

110 年委託研究報告

電波監測數據與干擾預警機制 之評估分析委託研究採購案

計畫委託機關：國家通訊傳播委員會
中華民國 110 年 12 月

110 年委託研究報告

PG11004-0191

電波監測數據與干擾預警機制之評估分析
委託研究採購案期末報告

受委託單位

國立雲林科技大學

計畫主持人

郭文中 博士

協同主持人

張本杰 博士

研究人員

王軍証、薛華慶、鄭守益

研究期程：中華民國 110 年 4 月至 110 年 11 月

研究經費：新臺幣 95 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 110 年 12 月

目 次

目 次.....	I
表 次.....	III
圖 次.....	IV
公式彙整表.....	VI
摘 要.....	VIII
Abstract.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 計畫緣起.....	1
第二節 計畫目的.....	1
第三節 計畫研究範圍.....	1
第四節 研究方法與步驟.....	3
第五節 研究歷程及成果說明.....	4
第二章 蒐集分析電波監測干擾預警方式.....	9
第一節 干擾訊號於 HF/VHF/UHF 之分類方法	9
第二節 無線電系統之間干擾判別之計算方法.....	10
第三節 依地域進行之無線電涵蓋評估機制.....	20
第三章 監測系統產生之監測數據蒐集、盤點及分析.....	44
第一節 評估並選擇合適之電波監測站.....	44
第二節 監測數據分析.....	46
第三節 無線電系統的頻譜利用評估機制.....	54
第四節 小結.....	61
第四章 干擾計算及監測數據案例分析.....	62
第一節 監測數據之蒐集盤點.....	62
第二節 電波監測蒐集數據之處理.....	64
第三節 頻譜利用率分析.....	68
第四節 系統限制.....	73
第五節 小結.....	74
第五章 干擾成因與分析案例.....	80
第一節 無線電在通訊中的干擾分類.....	80
第二節 飛航干擾預防.....	81
第三節 行動通訊干擾.....	82
第四節 業餘無線電干擾.....	84

第五節 廣播電臺干擾.....	86
第六節 小結.....	87
第六章 飛航頻道通訊受廣播電臺訊號干擾成因分析.....	88
第一節 松山機場.....	88
第二節 桃園機場.....	92
第三節 高雄機場.....	95
第四節 小結.....	99
第七章 電波監測系統未來之精進措施及預警機制規劃建議.....	100
第一節 預期效益分析.....	100
第二節 時程與經費評估.....	101
第三節 未來精進措施.....	102
第八章 結論.....	104
中英文名詞對照表.....	106
參考文獻.....	108

表 次

表 1.1 研究項目及報告產出說明.....	3
表 1.2 研究活動紀錄表.....	4
表 1.3 研究成果摘要說明表.....	6
表 2.1 同頻干擾範例說明之參數及數值.....	13
表 2.2 鄰頻干擾之參數及數值.....	16
表 2.3 散域發射位準的參照頻寬.....	17
表 2.4 不同業務類別衰減值之計算.....	18
表 2.5 不同介質之介電系數與導電率.....	32
表 2.6 不同地區之代號表.....	32
表 2.7 結果之參數設置值.....	40
表 2.8 傳播模型比較表.....	43
表 3.1 選擇站臺.....	44
表 3.2 各業務及各地區於單一時間點之頻譜圖.....	46
表 4.1 各業務於單一時間點之頻譜圖.....	62
表 4.2 區間告警顏色表.....	69
表 4.3 行動業務各站臺分析資訊.....	75
表 4.4 數位電視各站臺分析資訊.....	76
表 4.5 業餘無線電各站臺分析資訊.....	77
表 4.6 飛航頻道各站臺分析資訊.....	78
表 4.7 廣播頻道各站臺分析資訊.....	79
表 6.1 松山飛航服務無線電通訊設施頻率.....	91
表 6.2 松山無線電助導航設施頻率.....	91
表 6.3 桃園飛航服務無線電通訊設施頻率.....	94
表 6.4 桃園無線電助導航設施頻率.....	95
表 6.5 高雄飛航服務無線電通訊設施頻率.....	98
表 6.6 高雄無線電助導航設施頻率.....	98
表 7.1 時程甘特圖.....	102
表 7.2 工作項目與預估時間.....	102

圖 次

圖 1.1 研究計畫架構圖.....	2
圖 2.1 互調變產物.....	19
圖 2.2 30MHz~250MHz 陸地面路徑曲線圖	23
圖 2.3 450MHz~1000MHz 陸地面陸路徑曲線圖	24
圖 2.4 100MHz 陸地面路徑曲線圖	28
圖 2.5 600MHz 陸地面路徑曲線圖	29
圖 2.6 2,000MHz 陸地面路徑曲線圖	30
圖 2.7 建立帳號.....	34
圖 2.8 同意用戶條款.....	34
圖 2.9 輸入用戶名稱.....	35
圖 2.10 輸入用戶電子郵件.....	35
圖 2.11 再次輸入用戶電子郵件.....	35
圖 2.12 顯示用戶名稱與電子郵件位址.....	36
圖 2.13 郵件內容.....	36
圖 2.14 主選單.....	37
圖 2.15 位置資訊.....	37
圖 2.16 參數設定頁面.....	39
圖 2.17 臺北市北區站結果圖.....	40
圖 2.18 結果圖.....	41
圖 3.1 檢測系統流程圖.....	50
圖 3.2 臺北市北區站行動通訊 05/07 17：00 場強頻譜圖	52
圖 3.3 頻譜評估管理機制.....	54
圖 3.4 頻譜管理系統實例[3].....	55
圖 3.5 發射機間的閒置頻段[4].....	57
圖 3.6 地理定位數據庫架構[3].....	58
圖 3.7 TVBD 受保護範圍類型[4].....	59
圖 4.1 檢測系統之統計分析流程圖.....	66
圖 4.2 檢測系統之行為分析流程圖.....	67
圖 4.3 金城-數位電視 05/07 00：00 時段之場強頻譜圖	70
圖 5.1 行動通訊業務告警分類結果圖.....	83
圖 5.2 臺北市北區站的位置圖.....	84
圖 5.3 臺北市北區站標準差頻譜圖.....	85
圖 5.4 臺北市北區站場強與平均值頻譜圖.....	85
圖 5.5 臺北市北區站告警分類結果圖.....	86
圖 5.6 廣播電臺-松山機場告警分類結果圖	87
圖 6.1 松山機場 00：00 多日平均值頻譜圖.....	88

圖 6.2 松山機場 06：00 多日平均值頻譜圖.....	89
圖 6.3 松山機場 12：00 多日平均值頻譜圖.....	89
圖 6.4 松山機場 18：00 多日平均值頻譜圖.....	90
圖 6.5 桃園機場 00：06 多日平均值頻譜圖.....	92
圖 6.6 桃園機場 06：00 多日平均值頻譜圖.....	92
圖 6.7 桃園機場 12：00 多日平均值頻譜圖.....	93
圖 6.8 桃園機場 18：00 多日平均值頻譜圖.....	93
圖 6.9 高雄機場 00：06 多日平均值頻譜圖.....	96
圖 6.10 高雄機場 06：00 多日平均值頻譜圖.....	96
圖 6.11 高雄機場 12：00 多日平均值頻譜圖.....	97
圖 6.12 高雄機場 18：00 多日平均值頻譜圖.....	97

公式彙整表

(2.2.1) 鏈路預算.....	12
(2.2.2) 同頻干擾判別的方式.....	12
(2.2.3) 頻寬調整係數.....	12
(2.2.4) 頻寬調整係數之干擾源的鏈路預算.....	12
(2.2.5) 雜訊.....	13
(2.2.6) 接收機頻寬上的雜訊.....	13
(2.2.7) 鄰頻道選擇性.....	15
(2.2.8) 鄰頻道洩漏比.....	15
(2.2.9) 鄰頻道干擾比.....	15
(2.2.10) 掩模集成調整之干擾源的鏈路預算.....	16
(2.2.11) 諧波發射功率最大允許值.....	17
(2.2.12) 參照頻寬內的干擾鏈路預算.....	18
(2.2.13) 發射端互調變產物的功率值.....	19
(2.2.14) 互調變產物之功率所計算的鏈路預算.....	19
(2.2.15) 接收端互調變後的訊號.....	19
(2.3.1) 自由空間之功率.....	20
(2.3.2) 計算波長.....	20
(2.3.3) 路徑損耗.....	20
(2.3.4) 條件下之路徑損耗.....	21
(2.3.5) 都市地區之 Cost-231 Hata 模型.....	21
(2.3.6) 郊區地區之 Cost-231 Hata 模型.....	21
(2.3.7) 鄉村及空曠地區之 Cost-231 Hata 模型.....	21
(2.3.8) Cost-231 Hata 模型 A.....	21
(2.3.9) Cost-231 Hata 模型 B.....	21
(2.3.10) Cost-231 Hata 模型 C.....	21
(2.3.11) Cost-231 Hata 模型 D.....	21
(2.3.12) Cost-231 Hata 模型 E.....	21
(2.3.13) 改良 Cost-231 Hata 模型.....	21
(2.3.14) Cost-231 Hata 模型 F.....	22
(2.3.15) 場強.....	25
(2.3.16) 陸地路徑之場強最大值.....	26
(2.3.17) 海面路徑之場強最大值.....	26
(2.3.18) 1kW 有效輻射功率下的自由空間場強.....	26
(2.3.19) 海面曲線的增強值.....	26
(2.3.20) 頻率低於 100 MHz 的海面路徑，應採用一種近似值計算方法.....	26
(2.3.21) 頻率依賴項.....	26

(2.3.22) 水平距離確定之漸近項	26
(2.3.23) 滿足條件下之場強計算	27
(3.2.1) 標準差計算	51
(3.3.1) 頻譜利用的度量	60
(3.3.2) 頻譜利用效率	61
(3.3.3) 相對頻譜效率	61
(4.1) 標準差計算	68
(4.2) 使用率成長趨勢計算	69

摘要

關鍵詞：電波干擾、電波監測、頻譜管理系統

前交通部電信總局之「電波偵測能量計畫」，建立了相關無線電電波監測網的監測能量技術，國家通訊傳播委員會後續完成新世代電波監測系統之建置，透過監測網與頻譜管理系統，以構成全天候、即時、自動化的全國電波監測網。民國 95 年國家通訊傳播委員會(NCC, National Communications Committee)成立，以「持續依法取締、積極開放頻道」為解決非法廣播電臺問題之施政方針，運用交通部電信總局的無線電波監測系統以維護電波秩序。

臺灣近年來經濟的蓬勃發展，大量建設使得原始監測站周遭地形地物的快速變化，再加上新業務的開放，釋出大量的頻譜，以至於干擾類型日益增多，也增加了干擾取締之難度。為此本次計畫欲提出一干擾檢測系統，用以判別各項業務中，疑似干擾之頻段。

本案的期末報告將分成八大章節，分別為：緒論、蒐集分析電波監測干擾預警方式、監測系統產生之監測數據蒐集、盤點及分析、干擾計算及監測數據分析、干擾成因分析與探討、飛航頻道通訊受廣播電臺訊號干擾成因分析、電波監測系統未來之精進措施及預警機制規劃建議以及結論。

系統方面主要以國家通訊傳播委員會提供之電波檢測原始資料進行資料分析，並將分析之結果繪製成可視化之圖檔，以便日後管理者方便觀察頻譜變化。理論方面主要參考以往相關計畫之計畫書以及相關之電波干擾之書籍，針對各項業務說明干擾之成因，並以系統輸出之圖檔解說疑似干擾頻段之成因及種類。於本計畫書之第七章，將講述本次計畫預期之效益，並提出未來之展望，以便往後研究之人員能夠有明確之研究方向。

Abstract

Keywords: Radio interference, Radio monitoring, Spectrum management system

The “Radio Frequency Monitoring Project” of ex-Directorate General of Telecommunications, Ministry of Transportation and Communications(ex-MOTC), established the monitoring energy technology of the relevant radio wave monitoring network and formed an 24/7, real-time and automatic nationwide radio wave power monitoring network via monitoring network and spectrum management system. In 2006, National Communications Committee (NCC) was organized, and set “Continuously Banning Illegal Channels in Acordance with The Law, and Actively Opening up Channels” as policy for solving problem of illegal radio stations. They used the Radio Wave Power Monitoring System of ex-MOTC to keep the order of radio wave. A new generation of radio monitoring system has been built, with the aim of improving the future flight, shortness, low-power radio equipment and the special interference problems in metropolitan areas in 2018.

In recent years, the economy of Taiwan has been flourishing. A lot of buildings lead to rapid changing of surrounding terrain and increasing the difficulty of interference forbidden, coupled with the opening up of new businesses, a large number of spectrums are released. For this reason, this project intends to propose an interference detection system to identify the frequency bands suspected of interference in various services.

The final report of this project is organized as eight section:Section I is introduction; Section II is collection and analysis of radio wave monitoring interference early warning methods; Section III is collection of monitoring data generated by the monitoring system; Section IV is interference calculation and monitoring data analysis; Section V is interference calculation and monitoring data analysis; Section VI is analysis and discussion on the causes of interference; Section VII is analysis of causes of interference of feihang channel communication by radio station signals; Section VIII is future improvement measures and early warning mechanism planning recommendations and conclusions of the radio wave monitoring system.

For the system aspect, we analyzed the radio wave detection data provided by NCC, and made analysis result visualized for the conveniently observing the change of spectrum. For the theory aspect, we refered the previous relative project reports and relative books. We illustrated the factors of various interference, and explained factors and types of suspected interference frequency band based on the output

images of proposed system. In the section VII of this report, the expected benefits of this project are described, and the future prospects are put forward so that the researchers in the future can have a clear research direction.

第一章 緒論

第一節 計畫緣起

自從民國 107 年陸續建置新世代電波監測系統，目的為改善未來飛航、突短微弱、低功率無線電設備與都會區的特殊干擾問題。而新世代電波監測系統自 107 年竣工啟用至今，對監測頻率範圍、異常訊號、測向與數位解調變等功能皆優於原系統，惟對監測數據尚未進行深入分析。為實現頻譜資源管理之有效性，使無線電系統在有限的頻譜內和諧共存，並快速發現與排除電波干擾。

「電波監測數據與干擾預警機制之評估分析」研究案，希冀藉由電波監測系統進行數據蒐集、資訊處理與分析，建立電波監測數據分析及預警機制，強化頻譜資源分配與管理，進一步發揮新世代電波監測系統之功能，以提供頻譜資源之有效使用與管理，快速發現與排除境外與境內電波干擾，進行數據蒐集、資訊處理正規化與分析，建立電波監測數據分析及預警機制，強化頻譜資源分配與管理，進一步發揮新世代電波監測系統之功能。

第二節 計畫目的

本研究針對系統監測數據研析干擾預警機制，以加強電波干擾處理能量。本計畫目標分述如下：

一、強化新世代電波監測系統應用

透過本研究之綜整分析，可以協助掌握干擾案件處理，強化既有新世代電波監測系統，依其基礎開發應用之最新干擾防治技術及方法。

二、建立干擾電波預警邊界

藉由本研究可結合實際電波監控數據，做為未來優化電波監測網之參據，以提升處理相關干擾案件之能力。

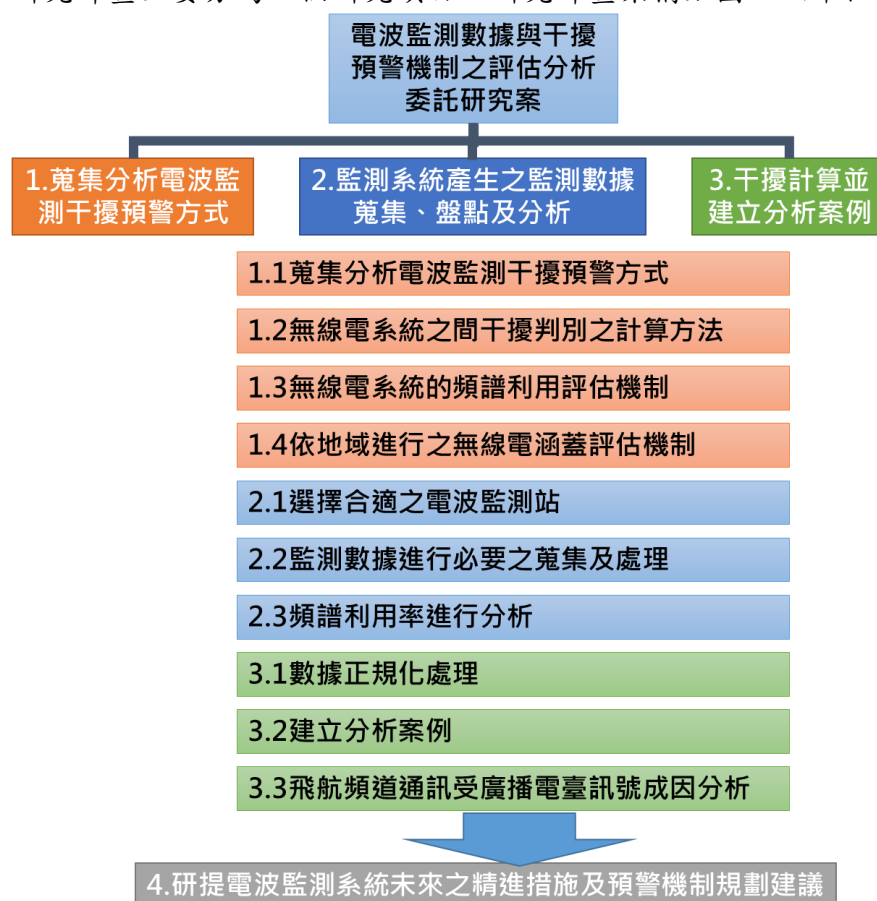
第三節 計畫研究範圍

本研究將進行深入探討與剖析，以提供研擬「電波監測系統未來之精進措施及預警機制規劃」之建議，藉由電波數據之盤點與分析，研析電波干擾預警之系統化方法，以加強電波干擾處理能量。主要研究項目包括如下：

- 無線電之間干擾訊號於 HF/VHF/UHF 之分類方法
- 無線電系統之間干擾判別之計算方法
- 無線電系統的頻譜利用評估機制

- 依地域進行之無線電涵蓋評估機制
- 選擇合適之電波監測站
- 監測數據進行必要之蒐集及處理
- 頻譜利用率進行分析
- 數據正規化處理
- 建立分析案例
- 飛航頻道通訊受廣播電臺訊號對干擾之成因分析
- 預期效益分析
- 時程及經費評估

本研究計畫主要分為四個研究項目，研究計畫架構如圖 1.1 所示。



資料來源：本研究整理

圖 1.1 研究計畫架構圖

第四節 研究方法與步驟

一、研究方法說明

為達成本計畫規定之四大研究項目，依據上述研究工作內容的特性及範疇，可概分成兩種研究模式：(一)文獻分析研究方法 (二)實驗研究方法。

(一)文獻分析法

本研究將依據委託機關招標文件要求，ITU 技術文件，例如：國家頻譜管理手冊與干擾分析，研析適用電波監測數據與干擾預警機制之可行性，並且分析干擾案例，至少參考包括以下文獻：

■ 國家頻譜管理手冊[3]

■ 干擾分析手冊[4]

針對與研究主題相關之資訊及代表性個案，諸如電波監測站臺佈置、接收參數，與目前監測現況作法，進行研析比較並瞭解其實務運作問題。分析可獲取之電波監測數據相關技術規範及其應用情形，及研擬相關建議以作為我國未來制定「電波監測系統未來之精進措施及預警機制規劃」之建議。

(二)實驗測試研究方法

本團隊將採取實證科學的量化研究模式，研究將參考國際標準組織 ITU 之評估電波監測標準方法建議書，分析監測頻段、頻寬、量測訊號場強與干擾相關性。

本團隊根據本計畫的研究重點及工作規劃，配合文獻分析與實驗的研究方法，詳述各研究分項內容及報告產出如下表所示。

表 1.1 研究項目及報告產出說明

研究項目	報告產出	研究需求說明
1. 蒐集分析電波監測干擾預警方式	(1)干擾訊號於 HF/VHF/UHF 之分類方法	國際組織之技術文件
	(2)無線電系統之間干擾判別之計算方法	
	(3)無線電系統的頻譜利用評估機制	

研究項目	報告產出	研究需求說明
	(4)依地域進行之無線電涵蓋評估機制	
2. 監測系統產生之監測數據蒐集、盤點及分析	(5)選擇合適之電波監測站	除了解監測站背景雜音外，同時蒐集特殊異常訊號發生情形。
	(6)監測數據進行必要之蒐集及處理	1.電波數據蒐集及分析 2.了解目前電波頻段使用情形
	(7)頻譜利用率進行分析	3.異常訊號干擾情況
3. 干擾計算並建立分析案例	(8)數據正規化處理	數據分析及找尋干擾辨識情況
	(9)建立分析案例	
	(10)飛航頻道通訊受廣播電臺訊號成因分析	
4. 研提電波監測系統未來之精進措施及預警機制規劃建議	(11)預期效益分析	效益研議
	(12)時程及經費評估	

資料來源：本團隊整理

第五節 研究歷程及成果說明

表 1.2 研究活動紀錄表

日期	研究工作紀錄		內容概要
	國家通訊傳播委員會	研究團隊	
110/4/29	議價	配合辦理	

日期	研究工作紀錄		內容概要
	國家通訊傳播委員會	研究團隊	
110/6/11		收到監測數據隨身碟	因應電波頻段的場強分析及電波監測站的背景雜音資料之建立
110/7/8		召開專家會議	討論電波信號的區分及分享電波干擾監測之經驗
110/7/15		電波監測數據與干擾預警機制之評估分析委託研究案說明會	報告計畫相關進度及討論相關監測事宜
110/7/29		建議 NCC 之適宜監測站的地點	依據工作項目完成階段性任務，俾利後續電波干擾分析事宜
110/7/30		研究團隊與電波監測專家張耀堂博士	針對頻譜管理活動及監測方式進行意見交換，同時對許多國家的頻譜管理機制進行探討
110/8/1		研究團隊與電波監測專家張耀堂博士	針對計算頻譜效率做探討後，提出頻譜再利用機制雛型概念

日期	研究工作紀錄		內容概要
	國家通訊傳播委員會	研究團隊	
110/8/2	通傳北決字第11000496400號函		同意適合監測站的地點資料
110/7/17-8/12		期中報告撰寫	
110/9/24		電波監測數據與干擾預警機制之評估分析委託研究案專家訪談	探討頻譜監測資料及討論相關監測事宜
110/10/15		研究團隊與電波監測專家張耀堂博士	專家過往研究案例分享及討論電波干擾預警流程
110/10/9-11/12		期末報告撰寫	

資料來源：本研究整理

表 1.3 研究成果摘要說明表

研究需求項目	期末已完成之研究	預計期末完成之研究	期末報告章節頁碼
(1)干擾訊號於HF/VHF/UHF之分類方法	研析國家頻譜管理手冊、干擾分析手冊文獻整理	本項工作已於期中完成	第二章 第一節 p.9-p.10
(2)無線電系統之間干擾判別之計算方法	研析國家頻譜管理手冊、干擾分析手冊文獻整理	本項工作已於期中完成	第二章 第二節 p.10-p.20

研究需求項目	期末已完成之研究	預計期末完成之研究	期末報告 章節頁碼
(3)無線電系統的頻譜利用評估機制	研析國家頻譜管理手冊、干擾分析手冊文獻整理	本項工作已於期中完成	第三章 第三節 p.54-p.61
(4)依地域進行之無線電涵蓋評估機制	研析國家頻譜管理手冊、干擾分析手冊文獻整理	本項工作已於期中完成	第二章 第三節 p.20-p.43
(5)選擇合適之電波監測站	根據監測數據分析結果選擇合適之電波監測站並在去函 NCC	本項工作已於期中完成	第三章 第一節 p.44-p.46
(6)監測數據進行必要之蒐集及處理	根據監測數據分析特定頻段或時間點	本項工作已於期中完成	第三章 第二節 p.46-p.50
(7)頻譜利用率進行分析	根據監測數據分析頻譜利用的情況	本項工作已於期中完成	第三章 第二節 p.51-p.54
(8)數據正規化處理	數據正規化中提取資料內之三項欄位做為資料指標，分別為：時間、頻率以及場強值	本項工作已於期末報告完成	第四章 p.62-p.79
(9)建立分析案例	依據數據分析資料，建立分析案例，判別發生日期及時段與可能成因。	本項工作已於期末報告完成	第四章 第三節 p.68-p.73
			第五章 p.80-p.87

研究需求項目	期末已完成之研究	預計期末完成之研究	期末報告 章節頁碼
(10)飛航頻道通訊受廣播電臺訊號成因分析	依據飛航頻道通訊與廣播電臺訊號，做數據分析資料，建立分析案例。	本項工作已於期末報告完成	第六章 p.88-p.99
(11)預期效益分析	對監測頻率範圍、異常訊號、測向功能與數位調變等功能，針對監測數據一步進行分析，作為干擾之測向與干擾排除再發揮其強大之功能	本項工作已於期末報告完成	第七章 第一節 p.100-p.101
(12)時程及經費評估	提升頻譜資源之有效使用與管理，快速發現與排除境外與境內電波干擾	本項工作已於期末報告完成	第七章 第二節 p.101-p.102

資料來源：本研究整理

第二章 蒐集分析電波監測干擾預警方式

本章利用文獻蒐集分析方式，進行電波監測干擾預警方式研析，評估項目包含：干擾訊號於不同頻段之分類方法、無線電系統之間干擾判別之計算方法、無線電系統的頻譜利用評估機制、依地域進行之無線電涵蓋評估機制，並依據文獻給予研究發現之評析。

第一節 干擾訊號於 HF/VHF/UHF 之分類方法

HF/VHF/UHF 其頻段範圍分別為：3MHz~30MHz、30MHz~300MHz 及 300MHz~3000MHz。首先，正常使用環境下有一異常訊號使得各種通訊業務無法正常運作，此種行為將定義成干擾，干擾的類型大致上能分為以下四種：同頻干擾(Co-channel Interference)、鄰頻干擾(Adjacent Channel Interference, ACI)、諧波干擾(Harmonic Interference)及交互調變失真(Intermodulation Distortion)。

一、同頻干擾

同頻干擾是指有用訊號和干擾訊號工作於同一個頻道之現象。而其發生此種干擾的原因為兩個訊號間未保持適當的距離間隔、導致干擾源的功率超過核配頻段的干擾容許值或頻寬的佔用或誤用。其發生場景較多為行動通訊頻段。在該行動通訊業務中，為提高頻率使用效率，將數個使用者聚集成同一小區塊，並使多個區塊使用同一頻率進行訊號發送，小區塊之間的干擾稱之為同頻干擾。例如，在過去高空飛航訓練時，遭受一不明同頻干擾，導致飛機無法正常回傳狀態訊號等相關資料至地面塔臺，影響我國飛航安全甚深，如「101 年特殊干擾處理技術與方法之評估研究」[1]所述，由於干擾發生地點為高空型干擾，東臺灣地形大多為高山地形所組成以及飛航器只需於高空中短暫飛行即可接收大面積之訊號，因此可疑干擾範圍過於龐大，導致其可接收到地面上無法接收之訊號，因此一般頻譜設備無法滿足偵查高空型干擾之需求，對於設備確實為艱難之挑戰。

二、鄰頻干擾

源自不理想的接收端的濾波器，無法完全濾除頻帶外的訊號，也就是，在本身的頻率和干擾源的頻率之間的頻道區隔(channel separation)很差時，ACI 通常會比較嚴重。因為 ACI 在接收頻帶外的功率會快速減弱，所以消除 ACI 的方法就是在 Wideband Code Division Multiple Access(WCDMA) 的頻帶外加上適當的保護頻帶(guard band)。另一方面，非法調頻(FM)廣播電臺往往建置於合法核配頻段的空隙頻帶使用，因此在發射機性能不良下，一旦產生頻率偏移(deviation)將會導致鄰頻干擾問題。由於廣播之後半頻段與飛航頻段非常相近，導致鄰頻干擾有較大機率發生於兩者業務間。

三、諧波干擾

如果兩發射源系統不是設在相鄰頻帶的話，可能由系統的非線性造成諧波的干擾。例如：當系統的頻率中，若受到干擾的頻率為 f_2 是干擾源頻率 f_1 的數倍頻率(如 $f_2 = mf_1$, mf_1 是諧波頻率， m 是整數，表示諧波失真的階數)。此時，二次諧波訊號因其功率仍然夠大，往往是造成諧波干擾的主因，而高階的諧波訊號離主要的接收頻率較遠且其功率也大幅衰減，因此產生諧波干擾的影響較小。例如，GSM900 頻段在 895MHz-910 MHz 部分的第二階諧波，會落在 GSM1800 的 1816MHz-1827 MHz 頻帶中而造成諧波干擾。此類干擾較常發生於廣播頻道及飛航頻道，但有如「91 年廣播電臺共站評估與規劃」[2]所述，如果結合器的各個部分都是線性的元件，應該不會有互調變產生，所以不會產生諧波或差頻。因此在設備選用方面須注意是否有標明互調變甚低資訊，在此可以不必考慮發射端互調變的問題。

四、交互調變失真

造成交互調變失真的主要原因是在接收端或傳送端的射頻(RF)部分的非線性項，互調變頻率為 $f_{IMD} = nf_1 \pm mf_2$ 。其中 f_1 及 f_2 為原本的頻率， n 及 m 是整數，互調變的階數為 $|n| + |m|$ (正整數)。在交互調變失真的族群中，因三階交互調變失真(Third order IMD)具有較高的功率(例如： $2f_1 + f_2$, $2f_1 - f_2$, $f_1 + 2f_2$, $-f_1 + 2f_2$)。因此當三階交互調變失真的干擾源於鄰近擬接收的頻率，必然會造成較為嚴重的干擾問題。此干擾發生的場景有以下幾種，合法發射器過載、頻譜分配擁擠、發射站臺產生諧波能量...等等。其中發射器過載之解決方式較為容易，在天線上加裝濾波，將不必要訊號攔截使有用之訊號通過即可。另外頻譜分配過於擁擠也會造成此類干擾，當兩種競爭無線電被分配於鄰近頻道，進而增加其中一方之發射頻道之邊波雜訊(Sideband Noise)，此類問題主要可追溯至設備參數調動問題，若該設備參數皆為合法值，則要求其更換頻道或是增加兩者頻道間之頻寬。

第二節 無線電系統之間干擾判別之計算方法

由於新資訊科技的引進和現今電信業務的發展，導致無線電頻譜的資源分配，須確定國家的頻率分配的規劃及滿足設備的標準和規範，才能達到國家頻譜和諧使用的目的。雖頻譜能夠有效利用，但設備規範涉及設備必須嚴格遵守的最低技術參數，因此要如何減少頻率干擾問題，是值得研究的議題。所以先就本章所使用之設備參數做說明，緊接著再分別說明相關干擾判別，如同頻干擾、鄰頻干擾、諧波干擾、互調變干擾的干擾判別方法。

一、設備參數

參考國家頻譜管理手冊¹[3]來定義下列參數：

- (一)載頻(Carrier frequencies)：發射機應在被指配的頻率運行。
- (二)發射機功率(Transmitter power)：發射機功率包含峰包功率(Peak envelope power)、平均功率(Mean power)、載頻功率(Carrier power)。若無線電系統能夠正常的運行，則發射機功率應限制在最低限度，如果發射機功率過大時會造成不同地區或被指配在同一頻段的使用者干擾。
- (三)頻率容差(Frequency tolerances of transmitters)：是為從被指配頻率的發射在所佔頻段的中心頻率偏移的最大允許範圍或從參考頻率的發射的特徵頻率偏移最大允許範圍。
- (四)發射頻寬(Bandwidth of emissions)：發射頻寬包含必要頻寬、無用發射和佔用頻寬。
 - 1.必要頻寬(Necessary bandwidth)：是指給定級別的發射，頻段的寬度是足以確保資訊的傳送速度和所需品質能符合所規定的條件就行。
 - 2.無用發射(Unwanted emission)：是指必要頻寬以外的發射。
 - 3.佔用頻寬(Occupied bandwidth)：是指頻段的寬度應高於最低的頻率限制和低於最高的頻率限制，等於一個給定發射總平均功率之規定百分比 $\beta/2$ 。除非在 ITU-R 關於發射級別的建議書中另有規定，在該種情況下， $\beta/2$ 這個值應該為 0.5%，其中 β 為調整因子，意指在沒有另外規定的情況下 β 值應為 1。
- (五)無用發射(Unwanted emission)：無用發射包括帶外發射和雜散發射。
 - 1.帶外發射(Out-of-band emissions)：是指不包含雜散發射，在必要頻寬以外，因調變過程中所產生的一個或數個頻率之發射。
 - 2.雜散發射(Spurious emissions)：指必要頻寬以外的一個或數個頻率之發射，其強度減低不影響其訊息發送。雜散發射包括諧波發射(Harmonic emission)、寄生發射(Parasitic emission)、交互調變(Cross modulation)及頻率轉換所產生者，但不包括帶外發射。
- (六)互調產物：當兩個或多個訊號在非線性裝置相遇時就會產生互調產物。
 - 1.多發射機使用一個共用功率放大器可能產生的互調產物：多發射機可以連到一個共用天線上，在進行放大之前把訊號合在一起。對共用功率放大

¹資料來源:國家頻譜管理手冊第 5.2.2 小節

器的發射機，互調產物最有可能產生在大功率放大器上。

2. 靠近天線的非線性元件可能產生的互調產物：無用諧波和互調成份也可能在天線上非線性接點中的導體或發射機附近的金屬結構的激勵引起的。

二、干擾判別

本章節計算干擾源的鏈路預算(link budget)做為干擾分析的方法，鏈路預算是從發射端到接收器的整個無線通訊系統中所有增益和損失的計算，其目的為判別接收端是否會接收到干擾源的訊號。

鏈路預算的定義如下：

$$Link\ budget = P_{tx} + G_{tx} - L_p + G_{rx} - L_f \quad (2.2.1)$$

其中 P_{tx} 為發射源的功率， G_{tx} 發射源的天線增益， L_p 為路徑損失， G_{rx} 為接收機的天線增益， L_f 為接收機的損失。

(一) 同頻干擾

同頻干擾是指有用訊號和干擾訊號工作於同一個頻道之現象。而其發生此種干擾的原因為兩個訊號間未保持適當的距離間隔、導致干擾源的功率超過核配頻段的干擾容許值或頻寬的佔用或誤用。

如今同頻干擾判別的方式如式(2.2.2)[4]所示：

$$|f_W - f_I| < \frac{(B_W + B_I)}{2} \quad (2.2.2)$$

其中 f_W 為有用訊號的頻率， f_I 干擾源的頻率， B_W 為有用訊號的頻寬， B_I 為干擾源的頻寬。

如果存在重疊時，在同頻案件下，發射載波通常會被建模成矩形方塊及接收機有良好的濾波器可以將其他訊號濾除，得到與有用訊號相同的頻率和頻寬。在這個案件中，將會接收到一部分干擾功率，頻寬調整係數計算如下：

$$Overlap = \min\{B_W, B_I, \frac{(B_W + B_I)}{2} - |f_W - f_I|\}$$
$$A_{BW} = 10\log_{10}\left(\frac{Overlap}{B_I}\right) \quad (2.2.3)$$

根據頻寬調整係數計算干擾源的鏈路預算，其計算如下：

$$I = P_{tx} + G_{tx} - L_p + G_{rx} - L_f + A_{BW} \quad (2.2.4)$$

其中 I 為干擾源的鏈路預算， P_{tx} 為干擾源的功率， G_{tx} 干擾源的天線增益， L_p 為路徑損失， G_{rx} 為接收機的天線增益， L_f 為接收機的損失。

而雜訊通常被表示為具有均勻的功率密度之訊號，因此雜訊可以表示為：

$$n_0 = 10\log_{10}T - 228.6 \quad (2.2.5)$$

其中 T 為絕對溫度，等於攝氏溫度+273.15。

因此接收機頻寬 B (Hz)上的雜訊 N (dB)可以表示為：

$$N = 10\log_{10}T - 228.6 + 10\log_{10}B \quad (2.2.6)$$

其中溫度 T 的單位為絕對溫度為攝氏+273.15， B 為接收機頻寬。於是本計畫將鏈路預算和雜訊的差值作為干擾判別的依據，有關同頻干擾的計算方式如範例一所示。

範例一：有一衛星通訊業務其使用的頻率為 2,530MHz，佔用頻寬為 30MHz，而如今有一干擾源訊號為行動寬頻業務，其使用頻率為 2,530MHz，佔用頻寬為 20MHz，頻寬調整係數計算為：

$$\begin{aligned} \text{Overlap} &= \left\{ 30, 20, \frac{(30 + 20)}{2} - |2530 - 2530| \right\} \\ &= 20 \text{ MHz} \end{aligned}$$

$$A_{BW} = 10\log_{10}\left(\frac{20}{20}\right) = 0 \text{ dB}$$

其鏈路預算對於同頻干擾分析的結果如表 2.1 所示，其中 dBi 為等向性天線增益單位：

$$I = P_{tx} + G_{tx} - L_p + G_{rx} - L_f + A_{BW}$$

$$I = 8 + 2 + 5 - 130 + 2 + 5 - 0 + 0 = -108$$

其中 dBi 為等向性天線增益單位。

表 2.1 同頻干擾範例說明之參數及數值

參數	數值
有用訊號的頻率	2530 MHz
干擾源頻率	2530 MHz
有用訊號的頻寬	30 MHz
干擾源的頻寬	20 MHz

參數	數值
干擾源功率 P_{tx}	8 dBW
干擾源峰值增益 G_{tx}	2 dBi
干擾源相對增益 G_{tx}	5 dB
干擾源路徑損失 L_p	130 dB
接收峰值增益 G_{rx}	2 dBi
接收相對增益 G_{rx}	5 dB
接收 feed loss L_f	0 dB
頻寬調整係數 A_{BW}	0 dB
干擾鏈路預算	-108 dBW
接收機溫度 T	300 K=26.85°C
訊號頻寬內的雜訊 N	-140.82 dBW
干擾與雜訊差值	32.82 dB

資料來源：本研究整理

根據同頻干擾分析結果顯示，若干擾鏈結預算超過雜訊時(noise floor)時，則可以視為干擾的訊號。此案例可說明干擾的最大成因是因干擾源過大的功率，導致接收機接收到干擾源的訊號而產生干擾；其次是為兩個訊號間的間隔距離過近，導致在鏈路預算計算中路徑損失較小，造成干擾訊號的強度較高而產生干擾。

(二) 鄰頻干擾

鄰頻干擾是由於不良的發射機造成頻率偏移或不良的接收機無法濾除核配頻寬外的訊號而產生干擾，即干擾源核配頻道的發射功率落入接收機鄰頻道

或干擾源鄰頻道的發射功率落入接收機的核配頻道。

而有關鄰頻干擾的判別方式，可參考 ITU 干擾分析手冊[4]是可依據鄰頻道選擇性(Adjacent Channel Selectivity, ACS)、鄰頻道洩漏比(Adjacent Channel Leakage Ratio, ACLR)及鄰頻道干擾比(Adjacent Channel Interference Ratio, ACIR)之相關性來做分析及判斷得知是否為鄰頻干擾。此處的 ACS、ACLR 及 ACIR 計算公式分別如式(2.2.7)-(2.2.9)所示。

ACS 的定義如下：

$$acs = \frac{P_{assigned}}{P_{adjacent}} \quad (2.2.7)$$

ACS 以分貝為單位的表示如下：

$$ACS = 10\log_{10}acs$$

其中 $P_{assigned}$ 是接收機核配頻道接收到的功率， $P_{adjacent}$ 是接收機鄰頻道接收到的功率，ACS 的目的是判別接收器是否能夠有效濾波鄰頻道的訊號。

ACLR 的定義如下：

$$aclr = \frac{Mean P_{tx(assigned)}}{Mean P_{tx(adjacent)}} \quad (2.2.8)$$

ACLR 以分貝為單位的表示如下：

$$ACLR = 10\log_{10}aclr$$

其中 $Mean P_{tx(assigned)}$ 是核配頻道發射的平均功率， $Mean P_{tx(adjacent)}$ 是鄰頻道發射的平均功率，ACLR 的目的是判別發射機是否有頻率偏移的現象。

ACIR 的定義如下：

$$acir = \frac{1}{\frac{1}{aclr} + \frac{1}{acs}} \quad (2.2.9)$$

ACIR 以分貝為單位的表示如下：

$$ACIR = 10\log_{10}acir$$

因此可由 ACS 和 ACLR 可得知鄰頻道干擾比，而 ACIR 近似於掩模集成調整(Mask integration adjustment, A_{MI})，所以 ACIR 可以做為鏈路預算的調整因子。

A_{MI} 的定義如下：

$$A_{MI} \sim -ACIR$$

根據掩模集成調整計算干擾源的鏈路預算，其計算如下：

$$I = P_{tx} + G_{tx} - L_p + G_{rx} - L_f + A_{MI} \quad (2.2.10)$$

其中 I 為干擾源的鏈路預算， P_{tx} 為干擾源的功率， G_{tx} 為干擾源的天線增益， L_p 為路徑損失， G_{rx} 為接收機的天線增益， L_f 為接收機的損失。

由上述公式可以得知當鄰頻道功率較高時，計算出來的 $ACIR$ 會較低，因此經由掩模集成調整的干擾源鏈路預算會較高。若干擾源的鏈路預算高於ACS和ACLR規範的最小要求值所計算的鏈路預算時，則可以認定為是鄰頻干擾。

範例二：有關鄰頻干擾之參數如表 2.2 所示，如今對於 10MHz 頻寬的 LTE 使用者設備的最小要求 ACS 為 33dB 及對於 10MHz 頻寬的 LTE 基地臺的最小要求 ACLR 為 44.2dB，以 ACS 和 ACLR 的數值求出 10 為基數的指數值，即可依據式(2.2.9)求得 acir 及 ACIR，再根據式(2.2.10)可得知干擾源鏈路預算的最小限制，若高於此限制時，則認定為鄰頻干擾。

表 2.2 鄰頻干擾之參數及數值

參數	數值
ACS	33 dB
acs	1995.2623
ACLR	44.2 dB
aclr	26302.6799
acir	1862.0871
ACIR	32.7 dB
干擾源功率	-4 dBW
干擾源峰值增益 G_{tx}	2 dBi
干擾源相對增益 G_{tx}	5 dB
干擾源路徑損失 L_p	50 dB
接收峰值增益 G_{rx}	2 dBi

接收相對增益 G_{rx}	5 dB
接收 feed loss L_f	0 dB
干擾鏈路預算限制	-40dBW

資料來源：Interference Analysis Modelling Radio Systems for Spectrum Management[4]

(三) 諧波干擾

諧波干擾是指兩個訊號不是設置在相鄰頻段的話，可能由系統的非線性元件造成的干擾。例如：當系統的頻率中，若受到干擾的頻率為 f_2 是干擾源頻率 f_1 的數倍頻率時(如 $f_2 = mf_1$, mf_1 是諧波頻率， m 是整數，表示諧波失真的階數)，就是受到諧波干擾的情況。若第二階諧波訊號的功率夠大的話，則會造成二次諧波的干擾情況。

諧波干擾判別的方式參考文獻[4]首先計算諧波發射功率的衰減值(X_{dBc})得到諧波發射功率的最大允許值，如式(2.2.11)，諧波發射應低於總平均功率至少 X_{dBc} dBc，因此可以經由諧波發射功率的最大允許值計算其最大允許的鏈路預算，如式(2.2.12)。若高於此限制時，則認定為諧波干擾。表 2.3 為諧波發射域的參照頻寬，此頻寬為諧波發射功率最大允許值的適用頻寬。

表 2.3 散域發射位準的參照頻寬

頻率範圍	參照頻寬
9 kHz-150 kHz	1 kHz
150 kHz-30 MHz	10 kHz
30 MHz-1 GHz	100 kHz
大於 1 GHz	1MHz

資料來源：ITU-R Radio Regulations volume2 [5]

在參照頻寬內的諧波發射可以表示為：

$$P_s = P - X_{dBc} \quad (2.2.11)$$

其中 P_s 是諧波發射功率最大允許值(dBW)， P 是發射功率(dBW)， X_{dBc} 是衰減值(dBc)。

在參照頻寬內的干擾鏈路預算可以表示為：

$$I = P_s + G_{tx} - L_p + G_{rx} - L_f \quad (2.2.12)$$

如表 2.4 的計算方式得到不同業務類別的衰減值後，由式(2.2.11)計算發射功率與衰減值的差值得到諧波發射功率最大允許值。

表 2.4 不同業務類別衰減值之計算

業務類別	衰減值 (dB)
除了以下業務外的所有業務	$X_{dBc} = \min\{43 + 10\log_{10}(P), 70 \text{ dBc}\}$
空間業務(Space services)	$X_{dBc} = \min\{43 + 10\log_{10}(P), 60 \text{ dBc}\}$
無線電測定	$X_{dBc} = \min\{43 + 10\log_{10}(PEP), 60 \text{ dB}\}$
廣播電視	$X_{dBc} = \min\{43 + 10\log_{10}(P), 60 \text{ dBc}\}$ ， VHF 站臺絕對平均功率位準不應超過 1 mW， UHF 絕對平均功率位準不應超過 12 mW
調頻廣播	$X_{dBc} = \min\{43 + 10\log_{10}(P), 70 \text{ dBc}\}$ ， 絕對平均功率位準不應超過 1 mW

資料來源：ITU-R Radio Regulations volume2 [5]

(四) 互調變干擾

交互調變失真是由於發射端或接收端的非線性元件所造成，互調變的結果是多倍或相加的頻率所產生，例如： $f = nf_1 \pm mf_2$ ，其中 f 為互調變頻率， f_1, f_2 為兩個訊號的頻率， n, m 為整數。互調變階數為 $|n| + |m|$ (正整數)。如圖 2.1 所示，三階交互調變失真因為具有較高的功率(例如： $2f_1 + f_2$ ， $2f_1 - f_2$ ， $f_1 + 2f_2$ ， $-f_1 + 2f_2$)，因此較容易造成干擾，其中 $2f_1 - f_2$ 和 $-f_1 + 2f_2$ 較接近發射頻率，兩個訊號較不容易經由濾波器濾除。

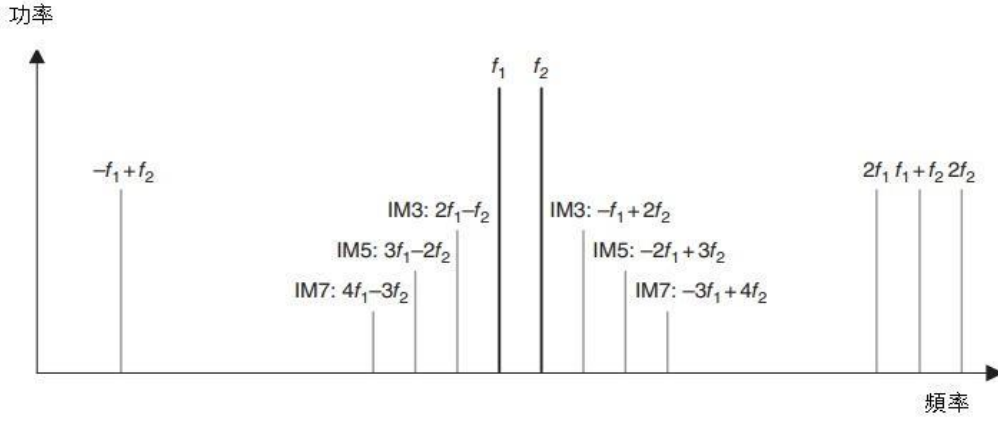


圖 2.1 互調變產物

資料來源：Interference Analysis Modelling Radio Systems for Spectrum Management[4]

交互調變失真可以分為發射端和接收端的互調變，發射端互調變干擾判別的方式[4]是計算發射端損失後的互調變產物功率值求得鏈路預算，根據其鏈路預算 I 及接收機互調變產物之頻寬上的雜訊(如第一小節同頻干擾之計算方式)計算兩者之間的差值 I/N 做為干擾判別的依據，若 I/N 高於閾值時，則認定為互調變干擾。發射端互調變產物的功率值的計算可以表示為：

$$P_{IM} = P_{TX} - A_C - A_I \quad (2.2.13)$$

其中 P_{IM} 是發射端互調變產物的功率值， P_{TX} 是兩發射訊號的功率， A_C 是兩訊號之間的耦合損失，即一個系統的發射功率與發射機輸出所測量的功率的比， A_I 是互調變轉換損失，即無用訊號與互調變產物位準的比。

其互調變產物的功率所計算的鏈路預算可以表示為：

$$I = P_{IM} + G_{tx} - L_p + G_{rx} - L_f + A_{MI} \quad (2.2.14)$$

其中 I 為互調變產物的功率所計算的鏈路預算， P_{IM} 為互調變產物的功率， G_{tx} 互調變產物的天線增益， L_p 為路徑損失， G_{rx} 為接收機的天線增益， L_f 為接收機的損失， A_{MI} 為掩模集成調整。

接收端互調變干擾判別的方式[4]是計算兩訊號的鏈路預算以求得接收端互調變後的訊號，根據接收端互調變後的訊號 P_{INO} 與接收機互調變產物之頻寬上的雜訊 N 計算兩者之間的差值 P_{INO}/N 做為干擾判別的依據，若差值超過規範閾值，則認定為互調變干擾。互調變後的訊號可以表示為：

$$P_{INO} = 2I_1 + I_2 - A_I \quad (2.2.15)$$

其中 P_{INO} 為接收端互調變後的訊號， I_1, I_2 分別為造成互調變產物 f_{INO} 的頻率 f_1, f_2 的鏈路預算(同發射端互調變之鏈路預算公式)， A_I 是互調變轉換損失，即無用訊號與交互調變產物位準的比。

三、干擾判別小結

依據頻譜管理手冊曾提及有用訊號往往受到的干擾大致可分同頻干擾、鄰頻干擾、諧波干擾、交互調變干擾等四種類型，因此在本章節已說明四種類型干擾判別的方法。而本研究團隊主要是透過估算干擾源訊號的鏈路預算來判斷在接收端所收到的干擾訊號強度，若超過其背景雜訊或是規範的上限值時，則認定此為干擾訊號，後續將以此做為建立干擾預警機制的想法。

第三節 依地域進行之無線電涵蓋評估機制

一、自由空間傳播損失模型(free space propagation loss model)：

自由空間傳播損失模型是無線電波傳播最簡易之模型。其中自由空間指的是不考慮任何衰減、任何阻擋及任何的傳播空間，且發射端與接收端天線之間是無任何物體阻礙電磁波的傳遞或是吸收、反射電磁波的能量。同時也假設大氣層是一個均勻且無吸收性的環境，且地表與傳播路徑之間的距離假設為無窮遠的情形。如此當傳送端與接收端之間，有直接傳播的路徑時，根據此路徑到達接收端的信號大小可以用自由空間的傳播模型來預測。在自由空間當中接收信號的功率大小如式(2.3.1) [7]

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (2.3.1)$$

其中 P_t 為發射功率， $P_r(d)$ 為接收功率， G_t 為發射天線增益， G_r 為接收天線增益， d 為傳送與接收端之距離， λ 為載波波長。 λ 與載波頻率關係為：

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.3.2)$$

此 f 為載波頻率、 c 為光速。由式(2.3.1)可得知接收訊號功率與距離的平方成反比關係，導致接收功率的衰減與距離是每十倍呈現 20dB 的衰減關係。式(2.3.1)與式(2.3.2)說明載波頻率與接收功率成反比，行動通訊系統在一定的服務範圍下需要謹慎選擇載波頻率以達到通訊品質。通常通訊品質是以分貝(dB)來表示，公式如式(2.3.3)所示[7]：

$$PL(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 10 \log \left[\frac{(4\pi d)^2}{G_t G_r \lambda^2} \right] \quad (2.3.3)$$

假設天線等向性且沒有方向性，則 $G_t = G_r = 1$ ，路徑損耗即可寫成下式

$$PL(dB)=10\log\frac{P_t}{P_r}=10\log\left[\frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2}\right] \quad (2.3.4)$$

二、Cost-231 Hata 模型

這是 Okumura Hata 模型擴展，屬於統計模型，為日本人 Okumura 於 1960 年代在日本東京市實地量測[18]。此模型適用於 1.5GHz 到 2GHz 的頻率，可接受天線高度為 10m，發射天線高度為 30 至 200m，這是用於量測城市環境中移動無線系統的路徑損耗[8]。然後原始模型適合用於都市(Urban)型態之環境，而後又再修正原本模型適合郊區(suburban)及鄉村空曠(rural or open)地區使用。模型如下：

$$\text{都市地區} \quad L_{dB}=A+B\log_{10}d-E \quad (2.3.5)$$

$$\text{郊區地區} \quad L_{dB}=A+B\log_{10}d-C \quad (2.3.6)$$

$$\text{鄉村及空曠地區} \quad L_{dB}=A+B\log_{10}d-D \quad (2.3.7)$$

其中

$$A=69.55=26.16\log_{10}f_c-13.82\log_{10}h_b \quad (2.3.8)$$

$$B=44.9=6.55\log_{10}h_b \quad (2.3.9)$$

$$C=(2\log_{10}(f_c/28))^2+5.4 \quad (2.3.10)$$

$$D=4.78(\log_{10}f_c)^2 - 18.33\log_{10}f_c+40.94 \quad (2.3.11)$$

$$E=\begin{cases} 3.2(\log_{10}(11.75h_m))^2 - 4.97 & \text{大型都市 } f_c \geq 300\text{MHz} \\ 8.29(\log_{10}(1.54h_m))^2 - 1.1 & \text{大型都市 } f_c \leq 300\text{MHz} \\ (1.11\log_{10}f_c - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}f_c - 0.8) & \text{中小型都市} \end{cases} \quad (2.3.12)$$

以下為參數之適用範圍[8]：

載波頻率： $150\text{MHz} \leq f_c \leq 1500\text{MHz}$ ，

發射天線高度： $30\text{m} \leq h_b \leq 200\text{m}$ ，

接收天線高度： $1\text{m} \leq h_m \leq 10\text{m}$ ，

發射及接收間之距離： $\text{km} \leq d \leq 30\text{km}$ 。

發射天線高度之定義為高於平均地表（約以發射臺為中心 3 至 10 公里）之高度。樓層平均高度在 15m 以上則歸為大型都市。之後，此模型再經 EURO-COST(The European Co-operative for Scientific and Technical research)組成 Cost-231 工作委員會修正以上之模型，使頻率範圍適用於 1500 MHz 至 2000 MHz。其模型為：

$$L_{dB}=F+B\log_{10}d-E+G \quad (2.3.13)$$

其中

$$F=46.3+33.9\log_{10}f_c-13.82\log_{10}h_b \quad (2.3.14)$$

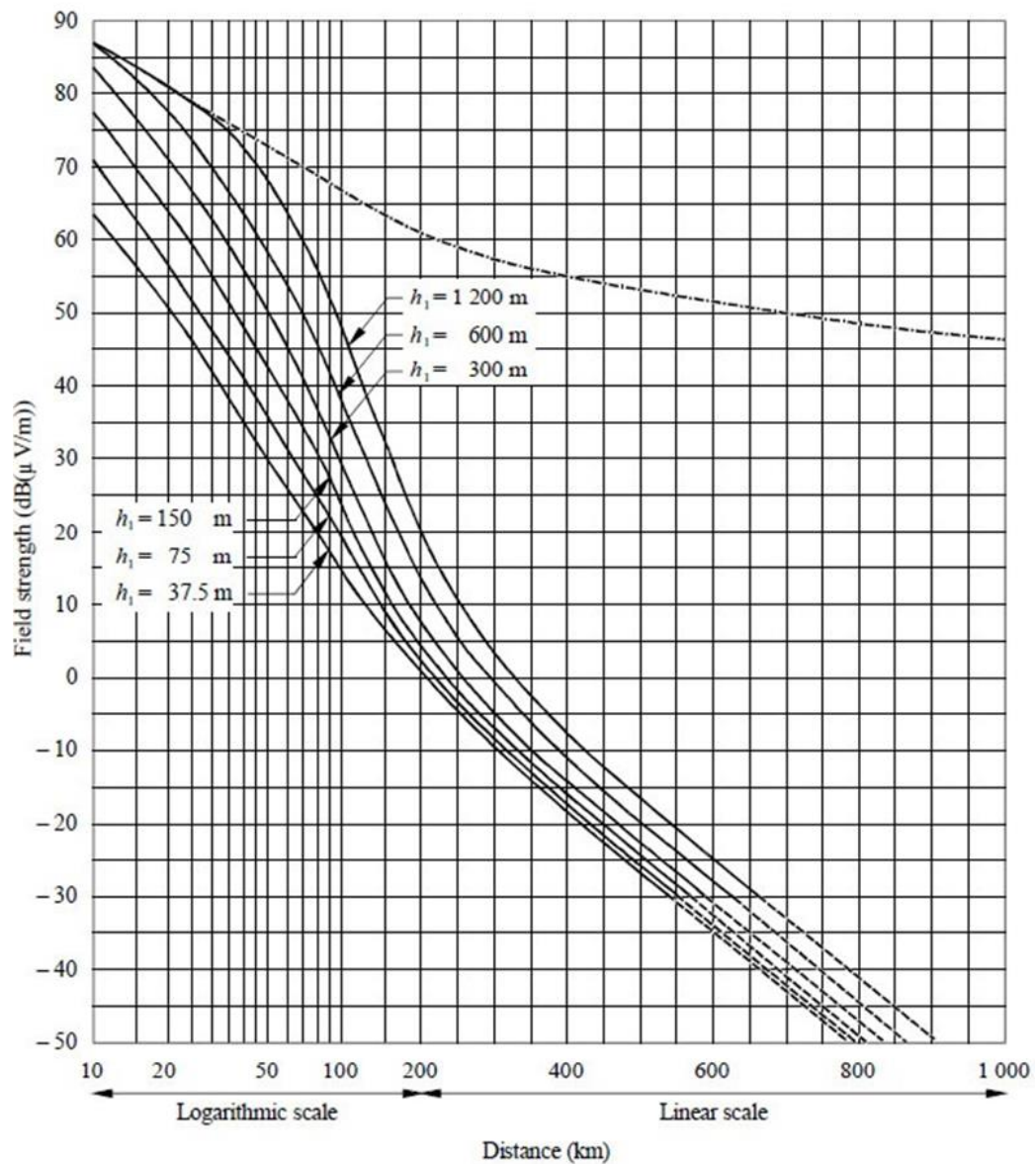
$$G=\begin{cases} 0dB & \text{中小型都市} \\ 3dB & \text{大型都市} \end{cases} \quad [8]$$

三、ITU-R P.370-7

ITU-R P.370-7 模型是對 30 MHz 至 1000 MHz 頻率範圍內地面業務點對面無線電傳播的預測方法做了說明。此用於有效發射天線高度小於 1200 公尺之環境，路徑長度在 10~1000 公里之間的陸地路徑與海面路徑上的對流層無線電電路。陸地路徑曲線主要是從歐洲和北美的溫帶氣候下所得到數據，海面路徑曲線主要從地中海和北海區域得到的數據[13]。

ITU-R P.370-7 模型中傳播曲線的頻率分別為 30MHz-250 MHz 和 450MHz-1000 MHz，在 1 kW 有效輻射功率(E.R.P.)場強值下，場強作為各種參數函數的曲線關係。某些曲線指明與陸地路徑參數間的關係，另一些曲線指明與海面路徑參數間的關係。而臺灣比較適合陸地路徑曲線，因此 ITU-R P.370-7 模型所採用的陸地路徑曲線如圖 2.2 和圖 2.3 所示。ITU-R P.370-7 傳播模型缺點是只考慮在 30 MHz 至 1,000 MHz 頻率範圍內，若要模擬 1,000MHz 以上的頻率，此傳播模型將不適用。

Field strength (dB(μ V/m)) for 1 kW e.r.p.



Frequency: 30-250 MHz (Bands I, II and III); land; 50% of the time;
50% of the locations; $h_2 = 10$ m; $\Delta h = 50$ m

----- Free space

圖 2.2 30MHz~250MHz 陸地面路徑曲線圖

資料來源：VHF AND UHF PROPAGATION CURVES FOR THE FREQUENCY RANGE FROM 30 MHz TO 1000 MHz [11]

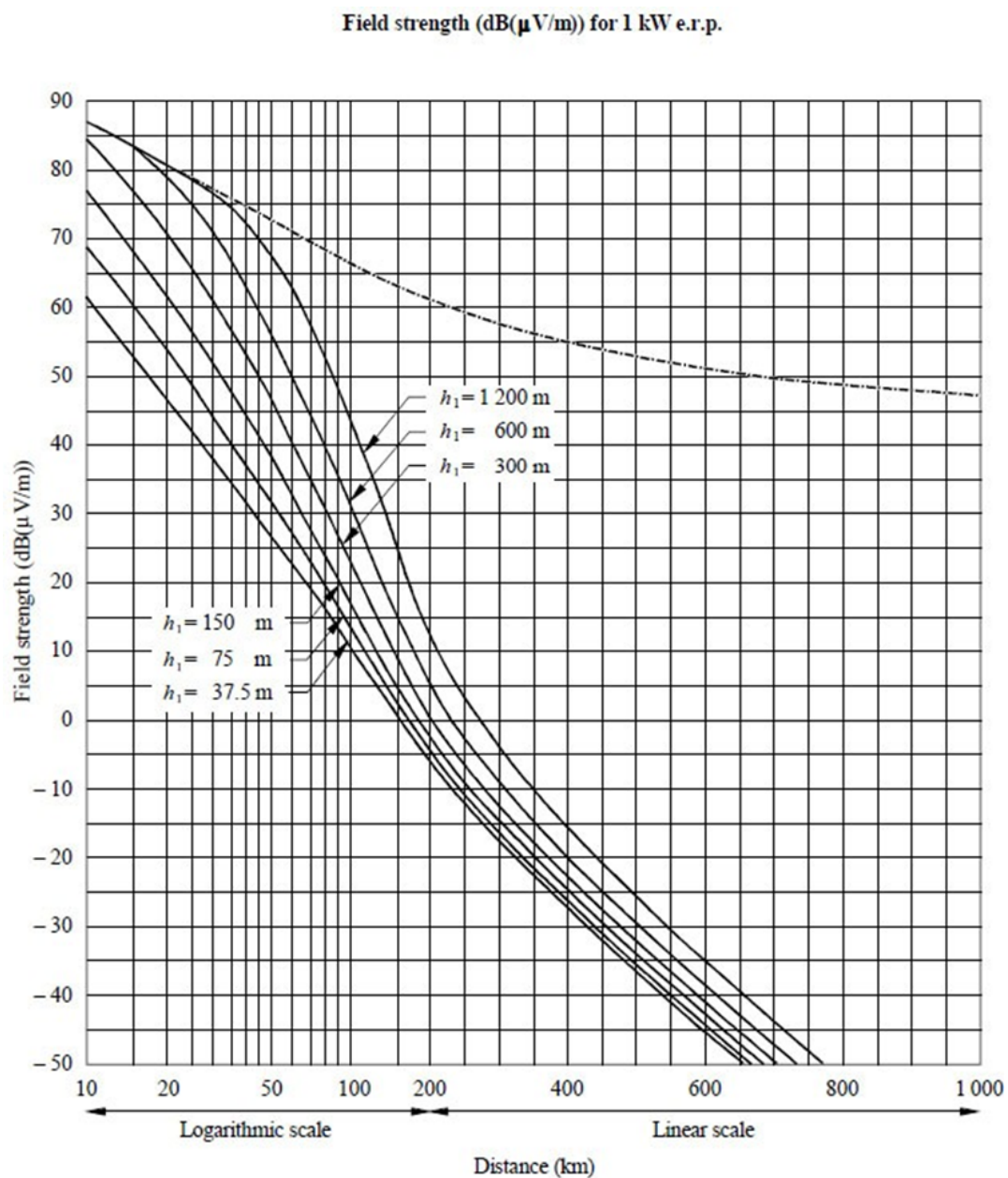


圖 2.3 450MHz~1000MHz 陸地面陸路徑曲線圖

資料來源：VHF AND UHF PROPAGATION CURVES FOR THE FREQUENCY RANGE FROM 30 MHz TO 1000 MHz [11]

四、ITU-R P.1546-4 模型

ITU-R P.1546-4 模型是由國際電信聯盟(International Telecommunication Union; ITU)在 2009 年 10 月發表。此模型針對 30 MHz 至 3,000 MHz 頻率範圍內地面業務點對面的無線電傳播預測方法，用於有效發射天線高度小於 3,000 公尺，路徑長度在 1~1000 公里之間的陸地、海面路徑或陸地與海面混合路徑上的對流層無線電電路。方法基礎為對經驗匯出場強之曲線進行內插法或外推法，場強之曲線為距離、天線高度、頻率和時間百分比的函數。此模型中還包括對上述的內插法或外推法所得的結果進行校正，便可考慮到地形淨空和建築物遮蔽這兩項影響因素[9]。

國際電信聯盟(ITU)考慮到在 VHF 和 UHF 頻段內規劃地面無線電通信業務時，對於執行在同頻道或鄰近頻道上的發射站而言，確定站點之間須間隔的最小距離，來避免因遠距離上對流層傳播造成的不可接受的干擾，此為重要考慮之事項。

ITU-R P.1546-4 模型中傳播曲線的頻率分別為 100 MHz、600 MHz 和 2000 MHz，在 1 kW 有效輻射功率(E.R.P.)場強值下，場強作為各種參數函數的曲線關係。此曲線為陸地路徑、海面路徑參數之間的關係。可應用所需頻率的場強值對應在頻率值 100 MHz、600 MHz 和 2000 MHz 的場強值間透過內插求得。頻率低於 100 MHz 或高於 2,000 MHz 時，必須將內插替換以從兩個靠近的頻率值上進行外推。對大多數路徑而言，可採用對於對數（距離）坐標做內插或外推，但在一些海面路徑的頻率低於 100 MHz 時，則必須採用另一種計算方法。

對於陸地路徑，以及對於所需頻率大於 100 MHz 的海面路徑，所需場強 E 的計算應採用下面的公式：

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(f/f_{inf}) / \log(f_{sup}/f_{inf}) \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad (2.3.15)$$

其中：

f：需做出場強預測的頻率 MHz

f_{inf} ：較低頻率(f<600 MHz 時為 100MHz，否則為 600MHz)。

f_{sup} ：較高頻率(f<600MHz 時為 600MHz，否則為 2,000MHz)。

E_{inf} ： f_{inf} 的場強值。

E_{sup} ： f_{sup} 的場強值。

必要時應限制在高於 2000MHz 頻率內從外推中得出的場強，以使它不超出(2.3.16)和(2.3.17)式的最大值。

$$E_{max}=E_{fs} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{對於陸地路徑} \quad (2.3.16)$$

$$E_{max}=E_{fs}+E_{se} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{對於海面路徑} \quad (2.3.17)$$

其中， E_{fs} 為 1kW 有效輻射功率的自由空間場強：

$$E_{fs}=106.9-20\log(d) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (2.3.18)$$

E_{se} 為海面曲線的增強值：

$$E_{se}=2.38\{1-\exp(-d/8.94)\}\log(50/t) \quad \text{dB} \quad (2.3.19)$$

其中：

d ：距離 (km)， t ：時間百分比。

對於所需頻率低於 100 MHz 的海面路徑，應採用一種近似值計算方法，它基於在 0.6 倍第一 Fresnel 區の間隔路徑長度內海面上完全無障礙物。對於給定的頻率和天線高度 h_1 與 h_2 ，在平坦、彎曲的地面上恰好達到 0.6 倍第一 Fresnel 區間隔的路徑長度，由下面式子近似表示：

$$D_{06}=\frac{D_f \times D_h}{D_f + D_h} \quad \text{km} \quad (2.3.20)$$

其中：

$$\begin{aligned} D_f &: \text{頻率依賴項} \\ &= 0.0000389fh_1h_2 \quad \text{km} \end{aligned} \quad (2.3.21)$$

$$\begin{aligned} D_h &: \text{由水平距離確定的漸近項} \\ &= 4.1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \text{km} \end{aligned} \quad (2.3.22)$$

f ：頻率(MHz)

h_1h_2 ：平坦地面上方的天線高度(m)

公式(2.3.20)-(2.3.22)中，必要時須限制 h_1 值，使它不小於零。而且，也須限制得到的 D_{06} 值，使它不小於 0.001 km。

如果下面的所有條件均滿足，應採用另一種方法。

- A. 路徑為海面路徑。
- B. 所需頻率低於 100MHz。
- C. 所需距離短於(2.3.20)式中給出的由 $D_{06}(600, h_1, 10)$ 表明的距離，在該距離上對於 600MHz 有 0.6 倍 Fresnel 間隔的海面路徑。

若上述之任一條件不被滿足，則應採用(2.3.15)式給出的規範的內插/外推方法。若上述之全部條件均滿足，則應按下面的公式計算所需場強 E ：

$$\begin{aligned} E &= E_{max} \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \text{ 對於 } d \leq d_f \\ &= E_{df} + (E_{d_{600}} - E_{df}) \log(d/d_f) / \log(d_{600}/d_f) \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \end{aligned} \quad (2.3.23)$$

其中：

E_{max} ：(2.3.16)和(2.3.17)式內規定的所需距離上的最大場強。

E_{df} ：(2.3.16)和(2.3.17)式內規定的距離 d_f 上的最大場強。

d_{600} ：按(2.3.20)式中給出的 $D_{06}(600, h_1, 10)$ 計算出的 0.6 倍 Fresnel 間隔的路徑距離。

d_f ：按(2.3.20)式中給出的 $D_{06}(f, h_1, 10)$ 計算出的在所需頻率上 0.6 倍 Fresnel 間隔的路徑距離。

$E_{d_{600}}$ ：應用(2.3.15)式計算出距離在 d_{600} 處所需頻率上的場強。

這些曲線所依據的測量數據主要關聯到溫帶區域內的平均氣候條件，包含冷海和暖海，例如北海和地中海。陸地路徑曲線主要是從歐洲和北美存在的溫帶氣候下得到的數據中整理出的。海面路徑曲線主要是從地中海和北海區域得到的數據中整理出的。廣泛的研究表明，在與熱海交界的某些超折射率地域內，傳播情況顯著地不同。然而，在場強曲線之間進行內插和外推的方法是通用的。所以，如果有不同氣候下的曲線，它們各顯示出不同的主要電波傳播條件，則應用 ITU-R P.1546-4 內可找到的方法能獲得這些區域內精確的電波傳播特性。而本研究案所參考的曲線圖為陸地路徑曲線，分別為 100MHz、600 MHz 和 2,000MHz，如圖 2.4～圖 2.6 所示。

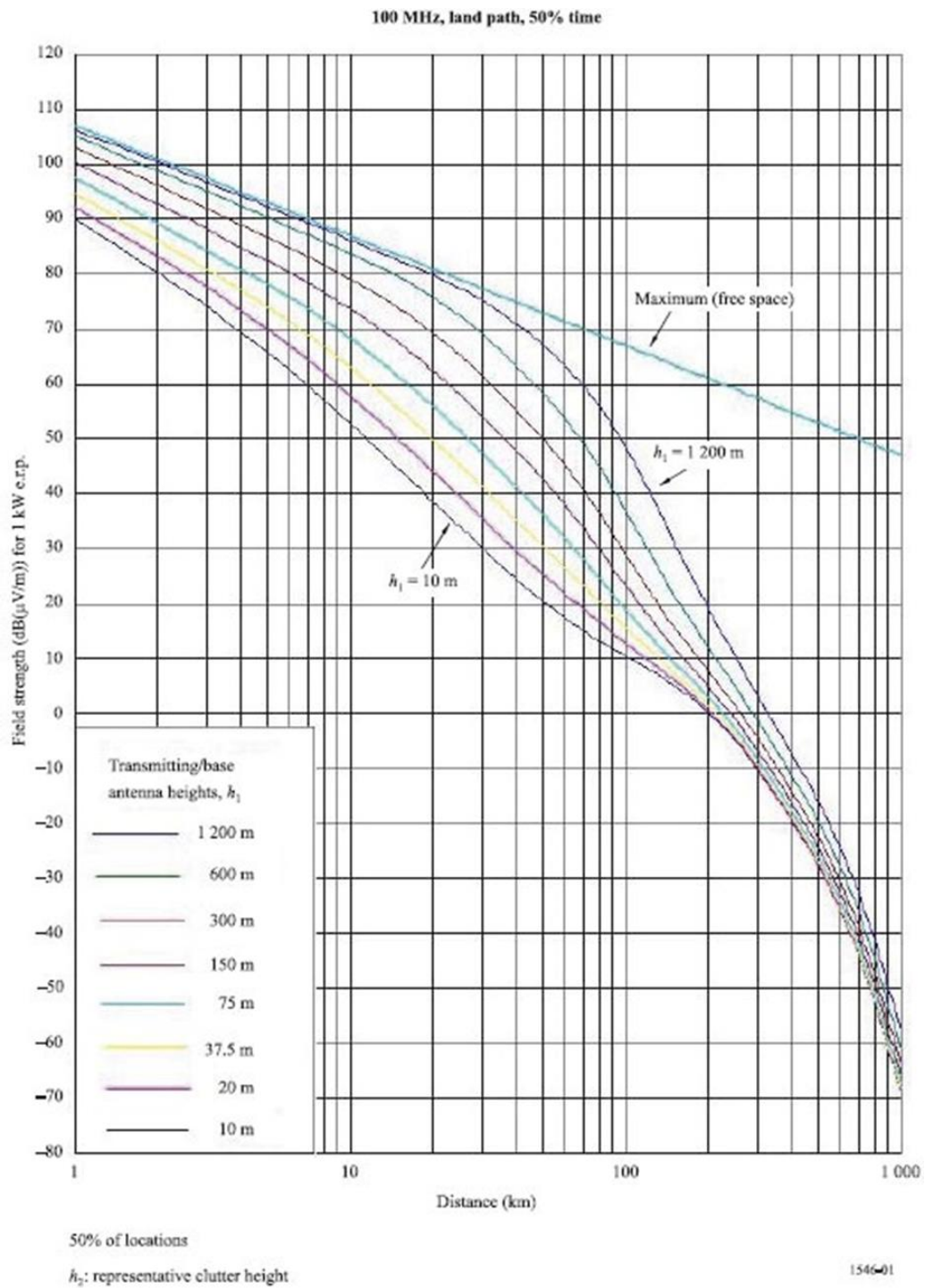


圖 2.4 100MHz 陸地面路徑曲線圖

資料來源：ITU-R P.1546-4 建議書

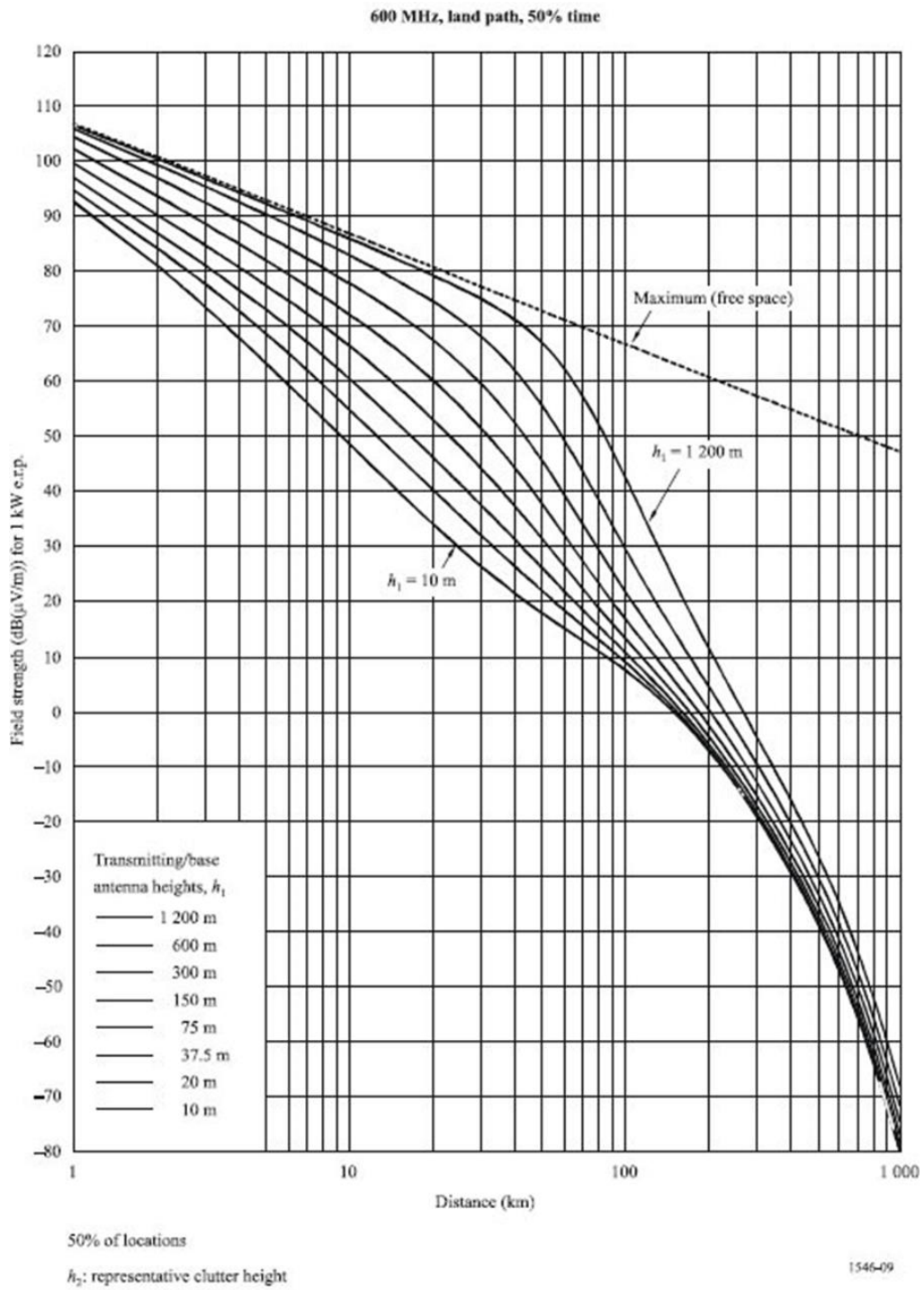


圖 2.5 600MHz 陸地面路徑曲線圖

資料來源：ITU-R P.1546-4 建議書

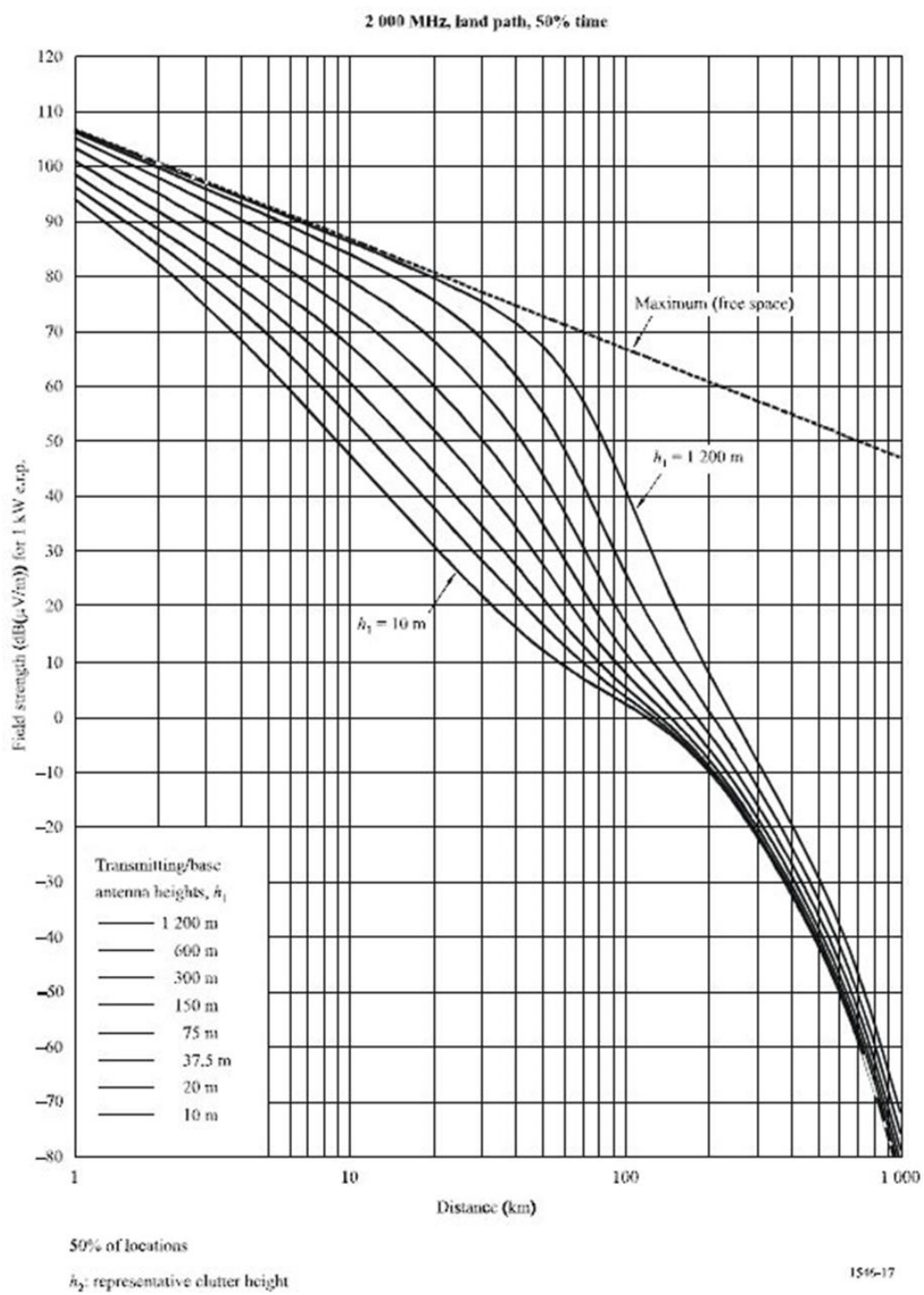


圖 2.6 2,000MHz 陸地面路徑曲線圖

資料來源：ITU-R P.1546-4 建議書

五、ITU-R P.1546-6 模型[10]

ITU-R P.1546-6 模型發表日為 2019 年 8 月。此模型針對 30 MHz 至 4,000 MHz 頻率範圍內地面業務點對面無線電傳播的預測方法做了說明。此用於有效發射天線高度小於 3,000 公尺，路徑長度在 1~1,000 公里之間的陸地路徑、海面路徑或陸地與海面混合路徑上的對流層無線電電路。傳播曲線表明在不同頻率，固定有效發射功率場強值下，場強作為各種參數函數的曲線關係(x 軸為距離，y 軸為場強，h 為天線高度)。在陸地路徑、海面路徑及不同的氣候條件下期其傳播情況也有所不同。

- 針對 100MHz 的場強與距離函數關係的曲線可以應用於 30MHz 至 300MHz 頻率範圍內。
- 針對 600MHz 的場強與距離函數關係的曲線可以應用於 300MHz 至 1,000MHz 頻率範圍內。
- 針對 2,000MHz 的場強與距離函數關係的曲線可以應用於 1,000MHz 至 4,000MHz 頻率範圍內。

六、ITM 模型[19]

又稱 Longley-Rice model，由科學家 Anita Longley 和 Phil Rice 為當時美國電視廣播頻率規劃需求所創造，適用於 20MHz 至 20GHz 頻率以及 1km 至 2000km 之間的無線電傳播模型，基於電磁理論和地形特徵，使用模型參數與路徑參數，來預測無線電訊號作為距離函數的中位數衰減及訊號在時間和空間的變異性。此模型具有兩種操作模式：分別為區域模式及 PTP 模式。其中區域模式用於在不確定地形環境下使用，使用環境參數來計算路徑損失。而 PTP 模式則是會依據輸入的發射器與接收器的經緯度去連結地形檔案，使用環境參數與地形參數來計算路徑損失。

此模型參數：

- 頻率適用頻率範圍為 20 MHz 至 20 GHz。
- 有效輻射功率根據使用者需求輸入轉換為不同單位，例如：W、mW、kW、dBW、dBm、dBk。
- 天線的種類，若未指定則假設為全向性。
- 天線在海拔地面之上的高度，單位必須為公尺或英吋。
- 極化方向必須是水平或是垂直。
- 大氣的折射性，以 N(百萬分之一)為單位，普遍範圍落在 250N 至 400N。

平均大氣條件下為 301N。

- 介電常數為地面之介電係數，以 ϵ 表示。
- 導電率為地面土壤之導電性，以西門子每公尺表示。

表 2.5 不同介質之介電係數與導電率

	介電係數	導電率(S/m)
一般地面	15	5
導電性較差地面	4	1
導電性良好地面	25	20
淡水	81	10
海水	81	5000

資料來源：Notes on Longley-Rice Propagation [19]

- 氣候區以代號表示氣候區

表 2.6 不同地區之代號表

代 號	地 區
1	赤道
2	亞熱帶
3	海洋亞熱帶
4	沙漠
5	大陸性氣候
6	海洋性氣候(陸地)
7	海洋性氣候(海上)

資料來源：Notes on Longley-Rice Propagation [19]

路徑參數包括：

- 有效天線高度，為天線與地面高度之距離
- 仰角和地平線距離，為每個天線於地平線相對於水平線被壓低的角度。這個角度是通過使用地形剖面來計算的。
- 地形不規則性，首先畫一條直線，利用地形剖面跟線的呈現的高度差，評估地形的不規則性。
- 參考衰減，為了估計相對於空白空間的傳輸損失，此模型使用生成的地平線距離和海拔高度。

此模型的一項重要優點於能夠考慮到更多不同的參數，讓使用者面對自己的需求時能夠做適應性調整，也使它可以更廣泛地應用在各個地方。

七、使用開源軟體“Radio Mobile” 進行傳播模擬演示

Step 1. 建立帳號

至 https://www.ve2dbe.com/rmonline_s.asp，並依照流程建立帳號。



圖 2.7 建立帳號

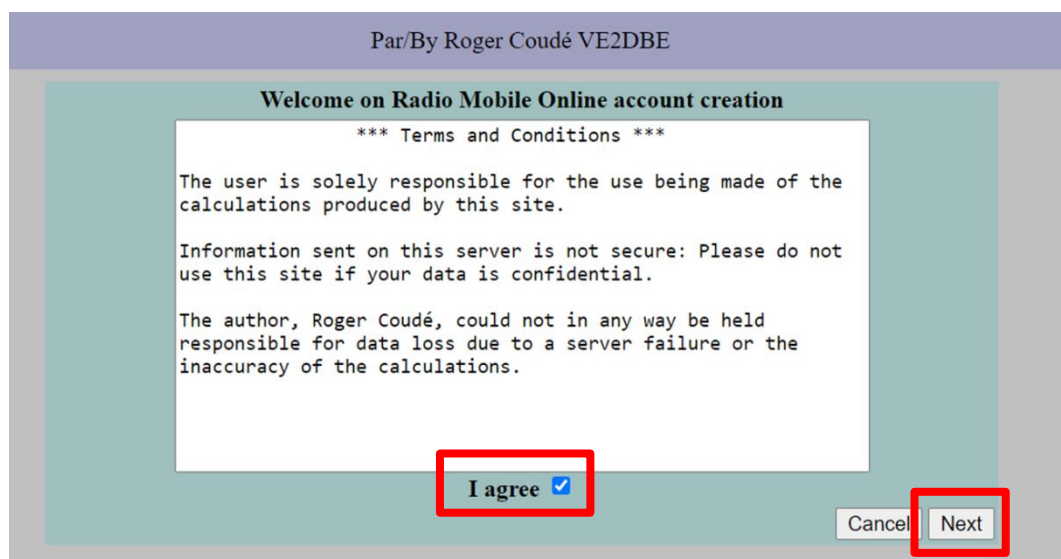


圖 2.8 同意用戶條款

Enter a short user name (Example: ve2dbe)

Cancel Next

圖 2.9 輸入用戶名稱

sam629

Enter the Email address where you want to get your password

Cancel Next

圖 2.10 輸入用戶電子郵件

sam629

Enter a valid Email address where you want to receive your password

Cancel Next

圖 2.11 再次輸入用戶電子郵件

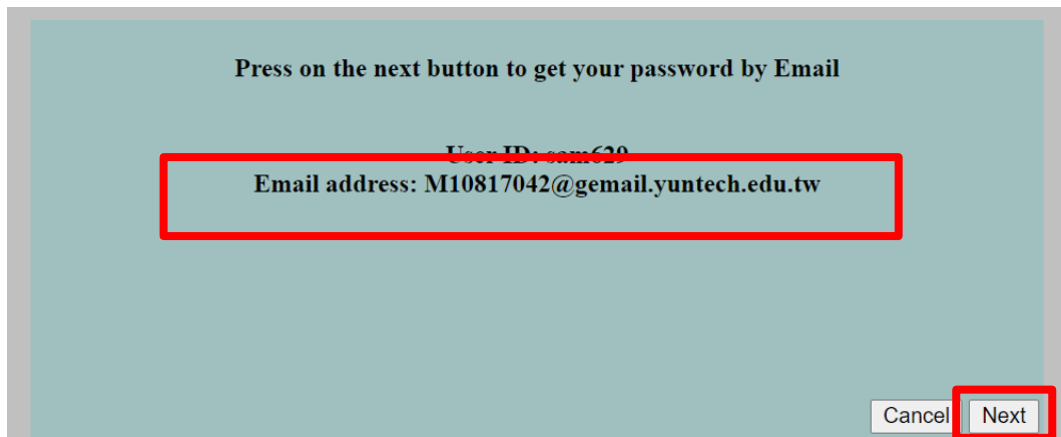


圖 2.12 顯示用戶名稱與電子郵件位址

Step 2.至信箱拿取帳號資訊

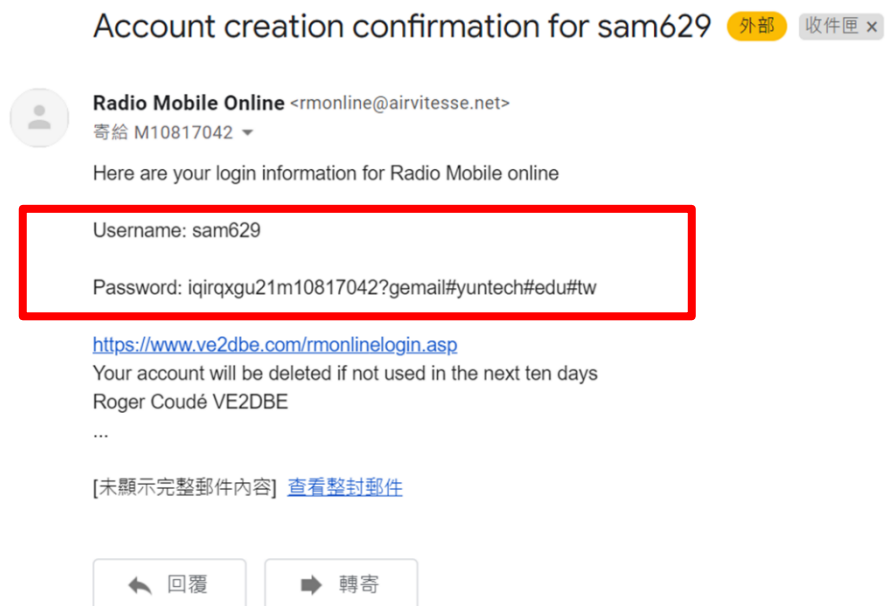


圖 2.13 郵件內容

Step 3.登入

登入成功後看到主選單，紅色為站點位置相關功能，藍色為連結相關功能，綠色為訊號覆蓋範圍相關功能，灰色為天線相關功能。

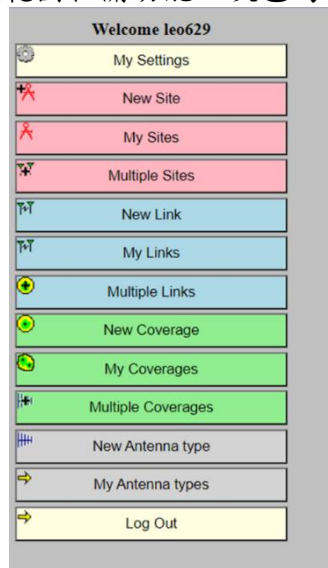


圖 2.14 主選單

Step 4.新增站臺位置

模擬訊號覆蓋範圍前必須先設定站點位置，填入經緯度。(註：可透過 Google Map 取得)

The image shows a form titled "New Site" with a red antenna icon. It contains several input fields: "Locate" (a button), "Latitude" (25.01971993), "Longitude" (121.73822324), "Zoom" (14), "Name" (New Site 4), "Elevation (m)" (366.5), "Description" (empty), and "Group" (empty). At the bottom are two buttons: "Add to My Sites" and "Cancel".

圖 2.15 位置資訊

Step 5.設定站臺的參數

有了位置後至 New Coverage 設定參數並模擬訊號覆蓋結果。

參數簡介：

Antenna Height：站臺的天線高度。

Antenna Type：天線類型。

Antenna gain：為單位的移動天線增益。

Frequency(MHz)：設定頻率。

TX power(Watts)：發射器的發射功率。

TX line loss(dB)：發射器和天線之間的佈線和濾波器的額外損耗。

Strong Signal Margin(dB)：這是滿足 EX 閾值的最小信號之上的餘量。

Maximum range(Km)：Radio Mobile Online 進行路徑損耗計算的最大距離。
範圍是預設的，可以通過下拉選單進行選擇。

 **New Coverage**

Centre Site

1

Antenna Height (m above ground)

2

6.56 ft

Antenna Type

Omni

Antenna Azimuth (°)

0

Antenna Tilt (°)

0

Antenna Gain (dBi)

6

Mobile Antenna Height (m)

2

6.56 ft

Mobile Antenna Gain (dBi)

2

Description

Frequency (MHz)

146

Tx power (Watts)

20

43.01 dBm

Tx line loss (dB)

3

Rx line loss (dB)

0.5

Rx threshold (μV)

0.5

-113.02 dBm

Required reliability (%)

70

Strong Signal Margin (dB)

10

Strong Signal Color

Weak Signal Color

Opacity (%)

50

Maximum range (km)

100

62.1371 mi

Rendering

Low resolution (Fast)

Use land cover

☒

Use two rays

☒

Define as default values

Restore original values

Submit

Cancel

圖 2.16 參數設定頁面

以臺北市北區站的訊號涵蓋範圍模擬其模擬結果如下：

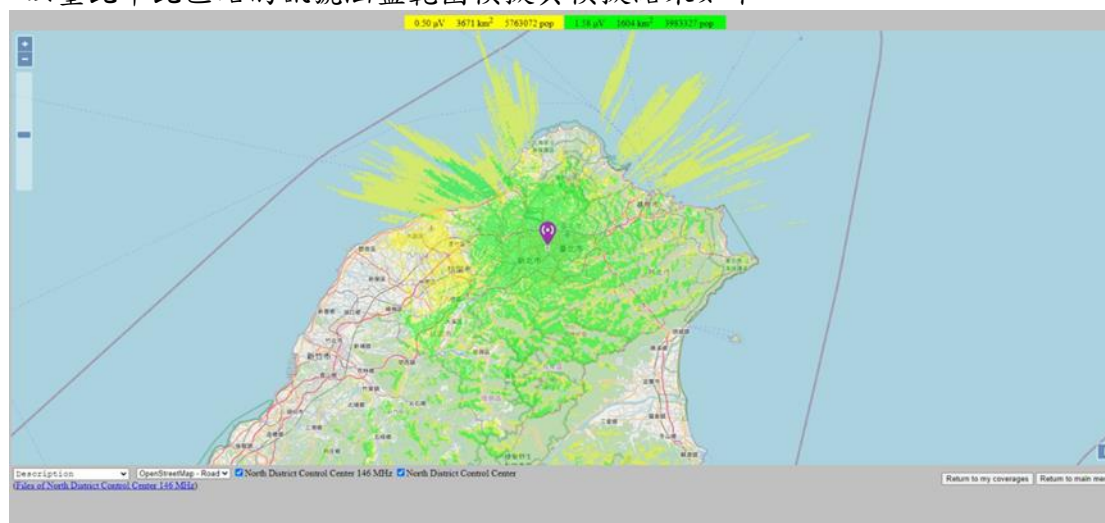


圖 2.17 臺北市北區站結果圖

北(次格山)中(大肚山)南(茄苳)東(馬蘭)站臺強度模擬結果，相關參數設定如下。

表 2.7 結果之參數設置值

	頻率 (MHz)	塔高(m)	天線增益 (dBi)	發射端功 率(w)	發射端路 徑損失 (dB)
次格山	445	42	8	2	20
大肚山	445	35	8	2	35
茄苳	445	24	8	2	35
馬蘭	445	37.5	8	2	40



圖 2.18 結果圖

八、無線電涵蓋評估機制小結

本研究計畫是評估自由空間傳播損失模型、Cost-231 Hata 模型、ITU-R P.370-7、ITU-R P.1546-4、ITU-R P.1546-6 及 ITM 模型。在自由空間傳播模型損失是不考慮地勢高度及天線高度，而 Cost-231 Hata 模型雖不考慮地勢高度，但是有考慮到天線高度。所以電波監測站臺計算的涵蓋範圍結果都是呈現完整的圓弧形，隨著圓半徑的增加所需的發射訊號強度也會跟著增強。可是臺灣地形卻是高底起伏很大，使得自由空間傳播損失模型和 Cost-231 Hata 模型不適合應用於臺灣地形使用。

在 ITU-R P.370-7、ITU-R P.1546-4 及 ITU-R P.1546-6 模型都需要考慮地勢高度與天線架設的高度，所以依據每電波監測站臺的所在高度位置，其涵蓋範圍是呈現多邊形狀。本團隊研議發現，其能覆蓋地勢較低的區域，但較無法涵蓋地勢高的區域，根據地勢的變化其涵蓋範圍通常是幾十公里到幾百公里。可是 ITU-R P.370-7 傳播模型缺點是只考慮頻率在 30 MHz 至 1,000 MHz 範圍內，若使用頻率在 30MHz 以下或 1,000MHz 以上時，則此傳播模型不適用。而 ITU-R P.1546-4 模型的頻率範圍是 30MHz 至 3,000MHz，若要頻率 30MHz 以下或 3000MHz 以上，可採用內插法或外推法求得。本研究團隊比較 ITU-R P.1546-4 模型跟 ITU-R P.1546-6 模型後，其差異在於後者將所使用的頻率範圍修正為 30MHz 至 4,000MHz，以及雜波屏蔽發射/基站天線、基於對流層散射的修正、天線高度差異的修正、小於 1 公里的水平距其餘條件都與 ITU-R P.1546-4 相似。

本研究計劃最後採用 ITM 模型來模擬電波涵蓋範圍，主要原因有五項說明如下：

1. 具有兩種操作模式可供選擇，其中區域模式可用於不確定之地形環境。
2. 適用的頻率範圍較為廣泛。
3. 可模擬的距離範圍較遠。
4. 計算中考慮到不同之環境材質。
5. 考慮到各種不同氣候的環境因素。

基於上述五項，本研究團隊使用 ITM 模型來模擬臺灣地形氣候條件下電波傳播之涵蓋範圍。

表 2.8 傳播模型比較表

傳播模型	頻率	有效發射 天線高度	路徑長度
自由空間模型	N/A	N/A	N/A
Cost-231 Hata 模型	1.5GHz~ 2GHz	30m~200m	N/A
ITU-R P.370-7 模型	30MHz~ 1,000MHz	< 1,200m	10km~ 1,000km
ITU-R P.1546-6 模型	30MHz~ 4,000MHz	< 3,000m	1km~1,000km
ITM 模型	20MHz~ 20GHz	< 3,000m	1km~2,000km

資料來源：本研究整理

第三章 監測系統產生之監測數據蒐集、盤點及分析

就通傳會電波監測系統所產生之監測數據，進行蒐集、盤點及分析，並依據其結果提出分析報告如下：

第一節 評估並選擇合適之電波監測站

依據 110 年 6 月 10 日所取得的資料，包括全國各監測點之行動通訊、數位電視、業餘無線電、飛航頻道及廣播電臺等頻段及其相關電場強度。經過本研究團隊針對電波監測站所獲得的場強資料作分析探討，各頻段監測站考量依據說明如下：

- (一)考量針對業餘無線電、飛航頻道等，具有顯著訊號源之監測站點。
- (二)考量其監測站地點之特殊功能及區域性，如：靠近機場附近或具代表性之都會區。
- (三)考量其監測站地理涵蓋可能訊號源之特殊性，如：監測涵蓋範圍較廣泛。
- (四)考量目前已收集之監測站資料數據，在分析過程中已經發現特殊或異常資訊。

綜合上述依據說明，本研究團隊針對各頻段之合適電波監測站點資訊如下：

- (一)行動通訊：基隆市基隆站、臺北市北區站、花蓮市廣東街站、臺中市豐原站、金門縣金城站、高雄市茄萣站。
- (二)數位電視：基隆市基隆站、臺北市北區站、花蓮市廣東街站、臺中市豐原站、金門縣金城站、高雄市茄萣站。
- (三)業餘無線電：基隆市基隆站、臺北市北區站、新北市大棟山、花蓮市廣東街站、臺中市豐原站、金門縣金城站、高雄市茄萣站。
- (四)飛航頻道：松山機場、桃園機場、花蓮助航臺、臺南機場、高雄機場、澎湖機場。
- (五)廣播電臺：松山機場、桃園機場、花蓮助航臺、臺南機場、高雄機場、澎湖機場。

表 3.1 選擇站臺

業務/站臺	站臺 1	站臺 2	站臺 3	站臺 4	站臺 5	站臺 6	站臺 7
行動通訊	基隆市 基隆站	臺北市 北區站	花蓮市 廣東街 站	臺中市 豐原站	金門縣 金城站	高雄市茄 萣站	

業務/站臺	站臺 1	站臺 2	站臺 3	站臺 4	站臺 5	站臺 6	站臺 7
數位電視	基隆市 基隆站	臺北市 北區站	花蓮市 廣東街 站	臺中市 豐原站	金門縣 金城站	高雄市茄 荖站	
業餘無線電	基隆市 基隆站	臺北市 區站站	新北市 大棟山 站	花蓮市 廣東街 站	臺中市 豐原站	金門縣金 城站	高雄市 茄荖站
飛航頻道	松山 機場站	桃園 機場站	高雄 機場站	臺南 機場站	澎湖 機場站	花蓮 助航臺站	
廣播頻道	松山 機場站	桃園 機場站	高雄 機場站	臺南 機場站	澎湖 機場站	花蓮 助航臺站	

資料來源：本研究整理

經過本研究團隊基於所蒐集的電波訊號場強資料及依據頻譜管理系統手冊之建議模擬結果，再透過業務性質分為五大類：行動通訊、數位電視、業餘無線電、飛航頻道及廣播頻道之需求，並以臺灣北中南東四方向作為選擇監測站臺之依據。其中對於飛航頻道及廣播頻道，分別選擇：松山機場、桃園機場、臺南機場、花蓮助航臺作為四方向之代表。對於行動通訊、數位電視以及業餘無線電站臺，則是選擇：基隆、廣東街、豐原以及茄荖作為四方向之代表。除此之外，本研究團隊還考量檢測站臺所處地區之特殊情況，也提出數項特殊情況作為站臺選擇之依據。

(一) 離島地區

於行動通訊、數位電視及業餘無線電之業務，額外選擇金城監測站做為離島代表，就飛航及廣播頻道則選擇澎湖機場做為離島代表。

(二) 山區

考量業餘無線電於山地區之特殊地形，本研究團隊多選擇大棟山監測站臺作為山區之分析對象。

(三) 國際機場

考量飛航業務部分站臺應為國際機場以及該站點的流通人口眾多。因此本研究團隊選擇高雄機場以及桃園機場作為該特殊情況之代表。

(四) 頻段使用程度

考量臺北市北區站地區為臺灣人口較為集中之地區，換言之該地區頻譜使用率也是較高且變動程度較大。因此本次研究計畫中，也將此地區之站臺列為分析對象之一。

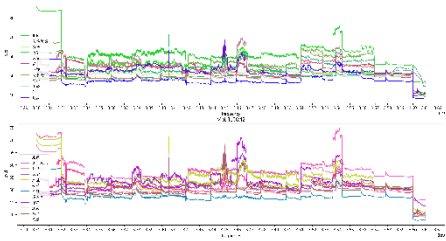
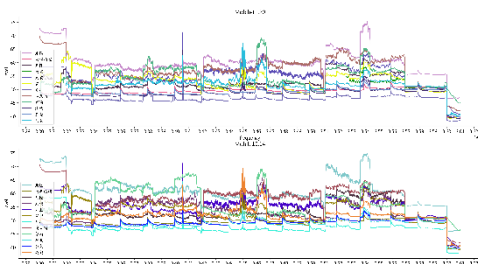
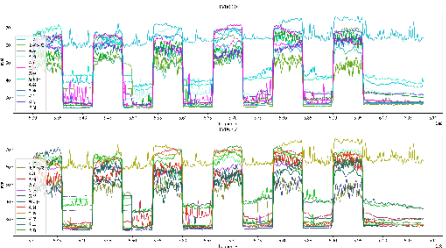
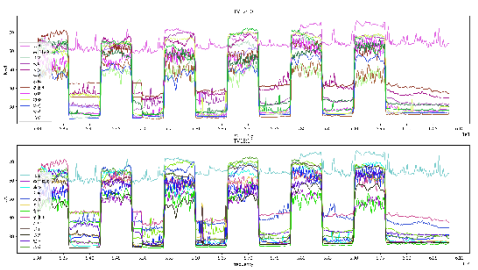
整理出欲選擇之站臺及其選擇原因與擬選擇站臺如表 3.1 選擇站臺表示。緊接著，就基於上述考量因素進行站臺選擇，並於下一章節進行系統檢測及分析其相關特性。

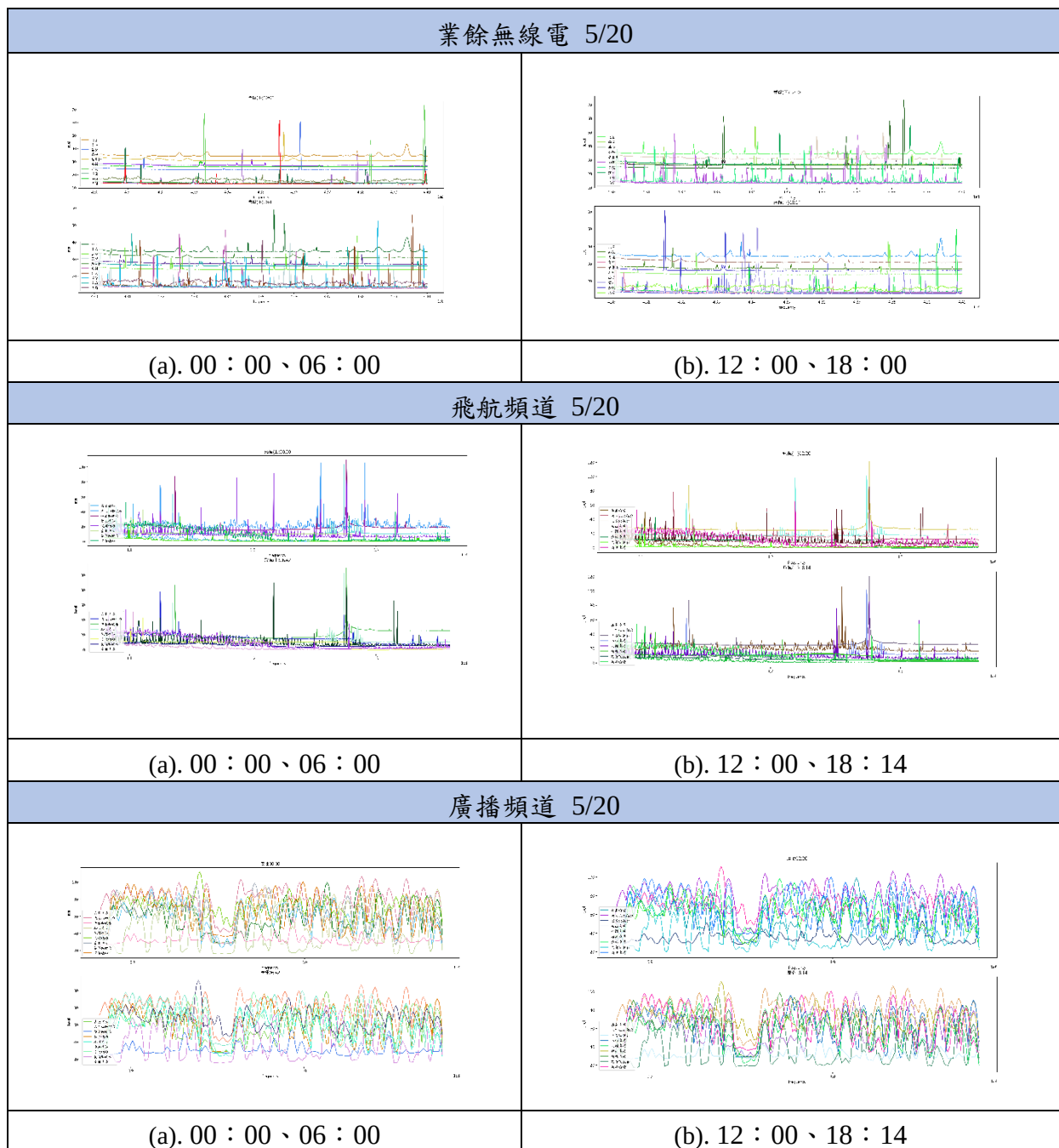
第二節 監測數據分析

一、監測數據之蒐集盤點

此章節中，本計畫將透過所擁有之頻譜資料進行資料彙整並輸出各地區於每天中四個時間點之頻譜圖，並於表 3.2 呈現不同業務之各地區於特定一天之中四個時段之頻譜圖。

表 3.2 各業務及各地區於單一時間點之頻譜圖

行動業務 5/9	
	
(a). 00 : 00、06 : 00	(b). 12 : 00、18 : 14
數位電視 5/9	
	
(a). 00 : 00、06 : 00	(a). 12 : 00、18 : 14



資料來源：本研究整理

二、電波監測蒐集數據之處理

研析所提供的電波資訊後，本計畫擬提出的檢測系統流程如圖 3.1 所示，其相關執行步驟說明如下：

步驟一：接收檢測檔案

系統進行檢測前，須接收由系統使用者上傳之站臺接收檔案(此處檔案數

量可能為一周或以上)，接收後並設定電波檢測資料(如：站臺地名、服務業務、檢測檔案之日期及時間點等等)。

步驟二：檢測資料彙整

當欲檢測之檔案就緒後，系統內部會將其依日期、時間及頻段自動分類，並透過一對應式資料結構進行存放，以便往後系統內部使用。

步驟三：分別計算對應時段之場強平均值及標準差

首先系統將透過先前載入之多個電波檢測資料(以下統稱電波整體資料)，並計算出各個頻段於不同天之場強值之標準差以及場強平均值。透過場強值之標準差進行第一次過篩，將高標準差之頻段加入關切頻段並將設定其異常等級為一。

步驟四：分析待檢測的電波數據資料

載入單個關切電波檢測資料(以下統稱檢測資料)，並依照步驟二進行該檢測資料之彙整。

步驟五：比較待檢測資料場強值是否超出閾值

將步驟三得出場強值之平均值作為閾值，與現有資料之關切頻段之場強值進行比對，並判斷該值是否已超出平均值，若高於則增加該關切頻段之權重值，用以表示其嚴重性並將危害進行分級，並於此設定該頻段之異常等級為二。

步驟六：異常波段之使用率分析

計算等級二之關切頻段於檢測日期範圍內每一天之佔用率，然後透過該值得之佔用率之趨勢。得出異常頻段趨勢後，本系統將此類頻段之異常程度與其於關切名單之權重值設定為三。

步驟七：圖像繪製

關切頻段之佔用率計算完畢後，本系統將繪製上述計算之結果圖(如圖 3.3)所示，其中包含：場強頻譜圖、標準差頻譜圖、平均值頻譜圖、佔用率頻譜圖以及頻譜瀑布圖。以上圖形中，場強頻譜圖、標準差頻譜圖以及平均值頻譜圖以頻率作為圖形橫軸單位皆為 MHz，縱軸則以 dB μ V/m 作為場強值單位。佔用率頻譜圖之橫軸則與上述三種圖形一致，不同之處在於此圖形以百分比為縱軸單位。最後於頻譜瀑布圖中，是以一天中各個時間點作為縱軸，其橫軸則以 MHz 作為單位。

步驟八：判斷異常訊號

透過上述計算所得之關切頻段使用率判斷該頻段使用率是否有逐漸改善

之行為亦或是逐漸惡化。同時依照關切頻段使用情形進行危害分級，也就是依照其使用率之趨勢及高低依序分為綠、黃及紅三種危害指標，分別代表著危害程度由低至高。

步驟九：告警機制

本系統檢測完畢後，會將檢測異常之結果作為告警訊息，可作為後續告警改善之參考。

步驟十：資料備份及記錄

告警完畢後，系統將此次檢測計算之結果與圖形儲存至系統資料庫中，經人工判斷異常是否為干擾後，將判斷結果回傳至系統，將判斷結果回傳至系統，由本系統降低其於關切名單中之權重值，並於下次檢測中進行下一循環(如步驟十)。緊接著，本研究團隊將以臺北市北區站行動通訊業務範例做圖像分析，並於第四章以實際案例進行詳細說明。

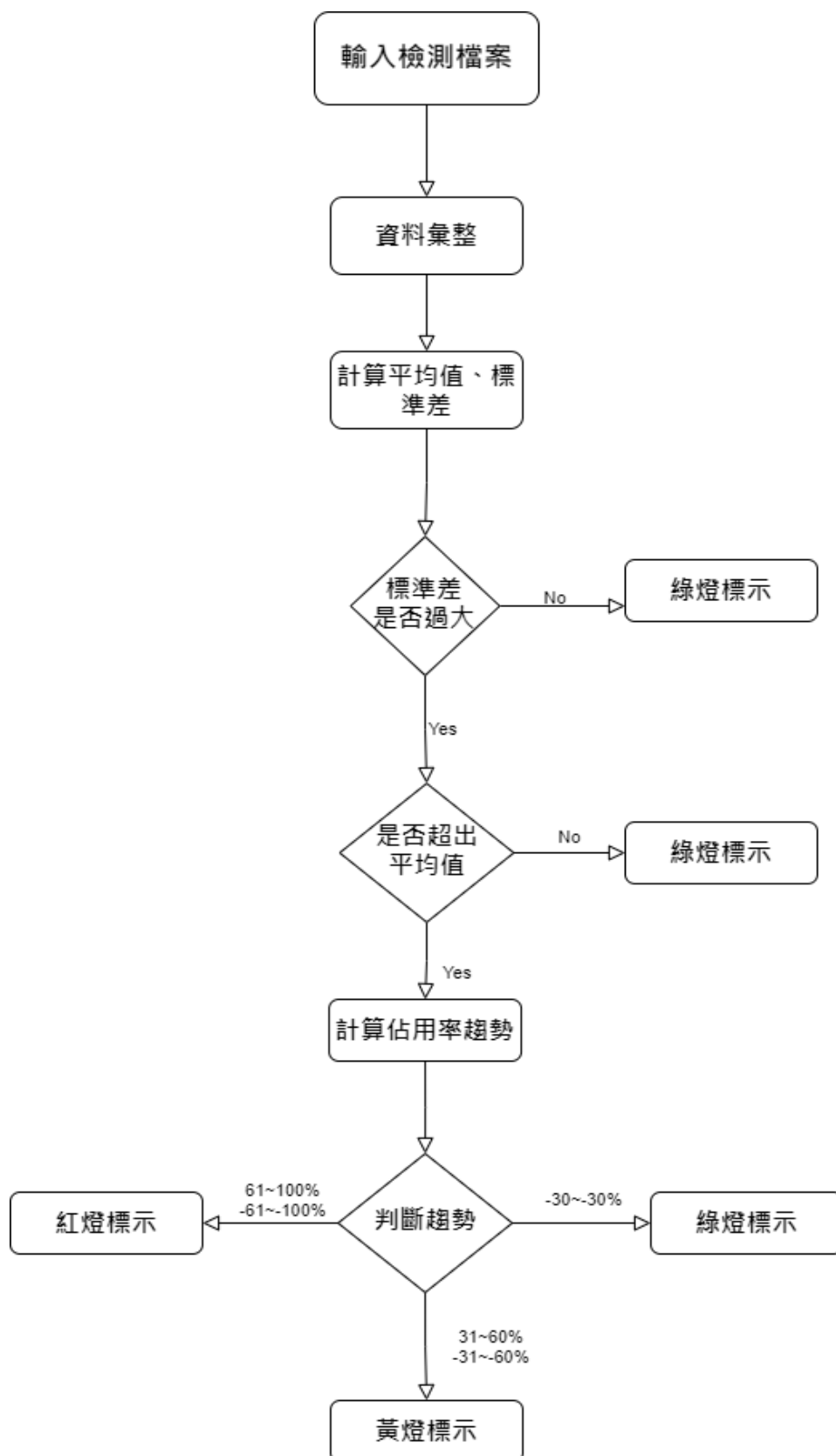


圖 3.1 檢測系統流程圖

資料來源：本研究整理

三、頻譜利用率分析

檢測系統-實際案例

在本章節中，我們依據所取得之不同日期、時段及不同頻段的監測場強資料做一分析與探討。在此以臺北市北區站所得資料為例，分析步驟說明如下：

步驟一：以某一日期及某一時間點來做分析，如圖 3.2 為臺北市北區站 05/07 17：00 頻譜圖。

步驟二：以連續日期及某一時段來做分析，就如圖 3.3(a)為臺北市北區站 (04/23~05/09)17：00 之頻譜圖。

步驟三：選擇連續日期之特定時段來計算其平均值，就如圖 3.3(b)為臺北市北區站 (04/23~05/09)17：00 之頻譜圖中所示。

步驟四：若將連續日期及某一時段來做分析其標準差時，就如圖 3.3(c)為臺北市北區站 (04/23~05/09) 17：00 之頻譜圖中所示。而標準差的定義如公式(3.2.1)所示，

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N} - \mu^2} \quad (3.2.1)$$

其中 N 表示檢測天數，X 為某一特定時段之某一特定頻段之場強值， μ 則為連續日期之所有場強值之平均。

如今本研究團隊初步提出兩簡單判斷式：

(1) 判斷異常訊號之一：

則以某時段的標準差是否偏高情況而定。舉例說明，我們可從圖 3.3 (c)之頻譜圖可得知頻段 3.31~3.34、3.56~3.58 以及 3.6 GHz 為標準差偏高之頻段，但由於該測量為單一瞬間值之時段。因此該測量法之結果不一定就表示檢測之頻段異常，因此本系統將標準差偏高之頻段加入關切名單中，視為等級一。

(2) 判斷異常訊號之二：

以等級一之關切頻段是否超出某時段的平均值及該頻段使用率是否偏高情況而定。舉例說明，臺北市北區站行動業務 05/07 17：00 資料(以下統稱檢測資料))中關切頻段之場強值進行比對，若超出平均值則將關切頻段之權重值提升為等級二。緊接著，針對等級二之關切頻段計算得出該頻段一天內之使用率，並分別計算數天之使用率，得出關切頻段於數天內之使用率便能判斷該頻段之異常高波是否有減緩之趨勢(如圖 3.3(d))。因此在此本系統透過上述取得之各天數之使用率，利用該值來計算該關切頻段之使用率上升/下降之趨勢在此稱之為趨勢值，最後系統將依照該趨勢值進行危害等級分類。

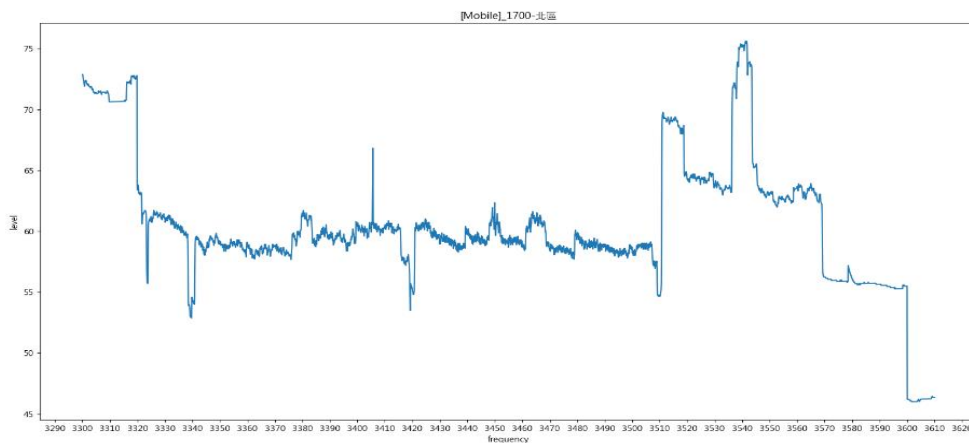


圖 3.2 臺北市北區站行動通訊 05/07 17：00 場強頻譜圖

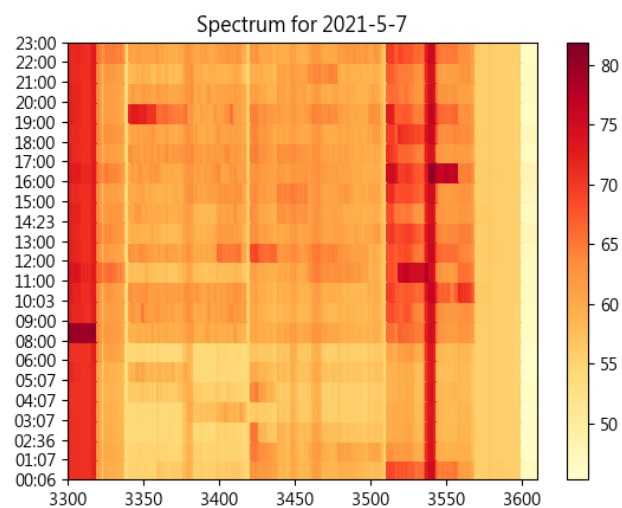


圖 3.3(a)臺北市北區站行動通訊(05/07)之頻譜瀑布圖

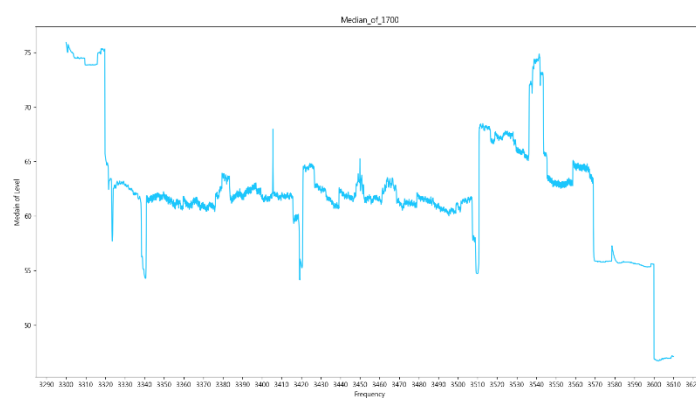


圖 3.3(b)臺北市北區站行動通訊(04/23~05/09)各頻段之平均值頻譜圖

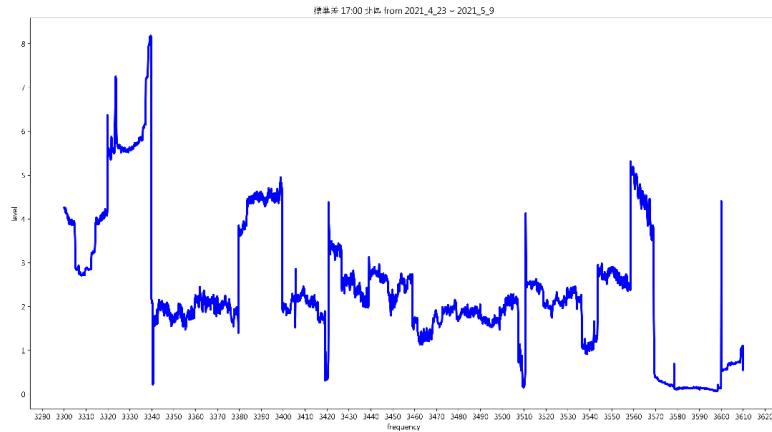


圖 3.3(c)臺北市北區站行動通訊(04/23~05/09)各頻段之標準差頻譜圖

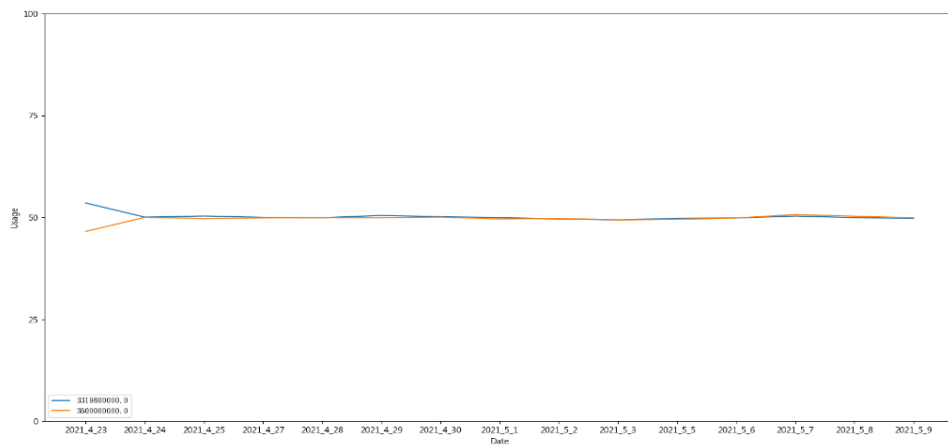


圖 3.3(d)臺北市北區站行動通訊(04/23~05/09)關切頻段之使用率

資料來源：本研究整理

本研究團隊首先依據所蒐集的電波訊號資料及行動通訊、數位電視、業餘無線電、飛航頻道及廣播頻道等業務類型進行分類。並將各站臺於單一時間頻譜繪製成圖作為可視化資訊，透過此動作可分類出何處站臺頻譜使用度較高，並將其列為站臺選擇考量因素之一。而相關資料已在 3.1 小節呈現。

在 3.2 小節中，則是講述本研究計畫所提出之頻譜檢測系統並將其檢測流程步驟化後進行解說(如圖 3.1 所示)。其主要的功用可分為兩部分：

功能一、提供可視化圖形資料：當系統接收來自管理人員上傳數天之監測資料後，經過分析後，可輸出數天單一時間點之頻譜圖、數天頻譜場強標準差之頻譜圖、數天頻譜場強平均值之頻譜圖、異常頻段使用率及頻譜瀑布圖等五種可視化圖形。

功能二、提供告警指標資料：以名單制度控管頻段，並以權重等級進行嚴重性分類，依循三種顏色(紅、黃、綠)作為告警指標。

緊接著，本研究團隊針對臺北市北區站所蒐集的實際使用情形進行檢測分析之舉例。首先本系統接收從 04/23 至 05/09 之資料並將檢測時間點設定為 17:00，並將檢測樣本設定於 05/09 之檢測資料。透過系統分析數天以來之頻段場強之標準差、平均值，可得知頻段 3.31GHz 以及 3.60GHz 為高標準差之頻段，意指於該頻段中，有異常高波之存在。接著並透過平均值進行篩選，將場強過大之頻段選出。最後對於篩選出之頻段進行使用率分析，評判此頻段是否真為惡意干擾，並在最後透過公式計算其使用率之趨勢，用以作為評判依據。

第三節 無線電系統的頻譜利用評估機制

由於無線電頻率的稀有性(Scarcity)，及在使用上具有排他性並屬於國家的公共資源，因此世界各國對於頻率資源的管理大多採取管制的方式。皆由政府主管機關指定無線電頻率的頻段分配與業務使用，使無線電頻率的利用能提供適當且有效率的通訊傳播服務，並避免不同業務之間產生干擾。但要如何有效地做好頻譜管理是當務之急的工作，本研究團隊提出類 PDCA(Plan, Do, Check, Act)方式的頻譜評估管理機制概念如圖 3.3 所示：

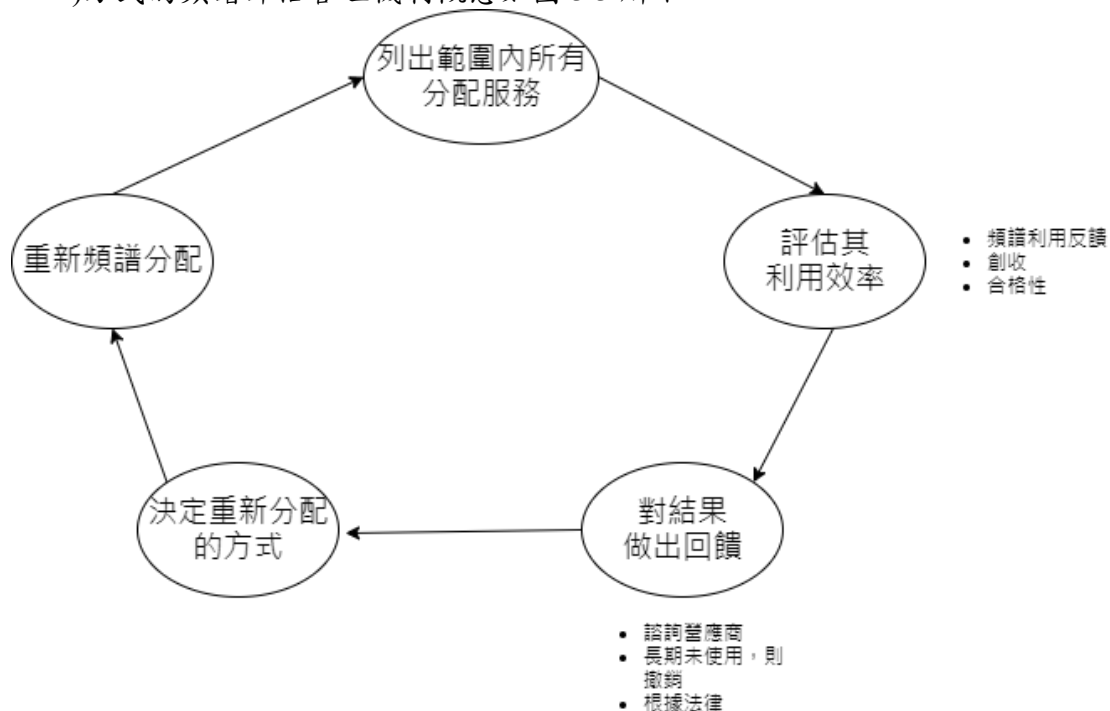


圖 3.3 頻譜評估管理機制

而其評估管理機制步驟說明如下：

步驟一、列出描述區域內所有分配的服務：就是將區分哪些系統於相似因素來做為劃分所有服務的因素相關群組。

步驟二、評估其頻率利用效率：可從頻譜規劃、頻率分配、分配的服務類型來實行頻率監測，進而評估其頻譜利用率反饋、創造收益、計畫合規性、部署之技術和生態系統的使用與全球趨勢及區域趨勢。

步驟三、對評估結果做出回饋：根據步驟二之評估結果，諮詢電信事業、對全球或區域趨勢採取建議措施，對長期未使用之頻率，做出撤銷及再利用。如果有電信事業或使用者不遵守規定時，則根據法律的許可條件做出適當處分措施。

步驟四、決定重新分配方式：在頻率用於新的無線電應用之前，必須確保與現有無線電系統和非無線電設備的兼容性。此時，頻譜管理人員就要負責定義適當的技術參數，明確共享條件，並製定干擾緩解機制，以確保不同無線電業務在時、頻、空域的兼容性。

步驟五、重新頻譜分配：就其服務需求及電器特性之要求，分配適當頻段。

一、頻譜管理活動自動化²

不論從頻譜管理過程的規模、頻率或複雜性如何，應在部分或全部國家頻譜管理活動中使用電腦。不同主管部門對頻譜管理的要求各不相同，會有很大差別，而且對各主管部門來講，開發滿足其特殊要求的資料庫和工程應用是很重要的。在決定這些需求時，一個主管部門應考慮國家的需要以及國際協定。

為了評估在特定頻譜管理條件下的電腦系統應用情況，必須對各種類型的電腦軟硬體進行分析。一個電腦化的頻譜管理系統的例子如圖 3.4 所示。

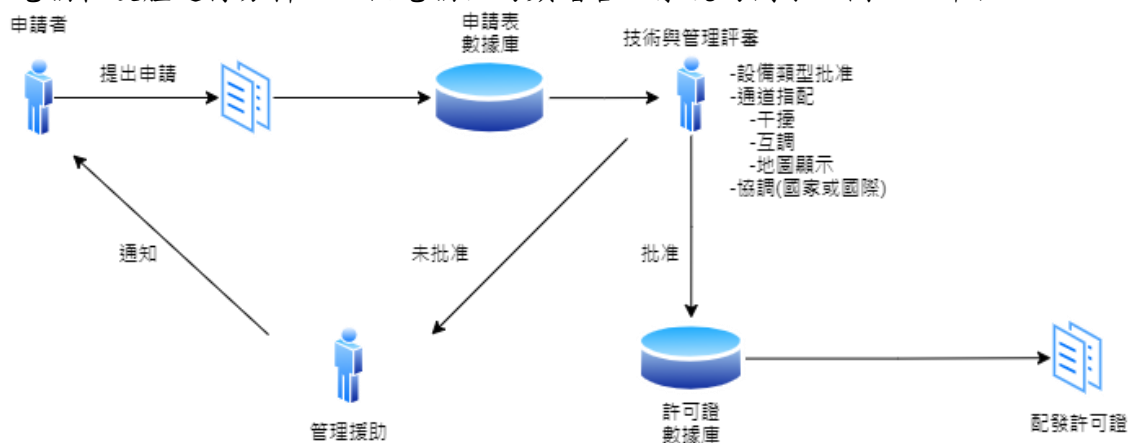


圖 3.4 頻譜管理系統實例[3]

因其包含資料量、交易處理量及分析運算量等大量資料，對資料的處理需明定其流程，包括來源、處理程序、儲存位置，來保障未來能對其頻率做更新

²參考國家頻譜管理手冊(2015) [3]作為基準

或升級程式。

(一) 從手工系統向電腦化系統的轉變

以往的頻譜管理都是利用紙本申請及人工審核方式來建立相關管理機制。但隨著資料量、交易處理量、分析運算元量和複雜性的增加，維持人工頻譜管理系統的費用也隨之不斷增加。因此，使用自動頻譜管理系統已成為必然趨勢。

而在開始向自動化系統轉變之前，應當考慮到以下各因素：

- 1.研究能用於將已有手工程式改造成自動化系統的方法。
- 2.使用者對新程式的接受程度。
- 3.為實現自動化任務，對核心的專業人員進行培訓。
- 4.開發和長期應用所需資金的可用性。
- 5.擁有可提供本地和長期支援的電腦供應商，包括對設備（硬體）和程式（軟體）的支援。
- 6.對所需的資料水準進行分析、權衡。

現在的電腦系統已具備了所需的處理能力和資料存儲能力，能以合理的價格提供良好的性能。同時 ITU 提供描述自動頻譜管理系統 Automated Spectrum Management System (ASMS) 設計指南的建議書 (ITU-R SM.1370)，該建議書應成為主管部門招標進行此類系統設計開發的基礎。BDT 提供符合該建議書的發展中國家頻譜管理系統軟體-國際電聯的自動化頻譜管理系統 Spectrum Management System for Developing Countries (SMS4DC) [3]。

(二) SMS4DC 主要功能

國際電信聯盟電信發展局 International Telecommunication Union - Telecommunication Development Bureau (ITU-TDB) 提供一種便於開發中國家更有效地履行頻譜管理職責的電腦程式，該程式稱作發展中國家頻譜管理系統 SMS4DC。SMS4DC 是一種低成本的入門頻譜管理系統，但卻是一種擁有多種技術特性和功能的複雜軟體工具。該系統擁有三種主要功能，分別說明如下：

功能一、行政管理功能：在相關資料庫管理系統實行，主要確保行政資料的完整與一致性，包含頻率申請記錄、頻率指配記錄、許可記錄、干擾記錄、頻率測量記錄和頻譜收費記錄。

功能二、工程分析功能：提供一種分析工具，用以處理申請方提出的頻率指配，可以特定條件下計算一或多個發射機與受影響接收機之間的干擾情況。

功能三、提供圖形化使用者介面：顯示數值地形模型 Digital Terrain

Model(DTM)的使用者友好介面。

二、閒置頻段設備(White Space Device, WSD)

閒置頻段設備(WSD)是 Federal Communications Commission (FCC) 認證的無線設備，無需獨佔廣播許可即可在 700 MHz 以下的頻譜中使用。WSD 可以以無線寬頻的速度連接網路。而這些設備使用未被充分利用、未經許可的頻譜部分，稱為閒置頻段。這些頻譜範圍內的信號有更強的穿透特性，可帶來更好及更便宜的無線服務。

WSD 通常與電視共享相關聯，因此也稱為電視頻段設備(Television Band Devices, TVBD)，不過該技術可用於在廣泛的其他服務使用的頻段中運行。與電視服務共享的關鍵概念如圖 3.5 所示

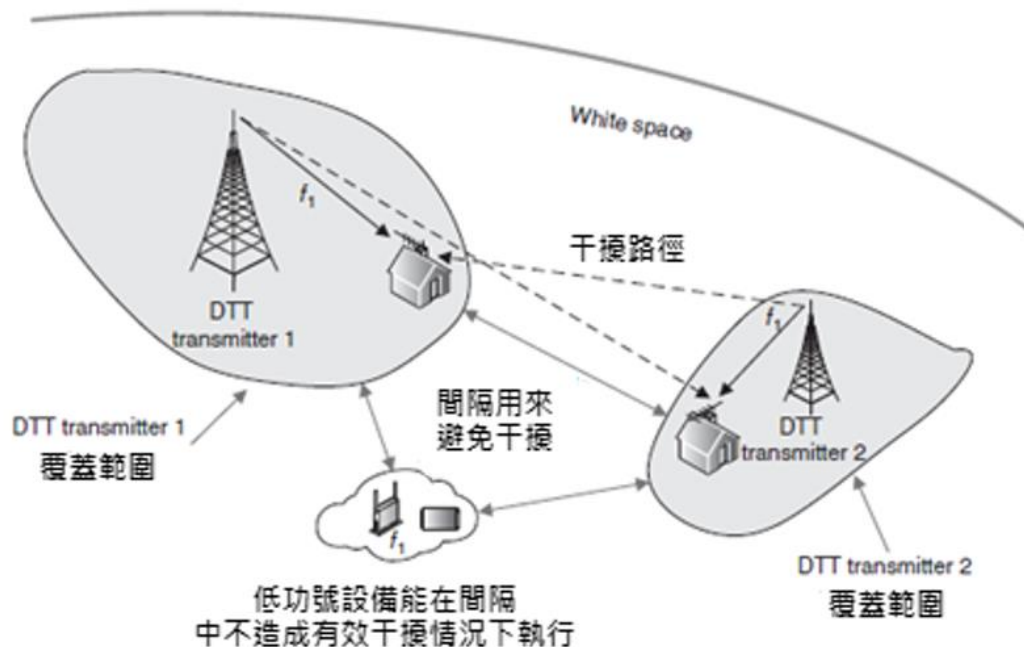


圖 3.5 發射機間的閒置頻段[4]

往往閒置頻段的位置可以通過以下兩種方法確定：

方法一、利用頻譜感知方式：就是 WSD 偵聽任何電視訊號並避開其附近當前正在使用的那些頻道。

方法二、地理定位數據庫（或地理數據庫）：因為 WSD 識別其位置，然後聯繫數據庫服務器，該服務器為其提供適合其位置的頻率列表。

本節將重點介紹地理定位數據庫方法，相關架構如圖 3.6 所示。

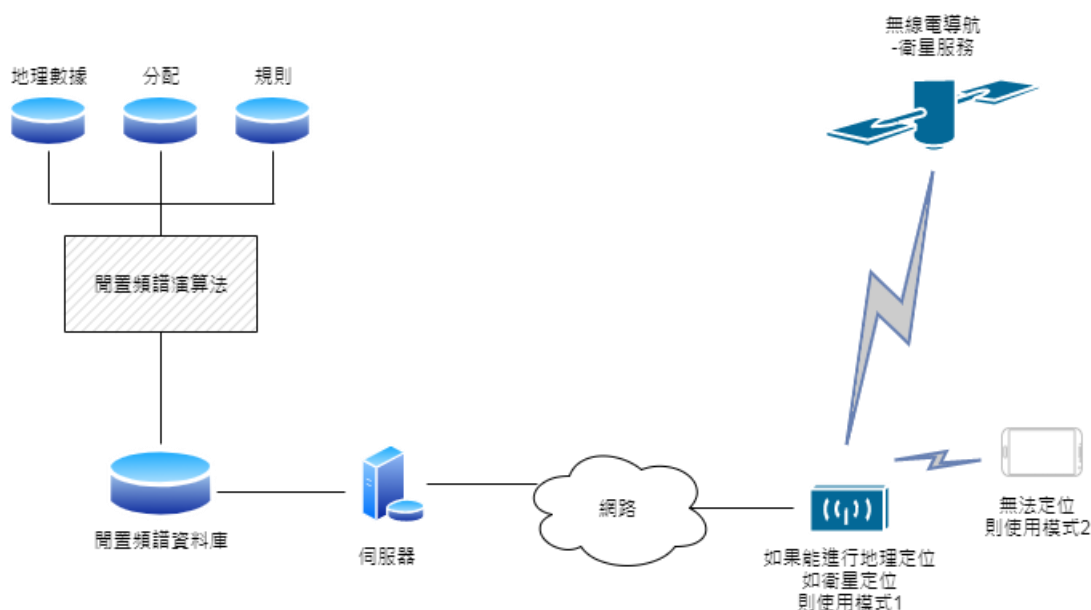


圖 3.6 地理定位數據庫架構[3]

依據圖 3.6 可得知，能否明確進行地理定位方式可區分為模式一與模式二：

模式一、能夠進行地理定位，例如，使用衛星無線電導航服務 Radio Navigation Satellite System (RNSS)，例如 GPS。並根據其位置來連接預定義的服務器，此服務器用來查詢位置和類型的閒置數據庫，並據此連接合適的列表頻道，為了達成目的，必須使用 WS 演算法定期更新 WS 數據庫、地理數據庫(包含邊界、地形高度、土地使用編號等數據)、規則數據庫(例如電視發射器或其他可使用的位置和頻道規則)。

模式二、在 WSD 無法進行地理定位的情況，藉由資料庫的資訊仍然能夠通過模式一來使用閒置頻率，該設備為其提供合適的渠道。

為了保護這些服務，需要一種算法來計算哪些頻道在哪個位置可用，特別是允許的最大傳輸功率或 Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)是多少，以避免有害干擾。以下提出的是 FCC 方法。

其中 FCC 方法：此為描述聯邦通信委員會(FCC)規則第 15.700 部分以後規定的基於輪廓加距離的方法，其關鍵概念如圖 3.7 所示。至於 TVBD 類型大略可分為靜態使用及個人/攜帶式使用兩種類型，其說明如下：

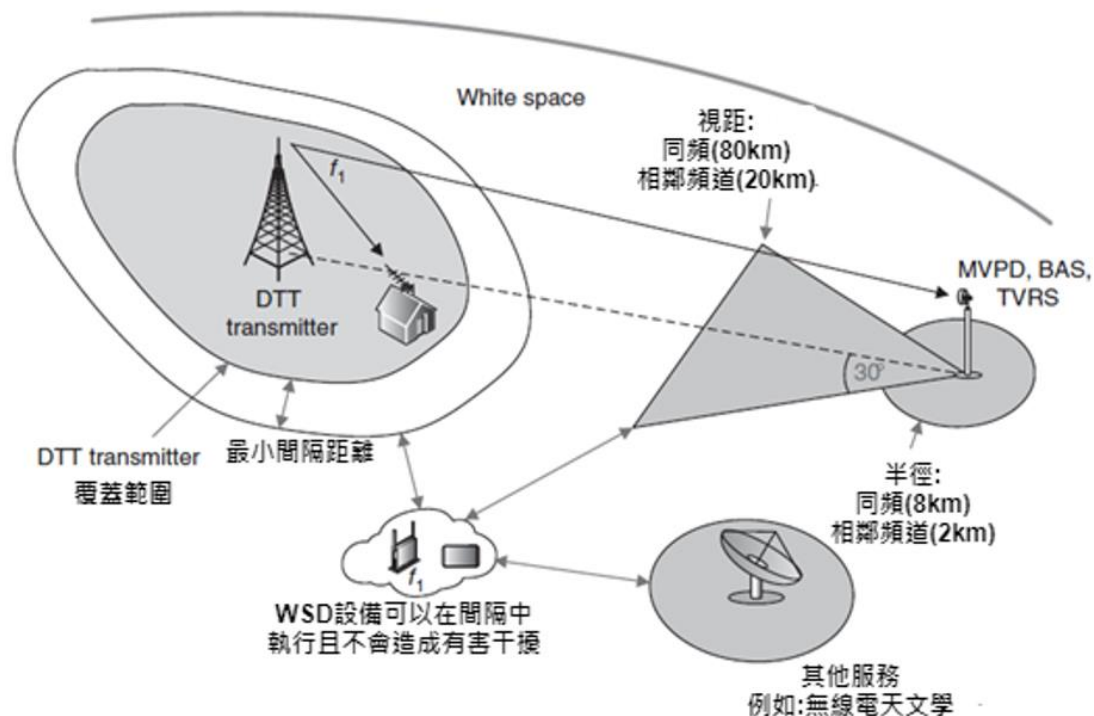


圖 3.7 TVBD 受保護範圍類型[4]

類型一、靜態使用：在天線高度不超過地面 30m 的靜態位置及在平均地面以上地面高度 Height Above Average Terrain (HAAT) 不超過 76m 的位置進行操作。靜態 TVBD 比用於靜態到靜態通訊的個人/便攜式設備可以訪問更廣泛的頻道，並且必須以模式一運行。

類型二、個人/攜帶式使用：可以作為模式一（具有地理定位功能）或模式二（無地理定位功能）使用，而模式二只能在 512MHz-608 MHz 頻段（電視頻道 21-36）或 614MHz-698 MHz（電視頻道 38-51）。

但第 37 頻道(608MHz~614MHz)是被排除在外(起保護作用)，而主要作用是來保護電視覆蓋區邊緣的多邊形、Multichannel Video Programming Distributor (MVPD)、Broadcast Auxiliary Service(BAS)或 Television Viewer Ratings(TVRS)接受器周圍及環繞其他服務區如無線電及天文站等區域。

有關對於 MVPD、BAS 或 TVRS 系統使用的接收站，受保護的輪廓是具有以下特徵的鎖孔形狀：

- (1). 接收器在相關電視發射機方向的距離為80公里（同頻道）或20公里（相鄰頻道）。
- (2). 鎖孔角度：從接收器到相關電視發射器的線路兩側各30度。

- (3). 接收器周圍所有其他方向的距離：8 公里（同頻道）或 2 公里（相鄰頻道）。

三、位置及時間感測

頻譜工程系統包括各種軟體模組，其設計目的是說明操作員執行 ITU-R SM.1370 建議書中所述的各頻譜工程功能，實現自動頻率管理。這些模組用於執行傳播分析、干擾分析、鏈路分析、頻率指配與規劃、國際協調計算、資料庫操作和產生有用的報告。頻譜工程系統集成在一個地理資訊系統 Geographic Information System (GIS) 軟體中，可以在螢幕上顯示出分析結果，以用戶選擇的地圖作為背景，可以使用各種類型的光柵或向量地理資料。因此，設計 GIS 系統應具有以下特性：

- (1).完整的拓撲數據結構（具有隱式和顯式拓撲結構的節點、弧和功能）、對功能對象的設計；
- (2).完整的結構化查詢語言Structured Query Language(SQL)和關聯式資料庫管理系統Relational Database Management System (RDBMS)；
- (3).可支援一或多當前的操作系統；
- (4).用於數據採集和地圖製作的內置映射工具，以及集成和全功能數值地形模型Digital Terrain Model (DTM)，其中包括雜波數據的提供；
- (5).應能顯示與描繪在屏幕地圖背景上的選定對象相關聯的數據；
- (6).以用戶定義的比例尺和投影規格顯示資訊；
- (7).在地圖背景上結合相關描述性文本顯示特定的點、線和面位置；
- (8).可通過應用模塊生成屏幕（包括圖形）。

四、頻譜效率評估分析

由於頻譜是一個具有經濟和社會價值的有限的資源，而且因為各項業務對頻譜的需求迅速增加，使得評估頻譜利用效率 Spectrum Utilization Efficiency (SUE) 變成一個重要的課題。近年來，許多改進和新出現的無線電技術，讓頻譜的有效利用得到相當大的改進。而這些新技術有助於滿足頻譜分配和使用方面不斷增長的需求。對不同系統或業務，頻譜利用效率的度量方法是不同的。例如，點對點的通訊系統頻譜效率的計算不同於衛星或陸地行動通訊系統。因此，頻譜效率的比較只能在類似系統和特定的頻寬或頻道中進行。在規定時間外對相同系統頻譜效率或利用進行比較是有益的，能使我們看到在所研究的特定地區是否有任何改進。

頻譜利用可以被定義為頻率頻寬、幾何（地理）空間以及其他潛在用戶不能使用的時間。依據 ITU-R SM.1046-3 建議書[6]，頻譜利用的度量公式為：

$$U = B \times S \times T \quad (3.3.1)$$

其中 U 為使用的頻譜空間數量($\text{Hz} \times \text{m}^3 \times S$)， B 是所使用的頻率頻寬， S 代表幾何空間(所需要的和不能使用的)及 T 為時間。緊接著，定義頻譜利用效率為所傳送的資訊與頻譜利用率之比率，如式(3.3.2)所示。

$$SUE = \frac{M}{U} = M/(B \times S \times T) \quad (3.3.2)$$

其中， M 是指所傳送的訊息量(MB/s)及 U 代表頻譜利用量($\text{Hz} \times \text{m}^3 \times S$)。以下用一個範例來說明頻譜利用效率情形。

範例 3-3-1：如果在建築中使用微微蜂窩系統，其 SUE =建築物內承載的總流量(Erlang)/總頻道 $\times$ 頻寬 $\times$ 總建築面積($\text{MHz} \times \text{sqkm}$)。

因此假設在無線電中繼下， $SUE = C/B \times S$ ， C -容量 B -頻寬 S -幾何角度測量

在前面所描述的，可以對不同系統計算其 SUE 值，實際上也可以將它們進行比較來獲得系統的相對頻譜效率 Relative Spectrum Efficiency (RSE)，即可用於分析頻譜使用的度量標準。然而，這樣的比較必須慎重進行。相對頻譜效率 (RSE) 的量值定義為兩個頻譜利用效率 ($SUEs$) 的比，其中之一可能是作為比較標準的系統的效率。

$$RSE = \frac{SUE}{SUE_{std}} \quad (3.3.3)$$

其中， SUE 為實際系統的頻譜利用效率及 SUE_{std} 代表“標準”系統的頻譜利用效率。此處的 RSE 是一個從 0 到無窮大的正數。如果標準系統被選擇作為一個理想或最有效的系統，那麼 RSE 將是在 0 到 1 之間。

最後有關頻譜利用量、頻譜利用效率 (SUE) 以及相對頻譜效率 (RSE) 的描述只是計算的開始，最終是要在相同業務中，將一個系統與另一個系統進行比較。可以有很多方法將這一理論加以應用，來解決具體問題。

第四節 小結

本研究團隊提出一頻譜分析方法，此方法可分析特定時段之頻譜是否異常，並透過標準差、平均值等統計數據進行分析。不同於以往透過干擾公式及訊號範圍等訊號參數進行判斷，本研究團隊以統計角度進行分析，並於第二小節講述系統分析之機制及流程，以臺北市北區站行動通訊為例子進行說明。

經過本團隊的研究，想要有一個完善的頻譜管理機制，那其中對大量資料的處理是非常重要的，首先要有足夠的資料庫，才能支撐整個管理機制，必須對其投入成本，可以參考頻譜管理手冊(2015)中第七章的附錄，包括許多國家的實例可供參考。而對頻譜效率評估的部分，除了最基本的頻譜利用量，應該針對相對頻譜效率(RSE)去做比較計算。

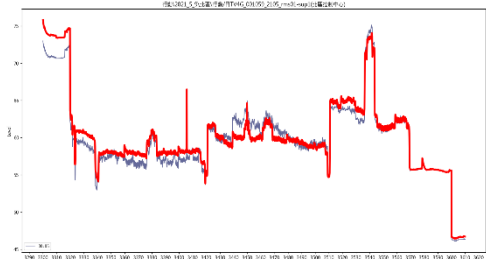
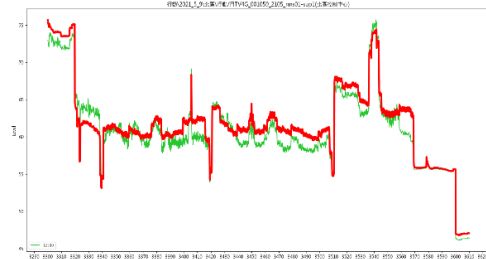
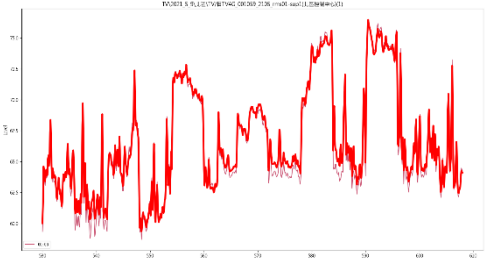
第四章 干擾計算及監測數據案例分析

此章節中，將敘述本次計畫中如何分析電波原始資料，並透過四個小節進行說明。於第一節中，將探討本次計畫於電波原始資料中拿取有用資訊，並如何透過該資訊計算相關統計數據進行分析。有關系統資訊處理及分析之流程於第二節中呈現，並於第三節中提出實際監測案例進行分析解說。最後於第四節中講述本次研究提出之系統之限制及適用條件。

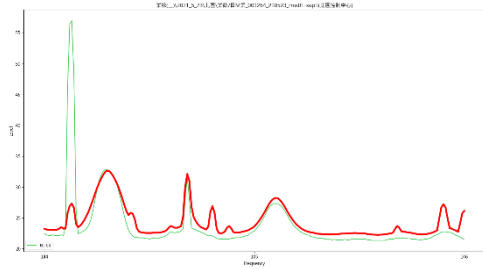
第一節 監測數據之蒐集盤點

此章節中，本計畫將透過所擁有之頻譜資料進行資料彙整並輸出各地區於選定天數中各時段之場強頻譜圖。研提取原始資料內之三項欄位做為資料指標，分別為：時間、頻率以及場強值，透過此三項資料指標，本計畫所提出之系統計算得出數天頻段場強值之標準差、平均值、頻段佔有率...等統計數據，並透過以上述資料進行干擾判別分析，最後本系統將該次檢測分析之結果存放置資料庫當中，以便與往後檢測結果進行比對。於表 4.1 中呈現各項服務業務之頻譜圖，圖中橫軸為選擇頻段，縱軸則為場強值，紅色粗線為該頻段於數天之內之平均值，細線則為選擇頻段於該時段之場強值，在此僅提供部分監測地點及時段，完整資料請參閱附件四(電子檔)。

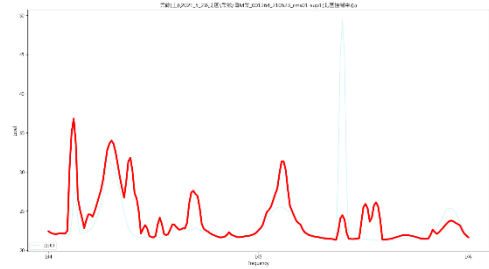
表 4.1 各業務於單一時間點之頻譜圖

行動業務-臺北市北區站(3.3~3.61GHz)	
	
5/09 00 : 00	5/09 12 : 00
數位電視-臺北市北區站(530~608MHz)	
	
5/09 00 : 00	5/09 12 : 00

業餘無線電-臺北市北區站(144~146MHz)

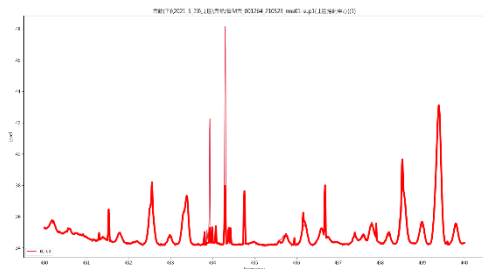


05/23 00 : 00

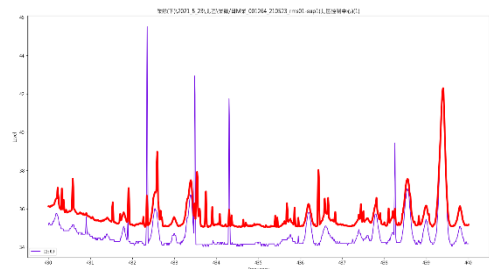


05/23 12 : 00

業餘無線電-臺北市北區站(430~440MHz)

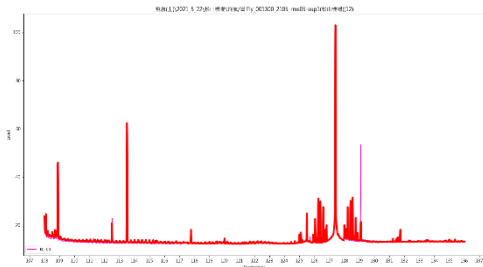


05/23 00 : 00

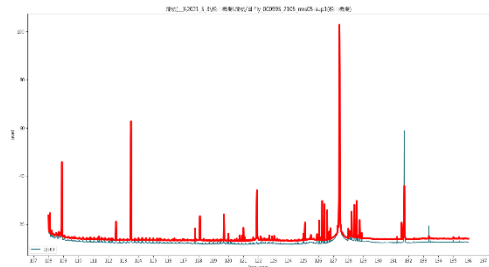


05/23 12 : 00

飛航頻道-松山機場 (108~136MHz)

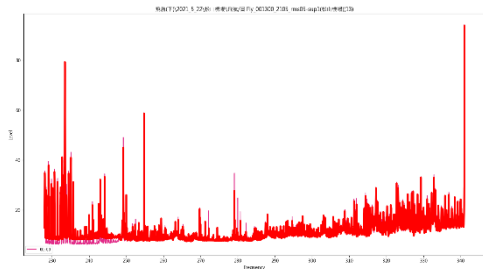


05/22 00 : 00

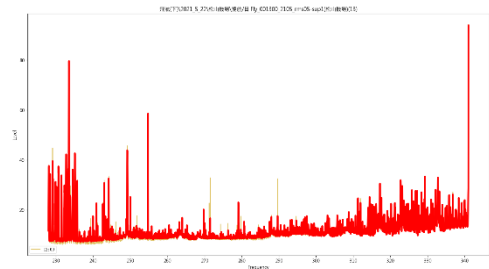


05/22 12 : 00

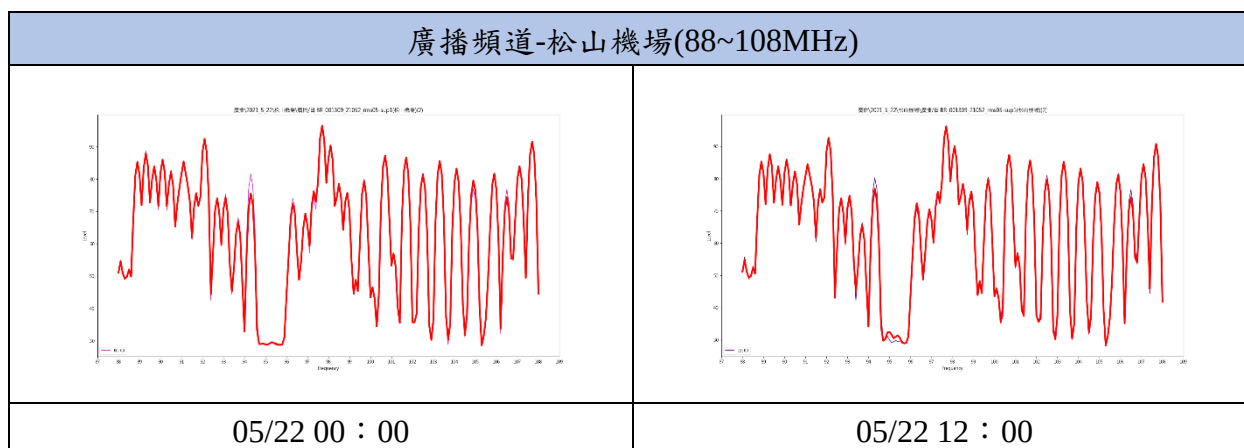
飛航頻道-松山機場 (228~341MHz)



05/22 00 : 00



05/22 12 : 00



資料來源：本研究整理

第二節 電波監測蒐集數據之處理

檢測系統流程

針對本計畫擬提出的檢測系統流程如圖 4.1 和圖 4.2 所示，且以下將詳細說明該系統流程相關機制。

步驟一：接收檢測檔案

系統進行檢測前，使用者須上傳站臺監測資料檔案(此處檔案數量可能為一周或以上)，接收後並設定電波檢測資料(如：站臺地名、服務業務、檢測檔案之日期、檢測頻段及時段等等)。

步驟二：檢測資料彙整

欲檢測之檔案就緒後，系統內部將其依日期、時間及頻段自動分類，並透過一對照型態之資料結構進行存放，以便往後系統內部使用。

步驟三：計算該時段的平均值及標準差

首先系統將透過先前載入之多個電波監測資料(以下統稱電波整體資料)，並計算出各個頻段於不同天之場強值之標準差以及平均值。透過各頻段之標準差值進行判斷，若標準差值過高則表示該頻段之場強值離散程度偏大，在此本團隊將判別標準差值過高之閥值設定為：最高標準差值之四分之三，一但任何頻率之標準差高於該值便將其判斷為異常高波發生處並將其紀錄於關切頻段清單，反之則為正常波段，以上為統計變數之計算。

步驟四：分析待檢測的電波數據資料

載入單個電波檢測資料(此資料須屬於電波整體資料，以下統稱檢測資料)，並依照步驟二進行該檢測資料之彙整。

步驟五：比較待檢測資料場強值是否超過標準差

將步驟三得出之平均值與標準差值，與檢測資料之關切頻段之場強值進行比對，並判斷該場強值是否已超出平均值，若高於平均值則增加該關切頻段之權重值，用以表示其嚴重性並將危害進行分級，在此將認定超出平均值之關切頻段為等級二。

步驟六：異常波段之使用率分析

為更能確認上述資料的正確性，本案除採取特定頻段之單一時間點之場強值進行運作(如 00:00)外，並額外將等級二之關切頻段於一天內(864000 秒) 取超出平均值之時長，並將其與一天時長進行相除取得該頻段每一天之佔用率，並透過該佔用率判斷該異常頻段之異常情形是否有逐漸減緩或增加之趨勢及判斷時間佔比是否過高。本系統將再次增加關切名單中過高以及日漸升高之頻段之權重值認定其為等級三。

步驟七：圖像繪製

關切頻段之使用率計算完畢後，本系統將繪製上述計算之結果圖(如圖 4.3)所示，其中包含：電波檢測資料頻譜圖、標準差及平均值頻譜圖、當下時段該頻段之頻譜圖以及關切頻段於各時間點之使用率(如附件四)。

步驟八：判斷異常訊號

透過上述計算所得之關切頻段使用率判斷該頻段使用率是否有逐漸改善之行為亦或是逐漸惡化。同時依照關切頻段使用情形進行危害分級，也就是依照其使用率之趨勢及高低依序分為綠、黃及紅三種危害指標，分別代表著危害程度由低至高。

步驟九：告警機制

本系統檢測完畢後，會將檢測異常之結果產生告警訊息。

步驟十：資料備份及記錄

告警完畢後，系統將此次檢測計算之結果與圖形儲存至系統資料庫中，經人工判斷異常是否為干擾後，將判斷結果回傳至系統。以下將以實際業務案例進行解說。

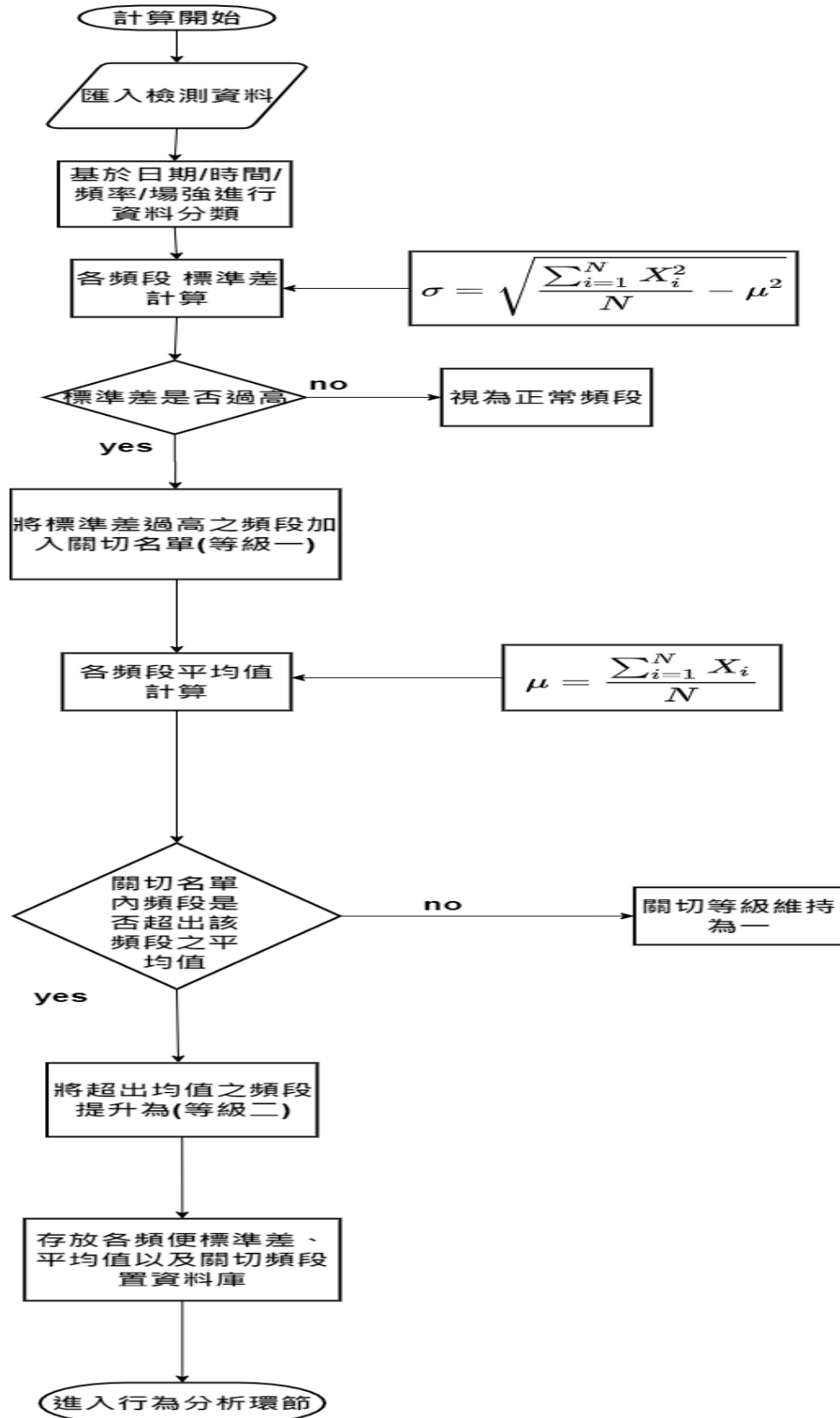


圖 4.1 檢測系統之統計分析流程圖

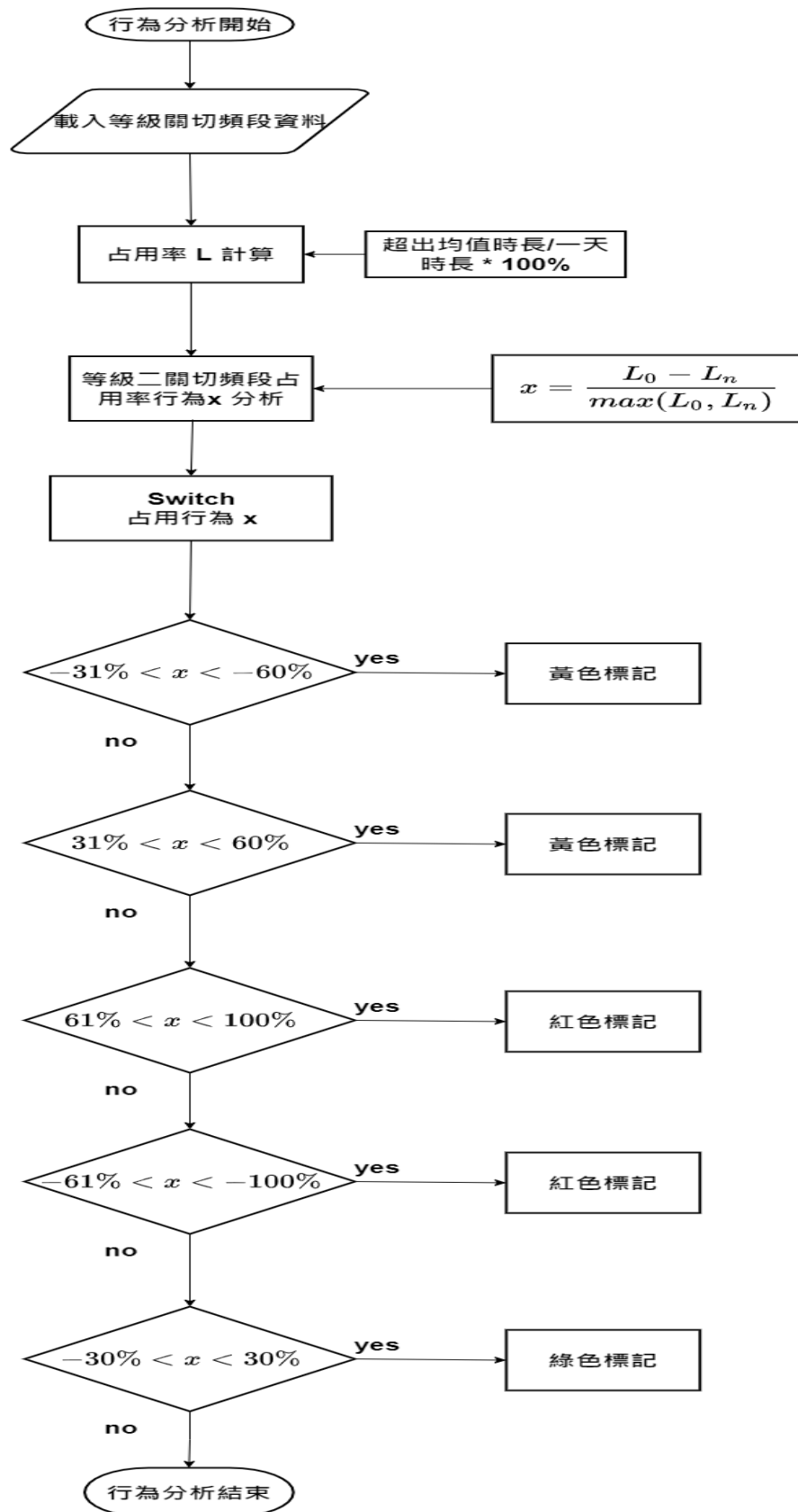


圖 4.2 檢測系統之行為分析流程圖

資料來源：本研究整理

此小節中講述本次計畫從電波原始資料中提取哪些可用資訊進行分析並逐一解說資料處理之流程。而第三節將講述如何透過本次提出之系統分析實際案例，該分析天數為 4/23 至 5/09，分析頻段為 530MHz 至 608MHz(此分析頻段可由使用者進行調控)，時段為 00：00 至 23：00(此分析時段可由使用者進行調控)。

第三節 頻譜利用率分析

檢測系統-實際案例

在本章節中，將依據所取得之不同日期、時段及不同頻段的監測場強資料做一分析與探討。在此以金城監測站之數位電視業務所得資料為例，分析情況說明如下：

步驟一：以某一日期及某一時段來做分析，如圖 4.3 金城-數位電視 05/07 00：00 時段之場強頻譜圖。

步驟二：以色塊漸層表示場強值來做分析，就如圖 4.3(a)金城-數位電視 05/07 之頻譜瀑布圖。

步驟三：將連續日期及某一時段來做分析其平均值，就如圖 4.3(b)為金城-數位電視 (04/23~05/09) 00：00 之平均值頻譜圖中所示。平均值在本次計畫中定義為：在連續日期之某一時段之某一特定頻段之場強值集合中，最中間之元素。若該集合中元素個數為偶數，平均值則為中間兩個元素相加除二取平均值，反之則為中間之元素。

步驟四：將連續日期及某一時段來做分析其標準差，就如圖 4.3(c)為臺北市北區站 (04/23~05/09) 17：00 之頻譜圖中所示。而標準差的定義如公式(4.1)所示，

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N} - \mu^2} \quad (4.1)$$

其中 N 表示檢測天數，X 為某一特定時段之某一特定頻段之場強值， μ 則為連續日期之所有場強值之平均。

如今本研究團隊初步提出兩種資料判讀方式：

判斷異常訊號之情況一：

則以某時段的標準差是否偏高情況而定。舉例說明，我們可由人工目測之方式從圖 4.3(c)之頻譜圖可得知頻段 560~570MHz 為較明顯之標準差偏高之頻段，但由於該測量為單一瞬間值之時段。因此該測量法之結果不能夠直接表示

檢測之頻段異常，因此本系統將標準差偏高之頻段加入關切名單中，視為等級一。

判斷異常訊號之情況二：

以等級一之關切頻段是否超出某時段的平均值及該頻段使用率是否偏高情況而定。舉例說明，金城-數位電視 05/07 00:00 資料(以下統稱檢測資料)中關切頻段之場強值進行比對，若超出平均值則將關切頻段之權重值提升為等級二。續針對等級二之關切頻段計算得出該頻段一天內之使用率，並分別計算數天之使用率，得出關切頻段於數天內之使用率便能判斷該頻段之異常高波是否有減緩之趨勢(如圖 4.3(d))。

因此在此本系統透過上述取得之各天數之使用率，歸納出如式(4.2)來計算該關切頻段之使用率上升/下降之趨勢在此稱 x 為趨勢值，

$$x = \frac{L_0 - L_n}{\max(L_0, L_n)} \quad (4.2)$$

其中 $\max()$ 表示為比較函數，輸出兩數之中數值最大者， L_0 表示為檢測資料中某一關切頻段於第一天之使用率， L_n 則表示為最後一日之使用率。同時本系統將告警等級分成 5 部分，分別為：分別為：60~100%、30~60%、0~30%、0~-30%、-30~-60%、-60%~-100% 並將區間用不同顏色來表示，如表 4.2 所示。此外當趨勢值為負值時，則表示使用率逐漸上升，負值越大則表示上升幅度越大，而當趨勢值為正值時，則表示使用率逐漸減緩，正值越大，表示使用率在一天數從高值降落至低值。因此本系統將認定該頻段於前段時間內為頻道佔用之頻段，應以黃燈告警並告知管理人員應關切該頻段後續是否會有此行為。圖 4.3(e) 為本次案例檢測之告警分類結果，在此檢測中，系統判定頻段 561.0~561.5 MHz 以及 566.0~570.0 MHz 為紅色干擾告警，並透過先前之專家訪談中得知，該頻段異常為鄰近國家之電視頻段與檢測頻段產生鄰頻干擾之現象，其異常成因為兩者使用頻段太過接近，部分頻寬重疊，進而導致訊號重疊造成異常。偵測出異常頻段後並於訪談當天透過貴會設備進行監聽並以人工之方式確認異常訊號。

表 4.2 區間告警顏色表

x 值範圍	告警顏色
60% ~ 100%	紅
30% ~ 60%	黃
0% ~ 30%	綠
0% ~ -30%	綠

x 值範圍	告警顏色
-30% ~ -60%	黃
-60% ~ -100%	紅

資料來源：本研究整理

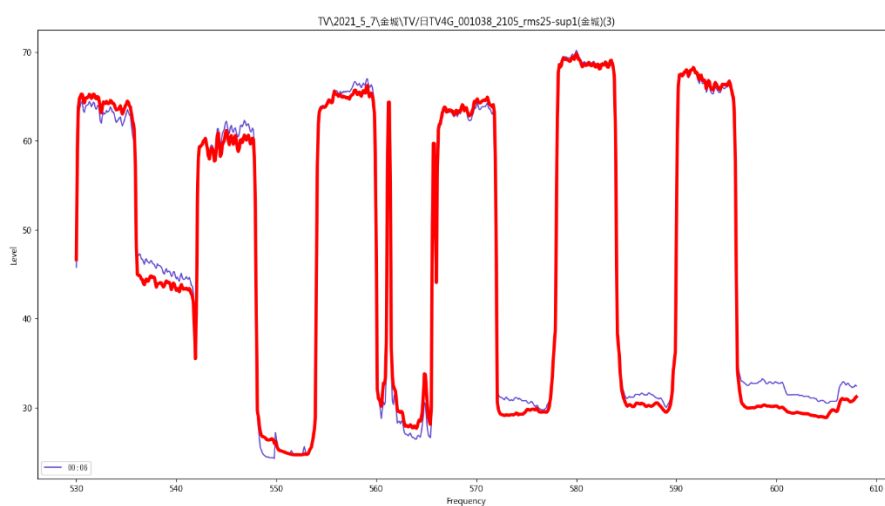


圖 4.3 金城-數位電視 05/07 00：00 時段之場強頻譜圖

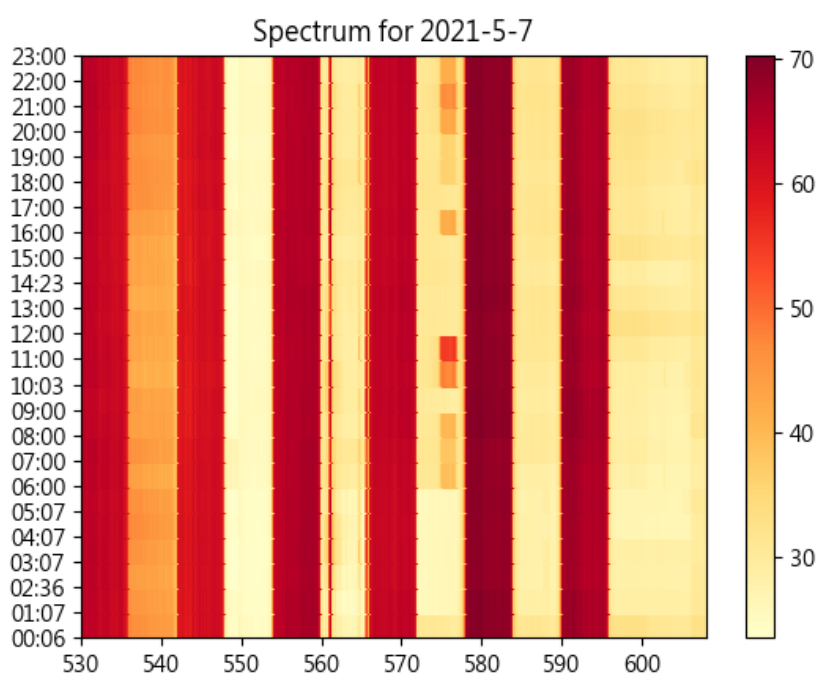


圖 4.3(a)金城-數位電視 05/07 之頻譜瀑布圖

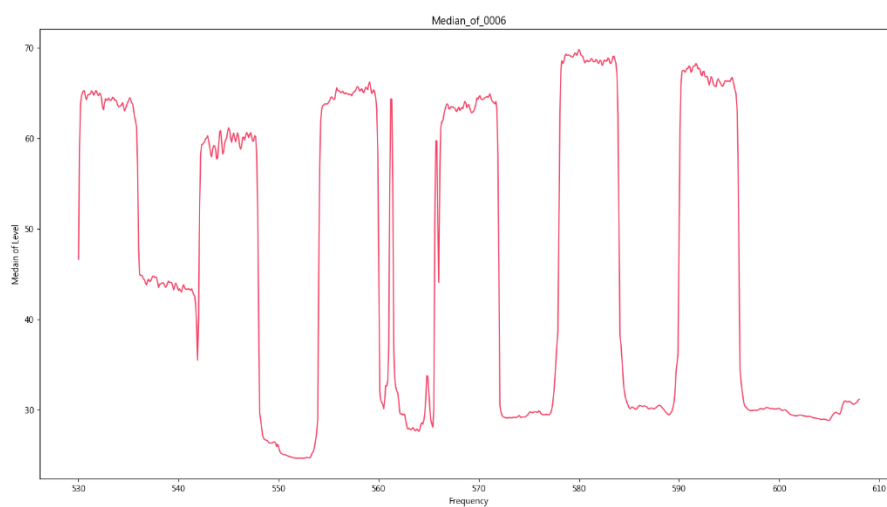


圖 4.3(b)金城-數位電視 (04/23~05/09) 各頻段之平均值頻譜圖

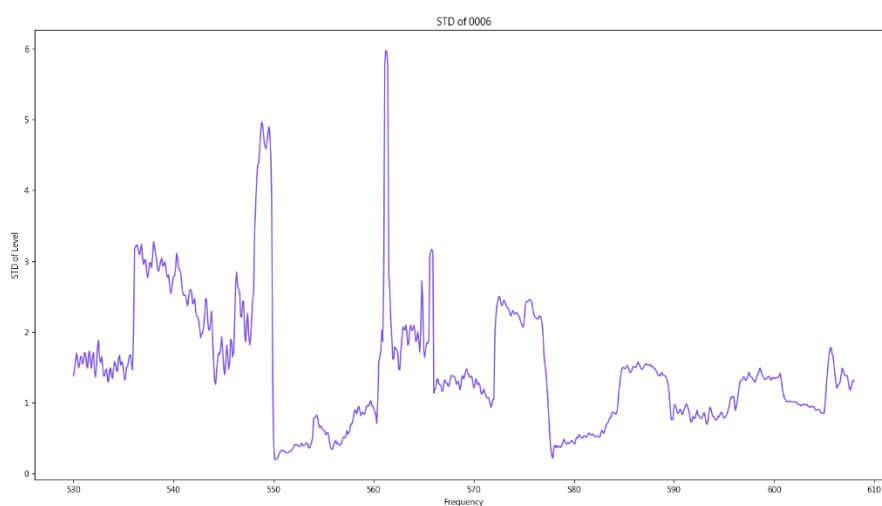


圖 4.3(c)金城-數位電視 (04/23~05/09) 各頻段之標準差頻譜圖

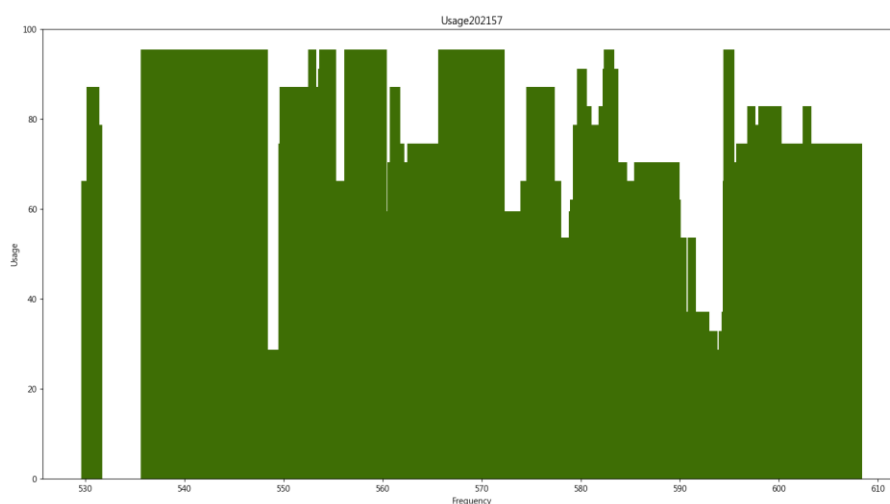


圖 4.3(d)金城-數位電視 (04/23~0507) 關切頻段之使用率

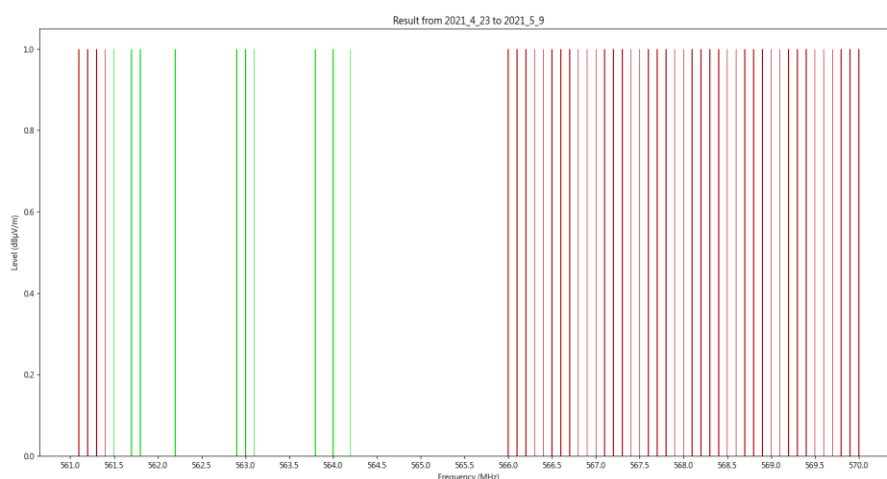


圖 4.3(e)金城-數位電視 (04/23~0507) 告警分類結果圖

資料來源：本研究整理

以下將以某一關切頻段其 4 天之使用率作為範例舉例，如範例一及範例二所示，來說明本計畫歸納出來的分析情況：

範例一：某一關切頻段其 4 天以上使用率為{50%，40%，30%，10%}，經過式 (4.2)歸納後，可得知將該頻段分類至紅燈告警並附上劇烈下降之標註。

步驟一：計算 $x = \frac{L_0 - L_n}{\max(L_0, L_n)} = \frac{50\% - 10\%}{\max(50\%, 10\%)} = 80\%$ 。

步驟二：依照告警分級：將該頻段分類至紅燈告警並附上劇烈下降之標註。

範例二：某一關切頻段其 4 天以上使用率為{10%，30%，40%，50%}，經過式(4.2)歸納後，可得知將該頻段分類至紅燈告警並附上劇烈上升之標註。

步驟一：計算 $x = \frac{L_0 - L_n}{\max(L_0, L_n)} = \frac{10\% - 50\%}{\max(50\%, 10\%)} = -80\%$ 。

步驟二：依照告警分級：將該頻段分類至紅燈告警並附上劇烈上升之標註。

本研究團隊首先依據所蒐集的電波訊號資料及行動通訊、數位電視、業餘無線電、飛航頻道及廣播頻道等業務類型進行分類。並將站臺於單一時間頻譜繪製成圖作為可視化資訊，透過此動作可分類出何頻段之使用度較高，也將檢測時段與各時段之頻譜場強值繪製成色塊漸層圖，方便往後使用者透過顏色判別便可直接判斷各個時段使用程度高低。而相關資料已在本章第一節呈現。

於本章第二節中，則講述本研究計畫所提出之頻譜檢測系統並將其檢測流程步驟化後進行解說(如圖 4.1 所示)。其主要的功用可分為兩部分：

功能一、提供可視化圖形資料：當系統接收監測資料後經過分析，可輸出數天單一時間點之場強頻譜圖、數天頻譜場強標準差之頻譜圖、數天頻譜場強平均值之頻譜圖、異常頻段佔用率頻譜圖及檢測資料之頻譜瀑布圖等五種可視化圖形。

功能二、提供告警指標資料：以名單制度控管頻段，並以權重等級進行嚴重性分類，依循三種顏色(紅、黃、綠)作為告警指標。

緊接著，本研究團隊針對金城監測站所蒐集的實際使用情形進行檢測分析之舉例。首先本系統接收從 04/23 至 05/07 之資料並將檢測時間段設定為 24 小時，並將檢測樣本設定於 05/07 之檢測資料。透過系統分析數天以來之頻段場強之標準差、平均值，可得知檢測資料中高標準差之頻段，意指於該頻段中，有異常高波之存在。接著並透過平均值進行篩選，將場強過大之頻段選出。最後對於篩選出之頻段進行使用率分析，評判此頻段使否真為惡意干擾，並在最後透過公式計算其使用率之趨勢，用以作為評判依據。

第四節 系統限制

本案提出一系統將檢測頻譜資訊透過三步驟進行分析，可成功檢測出頻段場強異常突高處，並產生告警，以下將提出本系統之使用限制。

一、干擾判斷正確與否

由於此次計畫提供資訊包含時間、頻率以及場強值，因此系統目前僅能透過鎖定某一頻段及時間進行分析並提供數值何處異於往常，並不能完全確保該

頻段為干擾發生處，在此尚需相關人員透過人工方式進行頻段監聽。舉例說明：假設某一頻段(在此統稱檢測頻段)平均場強值為 10dB，這表示檢測頻段平時使用人數並不多。但當檢測頻段使用人數上升時，相對地，場強值也會突發上升，在此案例中，系統會將檢測頻段列入異常頻段名單中，並計算該頻段之使用率，透過使用率高低，判斷是否需要產生告警。

二、多重干擾源

本系統僅透過時間、頻率以及場強值等數值為參數，並無法提供干擾為單干擾源或是多干擾源。在此種限制下須透過其他相關參數(如方位角等)進行判斷方可判別。

三、隱藏於正常訊號之干擾訊號

本次系統以統計分析角度進行干擾檢測，需透過以往監測站所蒐集之大量資料作為參考背景訊號後方可進行後續分析。因此不論何種業務類型，當干擾訊號隱藏於正常訊號或背景訊號內時，將導致受干擾頻段標準差無法被判定為過高，本系統會將此干擾當作是正常訊號。

四、行為判斷變動幅度

在此系統上僅能透過使用率之上升/下降之趨勢盡量減少此類誤判之事件發生，此方法主要是透過檢測頻段最初及最後之場強值相互計算而定，因此該方法僅能以結果論之觀點探討而無法得知中間場強值是如何變動。為此本次計畫再次透過標準差之方式計算檢測頻段中間場強值之變動幅度，此做法可以提供相關人員探討為何場強值變動幅度如此之大，確認此頻段有此現象為正常後便可將檢測頻段列入白名單之中。

第五節 小結

本研究團隊透過此系統機制，各別針對選定之業務及對應監測站臺進行分析。由於篇幅緣故，本次分析輸出之圖檔將收集於電子檔附件中，並於附件四附上部分業務之輸出圖檔，並於表 4.3 至表 4.7 呈現本次分析站臺之細項資訊。

本文於第四章之第一節講述本計劃如何透過給定之電波檢測原始資料取得可用資訊，並透過該資訊進行數據分析，於分析流程已於本章中第二節詳細講述，於第三節中帶入金城-數位電視之實際案例，進行本次系統之分析，並成功檢測出鄰頻干擾之頻段，最後第四節中講述本次系統使用上之缺陷。此次提出之系統依據頻率、場強值及時間點進行分析，因此本次系統透過頻段之場強值進行分析及判斷，僅能鎖定單一使用者狀態下之干擾，未能將多人使用之情況帶入本系統中。於下個章節中將探討各項干擾成因及分析。

表 4.3 行動業務各站臺分析資訊

站臺	業務類型	分析日期	分析時段	分析頻段	日數	資料筆數
基隆市 基隆站	行動業務	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	3.3~3.61GHz	17	17
臺北市 北區站	行動業務	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	3.3~3.61GHz	17	17
花蓮市 廣東街站	行動業務	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	3.3~3.61GHz	17	17
臺中市 豐原站	行動業務	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	3.3~3.61GHz	17	17
金門縣 金城站	行動業務	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	3.3~3.61GHz	17	17
高雄市 茄萣站	行動業務	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	3.3~3.61GHz	17	17

表 4.4 數位電視各站臺分析資訊

站臺	業務類型	分析日期	分析 時段	分析頻段	日數	資料 筆數
基隆市 基隆站	數位電視	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	530~608MHz	17	17
臺北市 北區站	數位電視	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	530~608MHz	17	17
花蓮市 廣東街站	數位電視	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	530~608MHz	17	17
臺中市 豐原站	數位電視	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	530~608MHz	17	17
金門縣 金城站	數位電視	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	530~608MHz	17	17
高雄市 茄萣站	數位電視	2021/04/23~ 2021/05/09	24 小時	530~608MHz	17	17

表 4.5 業餘無線電各站臺分析資訊

站臺	業務類型	分析日期	分析 時段	分析頻段	日數	資料 筆數
基隆市 基隆站	業餘 無線電	2021/05/15~ 2021/05/23	24 小時	144~146MHZ 430~440MHz	9	9
臺北市 北區站	業餘 無線電	2021/05/15~ 2021/05/23	24 小時	144~146MHZ 430~440MHz	9	9
新北市 大棟山站	業餘 無線電	2021/05/04~ 2021/05/16	24 小時	144~146MHZ 430~440MHz	8	8
花蓮市 廣東街站	業餘 無線電	2021/05/15~ 2021/05/23	24 小時	144~146MHZ 430~440MHz	9	9
臺中市 豐原站	業餘 無線電	2021/05/15~ 2021/05/23	24 小時	144~146MHZ 430~440MHz	9	9
金門縣 金城站	業餘 無線電	2021/05/15~ 2021/05/23	24 小時	144~146MHZ 430~440MHz	9	9
高雄市 茄萣站	業餘 無線電	2021/05/15~ 2021/05/23	24 小時	144~146MHZ 430~440MHz	9	9

表 4.6 飛航頻道各站臺分析資訊

站臺	業務 類型	分析日期	分析 時段	分析頻段	日數	資料筆數
松山 機場	飛航 頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	108~136MHz~ 229~341MHz	19	19
桃園 機場	飛航 頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	108~136MHz~ 229~341MHz	19	19
高雄 機場	飛航 頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	108~136MHz~ 229~341MHz	19	19
臺南 機場	飛航 頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	108~136MHz~ 229~341MHz	19	19
澎湖 機場	飛航 頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	108~136MHz~ 229~341MHz	19	19
花蓮 助航臺	飛航 頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	108~136MHz~ 229~341MHz	19	19

表 4.7 廣播頻道各站臺分析資訊

站臺	業務類型	分析日期	分析時段	分析頻段	日數	資料筆數
松山 機場	廣播頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	88~108MHz	19	19
桃園 機場	廣播頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	88~108MHz	19	19
高雄 機場	廣播頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	88~108MHz	19	19
臺南 機場	廣播頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	88~108MHz	19	19
澎湖 機場	廣播頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	88~108MHz	19	19
花蓮 助航臺	廣播頻道	2021/05/03~ 2021/05/14 2021/05/16~ 2021/05/22	24 小時	88~108MHz	19	19

資料來源：本研究整理

第五章 干擾成因與分析案例

本章節將針對行動通訊、業餘無線電及廣播電臺，使用干擾預警系統所產生的場強圖分析可疑的頻段，再透過收集的資料做比對，可發現行動通訊干擾的成因可能為兩電信之間使用頻段太過相近，進而產生同頻干擾頻段重疊。而業餘無線電干擾的成因則可能為受到鄰頻段強訊號導致的鄰頻干擾。以下將以臺北市北區站為案例，進一步做說明。

第一節 無線電在通訊中的干擾分類

無線電干擾指的是在通訊過程中，在達到特殊條件下所造成的接收訊號質量下降、訊號產生誤差或丟失、阻斷通訊等情況。以下將列出常見之條件所造成的干擾。

一、同頻干擾

泛指有效訊號與無用訊號之使用頻寬重疊，並對接收機接收之有效訊號造成品質下降甚至完全覆蓋。然而接收靈敏度過高也會引起類似情況，凡是天線過高或接收機靈敏度過高，就容易收到遠處的同頻訊號，所以靈敏度在滿足於自身通訊要求下即可，並非越高越好。

常見構成原因：

(一)用戶私自長期佔用頻率：例如 A 單位為間隔性地使用某頻段，在間隔期間 B 單位誤認為此頻段無人使用私自佔用，A 單位再次使用時則會導致干擾。

(二)各級無線電管理機關協調不周：例如兩個相鄰城市未經過溝通協調地把同一頻段指配給各自底下的單位。

二、鄰頻干擾

泛指發射機發射之頻寬過大，落到左右鄰頻的功率超出標準規範，進而影響到了相鄰頻道。

三、互調干擾

(一)發射機互調干擾：

多個發射機的訊號在另一個發射機上產生了組合頻率之無用訊號，並對接收此頻率的接收機造成干擾。通常發生於發射機距離較近，頻率也相近的情況下，稱為三階互調 (Third Order Intermodulation)，指一個基波(一階訊號)與一個二次諧波(二階訊號)混頻而產生的新訊號[21]。

1.三階一型發射機互調： $f_0 = 2f_1 - f_2$ 或 $f_0 = 2f_2 - f_1$ 。

2.三階二型發射機互調： $f_0 = f_1 + f_2 - f_3$ 。

消除方法：

- 調整工作頻段使上述公式不成立。
- 降低發射功率使其不落入其他發射機的非線性區。
- 加設單向器隔離，杜絕其他天線訊號進入發射系統。

(二)接收機互調干擾

多個強訊號同時進入接收機時產生互調頻率，且互調頻率落入接收機頻帶內所造成的干擾。

四、阻塞干擾

接收機在接收微弱的有效訊號時受到相鄰頻段之強訊號的干擾。輕則降低接收靈敏度，重則通訊中斷。

第二節 飛航干擾預防

航空無線電用於飛機調度、導航、通訊，一但受到干擾恐怕造成航班延誤，甚至是空難，預防方法建議可採下列幾項[22]：

一、多種形式的宣傳

宣傳無線電管理的各項法規與政策，讓民眾了解航空無線電專用頻道對於航空安全的重要性，也宣導造成干擾事故後所需面臨的責任與刑責。

二、公告

公布對於干擾源限期整治與查處的期限，針對違法單位使其在期限內自行拆除或調整干擾設備，逾期將依法處罰。也適度的公開執法案例的處罰情形，達到震懾作用。

三、溯源

整治生產、銷售無線電設備的廠商，並向公眾宣布凡購買到不合法規要求的設備可索取賠償，並由政府協助。使違法生產、銷售之廠商無生存空間。

四、管理與監測

嚴格執行無線電臺的管理與批准，新站臺的審查確實根據發射與接收之規定，防止產生新的互調干擾。

五、監測

建立無線電波監測站，全面掌握現有無線電臺分布和使用狀況，並使用干擾預警系統，主動追蹤疑似干擾事件，並以人工方式及時去瞭解情況，達到更高干擾排除之效率。

第三節 行動通訊干擾

5G 通訊，除了增加行動頻寬、豐富多媒體類應用場景、增強使用者的通訊能力、實現無縫的用戶體驗之外，大規模機器通訊物聯網也是 5G 通訊技術的突破性應用場景。隨著通訊技術的不斷發展，通訊設備上必會搭載越來越多種類的通訊系統，需要支援包括 5G、4G、3G、2G、Wi-Fi、藍牙、GPS、NFC 等多達 8 種以上不同的無線通訊系統，這些系統在單獨工作的時候不會產生干擾問題，但在不同的通訊系統同時工作的情況下，其產生的交互調變頻譜分量或者雜訊訊號很可能被抬高，導致某些極度敏感的通訊系統(如 GPS)被嚴重干擾到無法正常運作[23]。在此以臺北市北區站作為範例說明，其他地區之圖檔請參閱附件(電子檔)。

接著主要將講述行動通訊干擾案例，首先本次案例檢測站臺為臺北市北區站，分析日期為 110 年 4 月 23 日至 110 年 5 月 9 日，時長為 24 小時。經由不同的日期、時間、頻率及場強進行分類，並計算得出各頻段之標準差及平均值，緊接著進行第一次分析，篩選出標準差較高之頻段，並將該頻段加入關切名單中，設定等級為一。首次分析完畢後，系統將進行第二次分析，比較關切名單內等級一之頻段是否超出平均值，若超出則將其等級設置為二，最後系統將計算等級二之頻段於分析日期內之佔用率，如圖 4.1 及圖 4.2。本次檢測結果如圖 5.1 所示，於 3320MHz 至 3340MHz 及 3420MHz 至 3450MHz，表 4.2 可得知該頻段於系統分析機制中被認定為正常使用範圍，而 3530MHz 至 3550MHz 則為異常使用範圍，在該異常頻段經由本研究團隊透過人工分析，發現該頻段於 110 年 4 月 23 日至 110 年 5 月 9 日變化程度較大，且超出閾值(在此本研究團隊將平均值作為閾值)，並計算每一日之佔用率得出該值之成長趨勢為急速上升，因此系統方將此頻段列為紅色告警。

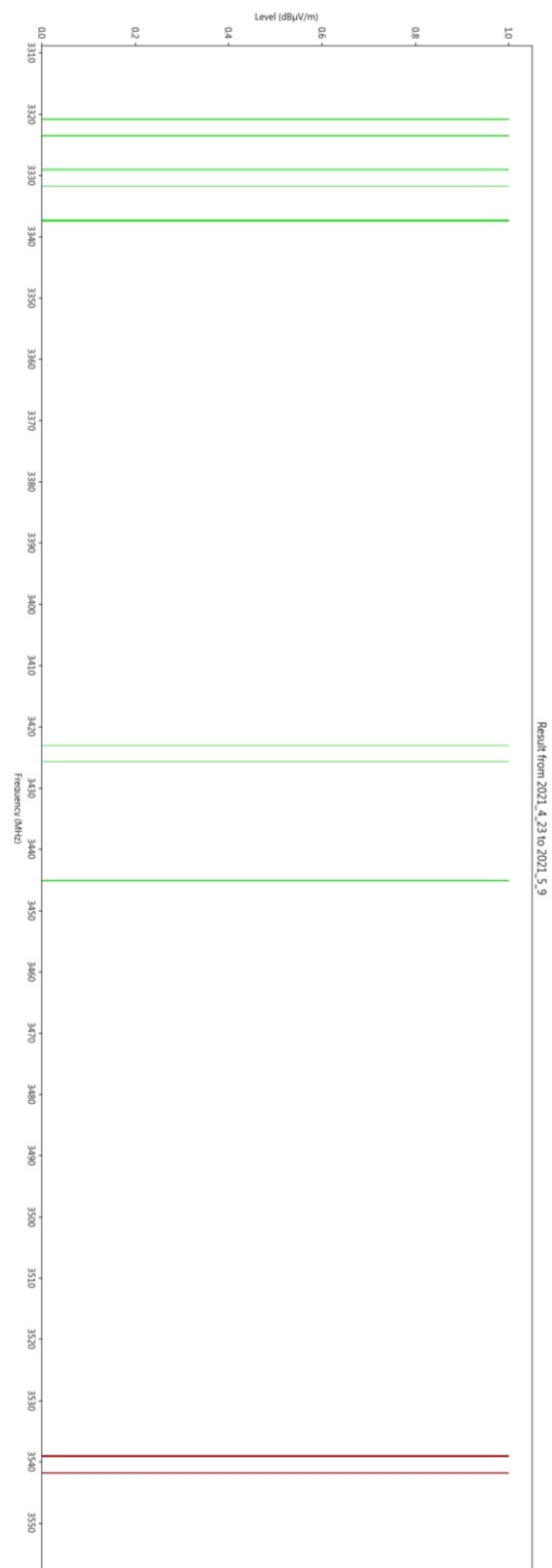


圖 5.1 行動通訊業務告警分類結果圖

第四節 業餘無線電干擾

業餘無線電干擾是指在無線電通信過程中發生的，不論是手持臺、車載臺、中繼臺在通話過程中，或是傳輸數據中常會受到外部雜訊和干擾的影響。這些干擾信號都是通過直接耦合或間接耦合方式進入無線通信設備的電磁波，它直接對有用信號的接收產生影響，使其性能下降，信號質量惡化，通信阻斷，所傳輸的數據誤差增大甚至丟失導致傳輸信號中斷，進而無法正常使用。這種無線電干擾對於業餘使用者來講是最不樂見的問題。對超短波頻率的通信來講，人為干擾中無線電設備的干擾是主要的，常見的干擾現象有同頻干擾、鄰頻干擾、帶外干擾、互調干擾等幾種。更詳細地去分析干擾來源對提出預防措施和減少干擾對通信品質的影響是非常有幫助的。在此以臺北市北區站作為範例說明 其他地區之圖檔請參閱附件四(電子檔)。

以下分析方式將以干擾預警機制系統呈現，配合系統流程圖逐步做說明，流程圖為圖 4.1 與圖 4.2。圖 5.2 為說明臺北市北區站地理位置圖，圖 5.3 為臺北市北區站多日之標準差，圖 5.4 為場強值與平均值比較圖，圖 5.5 為告警分類結果圖。

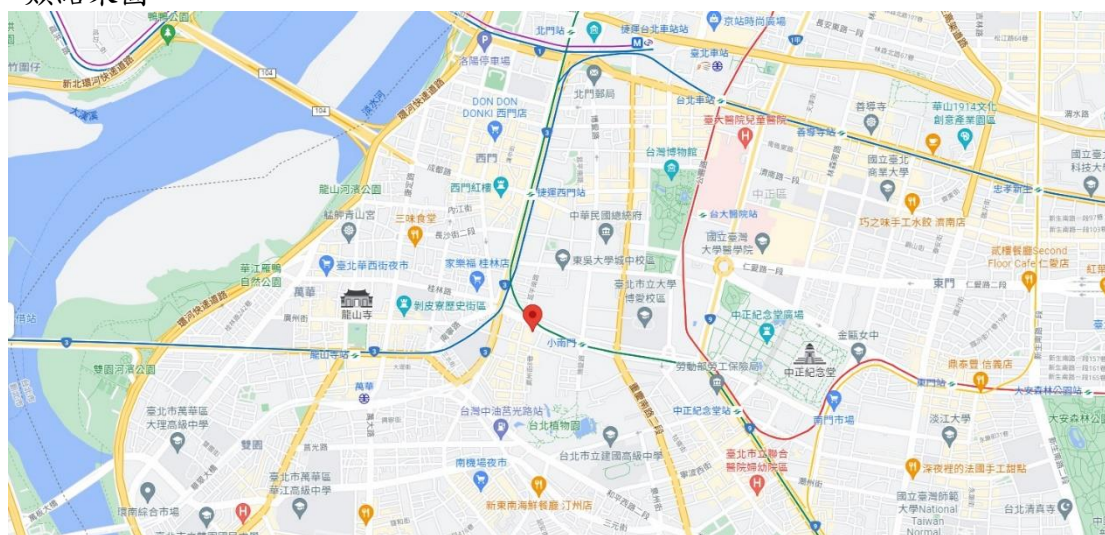


圖 5.2 臺北市北區站的位置圖

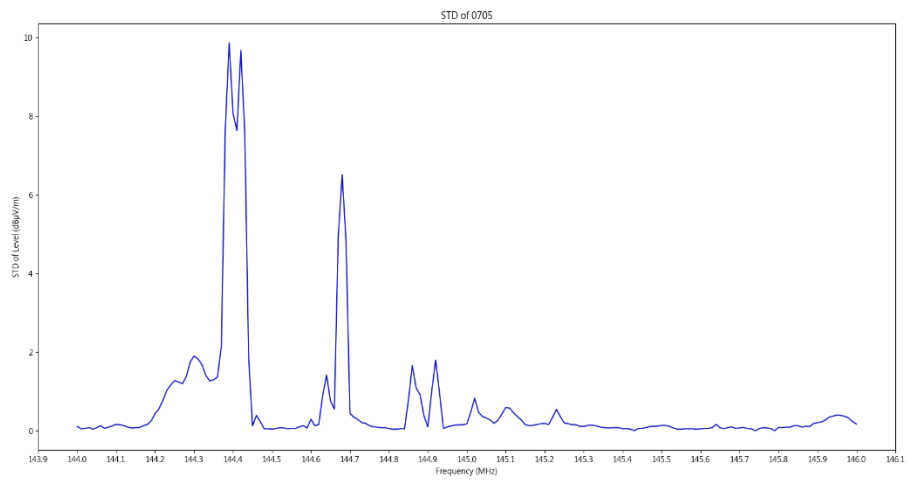


圖 5.3 臺北市北區站標準差頻譜圖

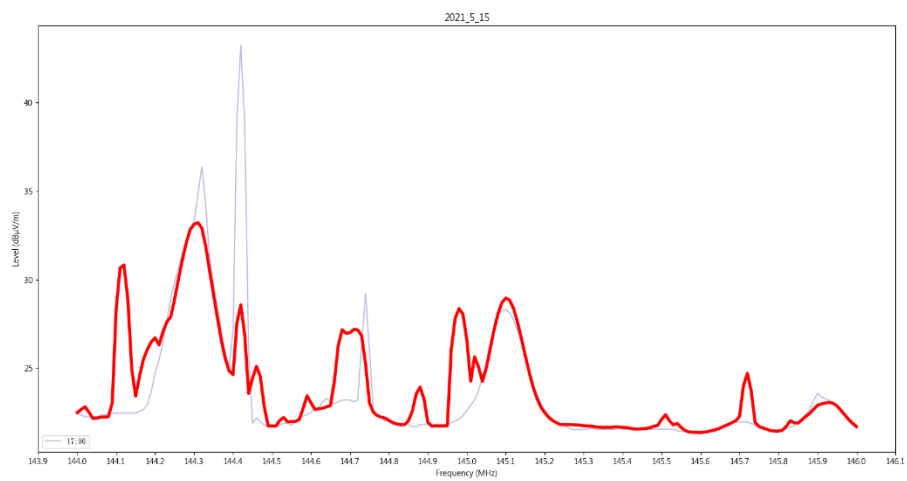


圖 5.4 臺北市北區站場強與平均值頻譜圖

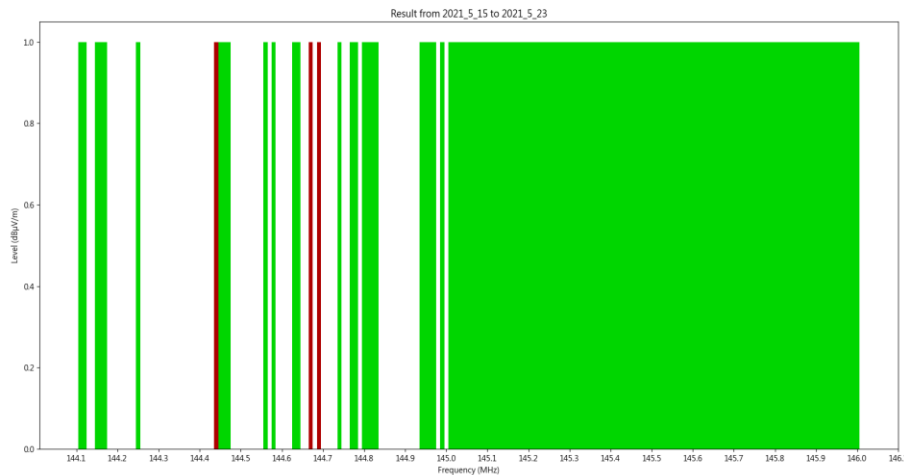


圖 5.5 臺北市北區站告警分類結果圖

資料來源：本研究整理

首先匯入檢測資料，檢測站臺為臺北市北區站，日期為 2021 年 5 月 15 日至 5 月 23 日，時間為全日，頻率為 143.9MHz 至 146.1MHz，匯入後系統將會依據資料類型進行分類；再來計算標準差，依據公式計算出各頻段之標準差，接著由計算之方式觀察是否存有標準差略高的頻段，閾值為最高場強之 75%。從圖 5.3 中，可發現 144.4MHz 與 144.7MHz 頻率的標準差較高；藉由平均值公式計算出場強平均值，再以當下場強值比對是否有超過平均值。由圖 5.4 中細線為當下場強值，粗線為平均值，可看出當下場強值已超過平均值；將所有資料與運算結果置入資料庫後進入分析環節；開始分析，載入關切名單中的頻段資料；接著計算佔用率，藉由分析數天行為是否有佔用率成長之趨勢，依照分析系統將結果顯示為綠、黃、紅三種告警指標，由綠至紅代表危害程度低至高；最後繪出結果圖，再將所有結果存至資料庫中。

第五節 廣播電臺干擾

廣播電臺干擾是指非法廣播電臺建置於合法核配頻段的閒置頻段使用，若發射機性能不良，一旦產生頻率偏移將會產生干擾的問題，或指蓄意發送無線電廣播訊號，降低訊噪比的方式影響通訊的品質。然而在某些情況，干擾是在無意的情況下造成的，例如廣播電臺操作人員或設備在未先檢查特定頻段是否已在使用的情况下直接發送訊號。

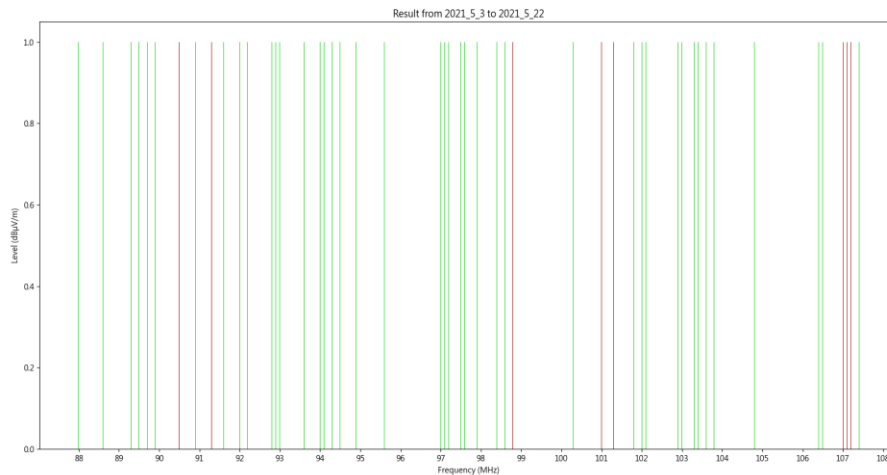


圖 5.6 廣播電臺-松山機場告警分類結果圖

廣播電臺分析案例的檢測站臺為松山機場，日期為 110 年 5 月 3 號至 5 月 22 號，首先篩選出較高標準差的頻段加入關切名單後，分析關切名單之頻段是否超過平均值，若超過則繼續分析此頻段的佔用率，並將其區分為綠、黃、紅三個告警指標，由綠至紅代表危害程度低至高，其數值範圍及對應告警顏色如表 4.2 所示。

過去的研究致力於分析二頻道之間的保護頻寬，避免頻率偏移而產生干擾，以及持續依法取締並積極開放頻道以解決非法廣播電臺問題，因此近年廣播電臺干擾的問題有明顯的改善。本告警分類結果圖的初步異常警示，以作為後續人工判斷的依據，從圖 5.6 中可見得綠色告警標示，分析因素為廣播電臺非 24 小時持續使用，以致標準差過大。同圖 5.6 之紅色告警標示，分析因素為非規律且蓄意發射高功率之訊號，達到影響原電臺的通訊品質，以致該頻段之標準差過大及佔用率逐日上升。

第六節 小結

本章節首先根據行動通訊、業餘無線電及廣播電臺可能會遇到的干擾去做彙整資料並列出各項干擾所構成的原因，並敘述與探討在預防干擾上有哪些策略可以執行，達到預防或降低上述干擾情況的發生。並且根據臺北市北區站行動通訊與業餘無線電以及松山機場廣播電臺的多日平均場強值去分析當日的數個時段，依據平均場強值的波型變化來敘述干擾的成因，最後再跟告警分類結果圖做比對。

第六章 飛航頻道通訊受廣播電臺訊號干擾成因分析

根據預警系統所產生的場強波形圖比對飛航指配的無線電頻率辨識可疑的頻段，就專家過往的研究經驗，干擾的成因較有可能為廣播電臺的交互調變產物落在飛航頻段，因此發現可疑頻段後，據以查找廣播電臺指配頻率交互調變產物落在此可疑頻段的可能性。以下會說明松山機場、桃園機場、高雄機場為干擾分析的案例。

第一節 松山機場

圖 6.1 至圖 6.4 分別為松山機場監測站在 00：00、06：00、12：00、18：00 四個時間點，從 5 月 3 日至 5 月 22 日的監測數據所計算的平均場強值，依據波形圖發現可能異常的頻率點做個別的說明。

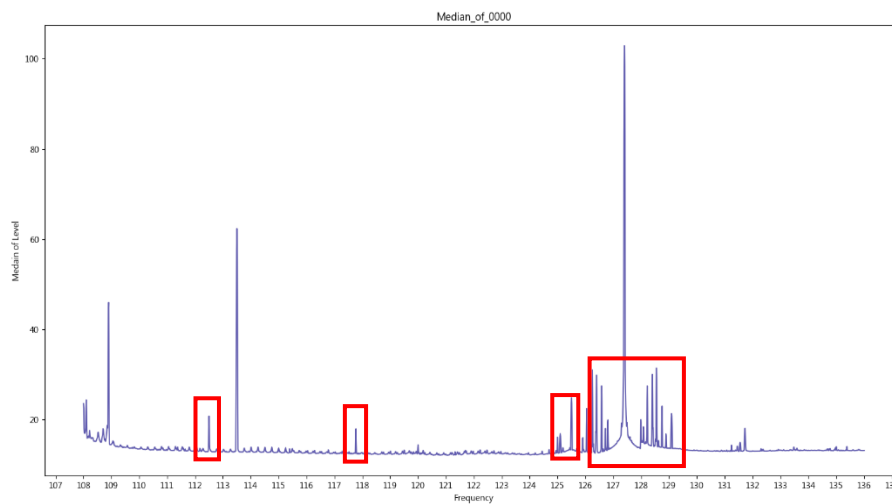


圖 6.1 松山機場 00：00 多日平均值頻譜圖

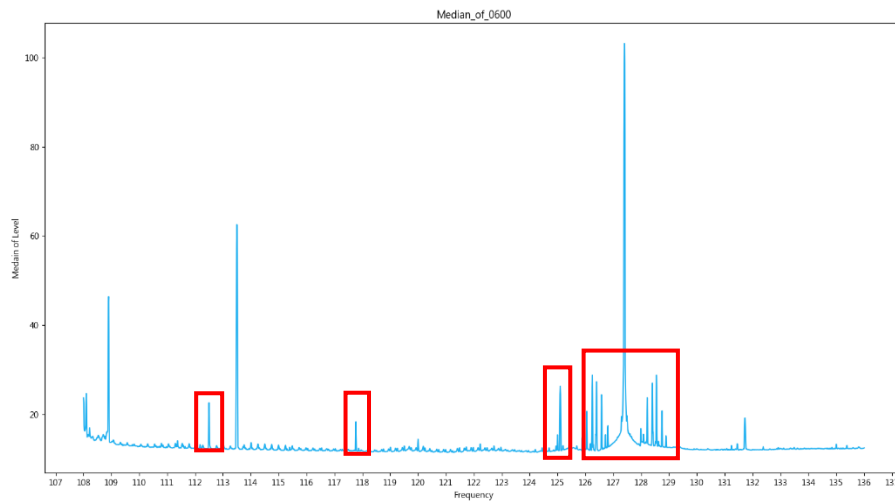


圖 6.2 松山機場 06：00 多日平均值頻譜圖

圖 6.1 和圖 6.2 的波形圖與表 6.1 松山飛航服務無線電通訊設施頻率及表 6.2 松山無線電助導航設施指配頻率比對，可以發現到未使用的頻段有異常突起的場強值，分別在 112.5MHz、117.7MHz 及 125.3MHz，因此藉由計算臺北新北的廣播頻道交互調變頻率來區分主頻頻段或交互調變頻段，而在 126MHz-129MHz 的頻段也有多個異常場強值。

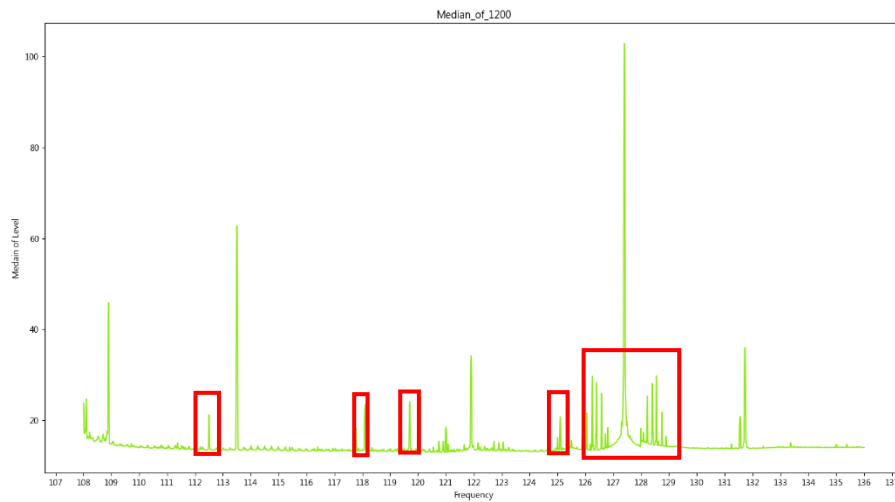


圖 6.3 松山機場 12：00 多日平均值頻譜圖

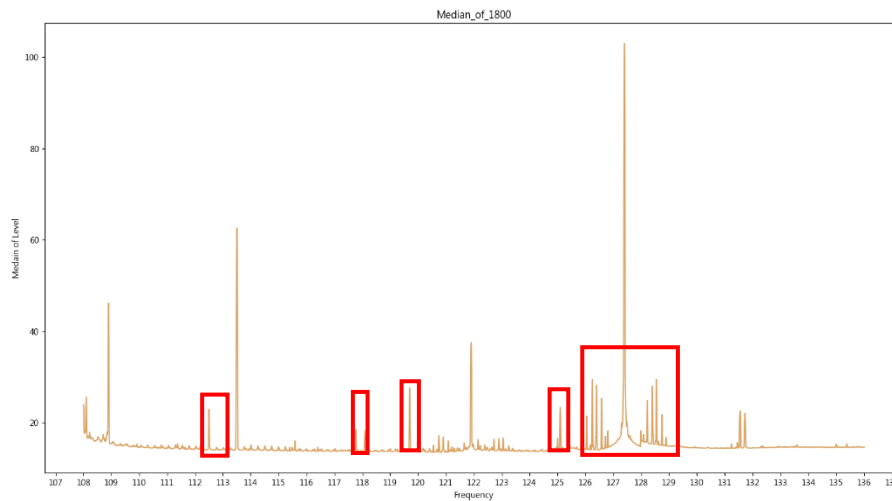


圖 6.4 松山機場 18：00 多日平均值頻譜圖

圖 6.3 和圖 6.4 的波形圖與表 6.1 松山飛航服務無線電通訊設施頻率及表 6.2 松山無線電助導航設施指配頻率比對，可以發現到除了圖 6.1 和圖 6.2 的異常頻率，在 119.7MHz 多出一個異常訊號。因此藉由計算臺北新北的廣播頻道交互調變頻率來區分主頻頻段或交互調變頻段。

● 松山機場異常頻率分析

一、112.5MHz 頻率分析

此頻率可能受到 A 電臺(101.7)及 B 電臺(90.9) 以及 C 電臺(104.9)及 D 電臺(97.3)的交互調變干擾，如 $2f_1 - f_2$ ， $2 \times 101.7 - 90.9 = 112.5$ 及 $2 \times 104.9 - 97.3 = 112.5$ 。

二、117.7MHz 頻率分析

此頻率可能受到 A 電臺(104.9)及 B 電臺(92.1)的交互調變干擾，如 $2f_1 - f_2$ ， $2 \times 104.9 - 92.1 = 117.7$ 。

三、119.7MHz 頻率分析

此頻率可能受到 A 電臺(104.9)及 B 電臺(90.1) 以及 C 電臺(105.9)及 D 電臺(92.1)的交互調變干擾，如 $2f_1 - f_2$ ， $2 \times 104.9 - 90.1 = 119.7$ 及 $2 \times 105.9 - 92.1 = 119.7$ 。

四、125.3MHz 頻率分析

此頻率可能受到 A 電臺(107.7)及 B 電臺(90.1)的交互調變干擾，如 $2f_1 - f_2$ ， $2 \times 107.7 - 90.1 = 125.3$ 。

五、126MHz-129MHz 頻段分析

此頻率可能因為 127.4MHz 頻率較強的訊號，導致監測站內部的交互調變產生多個交互調變產物。

表 6.1 松山飛航服務無線電通訊設施頻率

呼號	主頻率	備用頻率	運作時間
Songshan tower	118.1 MHz 236.6 MHz 275.8 MHz 126.3 MHz	無	22 : 00-15 : 00
Songshan ground	121.9 MHz 121.2 MHz	無	22 : 00-15 : 00
Songshan airport	127.4 MHz 341 MHz	無	22 : 00-15 : 00
As appropriate	121.5 MHz 243 MHz	無	24 小時

資料來源：[24]

表 6.2 松山無線電助導航設施頻率

設施類別、磁差、 ILS/MLS 類別	識別	主頻率	運作時間
10 ILS LOC	ITSG	108.9 MHz	24 小時
10 ILS GP		329.3 MHz	
VOR/DME	TSI	113.5MHz	
L	SG	310 kHz	
L	LU	357 kHz	
28 LDA	ITLU	108.1 MHz	

資料來源：[24]

第二節 桃園機場

圖 6.5 至圖 6.8 分別為桃園機場監測站在 00：06、06：00、12：00、18：00 四個時間點，從 5 月 16 日至 5 月 22 日的監測數據所計算的平均場強值，依據波形圖發現可能異常的頻率點做個別的說明。

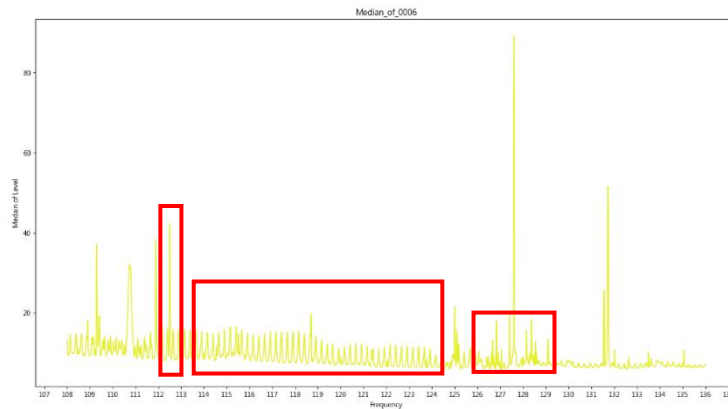


圖 6.5 桃園機場 00：06 多日平均值頻譜圖

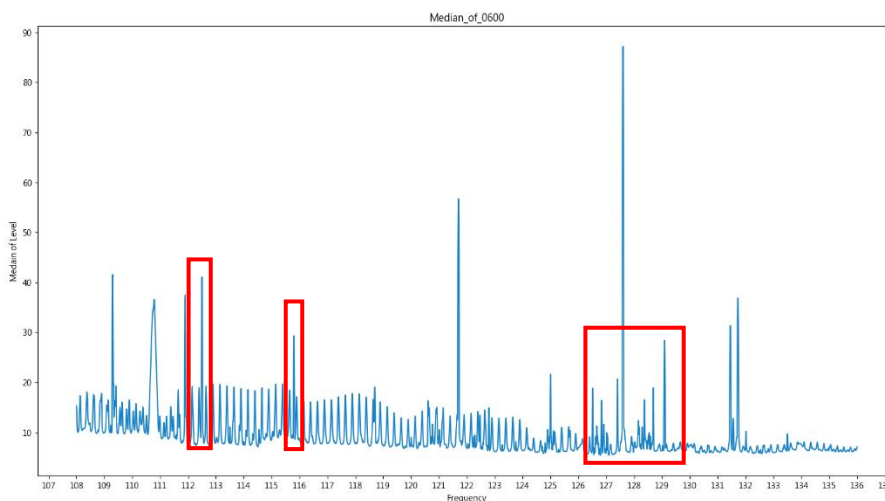


圖 6.6 桃園機場 06：00 多日平均值頻譜圖

圖 6.5 和圖 6.6 的波形圖與表 6.1 松山飛航服務無線電通訊設施頻率及表 6.4 桃園無線電助導航設施指配頻率比對，可以發現到未使用的頻段有異常突起的場強值，分別在 112.7MHz 和 115.9MHz。因此藉由計算臺北新北的廣播頻道交互調變頻率來區分主頻頻段或交互調變頻段，在 113MHz-124MHz 有多個異常的連續波形，126MHz-129MHz 的頻段也有多個異常的場強值。

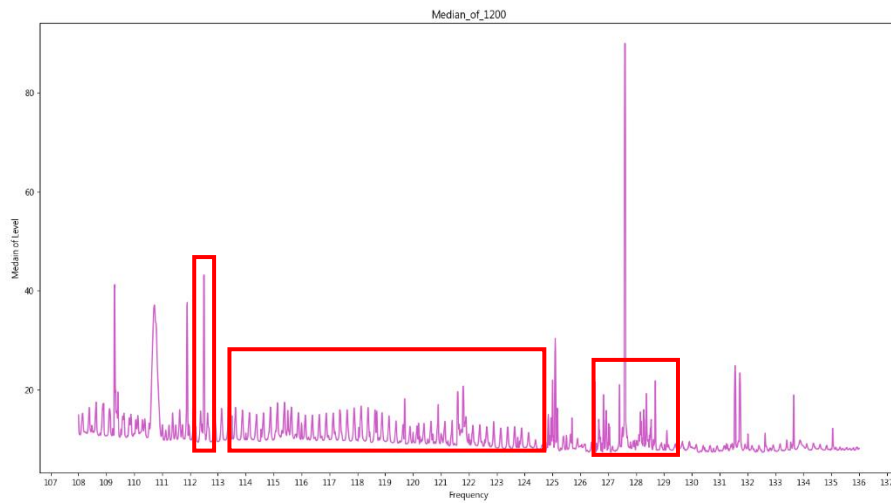


圖 6.7 桃園機場 12：00 多日平均值頻譜圖

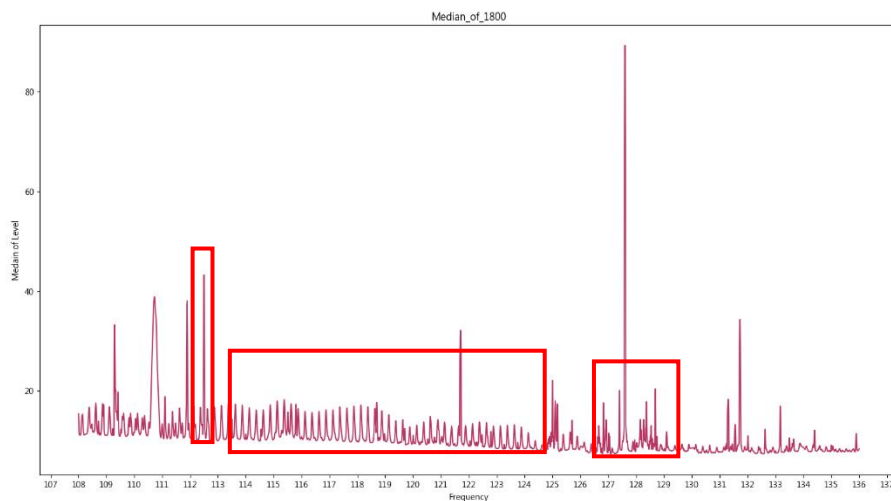


圖 6.8 桃園機場 18：00 多日平均值頻譜圖

圖 6.7 和圖 6.8 的波形圖同樣在 112.7MHz 發現未使用的頻段有異常突起的場強值，及在 113MHz-124MHz 有多個異常的連續波形，126MHz-129MHz 的頻段也有多個異常的場強值。

● 桃園機場異常頻率分析

一、112.7MHz 頻率分析

此頻率可能受到 A 電臺(101.1)及 B 電臺(89.5)以及 C 電臺(106.9)及 D 電臺(101.1)的交互調變干擾，如 $2f_1 - f_2$ ， $2 \times 101.1 - 89.5 = 112.7$ 及 $2 \times$

106.9 – 101.1=112.7。

二、115.9MHz 頻率分析

此頻率可能受到 A 電臺(104.3)及 B 電臺(92.7)的交互調變干擾，如 $2f_1 - f_2$ ， $2 \times 104.3 - 92.7=115.9$ 。

三、113MHz-124MHz 頻段分析

此頻段因射頻模式的不同產生較明顯的背景雜音，將於第三節綜整說明。

四、126MHz-129MHz 頻段分析

此頻率可能因為 127.6MHz 頻率較強的訊號，導致監測站內部的交互調變產生多個交互調變產物。

表 6.3 桃園飛航服務無線電通訊設施頻率

呼號	主頻率	備用頻率	運作時間
Taipei approach	119.6 MHz 119.7 MHz 121 MHz 123.5 MHz 125.1 MHz 125.6 MHz 128.5 MHz 228.0 MHz 251.3 MHz	122.3 MHz 124.2 MHz 306.6 MHz 330.9 MHz	24 小時
Taipei flight follow	119.5 MHz 329.5 MHz	無	24 小時
Taipei tower	118.7 MHz 236.6 MHz	129.3 MHz	24 小時
Taipei ground	121.7 MHz	無	24 小時
	121.6 MHz	無	22：00-16：00
Taipei delivery	121.8 MHz	無	23：00-15：00

呼號	主頻率	備用頻率	運作時間
Taiwan Taoyuan INTL airport	127.6 MHz	無	24 小時
As appropriate	121.5 MHz 243.0 MHz	無	24 小時

資料來源：[24]

表 6.4 桃園無線電助導航設施頻率

設施類別、磁差、 ILS/MLS 類別	識別	主頻率	運作時間
05L ILS LOC	ITIA	111.1 MHz	24 小時
05L ILS GP		331.7 MHz	
23R ILS LOC	ITYA	109.3 MHz	
23R ILS GP		332 MHz	
05R ILS LOC	ICKS	110.7 MHz	
05R ILS GP		330.2 MHz	
23L ILS LOC	ICJN	111.9 MHz	
23L ILS GP		331.1 MHz	

資料來源：[24]

第三節 高雄機場

圖 6.9 至圖 6.12 分別為高雄機場監測站在 00：06、06：00、12：00、18：00 四個時間點，從 5 月 16 日至 5 月 22 日的監測數據所計算的平均場強值，依據波形圖發現可能異常的頻率點做個別的說明。

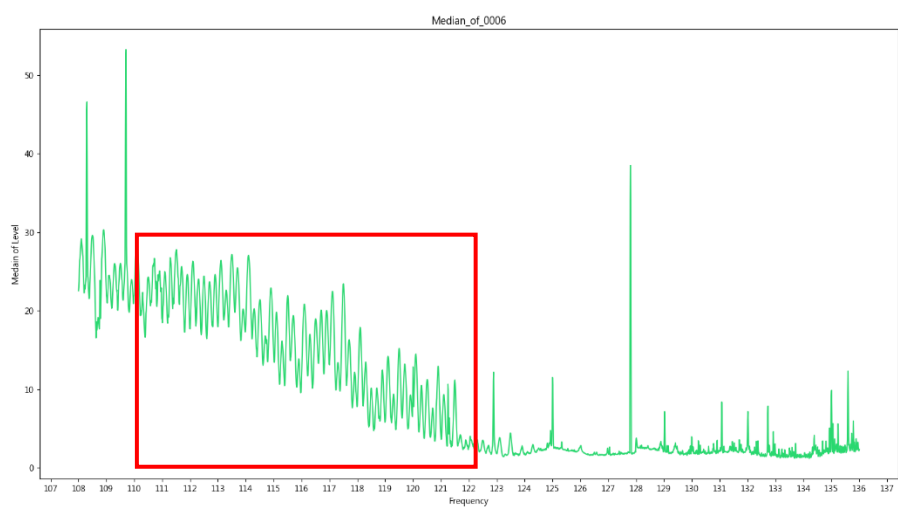


圖 6.9 高雄機場 00：06 多日平均值頻譜圖

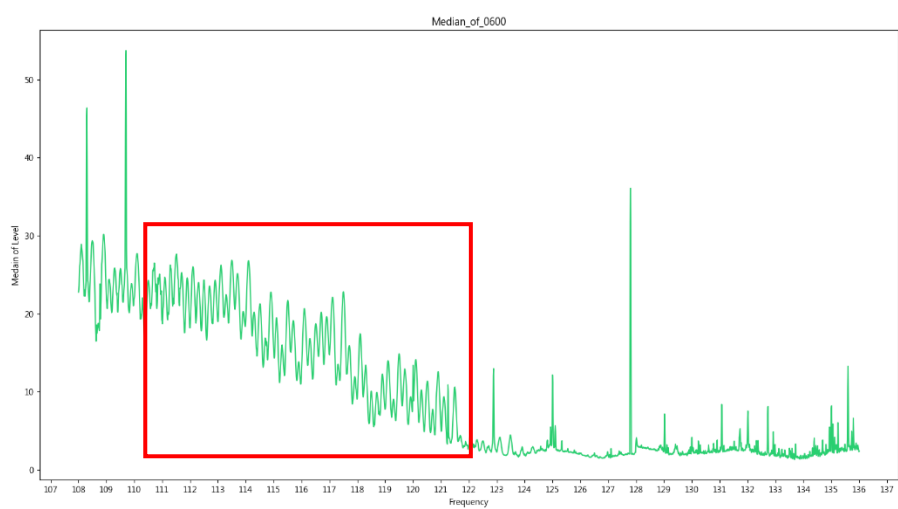


圖 6.10 高雄機場 06：00 多日平均值頻譜圖

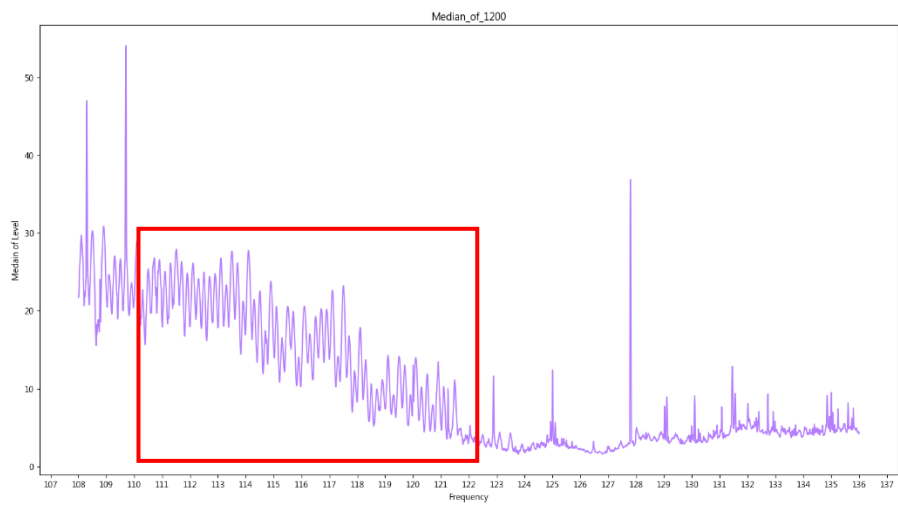


圖 6.11 高雄機場 12：00 多日平均值頻譜圖

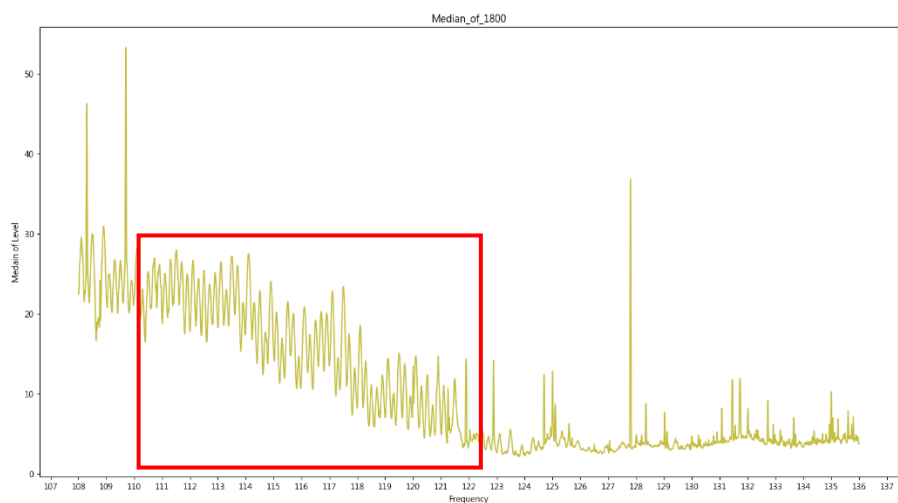


圖 6.12 高雄機場 18：00 多日平均值頻譜圖

圖 6.9 和圖 6.12 的波形圖與表 6.1 松山飛航服務無線電通訊設施頻率及表 6.6 高雄無線電助導航設施指配頻率比對，可以發現到未使用的頻段有異常突起的場強值，在 110MHz-122MHz 有多個異常的連續波形。

● 高雄機場異常頻率分析

一、110MHz-122MHz 頻段分析

此頻段因射頻模式的不同產生較明顯的背景雜訊，將於本節的最後做綜整說明。

表 6.5 高雄飛航服務無線電通訊設施頻率

呼號	主頻率	備用頻率	運作時間
Kaohsiung approach	124.7 MHz 228.4 MHz 121.1 MHz 328.7 MHz	125.7 MHz 232.2 MHz 324.8 MHz	24 小時
Kaohsiung flight follow	119.5 MHz 135.8 MHz 329.5 MHz	無	24 小時
Kaohsiung tower	118.7 MHz 120.7 MHz 236.6 MHz 121.9 MHz	無	22 : 00-16 : 00
	121.8 MHz		23 : 00-11 : 00
Kaohsiung INTL airport	127.8 MHz	無	22 : 00-16 : 00
As appropriate	121.5 MHz 243 MHz	無	24 小時

資料來源：[24]

表 6.6 高雄無線電助導航設施頻率

設施類別、磁差、 ILS/MLS 類別	識別	主頻率	運作時間
L	SK	330 kHz	24 小時
09 ILS LOC	IKHG	108.3 MHz	
09 ILS GP		334.1 MHz	
27 ILS LOC	IKAS	109.7 MHz	
27 ILS GP		333.2 MHz	

資料來源：[24]

從圖 6.5 至圖 6.8 的 113MHz-124MHz 及圖 6.9 至圖 6.12 的 110MHz-122MHz 頻段可以觀察到與松山機場的波形不同，其主要是選用的測試模式不同所導致。若選擇在 low noise 模式時，會出現背景雜訊較高的情況；選擇 low distortion 模式時，背景雜訊明顯降低；而 normal 模式較無明顯的變化。因此未來在分析異常波形時，可針對不同形式的干擾情形來調整射頻模式，讓背景雜音出現影響監測情況降到最低。

第四節 小結

飛航頻道通訊受廣播電臺訊號干擾成因主要由廣播電臺訊號的交互調變產物落於飛航頻道內及較強的訊號導致內部的交互調變情形發生，在異常頻段說明射頻模式對於背景雜訊的影響。

松山機場從 5 月 3 日至 5 月 22 日的監測數據中，觀察到多個異常頻率，且已由目前使用中的廣播電臺頻率對應其交互調變頻率，驗證飛航頻道通訊受廣播電臺訊號干擾的可能性。

桃園機場從 5 月 16 日至 5 月 22 日的監測數據中，同樣與松山機場有多個異常頻率，另在 113MHz-124MHz 的頻段中發現異常的背景雜訊，在第三節中說明三種射頻模式對於背景雜訊的影響。

高雄機場從 5 月 16 日至 5 月 22 日的監測數據中，同樣與松山機場觀察到有異常的背景雜訊，雖無法得知背景雜訊是否會影響到飛航通訊，但可調整射頻模式降低其異常的背景雜訊。

第七章 電波監測系統未來之精進措施及預警機制規劃建議

本案為強化干擾測向與干擾排除之功能，針對監測數據一步進行分析，以強化監測頻率範圍、異常訊號、測向功能與數位調變等功能。本章節對其預期效益、研究時程與經費評估做敘述，對未來之精進措施提供建議。

第一節 預期效益分析

為評估本計畫之預期效益，本小節從質化效益與量化效益兩方面分析，如下所示。

一、質化效益分析

(一)潛在未發現的干擾

民國 107 年完成新世代電波監測系統建置，以因應未來飛航、突短微弱、低功率無線電設備與都會區的特殊干擾問題。新世代電波監測系統自 107 年竣工啟用至今，對監測頻率範圍、異常訊號、測向與數位解調變等功能皆優於原系統，惟對監測數據尚未進行深入分析。為實現頻譜資源之有效管理，使無線電系統在有限的頻譜內和諧共存，並快速發現與排除電波干擾。透過本案提出的預警系統，能提前對數據進行整理，能強化數據蒐集、資訊處理與分析能力，預期從原本較為被動的方式，優化為能主動發現異常干擾，進而提高處理干擾之效率。

(二)異常訊號長時間的追蹤

由於系統初步判斷為一天的異常判斷，其正確率未能達到預期，為了確保資料之正確性，本系統對每日異常做長時間的追蹤，透過佔用率判斷該異常頻段之異常情形是否有逐漸減緩或增加之趨勢及判斷時間佔比是否過高，來達到長時間追蹤的目的。

(三)判別非隨機出現的干擾訊號

造成電波干擾的原因大多為發射機發射過大功率或者為頻率間隔不當所導致。因此可透過計算訊號之鏈路預算便可得知接收端可否接收發射端之訊號。於本案例中，透過每日蒐集之訊號強度進行回歸追蹤或大數據分析，用以判斷某一頻段是否遭受到異常訊號干擾，可以提升判斷干擾的效率。

(四)建立各種訊號偵測處理與判別案例歸納

由於目前處理訊號干擾異常的狀況的主要方式為透過申報，本系統將數據過篩後，計算出各個頻段於不同天之場強值之標準差以及平均值。透過各頻段之標準差值進行判斷，若標準差值過高則表示該頻段之場強值離散值偏大，在此便將其判斷為異常高波發生處並將其紀錄於關切頻段，反之則為正常波段。

將頻譜數據分為三種干擾程度等級，並以綠、黃、紅三種顏色表示做為區分，貴會可將此過篩結果做為判斷是否為真實干擾之依據，將原本較為被動的方式精進成為主動，進而提升干擾判別之效率。

(五)資料圖形化

隨著大數據時代邁向巔峰，若要理解每天產生的大量資料，視覺化方法顯得越來越重要。資料視覺化有助於敘事，也能幫助我們輕易理解，從而找出趨勢與異常值，讓資料變得清楚，我們需要的資訊也會水落石出。本系統將每筆資料統整並能以連續波段的圖形顯示出來，使我們能對當前頻段狀況一目了然，也能對多天的頻段情況進行疊加，進行比較，使相關人員在判斷上更為正確與快速。

二、量化效益分析

(一)減少資料的整理

在現有設備系統中儲存了大量的頻譜資訊，但這些資訊都未經處理。當干擾發生時，這些數據無法幫助我們解決案件。本計畫提出之系統將頻譜資訊處理成可視化資訊，使得未來在頻譜規劃及即時處理上更有效率，預估可以節省40%~50%的資料處理時間。

(二)縮短案例判讀時間

原本收到通報後，需到現場進行訊號收集，再判別干擾；系統化後，因我們已經將已有的頻譜資訊處理為圖片，無論是發生干擾或是想知道目前頻譜利用狀況，都可以利用經系統處理完的圖片資訊來做為依據，以縮短判讀時間，預估能提升25%的效率。

第二節 時程與經費評估

本計畫預計將未來研究時程規劃約莫為半年的時間來實行，工作項目分為數據分析、採購設備與建立系統、系統整合、系統參數修正、運作後調整五個項目，而各項目所需時間如表 7.1 和表 7.2 所示。表中數據分析為將 NCC 電波監測原始檔案之數據經過統計方式，計算出與本系統相對應之數值，做為系統之參數，再採購所需設備，並同時在設備上建立系統，考慮採購設備所需時間，時程規劃較長，設備與系統建立之後，將其整合並系統化，接下來就能調整各參數值，使其能夠更正確判斷異常干擾，最後在實際運作後，根據實例與系統判斷的數值，將系統調整為更符合實際狀況之情形。

一、時程

表 7.1 時程甘特圖

時間 工作項目	第一月	第二月	第三月	第四月	第五月	第六月
數據分析						
採購設備與 建立系統						
系統整合						
系統參數修正						
運作後調整						

表 7.2 工作項目與預估時間

工作項目	預估時間
數據分析	1 個月
採購設備及建立系統	3 個月
系統整合	1 個月
系統參數修正	1 個月
運作後調整	1 個月

資料來源：本研究整理

二、經費評估

綜上節所述，其採購並建立系統之設備費用，如：資料庫儲存設備[硬碟空間(預估需 6TB)]、電腦設備(記憶體建議為 32G)、防毒軟體等。以及人事及業務費用，初估總預算為柒拾萬元整。

第三節 未來精進措施

為了頻譜資源得到高效使用，則須依據國際電信聯盟的國家規則和《無線電規則》以準則進行協調和管制。各國利用頻譜資源的能力很大程度上取決於頻譜管理機制，這些機制旨在改進無線電系統的實施，以確保最小的干擾。為實現該目標，管理部門應使用自動化的頻譜管理系統。此外，後續建議可延續本案基礎，研究進行干擾訊號源與正常頻譜間相關參數之調整，加入人工智能演算法基礎，達成自動化之目的。

一、短期建議

(一)結合目前監測系統蒐集之數據建立預警系統，以便於貴會人員初步異常判斷的依據。

(二)結合許可證發放

為因應各種不同無線電業務之特定目的，例如：國定節日、熱門景點...等人口流動較為繁瑣之情形，其頻譜變動幅度較大。許可證可透過向相關監測單位申請取得，相關監測單位將此申請之頻段透過登記方式寫入許可證中，並經由相關人員將許可證放入系統中，使系統於某特定時段忽視其異常現象。建議結合許可證的發放，以便執行效率之最大化。

二、中長期建議

(一)建立自動化的預警機制

以往的頻譜管理都是利用紙本申請及人工審核方式來建立相關管理機制。但隨著資料量、交易處理量、分析運算元量和複雜性的增加，維持人工頻譜管理系統的費用也隨之不斷增加。因此，使用自動頻譜管理系統已成為必然趨勢。在實現自動化前，需考慮資金與人員培訓，以及如何結合目前系統，因此在實施初期以人工操作為主，系統為輔之目標，完成後再依需求，進而變成系統為主，人工操作為輔，最後考量開發全自動化之系統。頻譜管理自動化請參閱本次報告第三章第三節。

(二)持續追蹤各國國際聯盟訂定之規範(如：International Telecommunication Union, ITU 等)

可參考 ITU 其無線電通訊部門(ITU Radiocommunication Sector, ITU-R)，追蹤內容包括無線電頻譜及衛星軌道，並依據世界無線電通信大會(World Radiocommunication Conference, WRC)之各項決議，更新我國之無線電相關規章。

本章節對目前提出的預警機制系統以質化及量化的方式來完成分析，質化的部分，期望能對現有的環境做出很大的改善；而量化的部分，由於缺乏實際數據的資料參考，以推想的方式評斷，預期在未來效果也能達到一定水平。欲完成本系統，預估的完成時間為 6 個月，每一監測站點總經費預估為 70 萬元。

第八章 結論

針對期中報告審查意見的修正及說明於附件一呈現，為了增加期末工作項目的合理性及完整性，於九月二十四日與 NCC 專家探討實際干擾案件的處理流程，附件二為此次的訪談議程和紀錄。於十月十五日與張耀堂博士探討分析干擾案例的經驗，其訪談議程和紀錄於附件三呈現。本案各工作項目的研析結論說明如下：

一、干擾訊號於 HF/VHF/UHF 之分類方法

干擾訊號於 HF/VHF/UHF 主要分為四種，分別為同頻干擾、鄰頻干擾、諧波干擾和交互調變干擾，其個別定義及說明於第二章第一節呈現。

二、無線電系統之間干擾判別之計算方法

造成電波干擾的原因大多是發射機發射過大功率或是頻率間隔不當所導致的。所以可透過計算訊號的鏈路預算可以得知接收端是否可以收到發射端的訊號，因此由鏈路預算與背景雜訊的差值及衰減後功率值(如諧波發射、交互調變發射)的上限來估算的鏈路預算做為干擾判別的依據。同樣地，在估算的公式中也可以得知功率愈大時，在接收端收到的訊號強度愈強，則有較高的機率干擾到其他有用訊號。但這些計算方式往往需要傳播路徑相關參數值(如地形變化)，才能來判斷是否為異常訊號所產生的干擾事件。

三、無線電系統的頻譜利用評估機制

本研究團隊蒐集國家頻譜管理手冊及專家訪談的經驗分享整理頻譜利用的評估機制，主要分為四個項目探討，分別為頻譜管理活動自動化、閒置頻段設備(White space device)、位置及時間感測、頻譜效率評估分析，建立頻譜利用評估機制後可以更有效的管理及使用頻譜資源。

四、依地域進行之無線電涵蓋評估機制

本研究團隊介紹電波涵蓋範圍的模型如自由空間傳播損失模型、Cost-231 Hata 模型、ITU-R P.370-7、ITU-R P.1546-4、ITU-R P.1546-6 及 ITM 模型等六個模型架構。但符合臺灣地形的條件只有 ITU-R P.1546-4、ITU-R P.1546-6 及 ITM 模型。經過研議後，在本計畫所採用的電波涵蓋模擬是採用 ITM 模型。同時，所使用的模擬工具為 radio mobile online，其模擬頻率範圍涵蓋可從 20MHz 至 20GHz，且它也納入了其它模型並無考慮的參數，如天線類型、極化方向(極化必須是水平或是垂直)、折射性、不同材質的介電常數、各種氣候區、路徑參數等等(有效天線高度、仰角和地平線距離、地形不規則性、參考衰減)。此外，該模型有另一項重要優點於能夠考慮到更多不同的參數，讓使用者面對自己的需求時能夠做適應性調整，也使它可以更廣泛地應用在各個地方。

五、選擇合適之電波監測站

本研究團隊針對業餘無線電、飛航頻道等，具有顯著訊號源之監測站點，其監測站地點之特殊功能及區域性，如：靠近機場附近或具代表性之都會區，監測站地理涵蓋可能訊號源之特殊性，如：監測涵蓋範圍較廣泛，及目前已收集之監測站資料數據，在分析過程中已經發現特殊或異常資訊做為選擇監測站點的依據。

六、監測數據進行必要之蒐集及處理

本章節由流程圖說明監測數據的蒐集和處理的過程，經過系統的計算可以做為初步的干擾預警機制，減少業務間互相干擾的機會。

七、頻譜利用率分析

本章節是計算頻譜在一天的使用情況，因頻譜是一個有限的資源，根據其頻譜利用率由頻譜利用評估機制來判斷是否還有可利用的頻率。

八、數據正規化處理

第四章講述系統如何使用及其運作分析原理，並透過實際案例進行分析，也成功得出可疑干擾頻段。此外於第四章第四節也說明本次提出之系統有何缺陷及其使用上之限制。

九、建立分析案例

第五章首先介紹行動通訊、業餘無線電及廣播電臺干擾的成因分析，並且透過臺北市北區站的告警分類結果圖去分析干擾的成因，根據四個不同的時段，可以發現疑似的干擾的頻段。

十、飛航頻道通訊受廣播電臺訊號干擾成因分析

飛航頻道通訊受廣播電臺訊號干擾成因以松山機場、桃園機場、高雄機場作為分析案例，主要由頻譜波形圖與指配頻率的比對，可以區分主頻及可能的交互調變訊號，在異常的連續波形中，探討射頻模式的不同對於背景雜訊的影響。

十一、預期效益分析

根據計畫研究，本預警機制系統在資料處理方面已有成效，如在未來成功與現有系統整合並實行，能有效提升頻譜資源之有效使用與管理，以及能快速發現與排除境外與境內電波干擾，使得我國在頻譜管理以及干擾處理方面的能力能有所提升。

中英文名詞對照表

英文縮寫	英文全名	中文
ACI	Adjacent Channel Interference	鄰頻道干擾
ACIR	Adjacent Channel Interference Ratio	鄰頻干擾比
ACL	Adjacent Channel Leakage Ratio	鄰頻洩漏比
ACS	Adjacent Channel Selectivity	鄰頻道選擇性
ASMS	Automated Spectrum Management System	自動頻譜管理系統
DTM	Digital Terrain Model	數值地形模型
ERP	Effective Radiated Power	有效輻射功率
EURO-COST	The European Co-operative for Scientific and Technical research	歐洲科學技術研究合作
GIS	Geographic Information System	地理資訊系統
HF	High Frequency	高頻
ITU	International Telecommunication Union	國際電信聯盟
ITU-R	International Telecommunication Union Radio communication Sector	國際電信聯盟無線電通信部門
PTP	point-to-point	點對點
RDBMS	Relational Database Management System	關聯式資料庫管理系統
RNSS	Radio Navigation Satellite System	衛星無線電導航服務
RSE	Relative Spectrum Efficiency	相對頻譜效率
SMS4DC	Spectrum Management System for Developing Countries	發展中國家頻譜管理系統軟體

英文縮寫	英文全名	中文
SQL	Structured Query Language	結構化查詢語言
SUE	Spectrum Utilization Efficiency	頻譜利用效率
TVBD	Television Band Devices	電視頻段設備
UHF	Ultra High Frequency	超高頻率
VHF	Very High Frequency	特高頻率
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	寬頻分碼多工
WSD	White Space Device	閒置頻譜設備

參考文獻

- [1] 張耀堂 教授、王春清 教授、熊大為 教授、鄭旭志 教授以及李國龍 工程師，101 年特殊干擾處理技術與方法之評估研究，中華民國 101 年 12 月。
- [2] 李學智、唐震寰以及楊成發，91 年廣播電臺共站評估與規劃，中華民國 91 年 12 月。
- [3] ITU-R 國家頻譜管理手冊 edition of 2015.
- [4] Interference Analysis Modelling Radio Systems for Spectrum Management.
- [5] ITU-R 無線電規則 edition of 2020.
- [6] ITU-R SM.1046-3 建議書(09/2017).
- [7] 林信標、林丁丙、蔡邦均、莊嶸騰，100 年電波監測網監測範圍涵蓋評估研究，中華民國 100 年 10 月。
- [8] TUNING OF COST-231 HATA MODEL FOR RADIO WAVE PROPAGATION PREDICTION4.
- [9] ITU-R P.1546-4 建議書(10/2009)。
- [10] ITU-R P.1546-6 建議書(08/2019)。
- [11] VHF AND UHF PROPAGATION CURVES FOR THE FREQUENCY RANGE FROM 30 MHz TO 1000 MHz.
- [12] R. Saunders, "Antennas and Propagation for Wireless Communication System," West Sussex, John Wiley, 2007, pp. 89-91.
- [13] Okumura Y., Ohmori E., Kawano Y., and Fukuda K., "Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile radio service," Rev. Electr. Commun. Lab., 16, 825-873, 1968.
- [14] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications principles and practice," New Jersey, Prentice Hall, 2002.
- [15] Parsons David, "The Mobile Radio Propagation Channel," John Wiley & Sons, 1998.
- [16] International Telecommunication Union. "Recommendation ITU-R P.370-7: VHF and UHF Propagation Curves for the Frequency Range from 30 MHz to 1000 MHz," Oct. 1995.
- [17] Radio Mobile Online-Online RF propagation simulation software.
- [18] 天線傳播模型之 COST231-Hata 模型介紹。

- [19] Notes on Longley-Rice Propagation.
- [20] What is the Longley-Rice Propagation Model.
- [21] 無線電對講機干擾分類。
- [22] 無線電干擾。
- [23] 5G 時代無線環境空前複雜，軟體模擬搞定射頻系統干擾。
- [24] eAIS Package for Taipei FIR, Civil Aeronautics Administration, MOTC R.O.C.