

6 GHz (5925-7125 MHz) 頻段資源規劃
供免執照使用
政策說明文件

數位發展部
中華民國 112 年 4 月

目錄

壹、背景說明.....	1
貳、國際 6 GHz 頻段規劃與核配發展概況.....	3
一、國際 6 GHz 頻段規劃.....	3
二、國際 6 GHz 頻段 U-NII 設備使用之規範.....	5
(一) 歐盟 ETSI U-NII 設備技術規範 (5945-6425 MHz).....	6
(二) 美國 FCC U-NII 設備技術規範 (5925-7125 MHz).....	6
參、國內政策規劃與干擾實測概況.....	10
一、國內 6 GHz 頻段目前使用狀態.....	10
二、我國 6 GHz 頻段開放免執照使用之干擾評估分析.....	11
(一) 干擾分析架構.....	11
(二) 分析結果.....	11
三、規劃基本原則.....	13
四、議題說明.....	14
(一) 頻段開放.....	14
(二) 功率規範及使用限制.....	16
(三) 配套措施.....	17
【附件一】交通部 111 年 4 月 8 日預告「中華民國無線電頻率分配表」草案..	18
【附件二】Wi-Fi 6E 干擾實測報告.....	21

壹、背景說明

無線電頻譜 (Spectrum) 資源在推動人類社會與經濟成長扮演重要角色，與現今人類生活密不可分，屬於重要自然資源之一。各類無線通訊服務多仰賴無線電頻譜資源做為服務提供媒介，例如國人使用行動電話時透過無線電頻譜傳送影音或語音服務，或透過藍牙與設備連線，以及透過 Wi-Fi 連上網際網路等，形形色色的無線電服務與應用都將持續增加，對民眾的生活與社會經濟發展影響日漸深遠。基於確保重要資源有效管理之目的，各國政府均透過專責機關管理頻譜資源。本部為我國頻譜資源之管理機關，針對與民眾生活息息相關之無線電頻率應用，持續觀察國際頻譜資源規劃與技術最新發展，並分析國內頻譜使用現況及需求趨勢後，訂定「中華民國無線電頻率分配表」供各界有所依循，亦持續依國際發展情況及國內需求趨勢做滾動式檢討，以利頻譜資源最大化之利用。

近年來因嚴重特殊性傳染性肺炎 (COVID-19) 疫情，為降低實體接觸的可能，更進一步推動遠距工作、視訊會議等相關網際網路應用服務發展，加深民眾對上網之需求，而透過 Wi-Fi 無線寬頻分享器連接網際網路為民眾常見主要上網方式之一，基於器材在取得、設定及使用方式之便利性、可多人共同使用、降低上網成本等優勢，使 Wi-Fi 設備廣泛運用於家庭、辦公場所與公共空間等區域，對推動全球網路服務普及極具貢獻。

全球 Wi-Fi 技術持續演進，108 年推出之第六代 Wi-Fi 技術 (Wi-Fi 6¹)，該技術在我國原先使用 2.4 GHz (2400-2483.5 MHz) 與 5

¹自 2019 年開始，Wi-Fi 聯盟引入了簡化的名稱，正式將原有的 802.11ax 改名為 Wi-Fi 6，同時溯及既往，將既有的 802.11ac 改稱為 Wi-Fi 5，802.11n 則改名為 Wi-Fi 4。

GHz (5150-5350/5470-5850 MHz) 頻譜資源。隨著技術演進，更進一步擴張至可使用 6 GHz (5925-7125 MHz) 頻段，並提出新的名稱為 Wi-Fi 6E，「E」代表「Extended」(延伸)之意，以提高速率、增加傳輸量和加強安全性。世界各國主管機關因應此一技術趨勢，對於 6 GHz 頻段是否核配供 Wi-Fi 使用，已陸續諮詢規劃及制定相關頻段政策。

全球部分主要國家，包括美國、加拿大、巴西、韓國、英國、日本、歐盟等，均已開放 6 GHz 部分或全部頻段供 Wi-Fi 6E 等低功率無線資訊傳輸設備 (Unlicensed National Information Infrastructure, 以下簡稱 U-NII 設備)²使用，為增進國內消費者權益並促使我國資通訊產業發展，本部參考上述國家之方式及技術規範，並於 111 年 8 月 27 日成立後，對 U-NII 設備干擾我國既有使用者之疑慮，進行干擾量測實證研究，依據干擾量測實證結果與 110 年 4 月 8 日交通部提出「中華民國無線電頻率分配表」修正草案³為基礎，提出本部「中華民國無線電頻率分配表」與「無線電頻率供應計畫」之修正草案。

本部擬定本份「6 GHz (5925-7125 MHz) 頻段資源規劃供免執照使用」政策說明文件，爰就 6 GHz 頻段規劃用途、核配範圍、使用規範與條件等相關管理議題進行說明，請各界不吝惠賜寶貴意見，以臻完善。

² 國家通訊傳播委員會將 Wi-Fi 設備規範適用於 U-NII 設備，109 年 7 月公告之低功率射頻器材技術規範第 5.7 條：無線資訊傳輸設備(U-NII)定義為使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，目前使用頻率範圍如下：5.15GHz~5.25 GHz、5.25 GHz~5.35 GHz、5.470 GHz~ 5.725 GHz 及 5.725 GHz~5.85 GHz。參見 https://www.ncc.gov.tw/chinese/show_file.aspx?table_name=news&ft=P&file_sn=55389。

³ 交通部(2021/04)，「中華民國無線電頻率分配表」修正草案，請參考附件一。

貳、國際 6 GHz 頻段規劃與核配發展概況

一、國際 6 GHz 頻段規劃

目前國際上對於 6 GHz 頻段之規劃核配用途，可區分為三種模式：第一種模式將 6 GHz 部分頻段規劃用於 U-NII 設備、待國際電信聯合會（International Telecom Union, ITU）於 112 年底召開之世界無線通訊會議（World Radio-communication Conference, WRC-23）會議後再視決議內容決定後續 6 GHz 頻段使用方式，如保留給既有使用者、規劃供國際行動通信（International Mobile Telecommunications, 以下簡稱 IMT）等；第二種模式則將 6 GHz 全頻段規劃供 U-NII 設備以免執照方式使用；第三種模式則將 6 GHz 頻段規劃供 IMT 使用。根據 Wi-Fi 聯盟於 112 年 2 月統計資料顯示，全球已有 21 個國家與歐盟開放 5925-6425 MHz 頻段⁴；另有 11 個國家完整開放 5925-7125 MHz⁵。

在歐洲區域，歐盟於 110 年 6 月公布「5945-6425 MHz 和諧使用於無線存取系統含無線區域網路之決定」⁶，要求各會員國應在 110 年 12 月 1 日完成公告核配 5945-6425 MHz 頻段用於無線存取系統，包含無線存取系統（Wireless Access System, WAS）/ 無線區域網路（Radio Local Area Networks, RLANs）等區域網路。

⁴ Countries Enabling Wi-Fi in 6 GHz , <https://www.wi-fi.org/countries-enabling-wi-fi-in-6-ghz-wi-fi-6e>。部分釋出(5925-6425MHz)國家共 21 國加歐盟，有澳洲、巴林、智利、香港、冰島、約旦、日本、肯亞、列支敦士登、馬來西亞、墨西哥、摩洛哥、紐西蘭、挪威、卡達、俄羅斯、南非、瑞士、土耳其、阿拉伯聯合大公國、英國、歐盟。

⁵ Countries Enabling Wi-Fi in 6 GHz , <https://www.wi-fi.org/countries-enabling-wi-fi-in-6-ghz-wi-fi-6e>。全數釋出(5925-7125MHz)釋出國家共 11 國，有加拿大、巴西、哥倫比亞、哥斯大黎加、多明尼加、瓜地馬拉、宏都拉斯、美國、韓國、秘魯、沙烏地阿拉伯。

⁶ EU (2021), Commission Implementing Decision (EU) 2021/1067 of 17 June 2021 on the harmonised use of radio spectrum in the 5945-6425 MHz frequency band for the implementation of wireless access systems including radio local area networks (WAS/RLANs), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021D1067&from=EN>

美洲區域已有部分國家跟隨美國作法，109 年 4 月美國聯邦通訊委員會（Federal Communications Commission, FCC）開放 5925-7125 MHz 頻段共 1200 MHz 頻寬以免執照方式釋出供 Wi-Fi 6E 以及其他 U-NII 設備使用。⁷

亞太區域國家作法多元，部分國家如中國大陸規劃 5925-7125 MHz 供未來 IMT 執照頻譜使用；另有國家規劃部分頻譜為免執照頻譜使用，例如日本總務省（Ministry of Internal Affairs and Communications, MIC）於 111 年 9 月公告開放 Wi-Fi 6E 之使用頻段為 5925-6425 MHz，韓國科學技術資通信部（Ministry of Science and ICT, MSIT）則參考美國作法，提供 5925-7125 MHz 作為 U-NII 設備之使用頻譜。綜合上述，主要國家之 6 GHz 頻段規劃與整備狀態如下表 1。

表 1、各國 6 GHz 規劃與整備狀態

規劃方式	部分釋出供 U-NII (模式一)		全數釋出供 U-NII (模式二)	全數規劃供 IMT (模式三)
適用頻率 (MHz)	5925- 6425	5945- 6425	5925-7125	5925-7125
適用國家	英國與日 本等	歐盟	美國、加拿大與韓國 等 ⁸	中國

資料來源：頻譜產研整備觀測報告⁹，本部彙整

6 GHz 頻段因影響範圍較廣，引起國際間深度討論。其中 6425-7125 MHz 是否核配給 IMT 使用，已列入 ITU 將於 WRC-23 會議討論

⁷ FCC (2020), Unlicensed Use of the 6 GHz Band, Report and Order and further notice of proposed rulemaking, <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-20-51A1.pdf>

⁸ 目前將 6 GHz 全頻段規劃供 U-NII 設備以免執照方式使用之國家，雖開放 6 GHz 全頻段，但於使用場所、功率規範、條件等有些許不同，詳細情形請參考表 5。

⁹ 財團法人電信技術中心(2022)，頻譜產研發展觀測計畫，<https://www-api.moda.gov.tw/File/Get/moda/zh-tw/6i07ebjcMSiWFHh>

議題之第一區¹⁰議題、7025-7125 MHz 則為全球共同議題。ITU 研析 6 GHz 頻段之歷程，可回溯至討論 IMT-2020 (5G) 使用頻段時，即已觀察到中低頻段資源有限，5G 願景包含眾多新興應用，預期未來數據傳輸量大幅上升，而現有頻譜資源無法支持未來服務成長後之需求，因此於 WRC-23 會議探討 6 GHz 頻段的技術可行性，並將 6 GHz 頻段與其他中頻段納入為 WRC-23 會議討論議題第 1.2 號議題，如下圖 1。

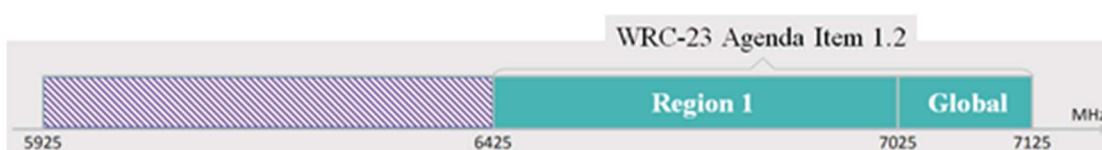


圖 1、WRC-23 會議將討論之 6 GHz 頻段議題

資料來源:6ghzopportunity¹¹

基於前項原因，部分國家針對 6 GHz 頻段之開放，擬先開放 5925-6425 MHz 之頻段，後續 6425-7125 MHz 之頻段則待 WRC-23 會議有明確決議後，再行研議後續作法。

二、國際 6 GHz 頻段 U-NII 設備使用之規範

目前國際 6 GHz 頻段供 U-NII 設備使用規範主要分為兩大類，分別為歐洲電信標準協會 (European Telecommunications Standards Institute, ETSI)¹²之規範與美國 FCC 之 U-NII 設備規範。歐盟與美

¹⁰ 參見中華民國無線電頻率分配表，依照 ITU 之世界無線電頻率分配區域，第一區泛指歐洲地區、非洲地區及亞美尼亞、亞塞拜然、喬治亞、哈薩克、烏茲別克、吉爾吉斯、俄羅斯、塔吉克、土庫曼、土耳其及烏克蘭領土、蒙古及部分俄羅斯以北地區。

¹¹ 6ghzopportunity (2022), 6 GHz opportunity: licensed spectrum for mobile networks, <https://6ghzopportunity.com/wp-content/uploads/2022/06/22-06-09-Licensed-6-GHz-opportunity-v2.pdf>

¹² 歐洲電信標準協會(ETSI)制定適用於全球的資訊科技與通信技術標準，包括固定、行動、無線電、廣播和網際網路等技術規範。

國之規範中都禁止無人機系統 (Unmanned Aircraft Systems, UAS) 使用 U-NII 設備運作 6 GHz 頻段。¹³

(一) 歐盟 ETSI U-NII 設備技術規範 (5945-6425 MHz)

開放 5925-6425 MHz 之國家多要求相關設備應符合歐洲電信標準協會 (ETSI) 低功率規範。歐盟制定規範限定為室內使用於低功率發射之前提下，開放 5945-6425 MHz 供區域免執照 (unlicensed) 接取網路使用，測試技術標準詳列於 EN 303 687 文件內，裝置區分類型依照 CEPT Report 75 可區分如下表 2。¹⁴

表 2、歐盟 6 GHz 頻段 U-NII 設備之功率規範

裝置類型	頻率範圍 (MHz)	最大輻射平均功率 EIRP ¹⁵	最大輻射平均功率頻譜密度 PSD
室內低功率 (Low Power Indoor, LPI)	5945-6425	23dBm	10dBm/MHz
室內、外皆可以超低功率運作 (Very Low Power, VLP)		14dBm	1dBm/MHz 10dBm/MHz (窄頻使用)

資料來源:CEPT Report 75，本部整理

註：LPI (Low Power Indoor) 表示室內低功率、VLP (Very Low Power) 表示超低功率

(二) 美國 FCC U-NII 設備技術規範 (5925-7125 MHz)

美國開放 5925-7125 MHz 頻段，FCC 針對無線電射頻器材設備

¹³ 歐盟部分參照前揭註 6；美國部分參照前揭註 6。

¹⁴ ECC (2020), CEPT Report 75 : Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate “o study feasibility and identify harmonised technical conditions for Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks in the 5925-6425 MHz band for the provision of wireless broadband services”, <https://docdb.cept.org/download/135>

¹⁵ 國家通訊傳播委員會於 109 年 7 月公告之低功率射頻器材技術規範第 2.12 條：有效等向輻射功率 (Effective Isotropic Radiated Power; EIRP) 指由發射機輸出傳送到天線之功率及其天線與全向性天線相對增益之乘積。

於室外情境使用時，規範應搭配自動頻率協調機制（Automated Frequency Coordination, AFC）¹⁶以及裝置輻射仰角功率限制，方能保護其他既有通訊系統，但目前 AFC 機制尚處於規劃階段。

美國聯邦通訊法規彙編第 47 篇第 15 部第 15.407 條（47 CFR Part 15.407）訂定 U-NII 設備使用頻段之一般技術規範，其中，開放 U-NII 設備使用 6 GHz 頻段之頻率範圍，依不同頻率範圍分別定義為：U-NII-5（5925 MHz 至 6425 MHz）、U-NII-6（6425 MHz 至 6525 MHz）、U-NII-7（6525 MHz 至 6875 MHz）和 U-NII-8（6875 MHz 至 7125 MHz），相關規範功率如下表 3。

表 3、美國 6 GHz 頻段 U-NII 設備之規範功率

裝置類型	頻率範圍 (MHz)	最大輻射平均功率 EIRP	最大輻射平均功率頻譜密度 PSD
標準功率 (Standard Power, SP)	5925 – 6425(U-NII-5) 6525 – 6875(U-NII-7)	36dBm (存取裝置) 30dBm (用戶端)	23dBm/MHz (存取裝置) 17dBm/MHz (用戶端)
室內低功率 (LPI)	5925 – 7125 (U-NII-5、U-NII-6、U-NII-7、U-NII-8)	30dBm (存取裝置) 24dBm (用戶端)	5 dBm/MHz (存取裝置) -1 dBm/MHz (用戶端)

資料來源：FCC-20-51，本部整理。

¹⁶ 自動頻率控制(AFC) 是一種防止潛在干擾的頻譜管理機制。

更進一步比較歐盟與美國允許 6 GHz 頻譜之最大輻射平均功率 EIRP 與最大輻射平均功率頻譜密度 PSD，如下表 4。

表 4、ETSI 與 FCC 功率規範比較

裝置類型	ETSI 規範		FCC 規範	
	最大輻射平均功率 EIRP	最大輻射平均功率頻譜密度 PSD	最大輻射平均功率 EIRP	最大輻射平均功率頻譜密度 PSD
標準功率 (SP)	-	-	36dBm (存取裝置) 30dBm (用戶端)	23dBm/MHz (存取裝置) 17dBm/MHz (用戶端)
室內低功率 (LPI)	23dBm	10dBm/MHz	30dBm (存取裝置) 24dBm (用戶端)	5 dBm/MHz (存取裝置) -1 dBm/MHz (用戶端)
超低功率 (VLP)	14dBm	1dBm/MHz 10dBm/MHz (窄頻使用)	-	-

資料來源：CEPT Report 75、FCC-20-51，本部整理。

以下表格參考 3GPP 技術規格文件 (TR 37.390)，綜整 ITU 各區主要國家在 6 GHz 頻譜之允許設備運作功率種類、頻率範圍、最大輻射平均功率 EIRP、最大輻射平均功率頻譜密度 PSD。

表 5、ITU 各區主要國家允許設備使用 6 GHz 頻譜之運作功率比較

區域	國家	允許設備運作型態	頻率範圍 (MHz)	最大輻射平均功率 EIRP	最大輻射平均功率頻譜密度 PSD
第一區	歐盟	LPI	5945 – 6425	23dBm	10dBm/MHz
		VLP		14dBm	1dBm/MHz 10dBm/MHz (窄頻使用)
	英國	LPI	5925 – 6425	24dBm	11dBm/MHz
		VLP		14dBm	
第二區	美國	SP	5925 – 6425 6525 – 6875	36dBm (存取裝置) 30dBm (用戶端)	23dBm/MHz (存取裝置) 17dBm/MHz (用戶端)
		LPI	5925 – 7125	30dBm (存取裝置) 24dBm (用戶端)	5 dBm/MHz (存取裝置) -1 dBm/MHz (用戶端)
	加拿大	SP	5925-6875	36dBm	23dBm/MHz
		LPI	5925-7125	30dBm	5 dBm/MHz
		VLP		14dBm	-8dBm/MHz
	第三區	韓國	LPI	5925 – 7125	24dBm
VLP			5925 – 6425	14dBm	1dBm/MHz
香港		LPI	5925 – 6425	23dBm	10dBm/MHz
		VLP		14dBm	1dBm/MHz
澳洲		LPI	5925 – 6425	24dBm	11dBm/MHz
		VLP		14dBm	1dBm/MHz
紐西蘭		LPI	5925 – 6425	24dBm	11dBm/MHz
		VLP		14dBm	1dBm/MHz
日本		LPI	5925 – 6425	23dBm	
		VLP		14dBm	

資料來源：3GPP TR 37.890 Version 0.18.0¹⁷，本部整理。

¹⁷ 3GPP TR 37.890 V0.18.0 (2022-12),
https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/37_series/37.890/37890-0i0.zip

參、國內政策規劃與干擾實測概況

一、國內 6 GHz 頻段目前使用狀態

依據中華民國無線電頻率分配表，目前我國 6 GHz 頻段中有行動通信、固定微波、固定衛星等電臺與超寬頻技術（Ultra-wideband, UWB）正在使用，例如 5925-6425 MHz 供公眾通信中繼網路使用(固定微波、固定衛星等電臺)，6336-7920 MHz 供採用超寬頻技術之低功率射頻器材於次要條件下使用。

109 年我國交通部觀察國際動態後，對 6 GHz 開放給予 U-NII 設備進行研析，於 109 年 6 月 19 日至 8 月 7 日提出公開意見徵詢並於 110 年 4 月 8 日提出「中華民國無線電頻率分配表」修正草案。本部 111 年 8 月 27 日揭牌成立後，對我國 6 GHz 既有使用情況盤點調查，固定微波電臺各鏈路的頻率使用統計結果分析，合計共 438 處電臺，328 條鏈路；以及固定衛星合計共 32 處電臺，45 條鏈路。另鑒於國內及國際對於 6 GHz 頻段整備與規劃態度不一，故對於 U-NII 設備干擾我國既有使用者之疑慮，進行干擾量測實證研究。

目前我國 U-NII 設備可使用頻段包含 2.4 GHz 頻段與 5 GHz 頻段，共開放 663.5 MHz 頻寬，頻段之規劃與世界各國大致相同。本次 6 GHz 頻段規劃供 U-NII 設備使用，希冀兼顧擴大 U-NII 設備可使用頻寬、滿足頻譜需求、保障既有使用者使用權益與促進頻譜有效利用等政策目標。

二、我國 6 GHz 頻段開放免執照使用之干擾評估分析

(一) 干擾分析架構

本部關注於 6 GHz 頻段開放免執照裝置對國內既有固定微波之影響。考量未來最大應用情境為 Wi-Fi，透過應用布建方向的蒐集與分析室內裝置洩漏至室外之強度統計分布、建立建物穿透損耗之依據、裝置空間布建模型。同時，也研析各國對於裝置電波傳播模型之建議，擬定適合我國情境的方式。藉由實際場域的干擾規劃，觀測電臺受干擾程度，並利用空間上強度訊號的蒐集，修正傳播模型參數作後續 SEAMCAT¹⁸的分析參數。

最後，將先前資料的蒐集與統計結果作為分析參數之一，以 FCC 與 ETSI 各規範不同功率之室內外裝置進行分析比較，在模擬分析結果下，對於各規範之室內外裝置布建開放時，評估有無干擾既有使用者之疑慮。

(二) 分析結果

本部委託執行之干擾評估分析，經 Wi-Fi 裝置的收集與統計分析推估裝置的布建方向、參採國際間傳播模型預估並實作測試干擾作業，掌握電臺與干擾位置之關係後，更進一步修正出合適的傳播模型參數樣態，依照驗證前項資料的收集與模擬分析，評估各規範之裝置對於既有固定微波電臺的影響程度，作為本部評估 6 GHz 頻段開放供低功率射頻器材之成果建議，產出結果如表 6 所示。

¹⁸ SEAMCAT 是一種軟體，基於蒙地卡羅模擬方法(Monte-Carlo simulation method)，它是在歐洲郵電管理委員會 (CEPT) 的框架內開發的。參見，<https://cept.org/eco/eco-tools-and-services/seamcat-spectrum-engineering-advanced-monte-carlo-analysis-tool>。

表 6、6 GHz 頻段供低功率射頻器材使用之干擾評估分析結果

項次	採用標準與 測試情境	測試參數設定	評估結果
1	美國 (室內)	1.室內存取端 (30 dBm) 2.連接室內存取端之用戶端 (24 dBm)	無干擾現象
2	歐盟 (室內)	室內低功率(23 dBm)	無干擾現象
3	美國 (室內+室外)	1.室內存取端 (30 dBm) 2.連接室內存取端之用戶端 (24 dBm) 3.室外存取端 (36 dBm) 4.連接室外存取端之用戶端 (30 dBm)	可能對固定微波造成干擾
4	歐盟 (室內+室外)	1.室內低功率(23 dBm) 2.室內+室外超低功率(14 dBm)	室外空曠處環境中，特別情況下對固定微波有 10%干擾機率 ¹⁹

資料來源：Wi-Fi 6E 干擾實測報告²⁰，本部彙整

依本部委託研究結果，整體而言，在 6 GHz 頻段，若參採歐盟標準，開放 U-NII 設備於室內低功率 (LPI) 以 23 dBm 以下運作、超低功率 (VLP) 以 14 dBm 運作條件時，室外空曠處環境中，特別情況下對固定微波有 10%干擾機率。

¹⁹ 室外空曠處泛指低建物遮蔽，微波通常均架設於室外，微波站臺之鏈路傳輸方位上，同時出現 8 部以上裝置電波直射固定微波電臺天線條件下，對固定微波有 10%干擾機率。

²⁰ 財團法人電信技術中心(2023)，Wi-Fi 6E 干擾實測報告，請參考附件二。

三、 規劃基本原則

本部基於通訊傳播基本法第 10 條「通訊傳播稀有資源之分配及管理，應以公平、效率、便利、和諧及技術中立為原則」與電信管理法第 52 條第一項「無線電頻率為全體國民共享之資源，行政院指定機關對於無線電頻率之規劃與管理，應確保無線電頻率之和諧有效使用，符合公眾便利性、公共利益及必要性」，並針對 6 GHz 頻段規劃，初步擬定以下規劃基本原則：

- **對合法使用者不產生妨害性干擾：**U-NII 設備目前以免執照方式使用開放頻率，其限制條件為：不得與中華民國無線電頻率分配表中規劃為主要、次要通信用途之既有及未來使用者產生妨害性干擾且須忍受主要、次要通信用途之妨害性干擾。未來開放之 U-NII 設備頻段仍須遵守前述限制條件。
- **頻率使用效率：**頻率可供多人/器材共用、總傳輸流量越高越符合頻率使用效率。
- **符合國際趨勢：**無線電射頻器材使用之頻率符合國際趨勢，可藉由國際間之大量使用降低器材生產成本。多樣化之國內外不同廠牌之器材，可增加民眾之購買選項，亦可方便於跨國場所使用，亦可降低我國與鄰近國家之無線電訊號相互干擾。
- **頻率核配中長期規劃：**無線電頻率為稀有資源，新技術之頻段若遭其他通信用途使用，則可能造成國際主流技術無法於我國使用，影響民眾使用權益。目前 6 GHz 頻段也可能為 IMT 可用頻段，除供 IMT 執照頻譜使用外，也有可能供 U-NII 之設備對設備（Device-to-Device）使用，惟相關技術規格目前仍在研發中。

四、議題說明

本部針對 6 GHz 頻段規劃，將分別從頻段開放、護衛頻段保留、功率規範、使用限制及配套措施等議題進行說明。

(一) 頻段開放

1、開放 5945-6425 MHz 頻段供 U-NII

目前國際上對於 6 GHz 頻段之規劃核配用途，可區分為三種模式：第一種為將 6 GHz 部分頻段規劃用於 U-NII 設備，待 ITU 於 112 年底召開之 WRC-23 會議後再視決議內容決定後續 6 GHz 頻段使用方式，如保留給既有使用者、規劃供 IMT 等；第二種則將 6GHz 全頻段規劃供 U-NII 設備執照方式使用；第三種模式則將 6 GHz 頻段規劃供 IMT 服務使用。

若規劃 6 GHz 全頻段核配給 U-NII 設備使用，未來將該頻段變更核配給其他通訊服務用途時，可能造成頻段整備與回收重整的困難度。反之，若規劃 6 GHz 全頻段核配給 IMT 服務用途，現階段 6 GHz 頻段尚未普遍被世界各國認定為 IMT 頻譜，可能導致頻段閒置、缺乏有效利用的問題。

許多國家目前於 6 GHz 頻段尚都有既有使用者，例如歐盟區域國家有許多衛星固定服務電臺使用 6425-7075 MHz、長距離與大頻寬固定鏈路使用 6425-7125 MHz、歐盟哥白尼影像微波無線測量計畫使用 6425-7250 MHz。而我國 6 GHz 頻段存在行動通信、固定微波、固定衛星等電臺與超寬頻技術等既有使用者，例如 5925-6425 MHz 供公眾通信中繼網路使用（固定微波、固定衛星等電臺），6336-7920 MHz 供採用超寬頻技術之低功率射頻器材於次要條件下使用。

考量頻譜規劃當前使用效益與未來資源再分配的可行性，我國擬就 6 GHz 頻段規劃核配服務用途，將依據國際間主要頻譜政策，採以開放 6 GHz 部分頻段（5945-6425 MHz）規劃用於 U-NII 設備，保留後 6425-7125 MHz 頻譜資源，待觀測國際頻譜動向與國人對於免授權頻段的使用需求，再研擬頻譜規劃使用方向。

當前 6336-7920 MHz 分配給予 UWB 使用部分，考量其發射功率甚低及使用情境不易產生干擾等因素，應不致對固定微波及固定衛星電臺等既有用途、未來頻段整備、回收造成影響，亦不致對本次規劃開放 6 GHz 頻段供免執照使用造成影響。

2、護衛頻段保留

於歐盟中，法國使用 5915-5935 MHz、丹麥使用 5925-5975 MHz 與西班牙使用 5905-5925 MHz 應用於鐵道列車運輸系統²¹，因此歐盟初期僅先釋出 5945-6425 MHz，保留部分頻寬作為與智慧交通系統使用間之護衛頻段。目前我國亦針對 5850-5925 MHz 頻段將規劃供車聯網路側基礎設施及車載資通訊系統等測試實驗網路之用，考量生活中 U-NII 使用情境與未來的車聯網（V2X）設施，異質通信系統所處位置可能緊鄰於彼此，其 U-NII 的發射的帶外電波強度，可能干擾到車聯網通信效能，降低車輛安全之可靠度，阻礙未來智慧車輛的發展願景。

針對此問題，各國亦多將 5925-5945 MHz 保留為護衛頻段，並嚴加要求 U-NII 發射裝置於 5850-5925 的帶外電波強度限制，對此我國亦將採此規範要求做為對車聯網通信的基礎保護。

²¹ ECC Report 302, P.16

(二) 功率規範及使用限制

1、使用場所與功率規範

依前述本部委託財團法人電信技術中心之研究結果，整體而言，我國若比照歐盟標準，開放 U-NII 設備於室內低功率 (LPI) 以 23 dBm 以下運作、於室內外以超低功率 (VLP) 以 14 dBm 運作條件時，室外空曠處環境中，特別情況下對固定微波有約 10% 干擾機率。

對於更高發射功率的標準功率 (SP) 裝置的開放。FCC 針對此類無線電射頻器材設備於使用時應搭配 AFC 機制。當 U-NII 接取設備 (Access Point, AP) 或固定型用戶端 (Fixed Client) 設備，欲使用 6 GHz 頻段時，需先透過 AFC 機制查詢該使用區域內是否有既有使用者之電臺，並由 AFC 授權該裝置在同頻下以何等功率 (最大功率 36 dBm) 或選擇其他頻道以避開同頻使用等機制，來保護電臺鏈路間通信的穩定性，但 AFC 機制尚處於規劃階段。

為緩解當前免執照頻道的壅塞與強化未來多元化小型無線網路應用，並接軌國際免授權無線裝置的頻譜規劃。於當前低度發生干擾機率下，我國將與國際間多數採納之歐盟規範裝置功率作為基準，開放室內低功率 (LPI) 23dBm 與室外超低功率 (VLP) 14dBm 兩大裝置類別，並針對室內低功率 (LPI) U-NII 設備要求，禁止使用電池、天線型式亦需是集成設計於裝置上 (即不得更換天線型態) 等方式避免攜至室外使用之相關限制。

2、禁止使用遙控無人機

隨著各項科技發展的興起，無線電多元的應用亦大量用於遙控無人機，其市場上消費性電子之無線控制裝置，多採用免授權頻段作為通訊控制等應用。考量遙控無人機主要在空間上多維度的移動

性，遠高於一般民眾生活中使用無線電應用情境，當遙控無人機處於既有電臺之鏈路方位上，勢必可能造成既有電臺的干擾。依據民用航空法第二條第二十六款規定「遙控無人機：指自遙控設備以信號鏈路進行飛航控制或以自動駕駛操作或其他經民航局公告之無人航空器」，鑑於目前歐盟與美國都禁止 UAS 使用 U-NII 設備運作於 6 GHz 頻段，未來我國亦將限制遙控無人機不得使用本頻段。

3、其他機制要求

使用本頻段之設備須具備先聽後傳（listen-before-talk, LBT）機制，除了可確保通道避免重疊使用而降低傳輸效益，亦或可作為監測既有站臺的功能，減少裝置與環境頻譜交互干擾的發生，因此未來亦將此機制納入審驗之必要規範項目。

（三）配套措施

為促使我國資通訊產業發展、鼓勵新興技術創新研發，本部規劃研提「無線電頻率供應計畫」修正增加特定實驗頻率（6425-7125 MHz）在不干擾合法通信且須忍受合法通信干擾之條件下供行動通信、免執照低功率無線資訊傳輸等測試實驗網路之用，並持續關注 ITU、3GPP 及各國家、地區之頻譜規劃進程、辦理 AFC 實證量測評估各項異質網路和諧共用可能技術方案，據以觀測頻段使用效益與未來資源再分配之可行性。

另有關實驗網路申設則分為使用頻率及網路設置之申請兩部分，須先依無線電頻率使用管理辦法向本部申請頻率核配，經獲配頻率後再依實驗研發專用電信網路設置使用管理辦法向國家通訊傳播委員會申請網路設置。

【附件一】交通部 111 年 4 月 8 日預告「中華民國無線電 頻率分配表」草案

中華民國無線電頻率分配表修正草案總說明

交通部依電信管理法第五十二條第三項之規定，考量全球主要國家，包括美國、加拿大、巴西、韓國、英國、歐盟等，均已規劃開放 6GHz 頻段供 WiFi 6E 等低功率設備免執照使用，為增進國內消費者權益並促使我國資通訊產業發展，參考上述國家之開放方式及技術規範，同時依據一百零九年六月十七日至八月十七日辦理之公開諮詢結果，進行「中華民國無線電頻率分配表」之規定修正作業。

中華民國無線電頻率分配表修正草案對照表

貳、無線電用途分配表				貳、無線電用途分配表				說明
修正規定				現行規定				
	ITU 無線電規則	中華民國規定		ITU 無線電規則	中華民國規定			
頁數	第三區域	頻段業務分配	備註	第三區域	頻段業務分配	備註		
MHz								
	5925.0000 - 6700.0000 固定(主) 衛星固定(地球對太空) (主) 行動(主)	5925.0000 - 6700.0000 固定(主) 衛星固定(地球對太空) (主) 行動(主)	5925 - 6425 供公眾 通信中繼網路使 用，WRC-03 亦決 議供 ESVs (機/船 上地球臺) 使用 <u>5925-6425 供低功 率無線資訊傳輸設 備 (U-NII) 在室內 於不得干擾合法通 信且須忍受合法通 信干擾之條件下使 用</u> 6336 - 7920 供採用 超寬頻技術 (UWB) 之低功率 射頻電機於次要條 件下使用	5925.0000 - 6700.0000 固定(主) 衛星固定(地球對太空) (主) 行動(主)	5925.0000 - 6700.0000 固定(主) 衛星固定(地球對太空) (主) 行動(主)	5925 - 6425 供公眾 通信中繼網路使 用，WRC-03 亦決議 供 ESVs (機/船上地 球臺) 使用 6336 - 7920 供採用 超寬頻技術 (UWB) 之低功率射頻電機 於次要條件下使用	參考全球主要 國家之開放方 式及交通部辦 理之諮詢結果 ，新增開放 5925-6425MHz 供低功率無線 資訊傳輸設備 (U-NII) 在室 內於不得干擾 合法通信且須 忍受合法通信 干擾之條件下 使用。	

附表、特定用途頻段表			附表、特定用途頻段表		
類別	用途	使用頻段	類別	用途	使用頻段
低功率射頻電機	低功率無線資訊傳輸設備(U-NII)在室內於不得干擾合法通信且須忍受合法通信干擾之條件下使用	5925-6425(MHz)	低功率射頻電機		

參考全球主要國家之開放方式及交通部辦理之諮詢結果，新增開放 5925-6425 供低功率無線資訊傳輸設備(U-NII)在室內於不得干擾合法通信且須忍受合法通信干擾之條件下使用。

【附件二】Wi-Fi 6E 干擾實測報告



No.3, Luke 1st Rd., Luzhu District, Kaohsiung City 82151, Taiwan
www.ttc.org.tw



Wi-Fi 6E 干擾實測報告

執行單位：財團法人電信技術中心
中華民國一一年十二月

目 次

摘要	1
一、量測目的	2
二、量測程序	3
三、量測方法與結果分析	4
(一) 既有使用情況盤點	4
(二) 兩大技術規範裝置功率研析	5
(三) 電波特性研析	6
(四) Wi-Fi 使用情境分析與未來裝置布建可能	7
(五) Wi-Fi 訊號收集與分析	8
(六) Wi-Fi 裝置布建可能研析	9
(七) 系統受干擾之成因研析	11
(八) 電波干擾實測與分析	11
四、結論	25

摘要

本計畫關注於 6 GHz 頻段開放免執照裝置對國內既有固定微波之影響。考量未來最大應用情境為 Wi-Fi，透過應用布建方向的蒐集與分析室內裝置洩漏至室外之強度統計分布、建立建物穿透損耗之依據、裝置空間布建模型。同時，也研析各國對於裝置電波傳播模型之建議，擬定適合我國情境的方式。藉由實際場域的干擾規劃，觀測電臺受干擾程度，並利用空間上強度訊號的蒐集，修正傳播模型參數作為後續 SEAMCAT 的分析參數。最後，將先前資料的蒐集與統計結果作為分析參數之一，以 FCC 與 ETSI 各規範不同功率之室內外裝置進行分析比較，在模擬分析結果下，對於各規範之室內裝置布建開放下並無干擾疑慮；當 FCC 規範之標準功率裝置布建於戶外，在未有 AFC 機制下，因同頻造成干擾的機率在任何環境下都有 40% 以上的風險，相較 ETSI 技術規範下，較不建議貿然開放 FCC 標準功率裝置。在採 ETSI 規範下開放室內及室外裝置，僅於郊區或鄉村地區固定微波電臺之鏈路傳輸方位路徑，同時出現多部裝置之電波直射固定微波電臺天線狀況下，有約 10% 短期干擾風險之虞。

一、量測目的

有鑑於各國陸續針對 6 GHz 頻段進行頻譜重新管理，至今已有國家採取全部或部分頻段開放免執照設備使用，以減緩當前 2.4 GHz 和 5 GHz 免執照頻段網路日趨飽和，與通訊壅塞等問題。透過 6 GHz 頻譜的釋出將有助提升 IEEE 802.11ax 裝置連接效能，因此 Wi-Fi 6E 新裝置的應用儼然成為當前熱門討論議題，也將是未來生活中常見的無線應用情境。依據 Wi-Fi 聯盟(Wi-Fi Alliance)，目前 6 GHz 頻譜國際開放概況如圖 1-1 所示。

- Adopted 5925-6425 MHz
- Adopted 5925-7125 MHz
- ▨ Adopted 5925-6425 MHz, Considering 6425-7125 MHz
- Considering 5925-6425 MHz

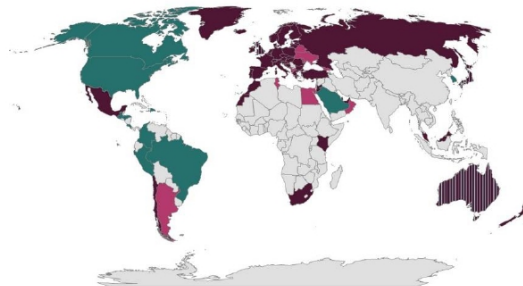


圖 1-1、各國 6 GHz 頻譜開放概況
資料來源：Wi-Fi Alliance，更新至 2023 年 2 月 17 日¹

當前各國 6 GHz 頻段的開放都須面對既有電臺共存問題，其通訊類型多為相仿。我國當前 6 GHz 既有使用者主要為固定微波電臺與固定衛星電臺，固定微波電臺使用單位涵蓋廣播、電信、電力、警政、水利、航空；固定衛星電臺則涵蓋廣播、電力、氣象、水利、電信、商用衛星。對於我國評估未來是否開放 6 GHz 頻段作為免執照裝置使用，將研析當前 6 GHz 頻段裝置由美國聯邦通信委員會(Federal Communications Commission, FCC)與歐洲電信標準協會(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)所訂定之兩大技術規範，作為評估對既有電臺造成干擾之基礎。

¹ <https://www.wi-fi.org/countries-enabling-wi-fi-in-6-ghz-wi-fi-6e>

二、量測程序

考量 Wi-Fi 裝置的應用情境，多為室內情境如家庭與辦公場所，以及室外熱點。既有電臺皆設置戶外，採用點對點的通訊鏈路，並於高處可視線(Line of Sight, LoS)方位上，搭配高指向性天線場型，以確保傳遞之信號於長距離空間之衰落後仍可維持一定之通訊品質。為研析彼此之通訊干擾，擬定量測程序如下：

1. 透過相關資料的收集，包含收集室內 Wi-Fi AP 可能洩漏至室外的強度分布可能，推估建物屏蔽造成的損耗程度。
2. 收集未來裝置布建密度的可能性。
3. 戶外實測將依據人口密度差異，在可行之固定微波電臺進行干擾測試，瞭解其受干擾的情形與修正傳播模型參數。
4. 透過前述資料的收集與測試，在軟體模擬分析上，評估各裝置規範於各情境的干擾程度。

三、量測方法與結果分析

(一) 既有使用情況盤點

在 111 年 8 月 5 日至 111 年 8 月 12 日期間，針對我國 6 GHz 既有使用情況進行盤點調查。經調查該頻段合計有 14 個單位用於固定微波電臺系統；7 個單位用於固定衛星電臺系統。

固定微波申設固定臺達 438 處，深入分析電臺資料後，可發現多達 45% 電臺座落在高於全國平均人口密度區域；29% 電臺座落偏遠地區(低於全國平均人口密度的五分之一)。固定微波使用鏈路達 328 條，傳輸距離 30 公里以下約 80%，最遠傳輸距離為臺灣本島到金門。從各鏈路上頻率使用統計結果分析，使用於 L6 (5925 MHz 至 6425 MHz) 頻段有 578 個；U6 (6425 MHz 至 7125 MHz) 頻段有 341 個，針對鏈路上每個頻率所使用頻寬數量統計如圖 4-1，平均使用頻寬約 21.7 MHz。

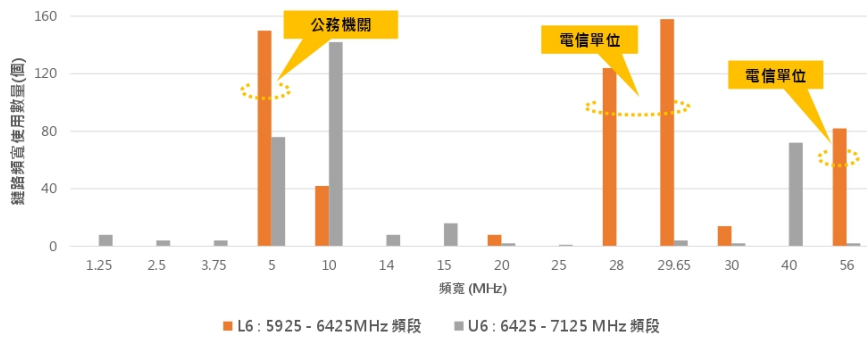


圖 4-1、固定微波鏈路頻寬使用統計

固定衛星申設固定臺地址共計 32 處，使用衛星上鏈者為 AsiaSat-4、AsiaSat-5、APT-5C 與 ST-2 等衛星。目前政府機關通訊使用都乘載於 ST-2 衛星上，平均使用頻寬約 1.9 MHz，詳如圖 4-2 所示。

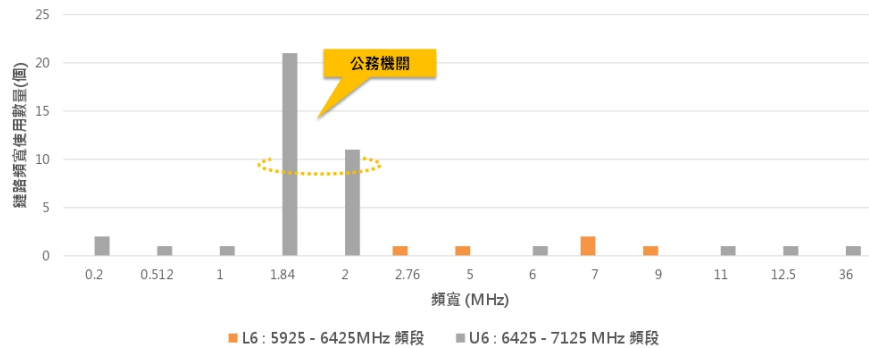


圖 4-2、固定衛星鏈路中頻寬使用統計

由上方固定微波與固定衛星鏈路頻寬使用情形，可發現在整體 6 GHz 既有電臺中，固定衛星在總頻寬申設使用占比僅 1%。此外也發現固定微波中 L6 頻段上的鏈路數為整體的 63%，表示多數電臺鏈路都使用在這頻段上，其中又以電信與政府機關最多。

(二) 兩大技術規範裝置功率研析

蒐集當前兩大技術規範 FCC²與 ETSI³之裝置功率差異。針對已開放的國家中，多採以 ETSI 技術標準之功率作為開放標準依據，其裝置允許功率強度相對較低，亦無須特別頻譜機制來管控；FCC 技術規範中雖可提供較高功率裝置的使用，有助於提升傳輸距離與效益，但須導入自動頻率協調(Automated Frequency Coordination, AFC)機制來避免干擾既有電臺，因此頻譜機制的執行可能降低此類裝置的普及度。兩大技術規範之裝置功率差異如表 4-1 所示。

² <https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-15/subpart-E/section-15.407>

³ Draft ETSI EN 303 687 V1.0.0 (2022-04)

表 4-1、各規範裝置之功率差異與情境

裝置類型	ETSI 規範		FCC 規範	
	最大輻射平均功率 EIRP	最大輻射平均功率頻譜密度 PSD	最大輻射平均功率 EIRP	最大輻射平均功率頻譜密度 PSD
標準功率 (SP)	-	-	36 dBm (存取裝置) 30 dBm (用戶端)	23 dBm/MHz (存取裝置) 17 dBm/MHz (用戶端)
室內低功率 (LPI)	23 dBm	10 dBm/MHz	30 dBm (存取裝置) 24 dBm (用戶端)	5 dBm/MHz (存取裝置) -1 dBm/MHz (用戶端)
超低功率 (VLP)	14 dBm	1 dBm/MHz 10 dBm/MHz (窄頻使用)	-	-

(三) 電波特性研析

為後續模擬分析參數的導入，先行研究各國對於傳播模型之差異，與說明後續分析採用的模型方向。

電波傳播模型。依據美國、歐盟與日本之相關研究，進行相關資料蒐集與差異比較如表 4-2，並擬定我國可能的規劃方式。各國傳播模型亦都擬訂戶外各距離區段中合適的傳播方式，與室內至室外穿透損耗模型。在近程距離多為可視得固定微波電臺，因此採以自由空間(Free Space)損耗方式，或是訂定小範圍限制區；中程距離多採以 WINNER II (Wireless World Initiative New Radio phase II)模型來評估，以貼近裝置使用情境於傳播方式；長程距離採以 ITU-R.P.452 或 ITM (同如 Longley Rice)模型，並額外附加地表雜散效應於模型當中。由於 Wi-Fi 裝置多位處在室內，在評估上仍需多考量建物的損耗效應。

表 4-2、各國傳播模型差異

傳播模型	參考來源
<ul style="list-style-type: none"> ● 都市:0-1km, ITU-R P-1411 (LoS); >1km, ITU P-452 (NLoS), 附加 ITU-R P.2108 (地表雜散)。 ● 鄉村:0-4.107km, ITU-R P-452 (LoS); >4.107 km, ITU-R P-452 (NLoS), 並附加 ITU-R P.2108 (地表雜散)。 ● 室內到室外:依 ITU-R P.2109 (建物穿透損耗)。 	ECC Report 302 ⁴
<ul style="list-style-type: none"> ● <30m:ITU-R P525 (自由空間損耗)。 ● 30m-1km:WINNER II 並依據 LoS 與 NLoS 機率來比例分配。 ● >1km:城市、郊區採 ITM (不規則地形模型)並結合 ITU-R P.2108 (地表雜散), 或是郊區採 ITU-R P.452。 	FCC Part 15.407
<ul style="list-style-type: none"> ● 0-20m:禁區。 ● 20-40m:ITU-R P525(自由空間損耗)。 ● 40m-1km:WINNER II ● >1km:採 ITU-R P.452 並結合 ITU-R P.2108 (地表雜散) ● 室內到室外:依 ITU-R P.2109 (建物穿透損耗)。 	MIC ⁵ (日本總務省)

各國傳播模型雖不盡相同，但其各模型之差異表現並不大。針對我國的研究模擬上，將參考 FCC 方式，但調整近程距離 250 公尺內都為自由空間損耗，主要是考量電臺位處偏遠地區仍有很大機會於地面視得天線，以此嚴加分析條件。

(四) Wi-Fi 使用情境分析與未來裝置布建可能

依據財團法人台灣網路資訊中心 2020 年調查⁶，我國無線上網率達 79.3%。由於行動網路發展普及，生活中僅透過戶外、公用場所或家中 Wi-Fi 無線上網約 27%。上網時間則是集中於晚上「18:00-23:59」時段內，充分顯示下班至就寢前民眾網路使用活動頻繁。瞭解民眾對於無線網路環境的使用活動之行為研究，有助於了解未來 Wi-Fi 6E 對既有電臺干擾的可能，經研究未來每日最有可能發生干擾的時段為 18:00-23:59；依據 Dell'Oro Group⁷研究報告，在 2012 年至 2016 年間全球室內 Wi-Fi 裝置出貨量遠高於室外裝置出貨量，預估 2021 年戶外裝置亦僅有 0.6%。預測即使未來 Wi-Fi 6E 帶來高效能的連結能力，但由於我國高行動上的普及率，對於戶外 Wi-Fi 存取裝置應不會有突破性成長需求，因此預估未來使用於 6 GHz 之無線裝置應多以室內布建為主。

⁴ Sharing and compatibility studies related to Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks (WAS/RLAN) in the frequency band 5925-6425 MHz

⁵平成 14 年 9 月 30 日付け諮問第 2009 号「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的條件」のうち「無線 LAN システムの高度化利用に係る技術的條件」のうち「6GHz 帯無線 LAN の導入のための技術的條件」

⁶財團法人台灣網路資訊中心，「2020 台灣網路報告」

⁷ Dell'Oro Group, Wireless LAN report July 2017

(五) Wi-Fi 訊號收集與分析

為了解當前多數室內 Wi-Fi 應用裝置洩漏至戶外之強度，並以此瞭解建物穿透損耗的可能。透過市區道路訊號量測計畫，安排於市區道路上進行 Wi-Fi 資訊收集。Wi-Fi 訊號強度將考量各 BSSID (Basic Service Set Identifier) 下最大 RSSI (Received Signal Strength Indication) 來評估，而當前 IEEE 802.11 協定中的 RSSI，其同等於接收通道功率指標來呈報通道功率強度。選定高雄市前金區、苓雅區、新興區與鹽埕區進行路測收集如圖 4-3。以機車主要行駛於機慢車道上(與建物距離大約 10 公尺)，行進時速以不超過 40 km/hr (相當於 11 m/s)，大道(道路寬度大於 30 公尺以上)以上將盡可能行經該路段雙向車道，避免因距離甚遠無法有效收集到馬路另一側 Wi-Fi 訊號。

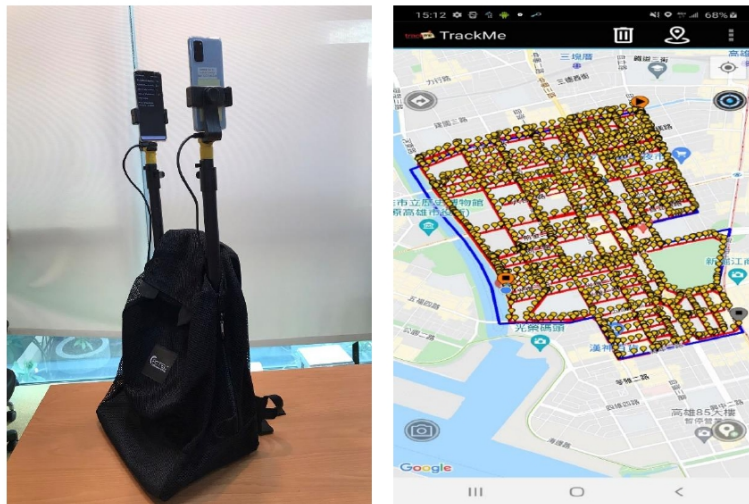


圖 4-3、量測方式與路測軌跡

經資料整理與分析，考量當今手機行動上網的便利性，可能收集到以手機為熱點的 Wi-Fi 裝置，過濾資料中 SSID (Service Set Identifier) 名稱中可能為手機熱點之裝置予以排除。收集樣本數達 25,000 筆，其各區與整體統計分析結果如圖 4-4 所示。分析建築物外約 10 公尺處(空間損耗約 60 dB ~ 67 dB)量得強度統計與量測端天線增益 (-6.5 dBi) 資訊，推估 36 dBm EIRP 裝置於建物穿透損耗現象，可發現平均建物穿透損耗效應(51.5 dB ~ 58.5 dB)，明顯都高於 ITU-R.P.2109 累積機率分布 50% 中的 32 dB 的表現，為確保日後軟體分析的嚴謹仍採以 32 dB 作為模擬參數之一。

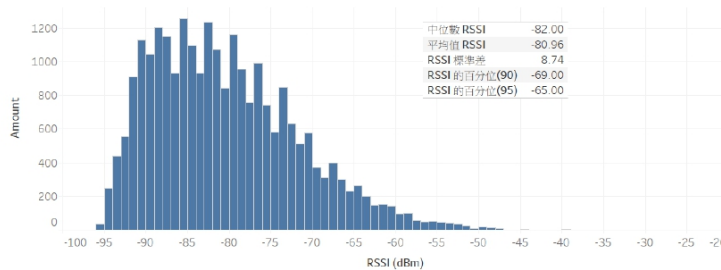


圖 4-4、高雄四區合計統計圖

(六) Wi-Fi 裝置布建可能研析

室內無線路由器裝置密度統計預估。為研析室內 Wi-Fi 數量分布，蒐集地方政府相關開放資料⁸如各行政區面積、家庭戶數、城市建物高度分布⁹，以此做為空間上密度分布整合。考量未來每戶家庭至少有一部 Wi-Fi 6E 無線路由器，家庭戶數將由內政部戶政司全國人口資料統計地圖取得，並結合區域面積計算其密度。採以臺北市 9071.42 人/km² 將其視為高密度人口；縣市人口密度中位數 844.55 人/km² (臺南市) 將其視為中密度人口；第一四分位數縣市人口密度 290.92 人/km² (宜蘭縣) 將其視為低密度人口，作為後續室內無線路由器裝置密度模擬參數。

室內裝置高度統計預估。將透過多維度國家空間資訊服務平臺，蒐集所需地區建物高度分布，重新統計可用樓層分布，並假設裝置距離各樓地板高 1 公尺，

⁸政府資料開放平臺, <https://data.gov.tw/>

⁹多維度國家空間資訊服務平臺 - 內政部國土測繪中心, <https://3dmaps.nlsc.gov.tw/>

作為裝置所處高度的分析參數。經統計分析可將各區繪製為累積分布函數，如圖 4-5，供未來將此參數匯入模擬分析。

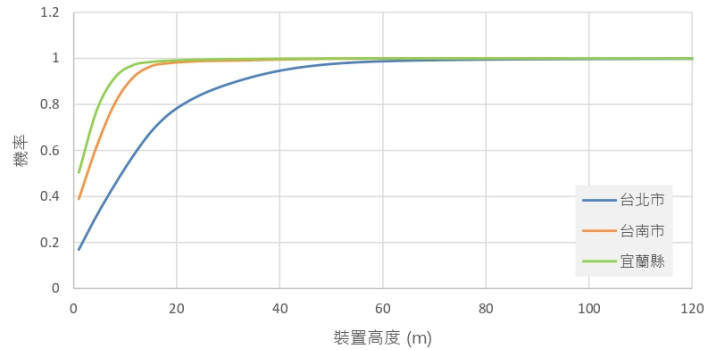


圖 4-5、室內裝置高度累積分布函數預估圖

戶外無線路由器裝置密度與高度預估。將依據臺灣常見熱點 1.Free Wi-Fi、CHT Wi-Fi、iTaiwan、TPE-Free 調查其區域單位面積戶外裝置密度。除了熱點系統自定義之戶外裝置外，並手動針對各熱點位置名稱關鍵字如：巷口、街口、路口、叉口、出口、公話、交接箱，將其手動歸類為戶外裝置。經統計分析，戶外裝置同樣多布建於六大都會區中，若以單位區域面積密度進行排序，以臺中市區為最高 102.2 個/km²，但其行政區域面積僅 0.8 km²，導致遠高於其他區域密度，作為後續戶外密度評估並不妥當，將以次高密度約 26 個/km² 作為研析基礎；中密度採六都中位數 3 個/km²；排除六都行政區，其他各鄉鎮平均密度約 0.31 個/km² 視為低密度。戶外無線路由器架設，可能多位處人員無法觸碰高度以減少被破壞之風險，因此高度部分採以離地 2 公尺(機率 0.5)與 3 公尺(機率 0.5)作為布建。

用戶端裝置布建。如手機、行動電腦等裝置，需透過無線存取點上網之裝置，將根據人口密度數之 2 成室外與 8 成室內作為用戶端裝置數量。裝置高度分布上，室內用戶端與室內無線路由器相同高度，室外用戶端則為離地 1.5 公尺。

(七) 系統受干擾之成因研析

固定微波與其他無線電通訊系統頻率共用或兼容性之干擾考量，研究上可參酌 ITU-R F.758-7、ITU-R SF.1650-1 建議書，或 FCC Part 15.407 章節中對於固定微波的干擾保護標準。

對於固定微波，依 ITU 建議書給出了在共享頻譜資源下，提出對於長期可用性評估之方向，建議干擾功率應當將強度低於接收機雜訊功率密度 10 dB ($I/N = -10$ dB) 以下，且出現干擾時間機率需在 20% 以下；FCC 則建議 I/N 則應低於 -6 dB。對於短期干擾的評估，ITU 建議採以 I/N 應低於 19 dB，且出現干擾時間機率需在 4.5×10^{-4} 以下。上述規定的 $I/N = -10$ 或 -6 dB 干擾建議，對於系統並無法造成實際干擾現象，僅為確保傳輸長期可用性而給予的建議方向，實際在系統訊號仍保有充分的餘裕度，其長期干擾的出現 $I/N = -10$ 與 -6 dB 亦僅對原系統底噪增加了 0.41dB 與 0.97dB，微量的增加系統底噪並不具干擾影響，其相關轉換方程如下。因此後續的分析將著重於短期干擾下 I/N 應低於 19 dB 的問題。

$$\left[\frac{N+I}{N} \right]_{dB} = 10 \times \log \left[\frac{N+I}{N} \right] = 10 \times \log \left[1 + \frac{I}{N} \right] = 10 \times \log \left[1 + 10^{\frac{[I/N]_{dB}}{10}} \right]$$

(八) 電波干擾實測與分析

A. 干擾點選址方向

以美國 6 GHz 標準功率裝置為基礎，對固定微波之干擾實測研析與空間路徑損耗的評估。固定微波電臺附近干擾點的選址，將盡可能以可視線位置為主。非可視線干擾位置的選擇，也應盡可能靠近於兩固定微波站址間之地表量測線。如此在較小水平方位角角差下，能獲取較小偏軸角之可能，藉此而補償因建物或地勢阻擋造成電波衰落問題，以提高觀察受干擾微波站上之干擾訊號。為釐清固定微波電臺可被清楚觀測到干擾強度之位置，由於天線的互易性，其收發特性之基本參數相同，將安排於電臺附近先行進行路測量得該電臺的發射強度分布，供評估可作業之定點干擾，如圖 4-6 所示。



圖 4-6、電台戶外強度分布

B. 干擾端的設置

礙於若採以 EIRP 36 dBm/20 MHz 訊號強度並同頻於微波電台，因調變頻寬導致功率頻譜密度減少等因素，在微波天線端有可能無法有效觀察到干擾訊號。因此干擾研究計畫將調整干擾頻率於微波鏈路訊號上，發射一連續波(Continuous Waveform, CW)來提高功率頻譜密度，並注入於高功率放大器中，透過高指向性天線對微波天線進行最大干擾傳播方位評估，藉此推估場域之通道傳播衰落，同時也會改採美國 Wi-Fi 標準功率之 EIRP 強度進行干擾評估。此外於干擾作業期間，固定微波電台亦需協助配合電台鏈路間啟閉發射訊號，供評估受干擾影響程度，干擾流程與架設方式如圖 4-7 所示。

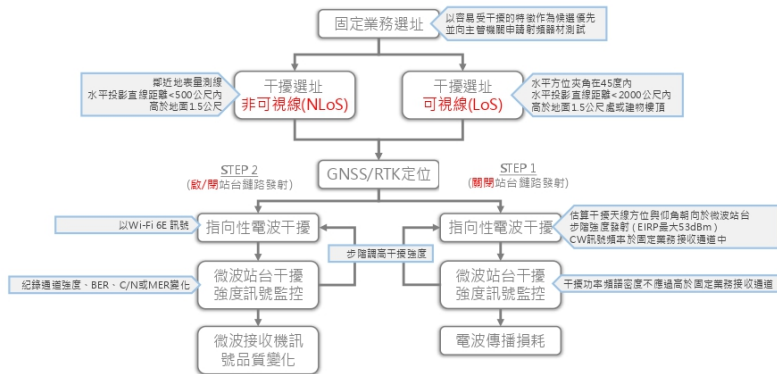


圖 4-7、干擾作業流程圖



圖 4-8、干擾架設與量測方式

C. 電臺端的選擇與其他量測考量

透過盤點既有電臺，並徵詢各單位協助提供電臺供研究測試，擇其 5 處電臺作為此次戶外干擾執行計畫，盡可能涵蓋的低、中、高密度人口密集區為目的，如表 4-3 所示。同時為能有效觀測到干擾位準與正確性，擇其可視平均雜訊位準功能較佳的頻譜分析儀，能觀測到訊號高於頻譜系統底噪 10 dB 以上，確保量測之結果將不受環境與頻譜系統雜訊影響。

表 4-3、戶外場域特色

單位	微波地點	鄉鎮區人口密度	區域類型特色
電信	屏東縣枋寮鄉	397 人/km ²	漁村。附近樓層建物多為 1 至 2 樓樓房且建物密度高。
能源	高雄市大寮區	1,571 人/km ²	園區內微波鏈路方向上 300 公尺內可視，且有園區建物頂樓高處可評估。
能源	高雄市阿蓮區	824 人/km ²	微波鏈路方向上農地居多，且僅有少數矮房或鐵皮工廠。
能源	臺中市南區	18,473 人/km ²	電臺位處臺中火車站附近，高樓層密度多，且微波鏈路方向遠處有高點(立體停車場頂樓)可評估。
能源	臺南市新營區	1,945 人/km ²	鏈路前方正好為街道，而街道兩側為棋盤式社區公寓大廈。500 公尺外為農地，可免強視得天線。

D. 場域實測結果與分析

戶外場域主要是了解固定微波與屋外裝置間之戶外傳播衰落程度，依據相近的區域類型供模擬修正，同時進行 Wi-Fi 6E 使用標準功率 36 dBm/20MHz EIRP 進行干擾，了解同頻干擾下對於微波電臺干擾現象，其干擾量測結果如表 4-4 至表 4-8 所示。

經研析屏東縣枋寮電臺外兩處於干擾監測中如表 4-4，由於電臺訊號調變度高(相對 S/N 需求高)、操作頻寬大(相對功率頻譜密度低)、電臺接收強度弱(長距離跨海)以及天線離地不高，對於其上述條件都是降低干擾能耐的因素，在面臨較小偏軸角位置之標準功率干擾，導致電臺傳輸明顯受到影響。

其他政府機關電臺的測試結果如表 4-5 至表 4-8，其郊區或鄉村區域類型上可視得電臺天線的機會高。在遠距離上對微波天線之觀測仰角更小，意指干擾訊號對微波天線偏軸更小，以致於對應更高的微波天線增益效應，對於干擾的成因反而遠大於近距離之結果，如表 4-6 干擾點 2 與表 4-8 干擾點 1、2 之現象。對於城市區域類型的結果如臺中市南區微波臺，量測結果於表 4-7。電臺座落於台中火車站與中興大學之間。城市環境中建物林立加大了電波的傳播損耗，即使降低偏軸角之可能，仍因為環境中建物對於電波的雜散與遮蔽現象高，對於造成干擾仍相當有限。

表 4-4、屏東縣枋寮鄉電臺干擾結果

電臺接收強度與訊號調變方式	干擾點	水平投影距離(公尺)	高度差(公尺)	偏軸角(度)	可視天線	訊號品質
Main 天線: -47.95dBm /28MHz 128QAM	1	249.0	34.6	8.7	Y	Main 天線:劣化, SNR<19 SD 天線:嚴重, SNR 無法偵測
	2	321.2	36.1	18.9	N	Main 天線:正常, SNR>25 SD 天線:正常, SNR>25
	3	259.3	36.0	11.0	N	Main 天線:正常, SNR>25 SD 天線:正常, SNR>25
	4	229.2	35.8	9.0	Y	Main 天線:劣化, SNR<20 SD 天線:嚴重, SNR 無法偵測
該電臺傳輸途徑方式採空間分集, Main 天線尺寸 10 呎; SD 天線尺寸 12 呎。 SNR>25dB 方能維持 BER<1.0E-6, 確保通訊品質。						

表 4-5、高雄市大寮區電臺干擾結果

電臺接收強度與訊號調變方式	干擾點	水平投影距離(公尺)	高度差(公尺)	偏軸角(度)	可視天線	訊號品質
-39.93dBm /10MHz 64QAM	1	261.9	34.2	11.5	Y	正常, SNR 40.2dB
	2	322.1	36.1	6.5	Y	正常, SNR 26.6dB
	3	299.6	45.6	9.5	Y	正常, SNR 25.8dB
	4	291.7	45.6	8.9	Y	正常, SNR 26.2dB
	5	298.5	45.6	9.3	N	正常, SNR 35.7dB
	6	307.6	45.6	10.8	N	正常, SNR 49.2dB
	7	204.4	45.6	13.3	Y	正常, SNR 35.2dB
SNR >21.08dB 方能維持 BER<1.0E-6。						

表 4-6、高雄市阿蓮區電臺干擾結果

電臺接收強度與訊號調變方式	干擾點	水平投影距離(公尺)	高度差(公尺)	偏軸角(度)	可視天線	訊號品質
-38.89dBm /5MHz 64QAM	1	1841.0	37.2	1.2	N	正常, SNR 31.6dB
	2	1464.8	39.1	1.6	Y	斷線, SNR 18.7dB
	3	944.3	40.1	2.8	N	正常, SNR 36.4dB
	4	407.7	40.5	14.9	N	正常, SNR 43.4dB
	5	122.5	40.7	18.4	Y	正常, SNR 29.8dB
SNR >21.08dB 方能維持 BER<1.0E-6。						

表 4-7、臺中市南區電臺干擾結果

電臺接收強度 與訊號調變方式	干擾點	水平投影距離 (公尺)	高度差 (公尺)	偏軸角 (度)	可視天線	訊號品質
-40.68dBm /10MHz 64QAM	1	89.2	75.9	44.3	Y	正常, SNR 28.7dB
	2	350.4	73.9	12.2	Y	正常, SNR 35.9dB
	3	446.7	73.6	26.0	Y	正常, SNR 37.9dB
	4	1638.7	60.9	5.7	N	正常, SNR 65.5dB
	5	1881.7	41.0	1.6	N	正常, SNR 50.0dB
	6	1874.5	61.0	4.3	N	正常, SNR 66.3dB
	7	759.3	69.9	6.4	N	正常, SNR 54.6dB
SNR >21.08dB 方能維持 BER<1.0E-6。						

表 4-8、臺南市新營區電臺干擾結果

電臺接收強度 與訊號調變方式	干擾點	水平投影距離 (公尺)	高度差 (公尺)	偏軸角 (度)	可視天線	訊號品質
-50.42dBm /10MHz 64QAM	1	4995.6	51.4	0.7	Y	斷線, SNR 13.0dB
	2	2465.8	51.6	1.4	Y	斷線, SNR 13.2dB
	3	138.1	50.6	24.1	Y	斷線, SNR 17.9dB
	4	228.2	50.6	12.8	N	正常, SNR 30.2dB
	5	317.3	50.4	15.2	N	正常, SNR 31.6dB
	6	317.9	50.7	9.1	Y	斷線, SNR 9.4dB
	7	463.4	50.0	16.8	N	正常, SNR 31.7dB
	8	364.7	36.2	13.1	N	正常, SNR 39.8dB
SNR >21.08dB 方能維持 BER<1.0E-6。						

E. 傳播模型的修正

使用路測蒐集資料與上述量測數據，進行資料過濾與整理，擇其資料的可靠性進行通道傳播模擬的差異比對，並標記干擾點位置，以此建立可能的傳播模型趨勢樣態，如圖 4-9 至圖 4-13。

由這 5 處測試結果可得知，城市類型如臺中市中南區微波臺圖 4-12，近距離可視下之空間路徑損耗評估多位處 WINNER II Urban LoS (C2) 曲線附近，而與自由空間損耗並無太大差異。如先前模擬所規劃方式，由於當前電臺天線正前 250 公尺處地面仍有機會可輕易視得天線，因此建議在短距離間以最低自由空間損耗來預測。經傳播結果分析比較，中程距離 250 公尺至 1 公里建議採以 90% WINNER II Urban LoS(C2)+10% WINNER II Urban NLoS(C2) 做為參考依據；1 公里以上建議可採以 Longley Rice + 50% Clutter。

對於郊區類型如屏東縣枋寮鄉，電臺前方建物較為低矮但建物密度高，圖 4-9。除了 250 公尺內採保守自由空間來評估，對於 250 公尺至 1 公里建議採以 70% WINNER II Suburban LoS(C1)+30% WINNER II Suburban NLoS(C1)做為參考依據；1 公里以上區域類型採類似於鄉村(Rural)型態，建議以 Longley Rice + 0.01% Clutter 來嚴加評估。

鄉村類型如高雄市大寮區微波臺圖 4-10、高雄市阿蓮區微波臺圖 4-11、臺南市新營區微波臺圖 4-13，可視得天線機率高，且天線周遭建物複雜度低，雜散效應相對於小，以至於干擾傳播損耗顯得較低，在遠處低偏軸角下，仍能觀測到信號強度或是干擾到電臺。對於傳播模型的樣態，同樣在 250 公尺內採保守自由空間來評估，對於 250 公尺至 1 公里建議採以 90% WINNER II Rural LoS(D1)+10% WINNER II Rural NLoS(D1)做為參考依據；1 公里以上建議可採以 Longley Rice + 0.01% Clutter。

由上述場外測試之分析結果，統整各區域類型差異予以傳播模型方式之建議如表 4-9，作為後續模型分析套用傳播模型參數之依據。

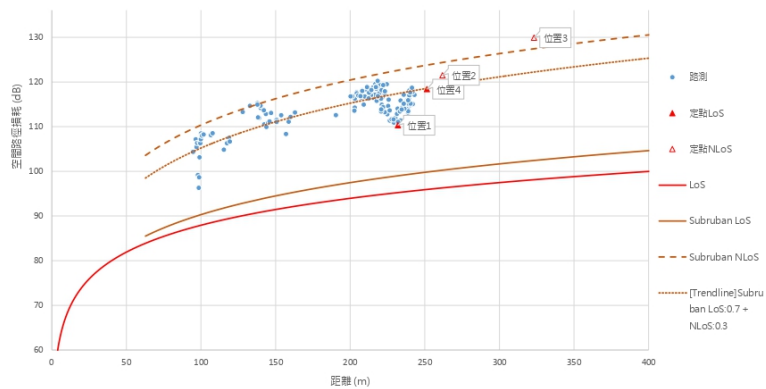


圖 4-9、屏東縣枋寮鄉電臺戶外傳播模型之可能

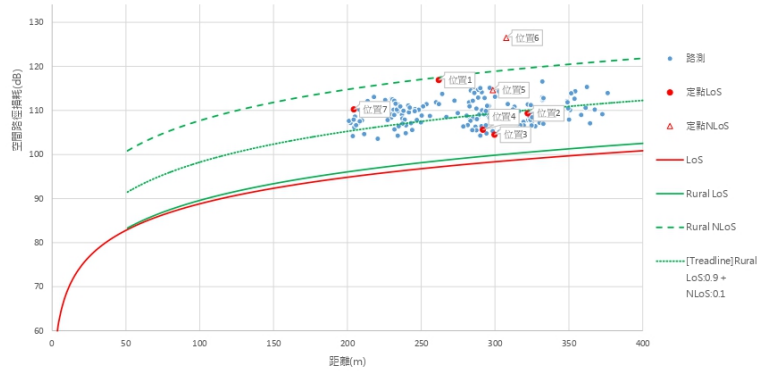


圖 4-10、高雄市大寮區電臺戶外傳播模型之可能

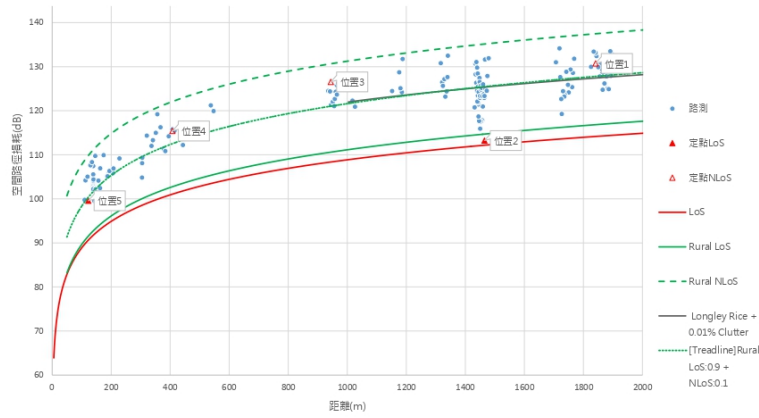


圖 4-11、高雄市阿蓮區電臺戶外傳播模型之可能

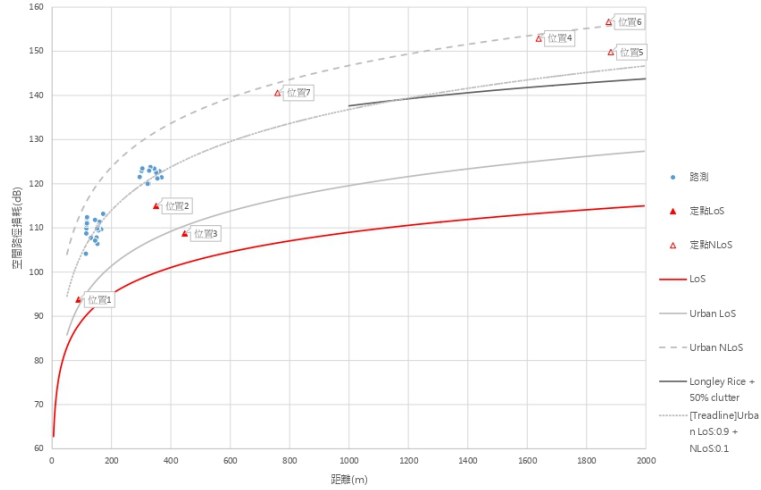


圖 4-12、臺中市南區電臺戶外傳播模型之可能

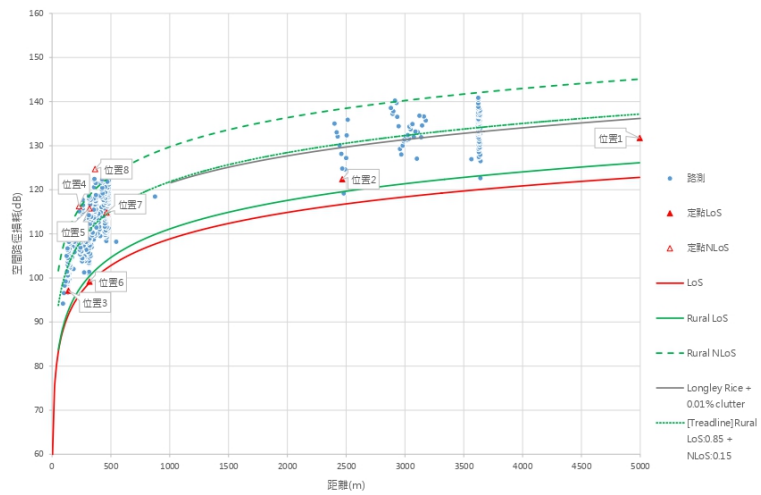


圖 4-13、臺南市新營區電臺戶外傳播模型之可能

表 4-9、各類區域環境傳播模型建議方式


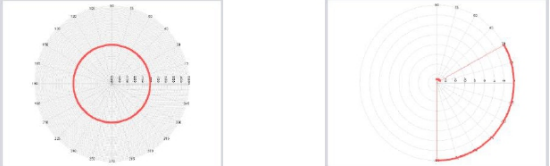
區域	傳播模型建議
城市	小於 250 公尺：以自由空間損耗 ITU-R P.525 250 公尺至 1 公里：90% WINNER II Urban LoS(C2)+10% WINNER II Urban NLoS(C2) 大於 1 公里：Longley Rice + 50% Clutter
郊區	小於 250 公尺：以自由空間損耗 ITU-R P.525 250 公尺至 1 公里：70% WINNER II Suburban LoS(C1)+30% WINNER II Suburban NLoS(C1) 大於 1 公里：Longley Rice + 0.01% Clutter
鄉村	小於 250 公尺：以自由空間損耗 ITU-R P.525 250 公尺至 1 公里：90% WINNER II Rural LoS(D1)+10% WINNER II Rural NLoS(D1) 大於 1 公里：Longley Rice + 0.01% Clutter

F. 模擬分析

研究計畫將搭配由歐洲郵政及電信管理會議所開發，頻譜工程用之進階蒙地卡羅分析工具（SEAMCAT）來進行模擬 Wi-Fi 對既有固定微波受干擾的可能性。

對於模擬相關的參數，將前述所匯集之統計資料與研析結果作為依據，建立分析參數方向如表 4-10 與各規範裝置之情境考量如表 4-11。

表 4-10、Wi-Fi 對微波站同頻干擾的參數設置

項目	說明
建物穿透損耗	作為室內裝置穿透至戶外的建築材料衰減量 32 dB。
室內 Wi-Fi 天線型態	全向性天線。若傳導發射端功率 36 dBm，天線增益為 0 dBi，以維持全向輻射功率 EIRP 36 dBm。 
室內裝置布建密度	依據各密度區別，調查其家庭戶數密度作為室內存取裝置密度。臺北市 3872.7 戶/km ² ；臺南市 323.9 戶/km ² ；宜蘭縣 81.3 戶/km ² 。 高密度：臺北市 中密度：臺南市 低密度：宜蘭縣
室內裝置布建高度	依據各密度區別，針對其建物統計其室內裝置布建高度可能。 高密度：臺北市 中密度：臺南市 低密度：宜蘭縣 參照圖 4-5、室內裝置高度累積分布函數預估圖。
室外 Wi-Fi 天線型態	在 FCC 標準功率規範下，若傳導發射端功率 36 dBm，室外天線限制高於天線水平仰角 30 度以上不得超過 21 dBm。因此將天線垂直面大於仰角 30 度設置為 -15 dBi，其他角度設置為 0 dBi。 在 ETSI 規範下，則維持全向性，無須調整場型變化。 
室外 Wi-Fi 存取端密度	高密度 26 部/km ² 中密度採六都中位數 3 部/km ² 。 排除六都行政區，其他各鄉鎮平均密度，適用於人口低密度區 0.31 部/km ² 。
室外 Wi-Fi 高度	Wi-Fi 存取端離地 2 公尺(機率 0.5)與 3 公尺(機率 0.5)。 Wi-Fi 客戶端離地 1.5 公尺。
Wi-Fi 發射頻寬	20 MHz。
室內與室外裝置功率	採用美國室內功率存取裝置 30 dBm EIRP，用戶端 24 dBm EIRP。 採用美國室外標準功率存取裝置最大 36 dBm EIRP，用戶端 30 dBm EIRP。 採用歐盟室內低功率裝置 23 dBm EIRP。 採用歐盟超低功率裝置 14 dBm EIRP。
微波站天線尺寸	透過既有電臺資料分析，市區電臺最小與最大尺寸分別為 4 呎和

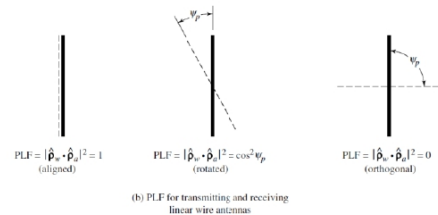
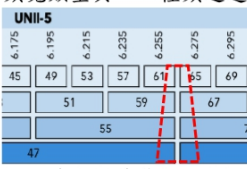
項目	說明
	12 呎。考量受干擾最大效應擇 12 呎(44.8 dBi)作為分析依據。
微波站天線高度	經電臺資料收集統計，微波天線高度平均離地約 50 公尺。
微波站天線俯仰角度	假設兩端點無短距離且較大地勢變化的鏈路，將設置俯仰角度為 0 度。
微波站受干擾標準 I/N 保護規範要求	短時間不受干擾下，I/N 大於 19 dB 之發生機率不應超過 4.5×10^{-4} %。
天線間極化匹配損耗	<p>假設微波站天線與 Wi-Fi 天線間的訊號傳遞存在至少 45 度差，依據 Antenna Theory: Analysis and Design 所述的極化損耗因子 (Polarization Loss Factor) 定義，其具備 $10\log(\cos^2(45)) = -3$ dB 損耗因子。</p>  <p>(b) PLF for transmitting and receiving linear wire antennas</p>
頻道占用比	<p>考量未來 Wi-Fi 裝置在 6 GHz 使用時，於通道選擇時，可能與 20 MHz 微波占用的機率。</p> <p>對於美國室內裝置，可使用頻段從 5925 MHz 至 7125 MHz，所有頻寬類型具 109 種頻道選擇方式，同頻的機率為 7.3%。</p>  <p>對於美國室外裝置，可使用頻段從 6425 MHz 至 6525 MHz 與 6875 MHz 至 7125 MHz 同頻的機率為 10.5%。</p> <p>對於歐盟裝置，可使用頻段從 5935 MHz 至 6425 MHz 同頻的機率為 17.8%。</p>
裝置活動率	尖峰時刻裝置使用之發射活動率。參考 ECC Report 302，設置為 1.97%。
使用 Wi-Fi 上網的比例	依據臺灣網路資訊中心 2020 年調查，由於行動網路發展普及，生活中有透過戶外、公用場所或家中無線上網約 27%。
人口密度作為室內室外終端使用比例	依據人口密度來評估 Wi-Fi 終端使用基礎依據。各縣市人口密度中，最高為臺北市 9071.42 人/km ² 將其視為高密度人口；縣市人口密度中位數 844.55 人/km ² (臺南市) 將其視為中密度人口；第一四分位數縣市人口密度 290.92 人/km ² (宜蘭縣) 將其視為低密度人口。採以人口密度中的室外 20%，室內 80% 人員使用 Wi-Fi 客戶端裝置之比例。
傳播模型	參照表 4-9、各類區域環境傳播模型建議方式。

表 4-11、情境分析樣態說明

情境	說明
一	<p>都市。室內布建採用美國 30 dBm EIRP 存取裝置與 24 dBm EIRP 終端，布建半徑 8 公里內高密度；8 至 16 公里中密度；16 至 32 公里低密度。</p>  <p>依人口住戶密度 X 同頻使用比例 X 裝置活動率 X 面積</p> <p>依人口密度 X 室內人員比例 X 同頻使用比例 X 人員使用Wi-Fi比例 X 裝置活動率 X 面積</p> <p>室內裝置同頻數量統計方式</p>
二	<p>承情境一，加上室外布建採用美國標準功率存取裝置 36 dBm EIRP 與終端 30 dBm EIRP。</p>  <p>依戶外AP密度 X 同頻使用比例 X 裝置活動率 X 面積</p> <p>依人口密度 X 室外人員比例 X 同頻使用比例 X 人員使用Wi-Fi比例 X 裝置活動率 X 面積</p> <p>室外裝置同頻數量統計方式</p>
三	承情境一，裝置布建採歐盟室內低功率裝置 23 dBm EIRP。
四	承情境三，加上布建歐盟室外超低功率裝置 14 dBm EIRP。
五	郊區。室內布建採用美國 30 dBm EIRP 存取裝置與 24 dBm EIRP 終端布建半徑 1 公里內中密度；1 至 32 公里低密度。
六	承情境五，加上室外布建採用美國標準功率存取裝置 36 dBm EIRP 與終端 30 dBm EIRP。
七	承情境五，裝置布建採歐盟室內低功率裝置 23 dBm EIRP。
八	承情境七，加上布建歐盟室外超低功率裝置 14 dBm EIRP。
九	鄉村。室內布建採用美國 30 dBm EIRP 存取裝置與 24 dBm EIRP 終端布建半徑 32 公里低密度。
十	承情境九，加上室外布建採用美國標準功率存取裝置 36 dBm EIRP 與終端 30 dBm EIRP。
十一	承情境九，裝置布建採歐盟室內低功率裝置 23 dBm EIRP。
十二	承情境十一，加上布建歐盟室外超低功率裝置 14 dBm EIRP。

經 SEAMCAT 分析上述各情境結果，僅室內裝置布建下如表 4-12 所示。針對美國與歐盟所訂定的室內裝置規範限制，在布建可能的存取與用戶端裝置數量下進行模擬。由於建物穿透損耗高且傳遞至室外時訊號強度普遍削弱許多，在城市、郊區與鄉村區域類型下對於固定微波電臺的影響甚低，其各造成的干擾總量 I/N 約在 -58 dB 以下，遠低於長期與短期之干擾限制，因此兩規範之室內裝置都能達成對固定微波電臺不受干擾。

表 4-12、僅布建 FCC 與 ETSI 規範之室內裝置對固定微波電臺的干擾機率

情境	區域類型	裝置規範	短時間發生干擾機率(%)
一	城市	美國	0
三	城市	歐盟	0
五	郊區	美國	0
七	郊區	歐盟	0
九	鄉村	美國	0
十一	鄉村	歐盟	0

短時間不受干擾下，I/N 大於 19 dB 之發生機率不應超過 $4.5 \times 10^{-4}\%$ 。

在有室內情境下再加入戶外裝置布建分析，如表 4-13 所示。參考美國或是歐盟技術規範的戶外裝置，對於電臺的影響亦可由之前戶外實測過程中察覺。在僅一部採用美國標準功率裝置位處可視電臺與建物複雜度低的情境下，便可對電臺傳輸造成嚴重斷線。倘若未來面對更多裝置時，唯有將標準功率裝置降低發射功率或是採以鄰頻，方能有效降低干擾程度。

經模擬在有戶外裝置的布建如，在短時間干擾要求下，僅有採用歐盟規範能近乎符合於城市環境中，其主要由於城市中建物較為密集造成較多的空間雜散效應，而增加了戶外裝置對微波鏈路上的傳輸損耗，且主要是該功率限制要求上相對較小。在郊區與鄉村上，戶外裝置與電臺間的傳輸上建物遮蔽效性小而提高干擾發生的可能，經模擬分析在採歐盟規範下其短時間發生干擾機率約 10% (微波電臺之鏈路傳輸方位上出現 8 部以上裝置，並同時電波直射固定微波電臺天線條件下)。而對於美國規範之結果，可發現在任何區域類型之短期發生干擾都高達 40% 以上的風險。

表 4-13、布建室內與室外裝置對固定微波電臺的干擾機率

情境	區域類型	裝置規範	短時間發生干擾機率(%)
二	城市	美國	40.3
四	城市	歐盟	0.1
六	郊區	美國	46
八	郊區	歐盟	12.1
十	鄉村	美國	45.7
十二	鄉村	歐盟	11

短時間不受干擾下，I/N 大於 19 dB 之發生機率不應超過 $4.5 \times 10^{-4}\%$ 。

四、結論

經 Wi-Fi 裝置的收集與統計分析推估裝置的布建方向；蒐集各國對於裝置傳播模型的預估方式，研擬合適於分析的方式；透過實測干擾作業了解電臺與干擾位置之關係，以及修正出合適的傳播模型參數樣態；透過前述資料的收集與模擬分析，獲取各規範之裝置對於既有固定微波電臺的影響程度。

位處城市中的電臺，Wi-Fi 裝置密度相對高，不過電波容易受建物阻礙與環境雜散效應，削弱了對電臺的干擾的可能性。相對位處郊區或鄉村中的電臺，則主要少了環境建物的阻礙，以及提高可視線的可能，尤在長距離下對天線之偏軸角減少下，提高干擾信號進入微波天線的增益表現，而增加干擾強度。除了上述環境因素外，功率過大 Wi-Fi 裝置也是造成干擾的主因。由最後的分析結果得知，當 FCC 規範之標準功率裝置布建於戶外，在未有 AFC 機制下，因同頻造成干擾的機率在任何環境下都有 40% 以上的風險，相較 ETSI 技術規範下，較不建議貿然開放 FCC 標準功率裝置，研析結果如表 4-14 所示。

表 4-14、6 GHz 頻段供低功率射頻器材使用之干擾評估分析結果

項次	採用標準與測試情境	測試參數設定	評估結果
1	美國 (室內)	1.室內存取端 (30 dBm) 2.連接室內存取端之用戶端 (24 dBm)	無干擾現象
2	歐盟 (室內)	室內低功率(23 dBm)	無干擾現象
3	美國 (室內+室外)	1.室內存取端 (30 dBm) 2.連接室內存取端之用戶端 (24 dBm) 3.室外存取端 (36 dBm) 4.連接室外存取端之用戶端 (30 dBm)	可能對固定微波造成干擾
4	歐盟 (室內+室外)	1. 室內低功率(23 dBm) 2. 室內+室外超低功率(14 dBm)	室外空曠處環境中，特別情況下對固定微波有 10% 干擾機率