的使用者，刻意想要占用頻道，讓自身可以使用空間的共享頻段，進而回報錯誤資訊的使用者存在，對於這些影響頻譜檢測的使用者們，接下來均以惡意使用者來稱呼。

在傳統 Crowdsourcing 的機制下，只要使用者回傳的資訊為使用二分法判讀的情況，最終資料統整後的結果都採用多數決的結果來做為最後的判斷依據，多數決的方法只建立在無惡意回報的情況下，才有辦法做出符合結果的正確判讀，倘若在充滿較多數惡意使用者的情況下，多數決的決策方式是幾乎無法做出正確判讀，但使用二分法判讀的情況時，平台可以將蒐集到的資料屬性區分為高一致性和低一致性，多數決的機制下，不論是高一一致性或是低一致性都被歸類為相同的情境，最後都只依照回答結果數量較多的為準，而忽略的低一致性時，有可能會造成讓結果錯誤的狀況。

本研究將研析現有文獻所提出的方法，並於下一節提出自適性演算法，這些方法用意即第一時間先辨識出惡意使用者，再將其資訊回報給監理機關做最適當得處理，以確保和諧的通訊環境。本研究為了避免被惡意使用者干擾的狀況，首先研

析兩項解決方案⁶⁴：

- 基於識別每個小區內的異常值測量，以及在分層結構中的相鄰小區之間的佐證，以識別具有大量惡意節點的小區
- 使用可信賴的頻譜檢測器評估移，同時計算信賴度及其聲譽值。

解決方案(一)：

首先將需要檢測頻譜的地區做分割成小區塊的動作，如下圖，並且讓小區塊內的共享使用者檢測既有使用者(primary user)的能量值，將區域內使用者的能量值互相比較，再將能量值和預先設立的門檻值來做比較，如果能量值高於門檻值時，對區域內使用者做標記，並且找出企圖干擾本次測量的惡意使用者。

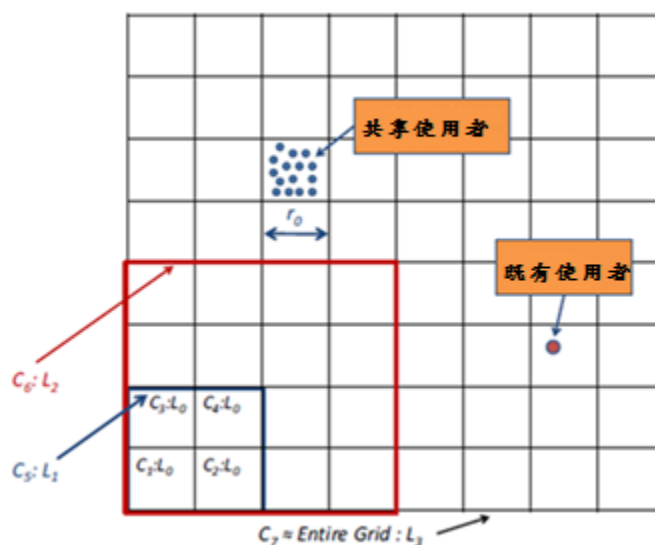


圖 5 -8：解決方案(一) 示意圖

資料來源：本研究整理

⁶⁴ Rui Zhang*, Jinxue Zhang*, Yanchao Zhang*, and Chi Zhang† “Secure Crowdsourcing-based Cooperative Spectrum Sensing” 2013 Proceedings IEEE INFOCOM

再讓相鄰區域對於既有使用者的能量檢測值標準化後再比較，避免有多數惡意使用者控制區域的狀況發生，不斷的重複直到將所有的使用者涵蓋後才停止。過程中標記每位使用者高於或是低於平均值，最終依照使用者被標記的數值來評斷是否為惡意使用者。

門檻值:將檢測區域內的兩點 i 和 j 在區域中為距離最遠的點，兩點所檢測能量值 p_i, p_j 做比較，使兩點能量相差結果小於門檻值 d^0 的機率為 0.9

$$p_i - p_j \sim N(10\log_{10} \frac{r_{rep} + \sqrt{2r_0}}{r_{rep}}, 2\sigma^2)$$

$$\Pr(p_i - p_j \geq d^0) \leq 0.1 \Rightarrow$$

$$Q\left(\frac{d^0 - 10\log_{10} \frac{r_{rep} + \sqrt{2r_0}}{r_{rep}}}{\sqrt{2}\sigma}\right) = 0.1$$

$$d^0 = \sqrt{2}\sigma Q^{-1}(0.1) + 10\log_{10} \frac{r_{rep} + \sqrt{2r_0}}{r_{rep}}$$

延伸到區塊對區塊間的比較:

$$\Pr(p_i^0 - p_j^0 \geq d_k^1) \leq 0.1 \Rightarrow$$

$$Q\left(\frac{d_k^1 - \Delta\mu_k^{rep}}{\frac{\sqrt{2}\sigma}{\sqrt{m}}}\right) = 0.1$$

$$d_k^1 = \frac{\sqrt{2}\sigma}{\sqrt{m}} Q^{-1}(0.1) + \Delta\mu_k^{rep}$$

應用到所有區塊的通式為：

$$d_k^i = \frac{\sqrt{2}\sigma}{\sqrt{b^{i-1}m}} Q^{-1}(0.1) + \Delta\mu_k^{rep}$$

$\Delta\mu_k^{rep}$ 為第 k 個區塊中的檢測能量平均值;B 為小型區塊的半徑;

解決方案(二):

觀測頻譜狀況時，在每個分區放上數個可信任的觀測站，如下圖，回收檢測結果時，將每個分區的使用者跟觀測站的結果相比，計算可信度作為判別基準，並且標註名譽分數(reputation score)，以單次測量最終的結果作累加的動作，可以判斷出再長期的狀況，是否還是有不同行為的惡意使用者潛伏其中。

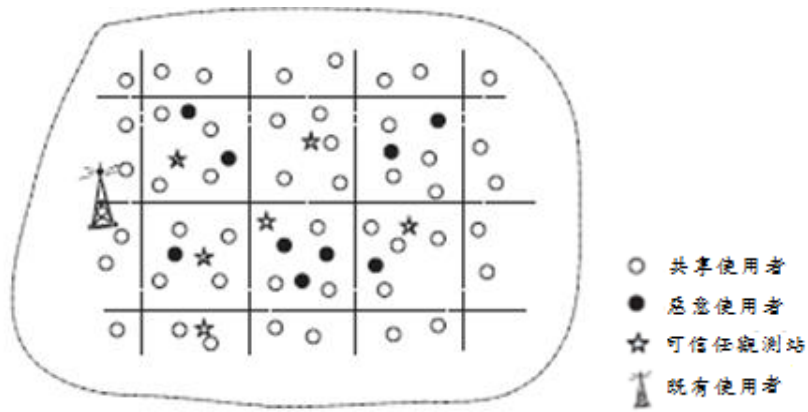


圖 5 -9：解決方案(二) 示意圖

資料來源：本研究整理

六、 Crowd Sourcing 頻譜檢測自適性演算法

對於檢測環境中有可能充滿惡意使用者的狀況，本研究提出 Crowd sourcing 頻譜檢測自適性演算法，前一章節提到在傳統 Crowd sourcing 的機制下，只要使用者回傳的資訊為使用二分法判讀的情況時，平台可以將蒐集到的資料屬性區分為高一致性和低一致性，多數決的機制下，不論是高一一致性或是低一致性都被歸類為相同的情境，最後都只依照回答結果數量較多的為準，而忽略的低一致性時，有可能會造成讓結果錯誤的狀況，為了妥善利用高低一致性的特性，本研究提出的自適性演算法，在資料區分成高一一致性以及低一致性的同時，將兩種狀況分開討論處理，進一步排除惡意使用者，以增進和諧的通訊環境。

本研究所提出的自適性演算法，可以分成三種層級，如下圖，並且依照層級的順序逐一處理

- 平台層
- 運算層
- 決策層

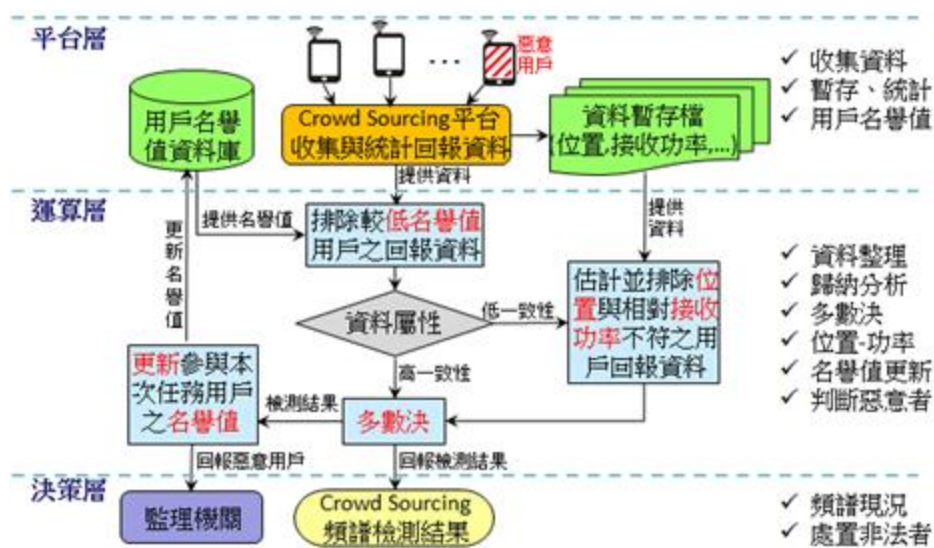


圖 5 -10：自適性演算法示意圖

資料來源：本研究整理

首先是平台層，在平台層中主要有三個儲存資料平台，分別是:用戶名譽值資料庫、Crowd sourcing 回報資料平台、資料暫存檔，主要在將資料留做紀錄，並且會在此層將資料做分析與統計，在平台層分析及記錄結束後，會進入到第二層運算層，在此層會開始對整合後的資料做運算，先讀取所有使用者名譽值，對此次參與的共享使用者做名譽值的刪減，排除名譽值低的使用者，再將資料區分為高和低一致性，因為先做過名譽值的篩選，所以簡易排除大多數的惡意使用者，如果為高一致性的狀態下，可以利用多數決在惡意使用者少的狀況下，具有高度正確率的特性，統計本次檢測頻譜的結果，假使被歸類為低一致性的狀況，代表在篩選過後參與者中，可能有誤判狀況發生，則立即進行內部誤判狀況的排除，為了達成這個目的，將對低一致性的使用者進行接收功率與地理位置不符合刪除，刪除後，回到多數決在少數惡意使用者的特性，並且更新本次有參與用戶之名譽值，最後會進入到決策層，將多數決最後的結果回傳給發派任務者，並且可以依照每位用戶的名譽值做惡意使用者的回報，以便監理機關對於非法使用者來處罰。

下圖為自適性演算法模擬成果圖，由圖中可以觀察到如果以傳統 Crowdsourcing 多數決方式來進行頻譜檢測時，會因為惡意使用者的上升而影響偵測的結果，惡意使用者在 35 人時，使用多數決的結果就如同惡意使用者很少的狀況，對這樣的環境可以達到完美的檢測頻譜，但上升到 55 人時，檢測的機率變得非常不穩定，上升到 75 人時，利用傳統多數決時，檢測的結果完全是錯誤的，但是如果是利用自適性演算法時，橫軸代表為高一一致性與低一致性的門檻，假設為 50，則表示只有在(檢測到頻譜人數/總人數)*100%=50%的狀況下才被認為是低一致性，這張模擬圖將會是左右對稱，因為檢測到頻譜以及沒有檢測到頻譜的人為互補的狀態，由圖中可以發現到，既使惡意使用者為 55 人時或是 75 人時，都依然可以保持有非常好的檢測率。

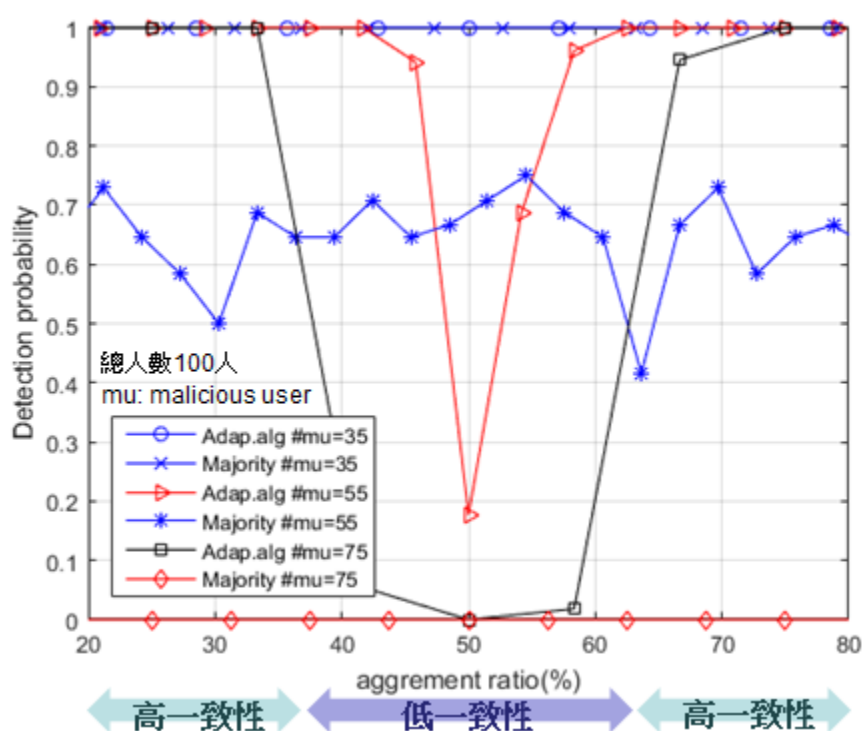


圖 5 -11：自適性演算法電腦模擬結果

資料來源：本研究整理

七、 小結

雖然自適性演算法已經可以大幅提升傳統 Crowdsourcing 多數決的成效，但是在惡意使用者為多數時，還是沒有辦法達成非常完美的檢測結果，本研究未來將持續研究開發低複雜度自適性演算法，利用較低取樣人數，同樣可以達成更高的精準度，在研究自適性演算法同時，有效的使用者名譽值設計，亦能夠進行更精準的判斷，讓惡意使用者能夠在第一時間就偵測出並排除，並減少產生低一致性的判讀結果。本研究也將持續對名譽值的設計做更深入的研究，同時間也會對參與者得獎勵機制設計，來輔助計算平台營運商的成本，以便讓平台營運上持續地經營，最後，由第三小節對現有 Crowd sourcing 平台的案例分析可以得知，在現行的平台中，多數都是以營利目的或是對該機構能產生獲利而存在，但是無線電頻譜是屬國家資源，頻譜檢測也是頻譜管理重要的一環，目的是讓全體國民能和諧使用，為了讓 Crowd sourcing 系統平台能具備頻譜監測功能，進一步提升頻譜共享的效能，本研究建議頻譜共享資料庫營運商能夠同時擔任 Crowd sourcing 系統平台營運上的角色，除了能夠有效率地整合頻譜共享之參數外，協助頻譜管理資料庫中的資訊做最有效率的更新，亦能夠防止數據資訊外流。

第四節 研析頻譜地理資料庫的干擾防範機制

一、 頻譜地理位置資料庫與頻譜共享

ITU-R Report SM.2152 定義了感知無線電(Cognitive radio)的技術，其根據地理位置的資訊來建立通訊網路，透過感知無線電系統來獲得無線通訊所需要的參數，並動態調整通訊參數與協定，再從所得到的通訊結果進一步地調整改進，再不互相干擾的情形之下提升通訊品質並且合理的分配頻譜讓使用者的數量與通訊品質可以得到兼顧。

頻譜共享的核心概念是在不干擾既有使用者(Primary User)的前提下，共享使用者(Secondary User)合理的使用空間(Idle)頻段，因此掌握頻譜的使用情形極為重要，地理資料庫(Geo-location Database)需要掌握各個頻譜的使用狀況，當次級授權用戶要使用頻段的時候需要像地理資料庫進行註冊(Registered)。隨著感知無線電技術的成熟，頻譜共享的發展也趨於穩定，透過頻譜地理位置資料庫，共享使用者的通訊設備能夠瞭解可使用的共享頻道及適用的時段與地區，特別是該設備能發射的最大功率限制，頻譜監管機關亦能透過頻譜地理位置資料庫來掌握共享頻段的使用情形，並依據通訊設備所在的地理位置，設定最適當的通訊協定，如若再搭配電波監測系統監測個個使用者的使用狀態，並排除未註冊的違法使用者與發射功率超過許可的有害設備。

下圖解釋了頻譜共享機制的需求，既有使用者擁有頻譜的優先使用權，其必須將它的地理位置與頻譜使用的狀況告知地理資料庫，在既有使用者沒有使用的空間頻段則可以分享給共享使用者以此提高頻譜的使用效率，共享使用者要使用頻譜的時候需要跟地理資料庫進行註冊讓地理資料庫可以掌握其使用情況，地理資料庫跟設備之間需要進行參數的交換詳細的內容會在第三小節討論，地理資料庫

會根據頻譜的使用狀態來分配給共享使用者在特定時段、特定位置所允許的最大傳輸功率，傳輸功率的考量主要是在不干擾既有使用者之情形之下協調共享使用者以避免相互之間的同頻(Co-channel)或鄰頻(Adjacent Channel)干擾。

如果單純使用頻譜地理資料庫只能管理有向資料庫註冊的共享使用者，對於沒有對資料庫進行註冊或者超出資料庫允許最大傳輸功率的非法使用者，地理資料庫無法掌握這些干擾源，如果加入電波監測系統可以監測到頻譜的使用情形，並對地理資料庫進行參數更新讓共享使用者避免使用被干擾源污染的頻段，並進一步地去排除非法的使用者，如果單純使用電波監測系統對於監測系統無法測量到的區域可能會忽略到監測能力外的共享使用者，如果共享使用者有向地理資料庫進行註冊即能避免使用相鄰的頻段，來達到提升整體頻譜效益的效果。



圖 5 -12：頻譜共享機制之需求

資料來源：本研究整理

二、 頻譜地理位置資料庫的運作及干擾防護

國際發展較早且已有應用實例的頻譜共享機制，為利用電視頻段中間置的空間（TV White Space，TVWS）進行頻譜共享。

在此參照歐盟電子通訊委員會報告⁶⁵，研析 470-790MHz 的 TVWS 頻譜地理位置資料庫的運作模式。首先說明基本定義：

- TVWS 意指兩個數位電視頻道之間的未使用頻率（White Space，WS）。
- Master WS device（MWSD）意指能直接從頻譜地理位置資料庫獲得頻譜共享所需參數的通訊設備。
- Slave WS device（SWSD）意指不能直接從頻譜地理位置資料庫獲得頻譜共享所需參數的通訊設備，其只能從 MWSD 來獲得相關參數。

WSD 獲得 TVWS 的共享使用許可，其運作程序如下：

1. MWSD 搜尋認證的頻譜地理位置資料庫
2. 傳送 MWSD 的參數給頻譜地理位置資料庫
3. MWSD 從頻譜地理位置資料庫接收操作參數
4. MWSD 將通道的使用參數傳送給頻譜地理位置資料庫
5. 頻譜地理位置資料庫回傳 MWSD 適用的通訊參數
6. MWSD 傳送頻譜共享參數給 SWSD，設備進行操作

⁶⁵ ECC Report 186 - Technical and operational requirements for WSD under geo-location approach, available at <http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/ECCREP186.PDF>

MWSD 或 SWSD 在以下的情況需立即停止於 TVWS 的通訊行為：

1. 信息的時效性過期
2. MWSD 或 SWSD 移動到地理區域之外
3. 頻譜地理位置資料庫指示停止操作

頻譜地理位置資料庫需要管理以下的資訊，如下圖所示：

1. 服務的資訊

像是發射端參數（天線高度、位置、模式、發射功率等等），與接收端參數（保護比、靈敏度）。

2. 資料庫更新延遲

當服務被變更的時候所需要等待的時間，可以透過國家主管機關的要求直接向每個資料庫分配，或者透過中央的資料庫分配。

3. 資料庫更新的頻率

資料庫更新的頻率是以資料庫更新週期用來保持資訊的有效性，適當的更新頻率取決於受保護的服務分配的改變速率，一般來說受保護的服務需要快速更新，因為這樣才能保持其靈活性以便更快的改變分配。

4. 將提供給資料庫的訊息轉化為資料庫的基本元素

資料庫須將提供給資料庫的訊息轉換為頻率的允許列表與裝置的發射功率，資料庫會給予裝置在特定位置特定頻率範圍內最大的功率等級，根據這些數據用演算法確定在該位置不會對既有使用者造成干擾。

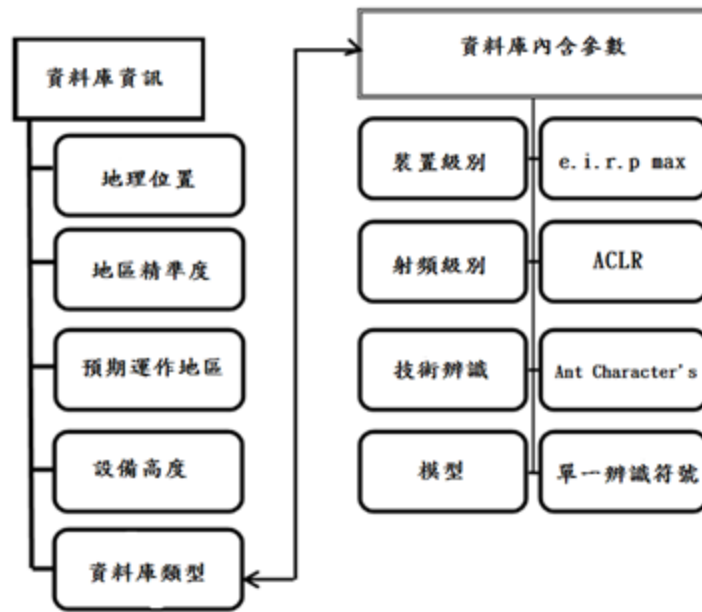


圖 5 -13：頻譜地理位置資料庫之參數

資料來源：本研究整理

在轉換的過程中，頻譜地理位置資料庫將確定裝置允許的頻率及發射功率，區塊內 (In-Block) 及區塊外 (Out-Block) 都需要考慮：

- 區塊內指在輻射信號頻譜內某片段 (segment) 的發射，通常用於乘載接收端所需要的信息，頻譜內分段的寬度稱為帶寬。
- 區塊外是指在區塊內頻譜之外的片段，通常是指非預期性的發射。

對於預期外發射訊號干擾，必須先對其接收端做干擾分析，以便於設計抗干擾演算法計算時，有更明確的依據，接收端可接受最大抗干擾功率用數學可以表示為：

$$\psi(\text{dbm}) = 10 * \log_{10}(K * T) + 30 + v + 10 * \log_{10}(\beta * (10^{\left(\frac{\gamma}{10}\right)} - 1))$$

Ψ 為接收端的保護等級

K 為波茲曼常數 $13.806*10^{-24}$ J/K

T 為溫度單位

V 為接收端的雜訊功率

β 為接收端的訊號頻寬

γ 為接收端靈敏度的衰減

假設在室溫 27 度的既有使用者所使用的通訊系統，允許的接收端訊雜比為 7dB，頻寬為 200kHz，允許的靈敏度降低為 1dB，利用上述公式可得：

$$\psi(\text{dbm}) = -174 + 7 + 10 \log_{10}(200 * 10^3 * (10^{\left(\frac{1}{10}\right)} - 1))$$

$$\psi(\text{dbm}) = -120$$

允許的最大干擾源功率為-120dBm，得知接受端能夠接受的最到干擾源外，如要設計抗干擾演算法，還需要知道所選用頻道之同頻與鄰頻的干擾，本研究將情境分成兩種情況：

- 僅有同頻的干擾
- 同時考量同頻及鄰頻的干擾

僅有同頻干擾的情況下，假設共享使用者(SU)與受保護的既有使用者(PMSE)距離為 R ，則既有使用者所收到的干擾功率為：

$$\psi(\text{dbm}) = P_{IB} * G(R, h_{PMSE}, h_{SU}) \leq v * K * T * \beta_{PMSE} * \delta$$

其中，

$G(R, h_{PMSE}, h_{DB})$ 為耦合增益

$$P_{IB} \leq \frac{v * K * T * \beta_{PMSE} * \delta}{G(R, h_{PMSE}, h_{DB})} \text{ 為接收到的干擾功率}$$

在同時考量同頻及鄰頻的干擾情況下，接收到的干擾功率為：

$$P_{IB} \leq \frac{v * K * T * \beta_{PMSE} * \delta}{G(R, h_{PMSE}, h_{DB})} * ACIR \quad (1)$$

$$ACIR = \left(\frac{1}{ACS} + \frac{1}{ACLR} \right)^{-1} \quad (2)$$

ACS:相鄰通道的選擇性;

ACLR:相鄰通道洩漏比;

得知既有使用者所允許的最大干擾功率值後，可以利用(1)式計算共享使用者在具有同頻以及鄰頻干擾的情況下，所接受到的干擾限制功率值，將這些資料回傳資料庫後，利用資料庫中所存有既有使用者接收端 ACS 值與共享使用者端 ACLR 的數值，計算出(2)式，最後可得共享使用者的功率限制，倘若資料庫存有既有使用者與共享使用者反向 (reverse) 互調特性與相對位置，則可計算反向交互調變失真 (IMD) 的失真幅度。當由共享使用者對既有使用者接收端產生 IMD，可用共享使用者的干擾功率與既有使用者的保護等級進行比較，然後確定相鄰通道的功率限制，最後在將以上計算結果回傳資料庫做更新，並儲存共享使用者在特定位置之功率限制值。

三、 頻譜地理位置資料庫所需要的參數

對於頻譜地理位置資料庫需要跟設備進行三次的參數交換，如下圖所示，當設備搜尋到合法的地理資料庫之後即需要將設備本身的設備參數傳給地理資料庫，地理資料庫再根據設備的位置發射功率等等的條件依照演算法分配適當的使用頻率，再傳送設備參數給使用裝置，這個時候地理資料庫的更新頻率對頻譜使用的效率就非常的有影響，如果更新的時間區隔冗長就容易有其他設備已經傳送完畢而產生的頻譜資源閒置的狀況，如果更新的時間區隔很短地理資料庫就需要比較快的運算能力來應付較為繁瑣的運算，最後使用裝置再將其所使用的通道參數回傳給地理資料庫，讓地理資料庫可以掌握通到實際的使用情形。

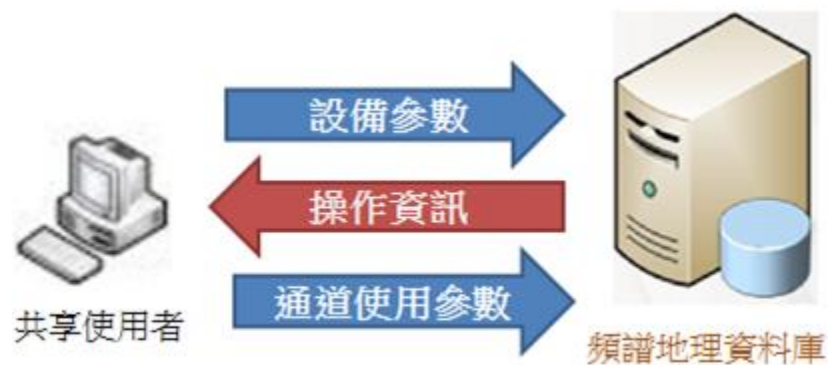


圖 5 -14：頻譜地理資料庫參數交換

資料來源：本研究整理

以下資訊應由 MWSD 傳送給頻譜地理位置資料庫：

- 天線位置
- 天線位置精準度
- 所屬設備的類型(type)

- 所屬設備的發射類別
- 所屬設備的技術標籤(technology identifier)
- 所屬設備的裝置模型(device model)
- 所屬設備的唯一標誌(unique identifier)
- 設備的類別(MWSD 或 SWSD)

以下是 MWSD 可以選擇性傳送給頻譜地理位置資料庫的資訊：

- 天線高度
- 天線角度的區分(discrimination)
- 天線極化
- SWSD 的天線位置及天線特性

從頻譜地理位置資料庫接受指令之後到準備傳輸之前，MWSD 應該向頻譜地理位置資料庫回報以下的通道參數：

- 選擇的頻率區塊
- 預期的發射功率
- MWSD 的覆蓋範圍

以下的參數將會由頻譜地理位置資料庫傳送給 MWSD：

- 可以使用的頻率
- 最大傳輸功率
- MWSD (及其服務的 SWSD)可以傳送最大數量的連續 DTT(Digital Terrestrial Television)通道
- 頻譜地理位置資料庫送參數的時效性

以下的資訊由頻譜地理位置資料庫送給 MWSD：

- 受保護的服務（系統）的檢測級別（sensing level）
- 停止操作訊息

針對 SWSD 欲授權使用 TVWS，SWSD 必須進行以下操作：

- 將設備參數傳送給 MWSD
- 從 MWSD 接收操作參數
- 將通道參數傳送給 MWSD
- 根據 MWSD 接收操作參數進行操作

SWSD 傳送到 MWSD 的設備參數包含：

- 類型（type）
- 發射類別
- 技術標籤
- 模型標誌（model identifier）
- 唯一標誌（unique identifier）

SWSD 可以選擇性傳送給 MWSD 以下參數：

- 天線位置（only geolocation slave）
- 天線定位精確度（only geolocation slave）
- 天線高度
- 天線角度區分
- 天線的極化

SWSD 從 MWSD 接收的操作參數：

- 被授權操作的上下頻率邊界
- 所允許的最大 e.i.r.p.及頻譜密度
- 傳送參數的有效時間
- 可以發送的最大連續 DTT (Digital Terrestrial Television) 通道

以下資訊可以由 MWSD 傳送給 SWSD：

- 受保護的服務（系統）的保護級別
- 請求 SWSD 停止傳送

SWSD 在以下情形會立即停止通訊：

- MWSD 要求停止
- MWSD 參數過期且未更新
- 在監管機關要求的時段內失去與 MWSD 的通信

四、 干擾防範機制參數優化演算法

在頻譜共享架構下既有使用者與共享使用者間的干擾防範，為近年來值得關注的議題，在前幾小節提出簡易的干擾防範的機制後，可以得知多數防範機制都利用限制傳輸功率的方式來達成，而本節將介紹干擾防範機制參數優化演算法，利用參數優化的方式來將受限的傳輸功率最佳化，達成最佳的資料傳輸率。在頻譜共享的概念下，為了確保使用者的通訊品質，需要將整體傳輸率最佳化，然而卻受限於共享使用者發射功率，共享使用者所受到的限制被使用的發射機種類還有地理位置皆不同，所以設計最佳化演算法時，必須依據共享使用者所使用的設備類型與位置來進行設計最佳化的發射功率，同時，頻譜共享的環境中，同時有共享需執照頻

段以及免執照頻段兩種共享使用者，在本節最佳化的模擬情境，為了更貼近現實應用情境，讓需執照共享環境中同時存在共享免執照頻段的使用者，考量最佳化傳輸率同時，在共享使用者彼此也存在同頻與鄰頻的干擾，還有共享需執照與共享免執照彼此間的干擾的問題，如下圖所示。

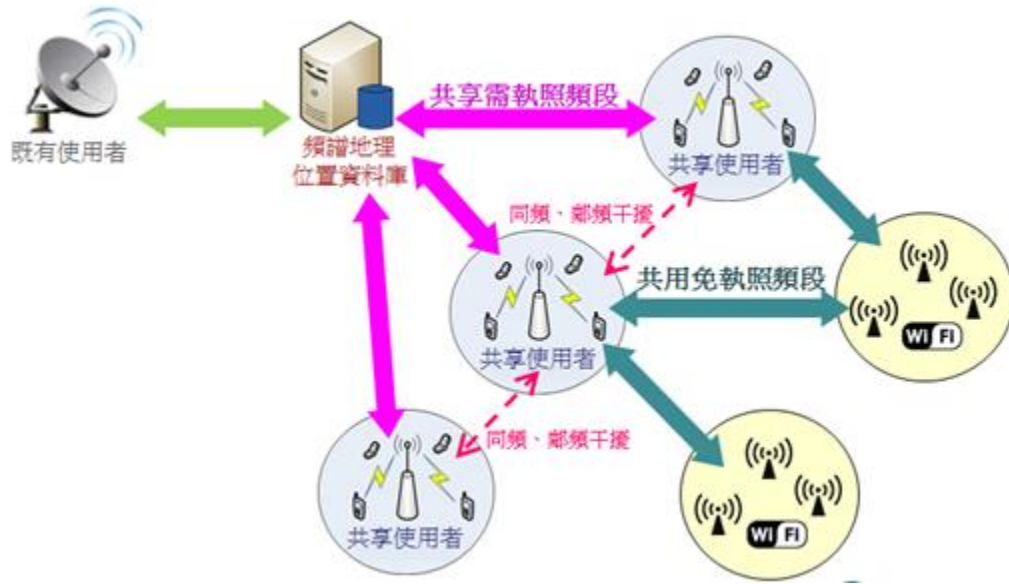


圖 5 -15：參數優化演算法模擬情境圖

資料來源：本研究整理

模擬的環境中，基地台採用正交頻分多址(OFDMA)系統，並假設有 N 個子載波(subcarrier)與 K 位終端用戶，假設終端用戶利用分時的方式來共享子載波，則可以將需執照頻段共享中，第 k 位的終端用戶在的 n 個子載波上的通道容量 R_L 可以寫成(1)式，其中 $\eta_L^{(k,n)}$ 是通道分配指標，值為 0 到 1 之間， W_L 是子載波頻寬， $P_L^{(k,n)}$ 、 $h_L^{(k,n)}$ 則分別是第 k 位終端用戶在第 n 個子載波上平均傳輸功率以及通道增益， $I_L^{(k,n)}$ 是同頻所造成的干擾， σ_n^2 是雜訊的能量，

$$R_L^{(k,n)} = \eta_L^{(k,n)} * W_L * \log \left(1 + \frac{P_L^{(k,n)} * h_L^{(k,n)}}{(I_L^{(k,n)} + \sigma_n^2) * \eta_L^{(k,n)} * W_L} \right) \quad (1)$$

在共用免執照頻譜之資料傳輸率 R_U 可以利用(2)式表示，與使用需執照的傳輸率相同，其中 $\lambda_U^{(k)}$ 是通道分配指標，值為0到1之間， W_U 是子載波頻寬， P_U 、 $h_U^{(k)}$ 則分別是第k位終端用戶在第n個子載波上平均傳輸功率以及通道增益， σ_n^2 是雜訊的能量

$$R_U^{(k)} = \lambda_U^{(k)} * W_U * \log \left(1 + \frac{P_U * h_U^{(k)}}{\sigma_n^2 * W_U} \right) \quad (2)$$

藉由以上的分析，對於第k位終端用戶可以達成的總傳輸率，結合需執照與免執照得情況，可以寫成

$$R^{(k)} = \sum_{n=1}^N R_L^{(k,n)} + R_U^{(k)} \quad (3)$$

在現行法規中，已限制免執照頻段傳輸功率數值，故本研究藉由調整需執照頻段的傳輸功率，來達成系統最大總傳輸率，由此可將需執照與免執照頻段的功率分配歸納成最佳化的問題(4)，最佳化的條件參數為，(5)傳輸量的最低標準，確保每一位使用者都可以有一定的品質保證，(6)頻道分配的條件，(7)可行的干擾功率限制，要確保在先前定義的門檻值，(8)設備功率限制，終端使用者自身裝置的限制，

$$\max_{P_L^{(k,n)}, h_L^{(k,n)}, \lambda_U^{(k)}} \sum_{k=1}^K R^{(k)} \quad (4)$$

subject to

$$R^{(k)} \geq r^{(k)}, \forall k \quad (5)$$

$$\sum_{n=1}^N \eta_L^{(k,n)} \leq 1, \forall n \quad (6)$$

$$I_L^{(k,n)} \leq \alpha_n, \forall k, n \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K \left(\sum_{n=1}^N P_L^{(k,n)} + \lambda_U^{(k)} * P_U \right) \leq P_{total} \quad (8)$$

模擬時的參數如下：

參數	數值	參數	數值
P_U	25 dBm	α_n	-110 dB
W_U	2 MHz	wifi 涵蓋	30 m
W_L	20 MHz	基地台涵蓋	300 m
σ_n^2	-174 dBm/Hz	N	128
$r^{(k)}$	10 Mbps	K	30

由下圖優化演算法結果可知，原始固定上限功率所達到總傳輸率的數值低於本節所提出的參數優化演算法，另外考量到實際狀況時，通常存在一家以上的行動網路營運商（MNO），故將此種情況考量進模擬狀況中，圖中可以發現有兩家電信營運商時，會因為彼此存在競爭的現象而導致總傳輸率的下降，即使如此，利用優化演算法存在兩組行動電信營運上的情形下，表現還是比原始固定上限功率的效果好，由此可知本研究提出的干擾參數優化演算法即使在有干擾的情況下，依然能有較高資料傳輸率。

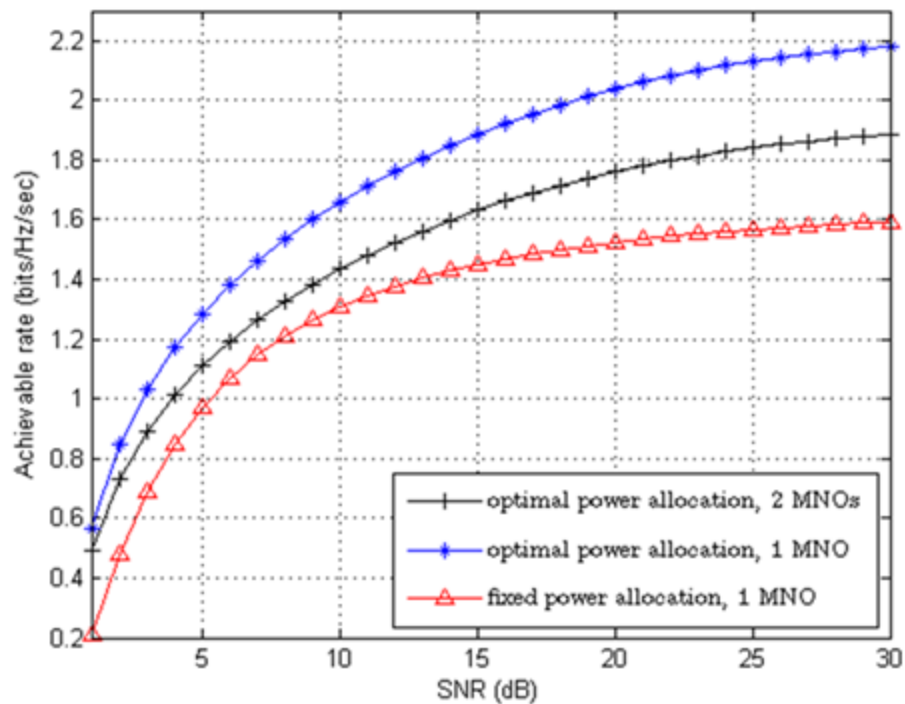


圖 5 -16：優化演算法成果圖

資料來源：本研究整理

五、 小結

在本節中介紹依序介紹資料庫與頻譜共享間關係，以及地理資料庫的運作及干擾防範機制，最後提出參數優化演算法來提升服務品質，開發此項參數優化演算法不但能夠有效率的提升傳輸總功率，在有兩組的營運商互相競爭的狀況時，最佳化後傳輸資料量還是超越原始固定上限的資料傳輸量，但最佳化功率演算法的複雜度與傳輸率效能會是 trade-off 的議題，所以在未來本研究將持續對優化演算法的開發深入研究，並且會有系統性的建置於頻譜共享資料庫中。

第五節 研究成果

本章依照子任務順序分成三個子節，以下逐一敘述研究成果。

第一項任務是研析電波監測系統，進行電波使用狀況之調查，俾滿足動態頻譜共享機制之需，本次報告參考 ITU 的 Handbook，其為全球性的標準，各國的電波監測系統都需符合其規範。後續的研究重點將對電波監測系統的運作詳細介紹，包括如何對特定頻譜參數進行測量，及結合頻譜地理位置資料庫的方法。

第二項任務是研析如何利用 Crowd sourcing 的方法來檢測特定頻段的使用情形，本次報告對 Crowd sourcing 的方法做深入的探討及研究，並舉出現有的案例，從中瞭解適用於檢測頻譜的模式。本研究亦提出 Crowd sourcing 自適性演算法來處理惡意使用者存在的問題，並提升頻譜檢測之準確率。我們亦認為 Crowd sourcing 平台營運商同時經營管理頻譜地理位置資料庫能夠更有效率運用資料庫資訊來實現最佳化之頻譜共享。

第三項任務探討頻譜地理位置資料庫及其運作，特別是所需的參數，並研析位置機率的計算與干擾防護之間的關係。研究中亦針對未來實際之通訊情境進行干擾防護與參數優化之模擬，我們認為，最佳化演算法需額外付出運算複雜度與建置成本，對頻譜共享而言，未來需進一步考量成本與效能之間 trade-off 的議題，才能有效落實頻譜共享。

(本頁空白)

第六章 頻譜共享實驗平臺規劃與建置

第一節 概述

由於我國並無實際運作過頻譜共享機制，參酌歐美主要國家共享機制發展歷程之累積經驗，無論是技術規範或政策方向，均不斷依據實際環境測試與國際頻譜政策之演進而調整，至目前為止，歐盟許可共享接取（Licensed Shared Access，LSA）與美國公民無線寬頻服務（Citizens Broadband Radio Service，CBRS）之發展，在規範面雖已漸趨完備，但在技術規範上仍尚未出現統一之標準。

觀察歐盟 LSA 頻譜共享機制，其目標在於大幅降低行動基礎建設成本，並且在商業模式、網路及競爭等方面促進創新。既有使用者利用空間的頻譜資源實現社會與經濟價值，且不影響頻譜權利歸屬；應用業者以較低代價獲得額外頻譜使用權，向用戶提供高品質的服務。將 LSA 概念應用在 4G 行動通信是一個熱門新興議題，無論在技術、商業模式、監理方面，均需深入的研究、開發與實測驗證。

然而，共享頻譜長期潛在經濟效益是否超過投資專用頻譜相對得到的效益，將是行動業者評估投入與否的重要考量因素。共享頻譜可視為頻譜可用性的補充方案，但不會取代提供行動寬頻服務的專用頻譜需求，同時，需執照共享頻譜可能面臨執行上的嚴格限制及取得頻譜成本與補償利益等問題。

由國際發展歷程可觀察出，為了確保頻譜和諧共用、既有使用者不被干擾、共享機制的參與者能夠確保其投資獲得收益，而服務提供及使用者能夠享有一定程度的品質，必須以政策規範為基礎，先行進行概念性驗證（Proof of Concept，PoC），以初步確認整體概念的可行性。

據此，本研究於頻譜共享實驗平臺規劃與建置之具體目的設定為：

- 設計實驗平臺，以作為解釋架構的概念依據，協助瞭解頻譜共享機制的運作概況與驗證可行性。
- 提供後續規劃情境與測試場域，進行實際實地驗證之基礎。



需有明確的商業模式

- 需求服務對象
- 提供有價值的服務



需有確保投資效益之可能

- 一定的服務品質
- 確保頻譜在時間與空間下的可用性



需保護既有/共享使用者之資產

- 設備佈建之資訊保護
- 網路參數、技術設置之保密

圖 6 -1：進行頻譜共享機制概念性驗證之目的

資料來源：本研究整理

第二節 國際 LSA 與 LAA 模式頻譜共享之研析

本節依序介紹 LSA 模式基礎架構，解說在芬蘭以及義大利 LSA 先導試驗案例的方法與結果；接著概述 LTE 應用到免執照頻譜，亦即 LAA 機制，再以國際通訊大廠所作實驗及學術論文為例，進一步分析釐清同、異質無線網路於頻譜共享情境下共存所需驗證之問題；經由文獻探討了解掌握國際發展情形與現況後，據以建立本研究實驗情境設計之基礎。

一、 LSA 模式、技術與系統

為了滿足未來頻譜大量的需求，提升頻譜的使用率一直是各國發展的目標，其中一項新興技術 LSA (License-Shared Access)，為未來有效使用頻譜的方法之一。LSA 在歐洲 Radio Spectrum Policy Group (RSPG) 定義為：

“a regulatory approach aiming to facilitate the introduction of radio communication systems operated by a limited number of licensees under an individual licensing regime in a frequency band already assigned or expected to be assigned to one or more incumbent users. Under the Licensed Shared Access (LSA) approach, the additional users are authorised to use the spectrum (or part of the spectrum) in accordance with sharing rules included in their rights of use of spectrum, thereby allowing all the authorized users, including incumbents, to provide a certain QoS”，

其大意为：透過監管政策，將既有使用者 (Incumbent) 閒置的執照頻譜依政策 (policy) 分享給其他用戶，並確保一定的 QoS 品質。

LSA 主要的運行模式與概念如圖 6 -2 所示。當中，LSA 頻譜庫 (Repository) 儲存 Incumbent 使用頻譜的狀況，並依照監管政策 (policy) 運行，透過 LSA 控制器 (Controller)，自頻譜地理位置資料庫讀取可用的頻段，透過短時間單邊拍賣以及無線電網路共享等方式，將這些頻段以網路管理單元分配給次級授權用戶。在 LSA 的頻譜分享架構下，主要原始用戶依然享有無干擾的乾淨頻譜，並協調次級授權用戶使用頻段，同時提高頻譜使用效率與品質。

如此一來的合作模式帶來許多好處：

- 大幅降低行動基礎建設成本
- 提升頻譜使用率
- 商業模式等方面的創新
- 行動業者以較低代價獲得使用權，向用戶提供高品質的服務

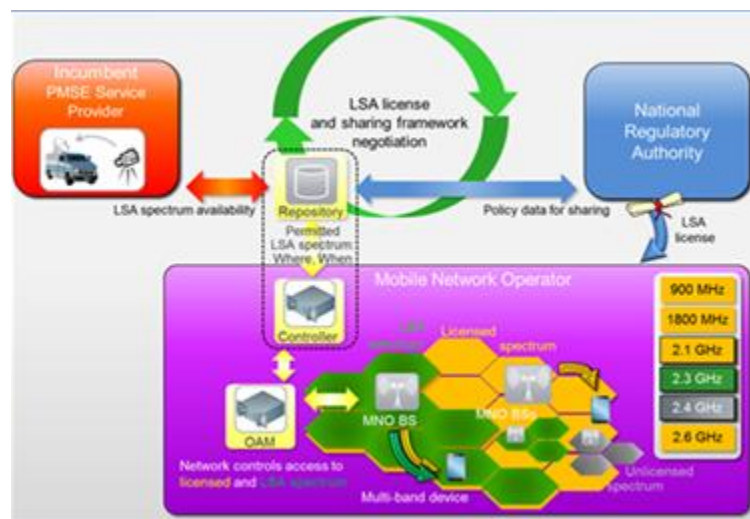


圖 6 -2：LSA 運行模式概念

資料來源：TEKES

二、 LSA 先導試驗成果

(一) 芬蘭 CORE+/CORE++

Cognitive Radio Trial Environment (CORE) 在芬蘭 2.3-2.4 GHz 舉辦了試驗，如圖 6-3 [Mar14] 所示，圖中除了原本 LTE 的架構外，多了兩個新的區塊：LSA 控制器和 LSA 頻譜庫。

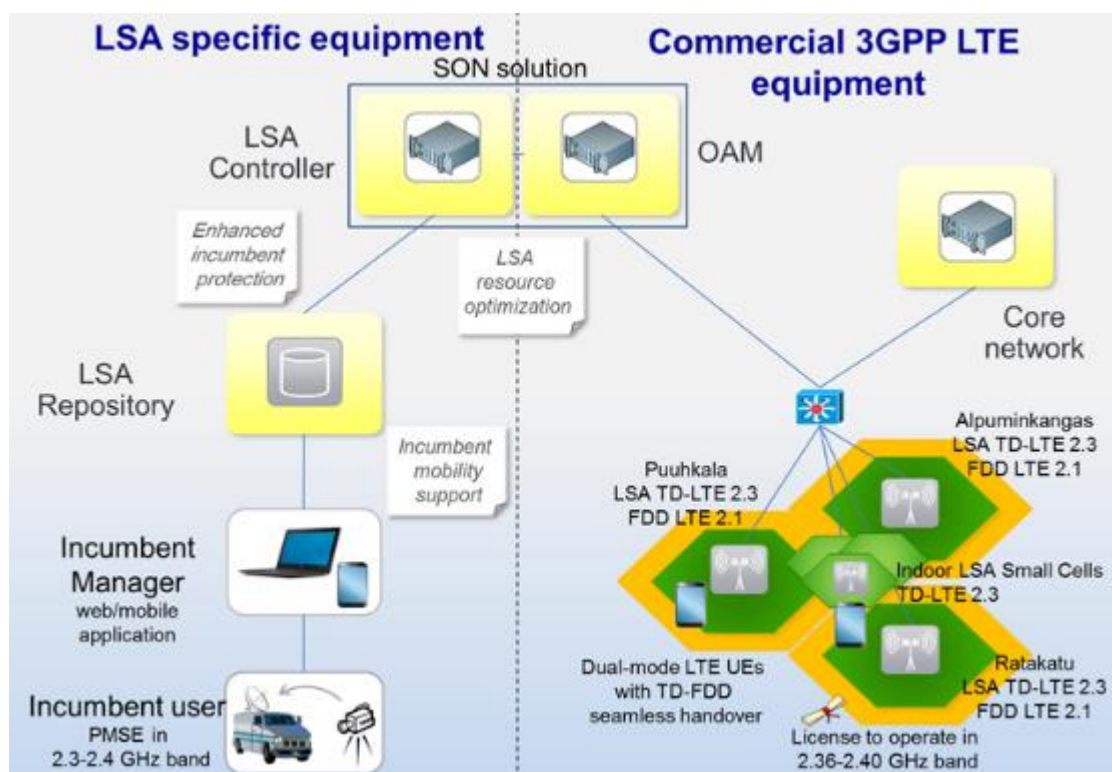


圖 6-3：芬蘭 LSA 概念實作架構

資料來源：TEKES

其整體功能主要分四部分：

- 既有使用者與 LSA 頻譜庫(Incumbent spectrum users and LSA repository)

如圖 6-4 所示，LSA 頻譜庫會儲存每個頻道使用的最新狀況以及儲存頻道、

時間、使用類型等等詳細資料，既有使用者能使用圖形化的介面 (LSA Incumbent Manager) 來與 LSA 頻譜庫登記或刪除資訊，且既有使用者依需求能選擇不同的保護方式，像是 Cordless camera、Mobile video、linkPortable video 等等，計算出不同的保護範圍、限制輻射功率等等保護主要者使用，而 LSA 控制器會依 LSA 頻譜庫的資訊，給次級授權用戶目前地點可使用的頻道。

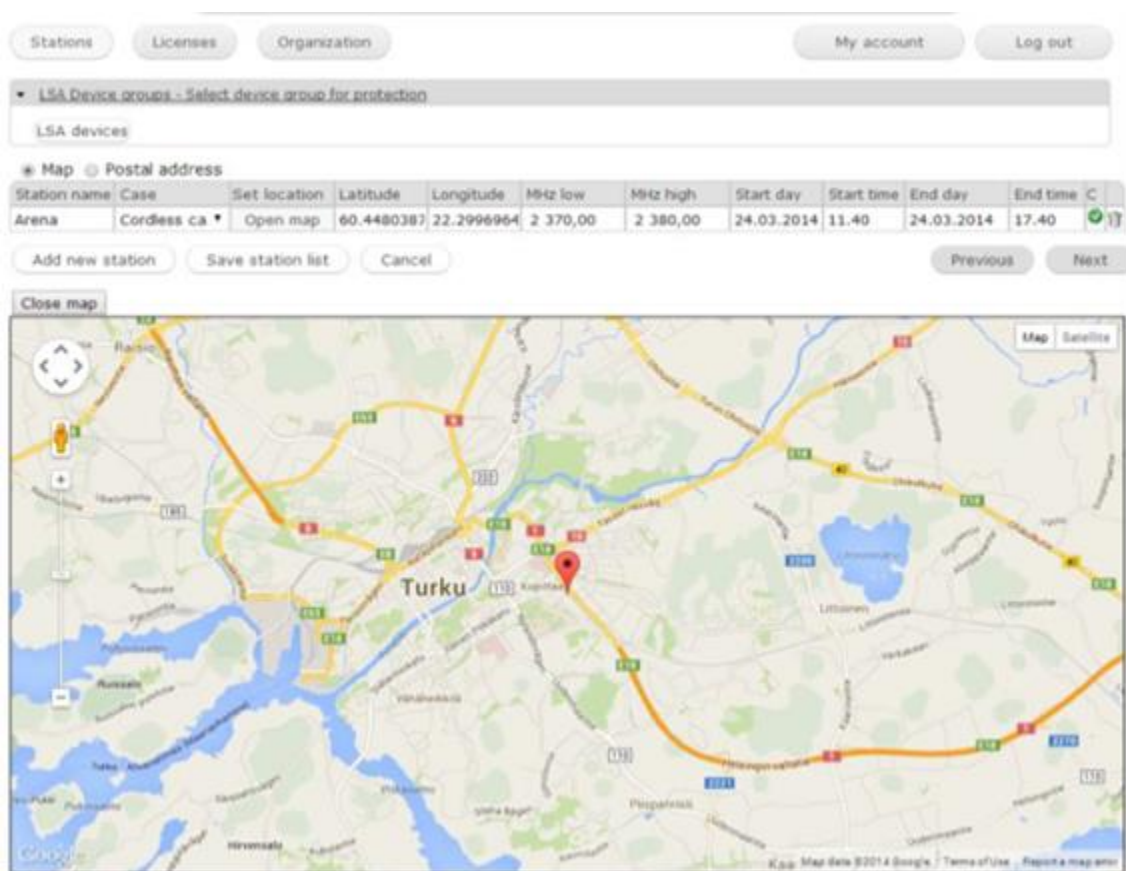


圖 6 -4：既有使用者所使用的 LSA Incumbent Manager 介面

資料來源：VTT

➤ LTE 網路與終端(LTE network and terminals)

參照了 3GPP Release 8 的規範並使用 Nokia Solutions and Networks (NSN) commercial LTE Advanced capable Flexi Multiradio 10 的基地臺，在芬蘭設置了三個

支援 2.36-2.40GHz 頻帶 TD-LTE LSA 基地臺，以及兩個支援 2.1GHz 頻帶 FD-LTE LSA 基地臺，UE 則用 Samsung S4 手機做模擬，LSA 控制器會與基地臺連結並控制基地臺實行管理和操作。

➤ LSA 控制器和次級授權用戶介面(LSA Controller and MNO UI)

在圖 6-5 最新架構中，LSA 控制器併到網管系統(OAM)，並使 LSA 控制器可以做更多的參數設定，這樣的好處是可以有效的自動化基站管理、即時的訊號干擾協調以及減少營運成本(OPEX)等等。

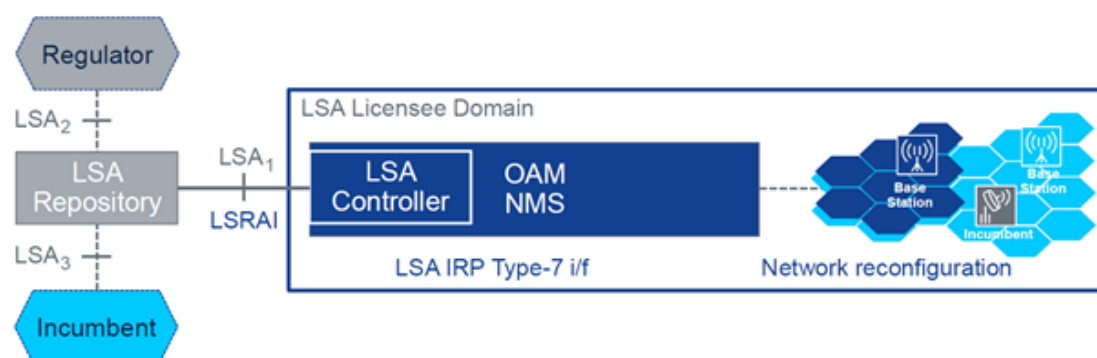


圖 6-5：次級授權用戶與 LSA 頻譜庫之連線架構

資料來源：VTT

如圖 6-6 所示，次級授權用戶能透過介面登記頻段，控制器會依次級授權用戶其地點做分析，搜尋附近的基地臺來找尋可用頻譜，選擇完頻率範圍後次級授權用戶能選擇一些功能，例如當既有使用者突然要使用時，是否要跳頻？關掉基地臺時是否要選擇慢慢降低功率做取代(graceful shutdown)？以及 QOS 需求等等。

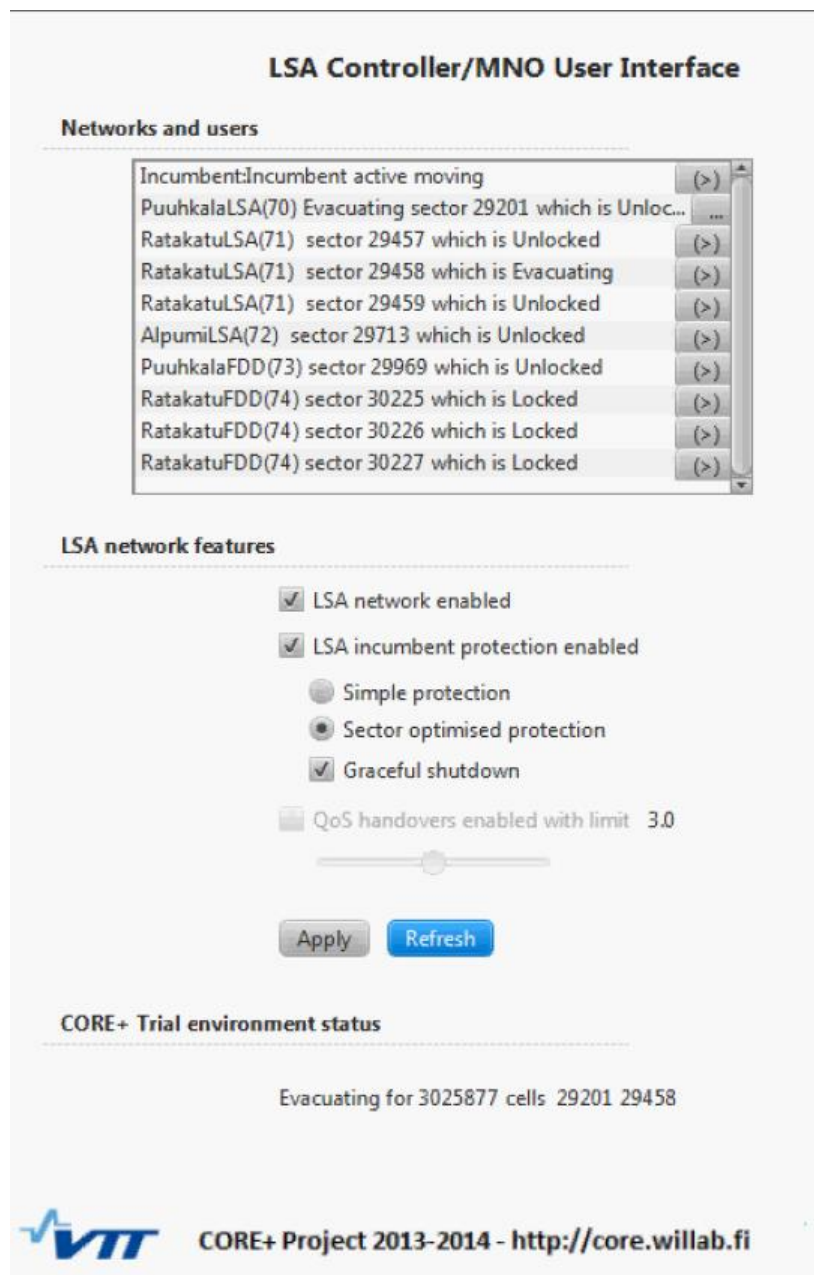


圖 6 -6：次級授權用戶使用的介面

資料來源：VTT

➤ 可視化(Visualization)

將運行結果做成圖形化，其分為兩部分：

- Topology view：如圖 6 -7 所示，可以清楚地看到每個基地臺與 UE 的連結，並能看到 UE 現在的使用狀況(bit rate 等等)。

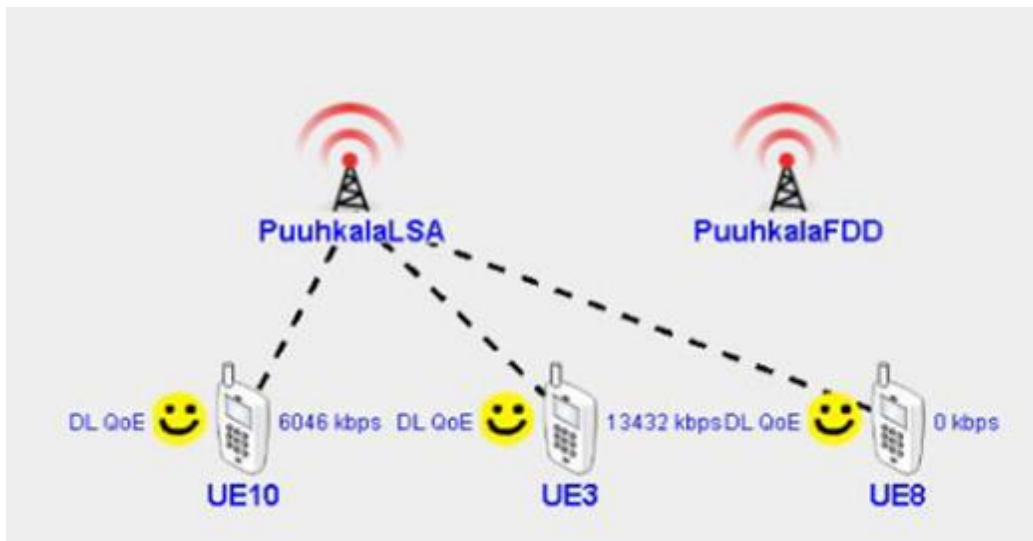


圖 6 -7：Topology view 介面圖

資料來源：VTT

- Map view：如圖 6 -8 所示，將實際既有使用者和次級授權用戶的基地臺涵蓋功率範圍顯示在地圖上。其左圖為次級授權用戶在五塊（每塊為 120 度綠色扇形面積）區域使用，中間的圖為當既有使用者（紅色扇區）開啟，次級授權用戶將要做跳頻的動作，右圖為次級授權用戶跳頻完成。

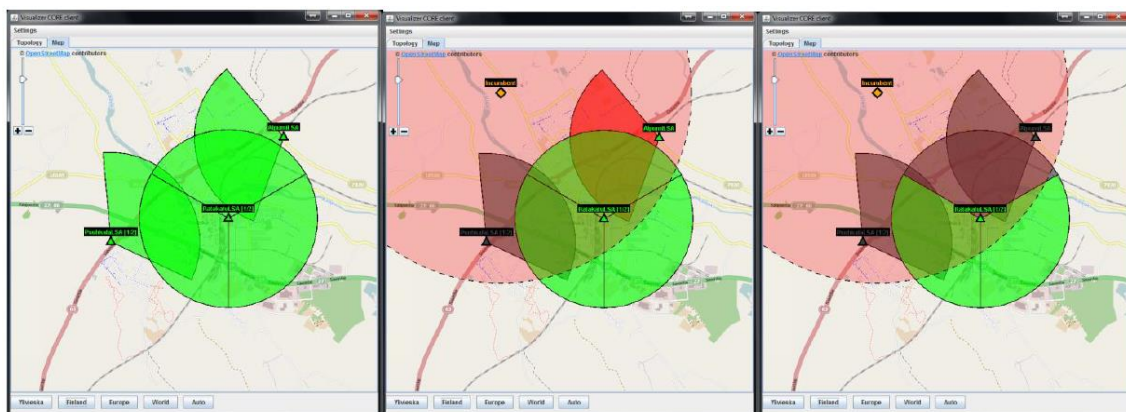


圖 6-8：Map view 介面

資料來源：VTT

➤ LSA 先導試驗時延分析

在芬蘭的 LSA 先導試驗[PRM14]，每一個次級授權用戶是使用 LTE sector small cell 來傳輸，如圖 6-8 所示，當既有使用者發送訊號以後，每個次級授權用戶清頻的動作是次序關閉每一個用戶而非同時清空的，實驗結果平均每個用戶(每個扇形網路)清空的時間約為 22 秒，當既有使用者關閉訊號以後，每個次級授權用戶重啟的時間約為 20 秒。另外一個在芬蘭的 LSA 先導試驗[PMP14]，此次試驗中時延結果分析如表 6-1 所示，由表中可看到平均清頻的時間約為 25.86 秒，原因是要先等 End-user 做完 handover 的動作，此段平均的時間為 16.7 秒，從 LSA Controller 收到清頻指令到 LTE network 完成清頻的動作，總平均時間約為 65.83 秒。

表 6-1：LSA 頻段清頻時延結果分析[PMP14]

Location	LSA/ASA Evacuation	Delay [s]	St. Dev. [s]
LSA/ASA Controller	Evacuation decision	0.624	0.190
LTE OAM	BS switch off begin	2.999	1.568
User terminal	End-user handover begin	7.144	1.118
LTE channel	End-user handover complete	16.700	2.668
LTE channel	LSA/ASA band evacuated	25.856	1.803
LTE OAM	BS switch off execution time	28.973	2.168
LTE OAM	BS status query execution time	30.333	11.443
LSA/ASA Controller	Evacuation state complete	65.825	14.744

資料來源：VTT

(二) 義大利 LSA 試驗

義大利的 LSA 團隊在羅馬的 MiSe building 進行先導試驗[MiS16，Vel16]，其試驗架構為圖 6-9 所示。

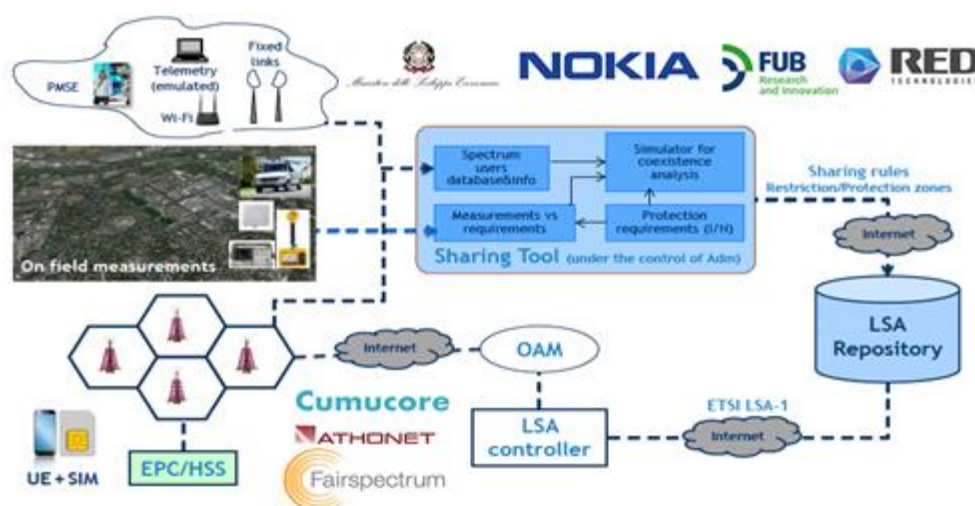


圖 6-9：羅馬 LSA 試驗之架構示意圖 [MiS16]

資料來源：MiSe

情境設定

此試驗布置了 5 個室內及 2 個室外 TDD LTE Base Station，佈建位置為 MiSe 的頂樓 (室外) 及 MiSe 的 7 樓 (室內)，佈建位置分別為圖 6 -10 及圖 6 -11 所示。



圖 6 -10：室外 LTE 佈建位置示意圖 [MiS16]

資料來源：MiSe

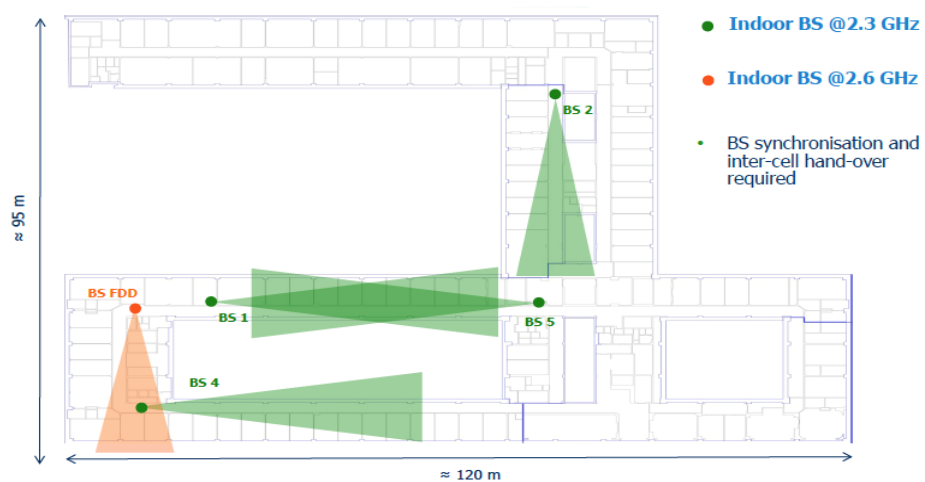


圖 6 -11：室內 LTE 佈建位置示意圖 [MiS16]

資料來源：MiSe

在此情境裡，主要的 Incumbent 為固定的基地台及 PMSE 使用在 2.3-2.4GHz，其受保護之要求的參數為表 6 -2 所示，其中 $I_{\max}$ 為 Incumbent 最大可忍受的干擾值， $I_{\max} = N + (I/N)_{\max}$ ， $(I/N)_{\max}$ 為最大能忍受的干擾-雜訊比。

表 6 -2：Incumbent 受保護之要求參數[MiS16]

Parameters	Fixed Service	PMSE	Telemetry
Receiver noise, NF [dB]	3.5	4	4
Noise power, N [dBm]	-107.47	-100.95	-99.98
I/N [dB]	-10	-6	-6
$I_{\max}$ [dBm]	-117.47	-106.95	-105.98

資料來源：MiSe

此試驗之 LTE 設備規格如表 6 -3 所示，室外的傳輸功率為 5W (37dBm)，室內的傳輸功率小於 250mW (24dBm)，頻寬為 20MHz。

表 6 -3：LTE 模型及設備規格[Vel16]

	OUTDOOR	INDOOR
Model	NOKIA Flexi Zone Micro Integrated Directional Antenna	NOKIA Flexi Zone Pico Antennas
Number of nodes	2 in Band 40	5 in Band 40 1 in Band 7
Band supported	2300-2400 MHz – Band 40	2300-2400 MHz – Band 40 2500-2690 MHz – Band 7
Channel bandwidth	20 MHz	20 MHz
Carrier Power	5 W (37 dBm)*	≤ 250 mW (24 dBm)*
Supported configuration	2Tx/2Rx MIMO	2Tx/2Rx MIMO
Antenna gain	8 dBi	0 dBi
Beamwidth	70 degrees H-plane 60 degrees O-plane	Omnidirectional

資料來源：MiSe

干擾測量情形

圖 6 -12 至圖 6 -14 為不同情境下的干擾情形，圖 6 -12 為當所有 BS 都開啟時室外測量干擾情形，圖 6 -13 為只有一台室內 BS 開始時，室內之干擾情形，圖 6 -14 為只有一台室外 BS 開啟時之室內干擾情形



圖 6 -12：室外之干擾情形(全部 BS 接開啟) [MiS16]

資料來源：MiSe

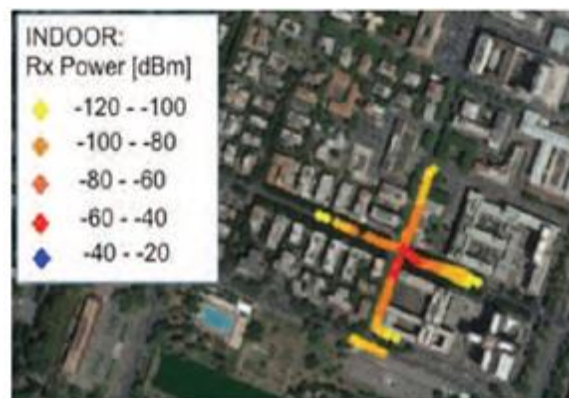


圖 6 -13：室內之干擾情形(只有一台室內 BS 開啟) [MiS16]

資料來源：MiSe

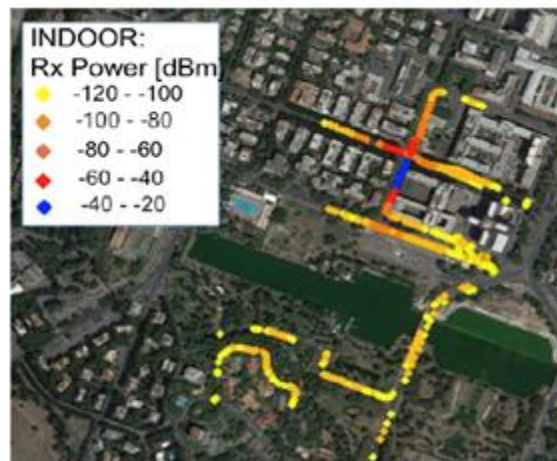


圖 6-14：室內之干擾情形(只有一台室外 BS 開啟) [MiS16]

資料來源：MiSe

義大利 LSA 效能及時延分析

1. 效能分析

試驗結果的效能由於終端設備分布位置廣泛，所以上行及下行速率的範圍也很廣，下行速率結果為 5-38Mbps，而上行速率為 1-8Mbps。

2. 時延分析

根據圖 6-15 之清頻設計，我們分析 3 個清頻的情境，情境一為關掉所有 LTE BS，情境二為關掉其中之一的室外 BS，情境三為關掉其中之一的室外 BS 及降低其餘 BS 的傳輸功率。所計算之清頻時間為當 LSA 控制器收到清空指令時到 BS 關閉之時間，計算平均時間結果如

表 6-4 所示，每個情境計算至少 10 次，由結果可推出清頻時間與減低功率之操作無關。

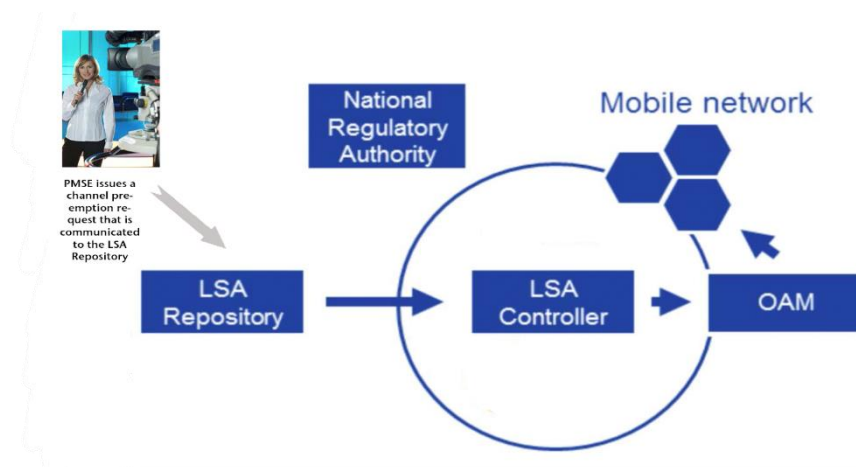


圖 6 -15：LSA channel evacuation scheme [MiS16]

資料來源：MiSe

表 6 -4：LSA 清頻所需平均時間

Average Evacuation Time [s]	
Test case 1	36.716441
Test case 2	35.778847
Test case 3	35.646237

資料來源：MiSe

三、 LAA 模式、技術與系統使用者裝置 (UE)

LAA 基本概念為基於載波聚合技術下，使用免執照頻段以擴增現行行動通訊可用頻譜，對使用者進行下行補充鏈路 (supplement downlink link)。相關規範在 Release 13 中完成制定，其中規定必須採用先聽後送 Listen Before Talk (LBT)，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，藉由此機制與

既有的 WiFi 服務於免執照頻帶共享與共存[CCW15]。

採用 LBT 的機制與 WiFi 進行共存如圖 6 -16 所示，基地台一開始會在 Clear Channel Assessment (CCA) period ($34 \mu\text{sec}$)內偵測能量是否大於-72dBm 來判斷通道是否被其他異質協定的裝置如 WiFi 占用[KJB16]，若偵測到能量小於 -72dBm 即馬上傳輸，傳輸時間基地台依據基地台本身的負載，在不超過上限(20ms) 下做調整；若偵測能量小於 -72dBm，會從當前的 contention window 隨機選一個值作為 backoff 的值。

在選完值後，會再次偵測能量是否大於 -72dBm，若偵測能量小於 -72dBm 則將該值遞減，若偵測能量大於-72dBm [3GP16]，則該值維持原先的值，此過程會不斷的進行到該值為 0，才進行傳輸。至於 contention window 的大小，基地台會根據收到 user equipment (UE)回傳之 HARQ-Acknowledgement 中值為 NACK 的比例來做更動，若是該比例大於 Z(Z 為標準協定待選定的一個值[YXC15])，則將 windows size 加倍直到最大值 (63) 為止，若否，則將 window size 設為最小值 (15)：一旦達到最大值，window size 也會在 K 次傳輸 (K=1~8)後，重設為最小值[KJB16]。

而在與 LTE 共存免執照頻帶的 WiFi，除了本身 DCF 在傳送資料前判斷通道是否有裝置使用通道的基本 LBT 機制，會再多判斷通道所傳的訊號是否為 WiFi 協定，並根據是否為 WiFi 訊號選用不同的門檻值來判斷通道是否有訊號傳輸。若訊號無法解調，則將該訊號視為不是 WiFi 訊號，此時的門檻值即為-62dBm。收到的訊號能量如果低於-62dBm 就會被視通道為 idle；反之若該訊號可以解調，則將該訊號視為 WiFi 訊號[CSA16] [KIS15]。

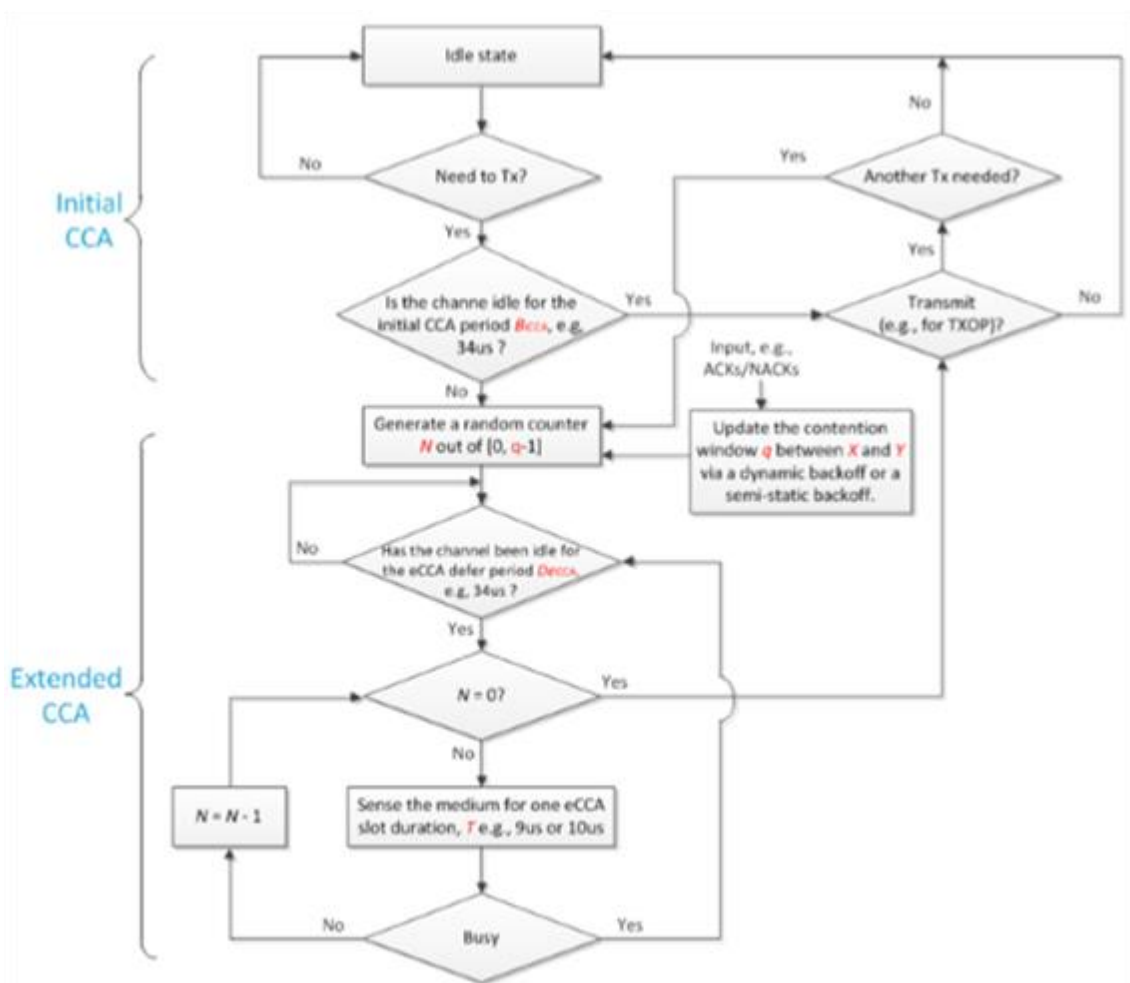


圖 6-16：LAA 的 LBT 機制流程

資料來源：3GPP

四、現有 LAA 模擬與實驗成果

2015 年 1 月在 Ericsson 實驗中，所定義 LAA 對 WiFi 的影響多寡，是比對其影響是否比在原來 WiFi 網路中加入額外的 WiFi 的總吞吐量變化來的要少 (Friendly)。實驗中 Ericsson 的實驗對象為兩組 WiFi Operators 以及對應的各自兩台 UE，另一組實驗組為一組 LAA Operator 和一組 WiFi Operator 以及對應的兩台 UE，實驗結果如圖 6-17。可以看到 LTE 不僅僅對 WiFi 不會產生影響，甚至對 WiFi 的

傳輸表現也有幫助，然而其實驗環境僅以 In-building 表示，實驗場景 UE 擺放於不同樓層。實際上的能量分布、網路拓模並沒有細部的說明。

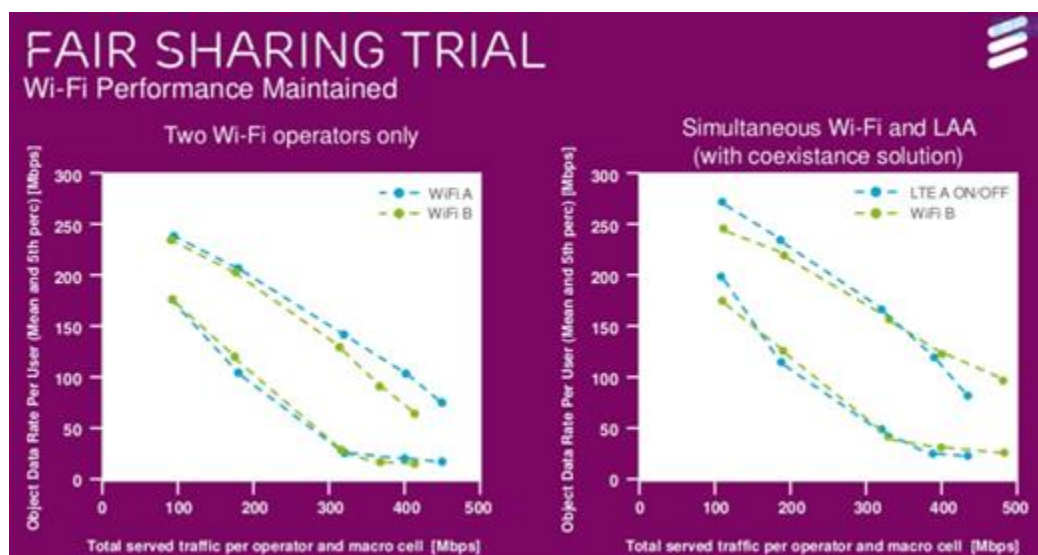


圖 6 -17：Ericsson 吞吐量實驗結果 [Eri15]

資料來源：Ericsson

2016 年 2 月 Qualcomm 從四對 WiFi 網路中，藉由替換兩對 WiFi 網路成 LAA 網路，比較吞吐量以及各自所佔通道比例，來評估 LAA 對 WiFi 的影響，實驗結果的吞吐量以及所佔頻道的比例如圖 6 -18 及圖 6 -19 所示，在替換兩對網路後整體的吞吐量的確上升，在佔用通道的比例上也說明 LAA 更能讓網路公平的平分通道資源，然而對實驗的網路場景交代資訊量卻不夠，僅以圖 6 -20 來說明實驗場景。

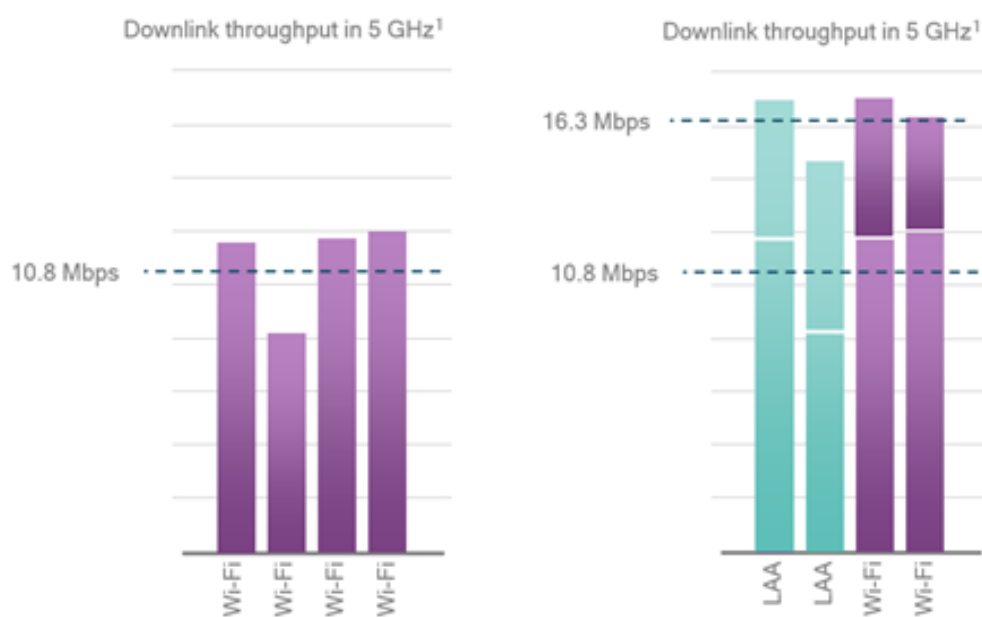


圖 6 -18：Qualcomm 吞吐量實驗結果 [Qua16]

資料來源：Qualcomm



圖 6 -19：Qualcomm 佔用通道比例實驗結果 [Qua16]

資料來源：Qualcomm

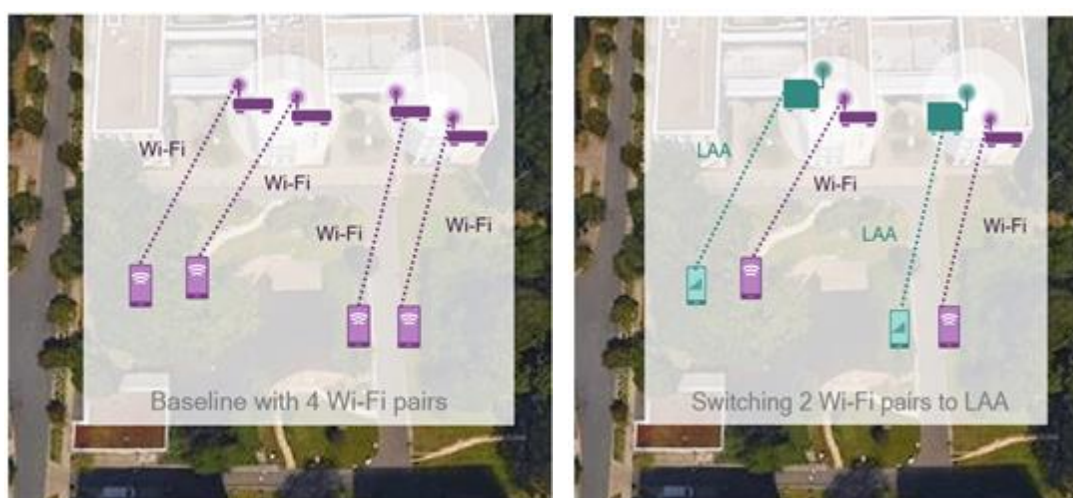


圖 6 -20：Qualcomm 實驗場景 [Qua16]

資料來源：Qualcomm

Qualcomm 以及 Ericsson 實驗數據都顯示 LAA 對整體網路效能都是提升的，然而只基於單一的實驗情境所得出的結果，令人感到好奇是不是只有侷限在特定擺放位置，才會有這麼好的效果。在 2016 年 12 月發表的一篇文章[MB16]即在討論更完善的實驗情境，作者使用 NS3 來模擬並評估 LAA 對整體網路的影響情況，其使用的網路拓樸如圖 6 -21 所示，在 1 維的網路拓樸下，探討不同 LTE 與 WiFi 的 network 排列方式下，以及改變網路間相距的距離 d ，各別平均的吞吐量狀況。

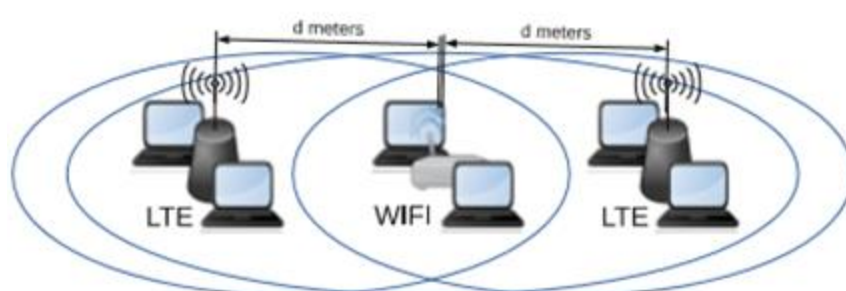


圖 6 -21：實驗情境網路拓樸 [MB16]

資料來源：Maddalena Nurchis, Boris Bellalta

從實驗結果來看，只有在圖 6-22(c) LTE-WiFi-LTE 的拓撲下，整體網路吞吐量均勻地分配，其他組合都會使得中間的網路吞吐量來的較低，其中以圖 6-22(a) 中間網路的吞吐量最為低下，對此作者的解讀是因為左右兩側 WiFi 彼此不在對方的 CS coverage，因此彼此處於互相 hidden 的狀態，兩側的 WiFi 視通道為 IDLE 而不停地傳輸，導致 CCA-ED 較低的 LTE 在偵測通道時幾乎處於 BUSY 狀態，使得最後吞吐量在 d=55m 處幾乎為 0。而在圖 6-22(c)的結果，因為位在中間的 WiFi 同時比兩側網路的 CCA-ED 來的要高，導致較不容易偵測到通道 BUSY 的狀態，相較於圖 6-22(a)、(b)、(d)同樣位於中間網路，受到來自兩側的網路影響程度較低。

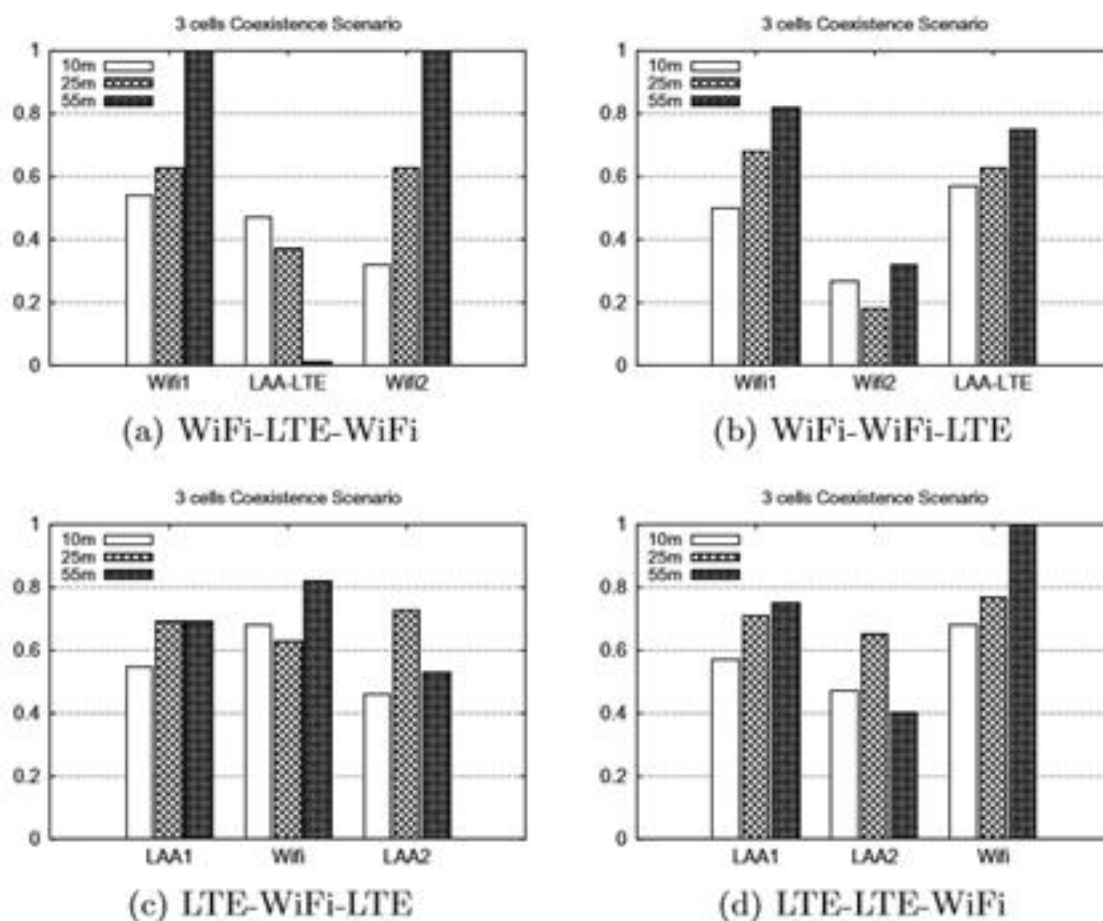


圖 6-22：NS3 實驗模擬結果 [MB16]

資料來源：Maddalena Nurchis, Boris Bellalta

此實驗顯示 LAA 與 WiFi 共存的問題，並不如 Qualcomm 以及 Ericsson 的正面實驗結果，共存問題除了網路拓樸外，還有其他的因素需要考量，此外，特別注意的是在上述實驗中，WiFi 以及 LAA 發射功率固定皆為 18dBm，而在現實情況發射功率可以依據網路運作狀況以及通道狀態做動態調整，在滿足 FCC 法規對於 5.8 GHz 頻帶小於 30dBm (+6dB 天線增益) 發射功率規範內，其發射功率可以依照不同的地點、時段作動態調整，此傳輸功率的差異將有可能導致非對稱的 CS coverage，進而影響 LAA 與 WiFi 的共存問題。

第三節 LSA 模式應用情境分析與設計

本節主要介紹本研究所設計展示的 LSA 模式應用情境，包括兩種 LSA 常見的情境，一種是既有使用者回收頻譜時會先通知資料庫，並請次級授權用戶移頻或退頻；另一種則是既有使用者無預警使用頻譜，此時感測器需要即時知道既有使用者正開始使用該頻段，通知資料庫最新狀況，並同樣進行次級授權用戶的移、退頻。

頻譜共享的概念是開放既有使用者不常使用的頻段(或地區)給共享使用者來進行無線傳輸，但必須確保既有使用者要臨時使用頻譜的權力，因此，本計畫之情境設計分為兩種情境：

- **情境一設計目的**：概念驗證（POC）依 LSA 頻譜庫來執行清空次級授權用戶共享頻段；
- **情境二設計目的**：概念驗證（POC）依頻譜感測器來執行清空共享頻段

經由我們設計之情境可以確保既有使用者釋放之共享頻譜的使用權力，並由監控器來檢測各個裝置的狀態，同時遵從 ETSI TS 103 379[ETS17]在控制器與資料庫溝通之間的資料格式介面。我們預先定義了由既有使用者釋放出共享之頻段以及區域範圍所形成的 Zone 區域，在我們的設計情境裡，將台灣分成四個 Zone 區域，分別是北部(NTU, Zone1)、西部(Zone2)、東部(Zone3)及南部(NSYSU, Zone4)，每個 Zone 都會遵從 ETSI TS 103 379[ETS17]裡所規定 LSA Spectrum Resource Availability Information(LSRAI)的資料格式，如圖 6-23 所示之示意圖。



圖 6 -23：本情境之 Zone 的設定與描述之概念示意

資料來源：本研究自行繪製

情境一：依 LSA 頻譜庫來執行清空與重啟共享頻段

我們預先定義了 LSA 控制器已經向 LSA 頻譜庫註冊成功取得 Zone 的資訊，且已經有次級授權用戶正在該共享頻譜上傳輸。當既有使用者準備使用共享頻段，且該頻段正有次級授權用戶使用中，則可藉由 LSA 頻譜庫來下達清頻指令，透過 LSA 控制器將清頻指令傳達至共享使用者的網路管理系統(OA&M)。另一方面，倘若既有使用者結束使用共享頻段，且回報至 LSA 頻譜庫，則 LSA 頻譜庫會對共享使用者重啟共享頻段，如圖 6 -24 所示。

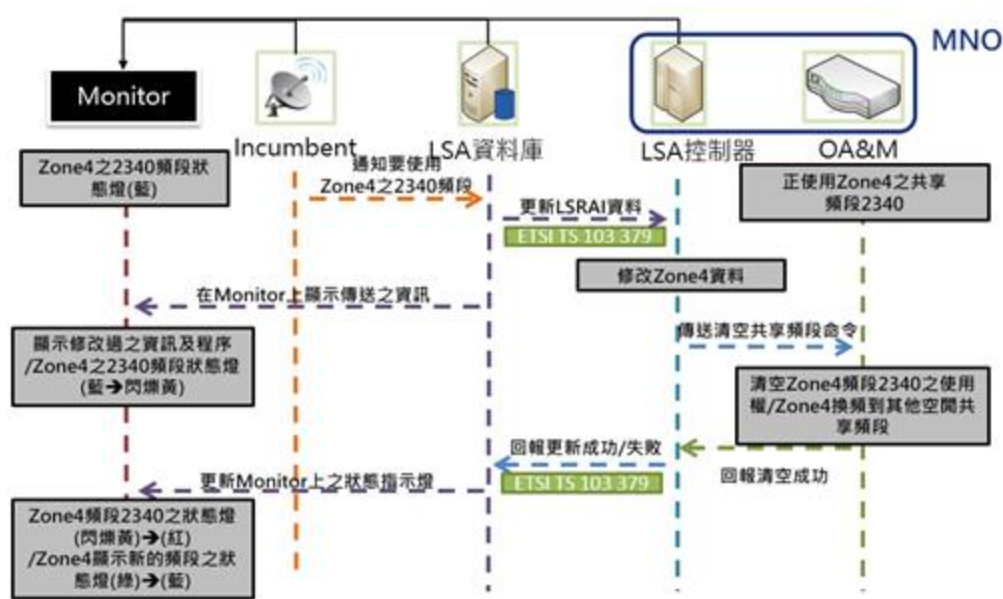


圖 6 -24：依頻譜資料庫來執行清空與重啟共享頻段之流程示意

資料來源：本研究自行繪製

在 2017 年 9 月 15 日「數位匯流下之頻譜新管理論壇」現場，我們進一步採用工研院 ITRI 的 Athena SON server，控制工研院開發的非教育版的 ITRI UDcell，實際展示對學術實驗室等級及商務等級三個行動網路營運商 (MNO) 施行頻譜共享接取觀念與協調運作系統機制。在此情境下，MNO 是屬於台灣大學，有權共享 Zone1 之頻譜的部分。如圖 6-25 所示，

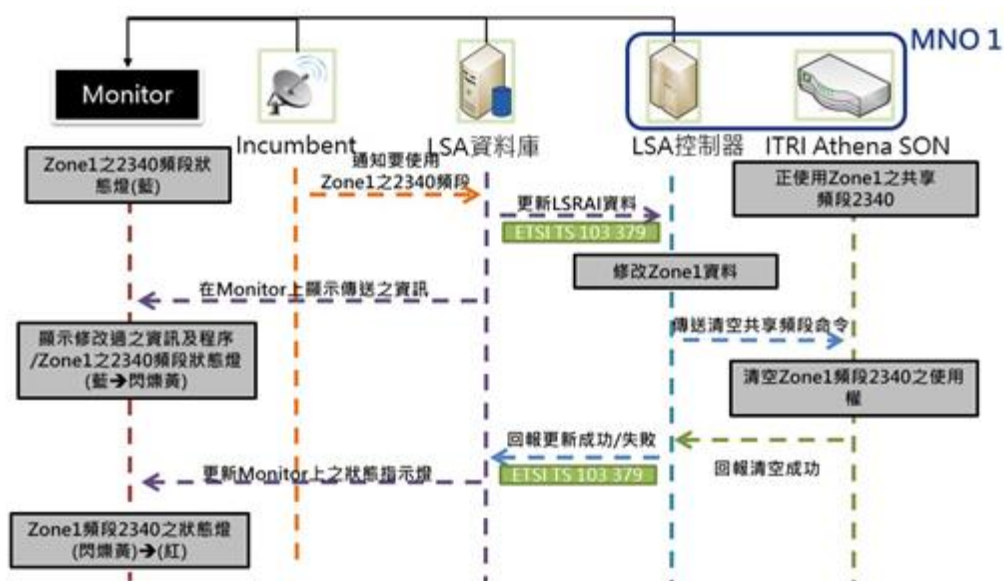


圖 6-25：依頻譜資料庫來執行清空與重啟共享頻段 (使用 ITRI SON server)

資料來源：本研究自行繪製

情境二：依頻譜感測器來執行清空共享頻段

當 LSA 頻譜庫沒辦法正確解讀既有使用者欲使用共享頻譜的訊息，或既有使用者欲使用共享頻譜卻無告知 LSA 頻譜庫時，將由頻譜感測器(sensor)，偵測既有使用者在共享頻譜上的使用狀況，倘若發現既有使用者已開始使用共享頻段，則立即回報 LSA 頻譜庫，接著通知 LSA 控制器資料更新的動作，並進行後續清空頻段的動作，如圖 6 -26 所示。

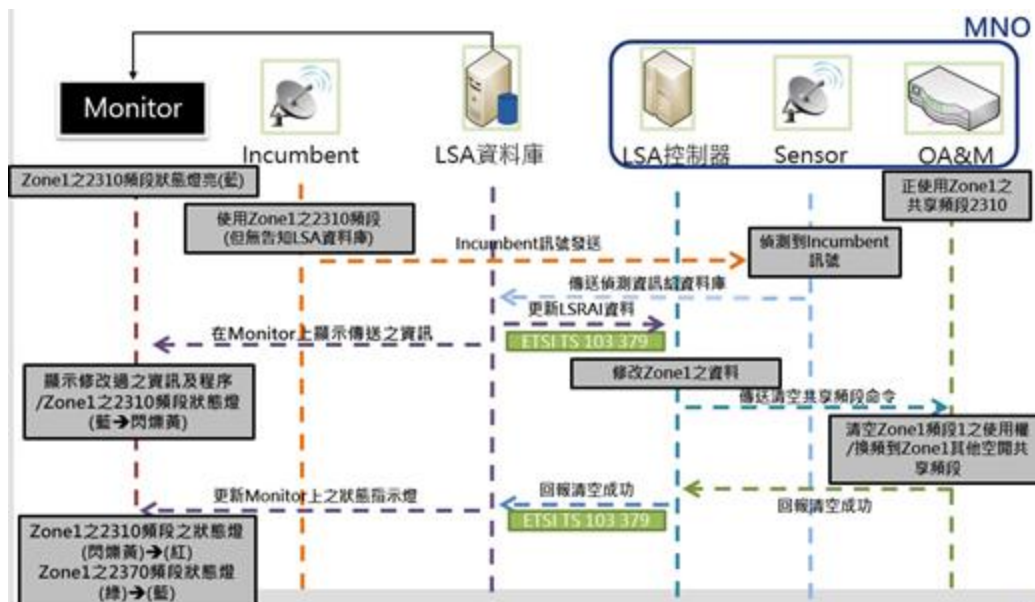


圖 6 -26：依頻譜感測器來執行清空共享頻段之流程示意

資料來源：本研究自行繪製

第四節 頻譜共享接取系統功能與驗證

「頻譜共享實驗平臺規劃」，為了確保頻譜能夠和諧共用，本團隊以前述各項研究成果為基礎，參考國際最新規範，規劃情境與驗證測試。然而，由於建置完整商用級實體頻譜共享實驗平臺成本昂貴，故利用核心網路模擬器搭配商用小細胞，先進行概念性驗證，俾利確認所欲建構頻譜共享管理系統之可行性。因此在本工作項目中，係採用團隊成員合作之『ViSSA 頻譜共享接取實驗平臺』，進行相關研究與分析。

其中，臺灣大學主要研究頻譜共享資料庫與各種演算法及感測技術等 [ZHC17,CCT17]。中山大學海工館的行動寬頻示範教學實驗室(海 C2013)主要提供其實驗室之行動寬頻設備包括核心網路到用戶終端等。實驗平臺當中頻譜管理資料庫操作與使用者介面，則由電信技術中心扮演第三方單位之功能角色(詳請參閱「附錄肆、ViSSA 頻譜共享接取實驗平臺」)。

於此基礎下，本研究已初步建置完成頻譜共享實驗平臺，模擬需執照頻段 LSA 頻譜共享實驗網路，並於其上進行相關之概念性驗證 (Proof of concept, PoC)。

PoC 1_功能與機制驗證

從各個面板的燈號顯示面板(圖 6-27)，可以看出現在時刻不同 Zone 的資訊，如果需要更加詳細的資料時也可以點擊下方的 show 按鈕會顯示出更詳細的 Zone 資訊在地圖上(圖 6-28)，從地圖上顯示的 Zone 資訊可以很簡單的看出這些資訊都是符合 ETSI TS103 379[ETS17]協定的最低要求所設計的。

	Zone01	Zone02	Zone03	Zone04
frequency: 2310MHz	 Used by sec.	 Used by Inc.	 Used by Inc.	 Used by Inc.
action	show	show	show	show
frequency: 2340MHz	 Used by Inc.	 Used by Inc.	 Used by Inc.	 Used by Inc.
action	show	show	show	show
frequency: 2370MHz	 Free to Use	 Used by Inc.	 Used by Inc.	 Free to Use
action	show	show	show	show

圖 6-27：燈號顯示面板

資料來源：本研究自行繪製

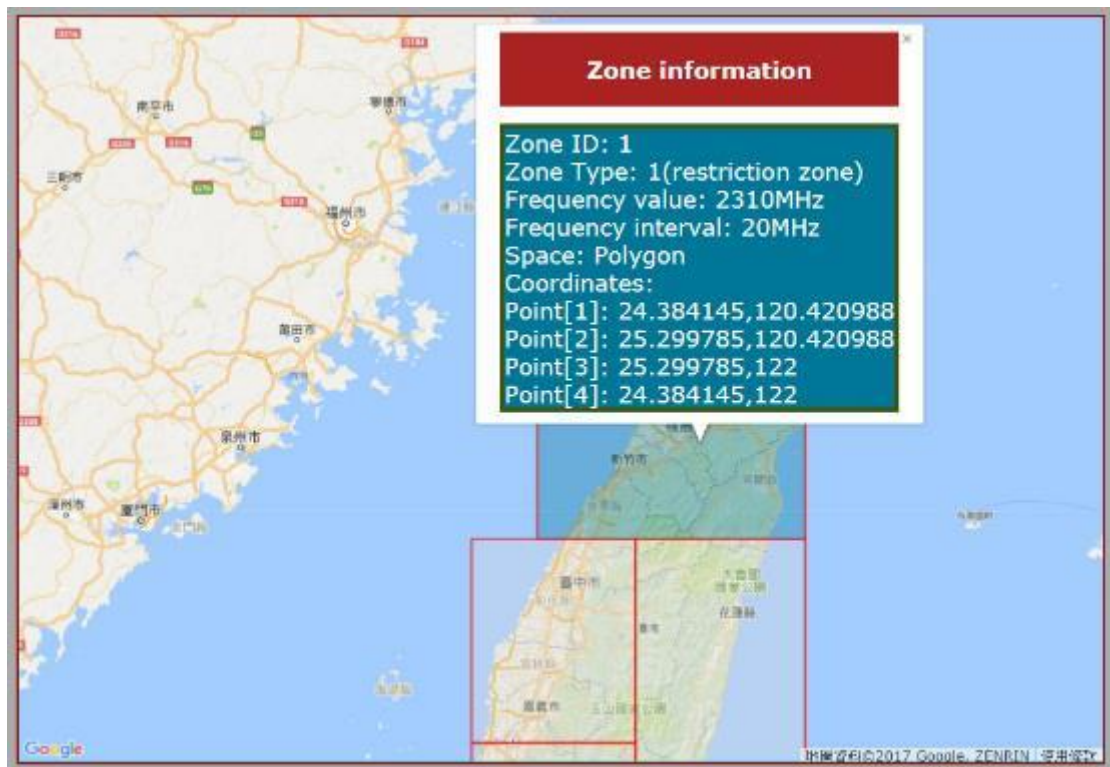


圖 6-28：地圖

資料來源：本研究自行繪製

在控制器驗證方面，當既有使用者在釋出或是收回 Zone 時在既有使用者的面板可以直接看出燈號的改變，象徵資料庫與既有使用者之間的連接，以及可以即時的更新資料庫的資訊。(圖 6 -29)

而在控制器面板會跳出一個資訊依照既有使用者的控制通知下面的 Small cell 所需要作出的反應，在這個地方可以看出資料庫以及控制器之間的同步，還有控制器與次級授權用戶硬體之間的資訊流動以及這些資訊遵從 LSRAI 協定。(圖 6 -30)

最後在監控面板可以藉由觀察監控面板上面的資訊流來驗證我們系統所跑的過程都是按照 LSRAI 的資料型態以及順序來動作的，這個地方可以詳細的看出各個資料的來回以及傳送的内容。(圖 6 -31)

Zone No.	frequency	latitude	longitude	status detail	status	action
01	2310	25.0187519279503	121.542099236297	Used by Secondary		Power on/off Recover channel
01	2310	25.0187519279503	121.542099236297	Used by Inc		Power on/off Release channel
01	2370	25.0187519279503	121.542099236297	Channel Release by Inc.		Power on/off Recover channel
02	2310	24.0256713664899	120.620779261106	Used by Inc		Power on/off Release channel
02	2340	24.0256713664899	120.620779261106	Used by Inc		Power on/off Release channel
02	2370	24.0256713664899	120.620779261106	Used by Inc		Power on/off Release channel
03	2310	22.6263350655537	120.265797165946	Used by Inc		Power on/off Release channel
03	2340	22.6263350655537	120.265797165946	Used by Inc		Power on/off Release channel
03	2370	22.6263350655537	120.265797165946	Used by Inc		Power on/off Release channel
04	2310	23.7826011286227	121.491307926906	Used by Inc		Power on/off Release channel
04	2310	23.7826011286227	121.491307926906	Used by Inc		Power on/off Release channel
04	2370	23.7826011286227	121.491307926906	Channel Release by Inc.		Power on/off Recover channel

Zone No.	frequency	latitude	longitude	status detail	status	action
01	2310	25.0187519279503	121.542099236297	allocating...		allocating...
01	2340	25.0187519279503	121.542099236297	Used by Inc		Power on/off Release channel
01	2370	25.0187519279503	121.542099236297	Channel Release by Inc.		Power on/off Recover channel
02	2310	24.0256713664899	120.620779261106	Used by Inc		Power on/off Release channel
02	2340	24.0256713664899	120.620779261106	Used by Inc		Power on/off Release channel
02	2370	24.0256713664899	120.620779261106	Used by Inc		Power on/off Release channel
03	2310	22.6263350655537	120.265797165946	Used by Inc		Power on/off Release channel
03	2310	22.6263350655537	120.265797165946	Used by Inc		Power on/off Release channel
03	2370	22.6263350655537	120.265797165946	Used by Inc		Power on/off Release channel
04	2310	23.7826011286227	121.491307926906	Used by Inc		Power on/off Release channel
04	2340	23.7826011286227	121.491307926906	Used by Inc		Power on/off Release channel
04	2370	23.7826011286227	121.491307926906	Channel Release by Inc.		Power on/off Recover channel

圖 6 -29：Incumbent 收回頻段

資料來源：本研究自行繪製

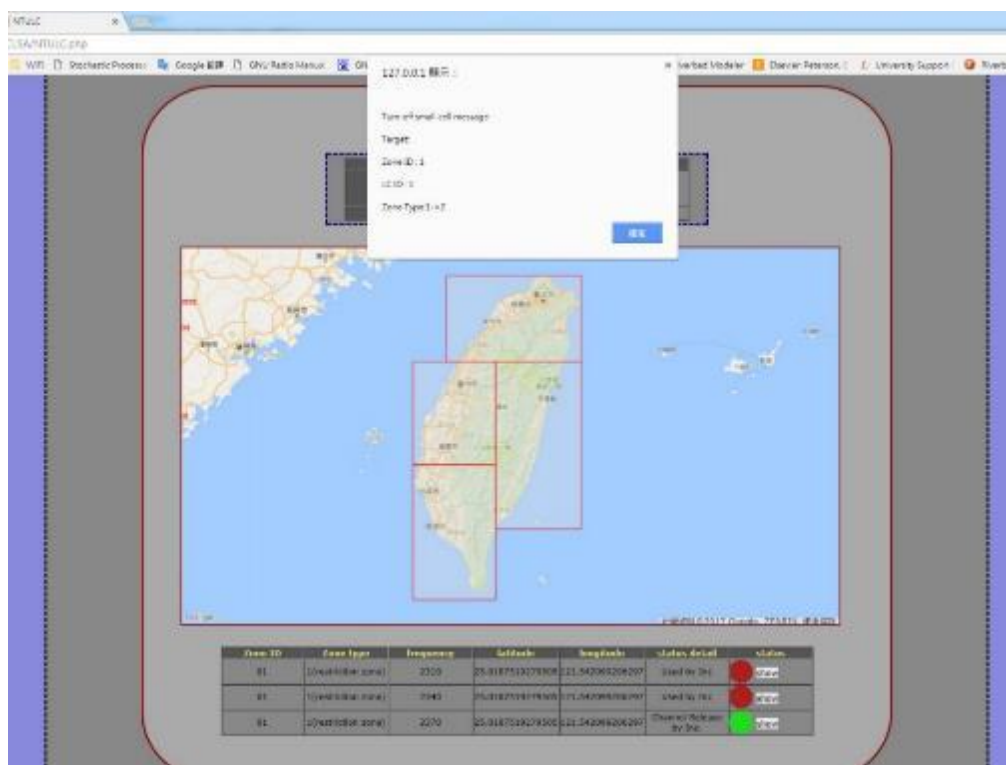


圖 6 -30：控制器同步及控制底下硬體

資料來源：本研究自行繪製

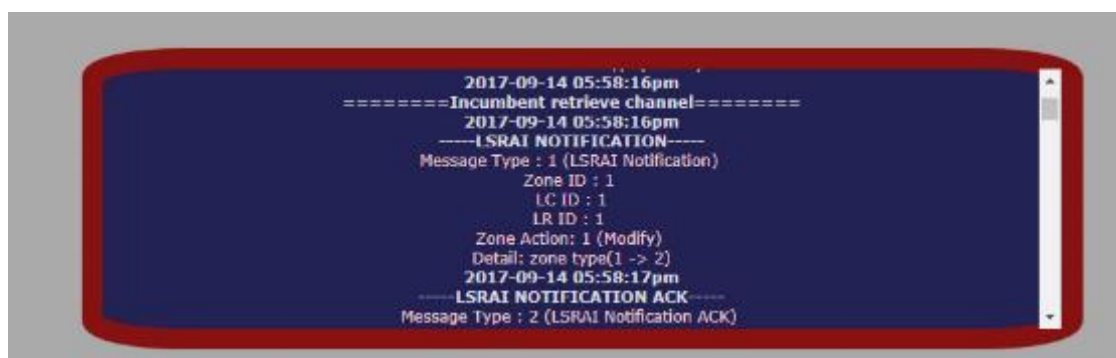


圖 6 -31：監控面板顯示的資訊流

資料來源：本研究自行繪製

PoC 2_系統整合測試（Inter-Operation Test）與概念驗證

情境一測試驗證：依 LSA 頻譜庫來執行清空與重啟共享頻段

系統整合測試部分先用情境一來介紹與測試，如以下的實境演練來觀察與驗證系統動作。

1. 在 Incumbent 網頁上顯示 Zone4 是 MNO2，目前使用 2340MHz，以藍燈來表示，如圖 6 -32 所示。



圖 6 -32：Zone4 是 MNO2 使用 2340MHz

2. 網頁針對 Zone4 的 2340MHz 按下 Recover channel 發送要清空此頻段的要求，此要求是 Incumbent 發送給中山大學 LSA 控制器的提示，網頁顯示為 allocating 設定中，如圖 6 -33 所示。



圖 6 -33：按下清空按鈕顯示 allocating

- 這時在 LSA 控制器網頁會收到一個 Java Script(alert)的提示訊息，表示要求收回 2340MHz 的動作，如圖 6 -34 所示。



圖 6 -34：LSA 控制器提示要求收回的訊息

4. 根據 LSA 控制器收到的要求，此時 EPC 系統中的 Shell Script 會執行 Small Cell 的重啟(釋放)，並把狀態同步更新到 LSA 頻譜庫，頻譜分析儀顯示使用頻段已經清空，如圖 6 -35 所示。



圖 6 -35：頻譜分析儀顯示已清空

5. 此時 LSA 頻譜庫已更新狀態，網頁顯示 2340MHz 頻段已回收，用紅燈來表示，如圖 6 -36 所示。



圖 6 -36：LSA 頻譜庫網頁顯示 2340MHz 頻段已回收

6. 大約 1 分鐘左右 Small Cell 已重啟完成，Shell Script 會同步連結頻譜資料庫掃描新的可用頻率範圍並擷取回到設定檔內參數做更新(套用新頻段)，在各個網頁中都可看到 Zone4(MNO2)已套用 2370MHz 新頻段，以藍燈來表示，如圖 6 -37 所示。

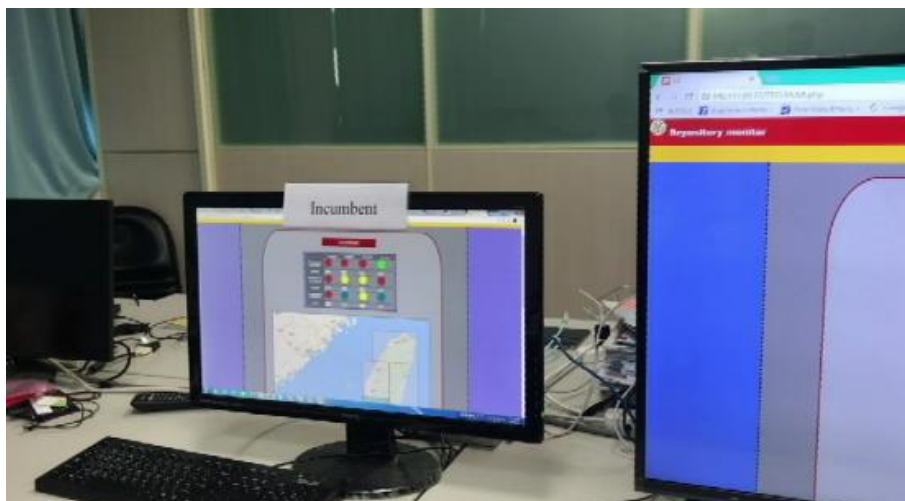


圖 6 -37：網頁介面顯示使用頻段已切換

7. 在頻譜分析儀上可看到編號標示為 band 3 的 2370MHz 頻段顯示已使用，如圖 6 -38 所示。

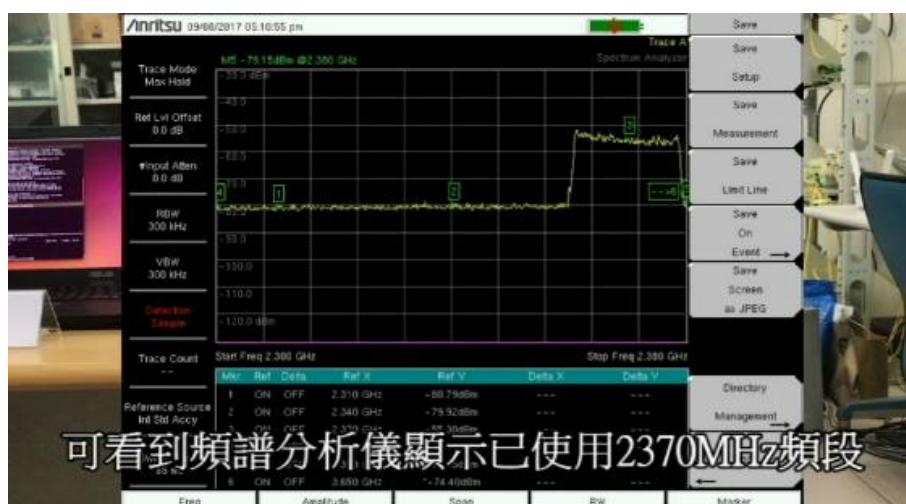


圖 6 -38：頻譜分析儀顯示已換頻到 2370MHz

8. 最後在各個網頁可看到 Zone4(MNO2)原先使用的 2340MHz 已收回，以紅燈來表示，那麼已跳頻到 2370MHz，以藍燈來表示，如圖 6 -39 所示。



圖 6 -39：完成頻段的清空與跳頻

情境二測試驗證：依頻譜感測器來執行清空共享頻段

最後在系統整合測試的地方我們使用情境二來測試系統，從情境二中我們可以觀察以下的動作來驗證我們系統的動作是否正確。

1. 無預警的打開 Incumbent 的訊號：在這個地方我們可以測試出是否既有使用者面板可以控制底下的硬體，而從示波器我們可以觀察到 Incumbent 的 OFDM 訊號確實的出現了。(圖 6 -40)

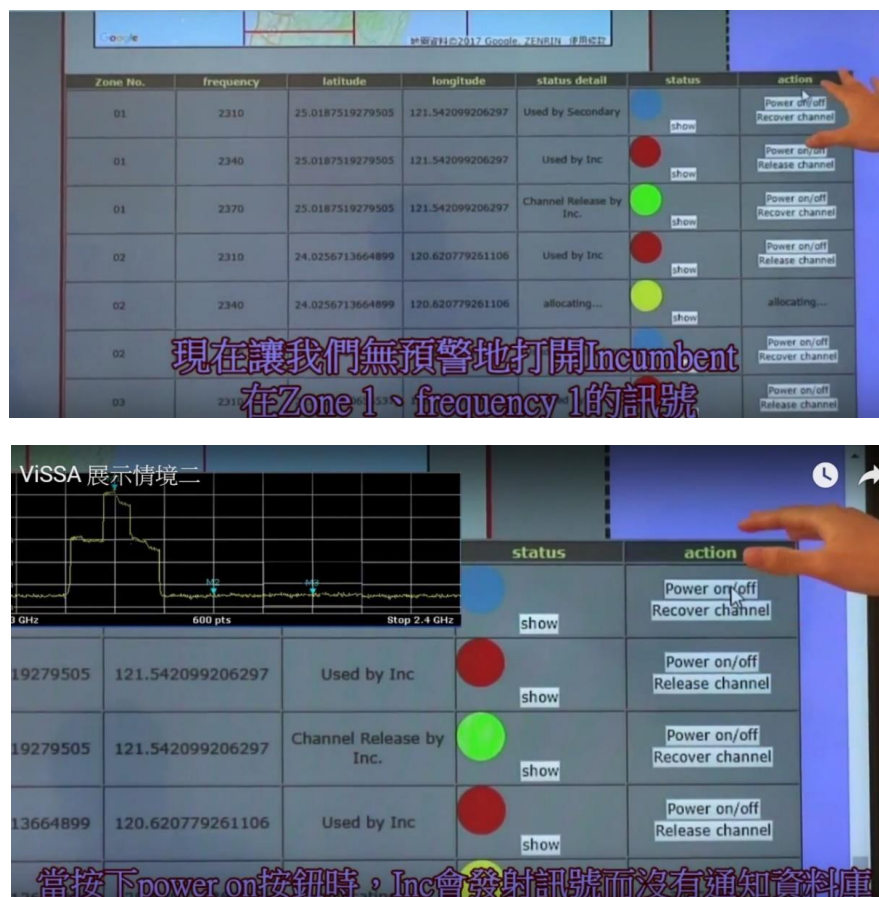


圖 6 -40：無預警的打開 Incumbent 的訊號

- 訊號感測器感測到 Incumbent 訊號：在這邊我們可以觀察我們的訊號感測器是否有正常的運作以及回傳到資料庫，也可以觀察到我們資料庫的資訊依偵測到 Incumbent 而更新。(圖 6 -41)



圖 6 -41：感測到 Incumbent 訊號

- 控制器收到訊號後清空頻段：在這個動作中我們可以看到資料庫以及控制器的連接部分有沒有正常的運作，從示波器上 Small cell 訊號的關閉也可以觀察出，控制器底下的硬體連接，同時控制器在硬體作出動作後也可以正確的回傳出 Zone 狀態、更新到資料庫中。(圖 6 -42)

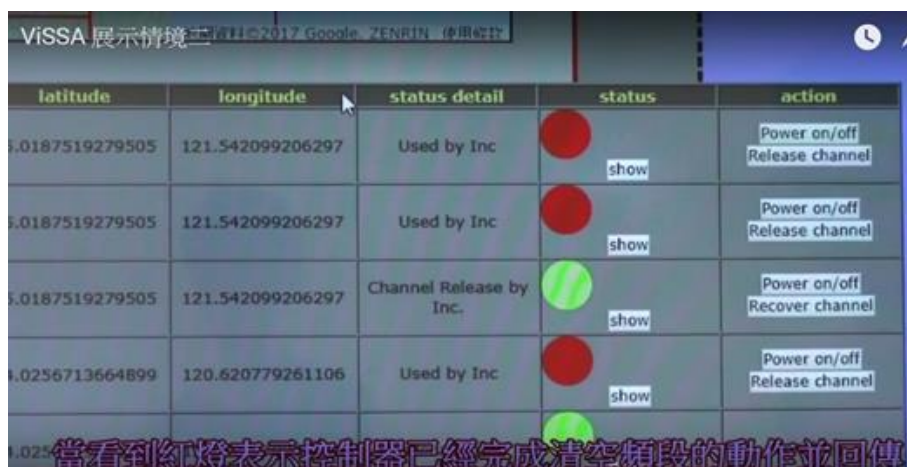


圖 6 -42：控制器清空頻段

4. 次級授權用戶跳至其他頻段、燈號更新完成：從這個動作我們可以觀察出當次級授權用戶關閉之後是否會依照分配跳到其他頻段，而跳到其他頻段後這個資訊會不會由控制器成功的更新至資料庫，在我們的試驗當中可以看到顯示面板的動作都是正確的，也可以在示波器上觀察到相同的結果。(圖 6 -43)



圖 6 -43：控制器完成跳頻

針對對情境二的步驟比對我們實際的模擬進行驗證分析：

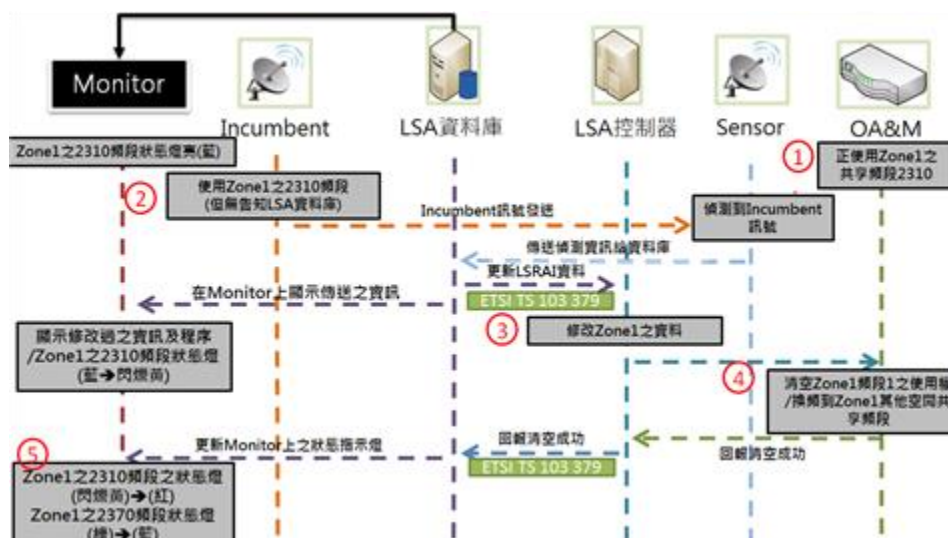


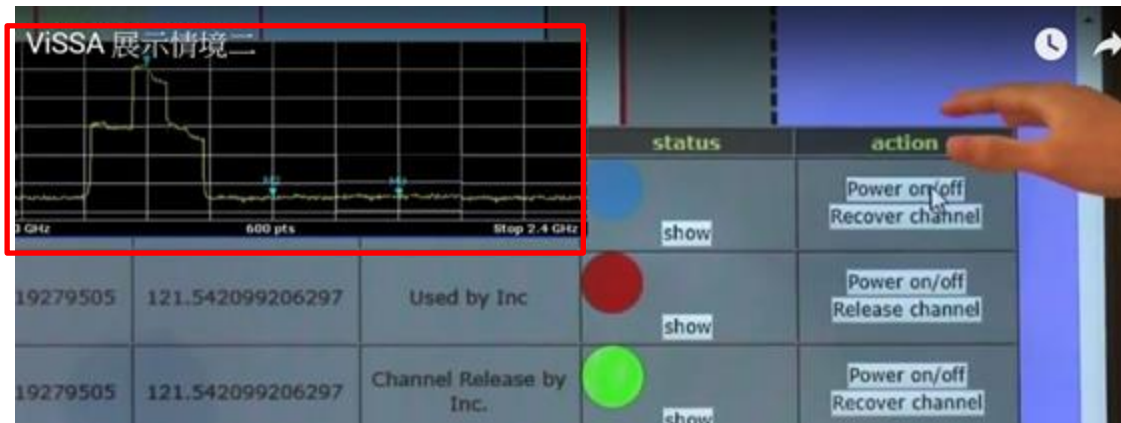
圖 6-44：情境二作用過程

資料來源：本研究自行繪製

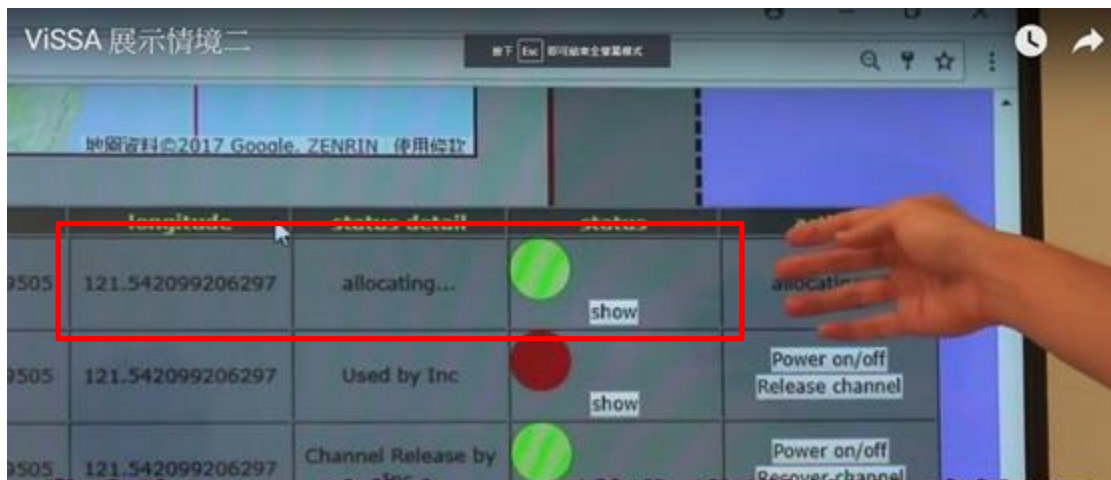
步驟 1. 次級授權用戶原本正在使用共享頻譜(2310MHz)，燈號為藍色(代表正在被次級授權用戶使用)，而 2370MHz 目前是空的，燈號為綠色(代表使用者)

Zone No.	frequency	latitude	longitude	status detail	status	action
01	2310	25.0187519279505	121.542099206297	Used by Secondary	 show	Power on/off Recover channel
01	2340	25.0187519279505	121.542099206297	Used by Inc	 show	Power on/off Release channel
01	2370	25.0187519279505	121.542099206297	Channel Release by Inc.	 show	Power on/off Recover channel

步驟 2. Incumbent 無預警打開 2310MHz，並感測器偵測到 Incumbent 要使用



步驟 3. 控制器收到訊號後清空原本次級授權用戶的頻段(2310MHz)，可以看到 2310MHz 燈號從原本藍色(代表次級授權用戶正在使用)變到閃爍黃色(代表正在分配頻譜)，並將次級授權用戶移到原本空的 2370MHz，2370MHz 燈號從原本綠色(代表可使用)變到閃爍黃色(代表正在分配頻譜)



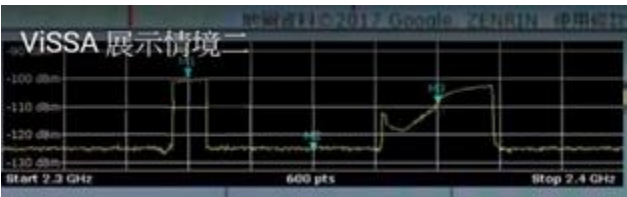
步驟 4. 成功將次級授權用戶移頻到原本是空的 2370MHz 頻段，並通知資料庫最新資訊，2370MHz 燈號變為藍色



步驟 5. 資料庫 2310MHz 更新完成，2310MHz 變為紅色(代表正被主要者使用)，並且在感測器可以看到 Incumbent 和次級授權用戶在個別的頻段

ViSSA 展示情境二

frequency	latitude	longitude	status detail	status	action
2310	25.0187519279505	121.542099206297	Used by Inc.	 show	Power on/off Release channel
2340	25.0187519279505	121.542099206297	Used by Inc.	 show	Power on/off Release channel
2370	25.0187519279505	121.542099206297	Used by Secondary	 show	Power on/off Recover channel
2310	24.0256713664899	120.620779261106	Used by Inc.	 show	Power on/off Release channel
2340	24.0256713664899	120.620779261106	allocating...	 show	allocating...
2370	24.0256713664899	120.620779261106	Used by Secondary	 show	Power on/off Recover channel



PoC 3_既有使用者要求使用其頻譜到共享者繳回頻譜使用權之端到端時延評估

LSA 共享架構中最重要的效能指標之一，即為 LSA 共享使用者撤出共享頻段所需時間，也就是從既有使用者向 LSA 頻譜庫發出清空共享頻段訊息開始，直到 LSA 頻譜庫回報頻段已清空的訊息給既有使用者為止。在這段期間，LSA 持照者也必須以強制的方式，把共享頻段上進行無線通訊的終端用戶，轉移交遞至其他的頻段，本節評估清空與轉移所需時間。

(一) 情境一 Small Cell 頻段清空與轉移所花的時間

在 Small Cell 使用頻段的清空與換頻時間統計部分我們使用頻譜分析儀配合一個手機計時器，與 Incumbent 網頁畫面控制並同步觀察 Small Cell 重啟時換頻的大約時間差，整個換頻時間大約為 1 分 8 秒左右。

如圖 6 -45 所示，Small Cell 正在使用 2340MHz 頻段，在 Incumbent 網頁按下 Recover channel 後開始計時。



圖 6 -45：Incumbent 發出請求，開始計時

如圖 6 -46 所示，從頻譜分析儀可看到手機計時器 App 顯示大約為 6 秒時偵測到頻率消失，此時 Small Cell 已關機。



圖 6 -46：頻譜分析儀顯示頻段已清空

如圖 6 -47 所示，在 Incumbent 網頁可看到 Zone4 的 2340MHz 釋放頻段已被收回，在網頁介面使用紅燈做提示。



圖 6 -47：Incumbent 網頁顯示已收回釋放頻段

如圖 6 -48 所示，手機計時器約為 54 秒時可看到 Small Cell 已亮燈(開機)，Incumbent 網頁顯示正在偵測 Small Cell 新的使用頻段並更新網頁燈號狀態，此時 Small Cell 會將新的使用頻段透過頻譜資料庫回報給 LSA 控制器，因此網頁會顯示轉移後的頻段，使用藍燈做提示。

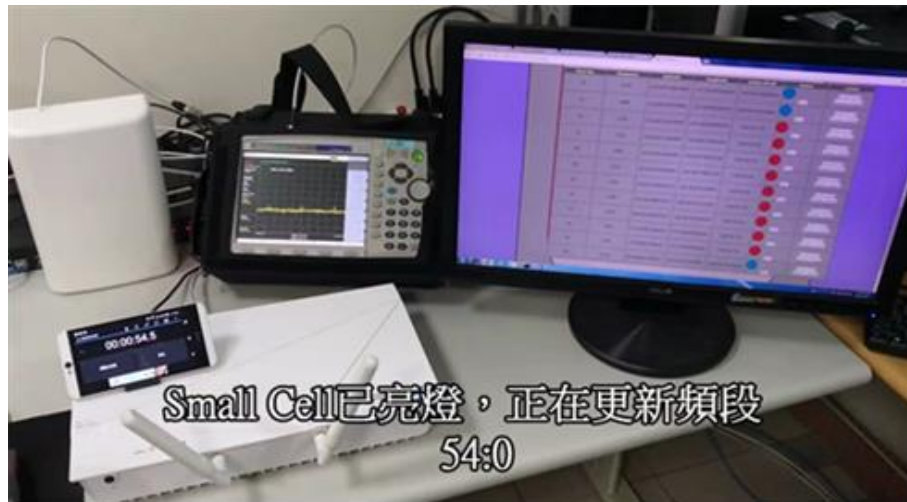


圖 6 -48：Small Cell 已開機並回報使用頻段

如圖 6 -49 所示，手機計時器計時到約 1 分 6 秒時頻譜分析儀偵測到 Small Cell 已使用 2370MHz 新頻段，約 1 分 8 秒時顯示訊號穩定。



圖 6 -49：頻譜分析儀顯示已換頻段

如表 6 -5 所示，Incumbent 通知 LSA 頻譜庫要求頻段收回所需時間約 2 秒，在 eNB 重啟前 Shell Script 會向 LSA 頻譜庫擷取新的可用頻率範圍，時間只需 1 秒，eNB 執行頻段清空(關機)約 2 秒，頻譜分析儀顯示頻率清空約 6 秒，Monitor 需約 20 秒顯示頻段已收回(網頁顯示紅燈)。

表 6 -5：自動更改 eNB 頻段並重啟所花費的時間

程序說明	時間
T1: Incumbent 通知 LSA 頻譜庫要求頻段收回	2 秒
T2: LSA 頻譜庫與 LSA 控制器做資料同步	1 秒
T3: LSA 控制器要求 eNB 執行頻段清空(關機)	2 秒
T4: 頻譜分析儀顯示原頻段已清空	6 秒
T5: eNB 重啟準備使用新頻段(轉移) 回報給 LSA 控制器	31 秒
T6: Monitor 顯示原頻段已收回	20 秒
T7: Shell Script 執行 eNB 啟用新頻段	1 秒
T8: 頻譜分析儀顯示已使用新頻段	5 秒
總共花費時間	1 分 8 秒

其中，eNB 重啟使用新頻段（轉移）所需時間較久約為 31 秒，Shell Script 把新頻段存入 LSA 頻譜庫時間只需 1 秒，最後頻譜分析儀約需 5 秒才會顯示新頻段的使用，完整清空、轉移的各段時間如圖 6 -50 所示。

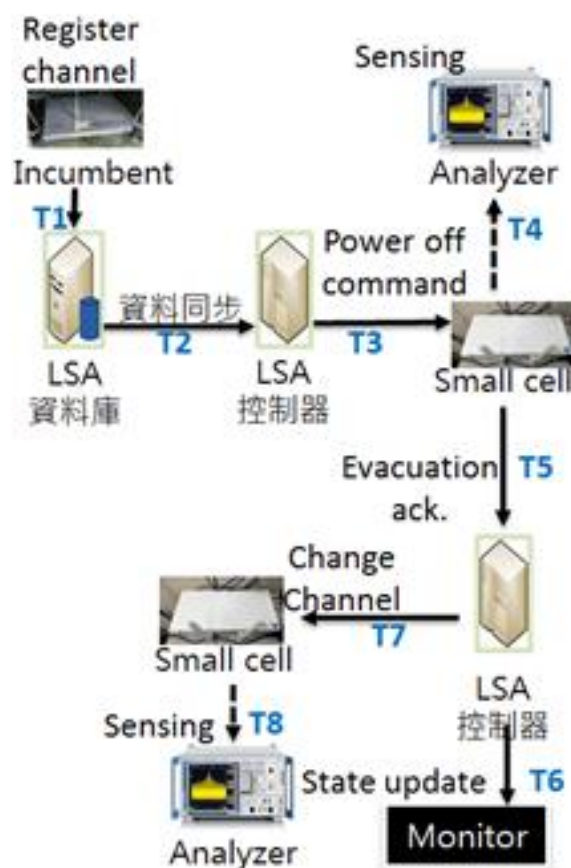


圖 6 -50：情境一之端到端時延量測定義

資料來源：本研究自行繪製

情境一之 LSA 頻率清空、轉移所花的時間總共約為 1 分 8 秒。與 2014 年芬蘭 CORE+商務等級 LSA 試驗系統的實驗時延水準尚可參照，見表 6 -1：LSA 頻段清頻時延結果分析[PMP14]。

(二) 情境二 Small Cell 頻段清空與轉移所花的時間

在情境二之端到端系統延時評估的部份，我們總共分為 5 個部分作測試（圖 6 -51），分別為：

1. T0 (開啟訊號到感測器偵測到訊號):在這個部分的測量示使用既有使用者控制面板的系統時間以及感測系統程式接收到資訊的程式時間來作計算的，代表了系統對於 Incumbent 訊號的靈敏度。
2. T1(資料庫同步跟新到控制器的時間):這個部分使用的示資料庫資料改變的的系統時間以及控制器接收到改變同步跟新資料的系統時間的差，直接觀察兩個資料流的網路延遲，可以觀察出在資料更新的部分有很高的靈敏度。
3. T2(控制器更新資訊到硬體(small cell)的反應時間):這個部分為資料庫更新資料的系統時間以及示波器上訊號關閉時間的差，可以觀察出系統接收到指令之後到硬體執行指令中間的延遲，因為硬體與系統間的連接為 10 秒同步一次所以可以看到反應時間差不多落在 7 秒左右。
4. T3(次級授權用戶硬體重啟到回報控制器的時間):在這個階段使用的是 Small cell 訊號關閉的到控制器偵測到硬體重啟更新資料的系統時間，在這個部分因為 10 秒同步可能會造成沒辦法每次都在一開機時就同步更新的狀況，而當這個狀況會造成更新的延遲，所以有時硬體關閉的回傳以及硬體換頻回傳的資訊會同時傳送(前一次的同步錯過了)，除了上述狀況還有硬體剛開機時程序造成 EPC 指令的延遲，這些狀況造成 T3 的時間變得非常長而且同時更新 T4(換頻)，在這種 Case 中 T3 的等待時間會拉長到 50 秒左右，在一般的正常更新的狀態下 T3 的延遲差不多落在 25 秒左右。
5. T4(清空回報完成到控制器換頻成功):這個部分使用的是控制器完成清空回報的時間到控制器完成換頻回報的時間，因為上述的狀況有時換頻跟清空的時間會重疊，這種狀況導致了 T3、T4 的 STD 增加，在正常的狀況之下清空到換頻所需時間差不多為 15 秒左右。

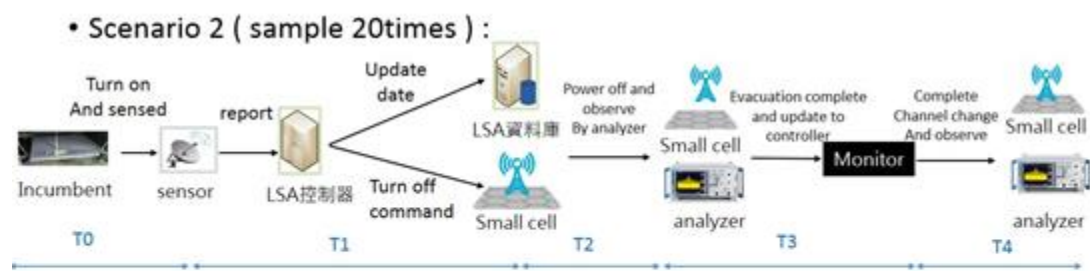


圖 6 -51：情境二之端到端時延量測定義

資料來源：本研究自行繪製

針對情境二共進行了二十次的測試(表 6 -6)，整體的系統運作時間差不多落於一分鐘左右、STD 為 12 秒。

雖然本情境當中多了感測 Incumbent 以及更新資料庫所需要的時間，但是因為感測所需時間差不多為一秒，所以總系統延時還是落於一分鐘、標準差差不多為 12 秒，主要的時延瓶頸還是與情境一相同在 Small Cell 重啟的部分(T3)，因為重啟本身需要的時間加上每 10 秒同步所造成的同步時間差所以在 T3 這部分會消耗較多的時間，為來將想辦法研究如何在不開關 Small Cell 而是用配置的方法完成移頻來減少系統反映時間。與 2014 年芬蘭 CORE+商務等級 LSA 試驗系統的實驗時延水準尚可參照，見表 6 -1。

表 6 -6：情境二測試結果

Times	T0	T2	T3	T4	Total
1	0.608	5.6	54.2	0	60.408
2	0.537	10.2	55.3	0	66.037
3	0.574	8.2	59.9	0	68.674
4	1.199	5.1	59.3	0	65.599
5	0.535	4.7	19.7	20.2	45.135
6	0.589	5.2	19.8	13.2	38.789
7	0.568	5	19.9	17.7	43.168
8	0.539	5.3	55.8	0	61.639
9	1.385	14.3	19.7	14.8	50.185
10	0.531	7.9	60.4	0	68.831
11	1.068	12.8	20.6	15.8	50.268
12	0.531	11.8	48.8	10.5	71.631
13	1.013	12.4	59.5	0	72.913
14	1.282	4.8	19.9	20	45.982
15	0.547	4.7	49.5	9	63.747
16	0.566	9.8	56.7	0	67.066
17	1.299	4.7	20	13.8	39.799
18	0.588	5.4	21.6	17.9	45.488
19	0.548	11.1	19.7	14.6	45.948
20	0.539	6.1	19.9	19.6	46.139
avg	0.7523	7.755	38.01	9.355	55.8723
std	0.315252	3.281924	18.62217	8.314064	11.69596
max	1.385	14.3	60.4	20.2	72.913
min	0.531	4.7	19.7	0	38.789

PoC 4_實驗室環境中 LTE 小細胞基站及與既有使用者間的干擾量測與效能評估

本項實驗針對小細胞基站使用頻率如 2.3~2.4GHz 及其同頻段既有使用者如 PMSE 及雷達/衛星等,於實驗室內進行實驗量測異質網路間干擾產生的 Path Loss、Fading 等並做無線網路效能(Capacity)評估。

(一) 單一台 LTE 小細胞基站 eNB

測試架構

如下圖所示,我們將使用頻率是 2.33~2.35GHz,在 LTE-Small Cell 的 EPC 用 iperf 持續傳送一分鐘,測試使用一台手機 iperf 來測量一台 eNB 的效能 (Throughput、Packet Loss Ratio、Jitter), Downlink path 是在 eNB 上利用 iperf 傳送 Traffic 給手機來測量 eNB Downlink 的效能,基地台的 power 設定為 0,使基地台涵蓋範圍變大,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。

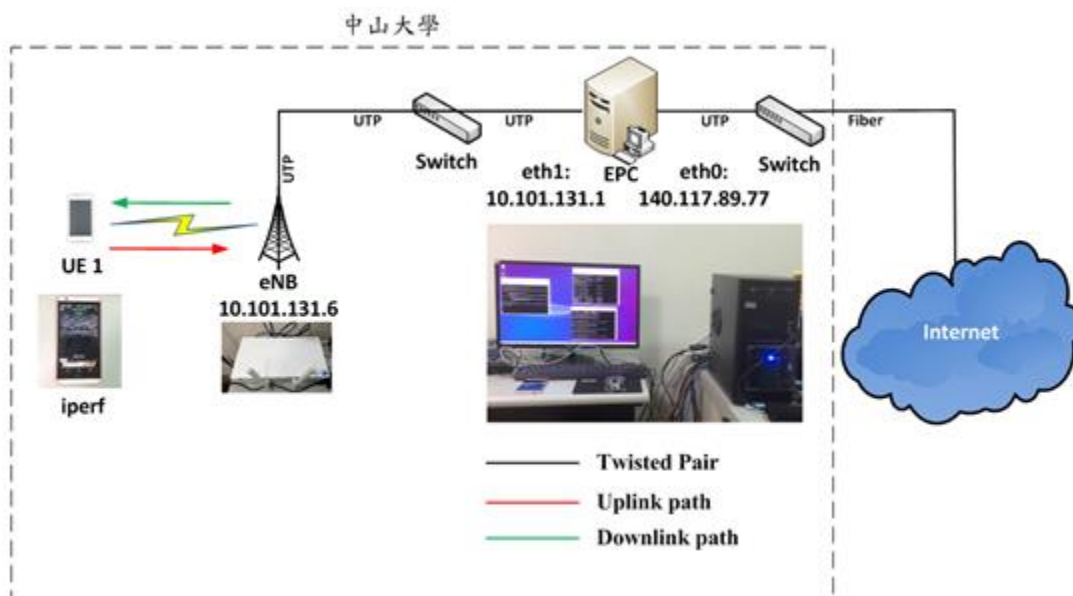


圖 6-52：單一台 LTE 小細胞基站 eNB 架構

資料來源：本研究自行繪製

測試結果

如表 6-7~表 6-9 所示，我們是測試 Downlink (設定 MCS: tm3、Time : 60 s)，使用 iperf 分別實際測試 5 次 eNB1 在 QPSK、16QAM 與 64QAM 三種 Modulation 的 Bandwidth Capacity 做平均，測試 QPSK 在 UE 的 Throughput 是 19.04Mbps，RSRP 在 -51~-52dBm，SNR 在 28~30dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 16QAM 在 UE 的 Throughput 是 37.1Mbps，RSRP 在 -51~-52dBm，SNR 在 22~28dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 64QAM 在 UE 的 Throughput 是 90.72Mbps，RSRP 在 -52~-53dBm，SNR 在 27~29dB，Packet Loss ratio 是 0.032%。

以兩台手機 iperf 同時測量在三種調變下兩台 eNB 下載鏈結的效能，傳輸速率幾乎都達各調變下的額定值，封包遺失率除在 64QAM 調變下有 0.004~0.015%外皆為 0，抖動(Jitter) 皆為 1.7 ms 以下。使用不同頻率不會造成干擾。

表 6-7：eNB1 MCS Index：9 (QPSK)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth : 20MHz (PHY data rate =19Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:28~30dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	19 Mbps	1.061	0	97088	0 %
2	19.1 Mbps	0.931	0	97088	0 %
3	19.1 Mbps	0.976	0	97088	0 %
4	19 Mbps	0.892	0	97088	0 %
5	19 Mbps	1.003	0	97088	0 %
平均	19.04 Mbps	0.9726	0	97088	0 %

表 6 -8：eNB1 MCS Index：16 (16QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =37Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:28~30dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	37.3 Mbps	0.511ms	0	189275	0 %
2	37.2 Mbps	1.307 ms	0	189275	0 %
3	37.2 Mbps	0.659 ms	0	189275	0 %
4	37.1 Mbps	0.624 ms	0	189275	0 %
5	37.1 Mbps	0.422ms	0	189275	0 %
平均	37.1 Mbps	0.6336ms	0	189275	0 %

表 6 -9：eNB1 MCS Index：28 (64QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =90Mbps)		RSRP: -52~-53dBm		SNR:27~29dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	90.8 Mbps	0.379 ms	280	461538	0.061 %
2	90.6 Mbps	0.208 ms	158	461538	0.034%
3	90.8 Mbps	0.214 ms	156	461538	0.004%
4	90.8 Mbps	0.103 ms	133	461538	0.029%
5	90.6 Mbps	0.145 ms	148	461538	0.032%
平均	90.72	0.2098 ms	175	461538	0.032%

(二) 實驗室環境既有使用者之路徑損失(Path Loss)及衰落(Fading)量測

在實驗室環境中，針對 2.3GHz 異質網路的干擾量測部分，評估其環境之路徑損失，實驗室擺設如下圖所示，發射端設備皆使用訊號產生器，接收端設備使用頻譜分析儀。TX1 模擬既有使用者，發射功率為-45dBm，TX2 模擬 LTE 小細胞基站，發射功率為-60dBm。接收端(X1...Xn)在不同半徑的圓弧上移動，並分別記錄每個接收點的訊號強度，扣掉發射功率即可評估路徑損失。

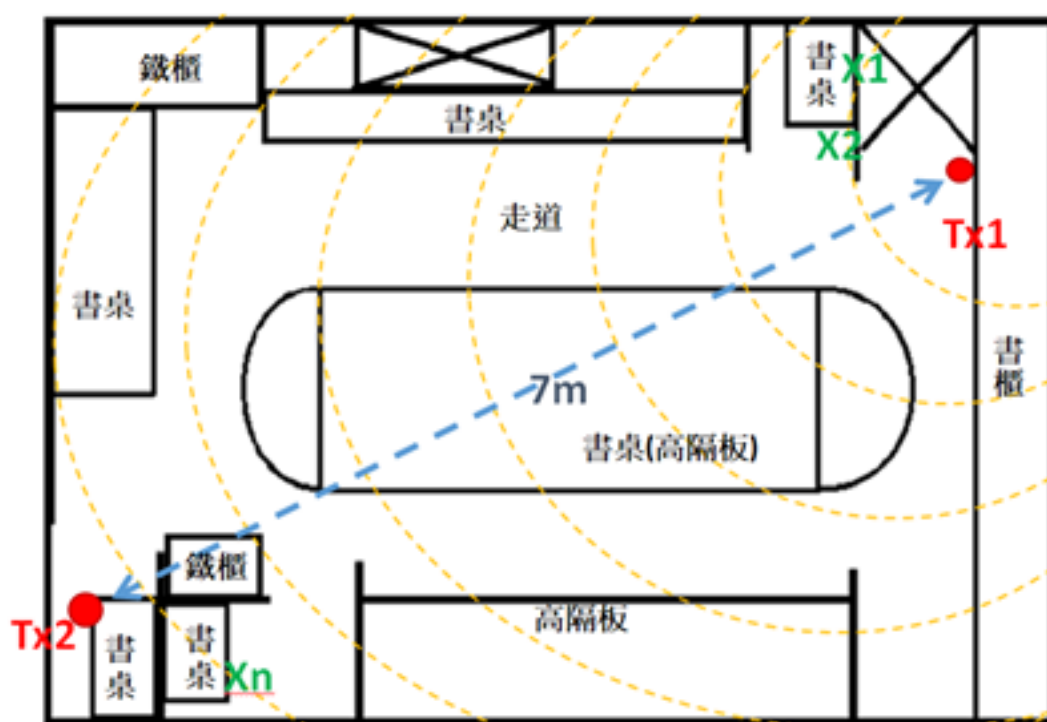


圖 6 -53：實驗室平面圖

資料來源：本研究自行繪製

測試結果

實驗結果如圖 6 -54 所示，橘色曲線是 2.3GHz 在郊區環境之路徑損失參考模型[SWL08]，藍色曲線是在實驗室環境中的量測值，紅色曲線則是基於量測值及參考模型 $A+\log_{10}(d)$ 所得到的最佳近似解[Go105]。

$PL(d)=38.06+20.63\log_{10}(d)$ ； d 為接收端與發射端間的距離

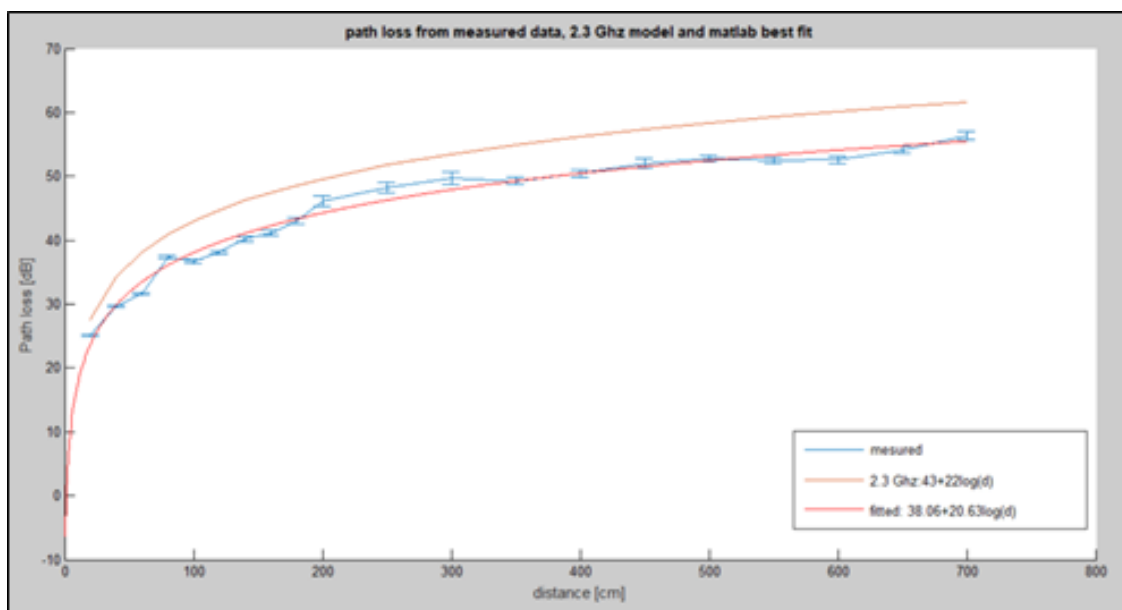


圖 6 -54：路徑損失量測結果

資料來源：本研究自行繪製

由實驗結果可得知，量測值符合文獻中參考模型 $A+\log_{10}(d)$ 型態，惟實驗室為一個具有多重路徑及遮蔽效應之傳播環境，衰落(fading)呈現 log-normal 分佈，其標準差為 4.839dB，相較於文獻中郊區之 9.3dB 為低。本量測分析將可作為干擾評估的基礎。

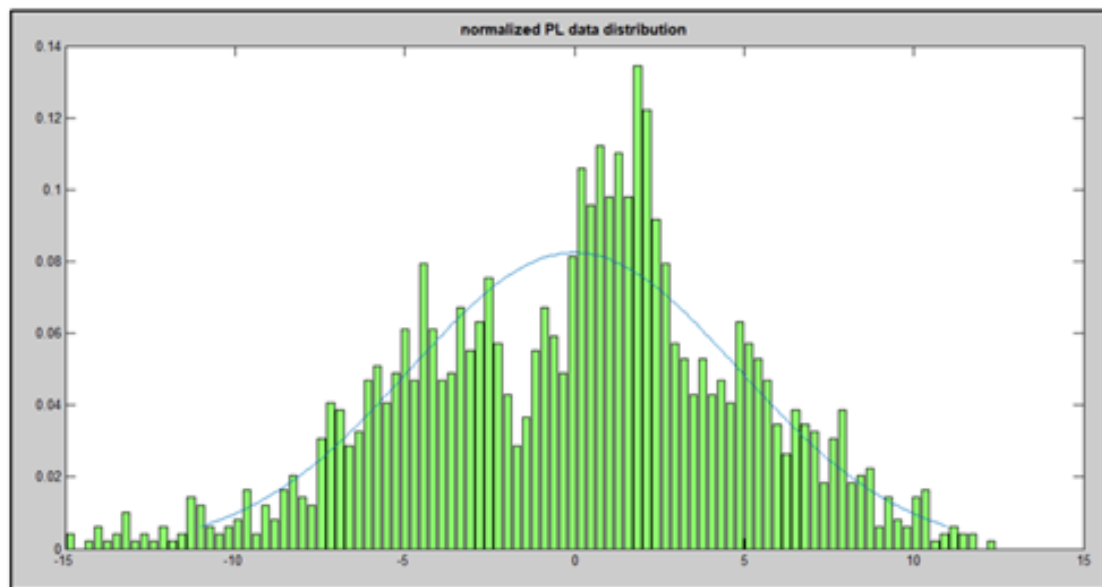


圖 6 -55：fading(log-normal distribution)

資料來源：本研究自行繪製

PoC 5_實驗室環境中 LTE 小細胞站台間的干擾量測與效能評估

依照我們參考 TTC 所提供的頻率共享管理規則草案總說明的干擾管理規範資料，在頻率共享機制之建立上，為了維護使用者(UE)之權利，並有效提升利用頻率之閒置機會，我們建立頻率共享資料庫以進行動態即時共享，並避免對使用者(UE)造成一些干擾，如干擾源太多，在共享頻率使用者依據優先核配許可記載之時間，如使用者起始使用時間與釋放回收時間，目前的地理區域如中山大學海工館行動寬頻示範教學實驗室與台灣大學動態頻譜接取實驗室，接著我們使用頻率為 2.3-2.4GHz，我們使用三個頻段(如 Band 1 為 2300MHz~2320MHz、Band 2 為 2330MHz~2350MHz、Band 3 為 2360MHz-2380MHz)，使用頻寬共為 20MHz。干擾與效能評估，我們針對兩台 eNB 使用相同頻段與不同頻率對 UE 的干擾測試。

(一) 兩台 LTE 小細胞基站 eNB (使用不同頻段)

測試架構

如圖 6 -56 所示，我們設計將 LTE-Small Cell 的 EPC 用 iperf 持續傳送一分鐘，測試使用兩台手機 iperf 同時測量兩台 eNB 的效能(Throughput、Packet Loss Ratio、Jitter)，在 eNB 1 是設定 2.33~2.35GHz，在 eNB 2 是設定 2.36~2.38GHz，兩台 eNB 距離為 270 公分，UE1、UE2 同時使用 iperf 測試不同的 MCS，兩台基地台的 power 設定為 0，使兩台基地台涵蓋範圍重疊，將其測試干擾情況。

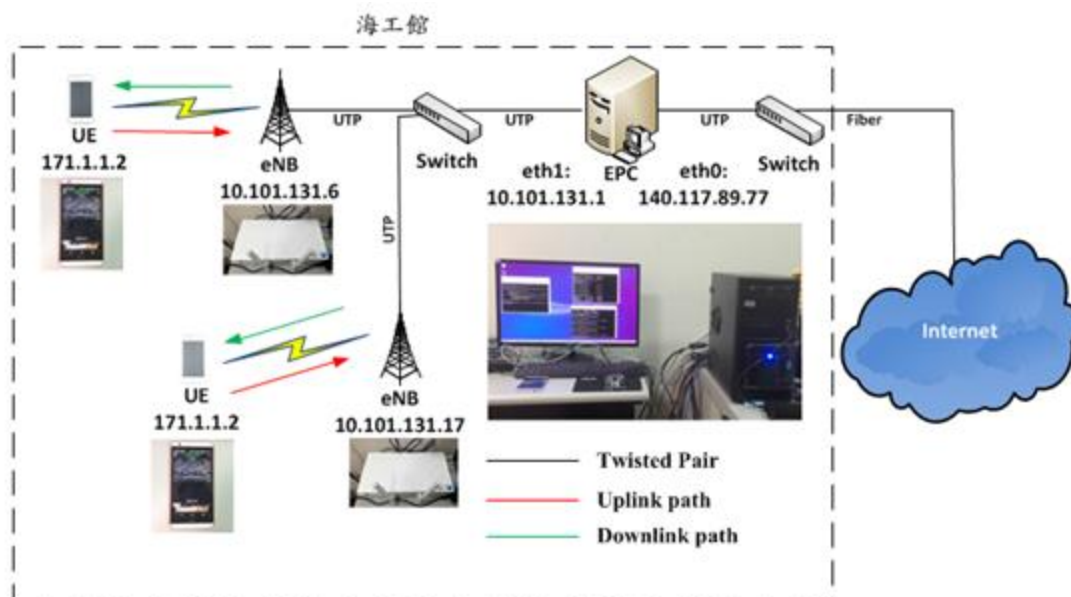


圖 6 -56：兩台 LTE 小細胞基站 eNB (使用不同頻段)架構

資料來源：本研究自行繪製

測試結果

我們是測試 Downlink (設定 MCS: tm3、Time : 60 s)，使用 iperf 分別實際測試5次 eNB1eNB2 在 QPSK、16QAM 與 64QAM 三種 Modulation 的 Bandwidth Capacity 做平均，由於在 64QAM 的時候 EPC 無法同時傳送 90Mbps 到到兩支手機端，因而希望不要造成擁擠的來源，所以將改為傳送 30Mbps，在 Lost packet 不會造成大量 Loss，以便於干擾比較。如表 6 -10～表 6 -12 所示，在 eNB1 測試 QPSK 在 UE 的 Throughput 是 19.1 Mbps，RSRP 在 -51~-52dBm，SNR 在 29~30dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 16QAM 在 UE 的 Throughput 是 37.18Mbps，RSRP 在 -51~-52dBm，SNR 在 27~30dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 64QAM 在 UE 的 Throughput 是 30.04Mbps，RSRP 在 -51~-52dBm，SNR 在 22~28dB，Packet Loss ratio 是 0.01292%。

表 6 -10：eNB1 MCS Index：9 (QPSK)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =19Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:29~30dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	19.1 Mbps	2.571 ms	0	97088	0 %
2	19.1 Mbps	0.853 ms	0	97088	0 %
3	19.1 Mbps	0.895 ms	0	97088	0 %
4	19.1 Mbps	0.994 ms	0	97088	0 %
5	19.1 Mbps	1.099 ms	0	97088	0 %
平均	19.1 Mbps	1.2824 ms	0	97088	0 %

表 6 -11：eNB1 MCS Index：16 (16QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =37Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:27~30dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	37.2 Mbps	0.691 ms	0	189275	0 %
2	37.3 Mbps	0.723 ms	0	189275	0 %
3	37.2 Mbps	0.648 ms	0	189275	0 %
4	37.1 Mbps	0.735 ms	0	189275	0 %
5	37.1 Mbps	0.626 ms	0	189275	0 %
平均	37.18 Mbps	0.6846 ms	0	189275	0 %

表 6 -12：eNB1 MCS Index：28 (64QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =30Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:28~30dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	30 Mbps	1.518 ms	0	153062	0 %
2	30 Mbps	2.447 ms	13	153062	0.0085 %
3	30 Mbps	2.213 ms	35	153062	0.023 %
4	30.1 Mbps	1.136 ms	14	153062	0.0091 %
5	30.1 Mbps	1.555 ms	36	153062	0.024 %
平均	30.04 Mbps	1.7738 ms	19.6	153062	0.01292 %

如表 6-13～表 6-15 所示，我們在 eNB2 測試 QPSK 在 UE 的 Throughput 是 19.06 Mbps，RSRP 在-51~-52dBm，SNR 在 29~30dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 16QAM 在 UE 的 Throughput 是 37.2Mbps，RSRP 在-51~-52dBm，SNR 在 29~30dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 64QAM 在 UE 的 Throughput 是 30.04Mbps，RSRP 在-52~-54dBm，SNR 在 27~30dB，Packet Loss ratio 是 0.0026%。

結果顯示，兩支手機接取使用不同頻段 LTE 小細胞基站，封包遺失率低，小於 0.02%，幾乎沒有干擾。

表 6 -13：eNB2 MCS Index：9 (QPSK)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =19Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:29~30dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	19.1 Mbps	2.261 ms	0	97088	0 %
2	19 Mbps	1.805 ms	0	97088	0 %
3	19 Mbps	2.280 ms	0	97088	0 %
4	19.1 Mbps	1.324 ms	0	97088	0 %
5	19.1 Mbps	2.394 ms	0	97088	0 %
平均	19.06	2.0128 ms	0	97088	0 %

表 6 -14：eNB2 MCS Index：16 (16QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =37Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:29~30dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	37.2 Mbps	0.473 ms	0	189275	0 %
2	37.1 Mbps	1.858 ms	0	189275	0 %
3	37.3 Mbps	1.736 ms	0	189275	0 %
4	37.2 Mbps	0.437 ms	0	189275	0 %
5	37.2 Mbps	0.456 ms	0	189275	0 %
平均	37.2	0.992 ms	0	189275	0 %

表 6 -15：eNB2 MCS Index：28 (64QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =30Mbps)		RSRP: -52~-54dBm		SNR:27~30dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	30.1 Mbps	1.620 ms	14	153062	0.0091 %
2	30 Mbps	1.053 ms	0	153062	0 %
3	30.1 Mbps	0.788 ms	0	153062	0 %
4	30 Mbps	2.441 ms	0	153062	0 %
5	30 Mbps	1.305 ms	6	153062	0.0039 %
平均	30.04	1.4414 ms	4	153062	

(二) 兩台 LTE 小細胞基站 eNB (使用相同頻段)

測試架構

與圖 6 -56 所示之相同架構下，我們設計將 LTE-Small Cell 的 EPC 用 iperf 持續傳送一分鐘，測試使用兩台手機 Iperf 同時測量兩台 eNB 的效能 (Throughput、Packet Loss Ratio、Jitter)，不同點在於 eNB 1、eNB 2 是設定相同的 2.36~2.38GHz，UE1、UE2 同時使用 iperf 測試不同的 MCS，將兩台基地台的 power 設定為 0，使兩台基地台涵蓋範圍重疊，因而造成同頻率之間的干擾，測試其干擾情況。

測試結果

如表 6-13~表 6-15 所示，我們是測試 Downlink (設定 MCS: tm3、Time : 60 s)，使用 Iperf 分別實際測試 5 次 eNB1 與 eNB2 在 QPSK、16QAM 與 64QAM 三種 Modulation 的 Bandwidth Capacity 做平均，由於在 64QAM 的時候 EPC 無法同時傳送 90Mbps 到到兩支手機端，因而希望不要造成擁擠的來源，所以將改為傳送 30Mbps，在 Lost packet 不會造成大量 Loss，以便於干擾比較。在 eNB1 測試 QPSK 在 UE 的 Throughput 是 19.02 Mbps，RSRP 在 -51~-52dBm，SNR 在 26~27dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 16QAM 在 UE 的 Throughput 是 37.1Mbps，RSRP 在 -51~-52dBm，SNR 在 27~28dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 64QAM 在 UE 的 Throughput 是 30Mbps，RSRP 在 -51~-52dBm，SNR 在 28~30dB，Packet Loss ratio 是 0.00858%。

表 6-16：eNB1 MCS Index：9 (QPSK)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth : 20MHz (PHY data rate =19Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:26~27dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	19.1 Mbps	1.179 ms	0	97088	0 %
2	19 Mbps	1.208 ms	0	97088	0 %
3	19 Mbps	0.962 ms	0	97088	0 %
4	19 Mbps	1.108 ms	0	97088	0 %
5	19 Mbps	1.458 ms	0	97088	0 %
平均	19.02	1.183 ms	0	97088	0 %

表 6 -17：eNB1 MCS Index：16 (16QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =37Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:27~28dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	37.1 Mbps	1.480 ms	0	189275	0 %
2	37.1 Mbps	0.545 ms	0	189275	0 %
3	37.1 Mbps	2.042 ms	0	189275	0 %
4	37.2 Mbps	0.666 ms	0	189275	0 %
5	37.1 Mbps	0.549 ms	0	189275	0 %
平均	37.1	1.0564 ms	0	189275	0 %

表 6 -18：eNB1 MCS Index：28 (64QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =30Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:28~30dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	30 Mbps	2.347 ms	6	153062	0.0039 %
2	30 Mbps	1.287 ms	20	153062	0.013 %
3	30 Mbps	1.272 ms	14	153062	0.0091 %
4	30 Mbps	2.023 ms	20	153062	0.013 %
5	30 Mbps	1.578 ms	6	153062	0.0039 %
平均	30	1.7014 ms	13.2	153062	0.00858 %

如表 6 -19～表 6 -21 所示，在 eNB2 測試 QPSK 在 UE 的 Throughput 是 19.06Mbps，RSRP 在-51~-52dBm，SNR 在 26~27dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 16QAM 在 UE 的 Throughput 是 37.14Mbps，RSRP 在-51~-52dBm，SNR 在 27~28dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 64QAM 在 UE 的 Throughput 是 30.04Mbps，RSRP 在-51~-52dBm，SNR 在 26~28dB，Packet Loss ratio 是 0.00274%，結論在兩支手機同時接收 64QAM 都會造成一些的 packet loss，可見在使用同頻段 eNB 比不同頻率 eNB 會干擾更大。

表 6 -19：eNB2 MCS Index：9 (QPSK)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =19.1Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:26~27dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	19.1 Mbps	1.981 ms	0	97088	0 %
2	19.1 Mbps	1.147 ms	0	97088	0 %
3	19.1 Mbps	1.027 ms	0	97088	0 %
4	19 Mbps	0.998 ms	0	97088	0 %
5	19 Mbps	0.986 ms	0	97088	0 %
平均	19.06	1.2278 ms	0	97088	0 %

表 6 -20：eNB2 MCS Index：16 (16QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =37.1Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:27~28dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	37.1 Mbps	0.551 ms	0	189275	0 %
2	37.2 Mbps	0.667 ms	0	189275	0 %
3	37.1 Mbps	0.647 ms	0	189275	0 %
4	37.2 Mbps	0.483 ms	0	189275	0 %
5	37.1 Mbps	1.255 ms	0	189275	0 %
平均	37.14	0.7206 ms	0	189275	0 %

表 6 -21：eNB2 MCS Index：28 (64QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate =30Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:26~28dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	30.1Mbps	1.520 ms	0	153062	0 %
2	30.1 Mbps	1.640 ms	7	153062	0.0046 %
3	30 Mbps	1.027 ms	0	153062	0 %
4	30 Mbps	1.030 ms	0	153062	0 %
5	30 Mbps	1.851 ms	14	153062	0.0091 %
平均	30.04	1.4136 ms	4.2	153062	0.00274 %

PoC6_實驗室環境中 LTE 小細胞站台與 WiFi 站台間的干擾量測與效能評估

在 LTE 使用者裝置(UE)與 WiFi 裝置共存的环境，當彼此使用相鄰頻段時，必須有適當的頻率分隔，以同時求取傳輸速率及頻譜使用效能。除距離、功率等因素外，研究顯示 LTE 與 WiFi 各自的接取規約特性，在相當的情境下，也會產生不必要的「感知誤會」，造成傳輸速率及頻譜使用效能顯著損失與不公平。本項進行評估 LTE 手機與 WiFi 裝置間頻段間隔、距離間隔與功率大小對干擾的影響，也提出未來評估傳輸速率、接取規約特性對共存時效能影響的初步規劃。

(一) WiFi(既有共享使用者)及 Small cell 在共存環境下之訊雜比(SINR)評估

在效能評估部分，針對 WiFi 與小細胞基站共存之議題，評估 SINR 指標，使用 USRP-2930 作為發射端設備，TX1 模擬 WiFi，發射功率為-19dBm，TX2 模擬 Small cell(當干擾源)，發射功率為-12dBm，兩者頻寬皆為 20MHz，接收端設備為頻譜分析儀。其量測環境我們選定台大明達館三樓半開放式的廣場，如圖 6 -57 所示。

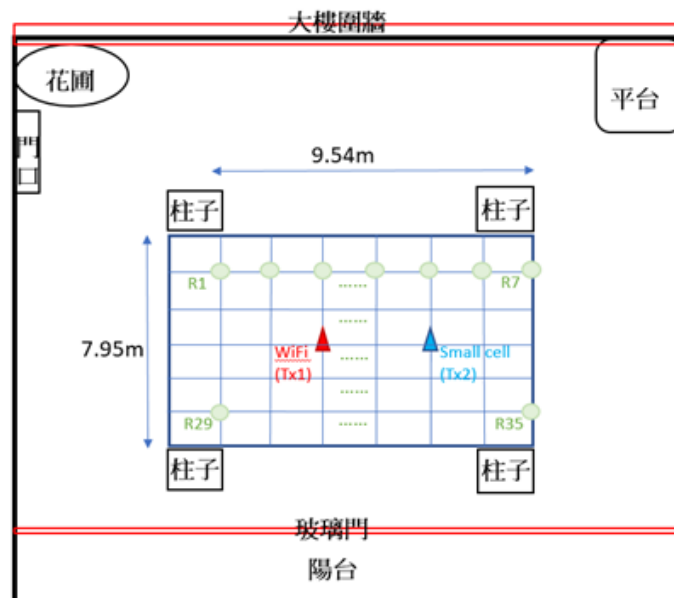


圖 6 -57：台大明達館三樓半開放式廣場

資料來源：本研究自行繪製

在廣場選取一塊約 76 平方公尺的區域來量測，將此區域平均切割為多個方形網格，並在網格交點處(R1…R35)分兩次量測，第一次接收 WiFi 訊號，第二次接收 Small cell 訊號。

蒐集量測數據，並在方形網格上的各接收點，模擬投擲一顆點數為(0,1)骰子，若結果為 1(p=1)，則發生碰撞;若結果為 0(p=0)，則沒有發生碰撞。

欲觀察 WiFi 與 Small cell 在共存環境之下，Small cell 對 WiFi 的效能影響，因此假設碰撞機率 P(Collision)為 10%到 50%，定義與發生碰撞情況之隨機變數為

$$P = \begin{cases} 0, & \text{without collision} \\ 1, & \text{with collision} \end{cases}$$

則訊雜比(SINR)為

$$\text{SINR} = \left\{ \frac{S_{\text{WiFi}}(\text{watt})}{S_{\text{LTE}}(\text{watt})} * P + \frac{S_{\text{WiFi}}(\text{watt})}{N(\text{watt})} * (1 - P) \right\}$$

Where,

N: Noise power + Noise figure

Noise power: $K * T * B = (1.38e-23) * (300^\circ\text{K}) * (20\text{MHZ}) = 8.28e-14\text{W/Hz} = -101\text{dBm/Hz}$

Noise figure : 3dB

設定模擬參數如下：

Parameter	Value
Wi-Fi Transmit Power (USRP2930)	-19dBm
Small cell Transmit Power (USRP2930)	-12dBm
Wi-Fi Bandwidth	20MHz
Small Cell Bandwidth	20MHz
P(collision)	10%~50%
Noise power	-101dBm
Noise Figure	3dB

量測及模擬結果，如下圖所示。

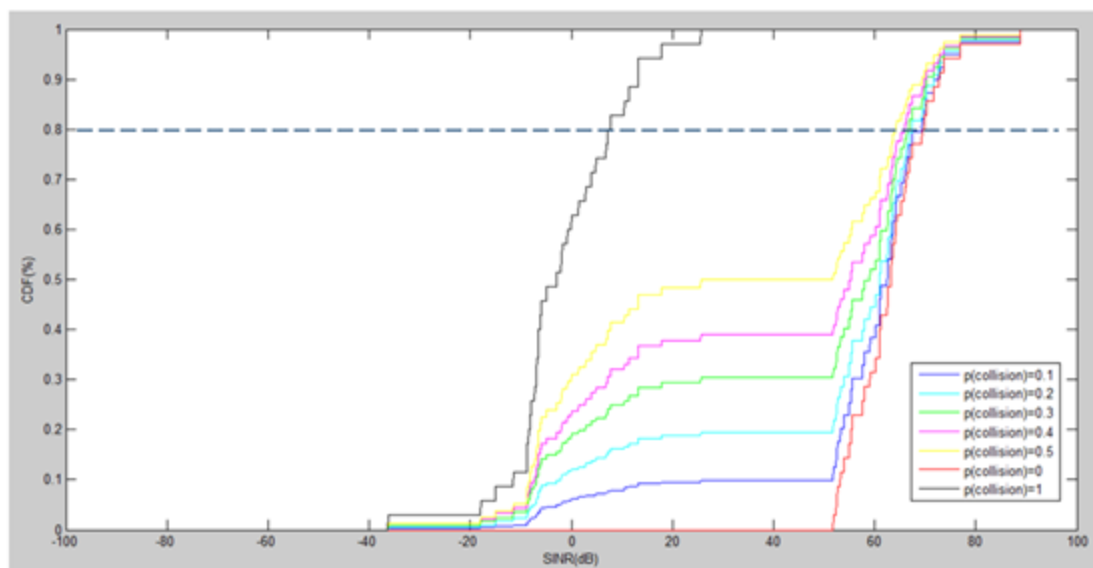


圖 6 -58：SINR 累積分布函數

資料來源：本研究自行繪製

由上述實驗結果，可觀察在不同的碰撞機率下，Small cell 對 WiFi 之效能影響，以 CDF 來表示，在設定條件下，干擾信號與訊雜比的累積分佈情況。比較在不同碰撞機率設定策略下，隨著碰撞機率增加時，累積分佈的 SINR 值在同一 CDF 值(80%)中逐一下降，最差情況(lower bound)為 100%發生碰撞[p(collision)=1]，最佳情況(upper bound)為無發生碰撞[p(collision)=0]。

接著利用 SINR 可進一步估算通道容量(Channel Capacity)，公式如下：

$$C = B \cdot \log_2(1 + SINR) \quad ; \text{ where } B \text{ is Bandwidth}$$

模擬結果如下圖。

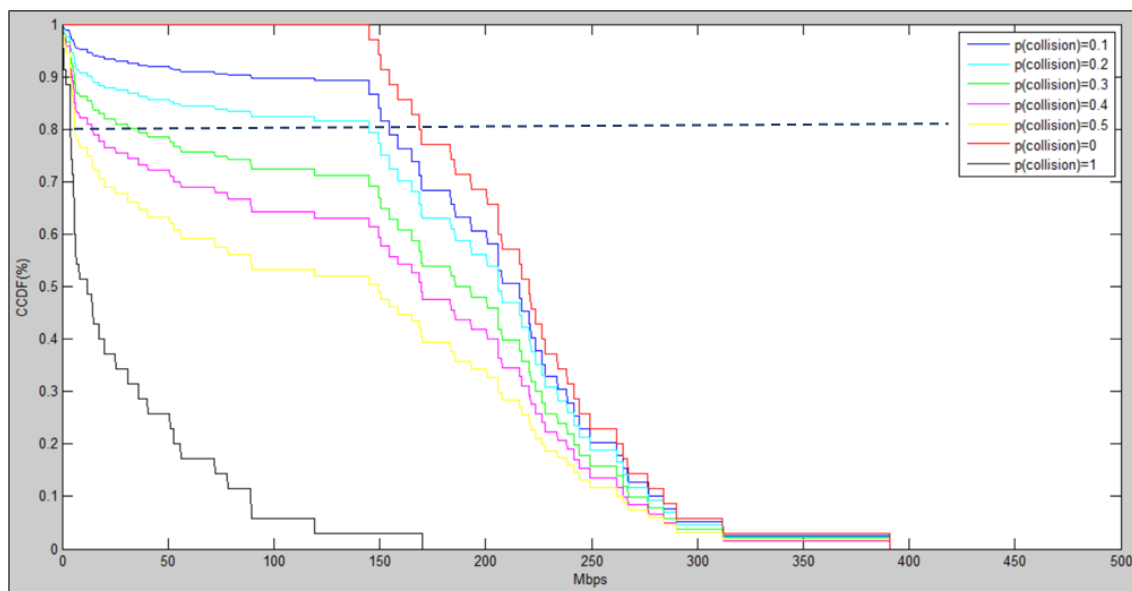


圖 6 -59：通道容量累積分佈函數

資料來源：本研究自行繪製

當 $P(\text{collision})=1$ 時，capacity 有 80%可達到 5Mbps(lower bound)

當 $P(\text{collision})=0$ 時，capacity 有 80%可達到 170Mbps(upper bound)

如下表所示。

P(collision)	Capacity (Mbps)
0%	170
10%	155
20%	145
30%	30
40%	10
50%	7
100%	5

因此，Wi-Fi 及 Small cell 在共存環境下，藉由 SINR 及 Capacity 之分析結果於實際環境中，做為基地台佈建之參考。

(二) LTE/LAA 與 WiFi 共存機制初步構想

既有使用者以及次級授權用戶的共存問題可藉由法規上給於既有使用者最排他的使用權，使得既有使用者可以在任何時間地點使用其所屬頻道，而次級授權用戶欲使用該頻道時，次級授權用戶必須根據 TVWS 資料庫，搭配即時偵測既有使用者的活動，以做出退讓。然而次級授權用戶與次級授權用戶的共存問題，尚未被定義於任何法規或標準，在不採用任何共存手法下而放任次級授權用戶使用空閒的頻帶，TDMA 機制的網路如 802.22 與 CSMA 機制的網路如 802.11af 將會發生三大類問題：

1. 碰撞

CSMA 機制的 802.11af 會在偵測完通道 IDLE 後才進行傳輸，而 TDMA 機制的 802.22 並不會在每次傳輸前先偵測通道，導致會發生同時傳輸而產生碰撞，碰撞的結果導致雙方無法正確解碼而造成吞吐量下降。



圖 6 -60：Collision 發生情境

資料來源：本研究自行繪製

2. Silent LBT

當 802.22 傳輸負載大的情況，因為不採用 LBT 的機制狀導致不斷佔用通道，使得採用 LBT 的 802.11af 沒有機會傳輸。

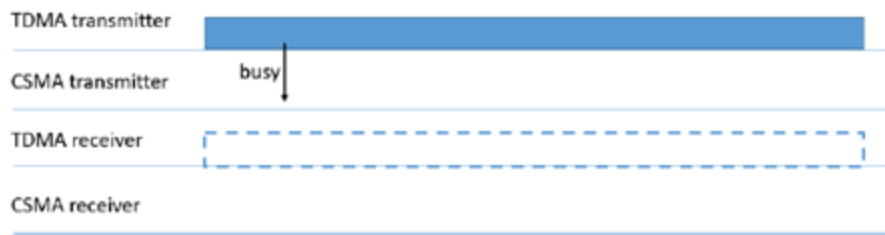


圖 6 -61：Silent LBT 發生情境

資料來源：本研究自行繪製

3. Unnecessary hopping

802.22 在每一段 superframe 會預留一段連續的 frame 作為偵測主要使用者用途。若此時 802.11 偵測到通道為 IDLE 而傳輸，會導致 802.22 認為主要使用者的出現而跳離目前使用的 channel。

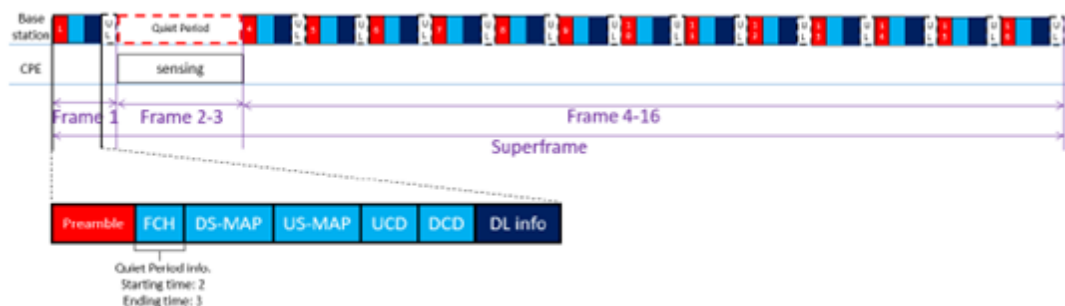


圖 6 -62：802.22 偵測主要使用者 superframe 架構

資料來源：本研究自行繪製

在 5.8 GHz 頻帶內是要求 LTE 網路採用 LBT 的機制，使其能與共頻帶的 WIFI 網路和平共存；然而並非所有次要網路都能以 retrofit 的方式增加 LBT 功能，也不是所有網路都能如 LTE 有另一主頻帶在 LBT 競爭失敗的情況下，仍然保持通訊。因此，如何在不需要更動各自網路的通訊協定架構下，並確保各異質網路都能保持通訊以及公平地使用網路，是頻譜共享的一個必須解決的問題。

在本計畫中，我們透過由 TDMA 系統傳送一個背靠背 Busy tone (短信標)，讓 WiFi 網路能夠根據 inter-frame spacing 的長度，偵測出異質 TDMA 系統的存在，進而以調整 transmission opportunity (TXOP) 長度的方式，讓兩個異質網路可以公平的使用空間頻帶，此設計的核心概念以及運作程序如下圖所示。

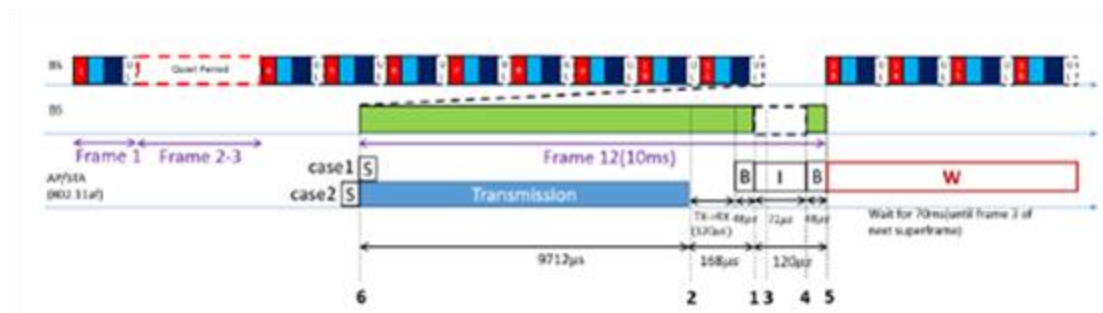


圖 6 -63：TDMA 與 CSMA 共存機制

資料來源：本研究自行繪製

(三) 一台 LTE 小細胞基站 eNB 與一台 WiFi 的干擾量測與效能分析

中山大學 MBN Lab 針對 LTE Small Cell 與 WiFi 在不同頻段時對 UE 的干擾測試，近期規劃在共享機制與 WiFi 共存效能部分進行著墨，使用 LWA(LTE-WLAN Aggregation)的測試模組，它可以在 LTE 頻寬不夠時，藉由 WiFi 可以有效借用足夠的 Capacity，測試模組是我們參考工研院的 LWA 架構圖，如圖 6 -64 所示。

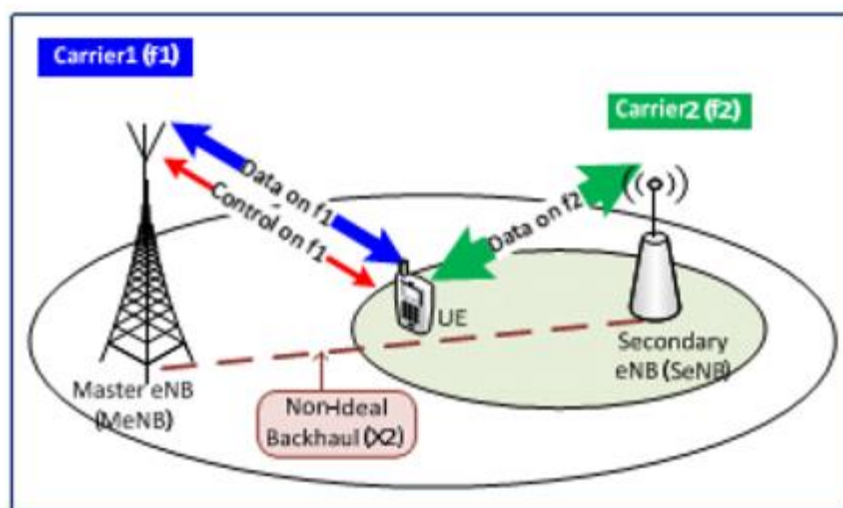


圖 6 -64：工研院的 LWA 架構圖

資料來源：本研究自行繪製

另外我們用 OAI 平台進行 LAA(Licensed Assisted Access)，使用 OAI 平台並更改 OAI 上 eNB 的頻率，讓 LTE 同時可使用 Licensed Band 與 Unlicensed Band，Licensed Band 的頻率為 2.6GHz，Unlicensed Band 為 2.4GHz 或 5.4GHz，我們讓 LTE 和 Wi-Fi 能夠共用 Unlicensed Band，如圖 6 -65 所示。

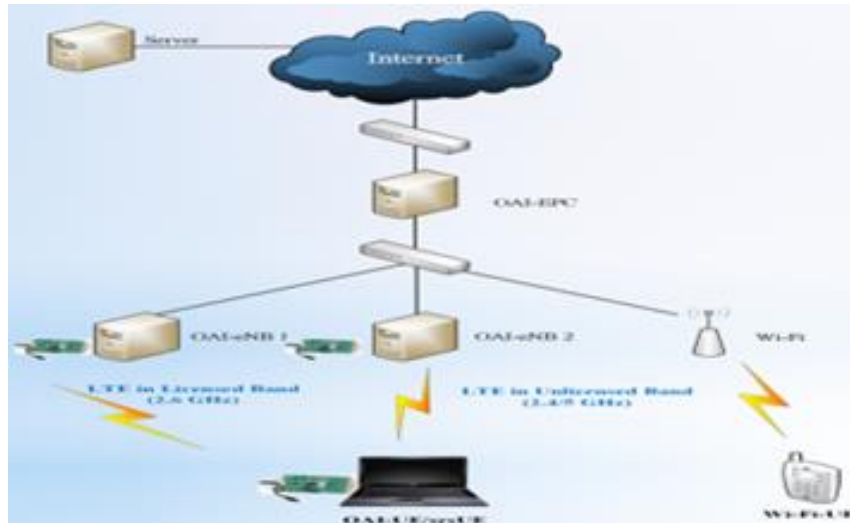


圖 6 -65：以 OAI 平台實作 LAA

資料來源：本研究自行繪製

測試架構

如下圖所示，使用頻率是 2.36~2.38GHz，將基地台的 power 設定為 0，在 LTE-Small Cell 的 EPC 用 iperf 持續傳送一分鐘，測試使用一台手機 Iperf 來測量一台 eNB 的效能(Throughput、Packet Loss Ratio、Jitter)，另一台手機連一台外部 WiFi(使用 2.4GHz) 播放一部 youtube 的影片。

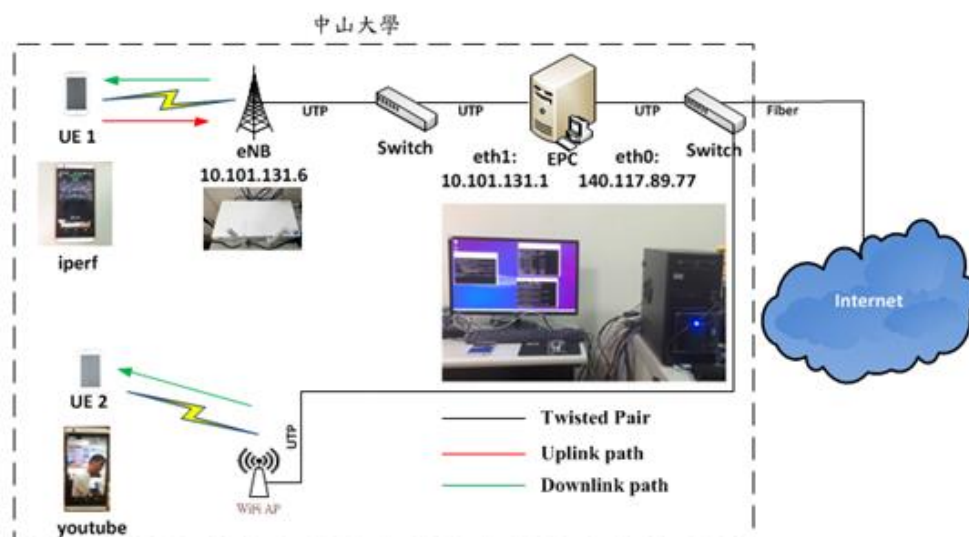


圖 6 -66：一台 LTE 小細胞基站 eNB 與一台 WiFi 的架構

資料來源：本研究自行繪製

測試結果

如表 6-22~表 6-24 所示，我們是測試 Downlink (設定 MCS: tm3、Time: 60 s)，使用 iperf 分別實際測試 5 次 eNB 在 QPSK、16QAM 與 64QAM 三種 Modulation 的 Bandwidth Capacity 做平均，測試 QPSK 在 UE 的 Throughput 是 19.08 Mbps，RSRP 在 -51~-52dBm，SNR 在 26~27dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 16QAM 在 UE 的 Throughput 是 37.16Mbps，RSRP 在 -52~-53dBm，SNR 在 27~28dB，Packet Loss ratio 是 0%，測試 64QAM 在 UE 的 Throughput 是 90.56Mbps，RSRP 在 -52~-53dBm，SNR 在 28~30dB，Packet Loss ratio 是 0.0366%。

總結，在使用不同頻段時，LTE 使用一如預期，LTE 與 WiFi 同時傳輸在手機端不會造成干擾。

表 6-22：MCS Index：9 (QPSK)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth：20MHz (PHY data rate=19.1Mbps)		RSRP: -51~-52dBm		SNR:26~27dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	19.1 Mbps	1.076 ms	0	97088	0 %
2	19.1 Mbps	0.931 ms	0	97088	0 %
3	19.1 Mbps	0.927 ms	0	97088	0 %
4	19 Mbps	1.703 ms	0	97088	0 %
5	19.1 Mbps	1.227 ms	0	97088	0 %
平均	19.08 Mbps	1.1728 ms	0	97088	0 %

表 6 -23 : MCS Index : 16 (16QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth : 20MHz (PHY data rate=37.1Mbps)		RSRP: -52~-53dBm		SNR:27~28dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	37.2 Mbps	0.419 ms	0	189275	0 %
2	37.2 Mbps	0.665 ms	0	189275	0 %
3	37.2 Mbps	1.920 ms	0	189275	0 %
4	37.1 Mbps	0.566 ms	0	189275	0 %
5	37.1 Mbps	0.522 ms	0	189275	0 %
平均	37.16 Mbps	0.184 ms	0	189275	0 %

表 6 -24 : MCS Index : 28 (64QAM)

eNB downlink HTC 826 手機					
Bandwidth : 20MHz (PHY data rate=90Mbps)		RSRP: -52~-53dBm		SNR:28~30dB	
iperf	Throughput	Jitter	Lost packet	Total packet	packet loss ratio
1	90.5 Mbps	0.217 ms	65	461538	0.014 %
2	90.4 Mbps	0.279 ms	196	461538	0.042 %
3	90.8 Mbps	0.335 ms	367	461538	0.08 %
4	90.5 Mbps	0.220 ms	103	461538	0.022 %
5	90.6 Mbps	0.192 ms	117	461538	0.025 %
平均	90.56 Mbps	0.2486 ms	169.6	461538	0.0366 %

第七章 研究成果綜整

第一節 研究成果

一、 國際頻譜共享法制歸納

(一) 電視頻段共享 (TVWS)

美國規劃 TVWS 頻譜共享機制，法規授權來自於 1934 年通訊法 (Communications Act of 1934) 第 301、303、306 條之規範，無線電頻率之使用需得到 FCC 許可；FCC 亦有責任與權力，針對干擾防止、無線電台位置、種類、營運資格、條件等制訂規範，並可考量公眾便利、公共利益與必要性前提，為新技術開發與實驗用途，規劃更有效率之頻譜使用。

在法規授權之下，FCC 制訂 TVWS 的使用規範於美國聯邦行政規則 47 C.F.R Part 15，以開放無線電設備 (Radio Frequency Devices) 規範之。其中電視頻段設備 (Television Band Devices, TVBDs) 共享之技術標準與規範為第 15.701~15.717 條閒置頻段設備 (White Space Device, WSD)，整體規範，包含：免執照原則、設備類型及功率限制、地理位置資料庫之要求及管理之責任。

英國無線電頻率管制規範為 2006 年無線電信法 Wireless Telegraphy Act 2006 (下稱 WT Act)，包含：頻譜使用規劃、執照管理、設備許可管理、干擾、禁止規範與相關罰則等。針對 TVWS 規範之授權則來自於 WT Act 第 8 條有關頻譜執照之授予與豁免，第 8 條 (3)、(4)、(5) 項授權 Ofcom 在考量無線電服務不會造成有害干擾之前提下，可制訂行政規則開放特定服務可以免執

照之方式利用頻譜資源。

Ofcom 依據上述授權制訂 The Wireless Telegraphy (White Space Devices) (Exemption) Regulations 2015 行政規則，此一規範以 TVWS 設備為主，並未涉及地理位置資料庫及管理者之規範。推測原因在於 Ofcom 於 2015 年 12 月才正式開放 TVWS 服務，之前雖有許多業者展開商業測試，但仍尚未正式開放。目前 Ofcom 亦正測試與審查資料庫業者之資格與技術，未來可能以與業者簽訂行政契約的方式進行管理。

新加坡無線電頻率之管理規範主要依據電信法第 33~35 條，非經主管機關許可，不得使用、販售、安裝維護無線電通信設備。新加坡 TVWS 共享機制由 3 個環節構成，首先是頻譜共享之使用與管理，主管機關 IDA 依據法律制訂了豁免規則 Telecommunications (Exemption from Sections 33, 34 (1) (b) and 35) (Amendment No. 2) Notification 2014，使 TVBDs 之設備可使用相對應之電視頻段；另外 TVBDs 必須經過一般設備登記 (General Equipment Registration, GER) 計畫審驗通過並登記。第 2 個環節是針對地理位置資料庫管理者，IDA 決定資料庫管理者必須依據新加坡電信法申請以服務為基礎之業者許可 (Services-Based Operator, SBO)。最後是頻譜共享管理架構，IDA 在 2014 年 11 月發布了管制架構，具體規定頻譜使用條件、頻段規劃、禁止有害干擾等，正式開放 TVWS 之使用。

(二) 歐盟 LSA

歐盟由於其地位之特殊性，故法制規範與其他國家不同，其主要權源來自於歐盟執委會，有關無線電頻率技術標準及管理規範，則由歐洲郵電管理會議 (Conference of European Postal and Telecommunications Administration, CEPT)

下屬之歐洲電信標準協會（European Telecommunications Standards Institute，ETSI）負責。ETSI 依據歐盟執委會 2012 年針對可重構無線電系統（Reconfigurable Radio System，RRS）之標準化授權（EC M/512）的要求，進行 LSA 頻譜共享機制的標準化研究。CEPT 則就頻譜監管變革等議題進行研析，以利相關系統早日進入市場實現商業化應用。

使用及管理規範部分，則由電子通訊委員會（Electronic Communications Committee，ECC）提出建議。監理機關可根據既有使用者的頻譜使用模式，訂定合適的共享框架及釋照相關規則。共享使用者需遵循執照規則，自監理機關取得 LSA 頻譜執照後，在確保既有使用者不受有害干擾的使用條件下共享頻譜資源。

LSA 頻譜共享機制之核心為 LSA Repository 和 LSA Controller 兩個角色。LSA Repository 面對既有使用者，收集既有使用者頻譜使用情形、功率與位置之共享頻譜資訊，並可配合主管機關之政策指示；共享使用者利用 LSA Controller 自 LSA Repository 取得頻譜使用許可條件，再依其可用性調整行動接取網路的頻段配置；在服務許可部分，LSA 之管理應以授予獨立使用權之方式為之。整體而言，歐盟為歐洲會員國組成，其本身並無制訂統一的頻譜管制規範，ETSI 負責標準制訂、ECC 負責政策規範建議，目前尚無歐盟會員國落實前述要求，制訂本國之共享架構規範。

（三）美國 CBRS

美國 CBRS 係採用 3 層級頻譜共享架構、建立於 3.5 GHz、採用頻譜接取系統（SAS）作為共享管理核心、並能與後續規劃廣泛布建的環境感測能力（ESC）進行整合，以縮小頻譜共享禁制區的範圍，加強頻譜共享可用性。CBRS

的授權法源為美國 1934 年通訊法第 307 條、309 條，分別為授權 FCC 建立頻譜使用執照之規範，FCC 並依此制訂 47 C.F.R Part 96 以下之公民無線寬頻服務（CBRS）行政規則，歸類於美國聯邦行政規則 Title 47 電信規則（Telecommunications）下之安全與特殊無線電服務（Safety and Social Radio Services）。

相較於電視頻段共享被歸類為低功率設備，CBRS 在美國屬於新類別的無線寬頻服務。其共享使用者有 2 個類型，分別為優先接取執照（PAL）與一般接取許可（GAA）。PAL 將與一般商業執照相同，採競標拍賣釋出；而 GAA 之一般許可雖無須如商業執照以競拍程序取得，但與免執照有別，須依 CBRS 之行政規則向 FCC 申請許可（License-by-Rules），依據 FCC 之規劃，這一項許可之申請與通過，將透過 SAS 系統進行處理。

（四）各國法制總結

在頻譜利用之法制規範上，由於美國、歐盟及英國等國家將頻譜資源以獨立使用權釋出；因此，能夠以頻譜為管理核心制訂行政規則加以開放。

本研究歸納各式頻譜共享機制，依據其頻譜規劃與法規授權，大致可分為免執照與需執照兩類。TVWS 之頻譜使用為免執照，其使用管理屬於設備管理，性質相似於我國低功率設頻器材管理，美國、英國及新加坡之電信法規，均有相對之法源依據，且均已行政規則形式發布頻譜共享使用辦法。

歐盟 LSA 尚未被歐盟會員國加以落實，但由 ECC 之建議文件可知，歐盟之電子通訊管制指令之足以作為許可基礎，歐盟會員國依據 ECC 之建議原則制訂共享架構規範，便可開放 LSA 機制。美國 CBRS 則依據電信法之授權，被視為新型態的無線寬頻服務，換言之，CBRS 是一個新的寬頻業務，擁有完

整的執照規範、頻譜範圍與技術規範等。

二、 國際頻譜共享機制相關頻段分析

針對各國已建立頻譜共享機制所納入規劃之頻段，在 TVWS 部分可歸納為 470～790MHz，歐盟 LSA 機制規劃 2.3GHz，美國 CBRS 則規劃 3.5 GHz（3550～3700MHz）。

TVWS 機制的 470～790MHz，其中 700MHz（694～790MHz）部分在我國已將重整完成，採 3GPP LTE Band 28 釋出為行動寬頻業務。另一區塊 500～700MHz（470～698MHz）在我國的狀況，目前 530～608MHz 部分規劃為無線數位電視服務，部分則保留尚未釋出。由於我國無線數位電視採單頻網配置，因此保留頻段的意義與美國、英國採複頻網配置有所不同，但仍保留導入 TVWS 之可能性。608～698MHz 的部分則無規劃，但仍有既設電台使用中，目前計畫在限制範圍區域內可供作實驗用途。

LSA 機制的 2.3GHz，我國與英國發展類似，交通部曾規劃將 2355～2390MHz 部分以 TDD Band 40 釋出為行動寬頻業務；而 2300～2350MHz 在我國則有專用電信使用，短期內無法如歐盟規劃以共享機制釋出，但可規劃將該頻段部份頻率提供限制區域範圍之實驗用途。

CBRS 機制的 3.4～3.8GHz，我國將 3.4～3.6GHz 規劃為行動寬頻候選頻段，3.6～3.8GHz 則尚無規劃。3.4～3.8GHz 頻段在我國仍為專用電信使用，且以衛星通訊為主，短期內可能不易清頻與重整，故建議可調查既有專用電信之使用狀況，研析是否具有頻譜共享之機會，以決定是否可以共享釋出。其次，依據 3GPP 室內 LTE 技術（LTE-Hi）之發展傾向以及本計畫邀集專家座談會之意見，由於 3.4～3.6GHz 存在既有使用者，即使無法移頻，亦可先行規劃做為室內用途以及限制區域之實驗頻譜之用。

三、 共享頻率管理規則草案之擬定

在我國頻譜共享機制之法制建構部分，期中報告中已初步擬出有關我國頻譜共享機制運作之管理辦法通則。而在本計畫時程內，為盡可能完善目前頻譜共享機制管理辦法之通則規範，於期中報告審查之後，研究團隊首先依據審查委員之意見進行頻譜共享管理辦法之第一次修訂，並以此期中審查後修訂之版本為基礎，邀請相關頻譜法制學者專家，組成管理辦法修訂小組，請專家小組成員針對此版本進行第二次修訂作業，經由專家小組之審視以及與主管機關之討論，調修管理規則草案。

考量我國並無運作頻譜共享機制之前例，並兼顧未來促進新興頻譜技術發展之目的，我國共享頻率管理規則草案設計為三層架構之許可制，依據「共享頻率核配許可」之優先權，在共享使用者部分區分為二層級。在干擾處理議題上，則由共享頻率資料庫先行處理頻率共享機制中所產生的干擾狀況，若有無法處理之狀況時，則通知主管機關處理。調修完成之共享管理規則草案請參閱第四章第四節。

本次頻率共享管理規則草案係先針對使用者、頻率分配原則、共享頻率資料庫以及設備等事項進行規範，但尚無具體頻段之規劃。未來則需視主管機關開放特定頻段以及規劃共享使用者開放範圍之進程，再依據後續需求進行規範增定。

為了完善各開放頻段的技術規範，必須針對特定頻段進行既有使用者之特性調查，以便規劃既有使用者之保護措施，並以共享頻率資料庫加以管理頻率之使用。

四、 優化資料庫運作參數提升頻譜使用效率

現今各國使用的「執照式」頻譜管理策略，其優點為較佳的干擾控制，因為具執照的使用者理論上不會受未具執照的使用者干擾。另一方面，其缺點為較差的頻譜使用效率，因為具執照的使用者並非隨時隨處都在使用該頻段，而在其未使用的時間與地點，該頻段亦無法供其餘使用者運用，而成為頻譜的閒置與浪費。有鑑於

此，動態頻譜共享的概念被提出以改善上述「頻譜浪費」的情況。在動態頻譜共享的概念中，未具執照的使用者可在頻譜閒置期間與地點，使用該頻段而不對具執照使用者造成干擾。此概念可大幅提升頻譜的使用率，因此，各國近年均積極發展相關研究。

綜觀各國研究，欲實現動態頻譜共享，干擾控制為其中關鍵之議題，亦即，未具執照或經許可的共享用戶必須在對原有用戶產生最低限度的干擾下使用該頻段，因此，各頻段於何時何處的使用狀態成為一項重要資訊。一般而言，此資訊可藉由用戶回報或電波監測站之量測而取得，並存於頻譜地理位置資料庫。

綜合以上所述，發展適用於我國之電波監測系統搭配頻譜地理位置資料庫的運作機制，將使我國得以實現動態頻譜共享，進而優化我國之頻譜規劃，以提升我國無線通訊領域之國際競爭力。

本研究認為，欲設計電波監測系統搭配頻譜地理位置資料庫之可行運作機制，以達成頻譜共享，建議將下列技術議題之探討納入後續研究：

- 頻譜地理位置資料庫需儲存之參數。
- 頻譜共享地理資料庫需提供之服務。
- 頻譜共享機制與應用於參數優化系統之演算法。

五、 使用頻譜共享實驗平臺進行概念性驗證

本研究成功整合電信技術中心 (TTC)、台大電信工程研究所之動態頻譜接取實驗室 (DSA Lab) 與中山大學之行動寬頻網路實驗室 (MBN Lab) 三者間的基礎，成為 ViSSA 頻譜共享接取實驗平臺 (Virtual Lab of Shared Spectrum Access)。工作項目五「規劃與建置頻譜共享實驗平臺進行概念性驗證」的兩大項成果如下：

➤ LSA 模式頻譜共享之研析與使用 ViSSA 平臺完成概念性驗證

1. 研析芬蘭與義大利的 LSA 先導試驗案例，特別著重了解 ETSI TS 103 379 v1.1.1 中個別網路管理端的 LSA 控制器和監理端頻譜資料庫介面規範 LSA1，並選擇部分規範落實於 ViSSA 實驗平臺整合介面參考實作。
2. 以 ViSSA 實驗平臺為基礎，具體設計情境與測試場域，來模擬需執照頻段 LSA 頻譜共享實驗網路，進行包括以資料庫引導 (Database guided) 及感測為基礎 (Sensing-based) 的次級授權用戶清空與移頻使用概念性驗證 (Proof of concept, PoC)。
3. 於 2017 年 9 月 15 日「數位匯流下之頻譜新管理論壇」，於 ViSSA 實驗平臺增加工研院 Athena SON，實際展示對學術實驗室等級及商務等級三個行動網路營運商 (MNO) 施行頻譜共享接取觀念與協調運作系統機制。
4. MBN 與 DSA 學術實驗室分別以 ViSSA 實驗平臺進行 LSA 頻譜共享實驗情境之端到端時延評估，結果顯示從既有使用者要求使用其頻譜，到次級共享者繳回頻譜使用權之完整過程，絕大多數可於 70 秒內完成，與 2014 年的芬蘭 CORE+商務等級 LSA 試驗系統時延水準尚可參照。

➤ 同、異質無線網路於頻譜共享情境下共存之干擾評估

1. 實驗室環境中 LTE 小細胞基站及與既有使用者間的干擾量測與效能評估：於 DSA Lab 對 DVB-T (既有使用者) 訊號進行路徑損失 (Path Loss) 與衰減 (Fading) 量測。量測值符合文獻中參考模型 $A + B \log_{10}(d)$ 型態，惟實驗室為一個具有多重路徑及遮蔽效應之傳播環境，衰減 (Fading) 呈現 log-normal 分佈，其標準差為 4.839dB，相較於文獻中郊區之 9.3dB 為低。本量測分析將可作為干擾評估的基礎。
2. 實驗室環境中 LTE 小細胞站台間的干擾量測與效能評估：使用相同頻段

20MHz 頻寬，以兩台手機 iperf 同時測量在三種調變下兩台 eNB 下載鏈結的效能，傳輸速率幾乎都達各調變下的額定值，封包遺失率除在 64QAM 調變下有 0.004~0.015%外皆為 0，抖動(Jitter) 皆為 1.5 ms 以下。

3. 實驗室環境中 LTE 小細胞站台與 WiFi 站台間的干擾量測與效能評估:

- (1) 使用不同頻段: LTE 頻率 2.36~2.38GHz，WiFi 使用 2.4GHz，一如預期，LTE 與 WiFi 同時傳輸，在手機端不會造成干擾;
- (2) 於半開放式空間各格點量測所接收 WiFi(既有共享使用者)及 Small cell 訊號，加以不同碰撞機率模擬 WiFi 與 Small cell 同時接取所產生的干擾，來估計 WiFi 接收的訊雜比(SINR)。這兩部分量測與模擬結果，接著利用 SINR 對通道容量(Channel Capacity) 的影響估算公式，作為干擾與效能評估的基礎。
- (3) 依對 LAA 技術、系統及 3GPP 所訂與 WiFi 共存規約研析，分別在中山大學與台大規劃設計使用軟體無線電 USRP 及 OAI 模擬等，可作為未來 LAA 與 WiFi 公平友善共存的進階實驗與干擾量測場景之基礎。

本年度所完成工作尚包括交付概念性驗證結果報告書(詳本報告第六章)及實驗平臺使用說明書(詳本報告附錄肆至附錄捌);根據研究團隊所蒐集之資料、完成之分析、及實作所累積之經驗，初步建立了未來進一步掌握頻譜共享運作機制、可行性驗證、效能評估，以及協助主管機關研訂相關監理政策及技術規範的基礎。

第二節 頻譜共享機制之基本架構規範及未來實施共享機制之準備

我國如欲建立頻譜共享機制，首要問題在於電信法之授權不足，參酌我國目前匯流相關法制議題之討論，新匯流法制已注意到此一議題，故在既有之修法討論中，已納入頻譜共享機制之法規授權；然而若維持既有電信法架構，則需修訂電信法增加授權條款。目前我國電信管理法第 57 條已訂定授權條款可作為建立共享機制之基礎，目前草案已進入立法院審議，研究團隊也將持續關注後續立法進度。

在授權條款完備之後，則必須由主管機關擬定頻譜共享管理辦法，研究團隊已提出基本架構規範建議（參閱第四章第四節），內容包含頻譜執照規劃、既有使用者保護原則、共享使用者的管理、共享機制之運作技術規範與管理原則、地理資料庫之管理與技術規範、干擾處理以及設備技術規範等。

而後，在共享機制之後續政策準備上，本研究亦於第四章第二節建議包括：需建立頻譜/地理位置資料庫，並選任專業第三方加以管理營運；其次，共享機制之開放應分階段，由電信業者再至新興技術服務業者；再者，需建立干擾即時處理機制，以妥善保護既有使用者之權益；最後則是相關技術規範之測試與完善。

參考文獻

- [1] [3GP16] 3GPP, “Way Forward on LAA coexistence testing,” TSG-RAN WG4 Meeting R4-164971, 2016.
- [2] [ALJ17] Andra M. Voicu, Ljiljana Simic’ , J. Pierre de Vries, Marina Petrova, Petri Mähönen, “Analysing WiFi/LTE Coexistence to Demonstrate the Value of Risk-Informed Interference Assessment” available at <http://ieeexplore.ieee.org/document/7920781/>
- [3] [CCT17] S.-C. Chang, C.-T. Chou, Z.-H. Tsai, I.-H. Wang, Y.-C. Chan, D.-B. Lin, H.-J. Su, P. Lin, S.-D. Lin, S.-W. Wei, C.-Y. Lu, C.-T. Wu, S.-C. Zhan, L.-Y. Ma, J.-Y. Fang, H.-C. Su. “EXPOLSA 2.0: Demo and Experiment Platform for Dynamic Spectrum Sharing and Access Research,” Proceedings of NST-ITCOM 2017, January, 2017, Nantou, Taiwan.
- [4] [CCW15] Chang Chih Peng, Chen Chih Yu, Wang Yen Chung, Chiang Liang Chung, “The introduce of LTE-U and LAA” ; available at http://www.ttc.org.tw/userfiles/file/20151104/20151104090423_39805.pdf
- [5] [CRT17] Cognitive Radio Trial Environment (CORE++); available at <http://core.willab.fi/>
- [6] [CSA16] Eugene Chai, Karthik Sundaresan, Mohammad A. Khojastepour, Sampath Rangarajan”LTE in unlicensed spectrum: are we there yet?”; available at <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2973781>
- [7] [Eri15] Ericsson, “LTE License Assisted Access,” 2015; available at https://www.ericsson.com/ourportfolio/networks-products/license-assisted-access?nav=fgb_101_0561%7Cfgb_101_0517%7Cfgb_101_0822
- [8] [ETS17] ETSI “Reconfigurable Radio Systems (RRS); Information elements and protocols for the interface between LSA Controller (LC) and LSA Repository (LR) for operation of Licensed Shared Access (LSA) in the 2 300 MHz - 2 400 MHz band,” TS 103 379 v1.1.1, Jan. 2017.
- [9] [Gol05] A. Goldsmith, Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005.
- [10] [KIS15] Akira Kishida, Yasuhiko Inoe, Shoko Shinohara, Hiroto Yasuda, Koichi Ishihara, Yaushi Takatori, Yusuke Asai, Akira Yamada, Yuichi Morioka, “Discussions on the Definition of CCA Threshold” ; available at <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/15/11-15-0338-00-00ax-discussions-on-the-definition-of-cca-threshold.pptx>

- [11] [KJB16] Hwan-Joon (Eddy) Kwon, Jeongho Jeon, Abhijeet Bhorkar, and Qiaoyang Ye, Hiroki Harada, Yu Jiang, Liu Liu, and Satoshi Nagata, Boon Loong Ng, Thomas Novlan, Jinyoung Oh, and Wang Yi, "Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum in LTE Release 13," IEEE Communications Magazine, Volume: 55, Issue: 2, February 2017. available at <http://ieeexplore.ieee.org/document/7782659/>
- [12] [Mar14] Palolo, Marko et al., "Licensed shared access (LSA) trial demonstration using real LTE network," 9th International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CROWNCOM), 2014.
- [13] [MB16] Maddalena Nurchis, Boris Bellalta "Performance Evaluation of LAA-LTE and WiFi Coexistence in Unlicensed 5 GHz Band Under Asymmetric Network Deployments Using NS3"2016; available at https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-51376-8_7
- [14] [MiS16] MiSe, Italian LSA pilot trail; available at: <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/en/component/content/article?id=2033578:progetto-lsa>
- [15] [SWL08] Sun Kun, Wang Ping , Li Yingze,"Path loss models for suburban scenario at 2.3GHz, 2.6GHz and 3.5GHz," Shanghai Institute of Micro-system and Information Technology, CAS Shanghai, China, 2008.
- [16] [Vel16] Antonio Vellucci, The Italian Pilot on the Licensed Shared Access in the 2.3-2.4 GHz band, "The shared access to spectrum based on Licensed Shared Access", LSA Workshop Rome 23rd September 2016.
- [17] [Qua16] Qualcomm, "Progress on LAA and its relationship to LTE-U and MulteFire™," Feb, 2016; available at <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/laa-webinar-feb-2016.pdf>
- [18] [YAM15] S.Yrjölä, P. Ahokangas, and M. Matinmikko. "Evaluation of recent spectrum sharing concepts from business model scalability point of view," Proceedings of 2015 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), Stockholm, Septt. 29 - Oct.2, 2015.
- [19] [YrM17] S. Yrjölä, C. Markwart, "Spectrum Sharing and SAS from the European perspective," IEEE DySPAN 2017 Tutorial: Spectrum Access Systems, Monday, March 6th, 2017.
- [20] [YXC15]Yen Jia-bang, Xie Jia-Wen, Chen Zhi-Xuan " 3GPP RAN1 #82bis" ; available at <http://std-share.itri.org.tw/report/More?ClassID=1&id=320>
- [21] [ZCC17] S.-C. Zhan, S.-C. Chang, C.-T. Chou, Z.-H. Tsai. "Spectrum Sharing Auction Platform for Short-term Licensed Shared Access" Proceedings of Wireless Days 2017, March, 2017, Porto, Portugal.

- [22] “Ericsson and Federated Wireless Complete Testing to Further Drive Shared Spectrum Market Momentum”, available at <http://www.businesswire.com/news/home/20170224005123/en/Ericsson-Federated-Wireless-Complete-Testing-Drive-Shared>
- [23] “Google, Nokia & Qualcomm Racing Towards 3.5 GHz”, available at [http://www.lightreading.com/mobile/spectrum/google-nokia-and-qualcomm-racing-towards-35 GHz/d/d-id/730124](http://www.lightreading.com/mobile/spectrum/google-nokia-and-qualcomm-racing-towards-35-GHz/d/d-id/730124)
- [24] 3GPP, TR36.889 - Feasibility Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum, , 2015, available at http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/36_series/36.889/
- [25] CEPT, ECC Decision(14)02 - Harmonised technical and regulatory conditions for the use of the band 2300-2400 MHz for Mobile / Fixed Communications Networks (MFCN), 2014.
- [26] CEPT, ECC Recommendation(14)04 - Cross-border coordination for MFCN and between MFCN and other systems in the frequency band 2300-2400 MHz, 2014.
- [27] CEPT, ECC Report 205 on LSA, 2014, available at <http://www.erdocdb.dk/doks/doccategoryECC.aspx?doccatid=4>
- [28] Digital Europe, Position Paper on LSA Common Understanding Status and Next Steps, 2013, available at http://www.digitaleurope.org/Document-Download/Command/Core_Download/EntryId/519
- [29] EC, Mandate to CEPT to develop harmonised technical conditions for the 2300-2400 MHz ('2.3 GHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband electronic communications services, 2014, available at <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/radio-spectrum-cept-mandates-0>
- [30] EC, Standardisation mandate to CEN, CENELEC and ETSI for Reconfigurable Radio System, 2012, available at <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates//index.cfm?fuseaction=search.detail&id=574>
- [31] ECC WG FM, FM 52 on 2300-2400 MHz band, available at <https://www.cept.org/ecc/groups/ecc/closed-groups/fm-52/client/introduction/>
- [32] ECC WG FM, FM 53 - RRS and LSA, available at <https://www.cept.org/ecc/groups/ecc/closed-groups/fm-53/client/introduction/>
- [33] ETSI TR 103 113 V1.1.1, 2013.
- [34] ETSI TS 103 154 V1.1.1, 2014.
- [35] ETSI TS 103 235 V1.1.1, 2015.
- [36] ETSI TS 103 379 V1.1.1, 2017.

- [37] ETSI, 5 GHz RLAN; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU, available at https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report_WorkItem.asp?wki_id=46061 (最後瀏覽日：2015/10/01)
- [38] ETSI, Radio and telecommunications terminal equipment (RTTE), 2014, available at http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/rtte/index_en.htm (最後瀏覽日：2017/06/01)
- [39] EU, Promoting the shared use of radio spectrum resources in the EU, 2012, available at <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/promoting-shared-use-europes-radio-spectrum>
- [40] FCC, 47 C.F.R, Part.15 “Radio Frequency Devices”
- [41] FCC, 47 CFR Part 96: Citizens Broadband Radio Service, available at <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=f98b1d7f3e3f6473db0adbb7d891f1a1&mc=true&node=pt47.5.96&rgn=d>
[iv5](https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=f98b1d7f3e3f6473db0adbb7d891f1a1&mc=true&node=pt47.5.96&rgn=d)
- [42] FCC, Enabling Innovative Small Cell Use In 3.5 GHz Band NPRM & Order, FCC 12-148, 2012, available at <https://www.fcc.gov/document/enabling-innovative-small-cell-use-35-ghz-band-nprm-order>
- [43] FCC, FCC Releases Rules for Innovative Spectrum Sharing in 3.5 GHz Band, FCC 15-47, 2015, available at <https://www.fcc.gov/document/fcc-releases-rules-innovative-spectrum-sharing-35-ghz-band>
- [44] FCC, Second Memorandum Opinion and Order, FCC 10-174, 2010, available at http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-10-174A1.pdf, at para. 97-100 (last visited Sep 22, 2014)
- [45] FCC, Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order, FCC 08-260, 2008, available at http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-08-260A1.pdf (last visited Sep 22, 2014)
- [46] FCC, Wireless Telecommunications Bureau and Office of Engineering and Technology announce methodology for determining the protected contours for grandfathered 3650-3700MHz band licensees, 2016, available at https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-16-946A1.pdf
- [47] FCC, Wireless Telecommunications Bureau and Office of Engineering and Technology conditionally approve seven spectrum access system administrators for the 3.5 GHz band, available at https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-16-1426A1.pdf

- [48] FCC, Wireless Telecommunications Bureau and Office of Engineering and Technology Establish "Second Wave" Deadline for Proposals from Prospective Spectrum Access System (SAS) Administrator(s) and Environmental Sensing Capability (ESC) Operator(s) Opens a New Window, available at https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-17-339A1.pdf
- [49] FCC, Wireless Telecommunications Bureau and Office of Engineering and Technology Establish procedure and deadline for filling Spectrum Access System (SAS) Administrator(s) and Environmental Sensing Capability (ESC) Operator (s) Applications, available at https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-15-1426A1.pdf
- [50] GSA, Status of the LTE Ecosystem, 2017, available at <https://gsacom.com/paper/lte-user-devices-ecosystem-7847-devices-announced/>
- [51] GSMA, GSMA Mobile Economy 2015, 2015, available at http://gsmamobileeconomy.com/global/GSMA_Global_Mobile_Economy_Report_2015.pdf (最後瀏覽日：2015/10/01)
- [52] GSMA, The Impact of Licensed Shared Use of Spectrum, 2014, available at <https://www.gsma.com/gsmaeurope/gsma-europe-blog/the-impacts-of-licensed-shared-use-of-spectrum/>
- [53] Intel, Spectrum Sharing: Licensed Shared Access (LSA) and Spectrum Access System (SAS), 2015, available at <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/spectrum-sharing-lsa-sas-paper.pdf>
- [54] Italian Ministry of Economic Development, Licensed Shared Access (LSA) Pilot, available at <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/en/2014-06-27-15-06-15/2033594>
- [55] NICT, Wireless communication in TV white space succeeded, available at: <https://www.nict.go.jp/en/press/2012/06/07en-1.html> (最後瀏覽日期：2017 年 2 月 10 日)
- [56] NTIA, An Assessment of the Near-Term Viability of Accommodating Wireless Broadband Systems in the 1675-1710 MHz, 1755-1780 MHz, 3500-3650 MHz, and 4200-4220 MHz, 4380-4400 MHz Bands (President's Spectrum Plan Report), 2010, available at <https://www.ntia.doc.gov/report/2010/assessment-near-term-viability-accommodating-wireless-broadband-systems-1675-1710-mhz-17>
- [57] Ofcom, A framework for spectrum sharing, 2015, available at <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-2/spectrum-sharing-framework>

- [58] Ofcom, The future role of spectrum sharing for mobile and wireless data services, 2013, available at <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/spectrum-sharing>
- [59] Ofcom, The Wireless Telegraphy (White Space Devices) (Exemption) Regulations 2015, 2015, available at <http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2015/2066/contents/made>
- [60] Ofcom, TV White Space Databases, available at <https://www.ofcom.org.uk/spectrum/spectrum-management/TV-white-space-databases>
- [61] Ofcom, TV white spaces: approach to coexistence, 2015, available at <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/white-space-coexistence>
- [62] Plum, The economic benefits of LSA in 2.3 GHz in Europe, 2013, available at <http://plumconsulting.co.uk/economic-benefits-lsa-23-ghz-europe/>
- [63] Qualcomm, Making the Best Use of Unlicensed Spectrum, 2015, available at <https://www.qualcomm.com/documents/making-best-use-unlicensed-spectrum-presentation> (最後瀏覽日：2017/06/01)
- [64] Qualcomm, The 1000X challenge, available at: <https://www.qualcomm.com/invention/1000x> (最後瀏覽日：2015/10/01)
- [65] RSPG, Report on collective use of spectrum and other sharing Approaches, 2013, http://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/rspg11_392_report_CUS_other_approaches_final.pdf
- [66] RSPG, RSPG Opinion in Licensed Shared Access, 2013, available at <http://rspg-spectrum.eu/rspg-opinions-main-deliverables/>
- [67] UK DCMS, Enabling UK Growth: Releasing Public Sector Spectrum, 2011, available at <https://www.gov.uk/government/publications/enabling-uk-growth-releasing-public-sector-spectrum-march-2011>
- [68] UK DCMS, The UK Spectrum Strategy, 2014, available at <https://www.gov.uk/government/publications/spectrum-strategy>
- [69] 王彥中, 歐盟 LSA (Licensed Shared Access) 頻譜共享政策規劃與應用發展, NCC News 第 9 卷 第 6 期, 2015.
- [70] 交通部, 頻率供應計畫, 2015, available at https://www.motc.gov.tw/post/home.jsp?id=517&parentpath=0,272&mcustomize=onemessage_view.jsp&dataserno=201512100001&aplistdn=ou=ppubinfo,ou=post,ou=ap_root,o=motc,c=tw&toolsflag=Y&imgfolder=img
- [71] 國家通訊傳播委員會, 修正「低功率射頻電機技術規範」, 2016, available at http://gazette.nat.gov.tw/EG_FileManager/eguploadpub/eg022158/ch06/type1/gov53/num8/Eg.htm

- [72] 資策會 FIND, 經濟部技術處「資策會 FIND (2016) / 服務系統體系驅動新興事業研發計畫 (2/4)」, 2017, available at http://www.iii.org.tw/Press/NewsDtl.aspx?nsp_sqno=1934&fm_sqno=14
- [73] 總務省, 「新たな電波の活用ビジョンに関する検討チーム」報告書概要, 2010, available at http://www.soumu.go.jp/main_content/000080629.pdf (最後瀏覽日期: 2017 年 2 月 7 日)
- [74] 總務省, 5 GHz 無線設備の試験方法, 2014, available at <http://www.tele.soumu.go.jp/j/ref/material/test/index.htm> (最後瀏覽日: 2017/06/01)
- [75] 總務省, ホワイトスペース利用システムの共用方針, 2012, available at http://www.soumu.go.jp/main_content/000143369.pdf (最後瀏覽日期: 2017 年 2 月 13 日)

原文對照表

英文縮寫	英文全文
3G	3rd Generation digital cellular network
3GPP	3rd Generation Partnership Program
4G	4th Generation digital cellular network
5G	5th Generation digital cellular network
5GPPP	5th Generation Infrastructure Public-Private Partnership
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
AMI	Advanced Metering Infrastructure
ASC	Amsterdam Smart City
AWMP Database	Automated Water Meter Program Database
B2B	Business to Business
BEMS	Building Energy Management System
BEREC	Body of European Regulators for Electronic Communication
BIS	Department of Business, Innovation, and Skills
BR	Business Radio
CA	Carrier Aggregation
CBRS	Citizen's Broadband Radio Service
CCTV	Closed-Circuit television
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
CR	Cognitive Radio
C-RAN	Cloud Radio Access Network
CRM	Customer Relationship Management

英文縮寫	英文全文
CS	Circuit Switched
CSAT	Carrier Sense Adaptation Transmission
CSP	Connectivity Service Provider
DCC	Date and Communication Company
DCU	Data Collection Unit
DECC	Department of Energy and Climate Change
DL	Downlink
D-RAN	Distributed-Radio Access Network
DSL	Digital Subscriber Line
DSM	Digital Single Market
DSRC	Dedicated Short Range Communications
DTT	Digital Terrestrial Television
ECC	Electronic Communications Committee
ECS	Electronic Communication Service
eMBB	enhanced Mobile Broadband
EPC	Evolved Packet Core
ESC	Environmental Sensing Capability
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	European Union
EVS	Enhanced Voice Services
FB-OFDM	Filter Bank Orthogonal Frequency Division Multiplexing
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standard

英文縮寫	英文全文
F-OFDM	Filtered Orthogonal Frequency Division Multiplexing
FWS	Fixed Wireless System
GAA	General Authorized Access
GER	General Equipment Registration
GLDB	Geo-location database
GPS	Global Positioning System
GSA	Global mobile Supplier Association
GSM	Global System for Mobile Communications
HAN	Home Area Network
HEMS	Home Energy Management System
IA	Incumbent Access
ICT	Information and Communications Technology
IDA	The Infocomm Development Authority of Singapore
ICN	Information Centric Networking
ICO	Information Commissioner's Office
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMT	International Mobile Telecommunications
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISO	International Standard Organization
IoT	Internet of Things
ITSC	Information Technology Standard Committee
ITU-R	International Telecommunications Union - Radiocommunication Sector
LAA	Licensed Assisted Access

英文縮寫	英文全文
LAN	Local Area Networks
LBT	Listen Before Talk
LCEC	Lyon-Coffey Electric Cooperative
LDPC	Low Density Parity-Check Code
LiDAR	Light Detection and Reading
LoS	Line of Sight
LSA	Licensed Shared Access
LTE	Long Term Evolution
LTE-U	LTE in Unlicensed band
LWA	LTE Wi-Fi Link Aggregation
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
M2M	Machine-to-Machine
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
mmWave	Millimeter wave
MNC	Mobile Network Code
M-MTC	Massive Machine Type Communication
MTU	Meter Transmission Unit
MUSA	Multi-User Shared Access
NFV	Network Function Virtualization
NLoS	Non Line of Sight
NORMA	Novel Radio Multiservice Adaptive Network Architecture
NTIA	National Telecommunications and Information Administration
OBD	On-Broad Diagnostics

英文縮寫	英文全文
OBD-II	On-Board Diagnostic System
Ofcom	Office of Communications
OTA	Over-the-Air
OTT	Over the Top
PAL	Priority Access License
PAYD	Pay as You Drive
PCAST	President's Council of Advisors on Science and Technology
PDMA	Pattern Division Multiple Access
PDPA	Singapore Personal Data Protection Act 2012
PLC	Power Line Communication
PMSE	Programme Makers and Special Events
POI	Point of Interest
PPP	Public Private Partnership
ProSE	Proximity based Services
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RAN	Radio Access Network
RFID	Radio Frequency Identification
RR	Roaming Regulation
RRU	Remote Radio Unit
RSPG	Radio Spectrum Policy Group
SAS	Spectrum Access System
SCMA	Sparse Code Multiple Access
SDL	Supplemental Downlink
SDN	Software Defined Networking

英文縮寫	英文全文
SECAV	Shared, Electric, Connected and Automated Vehicles
SFPUC	The San Francisco Public Utilities Commission
SRD	Short Range Device
STA	Special Temporary Authorization
STEG	Tunisian Company of Electricity and Gas
TDD	Time Division Duplex
TMB	Technical Management Broad
TPC	Transmit Power Control
TVBD	TV Band Device
TVWS	TV White Space
UBI	Usage Based Insurance
U-City	Ubiquitous City
UFMC	Universal Filtered Multi Carrier
UHF	Ultra High Frequency
UKCITE	UK Connected Intelligent Transport Environment
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URLCC	Ultra-Reliable and Low Latency Communications
V2H	Vehicle to Home
V2V	Vehicle to Vehicle
VAS	Value Added Service
WAN	Wide Area Network
WBB	Wireless Broadband
Wi-SUN	Wireless Smart Utility Network

英文縮寫	英文全文
WRC	World Radiocommunications Conference
WSDB	White Spaces Database
WSD	White Space Device
YSCP	Yokohama Smart City Project