

100 年委託研究報告

電波監測網監測範圍涵蓋評估研究

計畫委託機關：國家通訊傳播委員會

中華民國 100 年 10 月

100 年委託研究報告

PG10004-0184

電波監測網監測範圍涵蓋評估研究

受委託單位

國立台北科技大學 電子工程系

計畫主持人

林信標

共同主持人

林丁丙

研究人員

蔡邦均、莊嶸騰

本報告不必然代表國家通訊傳播委員會意見

中華民國 100 年 10 月

目 錄

表 次	V
圖 次	VII
提 要	XII
Abstract	XIII
第一章 緒 論	1
1.1 研究緣起與背景	1
1.2 研究目標	1
1.3 研究執行成果	3
第二章 電波監測站資料蒐集	6
2.1 電波監測站之種類	6
2.1.1 固定電波監測控制中心	7
2.1.2 固定式電波監測/定向站	8
2.1.3 移動式電波監測/定向站	8
2.1.4 可攜式電波監測/定向站	9
2.2 電波監測站接收機規格	9
2.2.1 National Instruments 美商國家儀器股份有限公司	9
2.2.2 Rohde & Schwarz 羅德史瓦茲有限公司	17
2.2.3 Tadiran 公司	21
2.3 總結	24
第三章 電波傳播模式評估分析	26
3.1 自由空間傳播損失模型	27
3.2 Cost-231 Hata 模型	29
3.3 ITU-R P.370-7 模型	32
3.4 ITU-R P.1546-4 模型	34

3.5 總結	42
第四章 電波監測站涵蓋範圍評估分析	43
4.1 電波監測涵蓋模擬方法	43
4.2 電波監測涵蓋量測方法	47
4.3 電波監測涵蓋量測參數之驗證	62
4.4 全臺 35 處電波監測站臺之監測涵蓋模擬	65
4.4.1 都會區之監測站臺	70
4.4.2 郊區之監測站臺	74
4.4.3 高山區之監測站臺	95
4.4.4 全臺 35 處監測站臺	105
4.5 全臺 35 處電波監測站臺之定向涵蓋模擬	107
4.5.1 北部地區之監測站臺	109
4.5.2 中部地區之監測站臺	110
4.5.3 南部地區之監測站臺	111
4.5.4 全臺 35 處監測站臺	113
4.6 移動式與可攜式監測站臺之監測涵蓋模擬	114
第五章 電波監測站臺涵蓋範圍之優化建議	116
5.1 基因演算法優化分析	116
5.2 未來電波監測站建置優先順序	117
第六章 電波監測站之抗干擾保護建議	139
6.1 選擇抗干擾能力強之設備	139
6.1.1 選擇移動式頻譜分析儀測量	140
6.1.2 提高監測系統動態範圍減少內部失真	142
6.2 強電場對監測站接收設備的影響	144
6.2.1 監測站接收機主要參數	144
6.2.2 強電場對監測接收機的影響分析	146

6.2.3 強電場對監測接收機的解決對策.....	147
6.3 採用快速尋找干擾源之方法.....	149
第七章 結 論.....	152
參考書目.....	154
附錄.....	156
附錄一 鄭獻勳教授訪談紀錄.....	156
附錄二 柯正義博士訪談紀錄.....	158

表 次

表 1.1	進度甘梯圖	3
表 1.2	預期完成進度與實際進度之比較表	4
表 1.3	電波監測站量測時程表	4
表 2.1	TDF-2003 定向監測站系統規格表	22
表 2.2	三家廠商靈敏度規格比較表	24
表 2.3	三家廠商動態範圍規格比較表	25
表 2.4	三家廠商三階截斷點 IP3 規格比較表	25
表 3.1	ITU-R P.370-7 和 ITU-R P.1546-4 模型比較表	42
表 4.1	台北市士林站量測所得之路徑損失值	54
表 4.2	新北市次格山站量測所得之路徑損失值	54
表 4.3	新北市大棟山站量測所得之路徑損失值	55
表 4.4	桃園縣高原站量測所得之路徑損失值	55
表 4.5	宜蘭縣美城站量測所得之路徑損失值	56
表 4.6	宜蘭縣冬山站量測所得之路徑損失值	56
表 4.7	新竹縣六家站量測所得之路徑損失值	57
表 4.8	新竹縣尖筆窩山站量測所得之路徑損失值	57
表 4.9	花蓮縣吉安站量測所得之路徑損失值	58
表 4.10	花蓮縣月眉山站量測所得之路徑損失值	58
表 4.11	苗栗縣大埔站量測所得之路徑損失值	59
表 4.12	苗栗縣九華山站量測所得之路徑損失值	59
表 4.13	台中市豐原站量測所得之路徑損失值	60
表 4.14	台中市大肚山站量測所得之路徑損失值	60
表 4.15	台南市健康站量測所得之路徑損失值	61
表 4.16	高雄市大坪頂站量測所得之路徑損失值	61

表 4.17 都會區電波監測站資料表.....	66
表 4.18 郊區電波監測站資料表.....	66
表 4.19 高山區電波監測站資料表.....	67
表 4.20 臺灣本島之各監測站的涵蓋面積比率統計表。.....	67
表 4.21 澎湖群島之各監測站的涵蓋面積比率統計表。.....	69
表 4.22 金門群島之各監測站的涵蓋面積比率統計表。.....	69
表 4.23 臺灣本島之監測站的總涵蓋面積比率統計表。.....	105
表 4.24 北部地區電波監測站資料表.....	107
表 4.25 中部地區電波監測站資料表.....	107
表 4.26 南部地區電波監測站資料表.....	108
表 4.27 外島地區電波監測站資料表.....	108
表 4.28 移動式與可攜式監測站之模擬參數。.....	114
表 5.1 電波監測站與大功率發射站間的距離限制.....	118
表 5.2 撤掉 1~16 個監測站之涵蓋面積比率比較表。.....	120

圖 次

圖 1.1	研究架構之流程圖	2
圖 2.1	階層式電波監測網	7
圖 2.2	NI 固定式監測與定向監測站系統方塊圖	9
圖 2.3	固定式定向接收器方塊圖	10
圖 2.4	固定式監測接收器方塊圖	10
圖 2.5	固定式監測站系統	11
圖 2.6	固定式定向站系統	12
圖 2.7	NI 移動式監測與定向監測站系統方塊圖	13
圖 2.8	移動式定向與監測接收器方塊圖	14
圖 2.9	移動式監測與定向監測站系統	14
圖 2.10	移動式監測與定向監測站之校正系統	15
圖 2.11	R&S EMSD 寬頻監測接收設備。	17
圖 2.12	R&S DDF255 數位定向設備	17
圖 2.13	R&S DDF255 數位定向設備的 DF Sensitivity	19
圖 2.14	R&S PR100 可攜式接收器	20
圖 2.15	TDF-2003 定向監測站系統方塊圖	22
圖 3.1	台灣本島與離島地形圖	26
圖 3.2	自由空間傳播損失模型電波涵蓋模擬圖	28
圖 3.3	訊號發射強度顏色表示	29
圖 3.4	Cost-231 Hata 模型電波涵蓋模擬圖	31
圖 3.5	30MHz~250MHz 陸地面路徑曲線圖	32
圖 3.6	450MHz~1000MHz 陸地面路徑曲線圖	33
圖 3.7	ITU-R P.370-7 模型電波涵蓋模擬圖	34
圖 3.8	100 MHz 陸地面路徑曲線圖	38

圖 3.9	600 MHz 陸地面路徑曲線圖	39
圖 3.10	2000 MHz 陸地面路徑曲線圖	40
圖 3.11	ITU-R P.1546-4 模型電波涵蓋模擬圖	41
圖 4.1	軟體平台之程式流程圖	43
圖 4.2	軟體平台之參數設定介面	44
圖 4.3	台灣電子地理圖資示意圖	44
圖 4.4	ITU-R P.1546-4 傳播模型 146.5MHz 場強表	45
圖 4.5	ITU-R P.1546-4 傳播模型 445MHz 場強表	45
圖 4.6	ITU-R P.1546-4 傳播模型 855MHz 場強表	46
圖 4.7	ITU-R P.1546-4 傳播模型 1870MHz 場強表	46
圖 4.8	ITU-R P.1546-4 傳播模型 2430MHz 場強表	46
圖 4.9	ITU-R P.1546-4 傳播模型 3470MHz 場強表	47
圖 4.10	Agilent N5182A MXG 向量訊號產生器	47
圖 4.11	R&S FSH8 手持式頻譜分析儀	48
圖 4.12	BRC HP-50 天線	49
圖 4.13	JOYMAX YPF-021ANFX9-999 天線	49
圖 4.14	JOYMAX SGX-103XNFX9-999 天線	50
圖 4.15	桃園縣高原監測站	50
圖 4.16	發射點 D0 的路徑損失量測	51
圖 4.17	三個發射站 Tx 位置路徑損失量測	51
圖 4.18	D ₀ 位置各頻率的頻譜圖	53
圖 4.19	線性迴歸	63
圖 4.20	非線性迴歸	63
圖 4.21	台北市士林站電波涵蓋模擬圖	70
圖 4.22	台中市豐原站電波涵蓋模擬圖	71
圖 4.23	台南市健康站電波涵蓋模擬圖	72

圖 4.24 屏東縣崇明站電波涵蓋模擬圖	73
圖 4.25 桃園縣高原站電波涵蓋模擬圖	74
圖 4.26 宜蘭縣美城站電波涵蓋模擬圖	75
圖 4.27 宜蘭縣冬山站電波涵蓋模擬圖	76
圖 4.28 新竹縣六家站電波涵蓋模擬圖	77
圖 4.29 花蓮縣吉安站電波涵蓋模擬圖	78
圖 4.30 苗栗縣大埔站電波涵蓋模擬圖	79
圖 4.31 台中市大肚山站電波涵蓋模擬圖	80
圖 4.32 彰化縣溪湖站電波涵蓋模擬圖	81
圖 4.33 雲林縣莿桐站電波涵蓋模擬圖	82
圖 4.34 嘉義市金龍站電波涵蓋模擬圖	83
圖 4.35 嘉義縣六腳站電波涵蓋模擬圖	84
圖 4.36 台南市嘉民站電波涵蓋模擬圖	85
圖 4.37 高雄市茄萣站電波涵蓋模擬圖	86
圖 4.38 高雄市大坪頂站電波涵蓋模擬圖	87
圖 4.39 屏東縣泰山站電波涵蓋模擬圖	88
圖 4.40 屏東縣南州站電波涵蓋模擬圖	89
圖 4.41 屏東縣後村站電波涵蓋模擬圖	90
圖 4.42 台東縣馬蘭站電波涵蓋模擬圖	91
圖 4.43 澎湖縣澎南站電波涵蓋模擬圖	92
圖 4.44 澎湖縣馬公站電波涵蓋模擬圖	93
圖 4.45 金門金湖站電波涵蓋模擬圖	94
圖 4.46 新北市次格山站電波涵蓋模擬圖	95
圖 4.47 新北市大棟山站電波涵蓋模擬圖	96
圖 4.48 新竹縣尖筆窩山站電波涵蓋模擬圖	97
圖 4.49 花蓮縣月眉山站電波涵蓋模擬圖	98

圖 4.50 苗栗縣九華山站電波涵蓋模擬圖·····	99
圖 4.51 南投縣鳳鳴站電波涵蓋模擬圖·····	100
圖 4.52 嘉義縣尖凍山站電波涵蓋模擬圖·····	101
圖 4.53 高雄市東照山站電波涵蓋模擬圖·····	102
圖 4.54 高雄市枕頭山站電波涵蓋模擬圖·····	103
圖 4.55 台東縣利嘉山站電波涵蓋模擬圖·····	104
圖 4.56 全臺 35 處監測站電波涵蓋模擬圖·····	105
圖 4.57 定向涵蓋顏色示意圖·····	107
圖 4.58 北區監測站定向涵蓋模擬圖·····	109
圖 4.59 中區監測站定向涵蓋模擬圖·····	110
圖 4.60 南區監測站定向涵蓋模擬圖·····	111
圖 4.61 全臺 35 處監測站定向涵蓋模擬圖·····	113
圖 4.62 移動式監測站之監測涵蓋模擬圖·····	115
圖 4.63 可攜式監測站之監測涵蓋模擬圖·····	115
圖 5.1 基因編碼圖·····	116
圖 5.2 基因演算法優化模擬圖·····	117
圖 5.3 分別撤掉 16 個電波監測站之位置圖·····	119
圖 5.4 撤掉 1 個監測站之電波涵蓋模擬圖·····	122
圖 5.5 撤掉 2 個監測站之電波涵蓋模擬圖·····	123
圖 5.6 撤掉 3 個監測站之電波涵蓋模擬圖·····	124
圖 5.7 撤掉 4 個監測站之電波涵蓋模擬圖·····	125
圖 5.8 撤掉 5 個監測站之電波涵蓋模擬圖·····	126
圖 5.9 撤掉 6 個監測站之電波涵蓋模擬圖·····	127
圖 5.10 撤掉 7 個監測站之電波涵蓋模擬圖·····	128
圖 5.11 撤掉 8 個監測站之電波涵蓋模擬圖·····	129
圖 5.12 撤掉 9 個監測站之電波涵蓋模擬圖·····	130

圖 5.13 撤掉 10 個監測站之電波涵蓋模擬圖.....	131
圖 5.14 撤掉 11 個監測站之電波涵蓋模擬圖.....	132
圖 5.15 撤掉 12 個監測站之電波涵蓋模擬圖.....	133
圖 5.16 撤掉 13 個監測站之電波涵蓋模擬圖.....	134
圖 5.17 撤掉 14 個監測站之電波涵蓋模擬圖.....	135
圖 5.18 撤掉 15 個監測站之電波涵蓋模擬圖.....	136
圖 5.19 撤掉 16 個監測站之電波涵蓋模擬圖.....	137
圖 6.1 交互調變頻譜示意圖.....	139
圖 6.2 合成器圖.....	145

提 要

關鍵詞：無線電波監測網、電波傳播模式、電波涵蓋率

一、研究緣起

為維護電波秩序及提升無線電通信品質，國家通訊傳播委員建置了全臺 35 個監測站的「全國無線電波監測網」，不僅可確實掌握電波頻譜的使用狀況，也可適時處理電波干擾問題。然而，現有電波監測網自建置迄今已歷時十四年，其監測功能亦無法滿足目前寬頻通訊傳播技術。有鑑於此，實有必要進行監測站系統與硬體之汰換、升級。

二、研究方法及過程

使用自行開發之模擬軟體針對 VHF/UHF 頻段模擬不同的電波傳播模式，本軟體平台已開發自由空間傳播損失模型、Cost-231 Hata 模型、ITU-R P.370-7 和 ITU-R P.1546-4 模型，載入台灣電子地理圖資便可開始進行場強模擬分析，以及評估不同種類的電波監測站，包括固定式、移動式、可攜式…等之電波涵蓋範圍。並選定 16 處具代表性的站點，分成三種不同環境類型，使用手持式頻譜分析儀量測場強，輔以迴歸分析的方法開發出符合台灣地區之電波傳播模式，並以此為依據進行電波全台 35 處站點之電波監測涵蓋及定向涵蓋之模擬評估。

三、重要發現

從不同電波傳播模式的模擬比較可發現，ITU-R P.1546-4 模型較適合用於臺灣地區的使用，並利用迴歸分析的方法開發出符合台灣地區之 ITU-R P.1546-4 修正傳播模型。再經由此模型模擬臺灣本島的 32 處各監測站之涵蓋率和臺灣本島整體之涵蓋率做比較，各監測站之涵蓋率相加起來的值為 85%，而全臺 35 處監測站之涵蓋率為 55.5%，明顯可看出各監測站有重疊覆蓋到的地方。因此，有些重疊覆蓋到的監測站可考慮不做新世代電波監測站之建置規劃。

四、主要建議事項

可先藉由全臺 35 處監測站之電波涵蓋模擬圖中，找出監測站與鄰近監測站非常靠近，以及監測站電波涵蓋範圍非常小，或是有被其它地形較高的監測站涵蓋到的監測站，優先不考慮做為新世代電波監測站之建置規劃。

（一）立即可行之建議

未來新世代電波監測站之系統建置預定，建議先從都會區人口密度較高的地方開始做更換。例如：台北市、新北市、桃園縣、台中市、台南市和高雄市等，而這些都會區的監測站最好至少有兩個監測站進行監測/定向。再來就更換高山位置的電波監測站系統，涵蓋範圍比較寬廣的監測站優先做更換，最後再更換平原地區與海島地區的監測站系統。而這些新的監測站需選擇抗干擾能力強之設備，並引入減少強電場干擾之方法做為抗干擾保護的機制。

（二）中長期性建議

都會區、花蓮縣、台東縣和外島地區至少要各配置一台移動監控車和一套可攜式監控設備，因為都會區的人口密度較高，發射干擾或違法訊號的機率也較大。至於花蓮縣、台東縣和外島地區若只有更換一處固定式監測站，則需要移動式或可攜式監測設備做輔助與加強監測的功能。

Abstract

Key words: Radio Propagation Monitoring, Propagation Model, Radio Coverage

In order to maintaining the order and quality of radio usage, NCC had built 35 monitoring station all over Taiwan. However, it had past more than 14 years since the monitoring network are built. Those equipment need update and new technologies for wideband communication application are needed.

In this project, we develop the radio propagation model simulator which can predict the path loss of VHF/UHF radio waves. Including free space model, Cost-231 Hata, ITU-R P.370-7 and ITU-R P.1546-4 models, this software simulator which count on the terrain information of the digital map of Taiwan can predict the path loss and radio coverage of any selected monitoring stations. The capability of the simulation platform is validated by using the real measurement data from 16 existed monitoring stations. Furthermore, the coverage analysis of all 35 monitoring stations can be predicted using the simulation platform.

We found that the revised ITU-R P.1546-4 propagation model is suitable for Taiwan's environment. Besides, some existed monitoring stations might be redundant. There is more efficient way to relocate the monitoring stations.

Some suggestions are drawn as the conclusion of this project.

1. The monitoring stations located in urban area should be considered as the first priority and the monitoring stations located in high mountain is also useful for improving the coverage. However, some stations located in suburban area need not to be considered in the new monitoring network.
2. In urban area or eastern part of Taiwan, some mobile monitoring stations are needed for improving the monitoring efficiency.
3. The interference might cause problems in monitoring network. New interference reduction policy or regulations are urgent needed.

第一章 緒 論

1.1 研究緣起與背景

近十幾年來，無線通訊的新技術和新業務不斷的日新月異，這使無線電頻率需求增加、資源短缺，也給了無線電波監測技術必需面對幾個新的問題。由於軟體無線電技術的發展，使得無線電監測技術朝著寬頻與數位化方向前進。但無線通訊在帶給大眾諸多便利的同時，也使得現今的電波傳播環境因為許許多多不同無線系統而變得日益複雜，這將造成系統間極大的信號干擾。

為維護電波秩序及提升無線電通信品質，並排除非法電波干擾，國家通訊傳播委員會（National Communication Commission；NCC）建置了包含全臺 35 處監測站的「全國無線電波監測網」，執行臺灣地區頻段從 10 KHz 至 3GHz 的無線頻譜之監測任務，不僅可確實掌握電波頻譜的使用狀況，也可適時處理電波干擾問題，並且提升頻譜使用效率。然而，現有電波監測網自建置迄今已歷時十四年，相關系統設備皆逾使用年限，多數維修備用料已停產，系統維護不易，其監測功能亦無法滿足目前寬頻通訊傳播技術。另一方面因台灣地區係屬多山地形，地勢起伏極具變化，易因地形高低起伏而造成監測死角，且近年來大量無線電臺建設及地形地物快速變化，與 NCC 初期規劃顯為不同，部份站臺環境已不符合原始規劃條件，情況嚴重者甚或影響監測效能。有鑑於此，實有必要進行系統與硬體之汰換、升級並且就監測站位置與其覆蓋範圍作優化作業。

1.2 研究目標

本研究案著重於台灣現有 35 處電波監測站之監測/定向涵蓋範圍之模擬分析與優化建議，使用自行開發之模擬軟體針對 VHF/UHF 頻段模擬不同的電波傳播模式。本軟體平台已開發自由空間傳播損失模型、Cost-231 Hata 模型、ITU-R P.370-7 和 ITU-R P.1546-4 模型，載入台灣電子地理圖資便可開始進行場強模擬分析，以及評估不同種類的電波監測站，包括固定式、移動式、可攜式…等之電波涵蓋範圍。本計畫並選定 16 處具代表性的站點，分成三種不同環境類型，使用手持式頻譜分析儀（R&S FSH8）量測場強，輔以迴歸分析的方法開發出

符合台灣地區之電波傳播模式，並以此為依據進行電波全台 35 處站點之電波監測涵蓋及定向涵蓋之模擬評估。此外，我們也使用此軟體模擬平台分析使用干擾來向之定位追蹤偵測之可行性，以每個區域會被幾個電波監測站台涵蓋的方式呈現，我們也輔以優化之程式來評估未來電波監測站建置優先順序與抗干擾保護之依據。圖 1.1 為本研究案之研究架構圖。

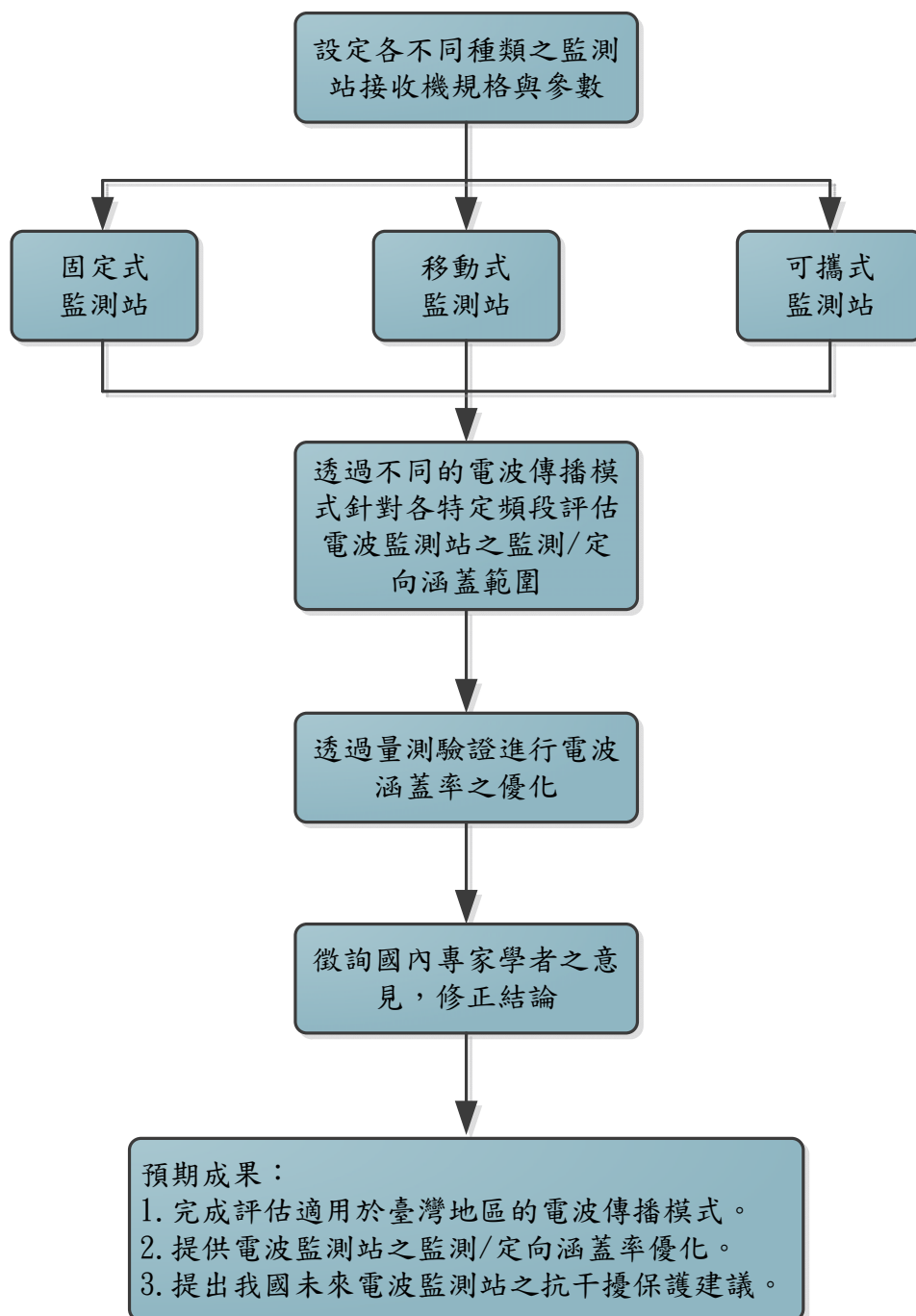


圖 1.1 研究架構之流程圖。

1.3 研究執行成果

表 1.1 進度甘梯圖。

計畫名稱：電波監測網監測範圍涵蓋評估研究							
時間 工作項目	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	備 註
透過軟體模擬並量測驗證，預估不同種類之監測站電波涵蓋範圍							
蒐集並比較現有電波監測系統不同種類之監測站接收機規格							
修改本實驗室開發的異質網路優化軟體平台							
台灣電波監測站之模擬分析與量測驗證							
期中報告							
使用迴歸分析的方法優化電波監測站之涵蓋範圍與整體效益							
進行電波監測站干擾分析之模擬與量測							
舉辦深度訪談國內專家學者2位							
期末報告							
預定進度 累計百分比(%)	17%	34%	51%	68%	85%	100%	

表 1.1 為進度甘梯圖，實際進度整理說明如表 1.2 所示。表 1.3 為量測時程表。

表 1.2 預期完成進度與實際進度之比較表。

工作項目	執行	備 註
開發電波涵蓋模擬軟體平台	√	已完成
蒐集3家廠商之監測站接收機規格與比較	√	已完成
量測16處具代表性的監測站點	√	已完成
使用迴歸分析的方法調整出適用於臺灣地區的電波傳播模型	√	已完成
模擬35處監測站監測涵蓋範圍	√	已完成
模擬35處監測站定向涵蓋範圍	√	已完成
未來電波監測站建置優先順序建議	√	已完成
電波監測站干擾分析之建議	√	已完成
舉辦深度訪談國內專家學者2位	√	已完成
期末報告	√	已完成

表 1.3 電波監測站量測時程表。

七月份						
日	一	二	三	四	五	六
24	25	26	27	28	29	30
	台北市士林站	新北市次格山站			新北市大棟山站	

八月份						
日	一	二	三	四	五	六
7/31	1	2	3	4	5	6
	桃園縣高原站		新竹縣尖筆窩站	新竹縣六家站		
7	8	9	10	11	12	13
			宜蘭縣美城站		宜蘭縣冬山站	
14	15	16	17	18	19	20
	高雄市大坪頂站	台南市健康站	台中市大肚山站	台中市豐原站		
21	22	23	24	25	26	27
		苗栗縣大埔站		苗栗縣九華山站		
28	29	30	31	9/1		

九月份						
日	一	二	三	四	五	六
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
	花蓮縣吉安站	花蓮縣月眉山站				

第二章 電波監測站資料蒐集

2.1 電波監測站之種類

區域無線電波監測網是 VHF/UHF 頻段監測、監聽、定向、定位任務的主要控制中心。每個區域的電波監測網一般應該建設 1 個固定電波監測控制中心，若干個固定式監測/定向站，若干個移動式監測/定向站，若干個可攜式監測/定向站，上述這幾個監測/定向站應隨時連線到控制中心。此外，還應配備若干套手動干擾識別與測試系統，以及若干部可攜式測向儀。監測頻段以 VHF/UHF 頻段為主，根據需要適當考慮其它頻段。

一般來說，VHF/ UHF 固定式電波監測系統是由一個主要監測站和三個或以上的輔助監測站所組成，為了能夠快速識別及尋找非法之干擾源，監督各種無線電使用者遵守無線電管理法規。因此，一個先進的電波監測系統架構應具備下列功能[1]。

I. 輔助電波監測站：

- a、 監測並量測無線電台之特性(如場強、頻偏...等等)。
- b、 監聽信號，並能記錄。
- c、 尋找與識別不明之電波發射台。
- d、 發現異常或者是未知(非法)電台發射時自動通報。
- e、 多模態(如 AM、FM、CDMA、OFDM...等)、多頻段之搜尋、掃描、分析功能。
- f、 鄰近頻道之量測、分析及記錄。
- g、 干擾分析與計算(如同步相關信號之識別等等)。
- h、 監測自動化。
- i、 可自動測向，並在顯示器(如電子地圖)顯示位置與分析結果。
- j、 自動監控電波監測站之狀況，如監測站機房溫度、濕度、電源及安全警示，遭遇意外狀況可自動警告控制中心。

II. 主要電波監測站：

主要電波監測站除了需要兼備輔助電波監測站之功能外，還須具備下列兩項功能。

- a、 遙控輔助電波監測站之功能。須能遙控各個電波輔助監測站的開、關機，控制各輔助電波監測站完成各種監測任務，還須能完成輔助電波監測站之各種硬體設備之遙

控(如機房風扇、空調系統...等等)。

- b、訊號的交互定位。將各輔助電波監測站之測向結果進行交互定位，並在電子地圖上顯示。

一個電波監測網一般應建設 1 個全國管理中心，以及若干個區域管理中心。數個固定式電波監測站、數個移動式電波監測車及數個便攜式電波監測系統，如圖 2.1 所示。其中建設各類電波監測站臺之規格如下：

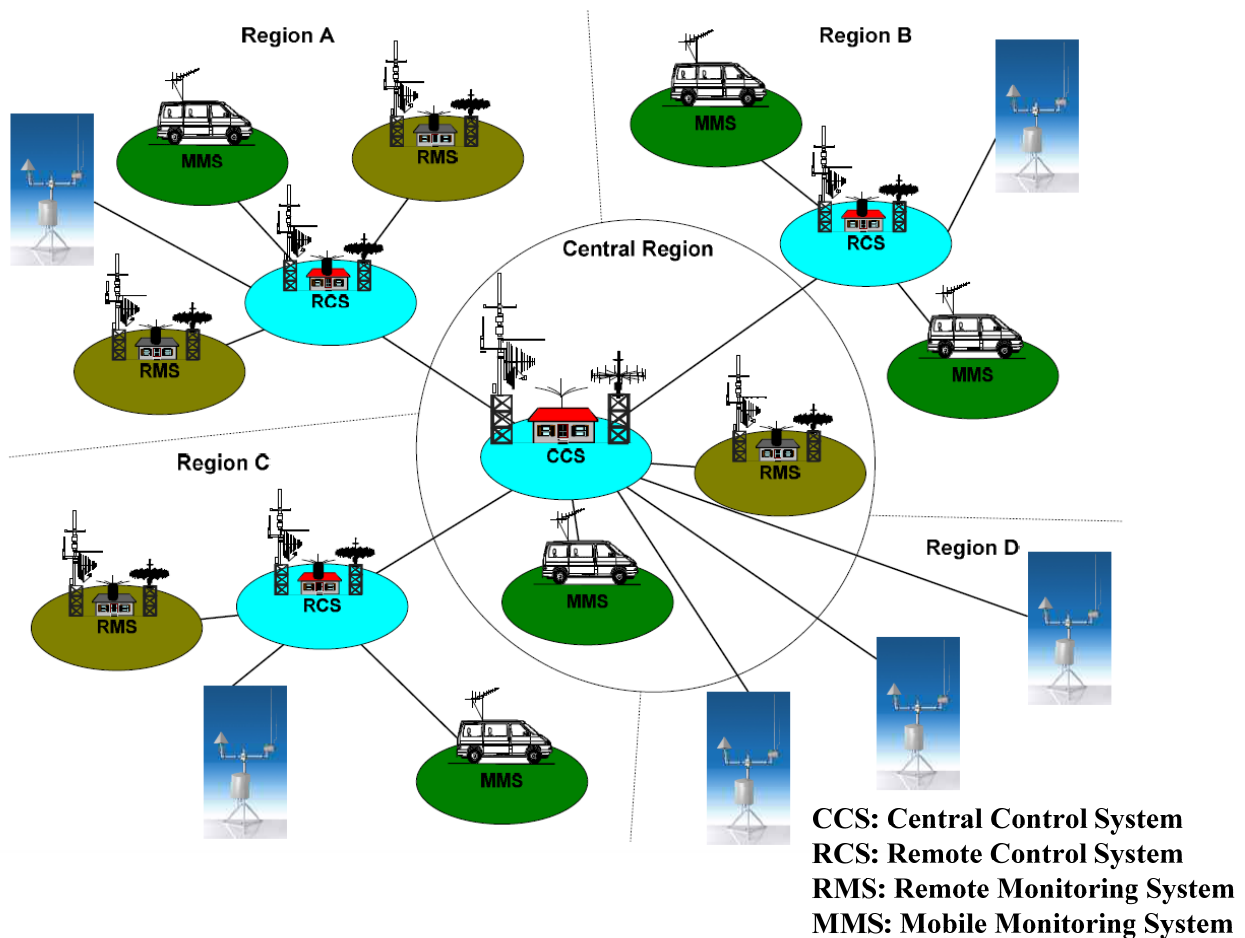


圖 2.1 階層式電波監測網[2]。

2.1.1 固定電波監測控制中心

固定電波監測控制中心必需配備伺服器、工作站、通訊設備、投影儀、不斷電系統、遙控監測定向軟體、監測資料庫與電子地圖數據庫等。為了能夠控制區域網內各固定式、移動式和可攜式的電波監測站，即時顯示和控制監測和定向介面。並且能接收和處理上級指揮中心的控制命令，向上級回報訊息。

2.1.2 固定式電波監測/定向站

一般在人口密度比較大的地區，固定式電波監測/定向站適合在 20 公里左右的間隔地區設置，並且在較大的城市或基地臺佈建較密集的地區設置一些固定式電波監測/定向站。由於目前流行的一些定向方法，如單/雙通道相關干涉儀方法、瓦特森-瓦特方法、都卜勒方法等不能實現多波定向，對低於定向靈敏度的弱信號也基本上無能為力。因此，如果採用這些定向方法的電波監測/定向站，應配備被動式方向性天線。如對數週期天線（Log-Periodic Antenna）或者兩副對數週期天線在最短的共振處，共軸按一定銳角比例組成的天線陣列（Antenna Array）。以及相對應的電控旋轉器，可由軟體控制自動實現方向性天線的方位變化（ $\pm 180^\circ$ ）和水平、垂直兩種極化方式的切換。或者是擁有這兩種極化方式的被動式方向性天線，比如雙極化對數週期天線，自動繪出場強極座標圖。電控旋轉器和方向性天線應與定向天線架設在同一座鐵塔或天線柱上，用於干擾分析、多源信號識別和微弱信號手動定向。如果未來定向新技術能夠很好地解決高監測靈敏度、低寄生響應、多波信號定向、較低成本和兼顧水平與垂直兩種極化方式等問題，那麼電控旋轉器和方向性天線就可以省去，但在未來數年內應該還辦不到。

無人值守遙控站應配備環境與安全監控系統，對電波監測站內的監視攝影、電源、溫度、濕度和冷氣空調進行即時監控，並具備緊急對應處理和防盜警報功能。無人值守遙控站的機房不適合設置窗戶，以利於防雨和防盜措施。

2.1.3 移動式電波監測/定向站

配備電子指南針，以便於定向系統自動定出相對於正北方向的示向度。也為了方便讓移動監控車跟蹤信號，需要在定向系統同時能給出相對於車頭方向的示向度。移動監控車配備需可電子式旋轉、可升降和可切換極化方式的天線塔，以便安裝監測天線，用於干擾分析、多源信號識別、微弱信號手動定向和電磁環境測試。也需配備 GPS 接收機，能即時顯示移動監控車地理座標位置的自動記錄和場強地區分佈測量統計的功能。

2.1.4 可攜式電波監測/定向站

用於臨時性、可無人值守的電磁環境測試和複雜的干擾分析，以及固定式電波監測/定向站覆蓋不到與移動監控車又無法開到的地方。例如用在複雜干擾分析上，對於出現機率較低，但危害性卻不小的干擾。如果長時間在受干擾地點守候，會浪費大量人力物力。此時，如果在受干擾的地點架設一套可遙控的可攜式電波監測/定向站，那麼只需要在控制中心值班就可以監測干擾信號了；此外，在移動式監控車上通過與可攜式電波監控站的信號做比較，有便於識別移動式監控車所量測的信號是否為干擾信號。

2.2 電波監測站接收機規格

以下是我們針對三家儀器設備廠商，National Instruments 美商國家儀器股份有限公司、Rohde & Schwarz 羅德史瓦茲有限公司和 Tadiran 公司進行設備規格的介紹[3-5]。

2.2.1 National Instruments 美商國家儀器股份有限公司

A. 固定式監測與定向監測站系統

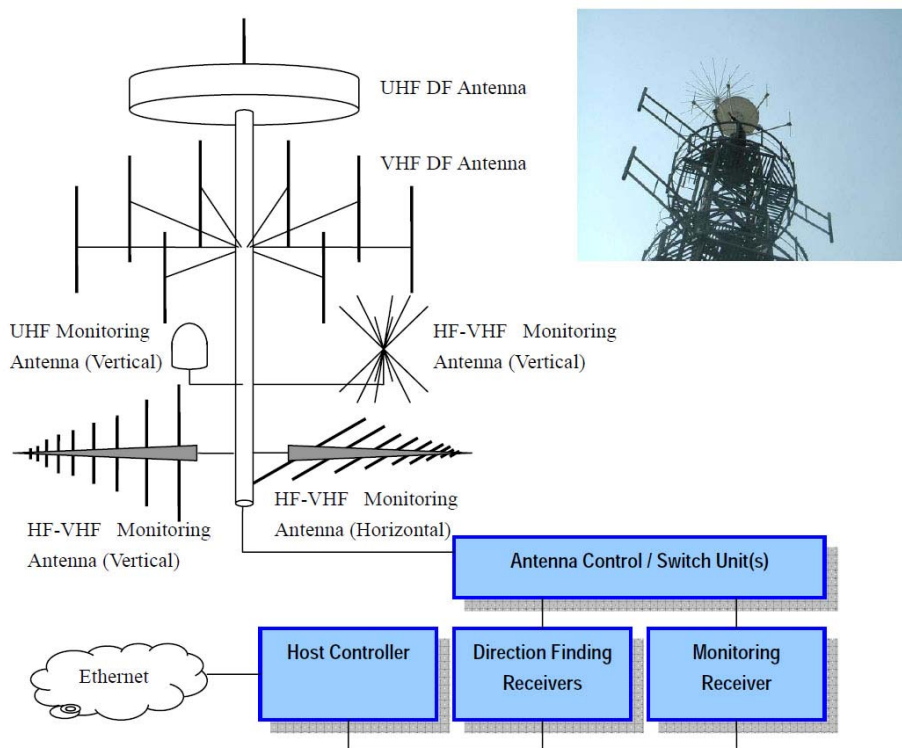


圖 2.2 NI 固定式監測與定向監測站系統方塊圖。

圖 2.2 為 National Instruments (NI) 美商國家儀器公司的固定式監測與定向監測站系統方塊圖。圖 2.3 為固定式定向接收器之細部方塊流程圖。圖 2.4 為固定式監測接收器之細部方塊流程圖。

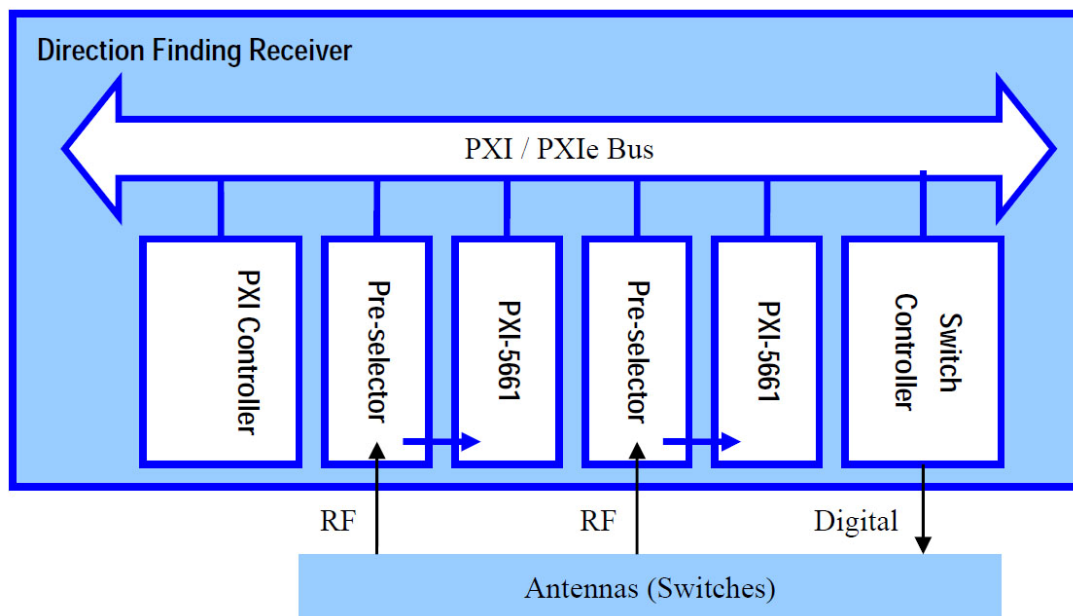


圖 2.3 固定式定向接收器方塊圖。

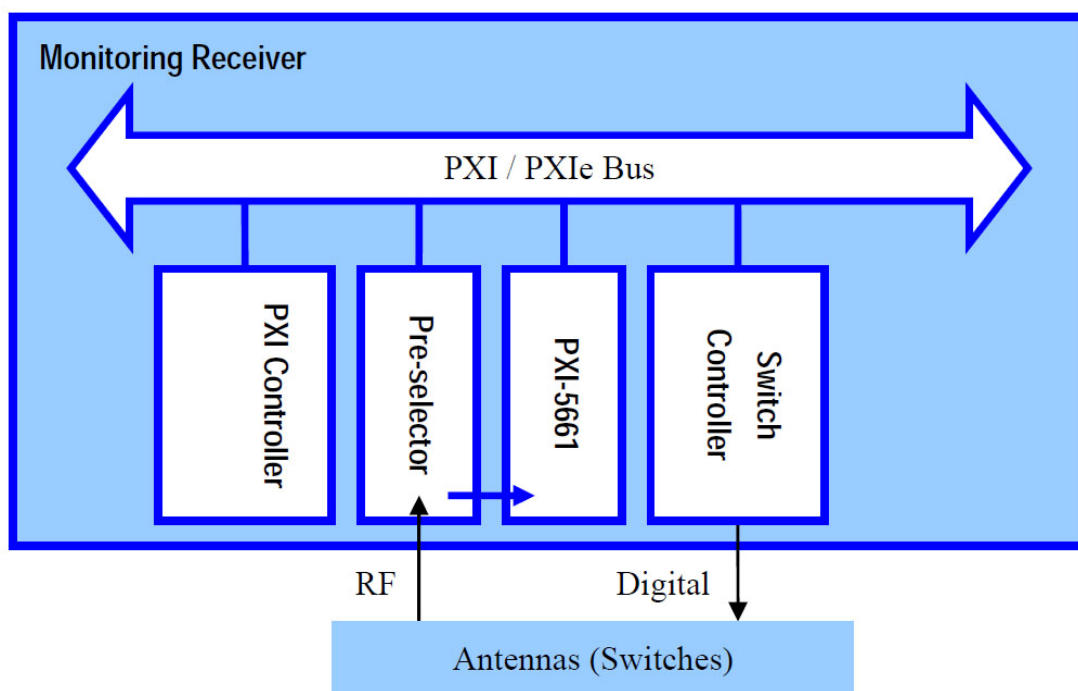


圖 2.4 固定式監測接收器方塊圖。

固定式監測站系統規格：



圖 2.5 固定式監測站系統。

Frequency Range	20MHz-3000MHz vertical polarization 40MHz-1300MHz horizontal polarization
Monitoring Sensitivity	$\leq 3.2 \mu\text{V/m}$ (20~2000MHz) $\leq 10 \mu\text{V/m}$ (2000~3000MHz)
Frequency Resolution	0.1 Hz – 10MHz
Frequency Stability	$\pm 2 \times 10^{-8}$
Frequency Tuning Speed	$\leq 3 \text{ ms}$ (> 20MHz step) $\leq 1 \text{ ms}$ ($\leq 20\text{MHz}$ step)
Instantaneous Bandwidth	100 Hz – 20 MHz
Noise Figure	$\leq 15 \text{ dB}$
Phase Noise	$\leq -95 \text{ dBc/Hz}$ (-98 dBc/Hz typ) at 10 kHz offset
Spurs-free Dynamic Range	$\geq 80 \text{ dB}$ (in IF band) $\geq 90 \text{ dB}$ (out of IF band)
Image Rejection	$\geq 90 \text{ dB}$, 100 dB typ

IF Rejection	≥ 90 dB, 100 dB typ
2nd Order Interception	≥ 50 dBm (55 dBm typ) Low distortion mode
3rd Order Interception	≥ 17 dBm low distortion mode, in IF band
Scan Speed	≥ 300 channels /s, discrete frequencies ≥ 1.5 GHz/s (25kHz step, 100% channel occupation)
Field Strength Measurement Accuracy	≤ 3 dB RMS
Amplitude Measurement Precision	± 0.8 dB RMS
Measurable Dynamic Range	≥ 145 dB
Analog demodulation	AM, FM, PM, USB, LSB, ISB, CW, Pulse (PAM), IQ, TV
Digital demodulation	FSK, GSM, 802.11 a/b/g

固定式定向站系統規格：



圖 2.6 固定式定向站系統。

Frequency Range	20-3000 MHz
DF Method	Correlative interferometer
FFT wideband DF	1 kHz – 20 MHz multiple signals

Polarization	Vertical, Horizontal
System DF Accuracy	1.5°RMS, 20-3000MHz, vertical
DF Sensitivity	$\leq 10 \mu\text{V/m}$, 20-3000MHz, vertical, 3°deviation, 5s avg
Minimum Signal Duration	1.5 ms (repetitive bursts)
Adjacent Channel Suppression	$\geq 60 \text{ dB}$
DF Resolution	0.1°, 1° software selectable
Operation Temperature	0-50°C, -5 - 55°C optional

B. 移動式監測與定向監測站系統

圖 2.7 為 NI 的移動式監測與定向監測站系統方塊圖。圖 2.8 為移動式定向與監測接收器之細部方塊流程圖。圖 2.9 為移動式監測與定向監測站系統。圖 2.10 為移動式監測站的校正系統。

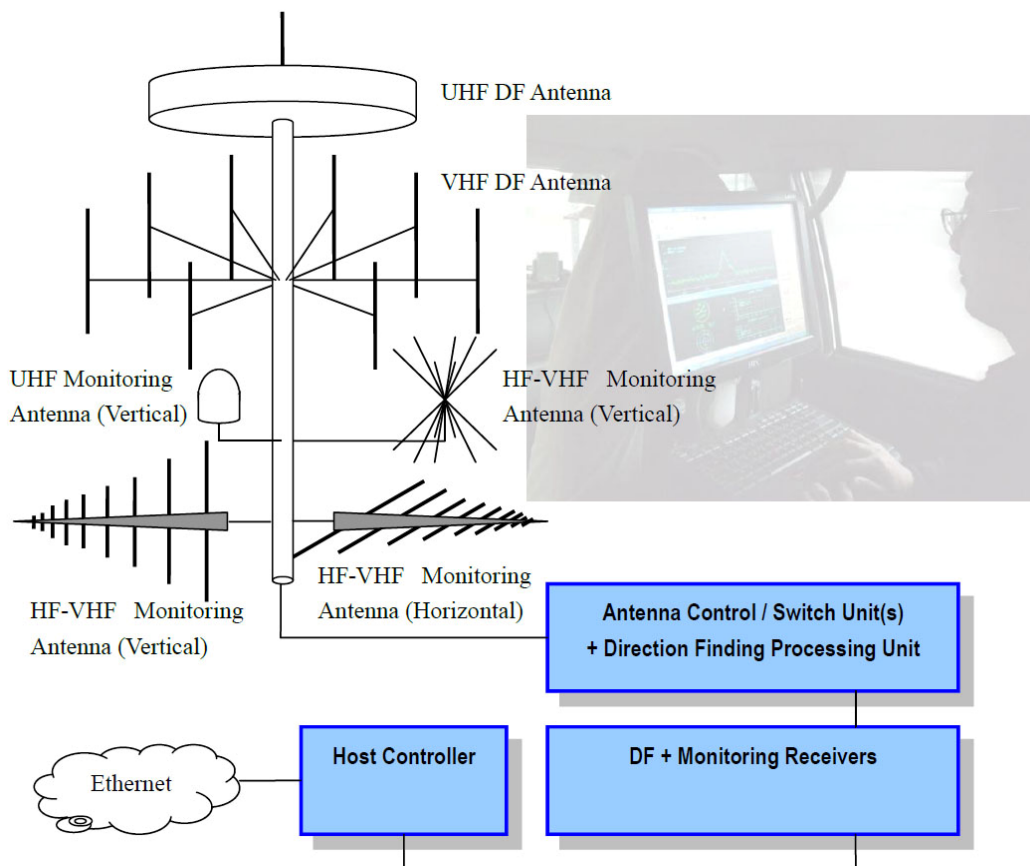


圖 2.7 NI 移動式監測與定向監測站系統方塊圖。

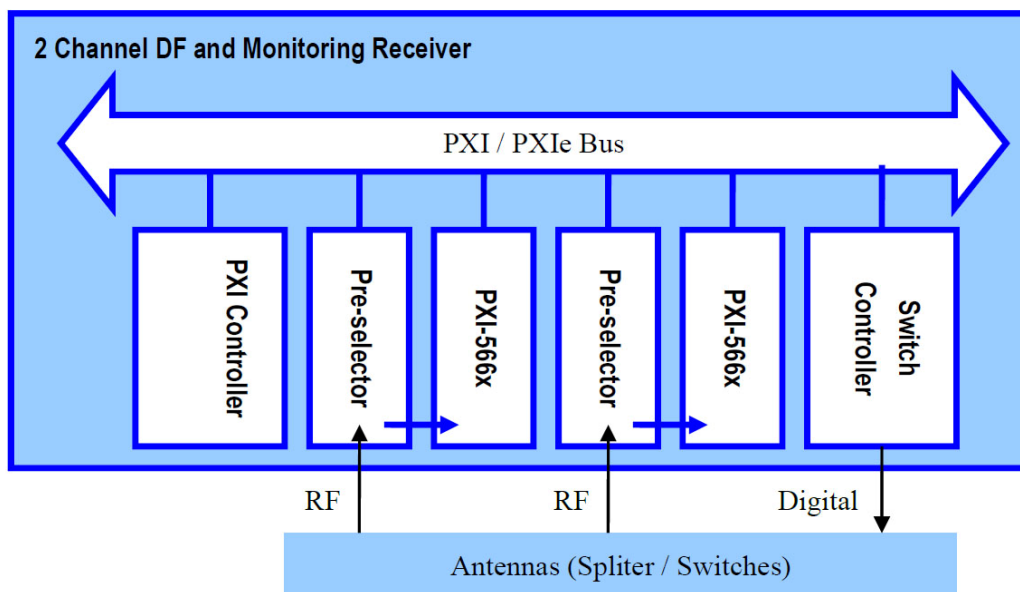


圖 2.8 移動式定向與監測接收器方塊圖。



圖 2.9 移動式監測與定向監測站系統。



圖 2.10 移動式監測與定向監測站之校正系統。

移動式監測站系統規格：

Frequency Range	20MHz-3000MHz vertical polarization 40MHz-1000MHz horizontal polarization
Monitoring Sensitivity	$\leq 3.2 \mu\text{V/m}$ (20~2000MHz) $\leq 10 \mu\text{V/m}$ (2000~3000MHz)
Frequency Resolution	0.1 Hz – 10MHz
Frequency Stability	$\pm 2 \times 10^{-8}$
Frequency Tuning Speed	$\leq 3 \text{ ms}$ (> 20MHz step) $\leq 1 \text{ ms}$ (20MHz step)
Instantaneous Bandwidth	100 Hz – 20 MHz
Noise Figure	$\leq 15 \text{ dB}$
Phase Noise	$\leq -95 \text{ dBc/Hz}$ (-98 dBc/Hz typ) at 10 kHz offset

Spurs-free Dynamic Range	≥ 80 dB (in IF band) ≥ 90 dB (out of IF band)
Image Rejection	≥ 100 dB typ
IF Rejection	≥ 100 dB typ
2nd Order Interception	≥ 50 dBm (55 dBm typ) Low distortion mode
3rd Order Interception	≥ 17 dBm low distortion mode, in IF band
Scan Speed	≥ 300 channels /s, discrete frequencies ≥ 1.5 GHz/s (25kHz step, 100% channel occupation)
Field Strength Measurement Accuracy	≤ 3 dB RMS
Amplitude Measurement Precision	± 0.8 dB RMS
Measurable Dynamic Range	≥ 145 dB
Analog demodulation	AM, FM, PM, USB, LSB, ISB, CW, Pulse (PAM), IQ, TV
Digital demodulation	FSK, GSM, 802.11 a/b/g

移動式定向站系統規格：

Frequency Range	20-3000 MHz
DF Method	Correlative interferometer
FFT wideband DF	1 kHz – 20 MHz multiple signals
Polarization	Vertical, Horizontal
System DF Accuracy	2°RMS, 20-3000MHz, vertical
DF Sensitivity	≤ 10 μ V/m, 20-3000MHz, vertical, 3°deviation, 5s avg
Minimum Signal Duration	20 ms
Adjacent Channel Suppression	≥ 60 dB
DF Resolution	0.1°, 1° software selectable

Operation Temperature 0-50°C, -5 - 55°C optional

2.2.2 Rohde & Schwarz 羅德史瓦茲有限公司

A. 固定式或移動式監測與定向監測站系統

圖 2.11 為 R&S EMSD 寬頻監測接收設備，圖 2.12 為 R&S DDF255 數位定向設備，這兩臺設備都適用於固定式或移動式監測站上。

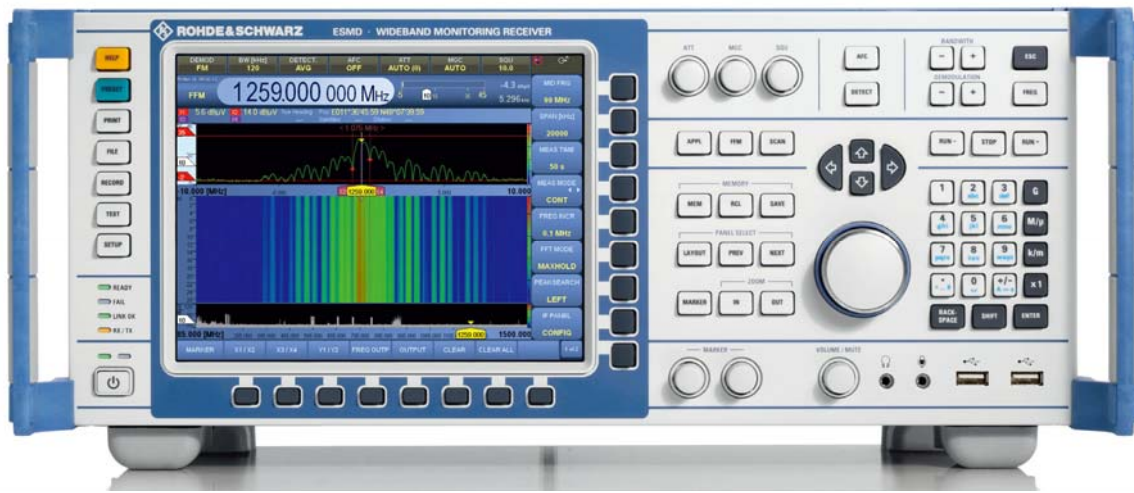


圖 2.11 R&S EMSD 寬頻監測接收設備。

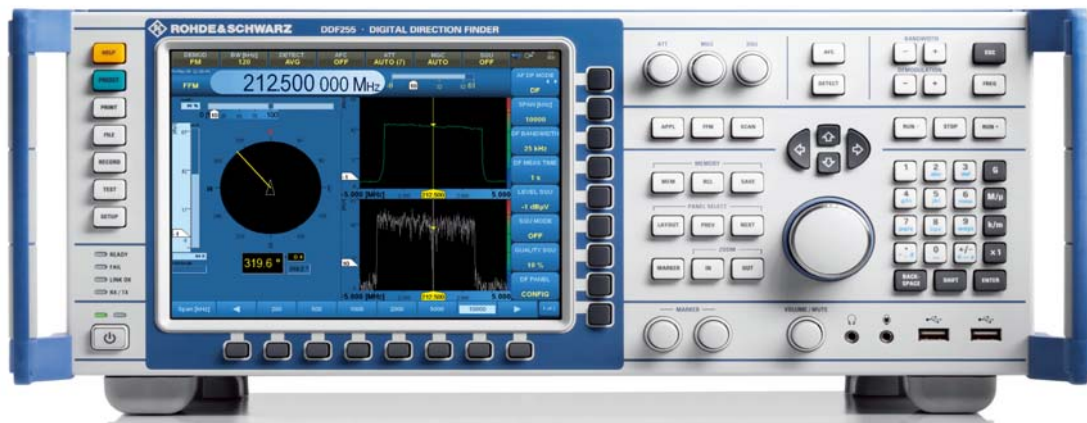


圖 2.12 R&S DDF255 數位定向設備。

R&S EMSD 寬頻監測接收設備規格：

Frequency range

with R&S®ESMD-HF and SHF option	9 kHz to 26.5 GHz
---------------------------------	-------------------

FFT bandwidth (realtime bandwidth)

with R&S®ESMD-WB option	max. 80 MHz
-------------------------	-------------

Linearity (third-order intercept)

9 kHz to 32 MHz (low distortion mode)	typ. 35 dBm
20 MHz to 3.6 GHz (low distortion mode)	25 dBm to 33 dBm
3.6 GHz to 26.5 GHz (attenuation > 0 dB)	typ. 17 dBm

Noise figure

9 kHz to 32 MHz (normal mode)	typ. 12 dB (> 400 kHz)
20 Hz to 3.6 GHz (low noise mode)	typ. 9 dB
3.6 GHz to 26.5 GHz (attenuation 0 dB)	typ. 16 dB

R&S DDF255 數位定向設備規格：

Frequency range, receive mode

with R&S®DDF255-SHF option	20 MHz to 26.5 GHz
----------------------------	--------------------

Frequency range, DF mode

with R&S®DDF255-SHF option	20 MHz to 6 GHz
----------------------------	-----------------

DF mode

DF method

VHF/UHF/SHF range	correlative interferometer
HF range	Watson-Watt

System DF accuracy

in reflection-free environment, with lightning rod (if present)

1 MHz to 30 MHz frequency range	2° RMS
30 MHz to 80 MHz frequency range	≤ 2° RMS, typ. 1° RMS
80 MHz to 1.3 GHz frequency range	1° RMS
1.3 GHz to 6 GHz frequency range	≤ 2° RMS, typ. 1° RMS

Realtime bandwidth for wideband direction finding

up to 20 MHz

DF sensitivity

frequency-dependent

如圖2.13所示

Receive mode

Realtime bandwidth for analysis/demodulation up to 20 MHz

Scan speed with R&S®DDF255-PS option up to 100 GHz/s

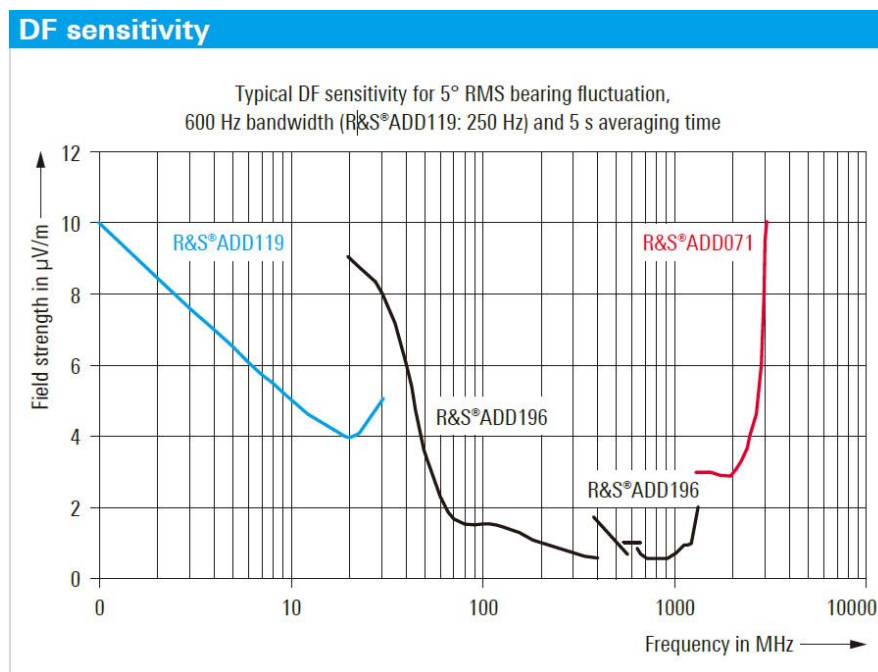


圖 2.13 R&S DDF255 數位定向設備的 DF Sensitivity。

B. 可攜式監測站系統

圖 2.14 為 R&S PR100 可攜式接收器，此設備可將量測數據存入 SD Card，並且還可利用 LAN 連結筆記型電腦，適合用於可攜式監測站上。



圖 2.14 R&S PR100 可攜式接收器。

設備規格：

RF data

Frequency range 9 kHz to 7.5 GHz

RF input

Input level 9 kHz to 30 MHz -13 dBm/94 dB μ V

20 MHz to 3.5 GHz 0 dBm/107 dB μ V

3.5 GHz to 7.5 GHz -24 dBm/83 dB μ V

Impedance 50 Ω

VSWR 9 kHz to 3.5 GHz $\leq 2:1$

3.5 GHz to 7.5 GHz $\leq 3:1$

Input attenuation 20 MHz to 3.5 GHz 10 dB/ 25 dB

Preselection 9 kHz to 30 MHz 30 MHz lowpass filter

20 MHz to 1.5 GHz tuned bandpass filters

1.5 GHz to 7.5 GHz highpass/lowpass filter combination

Noise figure

Noise figure	100 kHz	typ. 16 dB
	1 MHz	typ. 13 dB
	140 MHz (attenuator OFF)	typ. 8 dB
	430 MHz (attenuator OFF)	typ. 8 dB
	1.5 GHz (attenuator OFF)	typ. 8 dB
	3.6 GHz	typ. 15 dB
	5.5 GHz	typ. 16 dB
	7.499 GHz	typ. 20 dB

Immunity to interference, nonlinearity

Third-order intercept (TOI) (input)		at ≥ 300 kHz test signal offset
Test level -20 dBm	9 kHz to 30 MHz	typ. 22 dBm
Test level -35 dBm	20 MHz to 600 MHz	typ. -10 dBm
Test level -35 dBm	600 MHz to 2.6 GHz	typ. -5 dBm
Test level -35 dBm	2.6 GHz to 3.5 GHz	typ. -3 dBm
Test level -10 dBm	20 MHz to 1.5 GHz	typ. 20 dBm
Test level -10 dBm	1.5 GHz to 3.5 GHz	typ. 20 dBm
Test level -30 dBm	3.5 GHz to 7.5 GHz	typ. -3 dBm

2.2.3 Tadiran 公司

圖 2.15 為 Tadiran 公司的 TDF-2003 定向監測站系統方塊圖。表 2.1 為 TDF-2003 定向監測站系統規格表。

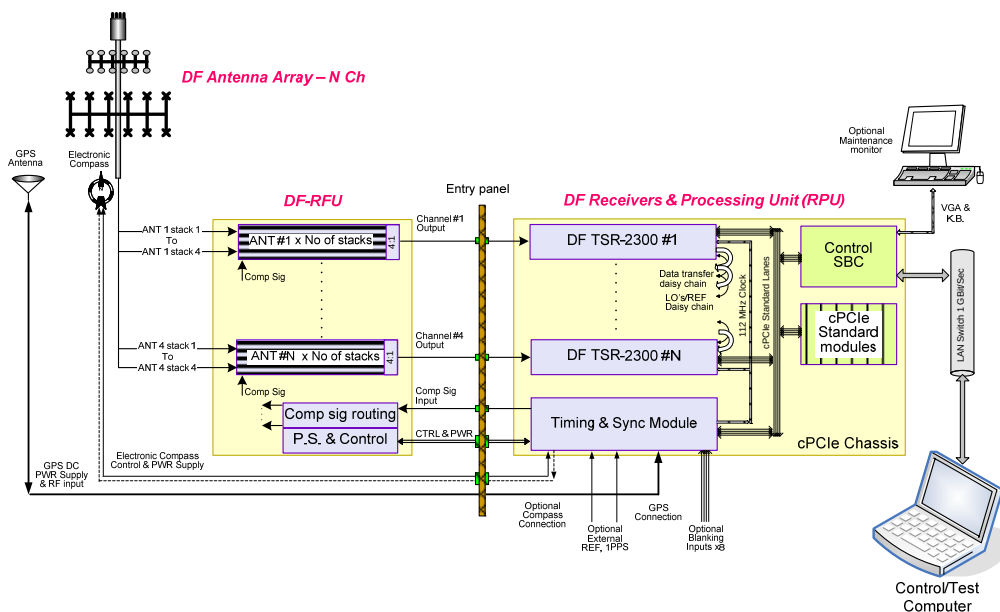


圖 2.15 TDF-2003 定向監測站系統方塊圖。

表 2.1 TDF-2003 定向監測站系統規格表。

No.	Parameter	TDF-2300U Specifications
1.	Frequency Range:	20 to 3000 MHz, 3 to 6 GHz
2.	DF operating principle:	Correlative interferometer.
3.	Antenna array:	According to configuration: 1 to 5 stacks and 3 to 7 antenna elements per stack
4.	Polarization:	Vertical.
5.	Spatial coverage:	Omni directional in azimuth and $\pm 10^\circ$ coverage in elevation (depends on antenna installation). Graceful degradation for higher elevation angles.
6.	Number of channels:	2 to 7 channels
7.	Instantaneous processing BW (IBW):	Selectable 20 or 40 MHz
8.	Instantaneous dynamic range:	Two signals that differ 1 MHz in frequency and 65 dB in level within one IBW shall be measured in nominal DF accuracy.
9.	Resolution bandwidth (RBW):	6.25, 12.5, 25, 50, 100 or 200KHz.
10.	Min signal duration for DF:	160 μ Sec

No.	Parameter	TDF-2300U Specifications
11.	Frequency Hopping:	TBD
12.	Instrumental DF accuracy:	< 0.5° RMS typical (lab test).
13.	DF Result Resolution:	0.1°
14.	Subsystem Sensitivity:	Signal of -110 dBm injected at DF RFU input shall appear at IF output with 10 dB SNR typical @ 12.5 KHz RBW.
15.	Noise figure:	20 to 1000 MHz: ≤ 10 dB. 1 to 3 GHz: ≤ 12 dB. 1 to 6 GHz: ≤ 14 dB.
16.	Operational DF accuracy:	- 20 to 6000 MHz: 1 ° RMS ($N_{ANT} \geq 5$). Note: The accuracy depends on antenna type and deployment site.
17.	DF/Scan speed for 20% band occupancy:	FRQ > 120 MHz: 40 GHz/Sec typical, with 12.5 kHz RBW. FRQ ≤ 120: 20 GHz/Sec, with 12.5 kHz RBW.
18.	False Alarm Rate:	10^{-4}
19.	Spurious free dynamic range:	≥ 80 dB instantaneous
20.	Dynamic range:	Between sensitivity level and 10 dBm at DF RFU antenna input.
21.	Frequency stability:	0.1 ppm (0° to 50° C)
22.	Max RF Power Input:	+20 dBm
23.	Radiated LOs:	< -110 dBm at any antenna port
24.	Radiated RF during test:	< -70 dBm, BW 12.5 KHz at any antenna port
25.	Control interface:	LAN Ethernet 10/100/1000 Mbit/Sec, API
26.	Power supply input:	90 to 230 V 50/60 Hz, 900 W (5 channels) 80 W per TSR 2300
27.	Physical: ANT & DF RFU: RPU enclosure: Single TSR 2300:	TBD 19" x 10U x 15" (WxHxD), 30 Kg (5 channels) 2 HP width, 6U high, cPCIe standard, 3.5 Kg

2.3 總結

對於 VHF 和 UHF 頻段，即使設置更多的固定式電波監測/定向站也難以覆蓋所有的無線電發射源。況且建設成本資金不允許建設過多的固定式監測/定向站，用來覆蓋人口密度較稀少，以及無線基地臺架設較稀疏的地區。因此，需要適當的配備移動式與可攜式電波監測/定向設備，用於解決固定式電波監測/定向站覆蓋不到和無法監測的問題。

根據 National Instruments 美商國家儀器股份有限公司、Rohde & Schwarz 羅德史瓦茲有限公司和 Tadiran 公司三家儀器廠商的設備規格參數，以下列出三家廠商的靈敏度 (Sensitivity)、動態範圍 (dynamic range) 和三階截斷點 (3rd order Intermodulation Product; IP3) 的比較，如表 2.2~2.4 所示。固定式監測站的接收靈敏度範圍大約是在 -110dBm~-100dBm 之間，動態範圍約為 ≥ 80 dB，三階截斷點 IP3 的範圍為 25dBm~33dBm。因此，本研究案建議監測靈敏度的參考值為 -110dBm，動態範圍的參考值為 ≥ 80 dB，以及三階截斷點 IP3 的參考值為 ≥ 25 dBm。而軟體平台的接收靈敏度也預設為 -110dBm，作為電波監測涵蓋及定向涵蓋模擬之參考依據。

表 2.2 三家廠商靈敏度規格比較表。

廠商名稱	監測站種類	監測頻率	監測靈敏度	定向頻率	定向靈敏度
NI	固定式和	20~2000MHz	≤ -110 dBm	20~3000MHz	≤ -100 dBm
	移動式	2000~3000MHz	≤ -100 dBm		
R&S	固定式或	20MHz~26.5GHz	—	20MHz~6GHz	≤ -100 dBm
	移動式				
	可攜式	9kHz~7.5GHz	—	—	—
Tadiran	固定式	20MHz~6GHz	—	20MHz~6GHz	-110dBm

※ —：廠商無提供相關資料。

表 2.3 三家廠商動態範圍規格比較表。

廠商名稱	監測站種類	監測頻率	監測動態範圍
NI	固定式和 移動式	20 MHz~3000MHz	$\geq 80\text{dB}$ (in IF band) $\geq 90\text{dB}$ (out of IF band)
R&S	固定式或 移動式	20MHz~26.5GHz	—
	可攜式	9kHz~7.5GHz	—
Tadiran	固定式	20MHz~6GHz	$\geq 80\text{dB}$ instantaneous

※—：廠商無提供相關資料。

表 2.4 三家廠商三階截斷點 IP3 規格比較表。

廠商名稱	監測站種類	監測頻率	監測三階截斷點 IP3
NI	固定式和 移動式	20 MHz~ 3000MHz	$\geq 17\text{dBm}$ (low distortion mode, in IF band)
R&S	固定式或 移動式	9kHz~32MHz	typ. 35dBm (low distortion mode)
		20MHz~3.6GHz	typ. 25dBm~33dBm (low distortion mode)
		3.6GHz~26.5GHz	typ. 17dBm (attenuation > 0dB)
	可攜式	9kHz~30MHz	typ. 22dBm (Test level -20dBm)
		20MHz~600MHz	typ. -10dBm (Test level -35dBm, attenuation OFF)
		600MHz~2.6GHz	typ. -5dBm (Test level -20dBm, attenuation OFF)
		2.6GHz~3.5GHz	typ. -3dBm (Test level -20dBm, attenuation OFF)
		20MHz~1.5GHz	typ. 20dBm (Test level -10dBm, attenuation ON)
		1.5GHz~3.5GHz	typ. 20dBm (Test level -10dBm, attenuation ON)
		3.5GHz~7.5GHz	typ. -3dBm (Test level -10dBm)
Tadiran	固定式	20MHz~6GHz	—

※—：廠商無提供相關資料。

第三章 電波傳播模式評估分析

一般而言，電波傳播模型大致可以區分成兩類：一是利用實際量測資料配合統計理論找出路徑損失與量測參數間關係的統計模型，其特性是簡單，成本低但精確度較低，適用於範圍較大的室外環境。一是利用電磁理論做基礎的理論模型，由於過程需要大量的數學運算以及需要向量電子地圖的配合，故運算複雜度較高而且向量電子地圖亦需耗費成本，但所得之結果較為精確。因受限於電腦速度，其適用在小範圍之室外環境以及室內環境。本研究案以統計型之電波傳播模型輔以台灣之地理地形資訊，具備低複雜性與簡化計算量之優點，並以電波監測站的上鏈結（Uplink）訊號涵蓋範圍來表示監測的範圍，圖 3.1 為台灣本島與離島地形圖。並且藉由不同路徑損失傳播模型分析監測站的電波涵蓋範圍，目前考慮自由空間傳播損失模型、Cost-231 Hata 模型、ITU-R P.370-7 和 ITU-R P.1546-4 等模型，以下分別介紹此四種電波傳播模型。

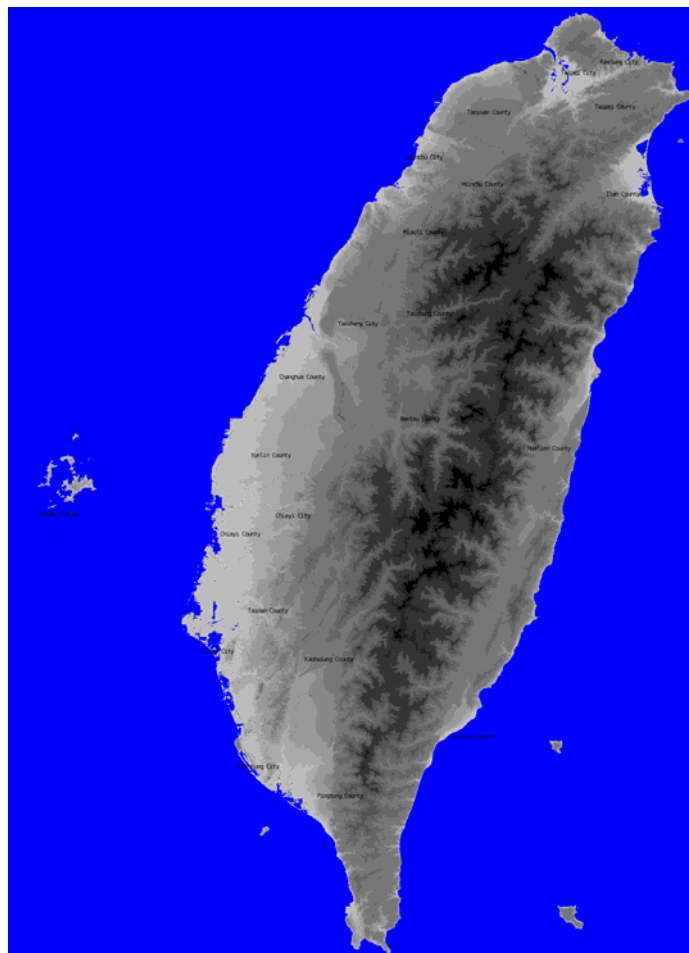


圖 3.1 台灣本島與離島地形圖。

3.1 自由空間傳播損失模型

自由空間傳播損失模型（free space propagation loss model）為最簡單且理想化的傳播模型，指傳送與發射端天線之間的區域是沒有任何物體會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，地表與傳播路徑之間的距離假設為無窮遠的情況。如此當傳送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(3.1) [6]：

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (3.1)$$

P_t 是發射功率， $P_r(d)$ 是接收功率， G_t 是發射天線的增益， G_r 是接收天線的增益， d 為傳送與接收端的距離， λ 為載波波長。 λ 與載波頻率關係為：

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.2)$$

f 為載波頻率、 c 為光速。(3.1)式展現接收信號功率與距離的平方成反比關係，接收功率的衰減與距離是每十倍呈現 20dB 的衰減關係。式(3.1)與式(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。以分貝(dB)表示可寫成式(3.3)：

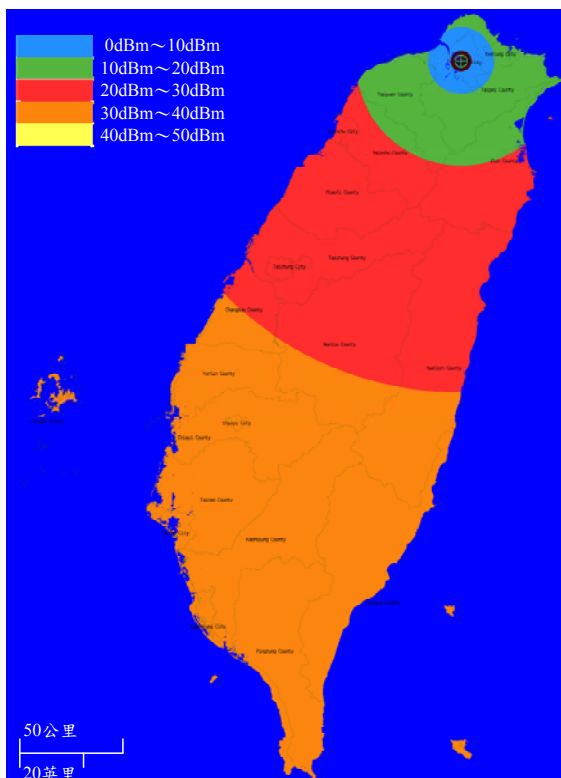
$$PL(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 10 \log \left[\frac{(4\pi d)^2}{G_t G_r \lambda^2} \right] \quad (3.3)$$

如天線增益假設有一致性的增益（unity gain）的話，路徑損耗即可寫成式(3.4)：

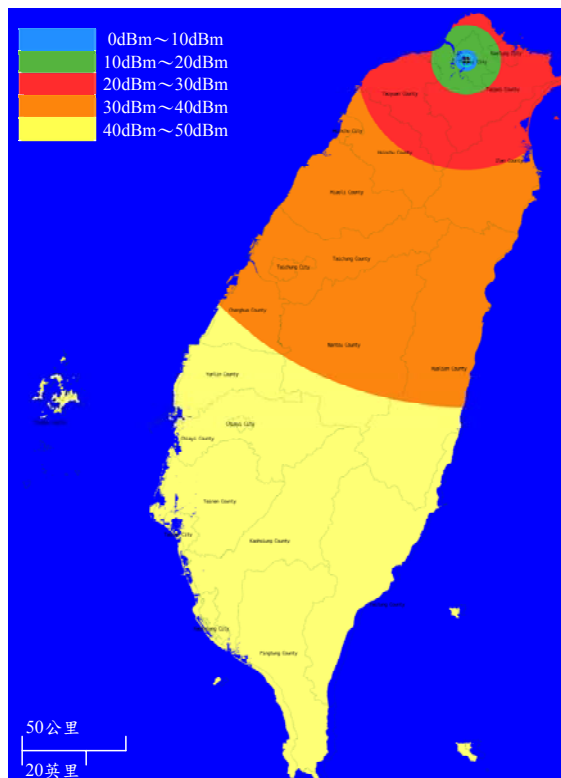
$$PL(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 10 \log \left[\frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} \right] \quad (3.4)$$

根據自由空間傳播損失模型的上鏈結訊號涵蓋範圍的電腦模擬結果。由於此通道傳播模型不考慮地勢高度與天線高度，所以模擬出來的電波監測站臺涵蓋範圍是一個圓形。隨著圓半徑的增加，發射訊號強度隨之增加。由圖 3.2 可發現，若是電波傳播特性符合自由空間傳播損失模型，則每個電波監測站臺的範圍可到達幾十公里或幾百公里，此圖以台北市士林監測站為例。圖中發射訊號強度由藍色到黃色表示，發射強度如圖 3.3 所示。但實際的電波傳

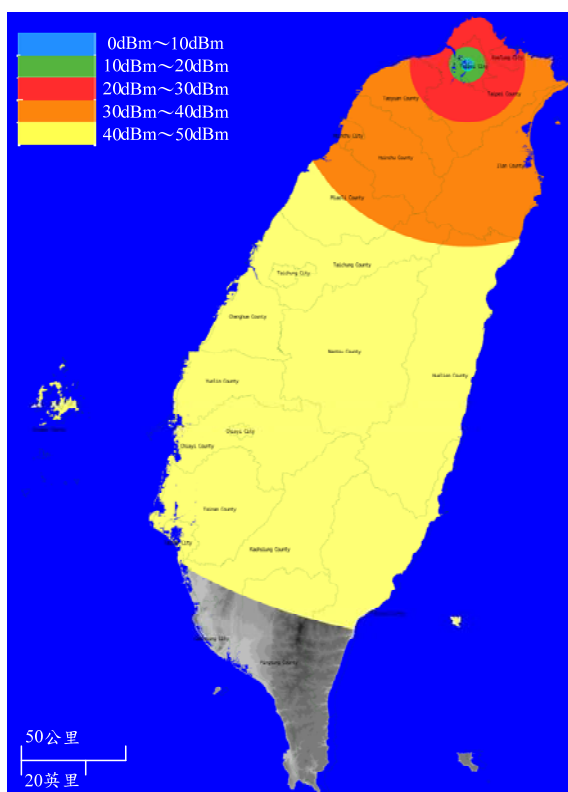
播特性通常還須考慮地勢高度或障礙物的影響，所以通常電波傳播的距離會小於自由空間的傳播距離。因此，自由空間傳播損失模型的訊號涵蓋範圍可以當作是最佳狀況的參考。



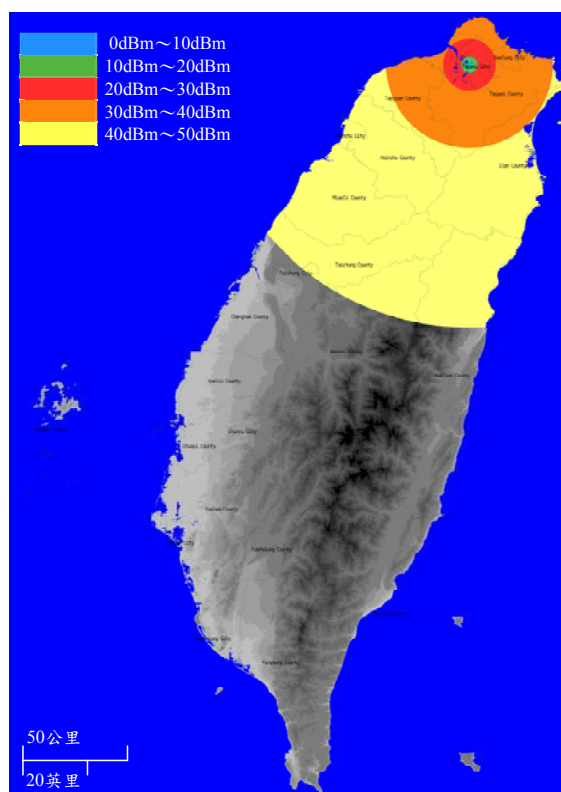
(a) 146.5 MHz



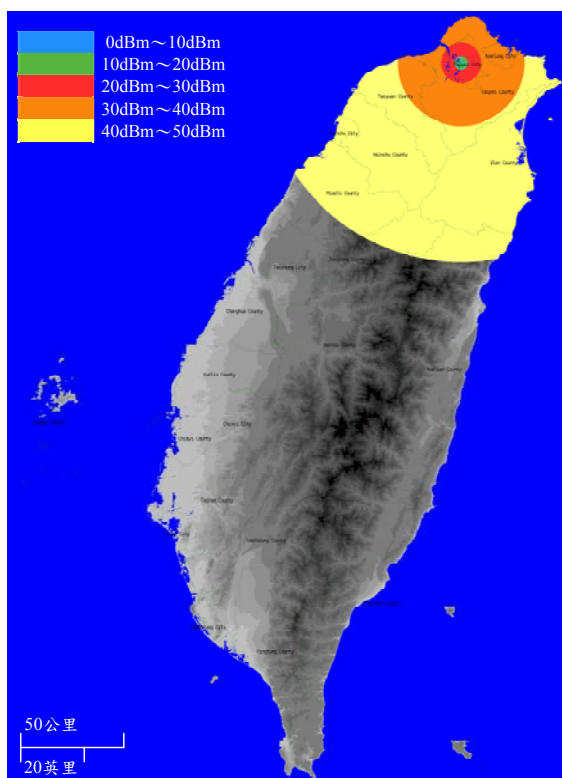
(b) 445 MHz



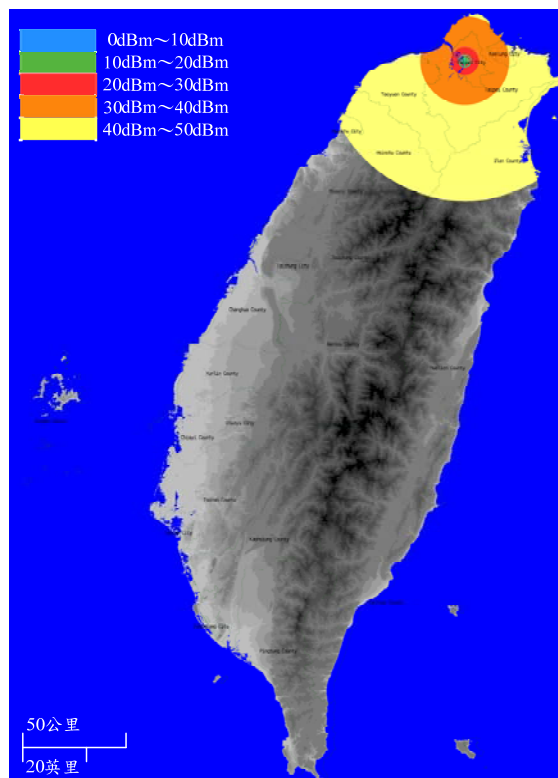
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



(e) 2430 MHz



(f) 3470 MHz

圖 3.2 自由空間傳播損失模型電波涵蓋模擬圖。

涵蓋地圖顏色	需要發射強度
	0dBm~10dBm
	10dBm~20dBm
	20dBm~30dBm
	30dBm~40dBm
	40dBm~50dBm

圖 3.3 訊號發射強度顏色表示。

3.2 Cost-231 Hata 模型

Okumura Hata 模型是最被廣泛使用及比較之模型之一，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[7]，並發展出一模型，此模型為自由空間傳播損失配合與頻率及天線高度之相關修正圖形，使用上十分不便[8][9]。而後由 Hata 利用 Okumura 的量測資料完成一方程式，故稱 Okumura-Hata 模型[10]。由於原始量測資料乃在城市量測，因此，此模型之原始模型乃適用於都市（Urban）型態之環境，而後又再修正原始模型以適合郊區

（suburban）及鄉村空曠（rural or open）地區使用。其模型如下：

$$\text{都市地區} \quad L_{dB} = A + B \log_{10} d - E \quad (3.5)$$

$$\text{郊區地區} \quad L_{dB} = A + B \log_{10} d - C \quad (3.6)$$

$$\text{鄉村及空曠地區} \quad L_{dB} = A + B \log_{10} d - D \quad (3.7)$$

其中

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b, \quad (3.8)$$

$$B = 44.9 + 6.55 \log_{10} h_b, \quad (3.9)$$

$$C = 2(\log_{10}(f_c / 28))^2 + 5.4, \quad (3.10)$$

$$D = 4.78(\log_{10} f_c)^2 - 18.33 \log_{10} f_c + 40.94, \quad (3.11)$$

$$E = \begin{cases} 3.2(\log_{10}(11.75h_m))^2 - 4.97 & \text{大型都市 } f_c \geq 300\text{MHz} \\ 8.29(\log_{10}(1.54h_m))^2 - 1.1 & \text{大型都市 } f_c \leq 300\text{MHz} \\ (1.11 \log_{10} f_c - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8) & \text{中小型都市} \end{cases} \quad (3.12)$$

以上各參數之適用範圍為：

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

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

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

$$\text{發射及接收間之距離：} \quad 1\text{km} \leq d \leq 30\text{km}。$$

發射天線高度之定義為高於平均地表（約以發射台為中心 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 [11]。其模型為：

$$L_{dB} = F + B \log_{10} d - E + G \quad (3.13)$$

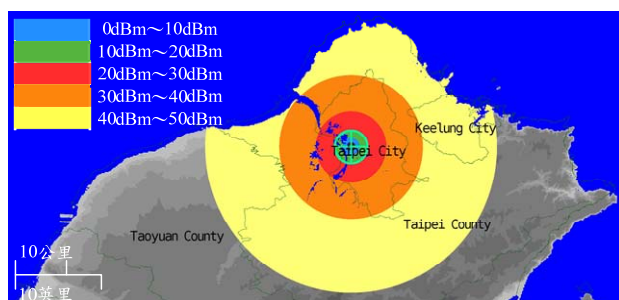
其中

$$F = 46.3 + 33.9 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b \quad (3.14)$$

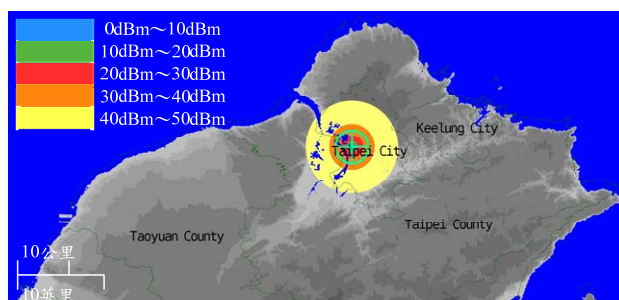
$$G = \begin{cases} 0\text{dB} & \text{中小型都市} \\ 3\text{dB} & \text{大型都市} \end{cases}。$$

其餘參數之定義同前面所述。此修正模型又稱為 Cost-231 Hata 模型。

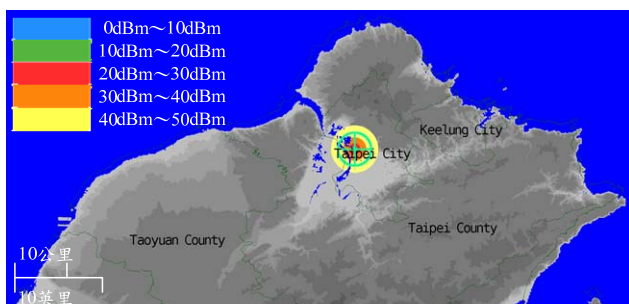
圖 3.4 是根據 Cost-231 Hata 模型的上鏈結訊號涵蓋範圍的電腦模擬結果，此圖以台北市士林監測站為例。與自由空間傳播損失模型類似，Cost-231 Hata 通道傳播模型不考慮地勢高度，可是有考慮到天線的高度。所以每個電波監測站臺的涵蓋範圍也是一個圓，隨著圓半徑的增加，所需要的發射訊號強度隨之增加。Cost-231 Hata 模型是常被應用於無線通訊系統的電波傳播模型，其涵蓋範圍通常是幾公里到幾十公里。



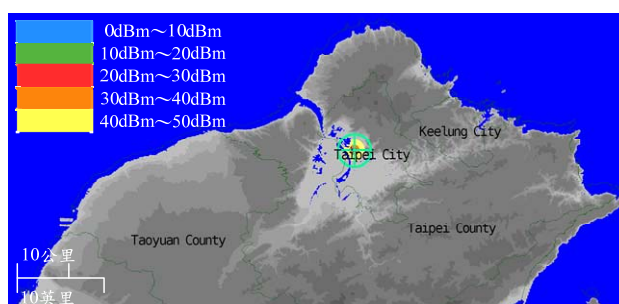
(a) 146.5 MHz



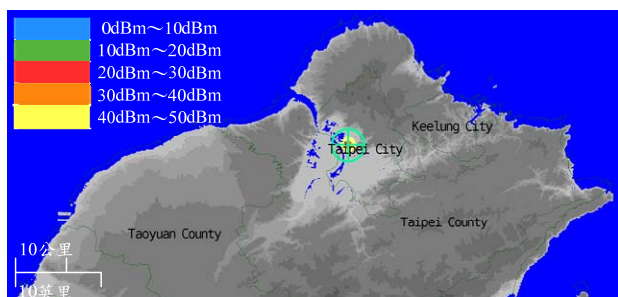
(b) 445 MHz



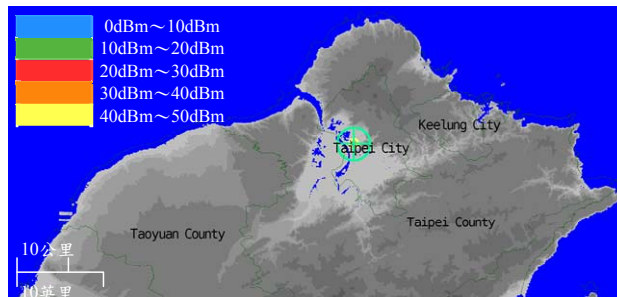
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



(e) 2430 MHz



(f) 3470 MHz

圖 3.4 Cost-231 Hata 模型電波涵蓋模擬圖。

3.3 ITU-R P.370-7 模型

ITU-R P.370-7 模型對 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[12]。此用於有效發射天線高度小於 1200 公尺，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。

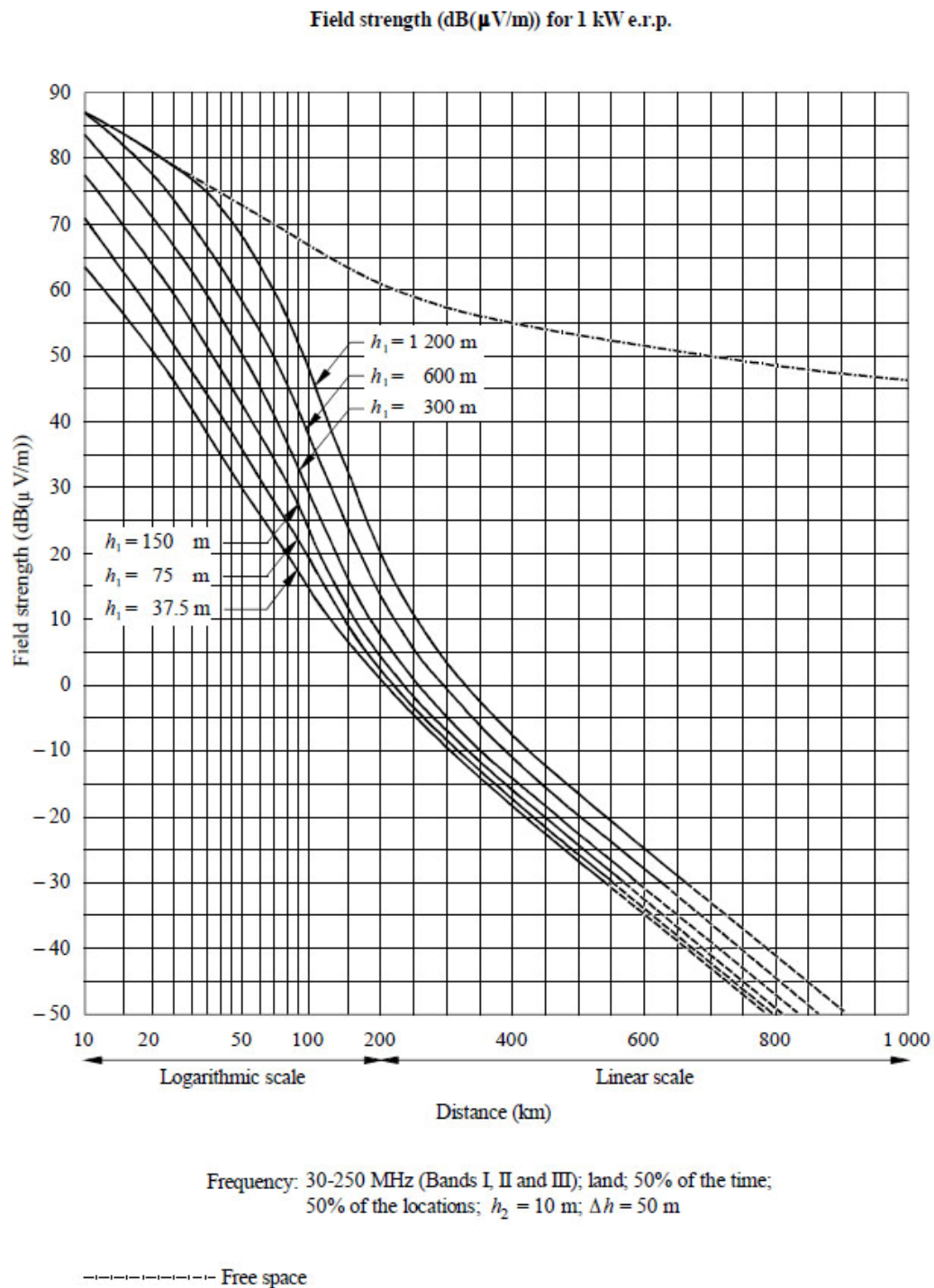


圖 3.5 30MHz~250MHz 陸地面路徑曲線圖。

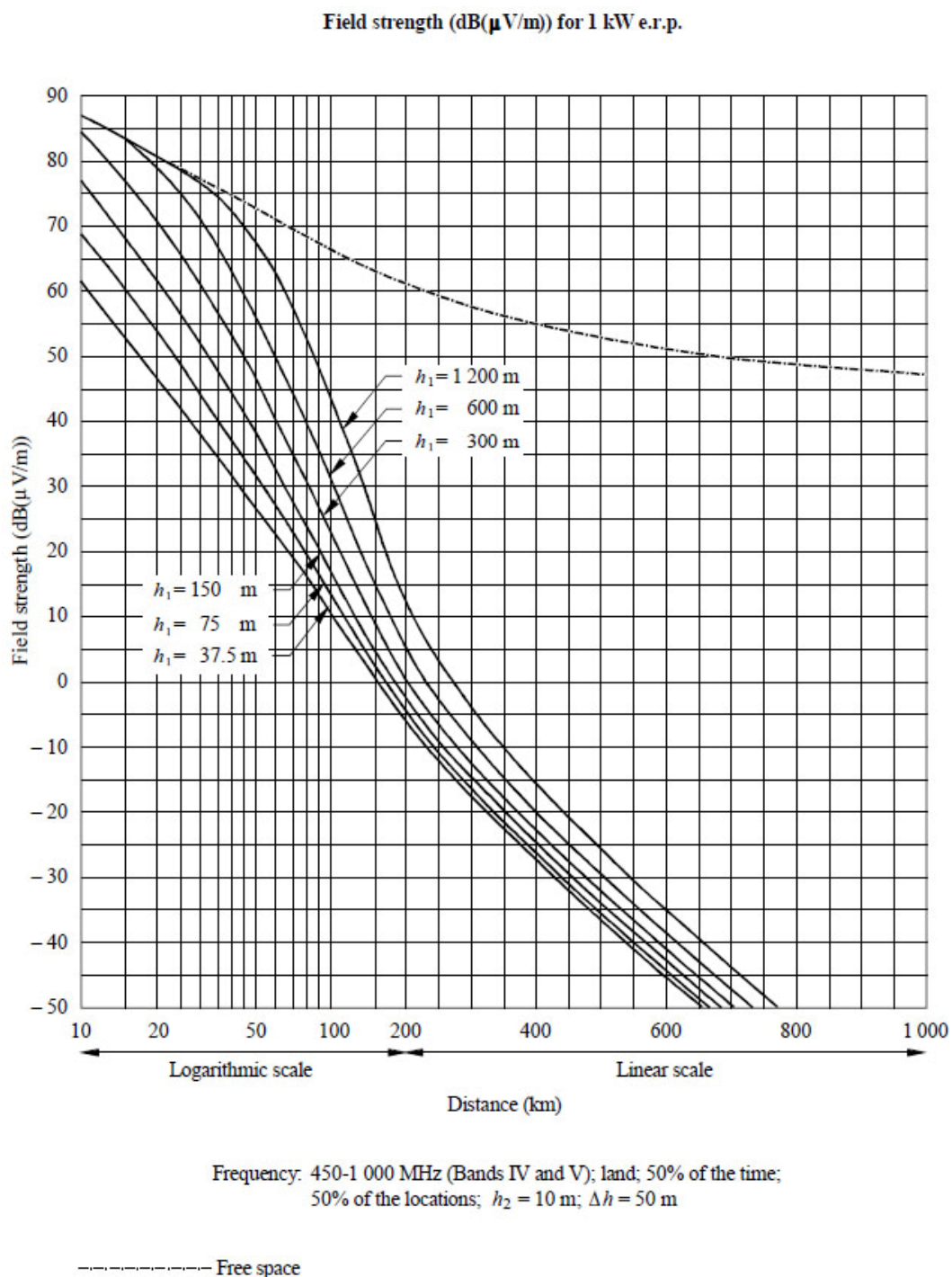
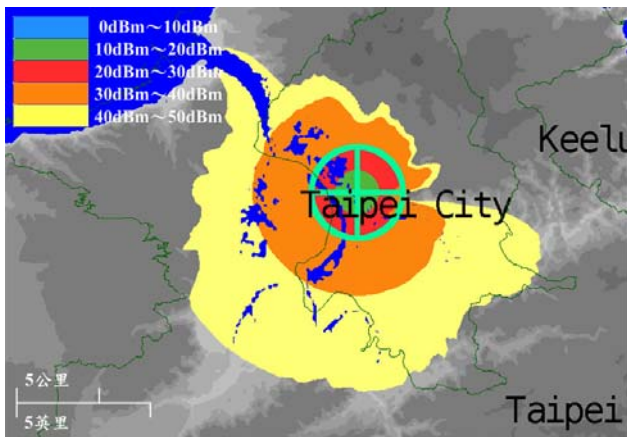


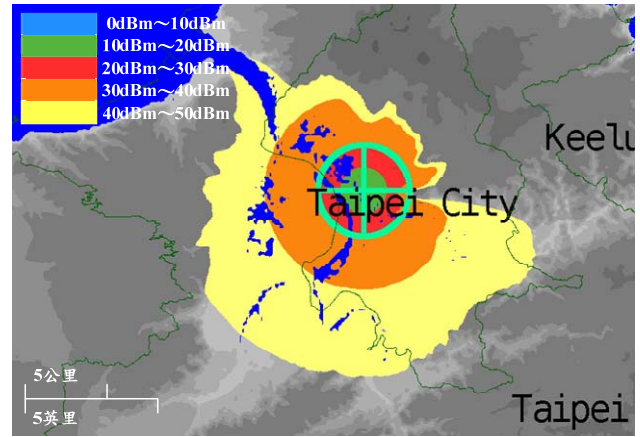
圖 3.6 450MHz~1000MHz 陸地面路徑曲線圖。

ITU-R P.370-7 模型中傳播曲線的頻率分別為 30-250 MHz 和 450-1000 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。而台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 3.5~3.6 所示。

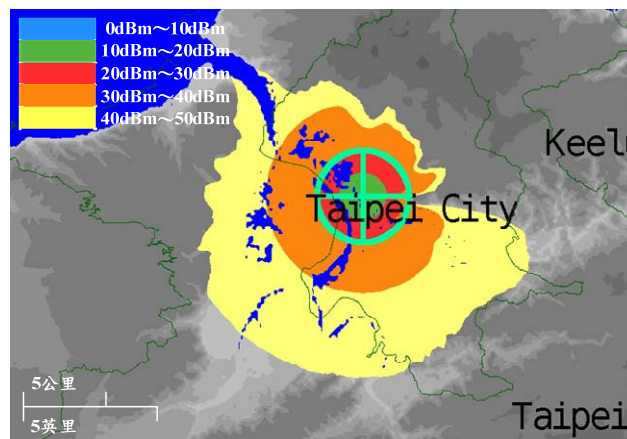
圖 3.7 是根據 ITU-R P.370-7 模型的上鏈結訊號涵蓋範圍的電腦模擬結果，此圖以台北市士林監測站為例。此通道傳播模型需要考慮地勢高度與天線高度，所以依據每個電波監測站臺的所在高度位置，其涵蓋範圍是不規則的多邊形狀，通常能覆蓋地勢較低的區域，但較無法涵蓋地勢高的區域。根據地勢的變化，其涵蓋範圍通常是幾十公里到幾百公里。可是此傳播模型缺點是只考慮在 30 MHz 至 1000 MHz 頻率範圍內，若要模擬 1000MHz 以上的頻率，此傳播模型將不適用。



(a) 146.5 MHz



(b) 445 MHz



(c) 855 MHz

圖 3.7 ITU-R P.370-7 模型電波涵蓋模擬圖。

3.4 ITU-R P.1546-4 模型

ITU-R P.1546-4 模型對 30 MHz 至 3000 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[13]。此用於有效發射天線高度小於 3000 公尺，路徑長度在 1~1000 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。該方法的基礎是對經驗匯出場強曲線進行內插法或外推法，而該曲線是距離、天線高度、頻率和時間百分比的函數。計算程式還包括對該內插法或外推法所得的結果進行校正，以便納入地形淨空和建築物遮蔽對終端的影響。

國際電信聯盟（International Telecommunication Union；ITU）考慮到在 VHF 和 UHF 頻段內規劃地面無線電通信業務時，需要對工程師提供規劃指南。對於執行同頻道或鄰近頻道上的發射站而言，確定所需間隔的最小地理距離以避免因遠距離上對流層傳播造成的不可接受的干擾，是十分重要的事項。

ITU-R P.1546-4 模型中傳播曲線的頻率分別為 100、600 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。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。可應用所需頻率的場強值對應在頻率值 100、600 和 2000 MHz 的場強值間透過內插求得。頻率低於 100 MHz 或高於 2000 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，可採用對於對數（距離）坐標做出內插或外推，但對於一些海面路徑，當所需頻率低於 100 MHz 時，必需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：

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(f / f_{inf}) / \log(f_{sup} / f_{inf}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (3.15)$$

其中：

f ：需做出場強預測的頻率（MHz）。

f_{inf} ：較低名稱頻率（ $f < 600$ MHz 時為 100 MHz，否則為 600 MHz）。

f_{sup} ：較高名稱頻率（ $f < 600$ MHz 時為 600 MHz，否則為 2000 MHz）。

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 2000 MHz 頻率內從外推中得出的場強，以使它不超出下面(3.16)和(3.17)式的最大值。

$$E_{max} = E_{fs} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{對於陸地路徑} \quad (3.16)$$

$$E_{max} = E_{fs} + E_{se} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{對於海面路徑} \quad (3.17)$$

其中， E_{fs} 為 1 kW 有效輻射功率的自由空間場強，由下面的式子表示：

$$E_{fs} = 106.9 - 20\log(d) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (3.18)$$

E_{se} 為海面曲線的增強值，由下面的式子表示：

$$E_{se} = 2.38 \{1 - \exp(-d/8.94)\} \log(50/t) \quad \text{dB} \quad (3.19)$$

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，應採用一種近似計算方法，它基於在 0.6 倍第一 Fresnel 區的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：

$$D_{06} = \frac{D_f \cdot D_h}{D_f + D_h} \quad \text{km} \quad (3.20)$$

其中：

$$\begin{aligned} D_f &: \text{頻率依賴項} \\ &= 0.0000389 f h_1 h_2 \quad \text{km} \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\begin{aligned} D_h &: \text{由水平距離確定的漸近項} \\ &= 4.1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \text{km} \end{aligned} \quad (3.22)$$

f ：頻率 (MHz)

h_1, h_2 ：平坦地面上方的天線高度 (m)

上面的公式中，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。

- (1) 路徑為海面路徑。
- (2) 所需頻率低於 100 MHz。
- (3) 所需距離短於(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 600 MHz 有 0.6 倍 Fresnel 間隔的海面路徑。

如果上面的任一個條件不被滿足，則應採用(3.15)式給出的規範的內插/外推方法。

如果上面的全部條件均滿足，則應按下面的公式計算所需場強 E ：

$$E = E_{max} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{對於 } d \leq d_f \quad (3.23)$$

$$= E_{df} + (E_{d_{600}} - E_{df}) \log(d/d_f) / \log(d_{600}/d_f) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{對於 } d > d_f \quad (3.24)$$

其中：

E_{max} ： (3.16)和(3.17)式內規定的所需距離上的最大場強。

E_{df} ： (3.16)和(3.17)式內規定的距離 d_f 上的最大場強。

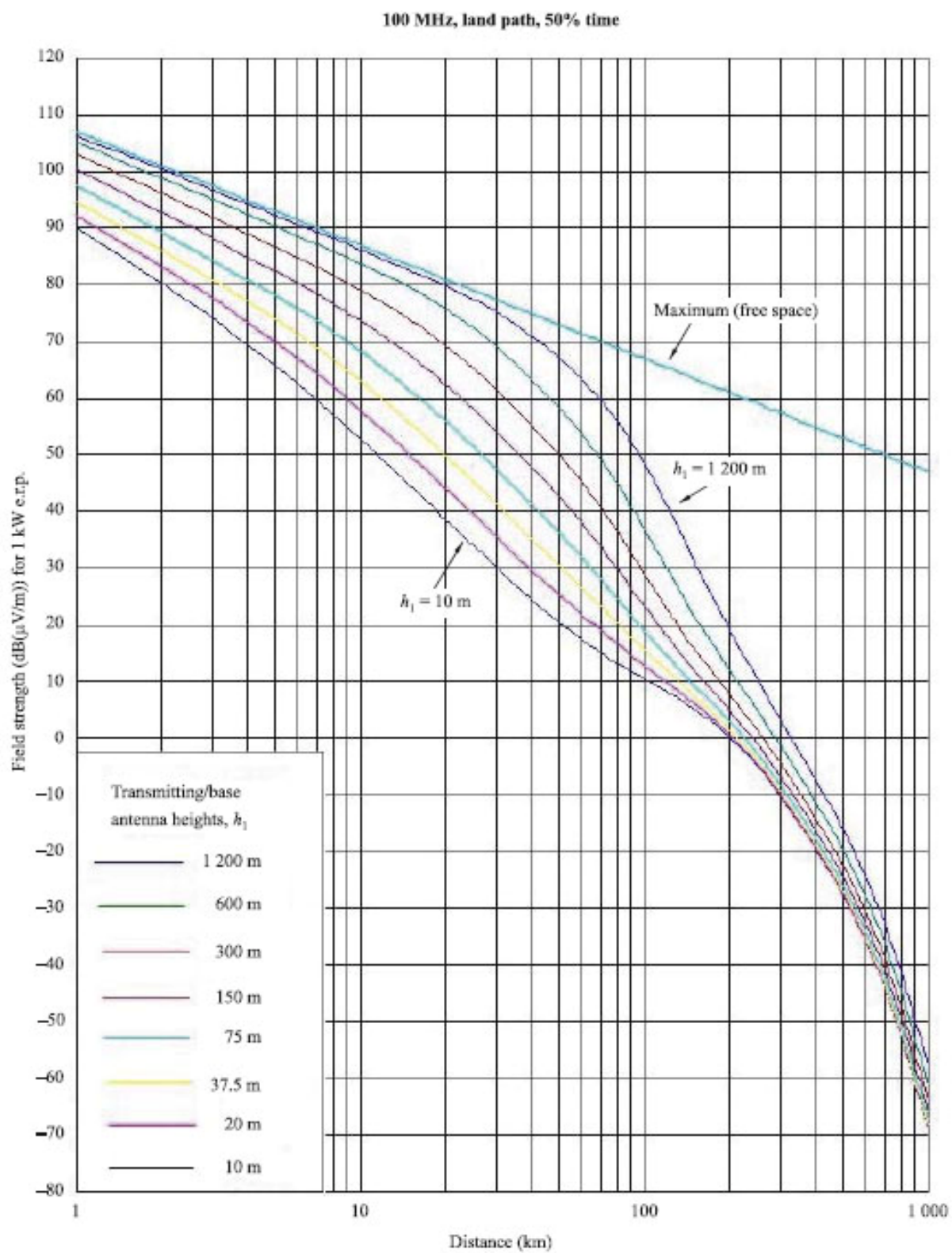
d_{600} ： 按(3.20)式中給出的 $D_{06}(600, h_1, 10)$ 計算出的0.6倍Fresnel間隔的路徑距離。

d_f ： 按(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(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 100 MHz、600 MHz 和 2000MHz，如圖 3.8~3.10 所示。

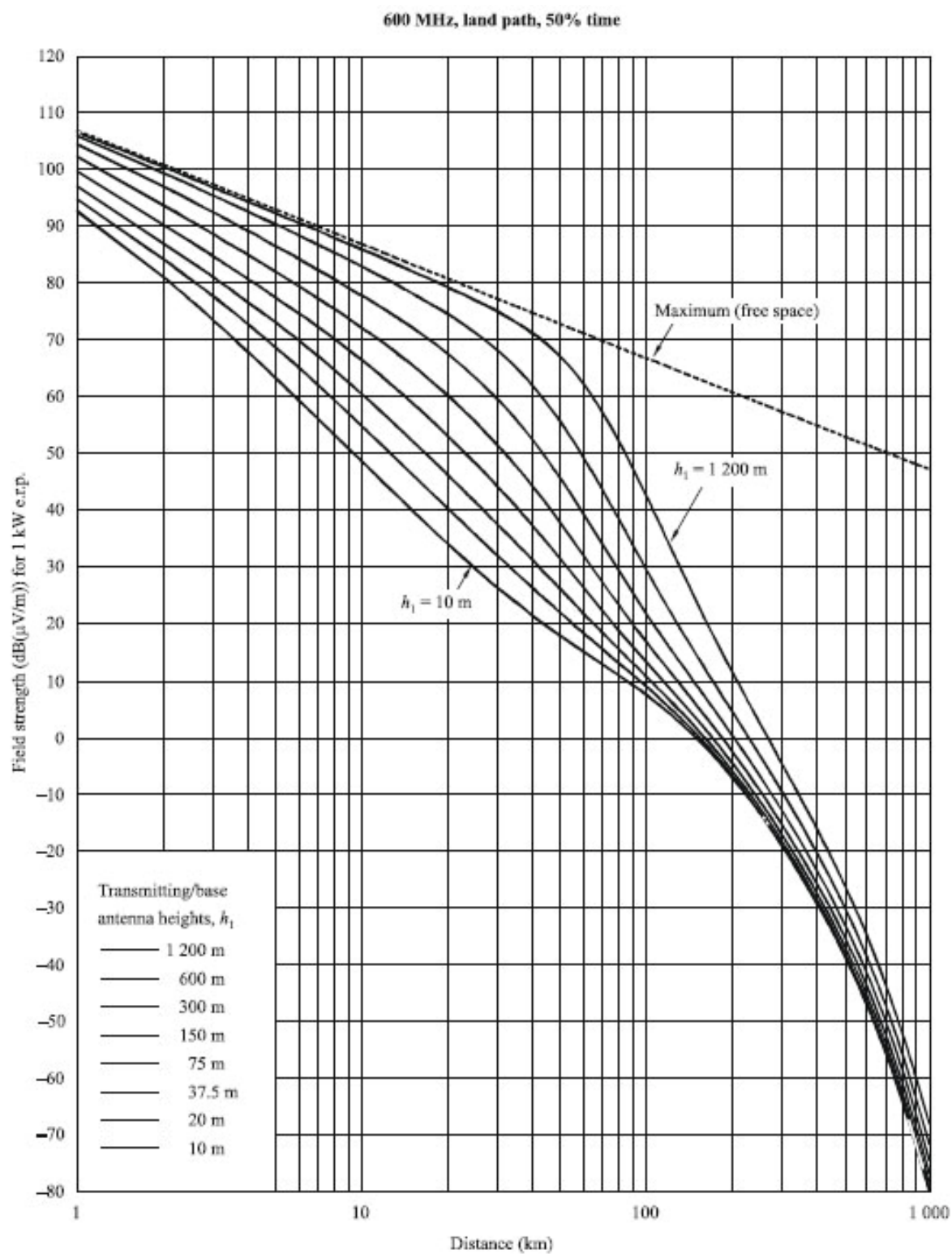


50% of locations

h_2 : representative clutter height

1546-01

圖 3.8 100 MHz 陸地面路徑曲線圖。



50% of locations

h_2 : representative clutter height

1546-09

圖 3.9 600 MHz 陸地面路徑曲線圖。

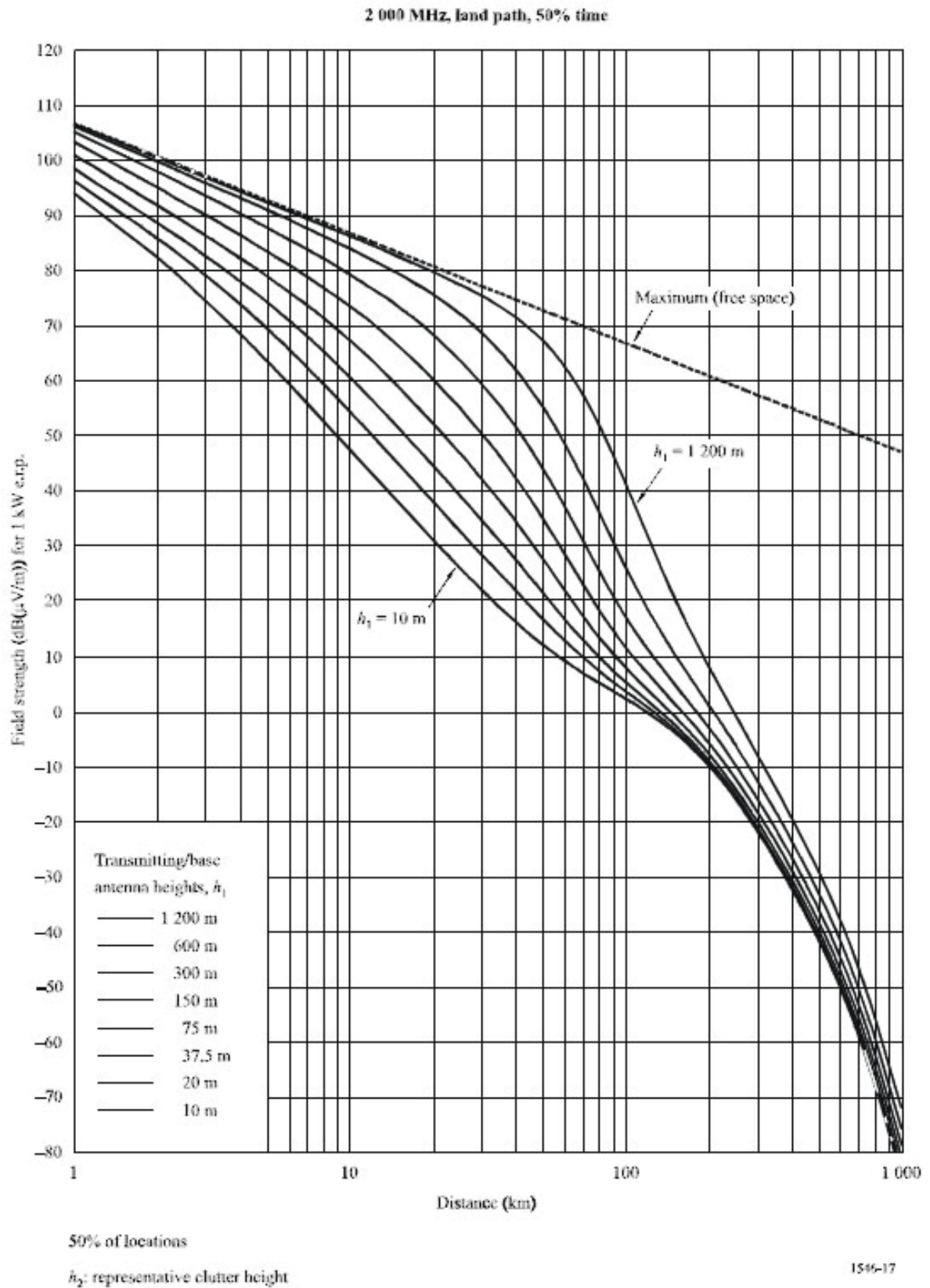
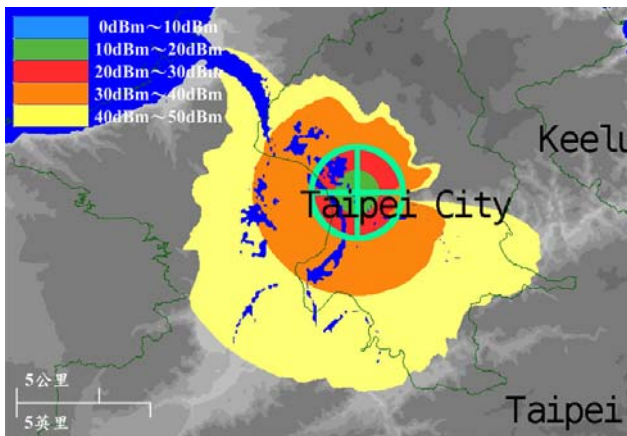


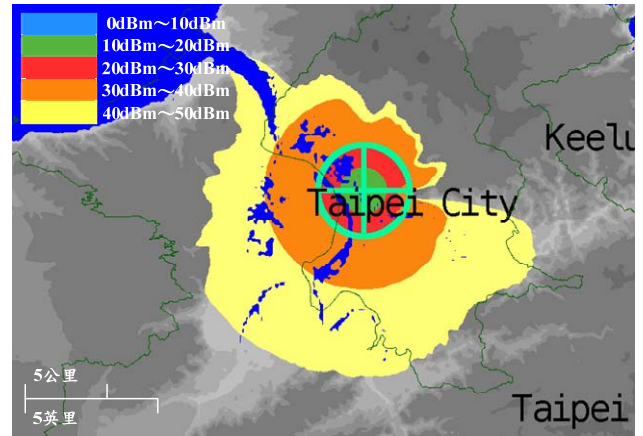
圖 3.10 2000 MHz 陸地面路徑曲線圖。

圖 3.11 是根據 ITU-R P.1546-4 模型的上鏈結訊號涵蓋範圍的電腦模擬結果，此圖以台北

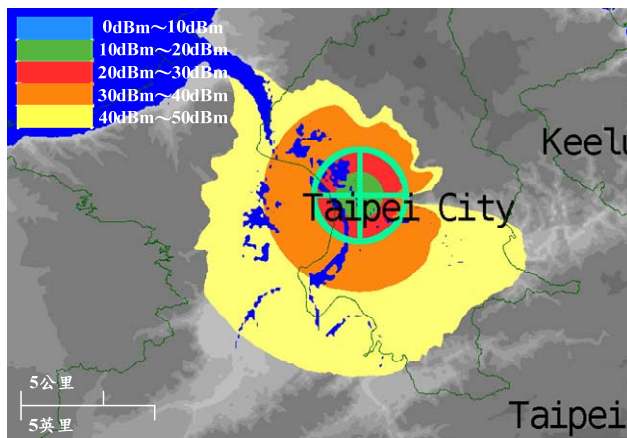
市士林監測站為例。此通道傳播模型需要考慮地勢高度與天線架設高度，根據地勢的變化其涵蓋範圍通常是幾十公里到幾百公里。



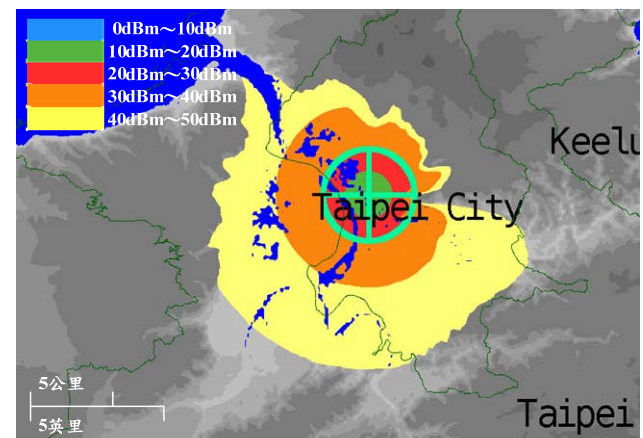
(a) 146.5 MHz



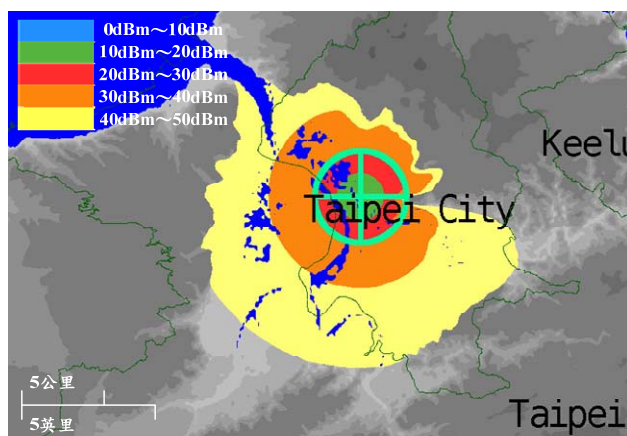
(b) 445 MHz



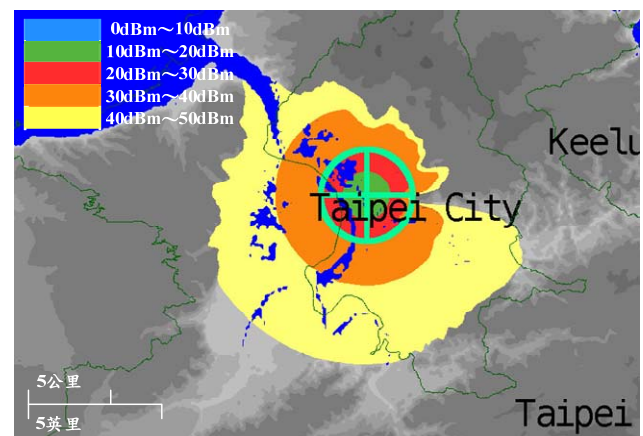
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



(e) 2430 MHz



(f) 3470 MHz

圖 3.11 ITU-R P.1546-4 模型電波涵蓋模擬圖。

3.5 總結

本研究案之軟體平台已開發自由空間傳播損失模型、Cost-231 Hata 模型、ITU-R P.370-7 和 ITU-R P.1546-4 模型。由於自由空間傳播損失模型不考慮地勢高度與天線高度，以及 Cost-231 Hata 模型不考慮地勢高度，只有考慮天線的高度。所以模擬出來的電波監測站臺涵蓋範圍都是呈現圓形，隨著圓半徑的增加所需的發射訊號強度隨之增加。因此，自由空間傳播損失模型和 Cost-231 Hata 模型不適合用於臺灣地區使用。

ITU-R P.370-7 和 ITU-R P.1546-4 模型需要考慮地勢高度與天線架設的高度，所以依據每個電波監測站臺的所在高度位置，其涵蓋範圍是不規則的多邊形狀。通常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在 30 MHz 至 1000 MHz 頻率範圍內，若要模擬 30MHz 以下或 1000MHz 以上的頻率，此傳播模型將不適用。而 ITU-R P.1546-4 模型的頻率範圍是 30 MHz 至 3000 MHz，若要模擬 30MHz 以下或 3000MHz 以上的頻率，可採用內插法或外推法求得。表 3.1 為 ITU-R P.370-7 和 ITU-R P.1546-4 模型的各功能比較。因此，ITU-R P.1546-4 模型比較適合用於臺灣地區的使用，可是若使用它的內建參數模擬出來的圖形（圖 3.11）會並不合理，隨著頻率的變化並沒有明顯的差距，因此需要根據量測數值來調整 ITU-R P.1546-4 模型的參數。本研究報告後面章節所呈現之結果都是使用 ITU-R P.1546-4 的模型經過量測修正參數後之電波傳播模式。

表 3.1 ITU-R P.370-7 和 ITU-R P.1546-4 模型比較表。

傳播模型	ITU-R P.370-7	ITU-R P.1546-4
頻率範圍	30 MHz~1000 MHz	30 MHz~3000 MHz
路徑長度	10 公里~1000 公里	1 公里~1000 公里
有效發射天線高度	< 1200 公尺	< 3000 公尺
頻率範圍以外的頻率點， 是否有方法可得到	無	內插與外推法

第四章 電波監測站涵蓋範圍評估分析

4.1 電波監測涵蓋模擬方法

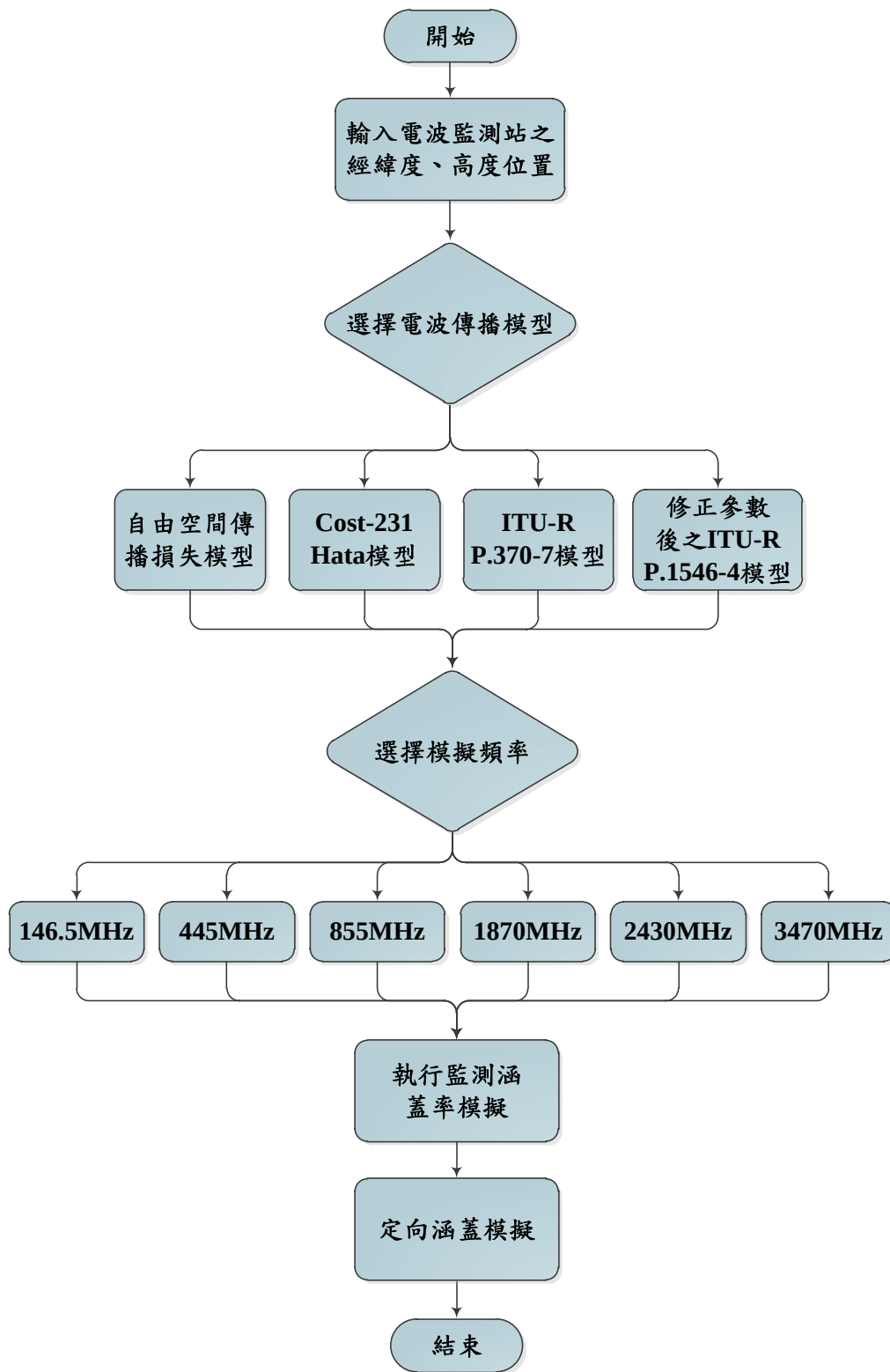


圖 4.1 軟體平台之程式流程圖。

圖 4.1 為本研究案之軟體平台程式流程圖，目前軟體平台可以使用自由空間傳播損失、Cost-231 Hata、ITU-R P.370-7 和 ITU-R P.1546-4 等傳輸通道模型分析電波監測站之涵蓋範圍，而電波監測站接收靈敏度我們預設為-110dBm，由表 2.2 廠商規格比較表所得出來的值。根據電波傳播模型的模擬結果，該軟體平台已經可以提供每個縣市的涵蓋範圍分析，與人口覆蓋比例的計算。

首先，利用記事本軟體開啟 SiteInfo.txt 檔，如圖 4.2 所示。其中 Lon 為電波監測站的東經度座標，Lat 為電波監測站的北緯度座標；Height 為電波監測站的高度位置，單位為公尺 (m)；Sector_Num 為，AntType 為選擇天線的類型；TxPower 為發射功率大小，單位為 dBm；Orientation 為方向角度，Tilt 為仰角角度。

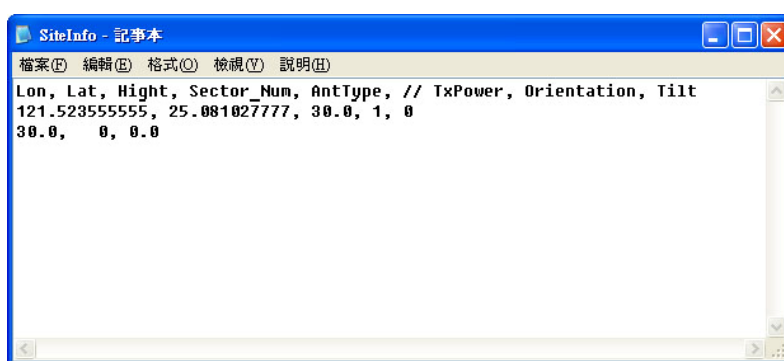


圖 4.2 軟體平台之參數設定介面。

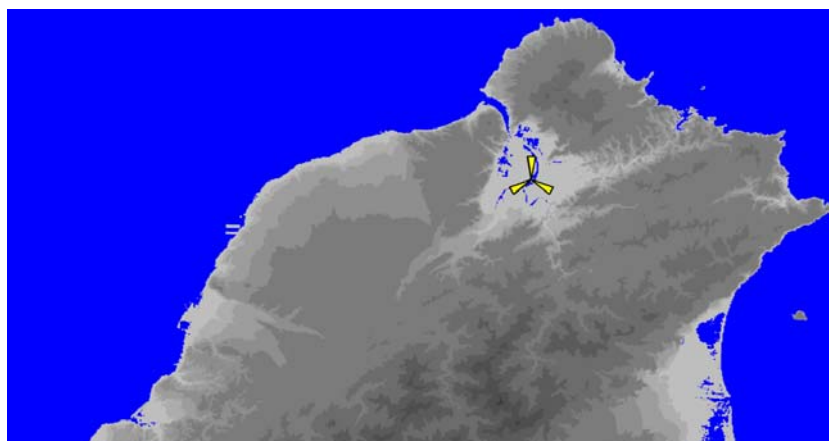


圖 4.3 台灣電子地理圖資示意圖。

在此軟體平台中，我們可利用台灣電子地理圖資載入軟體平台，如圖 4.3 所示。地圖中

的電波監測站位置是依據台北市士林站的經緯度座標所畫出的。根據第 3.5 節所得到的結果是 ITU-R P.1546-4 傳播模型比較適合用於臺灣地區。因此，接下來全臺 35 個電波監測站的監測涵蓋與定向涵蓋都採用修正參數後之 ITU-R P.1546-4 傳播模型來模擬。而每個監測站都分別跑 6 個不同頻率的模擬，頻率為 146.5MHz、445MHz、855MHz、1870MHz、2430MHz 和 3470MHz。至於 ITU-R P.1546-4 傳播模型是經由 100MHz、600MHz 和 2000MHz 曲線圖上的場強值得到，如圖 3.8~3.10 所示。若要求其它頻率點的場強值，需要從(3.15)式做內插法或外推法才可得到。圖 4.4~4.9 是根據(3.15)式做內插法或外推法所求出各頻率場強表。

Frequency, 146.5, MHz
Height Number, 4
Height, 10.0, 20.0, 600.0, 1200.0, meters, from low to high
1, 90.53, 92.64, 106.00, 106.60, Distance (Km) vs Field Strength
10, 51.36, 57.36, 84.00, 86,
20, 37.12, 43.15, 75.39, 79.89,
30, 29.36, 34.75, 69.18, 75.39,
40, 24.15, 29.15, 63.57, 71.11,
50, 19.97, 24.07, 57.57, 67.61,
100, 9.97, 12.25, 34.61, 47.22,
200, -1.28, -0.99, 10.9, 17.9,
300, -11.92, -11.92, -2.70, 2.30,
400, -21.13, -20.92, -12.52, -8.02,
500, -29.74, -29.74, -21.34, -17.63,
600, -37.56, -37.45, -29.74, -27.13,
700, -44.77, -44.77, -37.56, -34.74,
800, -54.77, -54.77, -46.56, -43.84,

圖 4.4 ITU-R P.1546-4 傳播模型 146.5MHz 場強表。

Frequency, 445, MHz
Height Number, 4
Height, 10.00, 20.00, 600.00, 1200.00, meters, from low to high
1, 86.00, 88.50, 100.00, 100.92, Distance (Km) vs Field Strength
10, 43.50, 49.50, 78.00, 80.00,
20, 27.00, 34.67, 69.05, 73.58,
30, 21.50, 26.58, 62.25, 69.00,
40, 15.67, 20.67, 56.33, 65.42,
50, 12.42, 16.83, 50.33, 61.92,
100, 2.42, 4.08, 24.58, 37.50,
200, -11.00, -11.33, 0.25, 7.25,
300, -23.50, -23.50, -13.67, -8.67,
400, -33.33, -32.50, -24.42, -19.92,
500, -42.25, -42.25, -34.17, -29.83,
600, -51.00, -50.58, -42.25, -39.33,
700, -58.83, -58.83, -51.00, -47.25,
800, -68.83, -68.83, -60.00, -56.67,

圖 4.5 ITU-R P.1546-4 傳播模型 445MHz 場強表。

Frequency, 855, MHz
Height Number, 4
Height, 10.00, 20.00, 600.00, 1200.00, meters, from low to high
Distance (Km) vs Field Strength

Height (m)	10.00	20.00	600.00	1200.00
1	80.95	83.59	94.00	95.30
10	37.01	43.00	72.00	74.30
20	22.01	27.71	63.30	67.65
30	13.83	19.12	56.00	63.59
40	7.83	13.12	50.00	59.95
50	4.68	9.33	44.01	56.15
100	-5.32	-3.82	16.48	30.36
200	-18.73	-18.94	-7.73	-0.88
300	-31.73	-31.58	-21.58	-16.73
400	-41.58	-40.73	-32.58	-28.23
500	-50.88	-50.73	-42.58	-38.23
600	-59.44	-58.94	-50.88	-47.44
700	-68.38	-67.88	-59.58	-55.58
800	-77.94	-77.44	-68.88	-65.23

圖 4.6 ITU-R P.1546-4 傳播模型 855MHz 場強表。

Frequency, 1870, MHz
Height Number, 4
Height, 10.00, 20.00, 600.00, 1200.00, meters, from low to high
Distance (Km) vs Field Strength

Height (m)	10.00	20.00	600.00	1200.00
1	70.97	73.94	83.06	85.00
10	25.11	32.00	61.06	64.00
20	9.17	16.11	53.00	57.02
30	0.28	6.22	45.06	53.94
40	-5.72	0.22	39.05	49.97
50	-9.19	-4.22	33.06	45.53
100	-19.19	-17.69	3.25	19.08
200	-31.30	-30.86	-20.30	-13.78
300	-44.30	-43.83	-33.83	-29.30
400	-53.83	-53.30	-44.83	-40.80
500	-63.78	-63.30	-43.83	-50.80
600	-71.36	-70.86	-63.78	-59.36
700	-81.28	-80.78	-71.83	-67.83
800	-89.86	-89.36	-81.78	-77.80

圖 4.7 ITU-R P.1546-4 傳播模型 1870MHz 場強表。

Frequency, 2430, MHz
Height Number, 4
Height, 10.00, 20.00, 600.00, 1200.00, meters, from low to high
Distance (Km) vs Field Strength

Height (m)	10.00	20.00	600.00	1200.00
1	70.07	73.13	81.87	84.00
10	23.73	30.86	59.86	63.00
20	7.61	14.74	52.00	55.93
30	-1.65	4.48	43.86	53.13
40	-7.65	-1.52	37.86	49.07
50	-11.22	-6.15	31.87	44.43
100	-21.22	-19.72	1.41	17.80
200	-32.96	-32.33	-21.96	-15.52
300	-45.96	-45.39	-35.39	-30.96
400	-55.39	-54.96	-46.39	-42.46
500	-65.52	-64.96	-56.39	-52.46
600	-72.83	-72.33	-65.52	-60.83
700	-83.02	-82.52	-73.39	-69.39
800	-91.33	-90.83	-83.52	-79.46

圖 4.8 ITU-R P.1546-4 傳播模型 2430MHz 場強表。

ITU_R_P1546_4_1-3470M - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

Frequency, 3470, MHz

Height Number, 4

Height, 10.00, 20.00, 600.00, 1200.00, meters, from low to high

1, 68.73, 71.96, 80.04, 82.50, Distance (Km) vs Field Strength

10, 21.58, 29.04, 58.23, 61.50,

20, 5.12, 12.58, 50.50, 54.27,

30, -4.79, 1.67, 42.04, 50.50,

40, -10.79, -4.33, 36.04, 46.27,

50, -14.52, -9.29, 30.04, 42.77,

100, -24.52, -23.02, -1.56, 15.81,

200, -35.60, -34.64, -24.60, -18.33,

300, -48.60, -47.87, -37.87, -33.60,

400, -57.87, -57.60, -48.87, -45.10,

500, -68.33, -67.60, -58.87, -55.10,

600, -75.14, -74.64, -68.33, -63.14,

700, -85.83, -85.33, -75.87, -71.87,

800, -93.64, -93.14, -86.33, -82.10,

圖 4.9 ITU-R P.1546-4 傳播模型 3470MHz 場強表。

4.2 電波監測涵蓋量測方法

【量測設備】

發射機：

Agilent N5182A MXG Vector Signal Generators



圖 4.10 Agilent N5182A MXG 向量訊號產生器。

Frequency range

100 kHz to 6 GHz

Frequency resolution

0.01 Hz

Minimum output power

-110 dBm

Amplitude resolution

0.01 dB (nom)

接收機：

R&S FSH8 手持式頻譜分析儀



圖 4.11 R&S FSH8 手持式頻譜分析儀。

Frequency range 9 kHz to 8 GHz.

High sensitivity ($< -141\text{dBm}(1\text{Hz})$, with preamplifier $< -161\text{ dBm} (1\text{ Hz})$).

Spectrum, and Network Analyzer in a single box.

Low measurement uncertainty ($< 1\text{ dB}$).

Internal tracking generator and VSWR bridge with built-in DC voltage supply (bias).

Easy-to-replace Li-ion battery for up to 4.5h of operation.

【量測天線】

BRC HP-50, 145/435 MHz, 4.5/7.2 dBi, Omnidirectional Antenna

(業餘無線電業務 144-146 MHz、430-432 MHz)



圖 4.12 BRC HP-50 天線。

JOYMAX YPF-021ANFX9-999

LTE 800~2500 MHz, 8dBi, Outdoor Patch Antenna

(第三代行動通信業務 825-845 MHz、870-890 MHz、1915-1975 MHz)

(行動電話業務(2G) 895-915 MHz、940-960 MHz)

(行動電話業務(2G) 1710-1755 MHz、1805-1850 MHz)

(業餘無線電業務 2440-2450 MHz)



圖 4.13 JOYMAX YPF-021ANFX9-999 天線。

JOYMAX SGX-103XNFX9-999

3.5 GHz, 9dBi, Omnidirectional Antenna

(3600 MHz)



圖 4.14 JOYMAX SGX-103XNFX9-999 天線。

【量測方法】

每處電波監測站位置共有四個發射站地點，其中一個發射站在電波監測站位置附近約 10 公尺距離做發射點 D_0 的路徑損失量測，作為發射功率的參考點。另外三個發射站分別距離在電波監測站位置的 1~3 公里的地方進行量測。每個發射站點要找三個不同位置做空間的平均，每處位置要量 6 個不同發射頻率的路徑損失涵蓋量測，而每個頻率要量測三次做時間的平均。而每個發射站位置都需利用掌上型衛星導航記錄該地點的經緯度與海拔高度。以下我們以桃園縣高原監測站所量測出來的數據為例子做量測步驟的說明：

1. 在電波監測站的頂樓架設接收站設備，此桃園縣高原監測站的地址為桃園縣龍潭鄉高楊北路 65 號，如圖 4.15 所示。



圖 4.15 桃園縣高原監測站。

2. 在電波監測站位置附近距離約 10 公尺距離做發射點 D_0 的路徑損失量測，如圖 4.16 所示，作為發射功率的參考點。

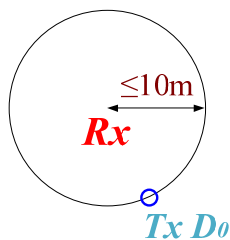


圖 4.16 發射點 D_0 的路徑損失量測。

3. 在距離電波監測站約 1 公里到 3 公里的位置，找三個發射站 Tx 位置進行路徑損失量測，如圖 4.17 所示。

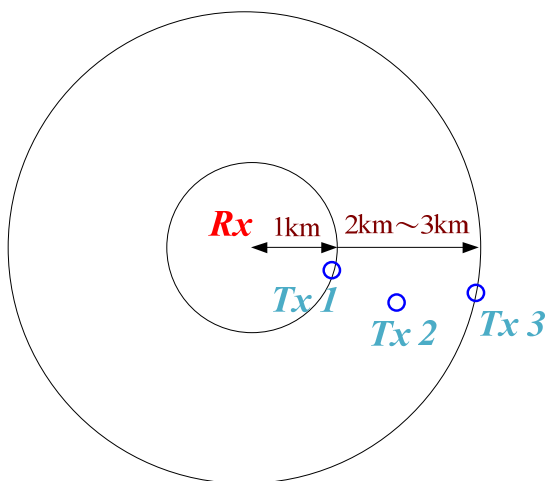
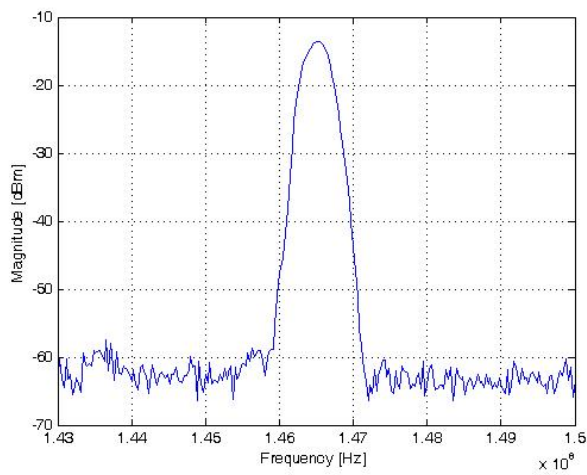


圖 4.17 三個發射站 Tx 位置路徑損失量測。

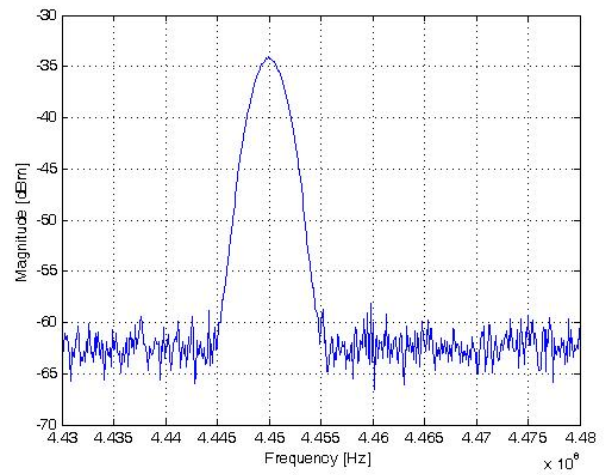
4. 每個發射站要發射以下的頻率：
- a、 146.5 MHz
 - b、 445 MHz
 - c、 855 MHz
 - d、 1870 MHz
 - e、 2430 MHz
 - f、 3470 MHz
5. 接收站需量測頻段範圍如下：
- a、 143 MHz~150 MHz
 - b、 442 MHz~448 MHz

- c、 852 MHz~858 MHz
 - d、 1867 MHz~1873 MHz
 - e、 2427 MHz~2433 MHz
 - f、 3467 MHz~3473 MHz
6. 每個發射站地點需在三個不同位置，距離各約 0.5 公尺左右。在各地點進行三個不同時間的量測，達到時間平均與空間平均的量測值。
7. 而 D₀的發射站地點由於是直視波的形式，該地點只需進行三個不同時間的量測，達到時間平均的量測值即可。
8. 三個接收站位置之存檔格式如下：
- 量測日期-發射站地點-量測頻率-第幾個位置-時間次數
- EX：0729-T1-445-P3-T3
- 0729-T2-855-P2-T1
- 總共有 162 個檔案。
9. D₀發射站位置之存檔格式如下：
- 量測日期-發射站地點-量測頻率-時間次數
- EX：0729-D0-445-T1
- 0729-D0-1870-T2
- 總共有 18 個檔案。
10. 因此，一趟量測回來總共會有 180 個檔案。

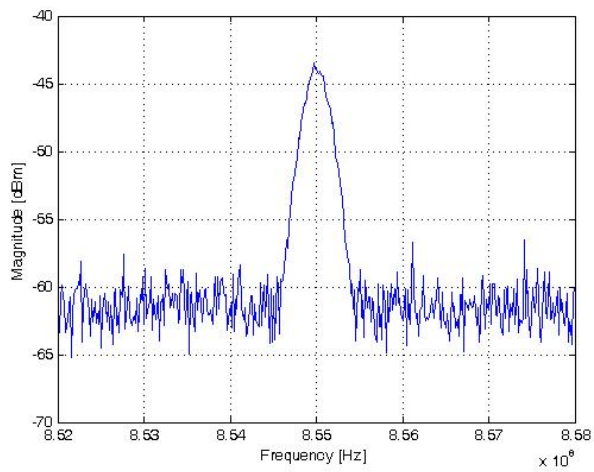
圖 4.18 為桃園縣高原監測站量測的數據，利用 MATLAB 程式所畫出來的頻譜圖，以 D₀位置的數據為例。



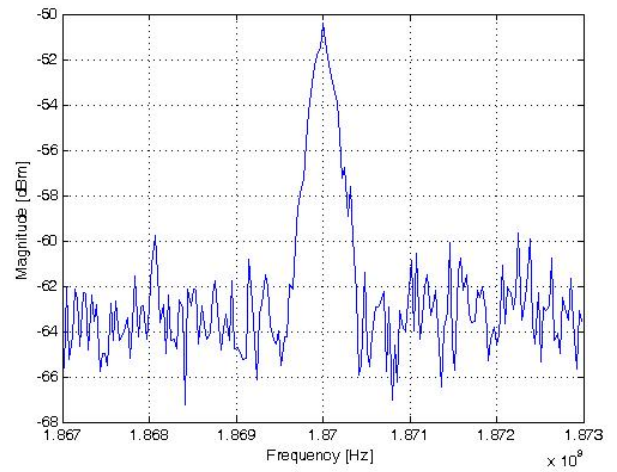
(a) 146.5 MHz



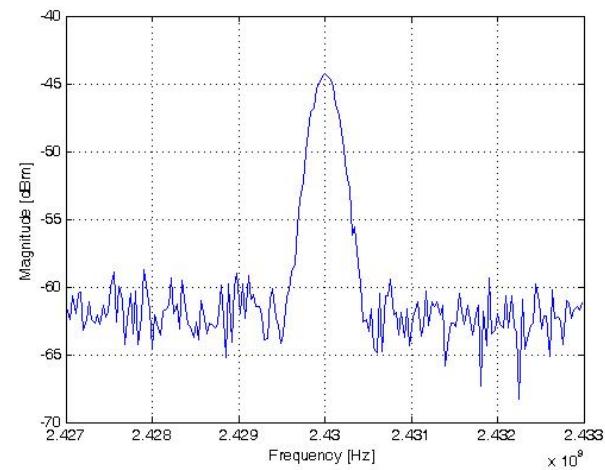
(b) 445 MHz



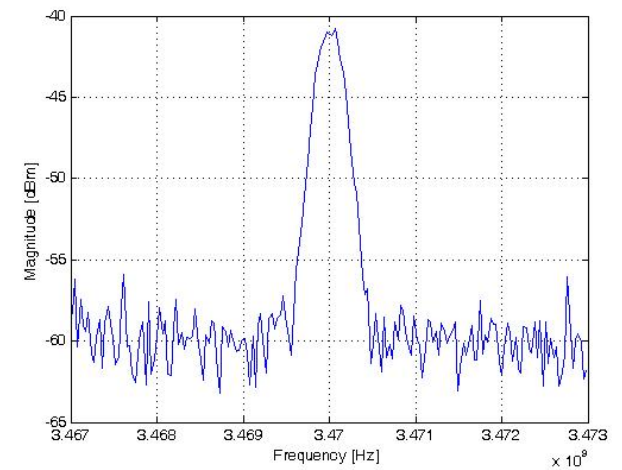
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



(e) 2430 MHz



(f) 3470 MHz

圖 4.18 D_0 位置各頻率的頻譜圖。

以下表 4.1~4.16 為 16 處接收站所量測到的功率大小值。

表 4.1 台北市士林站量測所得之路徑損失值。

台北市士林電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	49.5	55.2	63.4	76.21
445	56.8	67.62	77.81	83.1
855	65.62	79.3	88.54	101.2
1870	71.23	87.9	105.7	112.7
2430	74.12	98.77	110.6	—
3470	—	—	—	—

※ —：該地點量測不到功率大小值。

表 4.2 新北市次格山站量測所得之路徑損失值。

新北市次格山電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	52.4	63.92	69.9	77.8
445	54.7	68.6	74	85.4
855	62.5	73.06	89.4	101.3
1870	73.6	80.6	96.5	109.4
2430	86.7	92.6	102.6	111.26
3470	—	—	—	—

※ —：該地點量測不到功率大小值。

表 4.3 新北市大棟山站量測所得之路徑損失值。

新北市大棟山電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	52.7	68.92	80	91.8
445	54.7	70.61	82.5	95.8
855	62.5	82.06	90.6	98.3
1870	77.6	89.38	96.5	109.4
2430	79.6	91.6	102.6	111.26
3470	—	—	—	—

※—：該地點量測不到功率大小值。

表 4.4 桃園縣高原站量測所得之路徑損失值。

桃園縣高原電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	45.53	56.3	63.2	72.4
445	50.24	60.1	71.1	83
855	64	80.7	88.6	94.9
1870	71.3	82.67	93.7	107.3
2430	74.33	86.79	97.8	111.3
3470	83.93	—	—	—

※—：該地點量測不到功率大小值。

表 4.5 宜蘭縣美城站量測所得之路徑損失值。

宜蘭縣美城電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	54.5	66.8	78.2	88.9
445	61.3	75.7	82.4	91.8
855	69.7	82.8	86.2	96.3
1870	76.6	80.9	90.8	102.4
2430	79.4	100.1	97.9	111.3
3470	84.9	105.8	109.9	115.8

※ - ：該地點量測不到功率大小值。

表 4.6 宜蘭縣冬山站量測所得之路徑損失值。

宜蘭縣冬山電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	44.5	49.2	54.33	70.34
445	51.3	56.35	62.52	80.22
855	59.7	67.74	76.3	101.92
1870	66.6	72.06	92.7	108.6
2430	79.4	85.26	94.7	115.5
3470	—	—	—	—

※ - ：該地點量測不到功率大小值。

表 4.7 新竹縣六家站量測所得之路徑損失值。

新竹縣六家電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	54.6	59.7	67.45	78.5
445	59.2	63.4	69.32	82.4
855	65.42	74.13	82.3	94.6
1870	72	79.5	85.34	101.9
2430	74.3	82.5	95.3	107.2
3470	—	—	—	—

※—：該地點量測不到功率大小值。

表 4.8 新竹縣尖筆窩山站量測所得之路徑損失值。

新竹縣尖筆窩山電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	48.3	71.1	88.1	—
445	55	80.3	95.2	—
855	78.3	87.1	99.6	—
1870	83.6	90.6	105.6	—
2430	93.6	102.6	113.8	—
3470	99.6	—	—	—

※—：該地點量測不到功率大小值。

表 4.9 花蓮縣吉安站量測所得之路徑損失值。

花蓮縣吉安電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	54.6	59.8	68.3	71.7
445	59.2	67	77.9	81.9
855	65.42	79	82.5	91.7
1870	72	86.6	94.7	109
2430	84.3	97.8	105.1	118.6
3470	—	—	—	—

※—：該地點量測不到功率大小值。

表 4.10 花蓮縣月眉山站量測所得之路徑損失值。

花蓮縣月眉山電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	48.3	61.8	69.6	77.8
445	55	65.1	74	85.4
855	68.3	86.5	94.4	106.3
1870	73.6	104.8	111.3	123.3
2430	83.6	116.3	122.9	130.8
3470	—	—	—	—

※—：該地點量測不到功率大小值。

表 4.11 苗栗縣大埔站量測所得之路徑損失值。

苗栗縣大埔電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	38.3	45.95	54.4	74.3
445	42	52.58	61.9	85.8
855	59.2	69.65	72.6	101.43
1870	68.95	76.6	85.9	103.52
2430	75.03	95.57	100.6	112.52
3470	—	—	—	—

※－：該地點量測不到功率大小值。

表 4.12 苗栗縣九華山站量測所得之路徑損失值。

苗栗縣九華山電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	48.3	57.27	67.5	—
445	55	62.71	78.52	90.83
855	68.3	74.52	94.56	100.2
1870	73.6	85.38	98.2	105.31
2430	83.6	96.42	105.4	118.7
3470	89.6	98.1	108.3	120.2

※－：該地點量測不到功率大小值。

表 4.13 台中市豐原站量測所得之路徑損失值。

台中市豐原電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	46.5	56.11	69.7	80.38
445	58.8	60.8	80.83	86.18
855	63.9	76.07	90.67	105.61
1870	70.83	86.7	103.77	114.47
2430	73.35	101.83	108.66	117.58
3470	—	—	—	—

※—：該地點量測不到功率大小值。

表 4.14 台中市大肚山站量測所得之路徑損失值。

台中市大肚山電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	38.3	48.1	75.1	83.7
445	52	49.8	74.5	92.6
855	59.2	69.7	85.3	109.4
1870	68.95	79.7	88.3	112.6
2430	75.03	88.4	99.4	—
3470	—	—	—	—

※—：該地點量測不到功率大小值。

表 4.15 台南市健康站量測所得之路徑損失值。

台南市健康電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	48.8	52.4	59.85	73.4
445	57.5	67.37	78.77	80.8
855	63.3	66.6	81.4	86
1870	70.06	77.2	85.4	94.44
2430	73.63	84.09	98.8	101.96
3470	—	—	—	—

※—：該地點量測不到功率大小值。

表 4.16 高雄市大坪頂站量測所得之路徑損失值。

高雄市大坪頂電波監測站				
Frequency (MHz)	D ₀ (dB)	Tx1 (dB)	Tx2 (dB)	Tx3 (dB)
146.5	52.8	56	61.4	79.1
445	58.8	58	62.9	81.8
855	65.9	76.1	82.3	97.6
1870	72.6	78.5	82.1	103.9
2430	74.3	82.5	95.3	107.2
3470	—	—	—	—

※—：該地點量測不到功率大小值。

4.3 電波監測涵蓋量測參數之驗證

為了瞭解各種因素對於電磁波場強的影響，最好的方法便是透過實地的連續波量測。連續波之場強量測數值通常與發射接收條件及待測環境習習相關，如發射與接收天線之距離、高度及接收天線所在環境等。基本的研究架構包含量測、記錄及分析三個階段，亦即量測設備必須要擁有記錄訊號波形之功能以便在量測後能夠以軟體程式萃取有效之參數進而形成一個路徑損失之傳播模型。本研究案使用 ITU-R P1546-4 傳播模型，再將上一節所量測到的 16 個電波監測站數據，迴歸出適當的 $K_{clutter}$ 值以提供電波涵蓋模擬的參考依據。

迴歸分析 (Regression Analysis) 技巧常被用來找出分散資料與相關參數之關係，而分析方法是將所要研究的變數區分為相依變數 (Dependent Variable) 與獨立變數 (Independent Variable)，並根據相關理論建立相依變數為獨立變數的函數模型，然後利用所獲得的取樣資料去估計模型參數的方法。迴歸分析依據獨立變數的多寡可分為簡單迴歸分析 (Simple Regression Analysis) 與多元迴歸分析 (Multiple Regression Analysis) 兩種[14]。簡單迴歸分析的迴歸方程式只包含一個獨立變數；多元迴歸分析則包含兩個以上的獨立變數。此外，獨立變數與相依變數的關係一般可分為正向關係、反向關係及無關係三種。這些關係的形態主要又可分為線性 (Linear) 與非線性 (Nonlinear) 兩種，如下圖 4.19 和 4.20 所示。所謂正向關係即是當獨立變數增加一個單位時，相依變數亦隨之增加；反向關係則是當獨立變數增加一個單位時，相依變數有減少的趨勢；無關係，顧名思義則是獨立變數的增減不影響相依變數的變化。

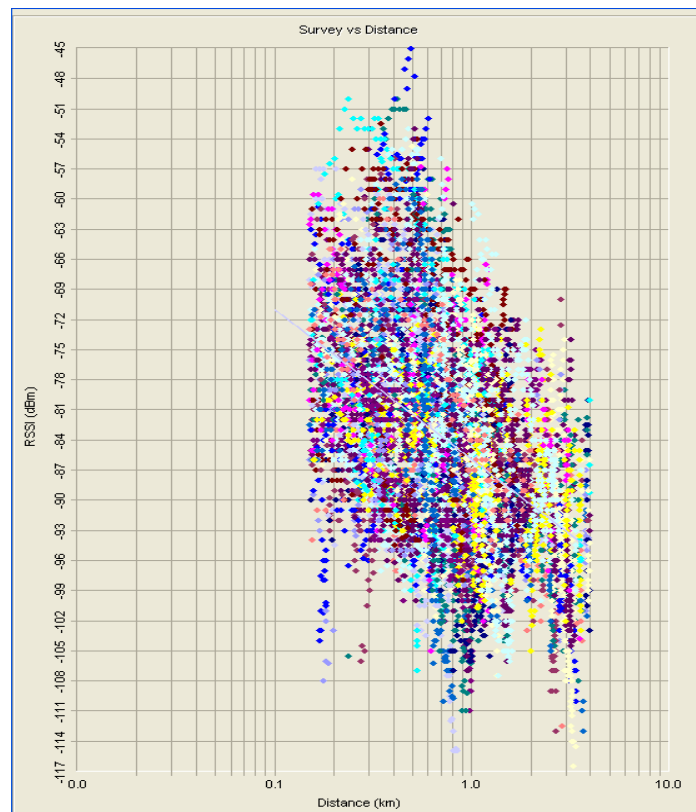


圖 4.19 線性迴歸。

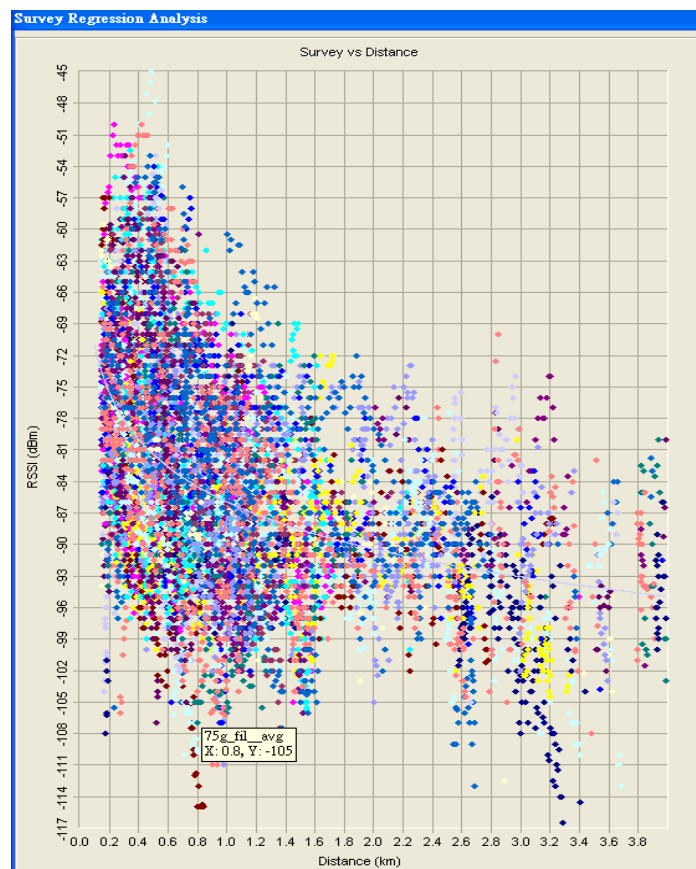


圖 4.20 非線性迴歸。

一般的多元線性迴歸方程式的表示式為：

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_{1-p} X_{(1-p)i} + \varepsilon_i \quad (4.1)$$

其中， Y_i 為相依變數， $X_{1i} \dots X_{(1-p)i}$ 為獨立變數， $\beta_0 \dots \beta_{1-p}$ 為迴歸參數(係數)， ε_i 為迴歸誤差。當 $\beta_1 \dots \beta_{1-p}$ 皆等於零時，則多元迴歸分析就變成簡單迴歸分析。因此，多元迴歸分析方法基本上是簡單迴歸分析法的延伸。一般而言，多元迴歸分析因為考慮多個影響相依變數的獨立變數，因此在預測上多元迴歸分析會比簡單迴歸分析更準確些。

現在我們將介紹以矩陣的方式找出 $\beta_0 \dots \beta_{1-p}$ 係數。假設資料共有 n 筆，即 $i = 1, 2, \dots, n$ ，則上面的多元線性迴歸方程式的一般表示式可表示成：

$$\begin{bmatrix} Y_1 = \beta_0 + \beta_1 X_{11} + \beta_2 X_{21} + \dots + \beta_{1-p} X_{(1-p)1} + \varepsilon_1 \\ Y_2 = \beta_0 + \beta_1 X_{12} + \beta_2 X_{22} + \dots + \beta_{1-p} X_{(1-p)2} + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ Y_n = \beta_0 + \beta_1 X_{1n} + \beta_2 X_{2n} + \dots + \beta_{1-p} X_{(1-p)n} + \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

其中 ε 為 $n(0, \sigma)$ 分佈，上式又可分解成：

$$Y_{n \times 1} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad X_{n \times p} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{(1-p)1} \\ 1 & X_{12} & \dots & X_{(1-p)2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & \dots & X_{(1-p)n} \end{bmatrix} \quad \beta_{p \times 1} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_{1-p} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{n \times 1} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

$$Y_{n \times 1} = X_{n \times p} \beta_{p \times 1} + \varepsilon_{n \times 1} \quad (4.4)$$

$$E[Y] = X \beta \quad \because E[\varepsilon] = 0 \quad (4.5)$$

$$X'X \beta = X'Y \quad \Rightarrow \quad \beta = (X'X)^{-1} X'Y \quad (4.6)$$

由此我們可以得到 β 係數矩陣。

因為接收訊號強度與多種因素相關，所以我們使用多元線性迴歸分析來尋找傳播模型。連續波之功率可視為相依變數，而發射接收條件及待測環境，如發射功率、發射與接收天線之距離、發射天線有效高度、繞射損失及接收天線所在環境可視為獨立變數。則路徑損失方程式可表示為：

$$Path Loss = K_1 + K_2 \log(d) + K_3 \log(h_{eff}) + K_4 \log(f) + K_5 \log(d) \log(h_{eff}) + K_{clutter} \quad (4.7)$$

其中 K 值即為先前所述之 β 值，為欲找之係數。至於距離 d (km)、頻率 f (MHz)及發射天線之有效高度 h_{eff} (m)皆取以10為底之對數， K 值參數是利用實地量測所得到的資料，再透過迴歸分析的方法來獲取想要的資訊。

若想獲得充分且可信賴的資料，事前的實驗規劃設計便顯得十分重要。以路徑損失量測實驗為例，發射端與接收端之間的路徑距離 d 乃是最重要之參數，其次才是發射頻率 f 和地形環境 $K_{clutter}$ 。若想要獲得某一（多）項參數的資訊，則在實驗規劃時必需特別針對該（多）項參數做設計，使實驗結果的資料在該項參數的範圍內分佈均勻。例如，若想得知路徑損失在頻率146.5MHz~3470MHz的變化，那麼在規劃時必須在此頻率範圍內均勻選擇多個頻率來做量測，如此測得之資料在迴歸時才能得到可靠的資訊。根據16處站點，不同距離 d 、不同頻率 f 之量測數值進行迴歸分析，所得到之各項參數值如下所示：

$$K_1 = 25, K_2 = 42, K_3 = -15, K_4 = 25, K_5 = -7.5$$

$$K_{clutter} = \begin{cases} -4 & , \text{郊區} \\ 3 & , \text{高山區} \\ 10 & , \text{都會區} \end{cases} \quad (4.8)$$

後面章節模擬所使用之電波傳播模型即是使用 ITU-R P1546-4 模型，加入(4.8)式之修正項，所得到更適合於臺灣地區使用的電波傳播模式。

4.4 全臺 35 處電波監測站臺之涵蓋模擬

由(4.8)式的結果，我們將全臺 35 處監測站分成都會區、郊區與高山區，如表 4.17~4.19 所示。而每處監測站的接收靈敏度設定為-110dBm（根據第 2.3 節所示）。所有電波涵蓋模擬圖都是使用修正參數之 ITU-R P.1546-4 傳播模型，模擬每處監測站之上鏈結訊號。表 4.20~4.22 為臺灣本島、澎湖群島和金門群島之各監測站的涵蓋面積比率統計表，模擬發射機的高度為 2 公尺。

表 4.17 都會區電波監測站資料表。

項次	縣市別	站名	東經(WGS-84)			北緯(WGS-84)			地形高度 (m)	建築物+鐵塔高度(m)
			度	分	秒	度	分	秒		
1	台北市	士林	121	31	24.8	25	4	51.7	16	63
2	台中市	豐原	120	42	49	24	14	54	215	30
3	台南市	健康	120	10	14.6	22	59	49.7	21	78
4	屏東縣	崇明	120	28	38.49	22	40	51	32	39

表 4.18 郊區電波監測站資料表。

項次	縣市別	站名	東經(WGS-84)			北緯(WGS-84)			地形高度 (m)	建築物+鐵塔高度(m)
			度	分	秒	度	分	秒		
1	桃園縣	高原	121	12	24.8	24	50	22.3	301	25.5
2	宜蘭縣	美城	121	47	21	24	46	43.5	5	22.5
3	宜蘭縣	冬山	121	47	41.67	24	37	54	10	39
4	新竹縣	六家	121	1	51.6	24	49	7.1	35	39
5	花蓮縣	吉安	121	34	39	23	58	31	31	25.5
6	苗栗縣	大埔	120	54	20	24	42	55	60	30
7	台中市	大肚山	120	36	6	24	12	56	296	35
8	彰化縣	溪湖	120	28	44	23	58	20	19	24
9	雲林縣	莿桐	120	30	11	23	45	42	41	27
10	嘉義市	金龍	120	28	15.3	23	28	43.5	79	73.5
11	嘉義縣	六腳	120	14	42	23	30	32	5	12
12	台南市	嘉民	120	23	0	23	23	1	30	28
13	高雄市	茄萣	120	11	5	22	54	34	6	24
14	高雄市	大坪頂	120	23	29	22	33	35	76	30.5
15	屏東縣	泰山	120	36	32	22	47	7	66	31.5
16	屏東縣	南州	120	30	38.3	22	29	37.1	8	24
17	屏東縣	後村	120	27	38	22	34	37.1	12	28.5
18	台東縣	馬蘭	121	7	50	22	46	27	27	37.5
19	澎湖縣	澎南	119	35	39	23	31	33	8	27
20	澎湖縣	馬公	119	33	52.59	23	33	46.79	24	68
21	金門	金湖	118	25	1.7	24	26	27.6	25	23

表 4.19 高山區電波監測站資料表。

項次	縣市別	站名	東經(WGS-84)			北緯(WGS-84)			地形高度 (m)	建築物+鐵塔高度(m)
			度	分	秒	度	分	秒		
1	新北市	次格山	121	36	17.7	24	57	46.7	508	42
2	新北市	大棟山	121	23	3.3	24	59	44.3	378	26
3	新竹縣	尖筆窩山	121	8	55.2	24	40	11	918	30.5
4	花蓮縣	月眉山	121	32	21	23	49	10.5	389	26
5	苗栗縣	九華山	120	45	20	24	26	53	379	26
6	南投縣	鳳鳴	120	38	48	23	49	7	427	31
7	嘉義縣	尖凍山	120	36	44	23	28	41	1039	27
8	高雄市	東照山	120	23	42	22	41	21	132	33.5
9	高雄市	枕頭山	120	31	6	23	2	37	717	27
10	台東縣	利嘉山	121	3	15	22	47	23	660	27

表 4.20 臺灣本島之各監測站的涵蓋面積比率統計表。

項次	監測站名	頻率 (MHz)	發射機 EIRP 值佔全臺灣本島之涵蓋面積比率						
			10~20dBm	20~30dBm	30~40dBm	40~50dBm	50~60dBm	60~70dBm	總涵蓋率
1	台北市	146.5	0.017%	0.051%	0.224%	0.542%	0.907%	2.507%	4.248%
	士林	445	0.004%	0.027%	0.093%	0.309%	0.57%	1.094%	2.097%
2	新北市	146.5	0.109%	0.945%	4.153%	5.949%	5.23%	6.09%	22.491%
	次格山	445	0.034%	0.262%	1.708%	5.352%	5.281%	4.917%	17.555%
3	新北市	146.5	0.07%	0.642%	2.65%	6.013%	6.331%	6.411%	22.129%
	大棟山	445	0.025%	0.164%	1.175%	3.505%	6.298%	5.788%	16.955%
4	桃園縣	146.5	0.06%	0.463%	2.242%	4.88%	6.563%	8.905%	23.121%
	高原	445	0.022%	0.128%	0.934%	3.137%	4.963%	7.031%	16.215%
5	宜蘭縣	146.5	0.009%	0.019%	0.068%	0.162%	0.244%	0.466%	0.967%
	美城	445	0%	0.016%	0.031%	0.091%	0.18%	0.236%	0.553%
6	宜蘭縣	146.5	0.009%	0.031%	0.121%	0.237%	0.365%	0.877%	1.64%
	冬山	445	0%	0.018%	0.052%	0.154%	0.248%	0.382%	0.854%
7	新竹縣	146.5	0.017%	0.061%	0.213%	0.429%	0.478%	0.75%	1.948%
	六家	445	0%	0.034%	0.098%	0.289%	0.404%	0.489%	1.314%
8	新竹縣	146.5	0.145%	1.328%	6.115%	8.056%	9.881%	10.483%	36.026%
	尖筆窩	445	0.043%	0.357%	2.789%	7.672%	7.36%	9.394%	27.616%

9	花蓮縣	146.5	0.015%	0.049%	0.137%	0.152%	0.215%	0.539%	1.107%
	吉安	445	0%	0.029%	0.077%	0.149%	0.137%	0.232%	0.624%
10	花蓮縣	146.5	0.105%	0.63%	1.878%	4.752%	7.722%	13.058%	28.158%
	月眉山	445	0.03%	0.231%	0.947%	2.587%	5.593%	7.794%	17.182%
11	苗栗縣	146.5	0.022%	0.094%	0.299%	0.781%	1.82%	4.189%	7.205%
	大埔	445	0.009%	0.037%	0.148%	0.398%	0.931%	2.196%	3.719%
12	苗栗縣	146.5	0.086%	0.721%	2.003%	4.342%	7.213%	11.245%	25.623%
	九華山	445	0.027%	0.2%	1.138%	2.554%	4.941%	7.625%	16.486%
13	台中市	146.5	0.047%	0.227%	1.122%	2.762%	4.464%	6.792%	15.414%
	豐原	445	0.017%	0.078%	0.424%	1.65%	2.976%	4.924%	10.07%
14	台中市	146.5	0.058%	0.519%	1.919%	4.449%	7.446%	11.138%	25.537%
	大肚山	445	0.021%	0.131%	0.994%	2.432%	5.183%	7.764%	16.525%
15	彰化縣	146.5	0.012%	0.039%	0.164%	0.644%	1.191%	1.875%	3.926%
	溪湖	445	0%	0.024%	0.067%	0.245%	0.784%	1.224%	2.343%
16	南投縣	146.5	0.104%	0.892%	3.846%	9.558%	11.1%	15.68%	41.192%
	鳳鳴	445	0.031%	0.253%	1.611%	5.517%	10.083%	10.649%	28.143%
17	雲林縣	146.5	0.016%	0.056%	0.257%	0.942%	2.245%	4.627%	8.143%
	莿桐	445	0%	0.032%	0.097%	0.393%	1.154%	2.722%	4.397%
18	嘉義市	146.5	0.028%	0.143%	0.707%	1.956%	4.673%	5.461%	12.967%
	金龍	445	0.012%	0.046%	0.263%	0.983%	2.476%	5.055%	8.835%
19	嘉義縣	146.5	0%	0.026%	0.065%	0.225%	0.635%	0.981%	1.932%
	六腳	445	0%	0.015%	0.031%	0.096%	0.298%	0.677%	1.117%
20	嘉義縣	146.5	0.151%	1.509%	9.237%	13.322%	14.026%	18.505%	56.767%
	尖凍山	445	0.046%	0.37%	3.441%	12.719%	11.482%	13.013%	41.072%
21	台南市	146.5	0.015%	0.051%	0.237%	0.815%	1.94%	4.005%	7.062%
	嘉民	445	0%	0.029%	0.089%	0.357%	0.979%	2.31%	3.765%
22	台南市	146.5	0.018%	0.057%	0.23%	0.891%	2.162%	4.903%	8.261%
	健康	445	0.009%	0.025%	0.089%	0.391%	1.088%	2.623%	4.224%
23	高雄市	146.5	0.01%	0.025%	0.081%	0.204%	0.454%	1.125%	1.9%
	茄萣	445	0%	0.02%	0.037%	0.108%	0.244%	0.501%	0.909%
24	高雄市	146.5	0.03%	0.13%	0.728%	2.239%	3.926%	6.971%	14.024%
	東照山	445	0.012%	0.048%	0.237%	1.075%	2.575%	4.542%	8.489%
25	高雄市	146.5	0.109%	0.915%	4.229%	10.319%	10.74%	12.724%	39.05%
	枕頭山	445	0.037%	0.265%	1.709%	6.086%	10.743%	9.912%	28.752%
26	高雄市	146.5	0.023%	0.085%	0.404%	1.018%	2.331%	5.24%	9.101%
	大坪頂	445	0.01%	0.035%	0.143%	0.596%	1.177%	2.839%	4.802%
27	屏東縣	146.5	0.021%	0.086%	0.416%	1.33%	3.68%	3.9%	9.439%

	泰山	445	0.007%	0.033%	0.15%	0.602%	1.745%	4.276%	6.815%
28	屏東縣	146.5	0.01%	0.03%	0.118%	0.409%	0.639%	1.22%	2.426%
	南州	445	0%	0.021%	0.051%	0.175%	0.465%	0.672%	1.383%
29	屏東縣	146.5	0.012%	0.039%	0.161%	0.621%	1.1%	2.148%	4.081%
	後村	445	0%	0.024%	0.065%	0.241%	0.732%	1.16%	2.223%
30	屏東縣	146.5	0.017%	0.059%	0.274%	0.951%	2.26%	3.849%	7.41%
	崇明	445	0%	0.033%	0.102%	0.422%	1.128%	2.549%	4.235%
31	台東縣	146.5	0.015%	0.044%	0.094%	0.153%	0.22%	0.627%	1.152%
	馬蘭	445	0%	0.03%	0.058%	0.108%	0.162%	0.244%	0.602%
32	台東縣	146.5	0.11%	0.631%	1.02%	2.351%	3.713%	6.295%	14.135%
	利嘉山	445	0.038%	0.236%	0.77%	1.282%	2.666%	3.946%	8.937%

※以上模擬的發射機高度為 2 公尺。

表 4.21 澎湖群島之各監測站的涵蓋面積比率統計表。

項次	監測站名	頻率(MHz)	發射機 EIRP 值佔全澎湖群島之涵蓋面積比率						
			10~20dBm	20~30dBm	30~40dBm	40~50dBm	50~60dBm	60~70dBm	總涵蓋率
1	澎湖縣	146.5	2.205%	5.105%	10.57%	20.023%	26.875%	22.452%	87.23%
	澎南	445	0.05%	2.37%	5.775%	14.285%	25.64%	28.334%	76.454%
2	澎湖縣	146.5	8.266%	16.679%	31.562%	34.57%	8.923%	0%	100%
	馬公	445	5.267%	8.67%	23.895%	27.54%	25.458%	9.17%	100%

※以上模擬的發射機高度為 2 公尺。

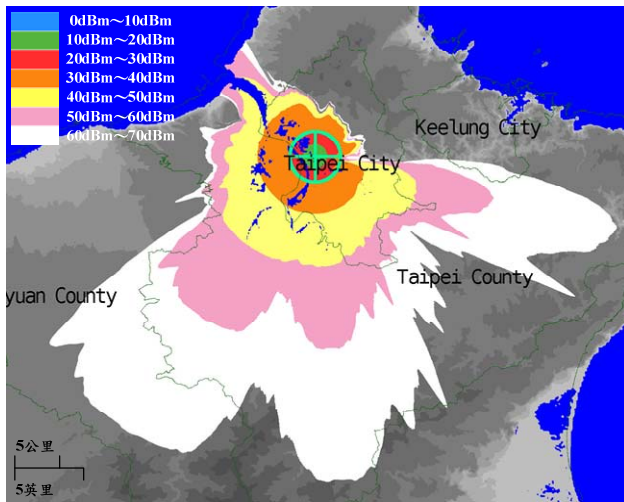
表 4.22 金門群島之監測站的涵蓋面積比率統計表。

項次	監測站名	頻率(MHz)	發射機 EIRP 值佔全金門群島之涵蓋面積比率						
			10~20dBm	20~30dBm	30~40dBm	40~50dBm	50~60dBm	60~70dBm	總涵蓋率
1	金門縣	146.5	3.063%	4.98%	8.124%	14.57%	19.234%	22.869%	72.84%
	金湖	445	2.726%	3.975%	6.236%	12.672%	15.89%	13.124%	54.623%

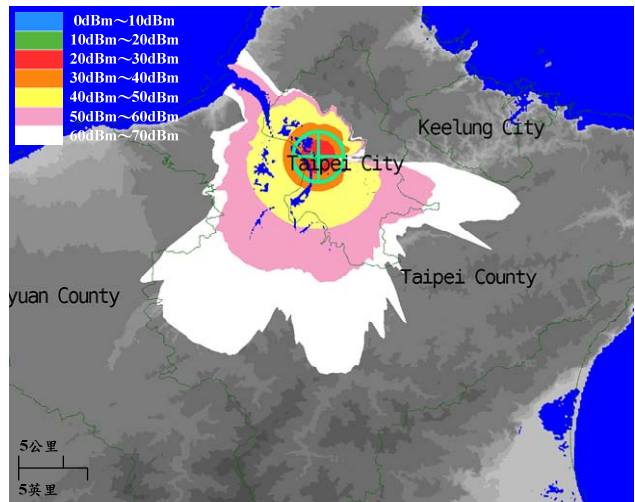
※以上模擬的發射機高度為 2 公尺。

4.4.1 都會區之監測站臺

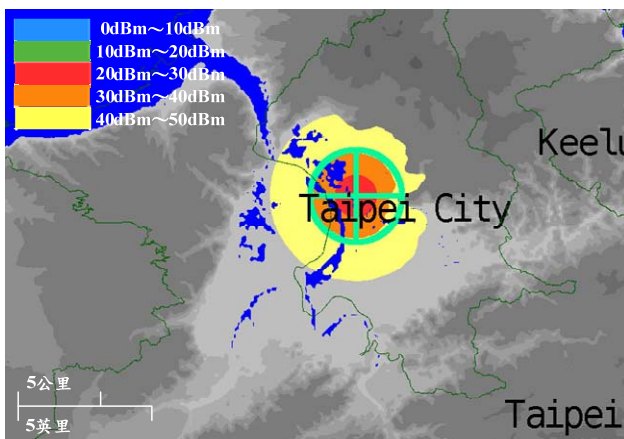
一、台北市士林站



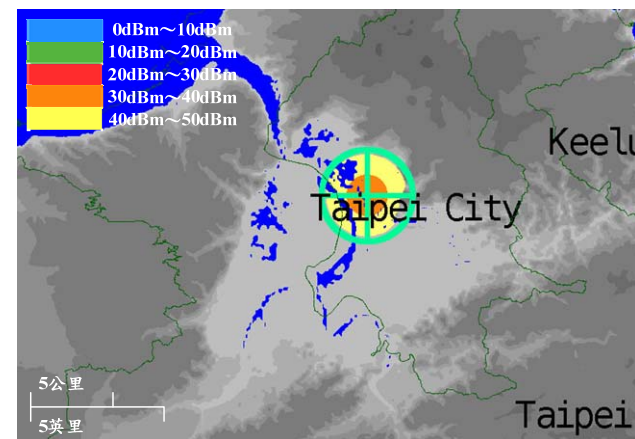
(a) 146.5 MHz



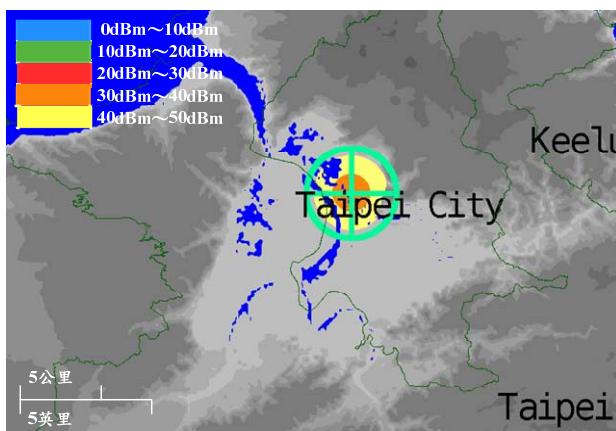
(b) 445 MHz



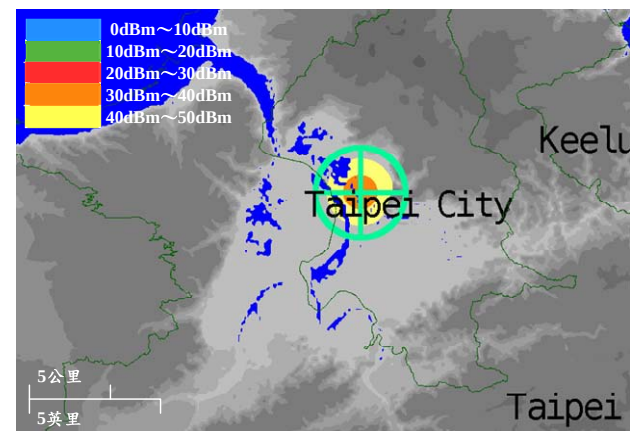
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



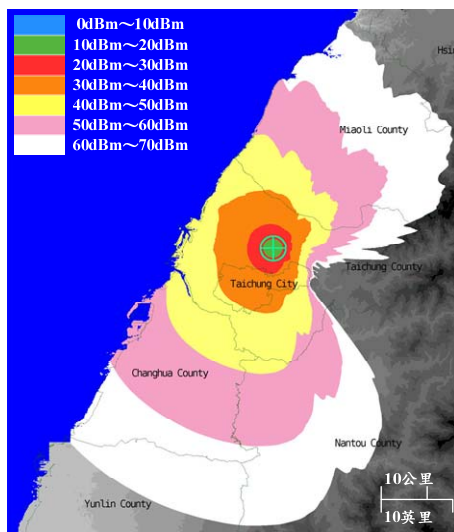
(e) 2430 MHz



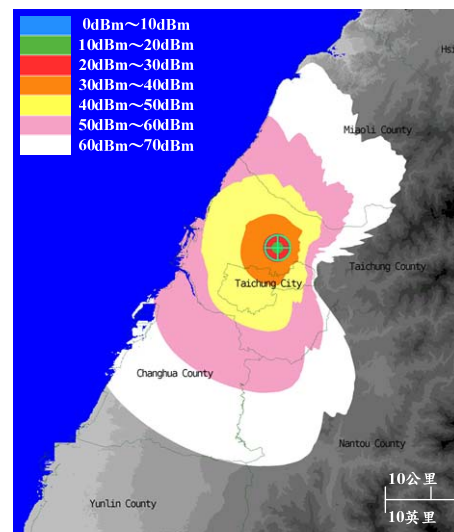
(f) 3470 MHz

圖 4.21 台北市士林站電波涵蓋模擬圖。

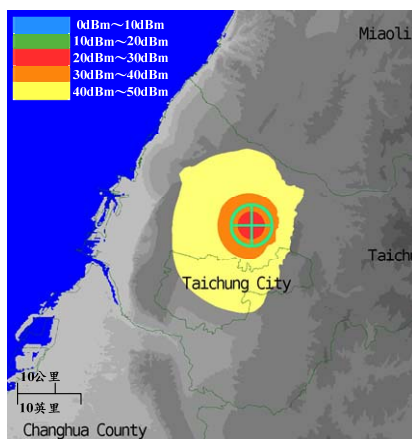
二、台中市豐原站



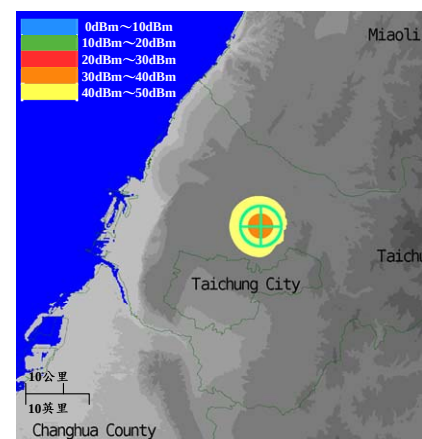
(a) 146.5 MHz



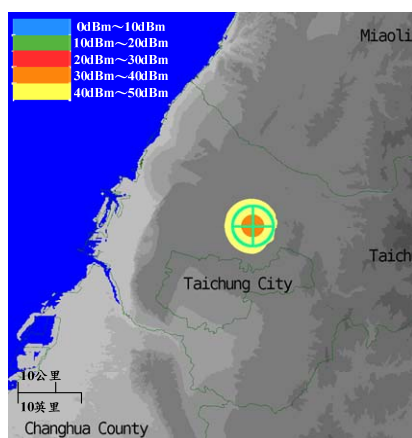
(b) 445 MHz



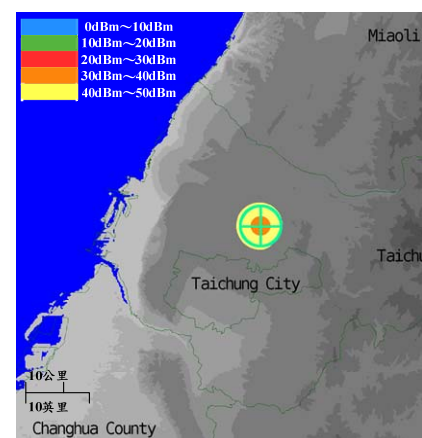
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



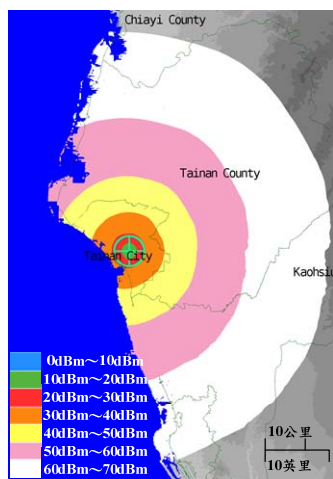
(e) 2430 MHz



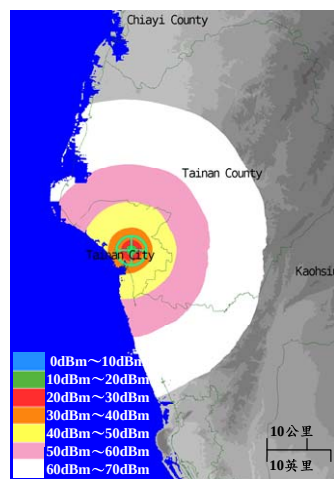
(f) 3470 MHz

圖 4.22 台中市豐原站電波涵蓋模擬圖。

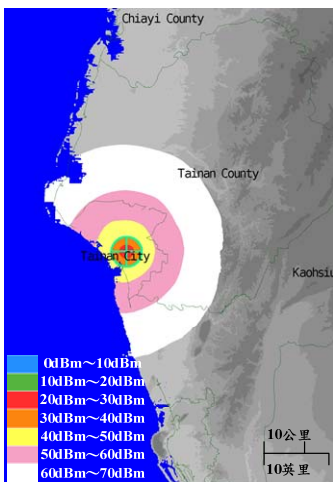
三、台南市健康站



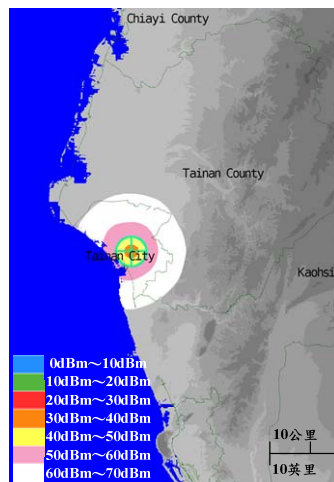
(a) 146.5 MHz



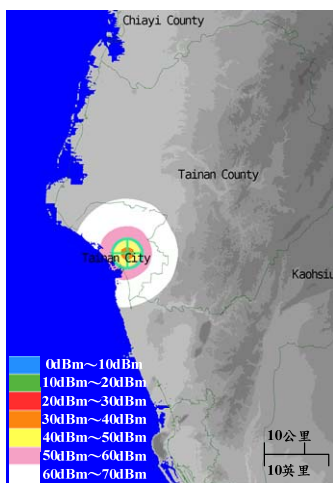
(b) 445 MHz



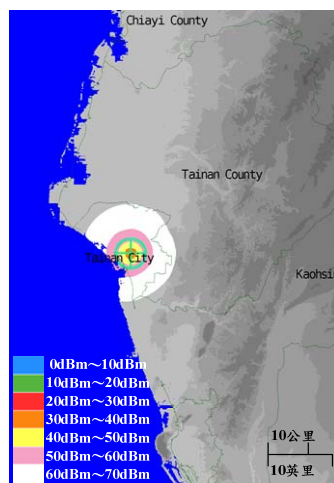
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



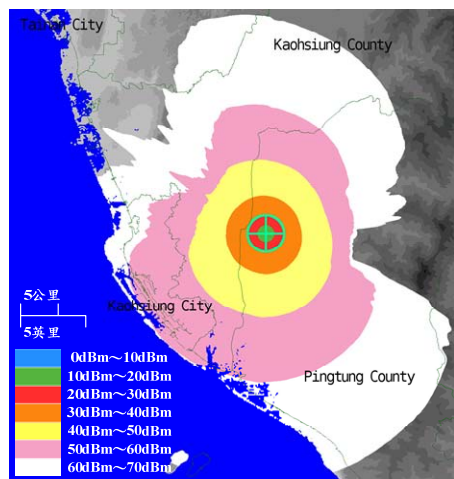
(e) 2430 MHz



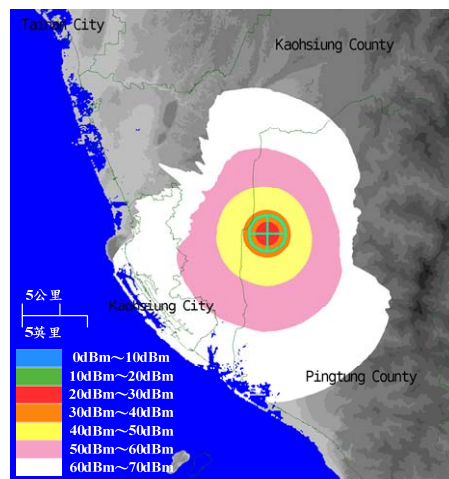
(f) 3470 MHz

圖 4.23 台南市健康站電波涵蓋模擬圖。

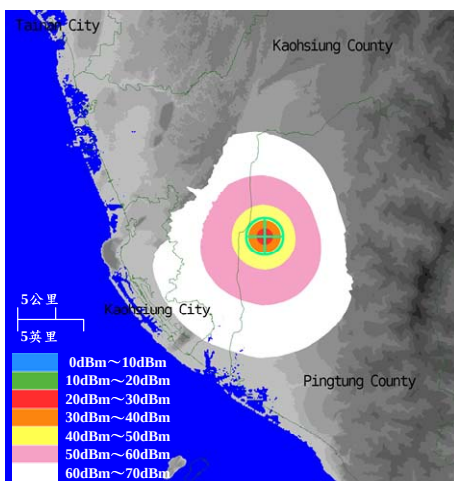
四、屏東縣崇明站



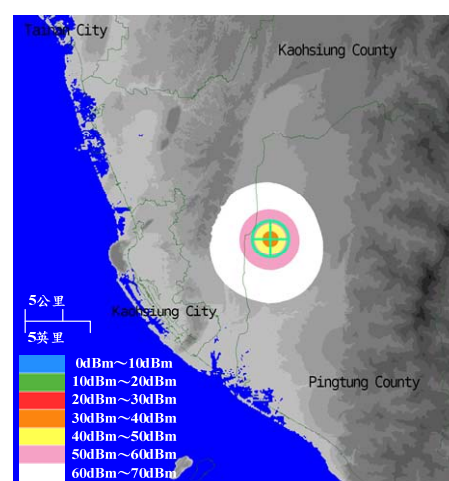
(a) 146.5 MHz



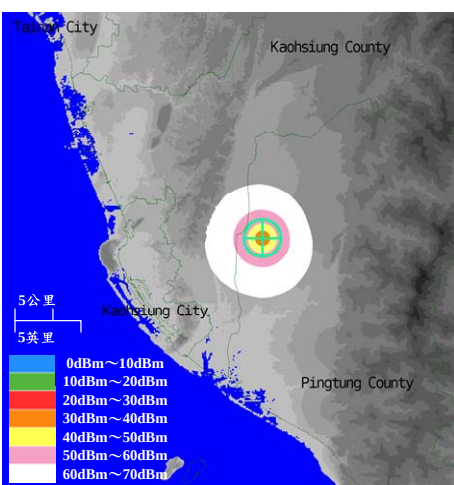
(b) 445 MHz



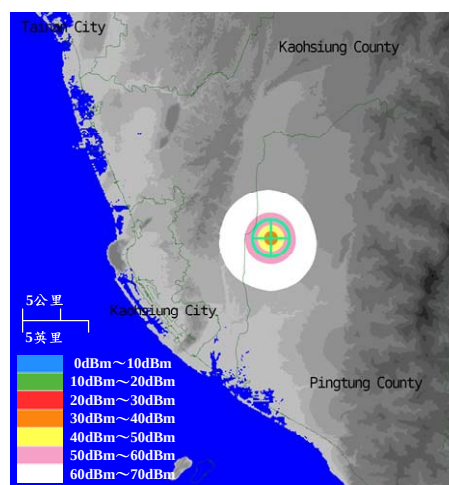
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



(e) 2430 MHz



(f) 3470 MHz

圖 4.24 屏東縣崇明站電波涵蓋模擬圖。

4.4.2 郊區之監測站臺

一、桃園縣高原站

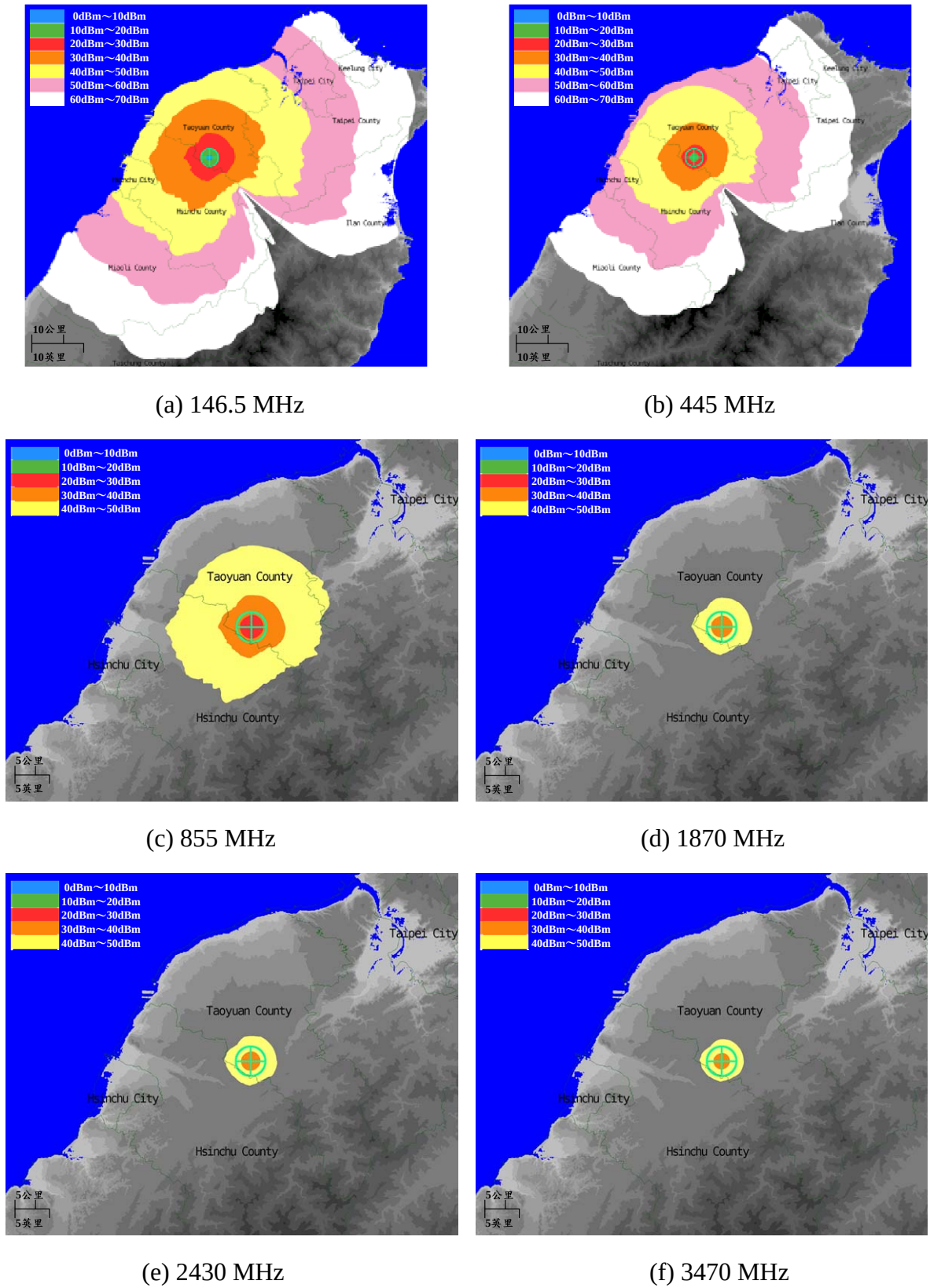
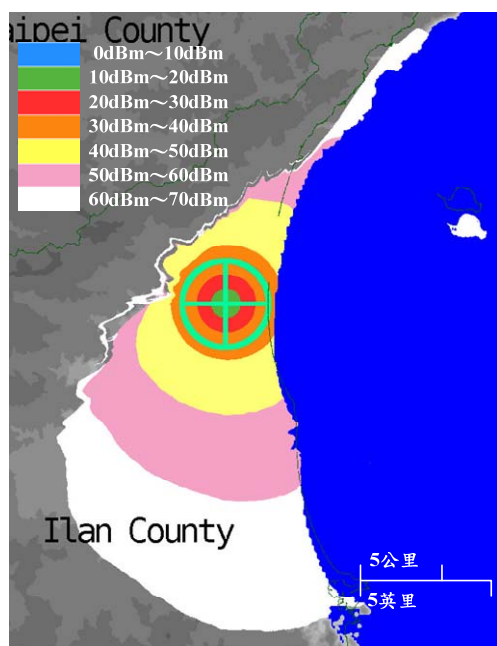
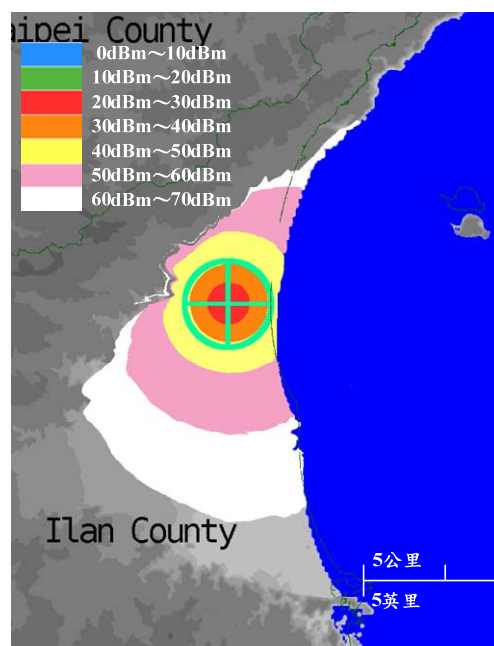


圖 4.25 桃園縣高原站電波涵蓋模擬圖。

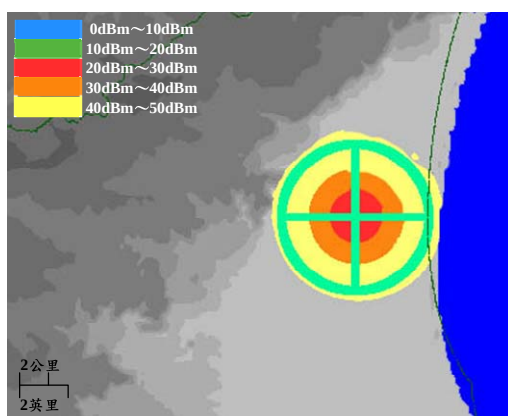
二、宜蘭縣美城站



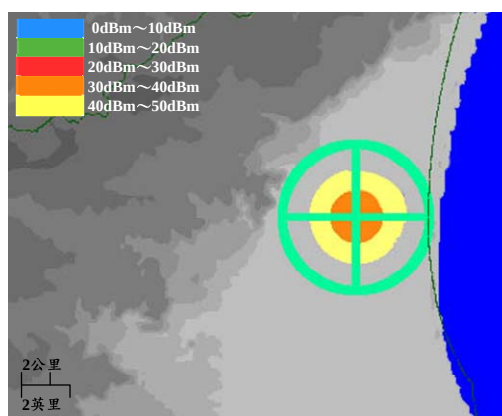
(a) 146.5 MHz



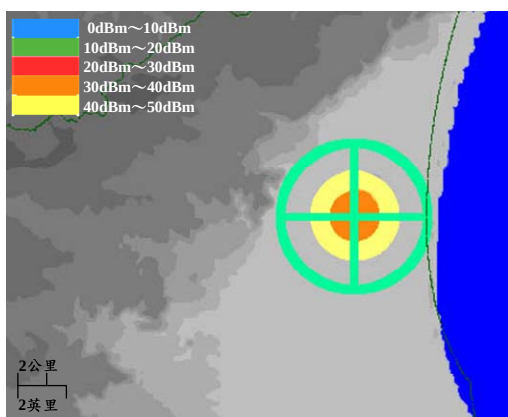
(b) 445 MHz



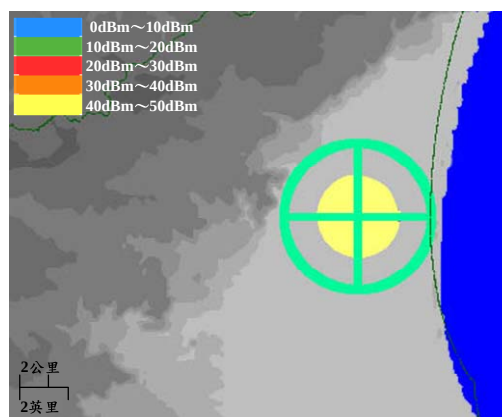
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



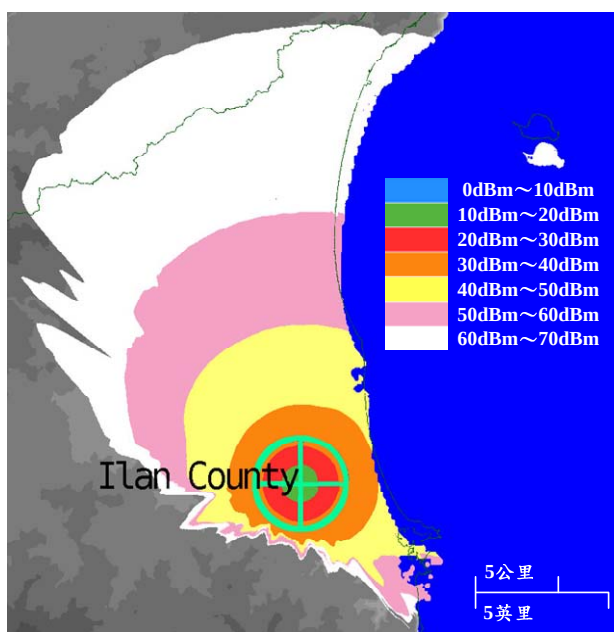
(e) 2430 MHz



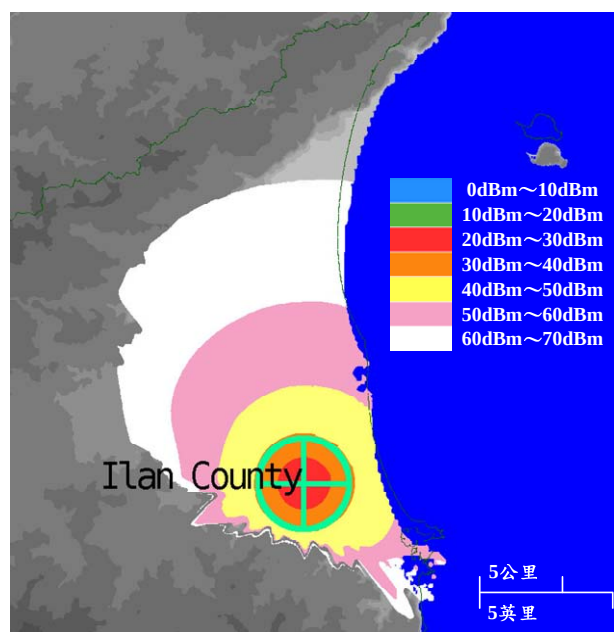
(f) 3470 MHz

圖 4.26 宜蘭縣美城站電波涵蓋模擬圖。

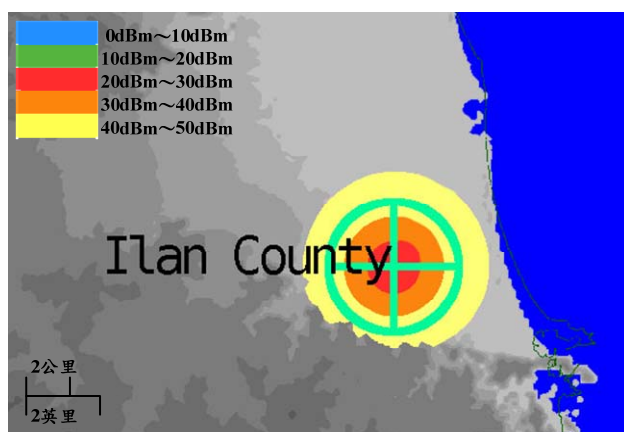
三、宜蘭縣冬山站



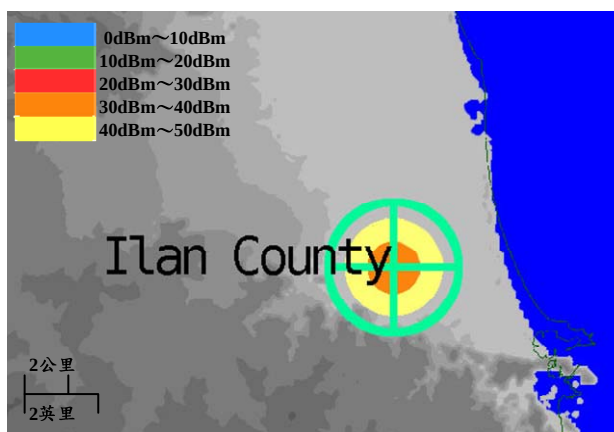
(a) 146.5 MHz



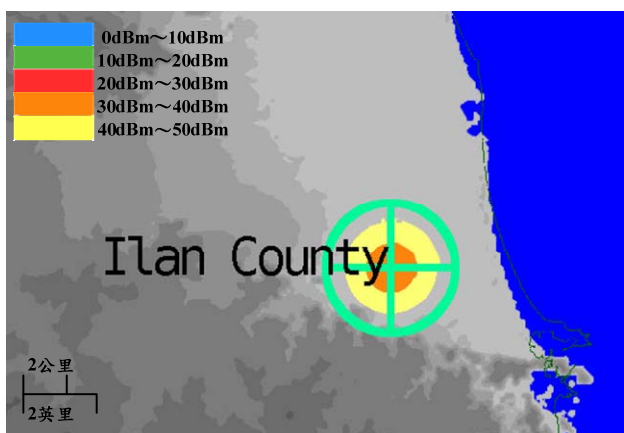
(b) 445 MHz



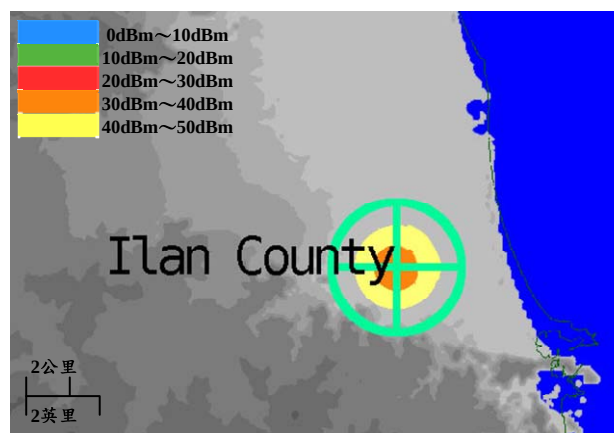
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



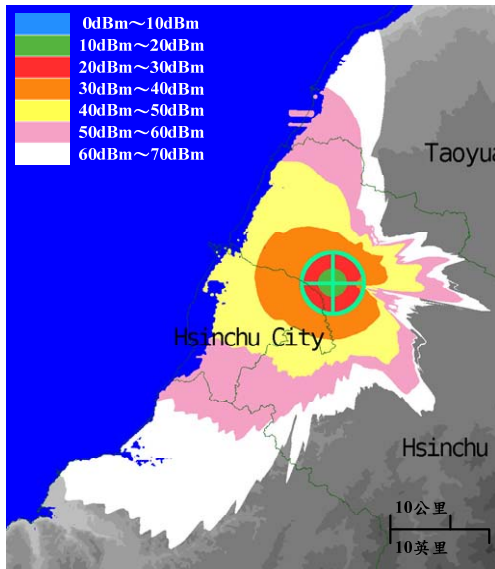
(e) 2430 MHz



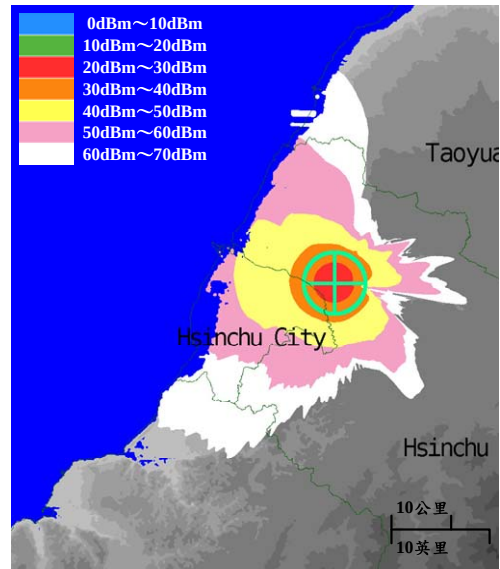
(f) 3470 MHz

圖 4.27 宜蘭縣冬山站電波涵蓋模擬圖。

四、新竹縣六家站



(a) 146.5 MHz



(b) 445 MHz



(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



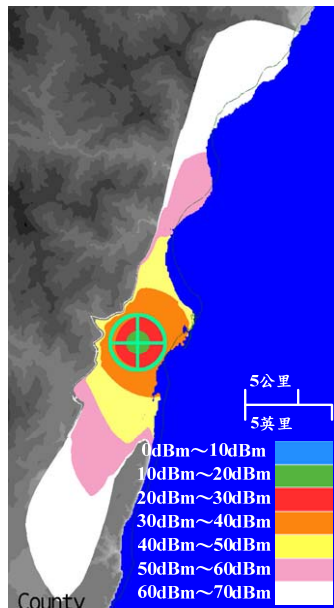
(e) 2430 MHz



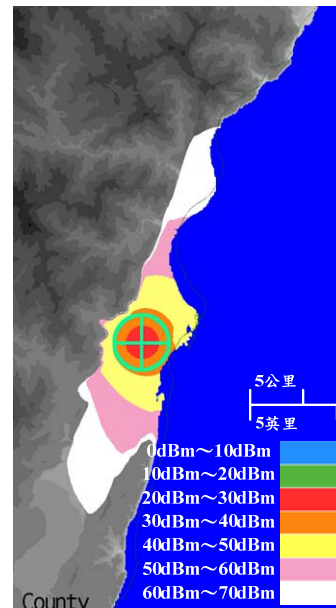
(f) 3470 MHz

圖 4.28 新竹縣六家站電波涵蓋模擬圖。

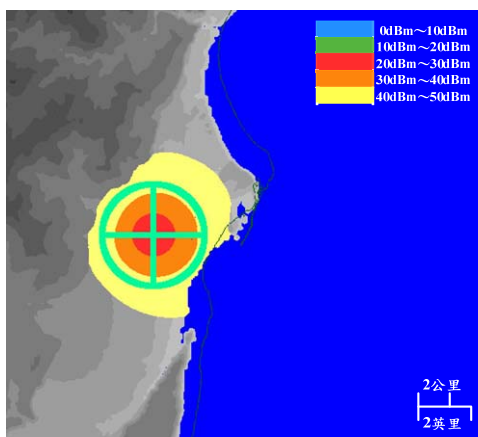
五、花蓮縣吉安站



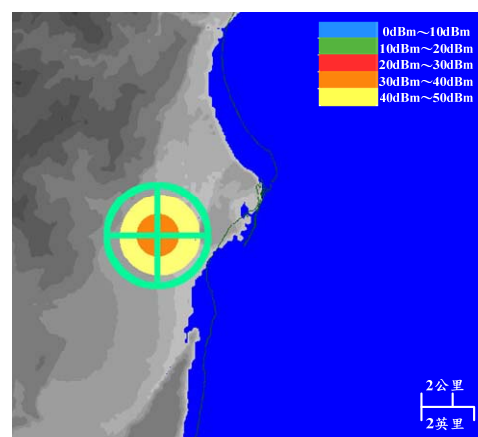
(a) 146.5 MHz



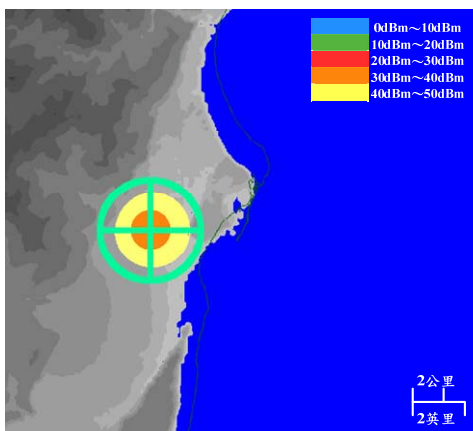
(b) 445 MHz



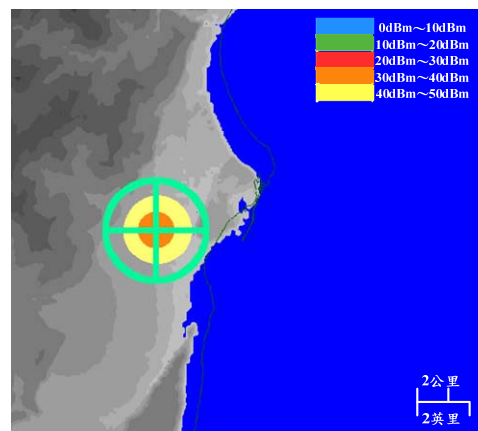
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



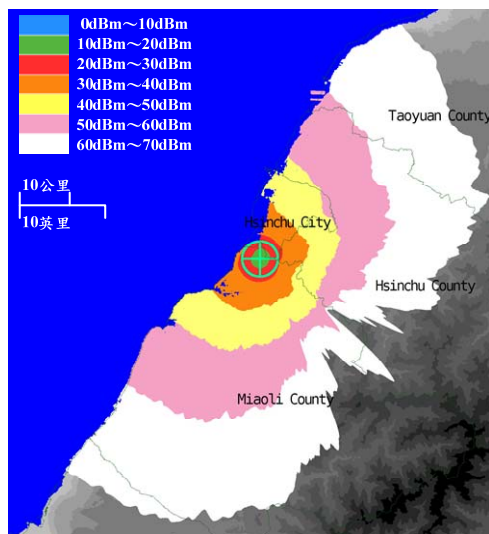
(e) 2430 MHz



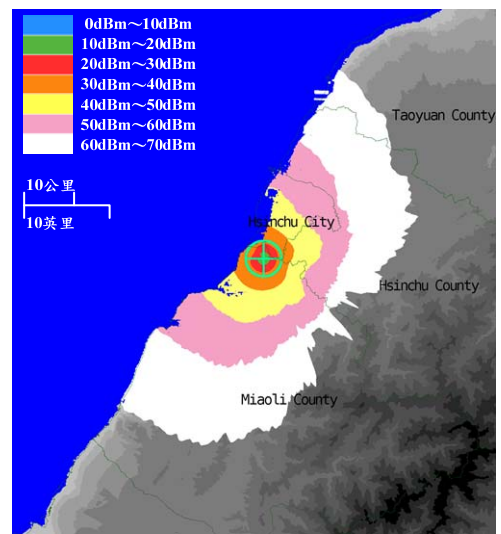
(f) 3470 MHz

圖 4.29 花蓮縣吉安站電波涵蓋模擬圖。

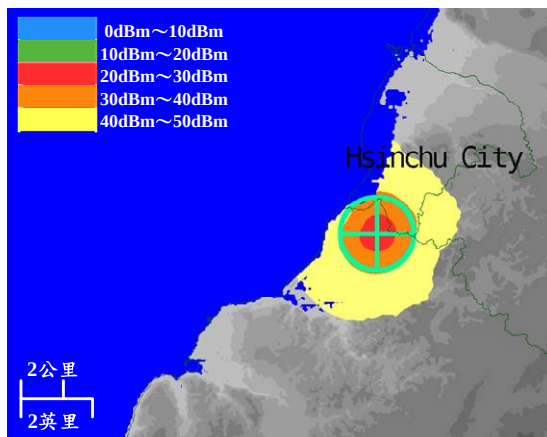
六、苗栗縣大埔站



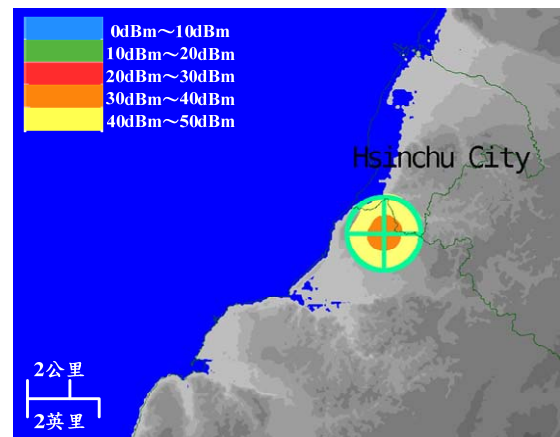
(a) 146.5 MHz



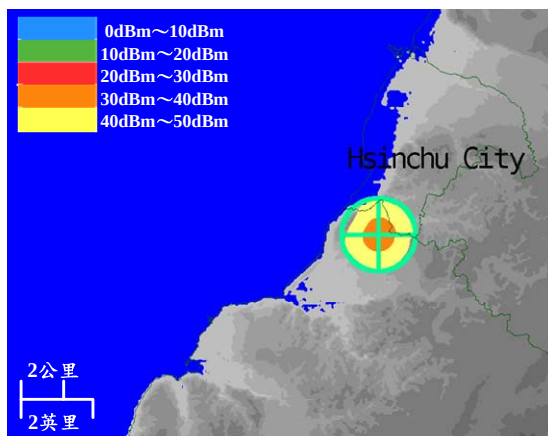
(b) 445 MHz



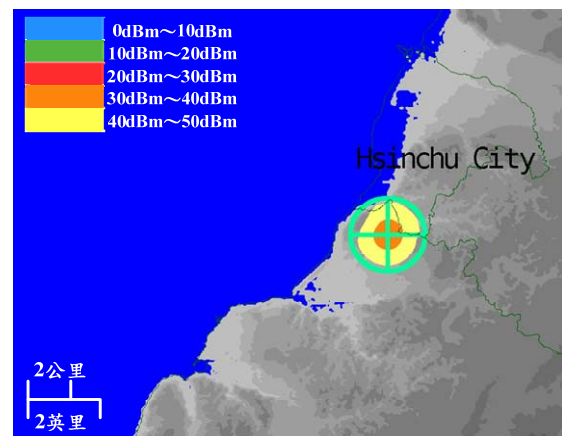
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



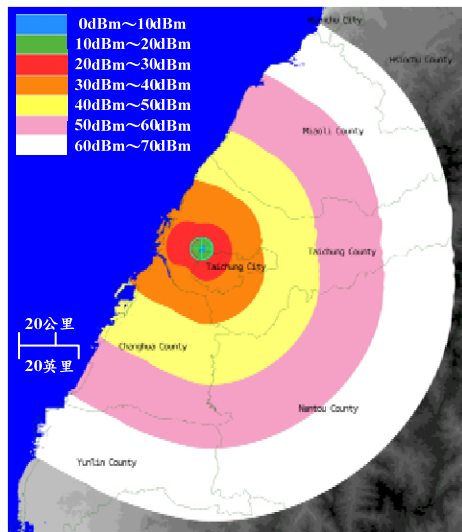
(e) 2430 MHz



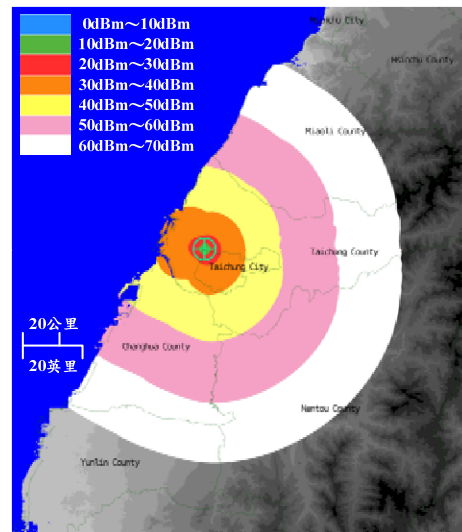
(f) 3470 MHz

圖 4.30 苗栗縣大埔站電波涵蓋模擬圖。

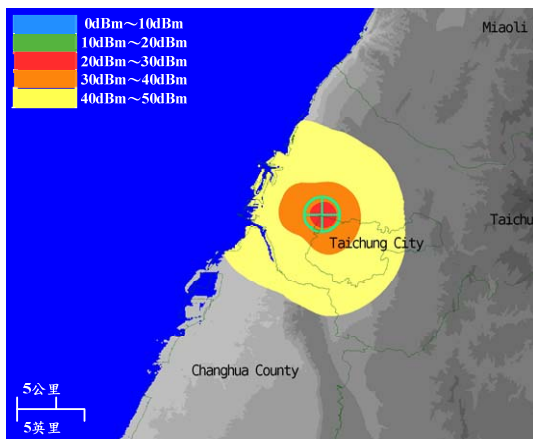
七、台中市大肚山站



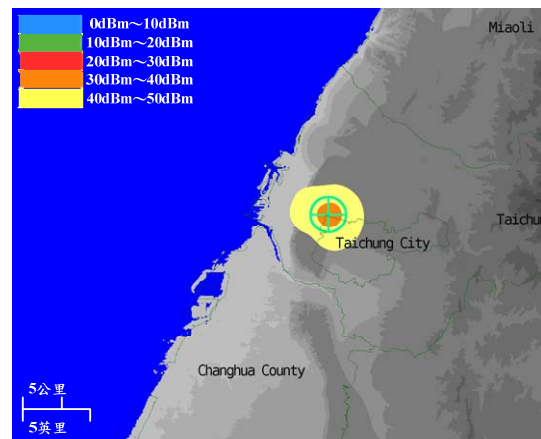
(a) 146.5 MHz



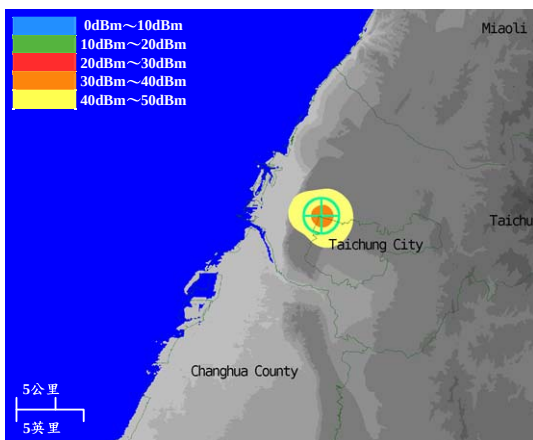
(b) 445 MHz



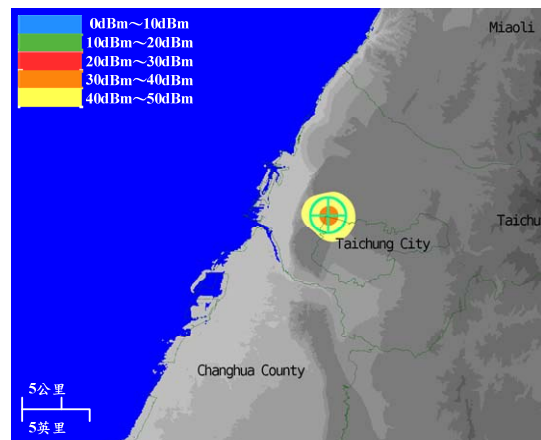
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



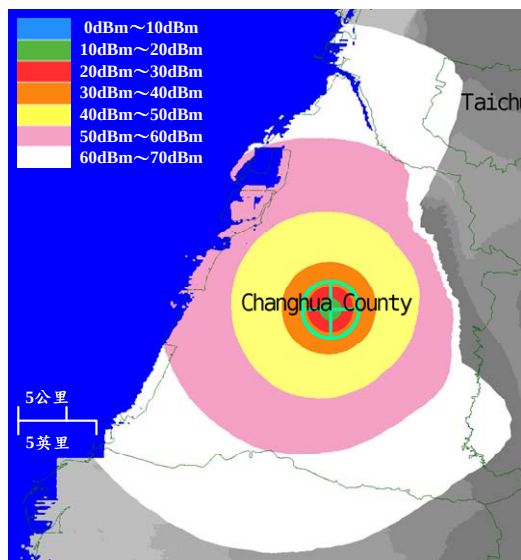
(e) 2430 MHz



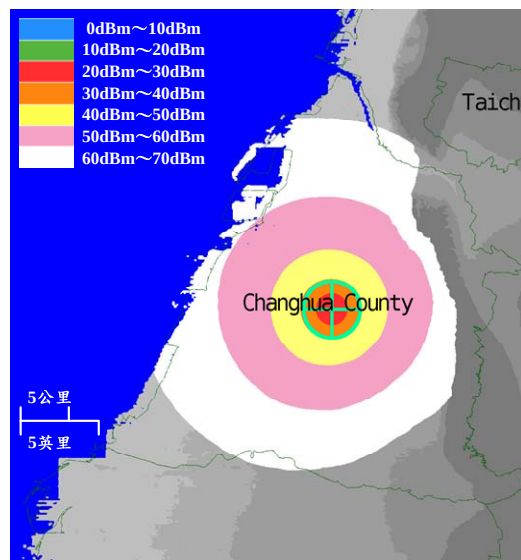
(f) 3470 MHz

圖 4.31 台中市大肚山站電波涵蓋模擬圖。

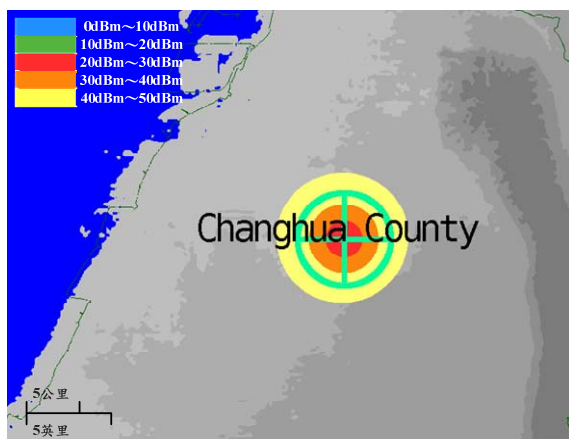
八、彰化縣溪湖站



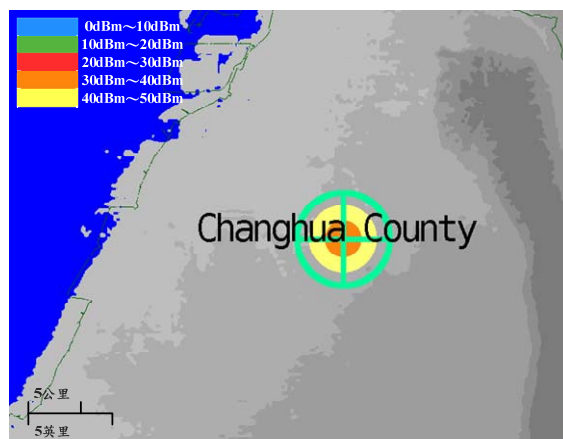
(a) 146.5 MHz



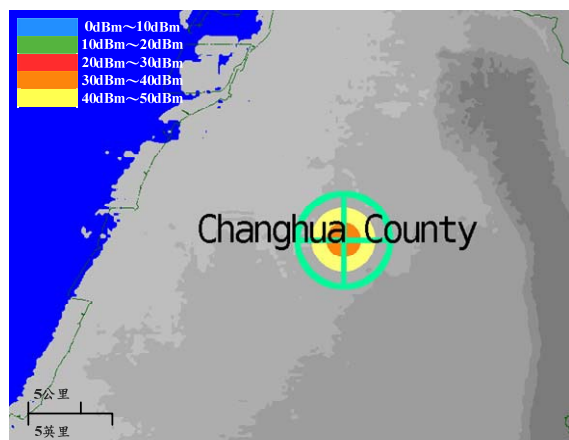
(b) 445 MHz



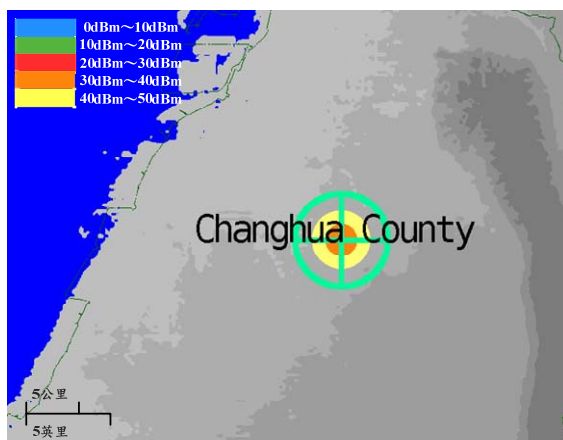
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



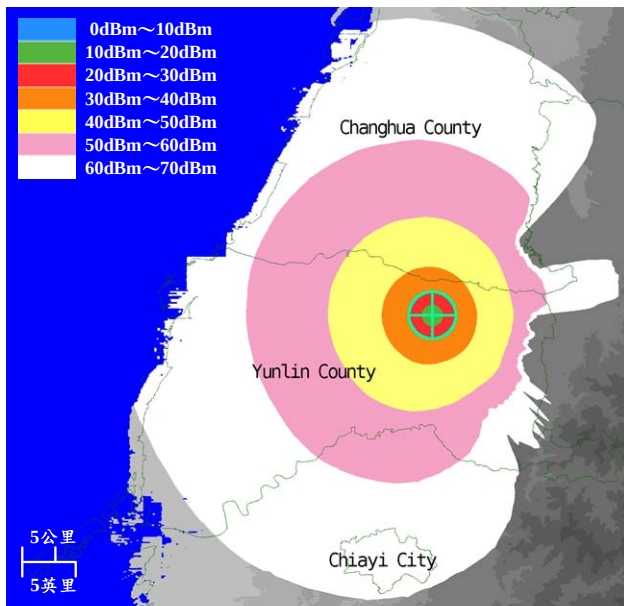
(e) 2430 MHz



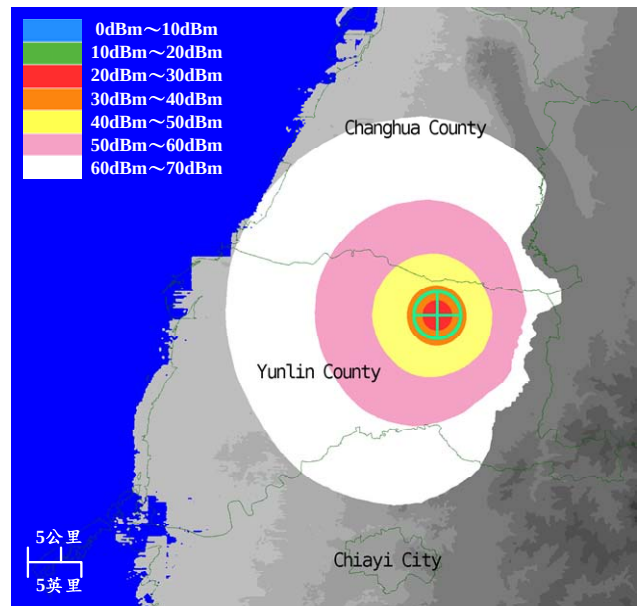
(f) 3470 MHz

圖 4.32 彰化縣溪湖站電波涵蓋模擬圖。

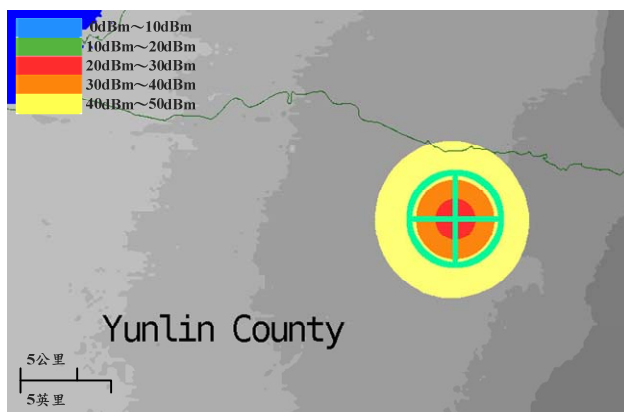
九、雲林縣莿桐站



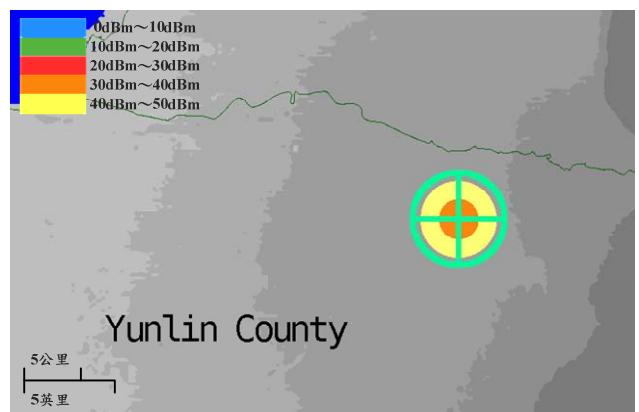
(a) 146.5 MHz



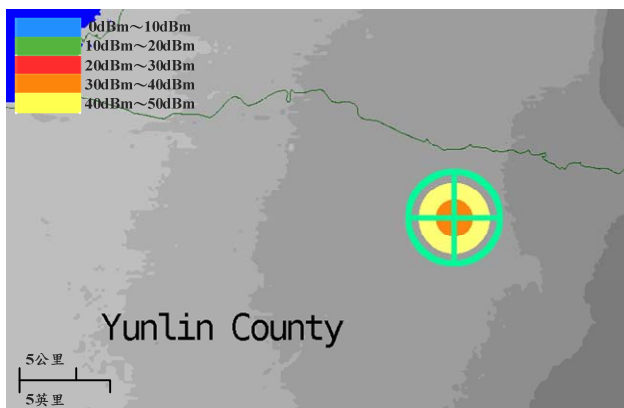
(b) 445 MHz



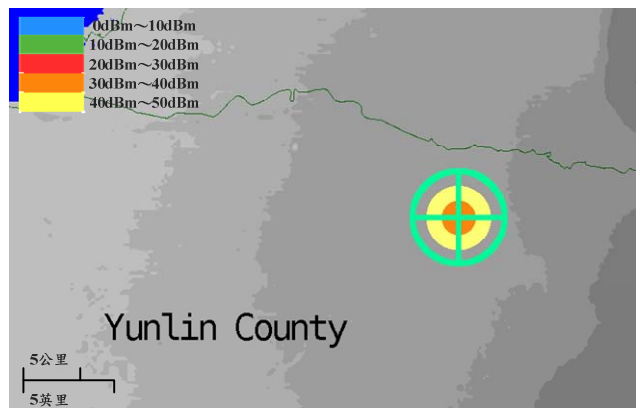
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



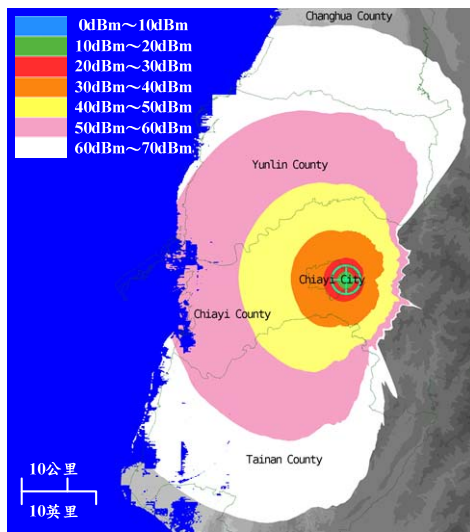
(e) 2430 MHz



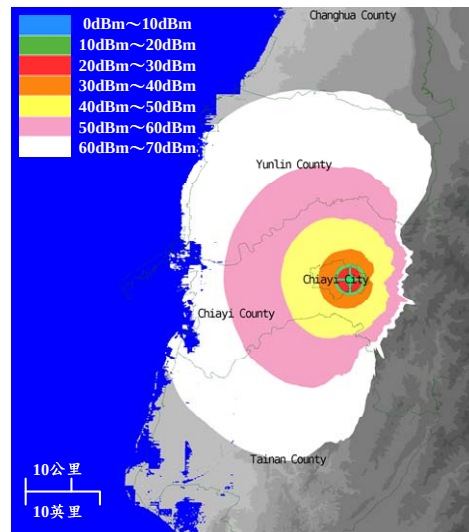
(f) 3470 MHz

圖 4.33 雲林縣莿桐站電波涵蓋模擬圖。

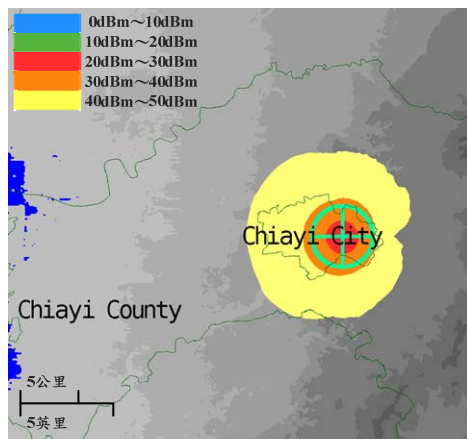
十、嘉義市金龍站



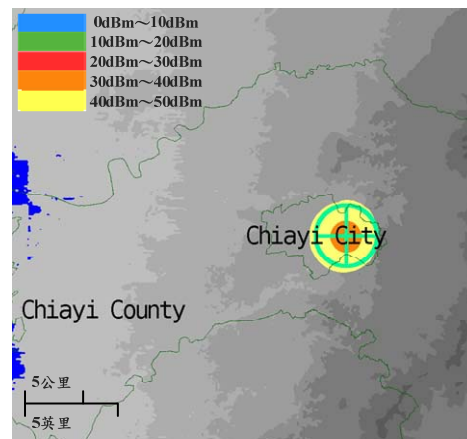
(a) 146.5 MHz



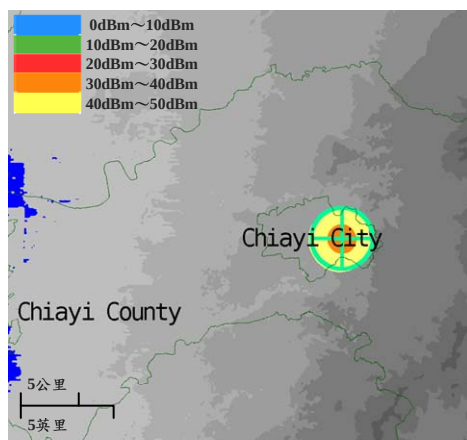
(b) 445 MHz



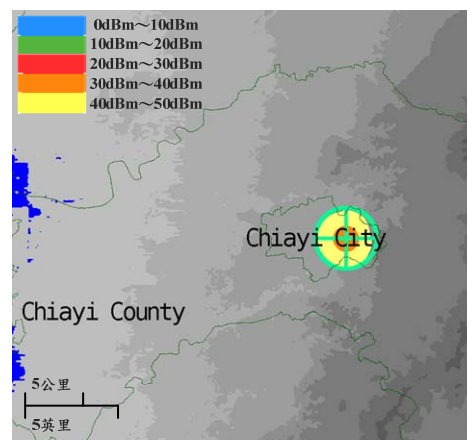
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



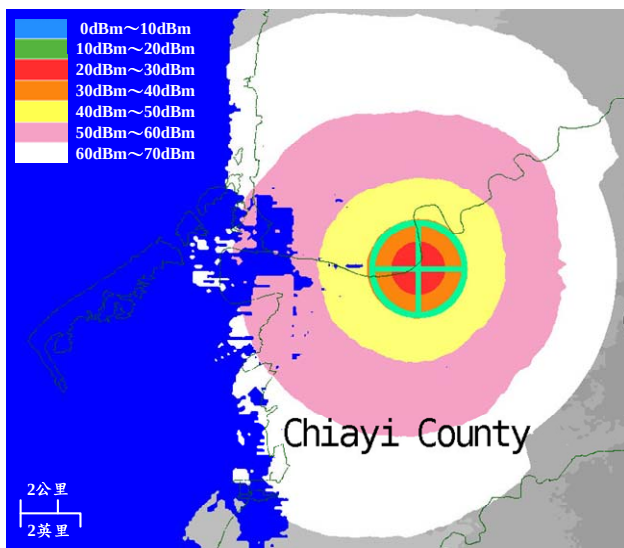
(e) 2430 MHz



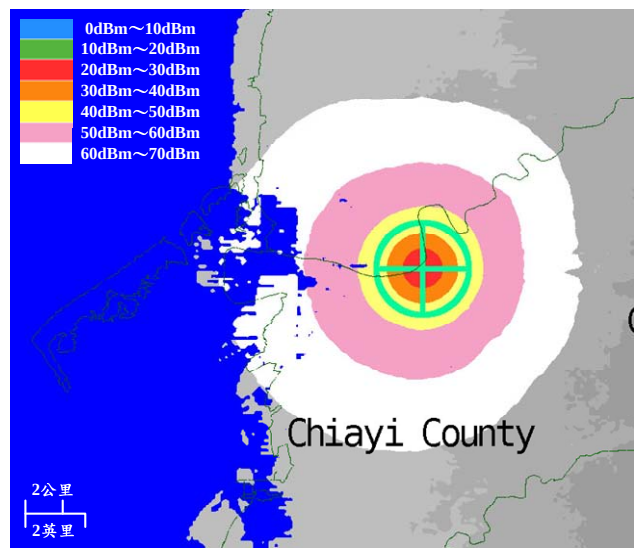
(f) 3470 MHz

圖 4.34 嘉義市金龍站電波涵蓋模擬圖。

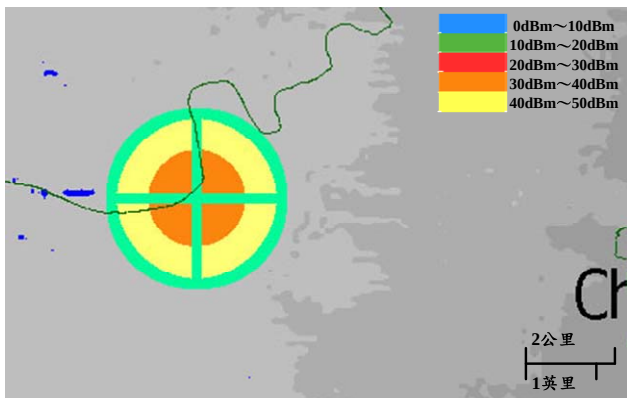
十一、嘉義縣六腳站



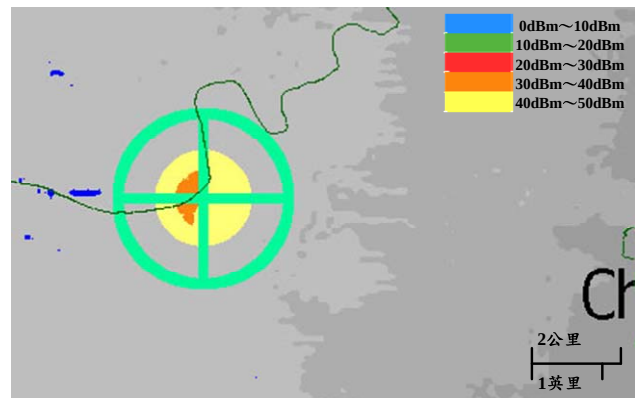
(a) 146.5 MHz



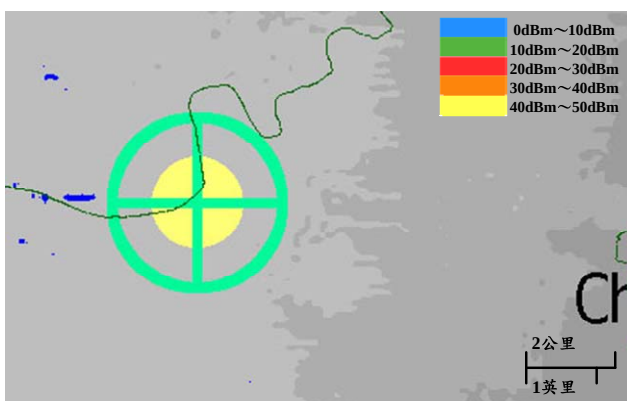
(b) 445 MHz



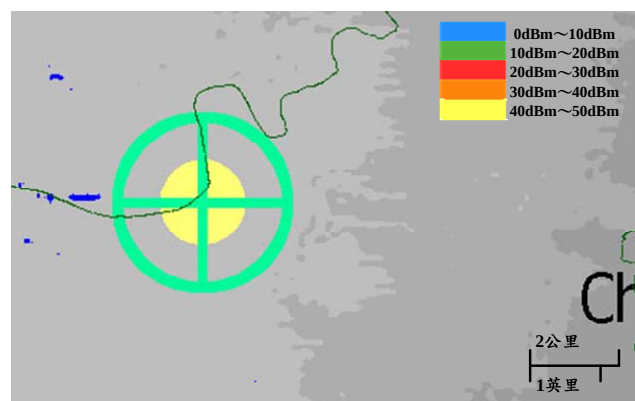
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



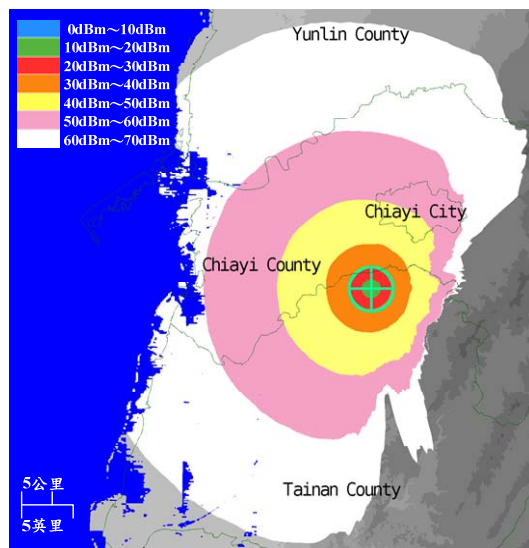
(e) 2430 MHz



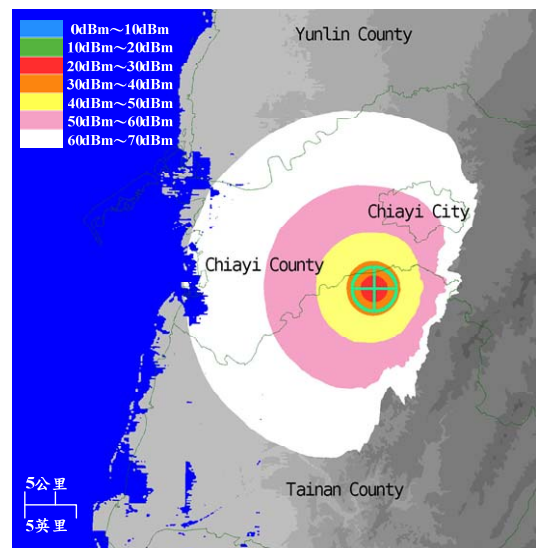
(f) 3470 MHz

圖 4.35 嘉義縣六腳站電波涵蓋模擬圖。

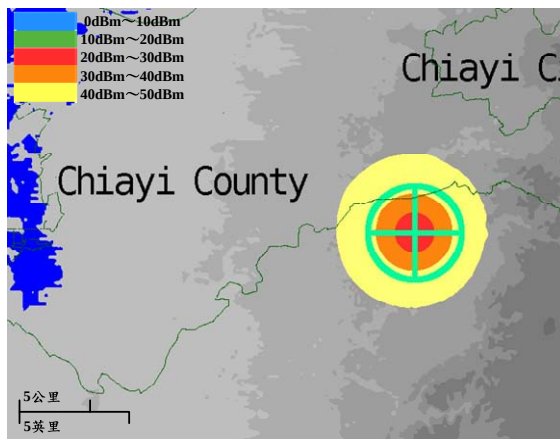
十二、台南市嘉民站



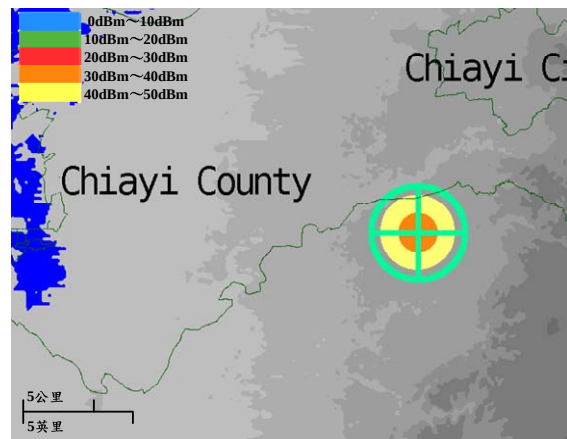
(a) 146.5 MHz



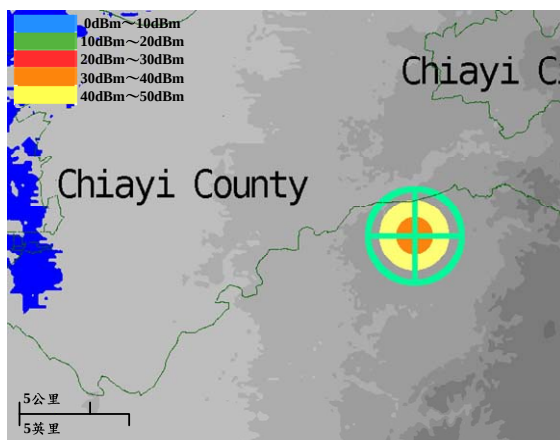
(b) 445 MHz



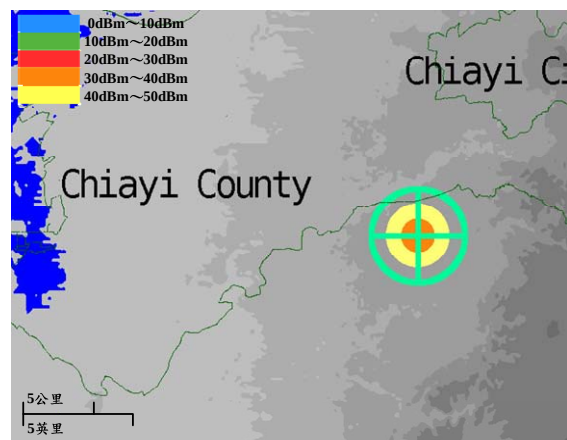
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



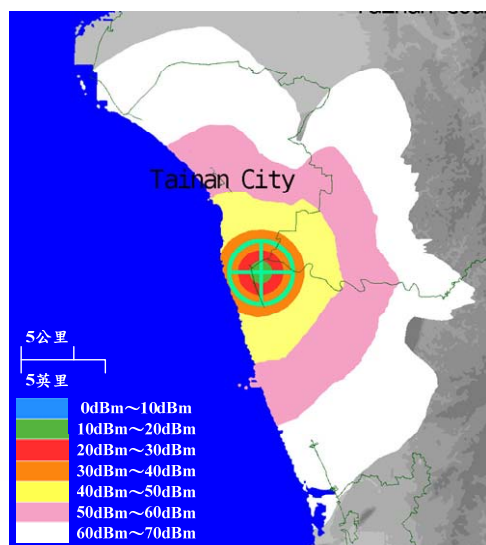
(e) 2430 MHz



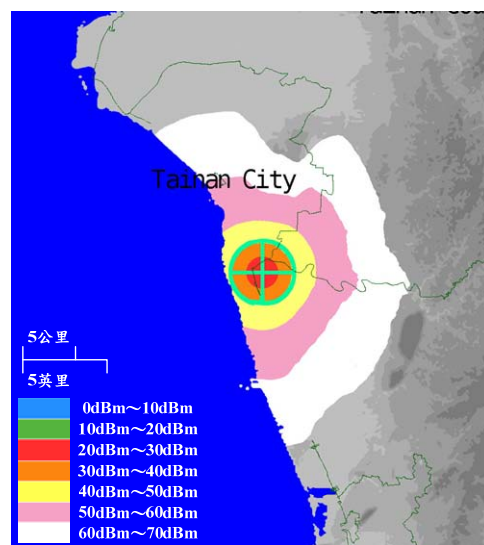
(f) 3470 MHz

圖 4.36 台南市嘉民站電波涵蓋模擬圖。

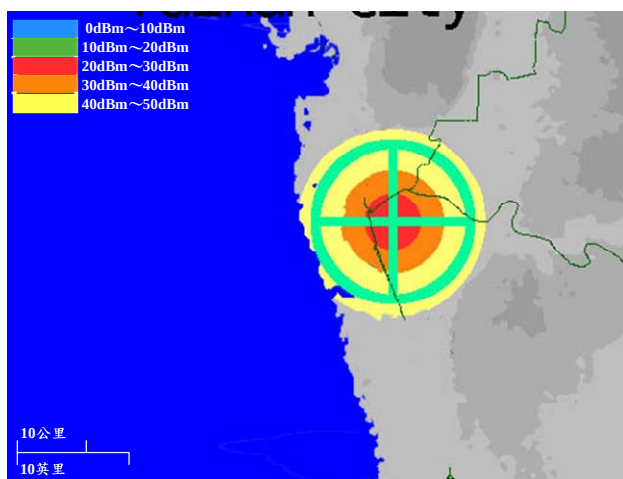
十三、高雄市茄萣站



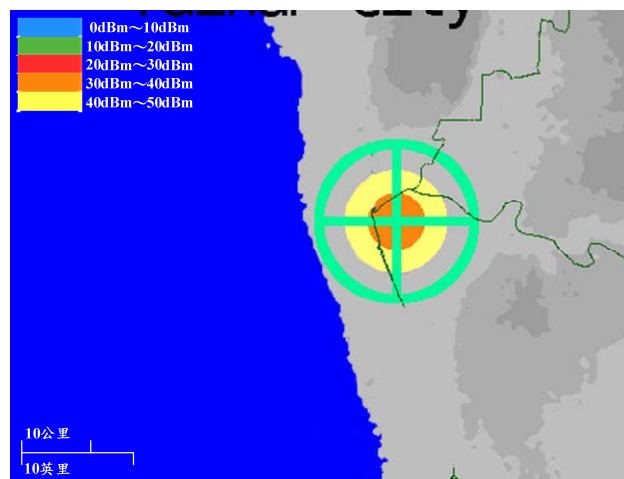
(a) 146.5 MHz



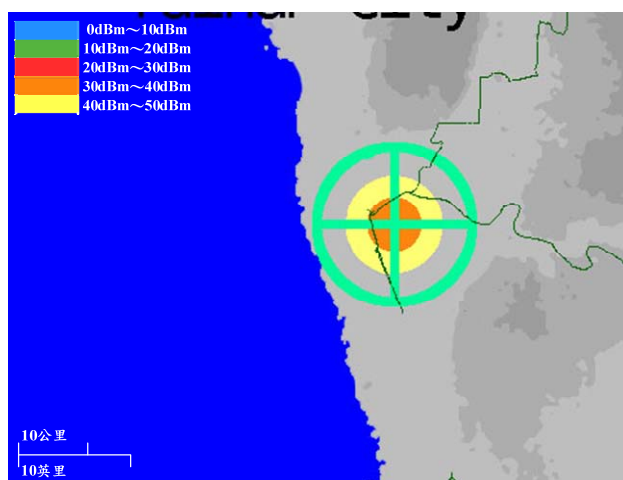
(b) 445 MHz



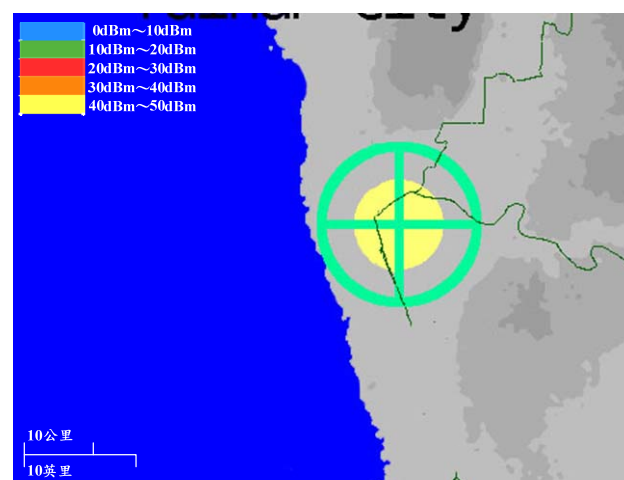
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



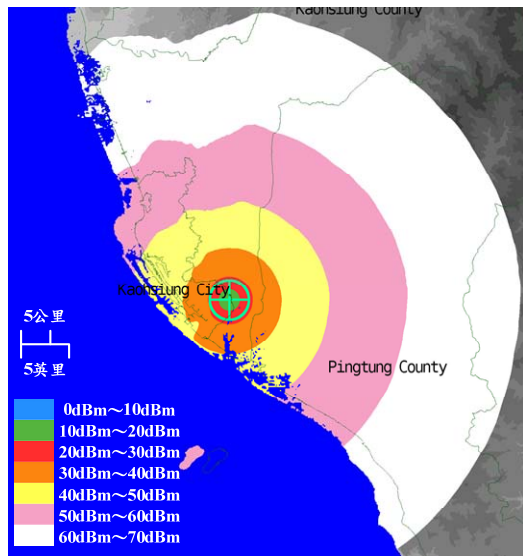
(e) 2430 MHz



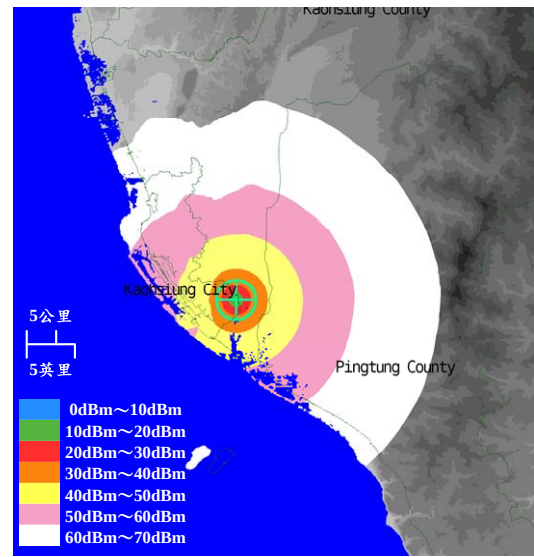
(f) 3470 MHz

圖 4.37 高雄市茄萣站電波涵蓋模擬圖。

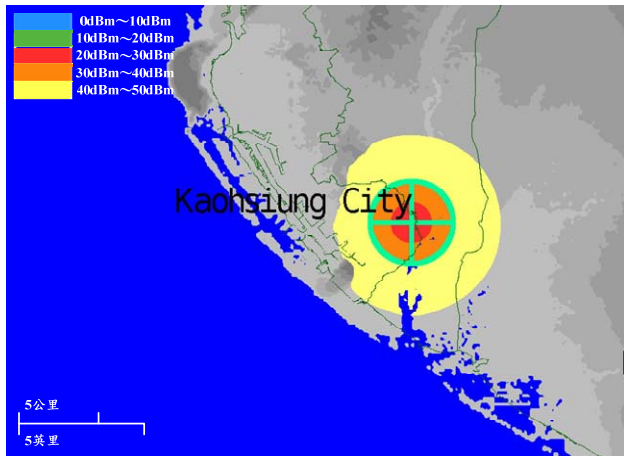
十四、高雄市大坪頂站



(a) 146.5 MHz



(b) 445 MHz



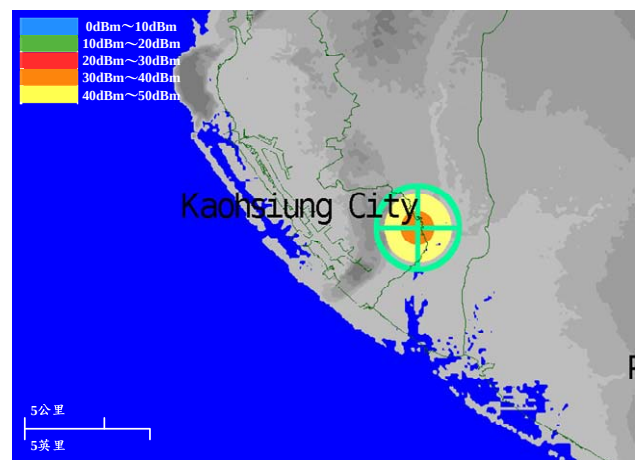
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



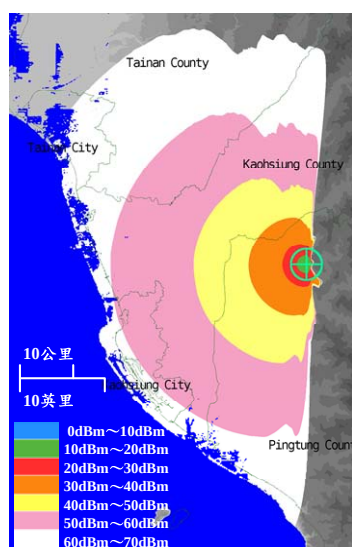
(e) 2430 MHz



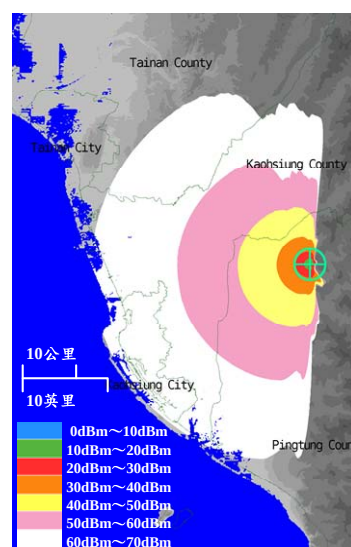
(f) 3470 MHz

圖 4.38 高雄市大坪頂站電波涵蓋模擬圖。

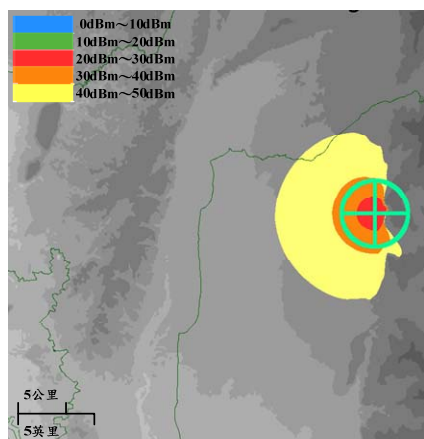
十五、屏東縣泰山站



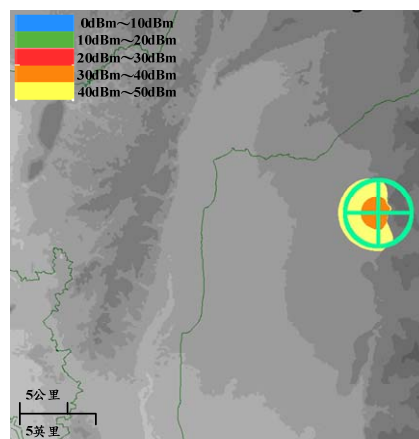
(a) 146.5 MHz



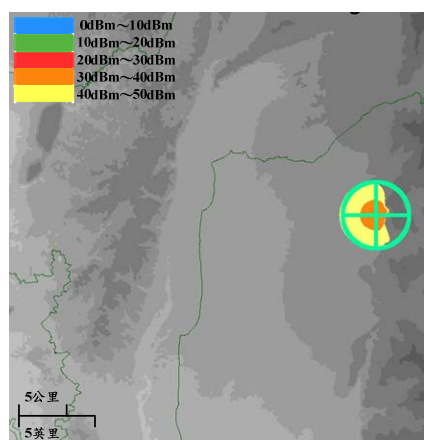
(b) 445 MHz



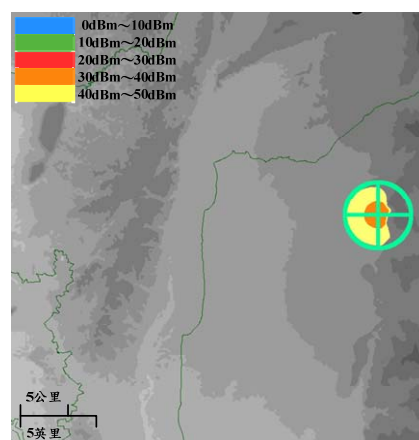
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



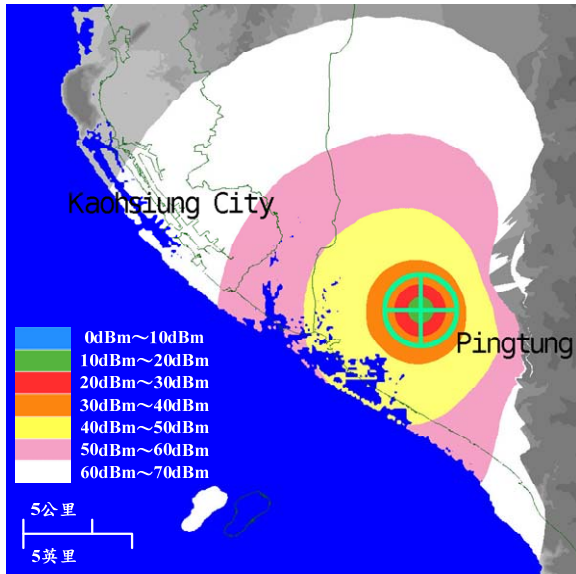
(e) 2430 MHz



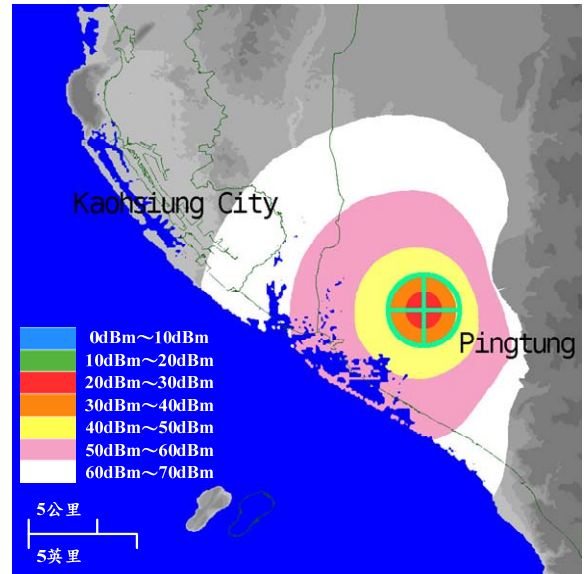
(f) 3470 MHz

圖 4.39 屏東縣泰山站電波涵蓋模擬圖。

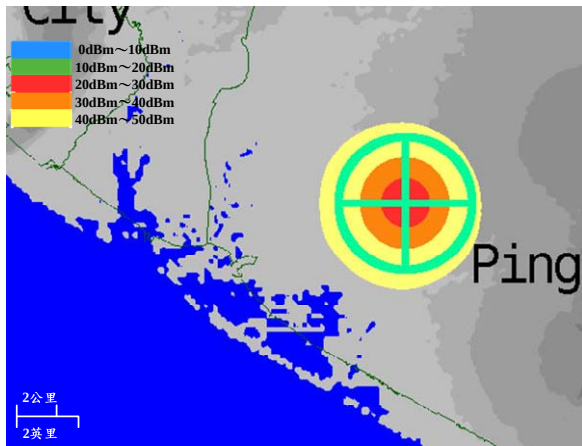
十六、屏東縣南州站



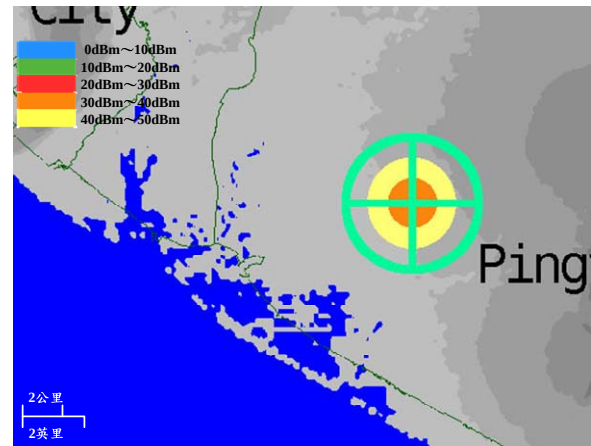
(a) 146.5 MHz



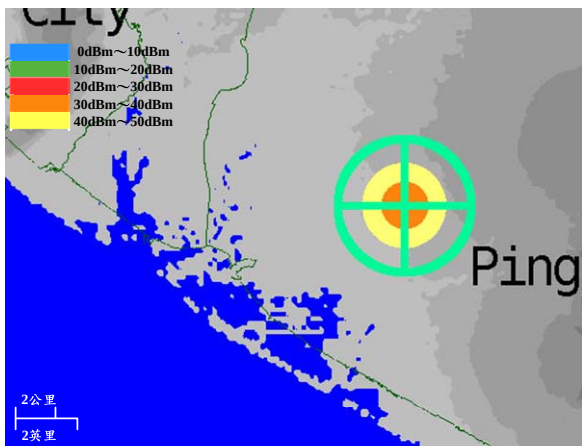
(b) 445 MHz



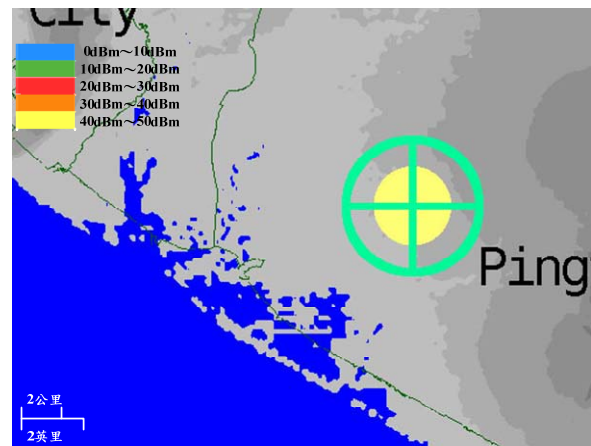
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



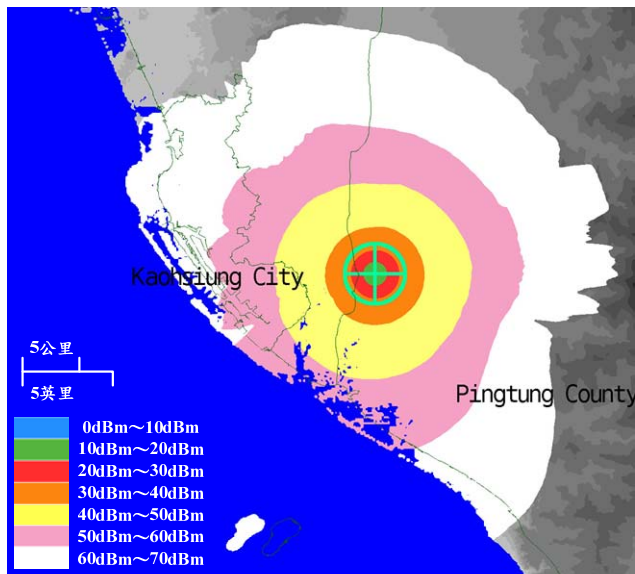
(e) 2430 MHz



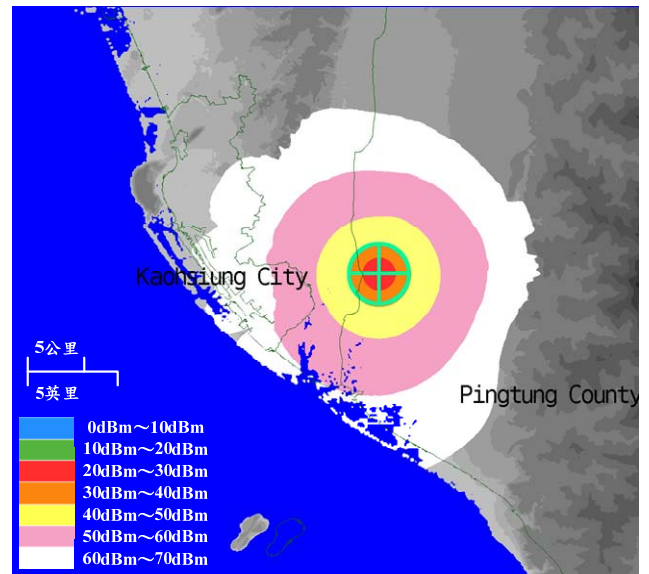
(f) 3470 MHz

圖 4.40 屏東縣南州站電波涵蓋模擬圖。

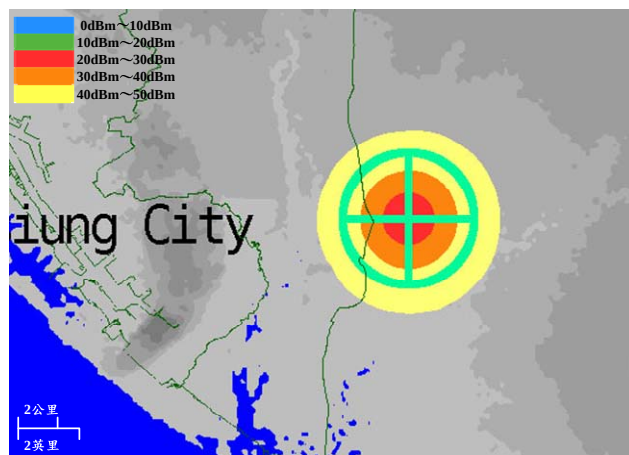
十七、屏東縣後村站



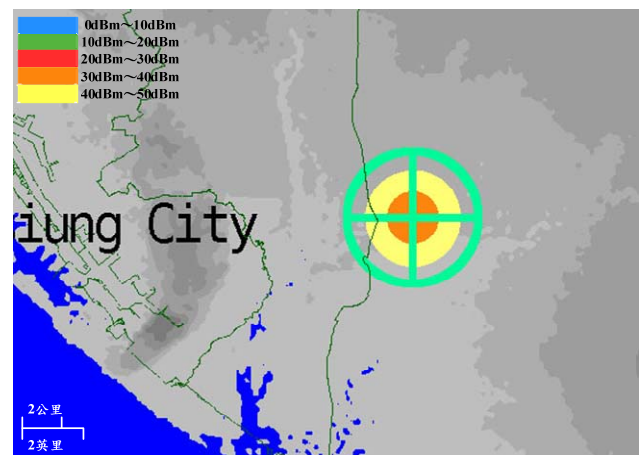
(a) 146.5 MHz



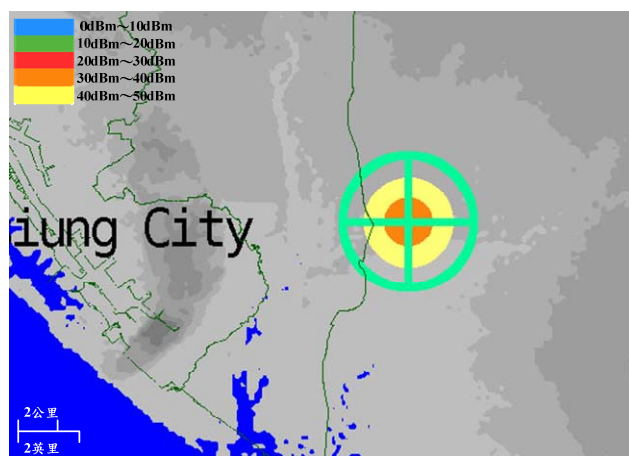
(b) 445 MHz



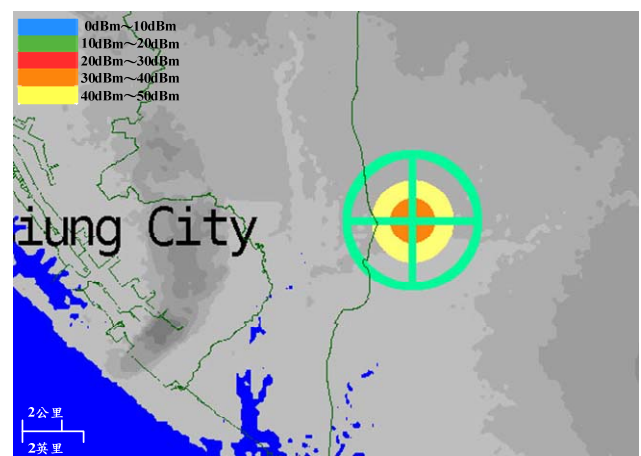
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



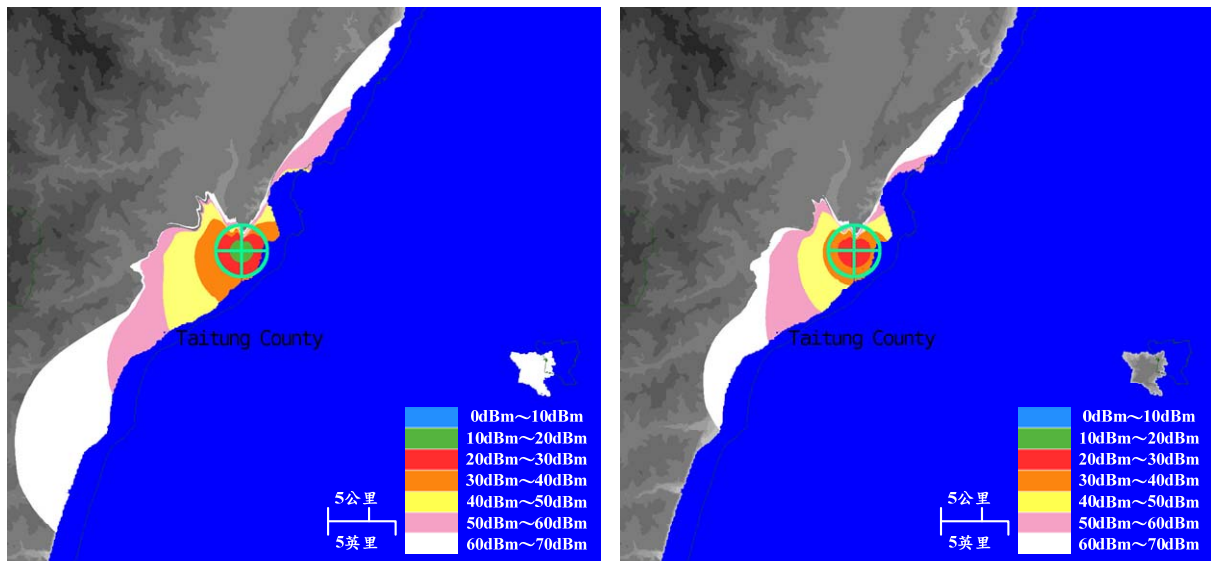
(e) 2430 MHz



(f) 3470 MHz

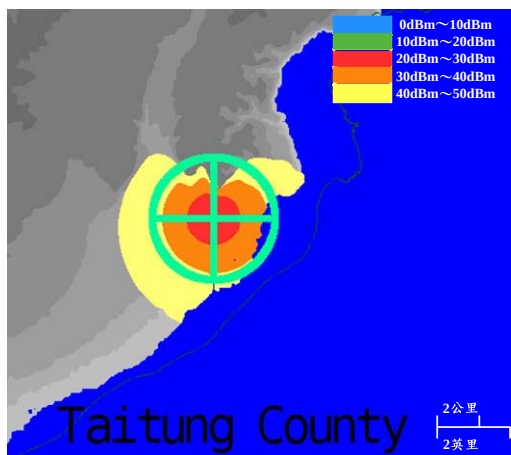
圖 4.41 屏東縣後村站電波涵蓋模擬圖。

十八、台東縣馬蘭站

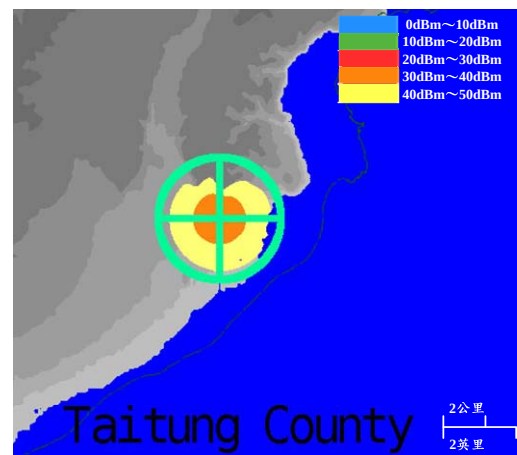


(a) 146.5 MHz

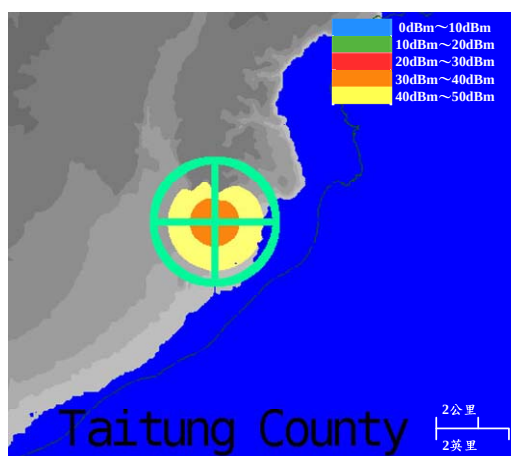
(b) 445 MHz



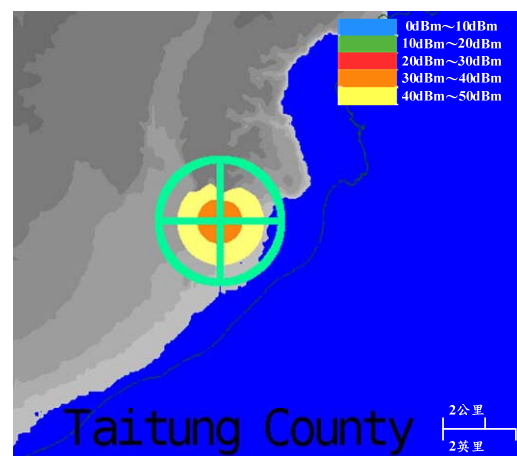
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



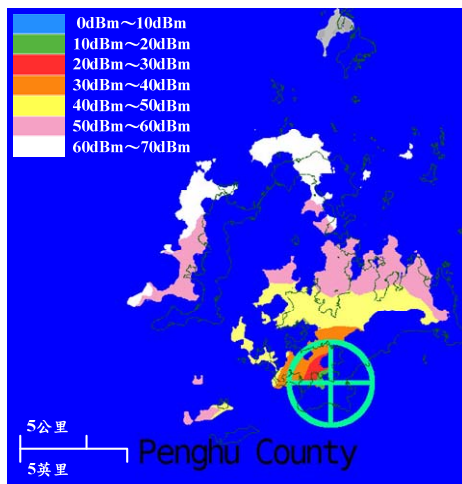
(e) 2430 MHz



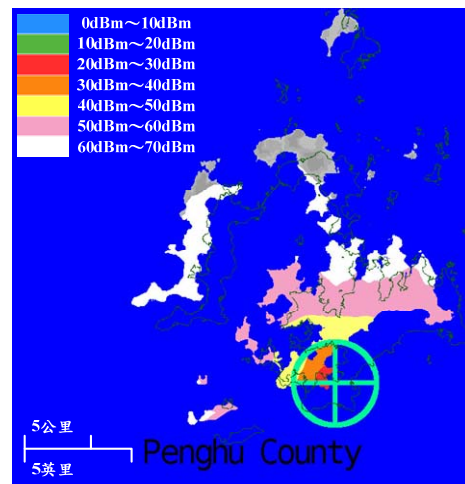
(f) 3470 MHz

圖 4.42 台東縣馬蘭站電波涵蓋模擬圖。

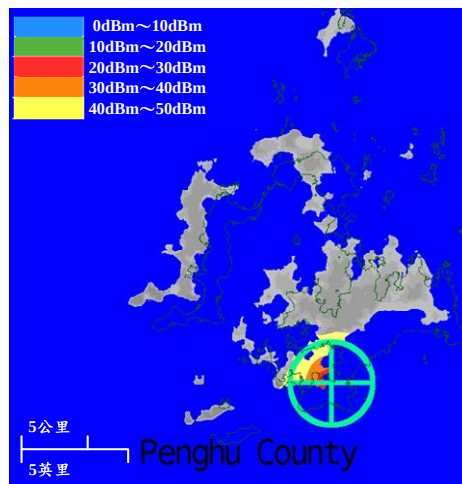
十九、澎湖縣澎南站



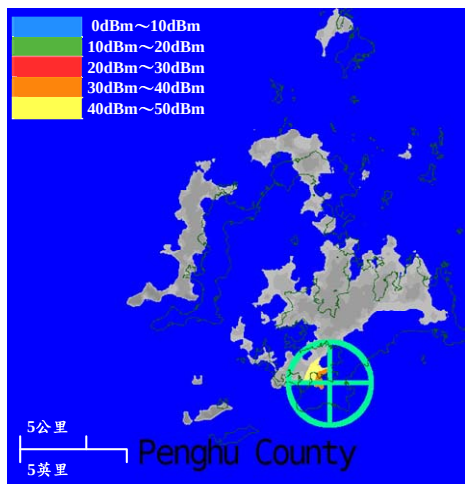
(a) 146.5 MHz



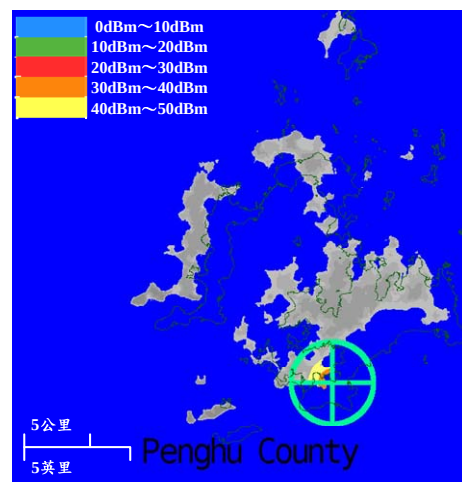
(b) 445 MHz



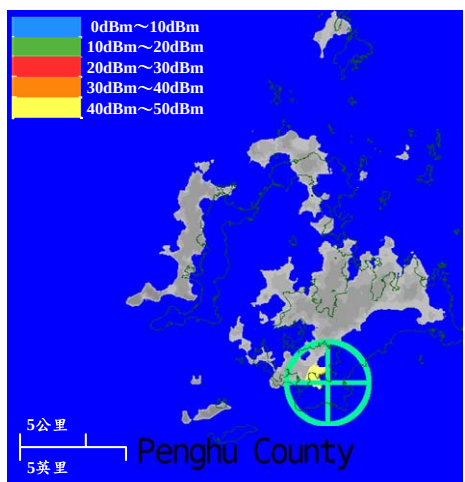
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



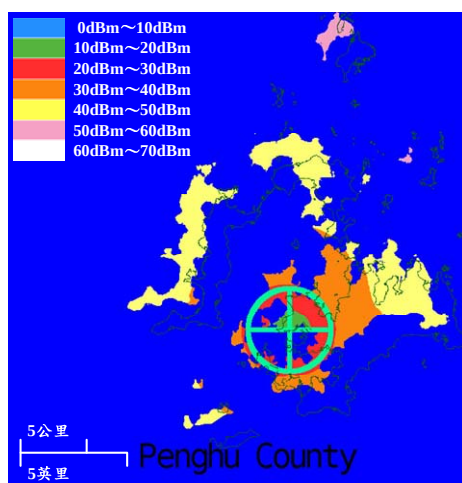
(e) 2430 MHz



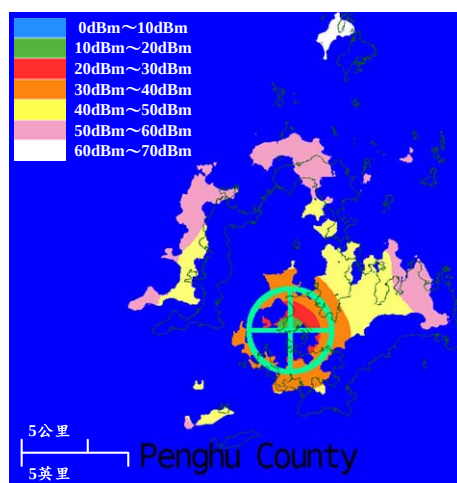
(f) 3470 MHz

圖 4.43 澎湖縣澎南站電波涵蓋模擬圖。

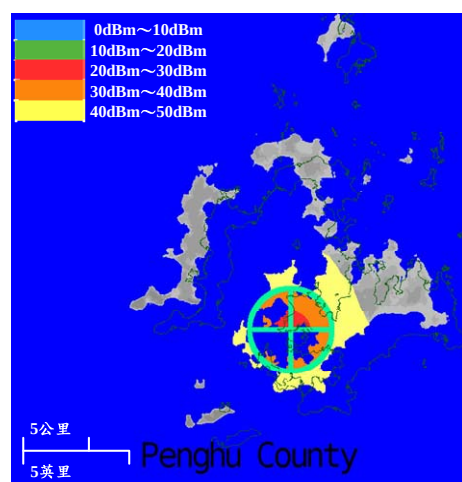
二十、澎湖縣馬公站



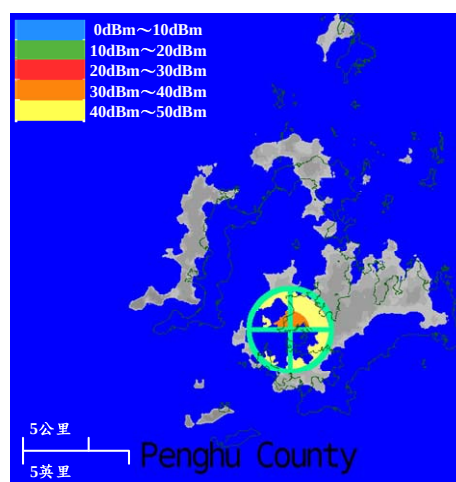
(a) 146.5 MHz



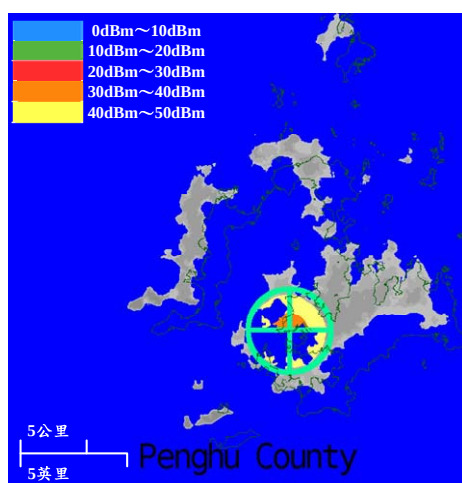
(b) 445 MHz



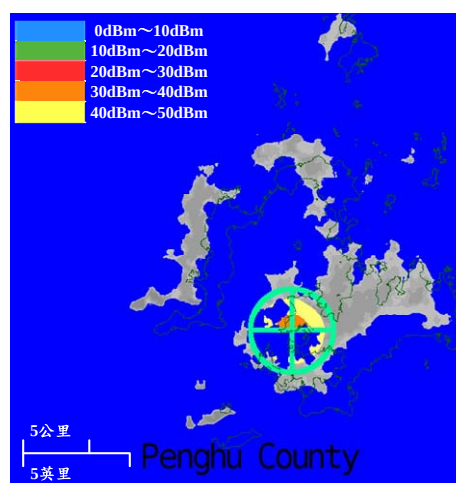
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



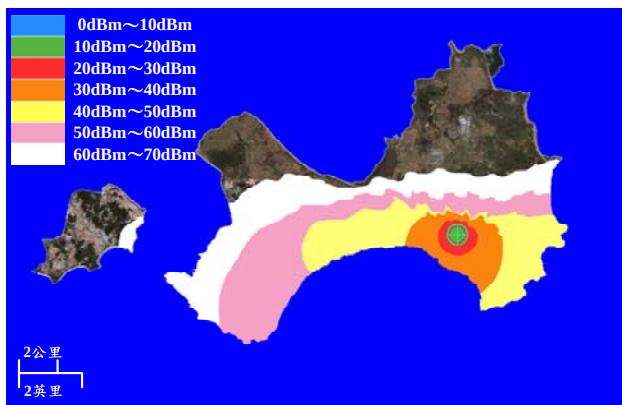
(e) 2430 MHz



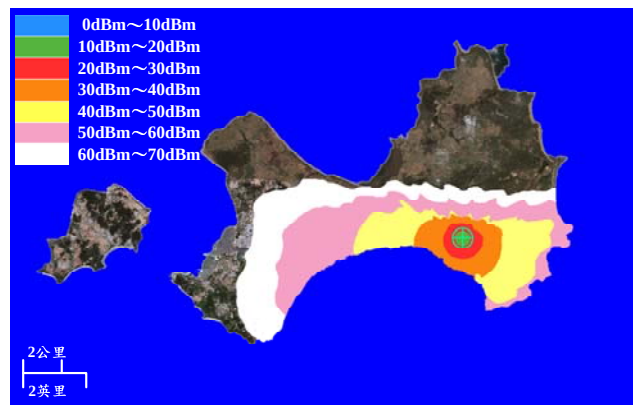
(f) 3470 MHz

圖 4.44 澎湖縣馬公站電波涵蓋模擬圖。

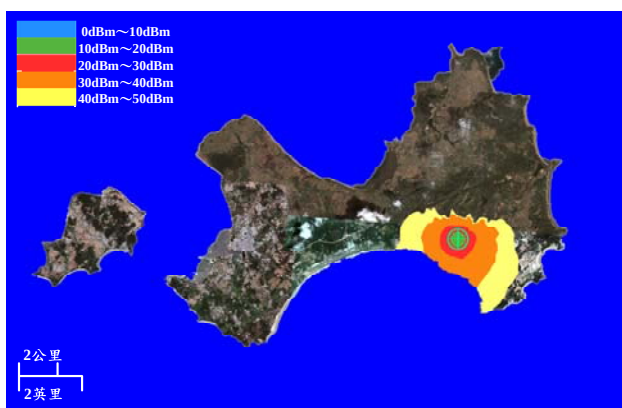
二十一、金門金湖站



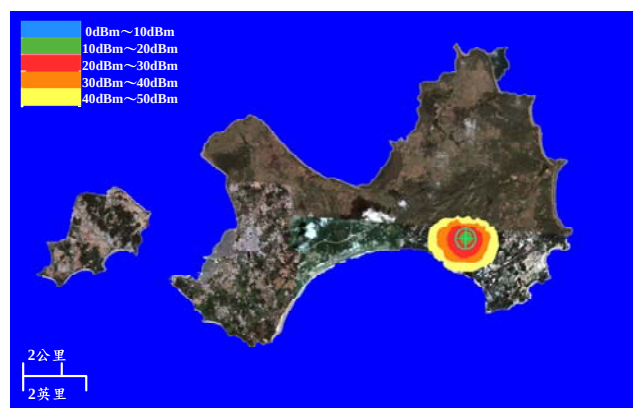
(a) 146.5 MHz



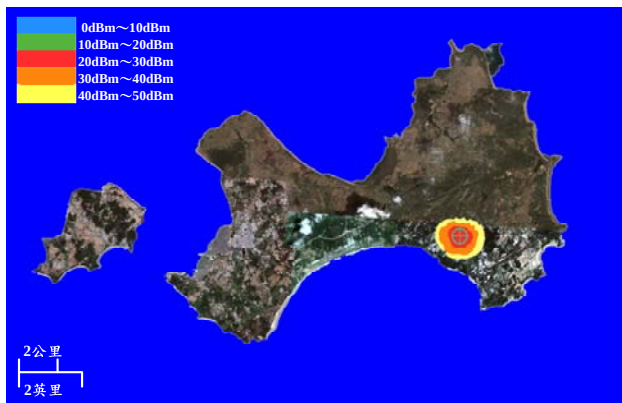
(b) 445 MHz



(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



(e) 2430 MHz

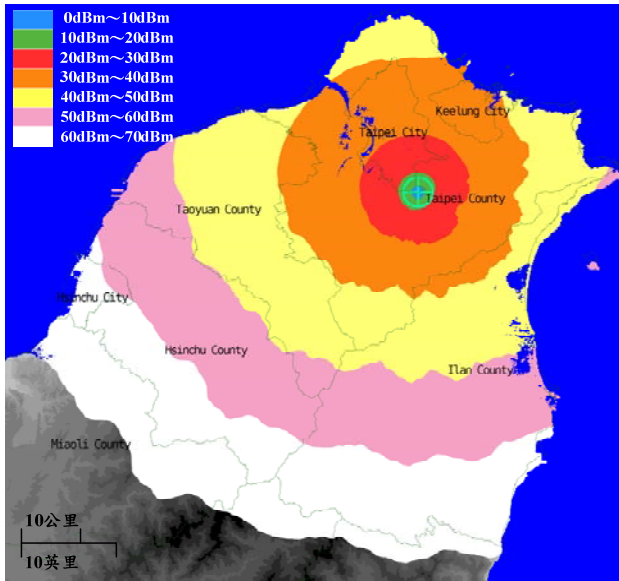


(f) 3470 MHz

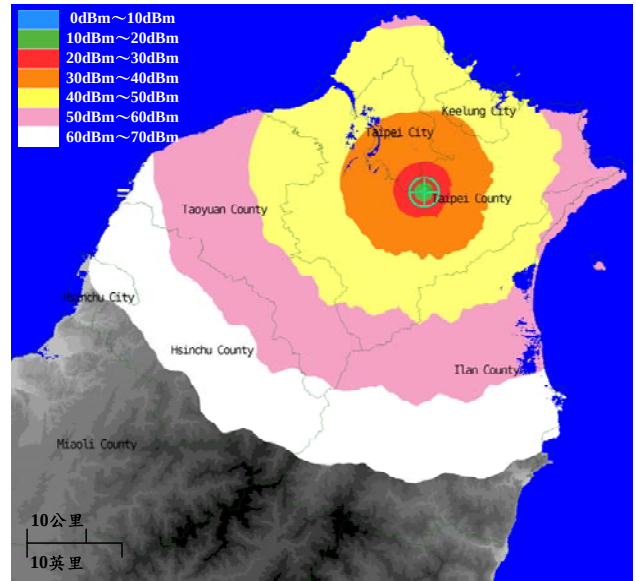
圖 4.45 金門金湖站電波涵蓋模擬圖。

4.4.3 高山區之監測站臺

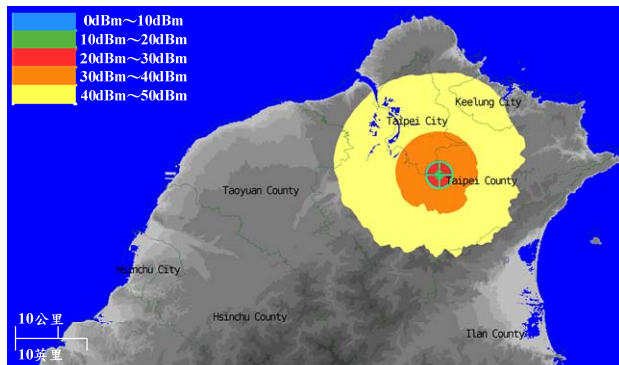
一、新北市次格山站



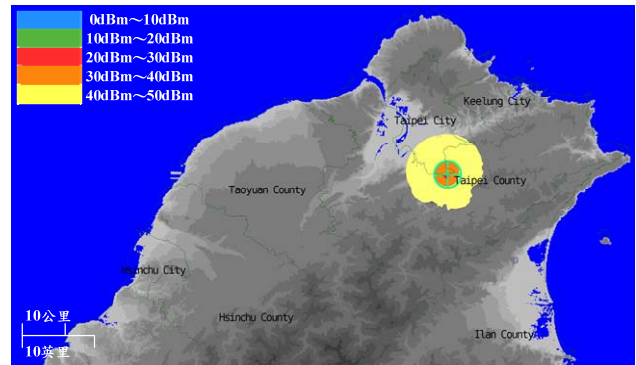
(a) 146.5 MHz



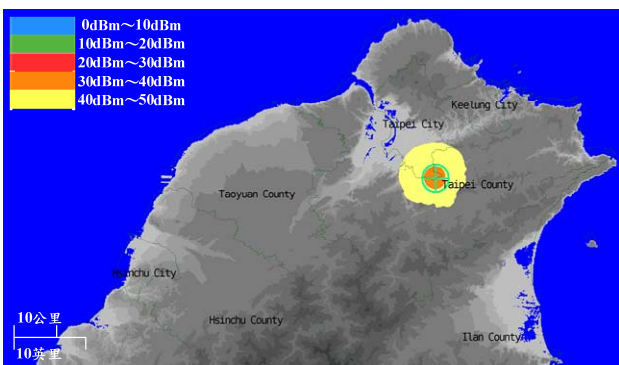
(b) 445 MHz



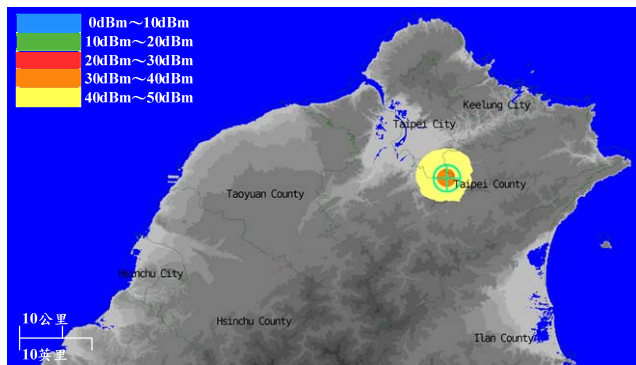
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



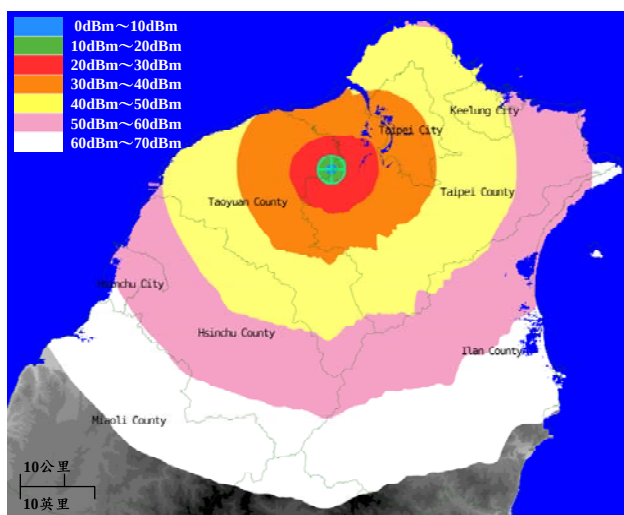
(e) 2430 MHz



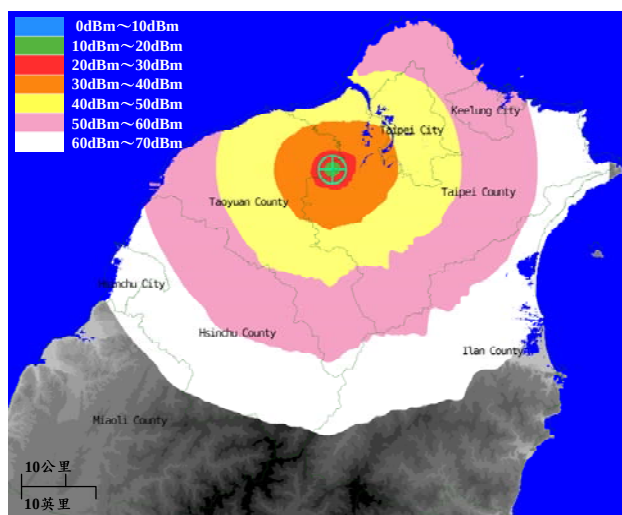
(f) 3470 MHz

圖 4.46 新北市次格山站電波涵蓋模擬圖。

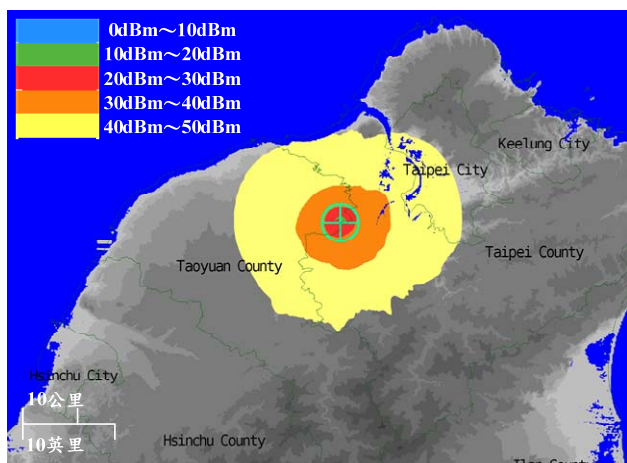
二、新北市大棟山站



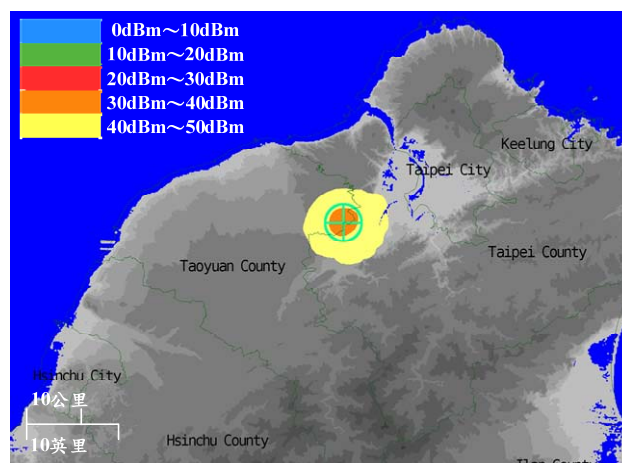
(a) 146.5 MHz



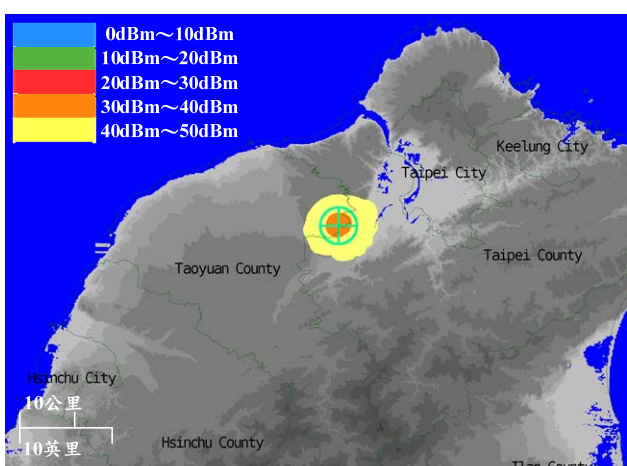
(b) 445 MHz



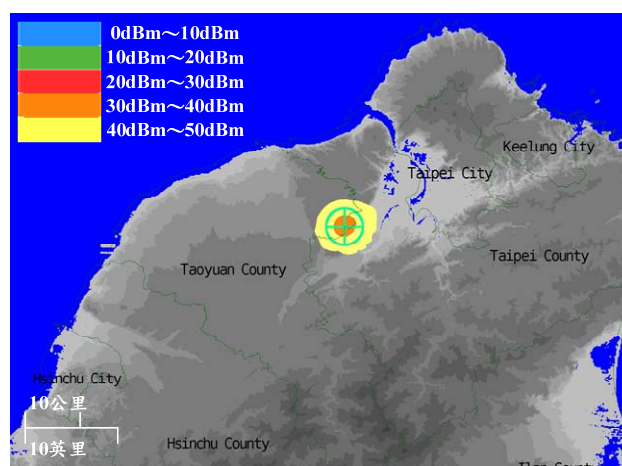
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



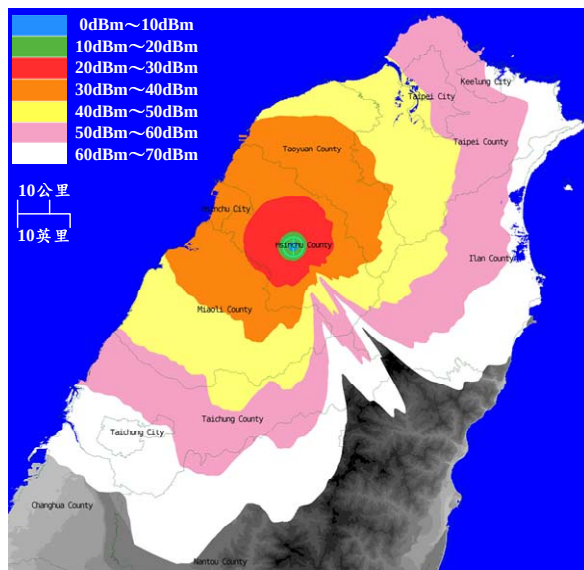
(e) 2430 MHz



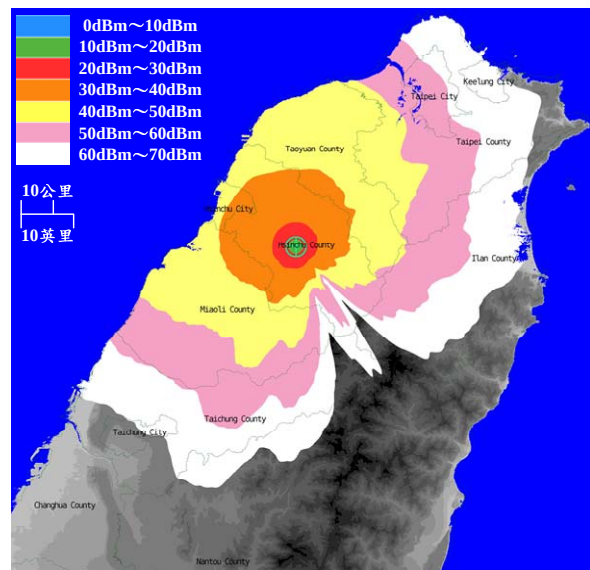
(f) 3470 MHz

圖 4.47 新北市大棟山站電波涵蓋模擬圖。

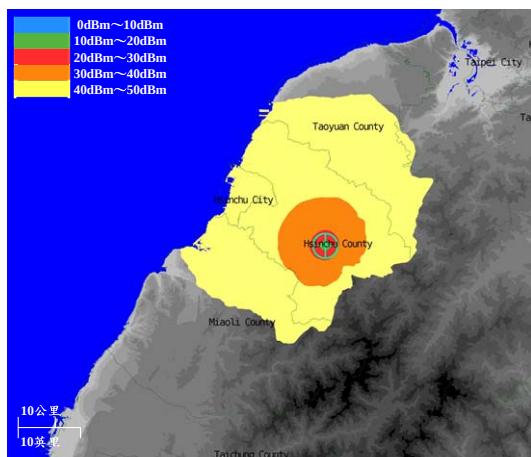
三、新竹縣尖筆窩山站



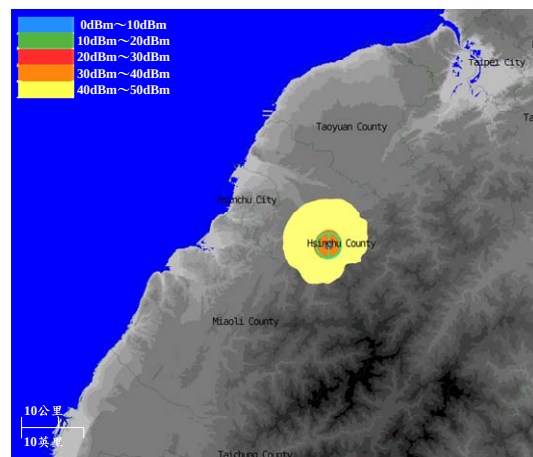
(a) 146.5 MHz



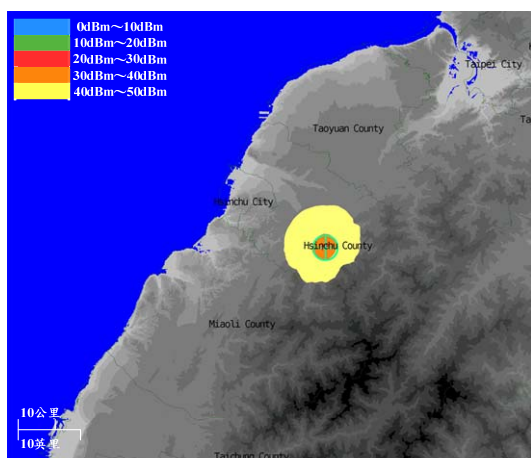
(b) 445 MHz



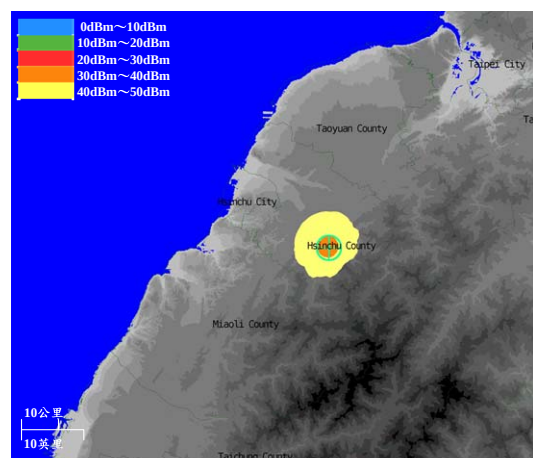
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



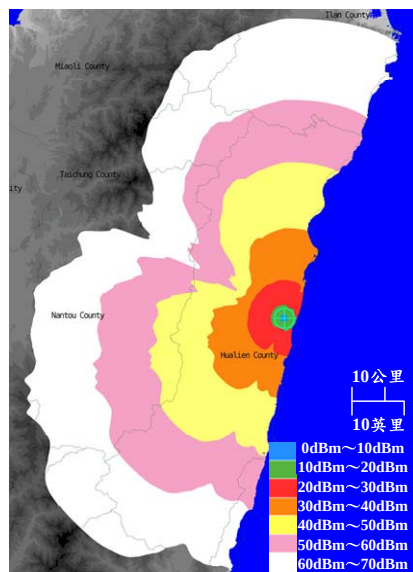
(e) 2430 MHz



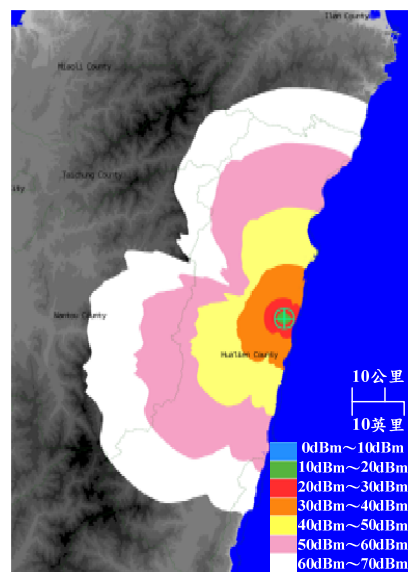
(f) 3470 MHz

圖 4.48 新竹縣尖筆窩山站電波涵蓋模擬圖。

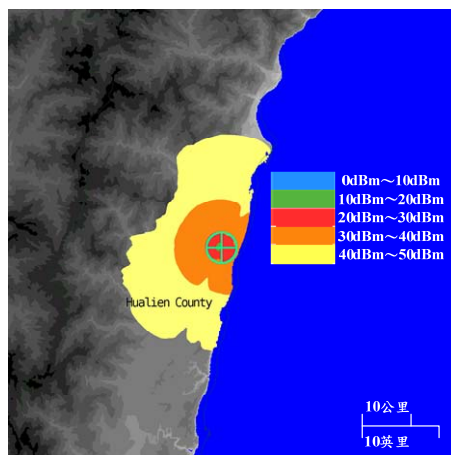
四、花蓮縣月眉山站



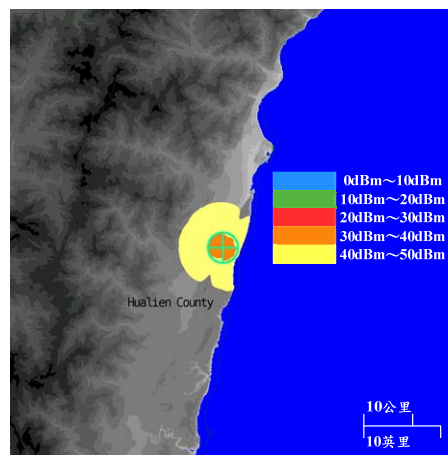
(a) 146.5 MHz



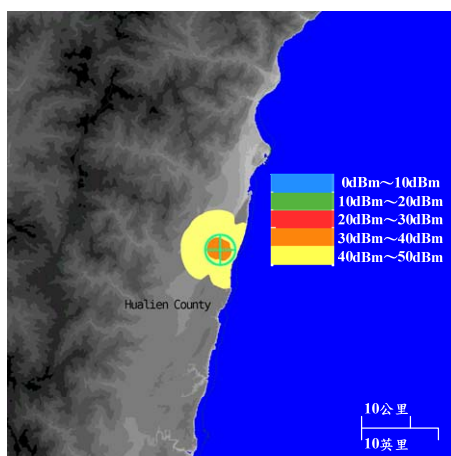
(b) 445 MHz



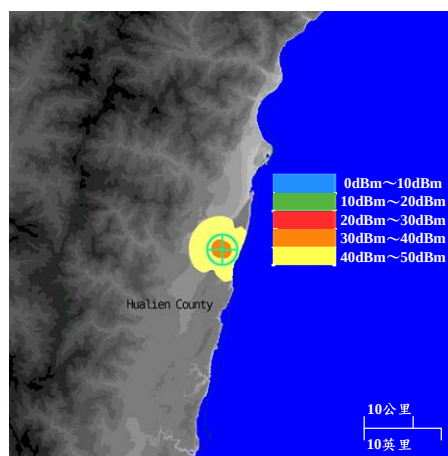
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



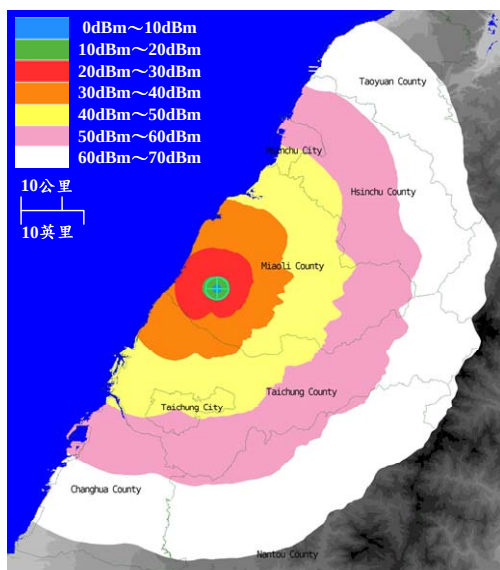
(e) 2430 MHz



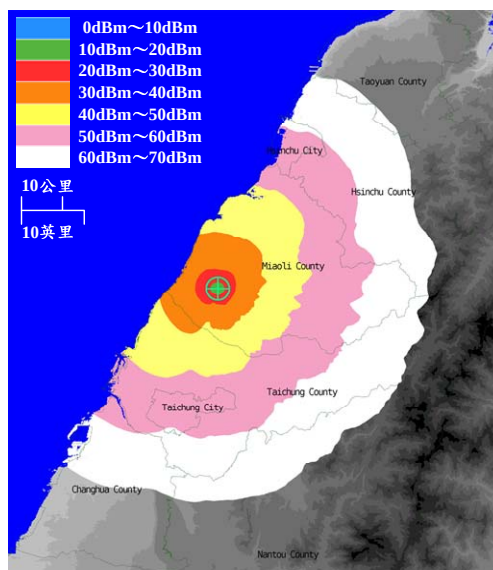
(f) 3470 MHz

圖 4.49 花蓮縣月眉山站電波涵蓋模擬圖。

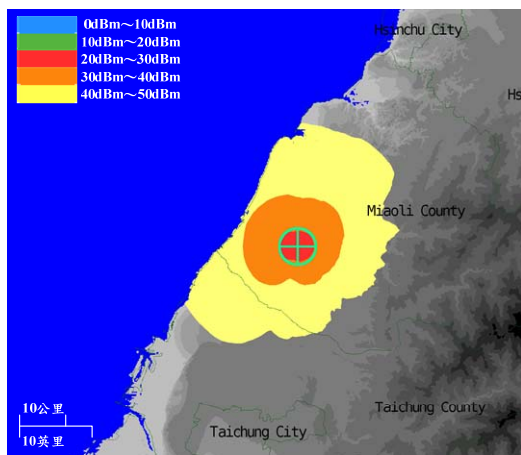
五、苗栗縣九華山站



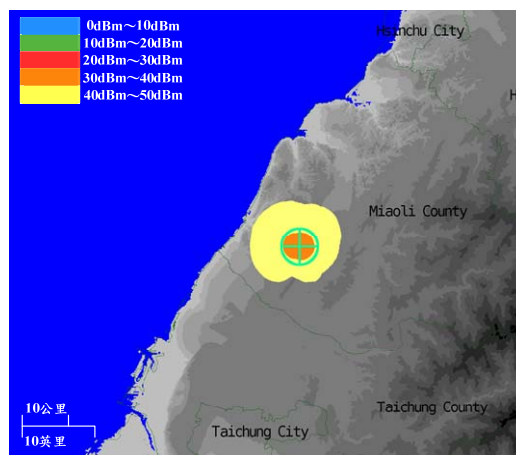
(a) 146.5 MHz



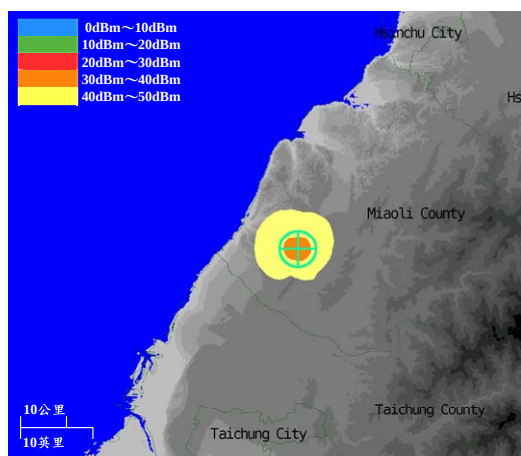
(b) 445 MHz



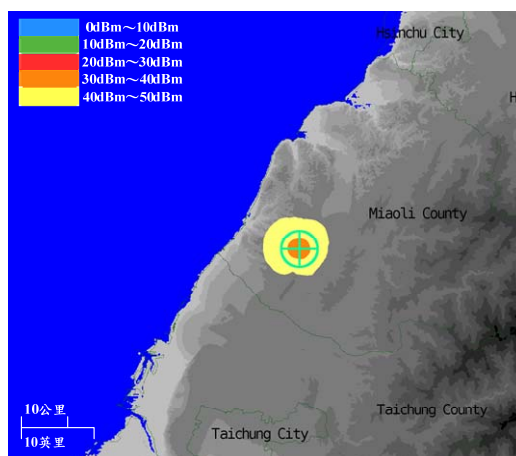
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



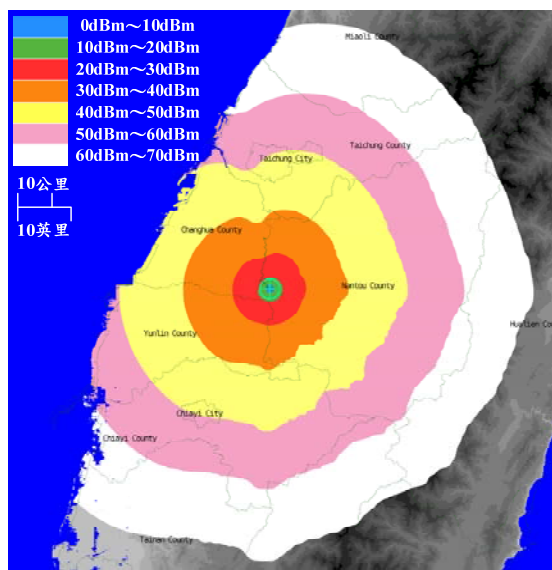
(e) 2430 MHz



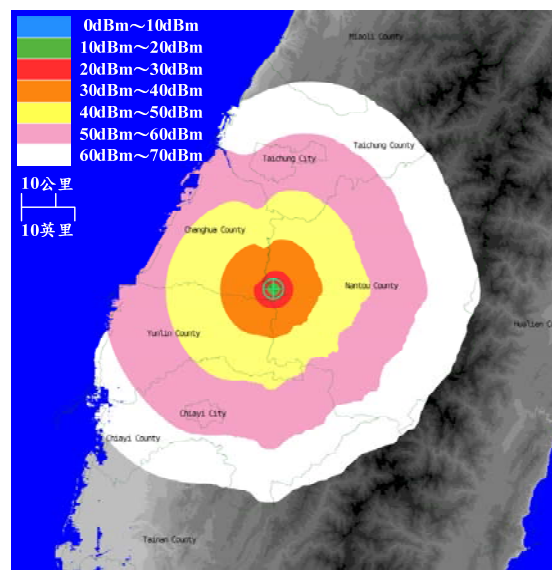
(f) 3470 MHz

圖 4.50 苗栗縣九華山站電波涵蓋模擬圖。

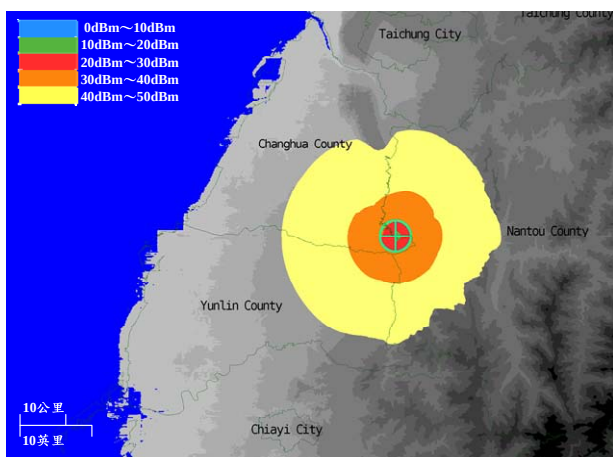
六、南投縣鳳鳴站



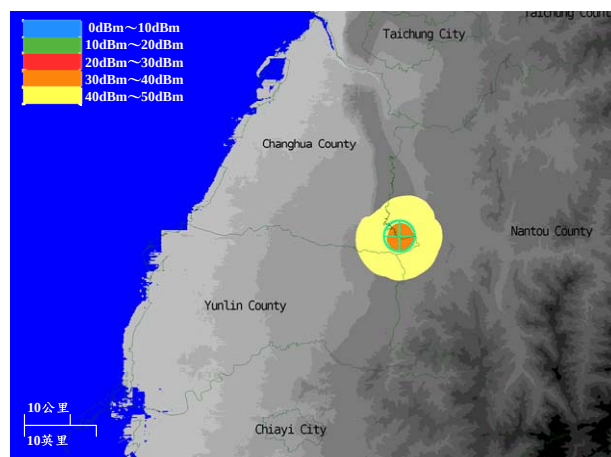
(a) 146.5 MHz



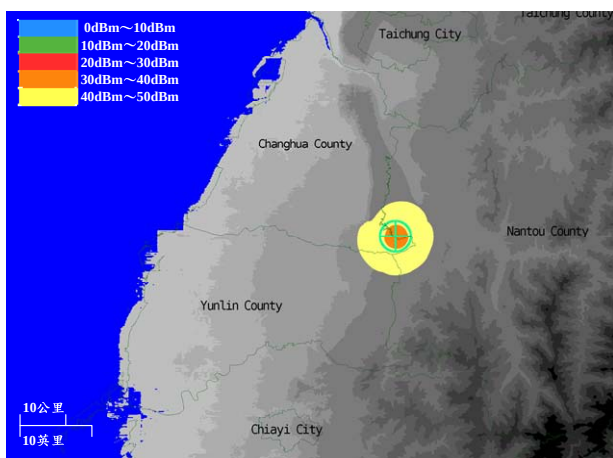
(b) 445 MHz



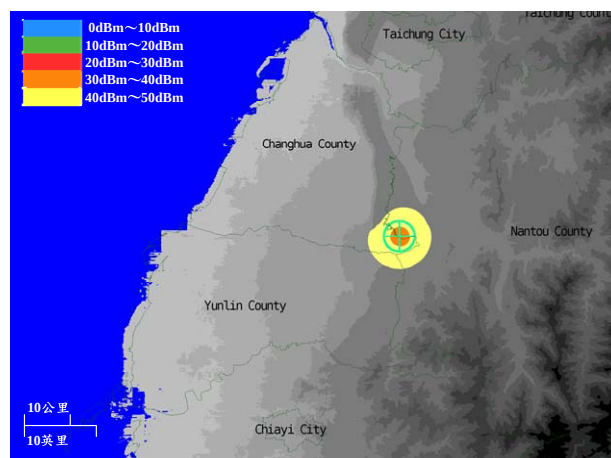
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



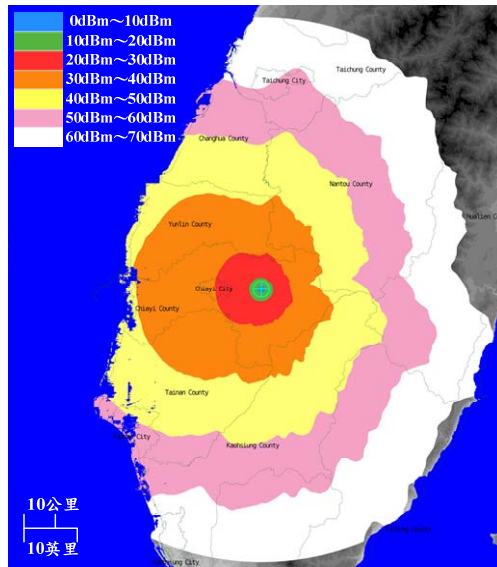
(e) 2430 MHz



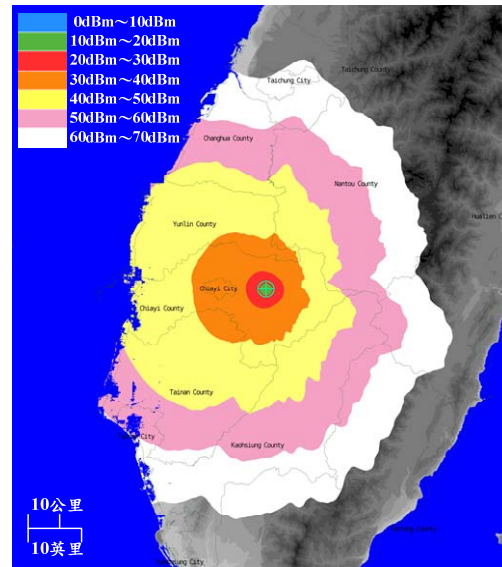
(f) 3470 MHz

圖 4.51 南投縣鳳鳴站電波涵蓋模擬圖。

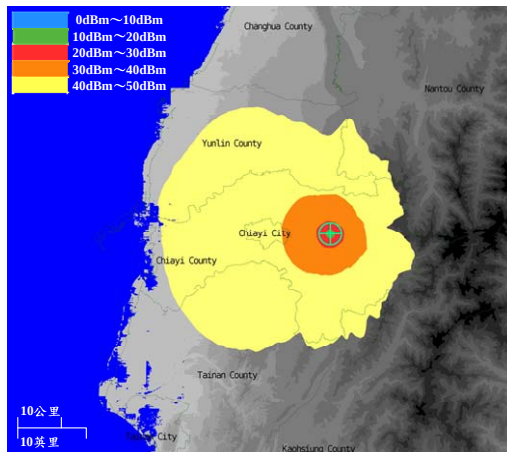
七、嘉義縣尖凍山站



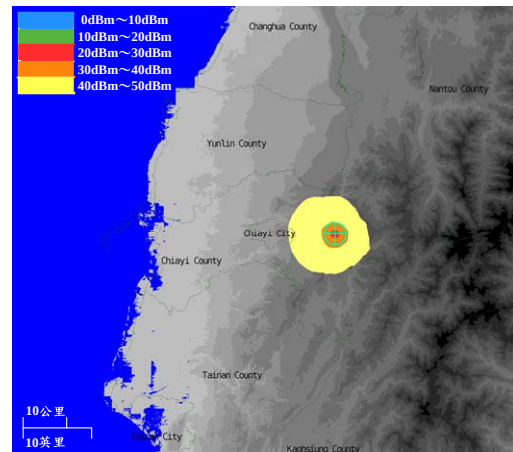
(a) 146.5 MHz



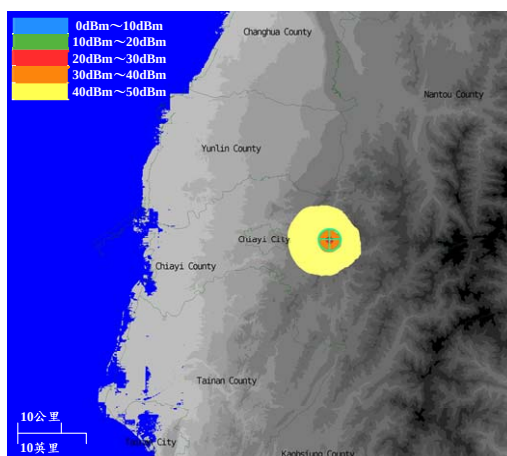
(b) 445 MHz



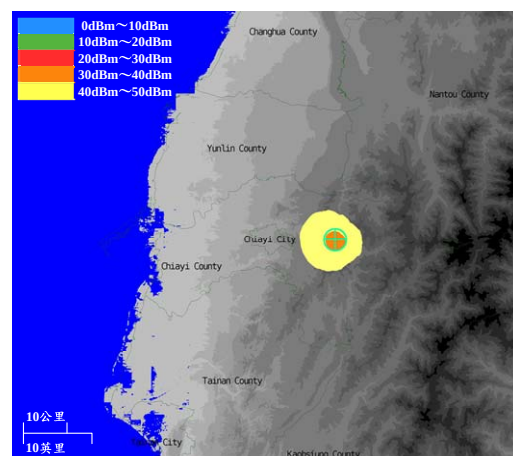
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



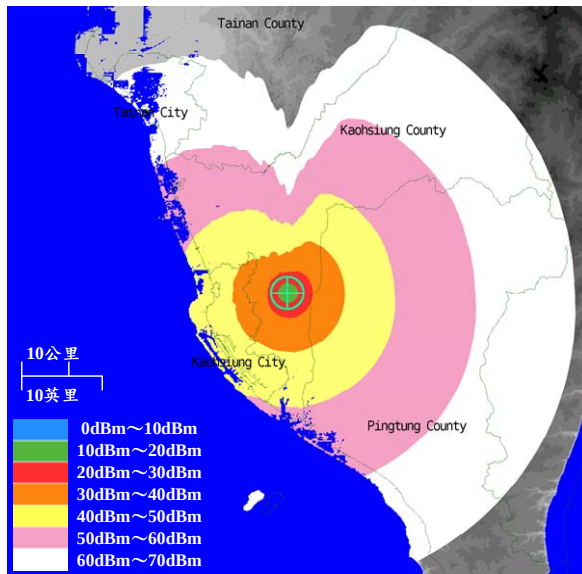
(e) 2430 MHz



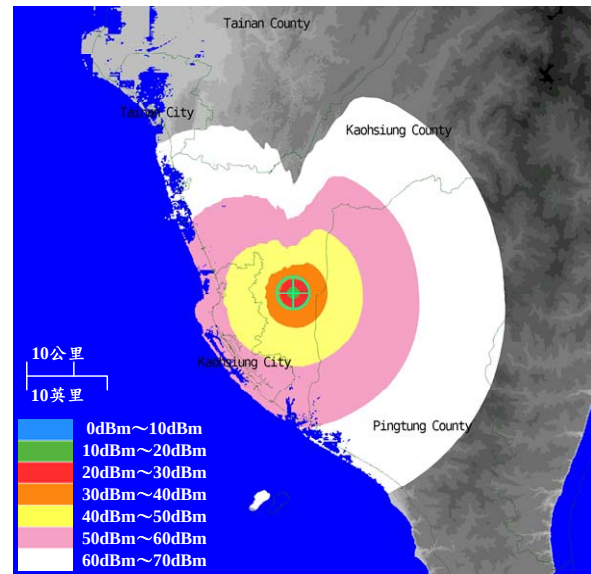
(f) 3470 MHz

圖 4.52 嘉義縣尖凍山站電波涵蓋模擬圖。

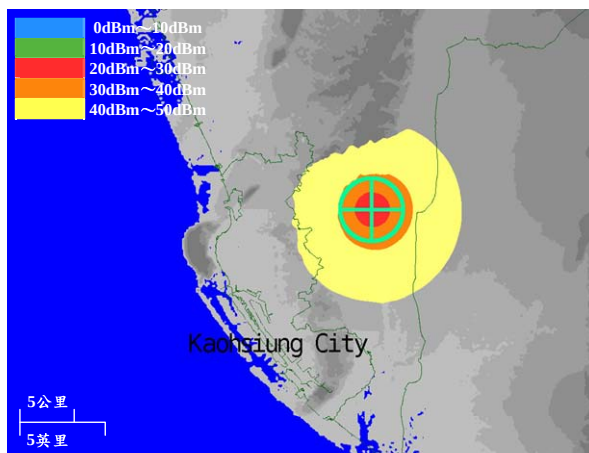
八、高雄市東照山站



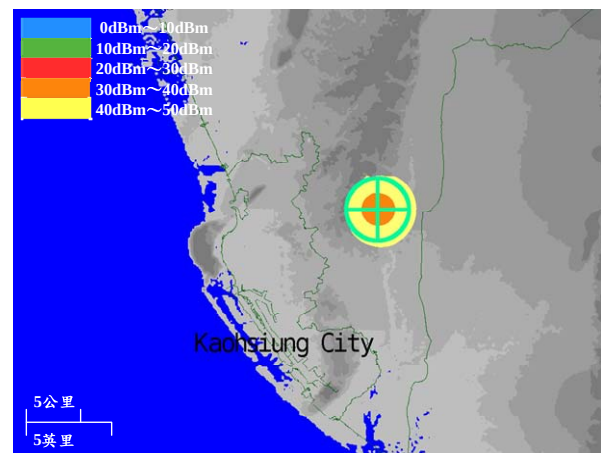
(a) 146.5 MHz



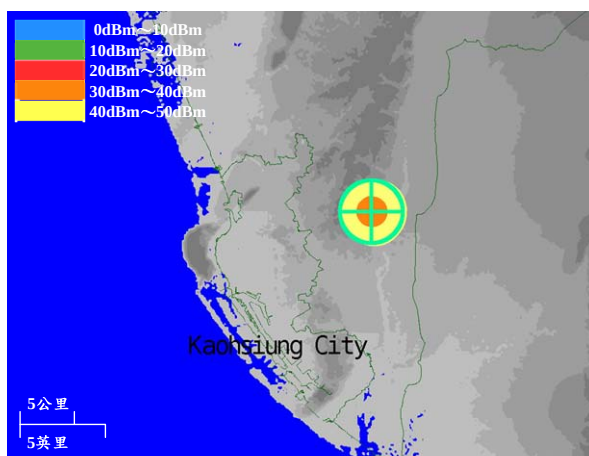
(b) 445 MHz



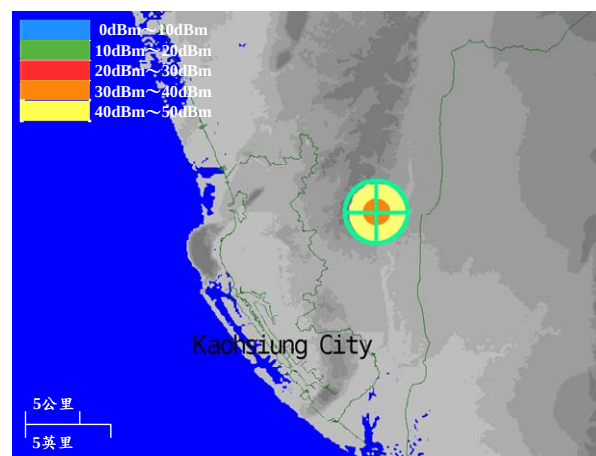
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



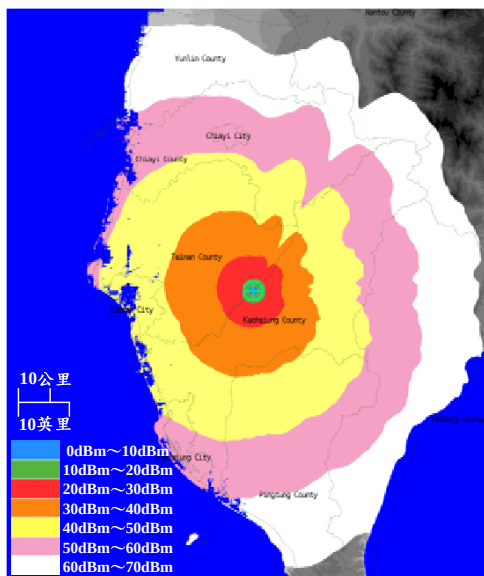
(e) 2430 MHz



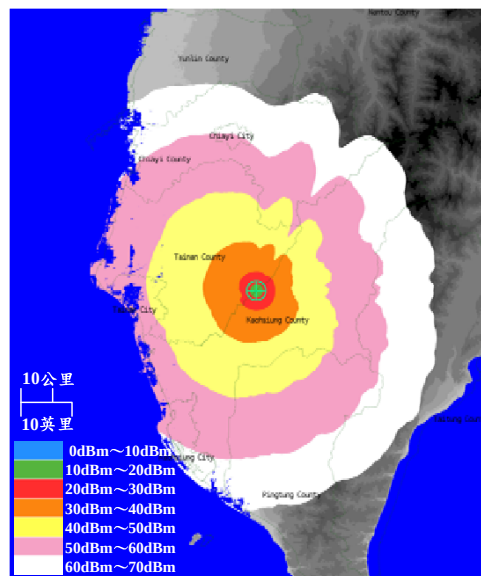
(f) 3470 MHz

圖 4.53 高雄市東照山站電波涵蓋模擬圖。

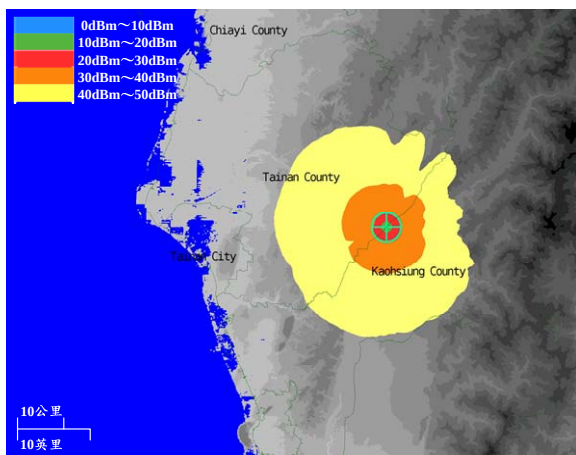
九、高雄市枕頭山站



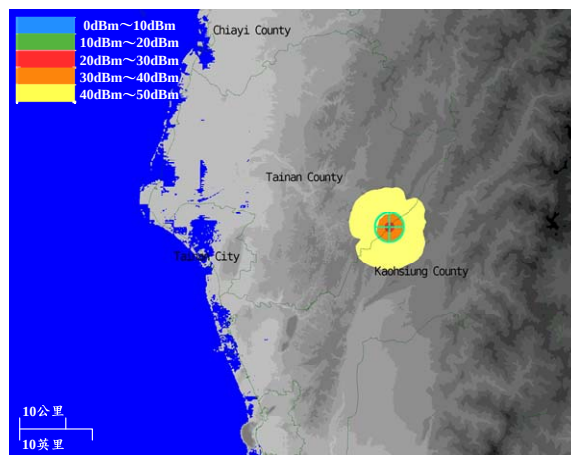
(a) 146.5 MHz



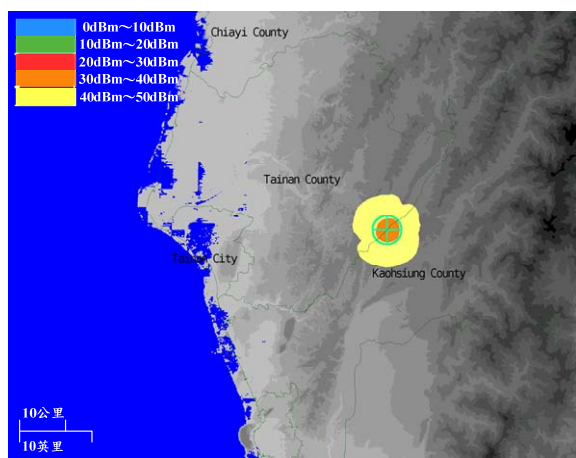
(b) 445 MHz



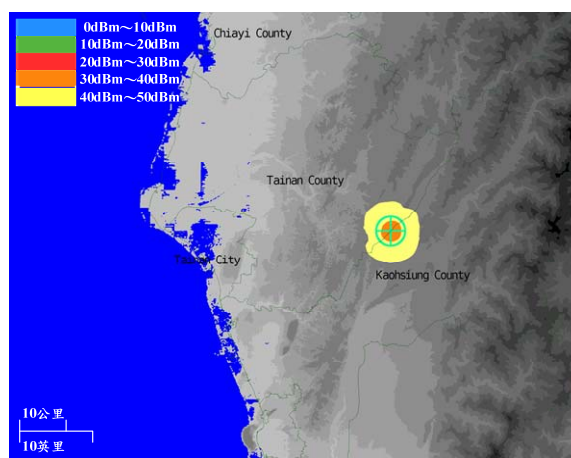
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



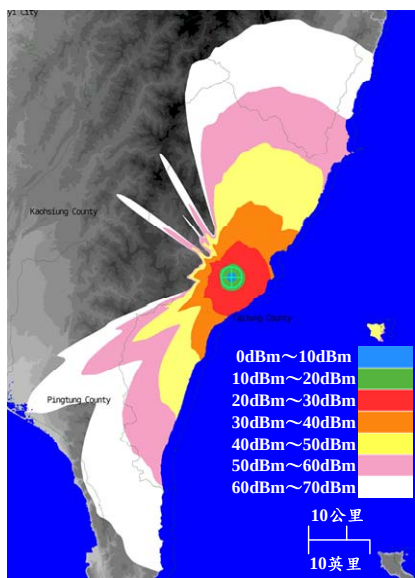
(e) 2430 MHz



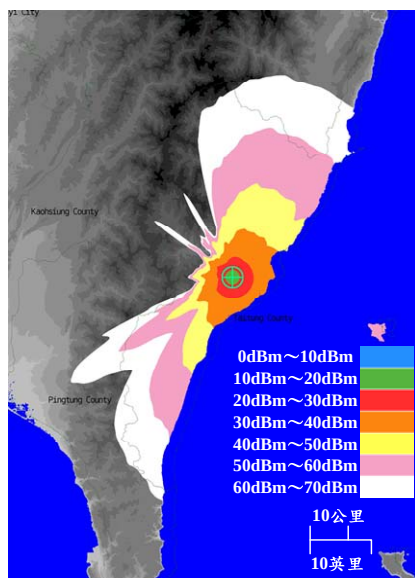
(f) 3470 MHz

圖 4.54 高雄市枕頭山站電波涵蓋模擬圖。

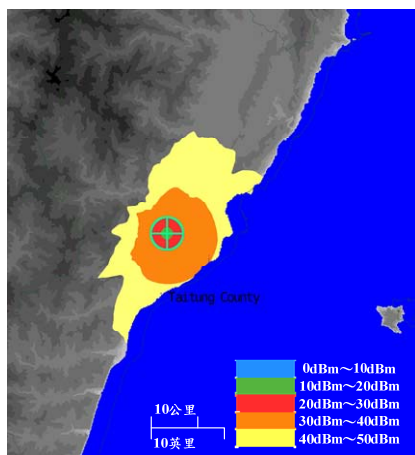
十、台東縣利嘉山站



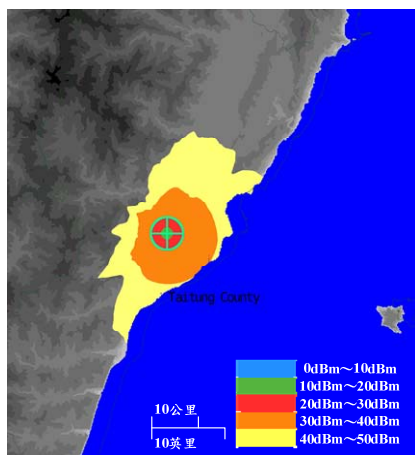
(a) 146.5 MHz



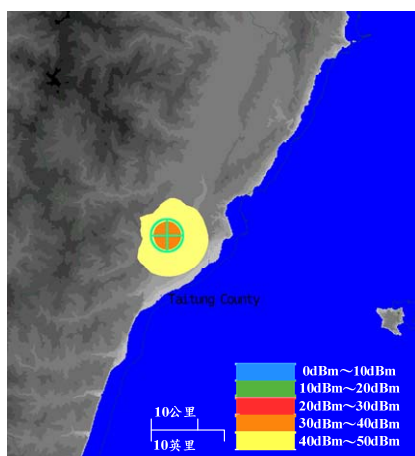
(b) 445 MHz



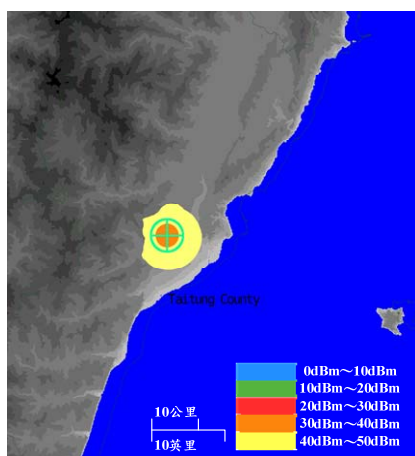
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



(e) 2430 MHz



(f) 3470 MHz

圖 4.55 台東縣利嘉山站電波涵蓋模擬圖。

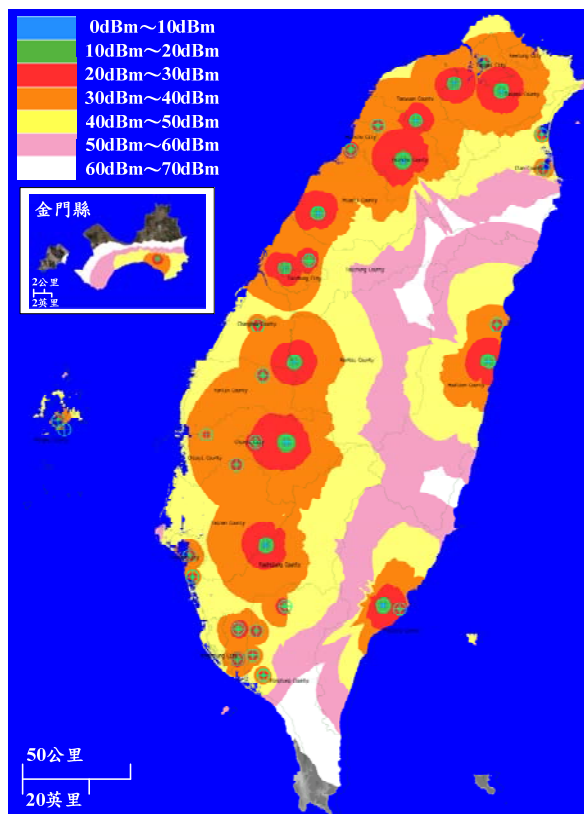
4.4.4 全臺 35 處監測站臺

圖 4.56 為全臺 35 處監測站電波涵蓋模擬圖，表 4.23 為臺灣本島之監測站的總涵蓋面積比率統計表。

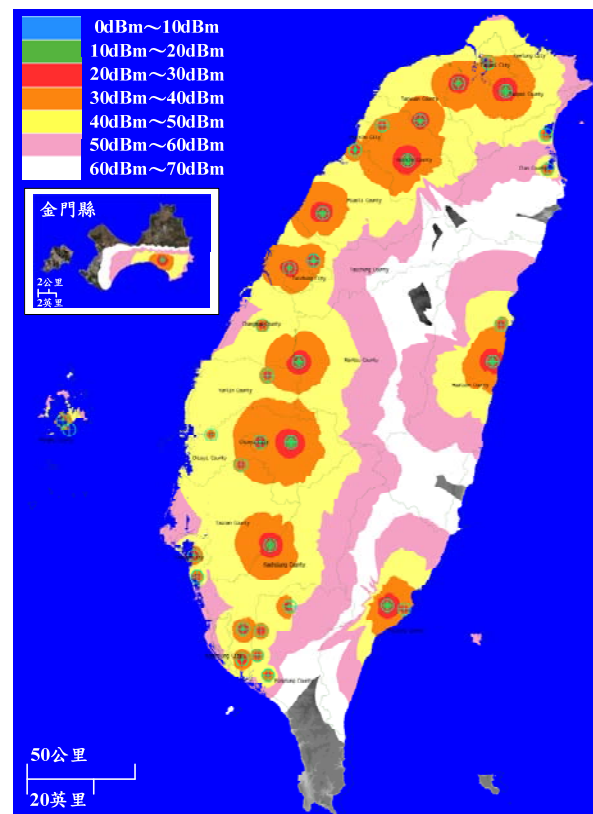
表 4.23 臺灣本島之監測站的總涵蓋面積比率統計表。

名稱	頻率 (MHz)	發射機 EIRP 值佔全臺灣本島之涵蓋面積比率						總涵蓋率
		10~20dBm	20~30dBm	30~40dBm	40~50dBm	50~60dBm	60~70dBm	
臺灣	146.5	1.478%	10.365%	32.063%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
本島	445	0.438%	3.266%	17.631%	34.102%	24.694%	16.136%	96.266%

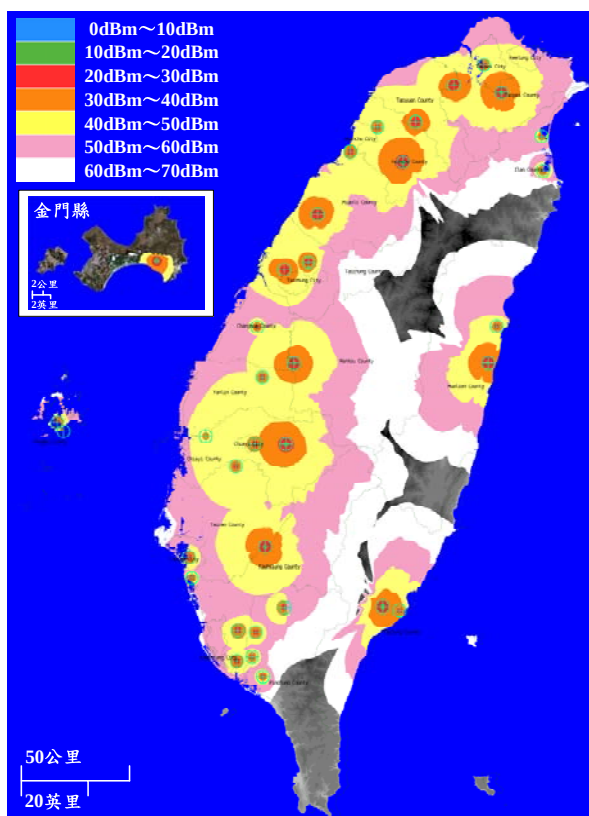
※以上模擬的發射機高度為 2 公尺。



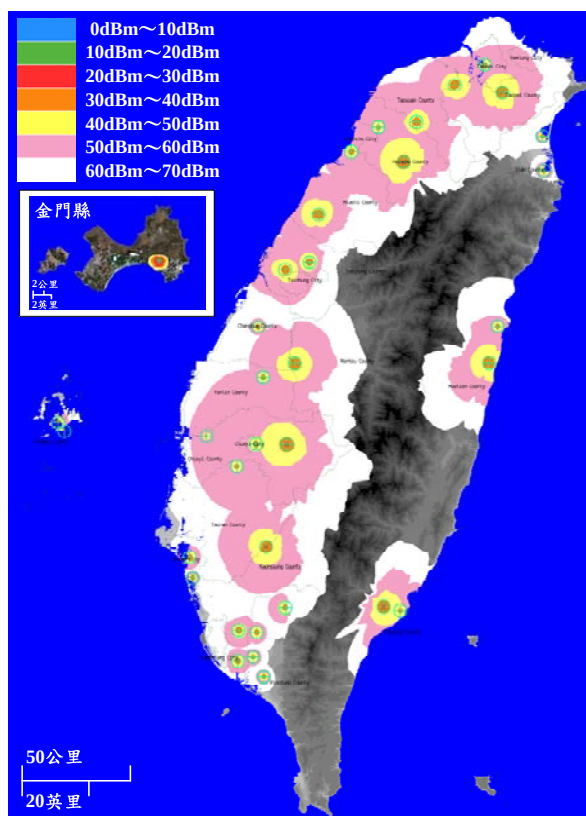
(a) 146.5 MHz



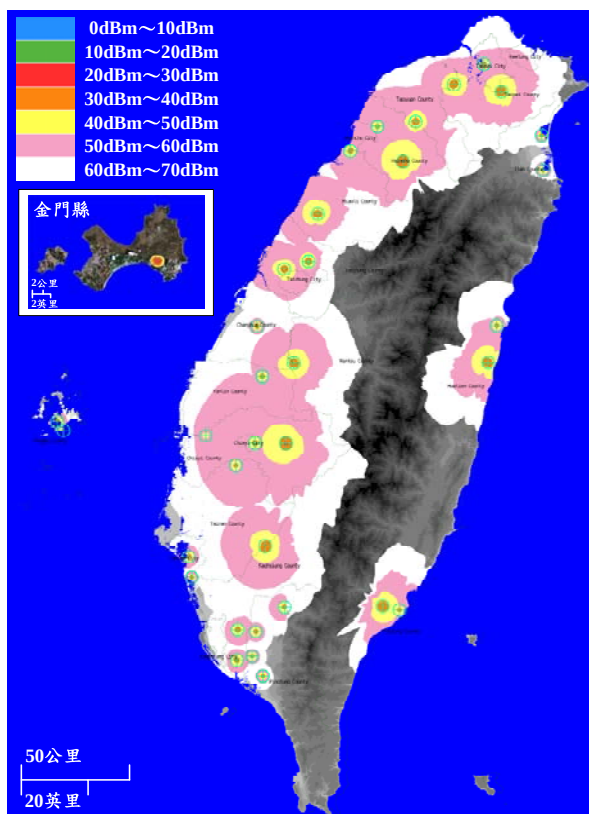
(b) 445 MHz



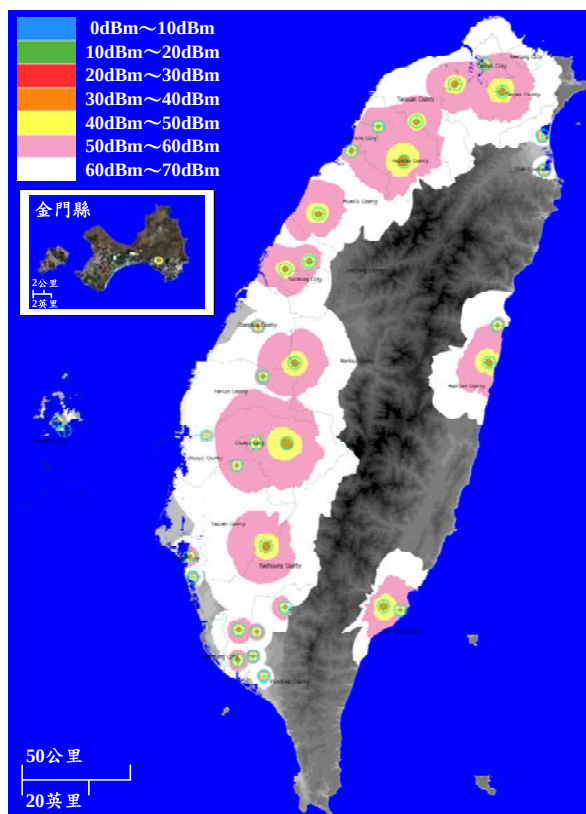
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



(e) 2430 MHz



(f) 3470 MHz

圖 4.56 全臺 35 處監測站電波涵蓋模擬圖。

4.5 全臺 35 處電波監測站臺之定向涵蓋模擬

此章節呈現定向接收的涵蓋範圍模擬圖，其覆蓋範圍以不同的顏色來表示，圖 4.57 是顏色與涵蓋監測站數目的對應表，其中紅色表示指由一個監測站覆蓋，紅色表示只由一個監測站覆蓋，黃色表示由兩個監測站覆蓋，綠色表示由三個監測站覆蓋，紫色表示由四或多個監測站所覆蓋。表 4.24~4.27 各為北部地區、中部地區、南部地區和外島地區之監測站資料表。

	由一個監測站覆蓋
	由兩個監測站覆蓋
	由三個監測站覆蓋
	由四個以上監測站覆蓋

圖 4.57 定向涵蓋顏色示意圖。

表 4.24 北部地區電波監測站資料表。

項次	縣市別	站名	東經(WGS-84)			北緯(WGS-84)			地形高度 (m)	建築物+鐵塔高度(m)
			度	分	秒	度	分	秒		
1	台北市	士林	121	31	24.8	25	4	51.7	16	63
2	新北市	次格山	121	36	17.7	24	57	46.7	508	42
3	新北市	大棟山	121	23	3.3	24	59	44.3	378	26
4	桃園縣	高原	121	12	24.8	24	50	22.3	301	25.5
5	宜蘭縣	美城	121	47	21	24	46	43.5	5	22.5
6	宜蘭縣	冬山	121	47	41.67	24	37	54	10	39
7	新竹縣	六家	121	1	51.6	24	49	7.1	35	39
8	新竹縣	尖筆窩山	121	8	55.2	24	40	11	918	30.5

表 4.25 中部地區電波監測站資料表。

項次	縣市別	站名	東經(WGS-84)			北緯(WGS-84)			地形高度 (m)	建築物+鐵塔高度(m)
			度	分	秒	度	分	秒		
1	花蓮縣	吉安	121	34	39	23	58	31	31	25.5
2	花蓮縣	月眉山	121	32	21	23	49	10.5	389	26
3	苗栗縣	大埔	120	54	20	24	42	55	60	30
4	苗栗縣	九華山	120	45	20	24	26	53	379	26

5	台中市	豐原	120	42	49	24	14	54	215	30
6	台中市	大肚山	120	36	6	24	12	56	296	35
7	彰化縣	溪湖	120	28	44	23	58	20	19	24
8	南投縣	鳳鳴	120	38	48	23	49	7	427	31
9	雲林縣	莿桐	120	30	11	23	45	42	41	27
10	嘉義市	金龍	120	28	15.3	23	28	43.5	79	73.5
11	嘉義縣	六腳	120	14	42	23	30	32	5	12
12	嘉義縣	尖凍山	120	36	44	23	28	41	1039	27

※其中花蓮縣吉安站和花蓮縣月眉山屬北區監理處所轄，嘉義市金龍站、嘉義縣六腳站和嘉義縣尖凍山站屬南區監理處所轄。

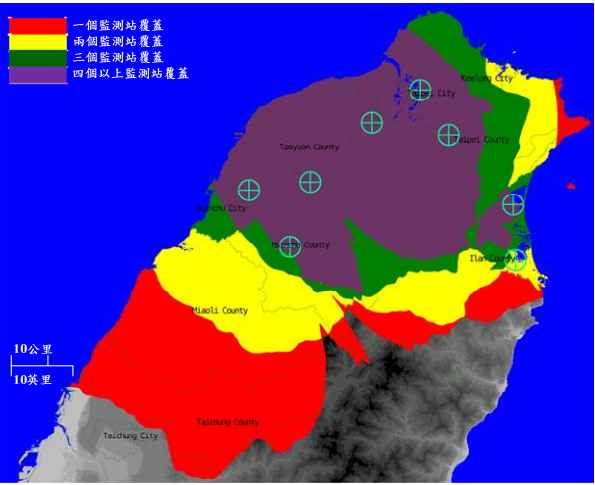
表 4.26 南部地區電波監測站資料表。

項次	縣市別	站名	東經(WGS-84)			北緯(WGS-84)			地形高度 (m)	建築物+鐵 塔高度(m)
			度	分	秒	度	分	秒		
1	台南市	嘉民	120	23	0	23	23	1	30	28
2	台南市	健康	120	10	14.6	22	59	49.7	21	123
3	高雄市	茄苳	120	11	5	22	54	34	6	24
4	高雄市	東照山	120	23	42	22	41	21	132	33.5
5	高雄市	枕頭山	120	31	6	23	2	37	717	27
6	高雄市	大坪頂	120	23	29	22	33	35	76	30.5
7	屏東縣	泰山	120	36	32	22	47	7	66	31.5
8	屏東縣	南州	120	30	38.3	22	29	37.1	8	24
9	屏東縣	後村	120	27	38	22	34	37.1	12	28.5
10	屏東縣	崇明	120	28	38.49	22	40	51	32	58.5
11	台東縣	馬蘭	121	7	50	22	46	27	27	37.5
12	台東縣	利嘉山	121	3	15	22	47	23	660	27

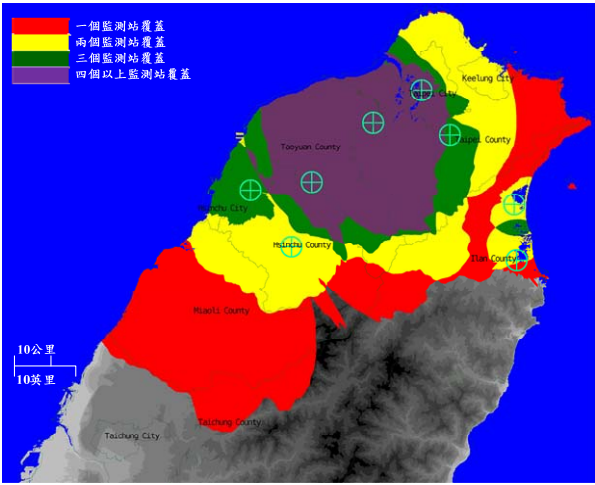
表 4.27 外島地區電波監測站資料表。

項次	縣市別	站名	東經(WGS-84)			北緯(WGS-84)			地形高度 (m)	建築物+鐵 塔高度(m)
			度	分	秒	度	分	秒		
1	澎湖縣	澎南	119	35	39	23	31	33	8	27
2	澎湖縣	馬公	119	33	52.59	23	33	46.79	24	68
3	金門	金湖	118	25	1.7	24	26	27.6	25	23

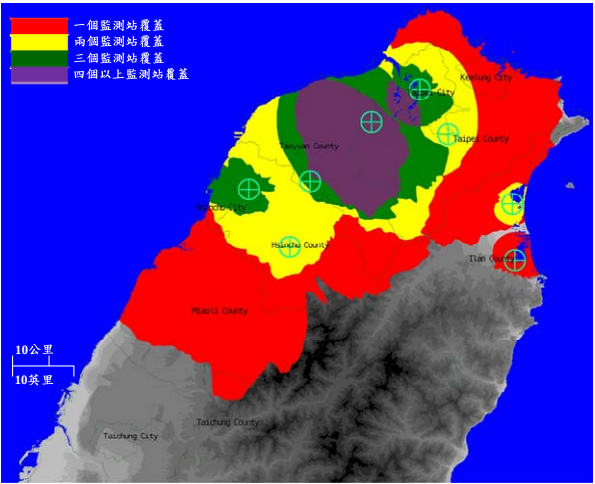
4.5.1 北部地區之監測站臺



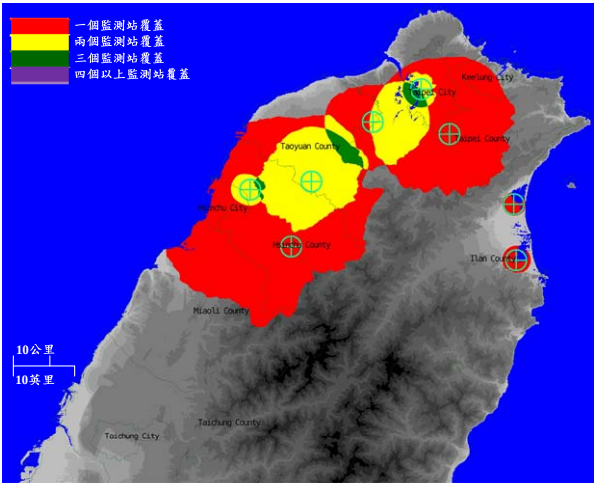
(a) 146.5 MHz



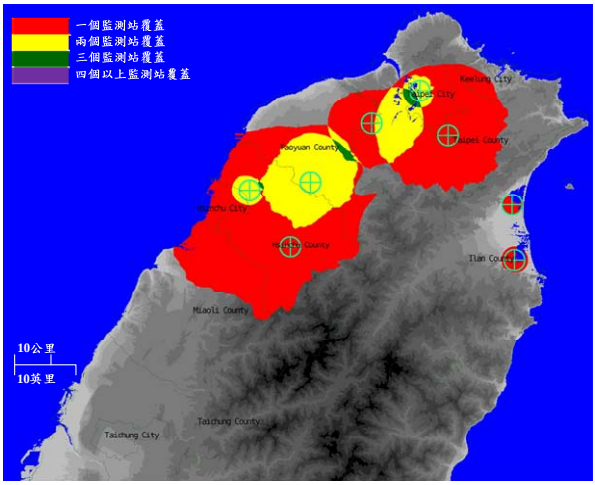
(b) 445 MHz



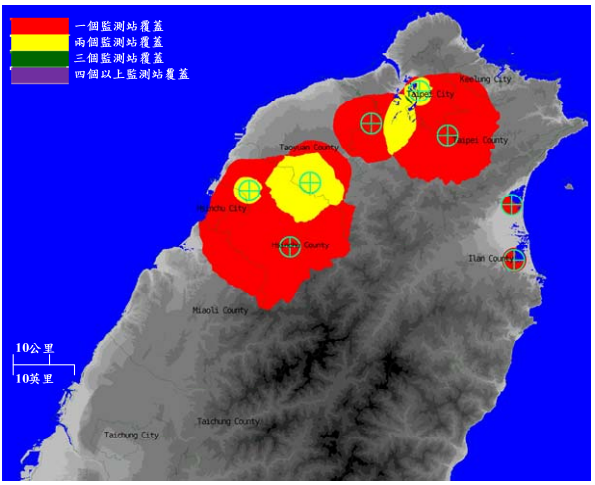
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



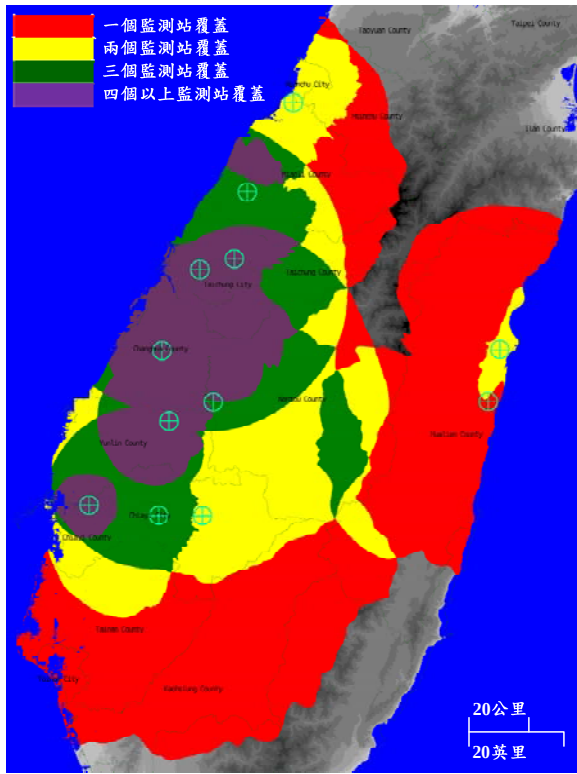
(e) 2430 MHz



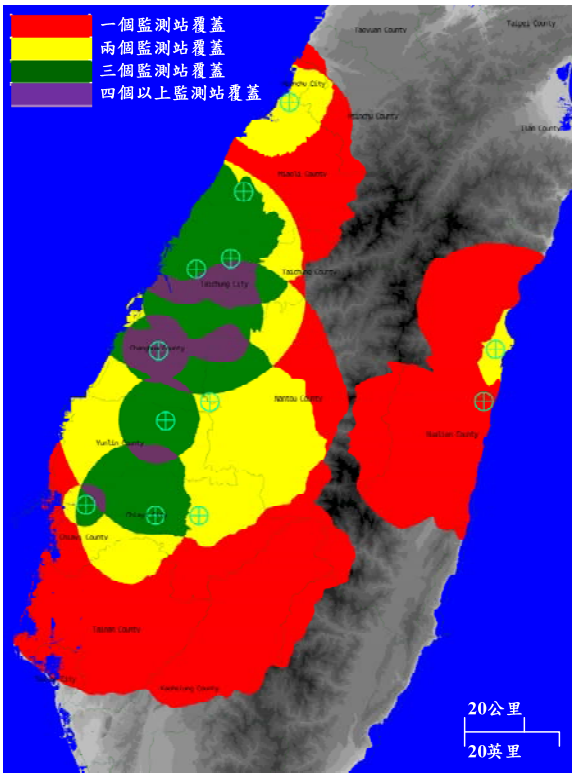
(f) 3470 MHz

圖 4.58 北部地區監測站定向涵蓋模擬圖。

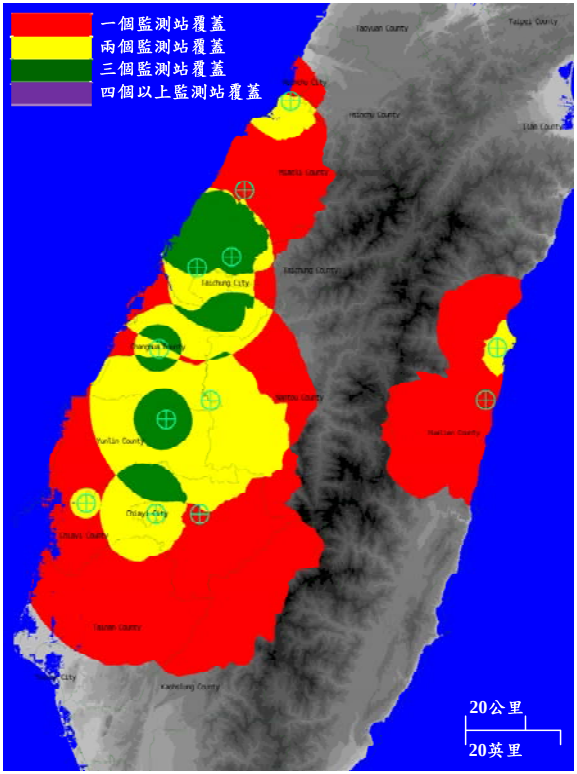
4.5.2 中部地區之監測站臺



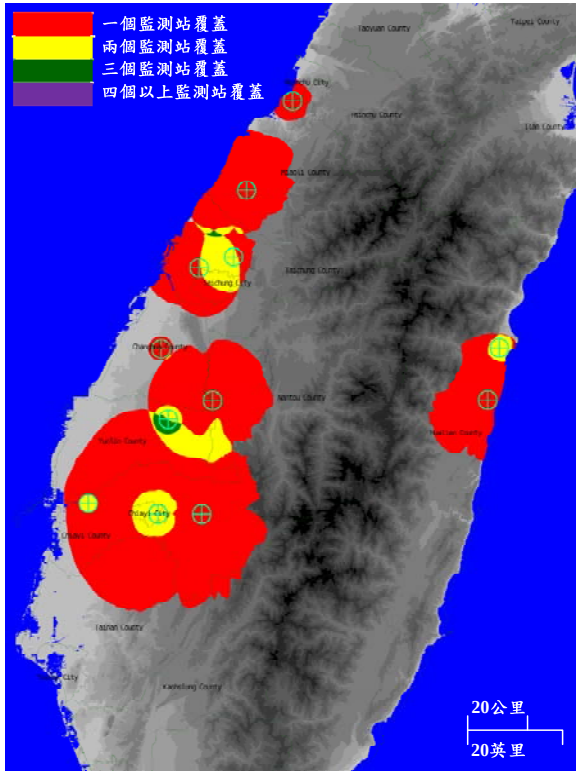
(a) 146.5 MHz



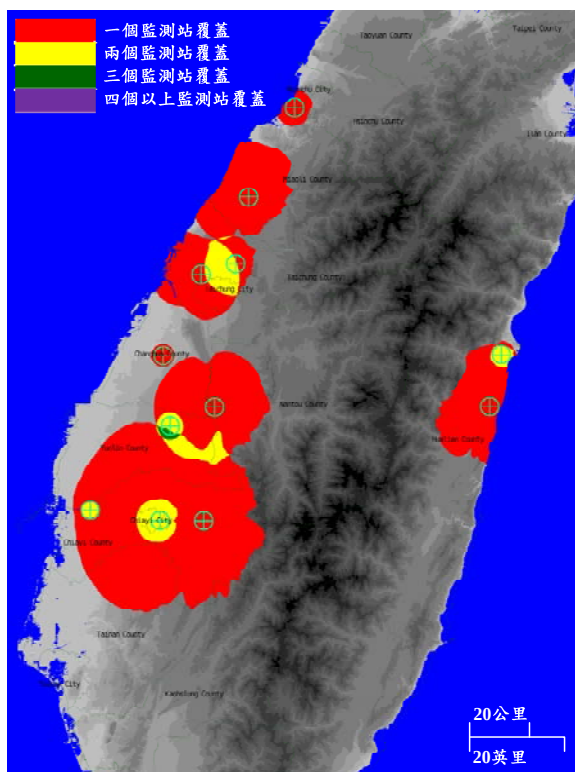
(b) 445 MHz



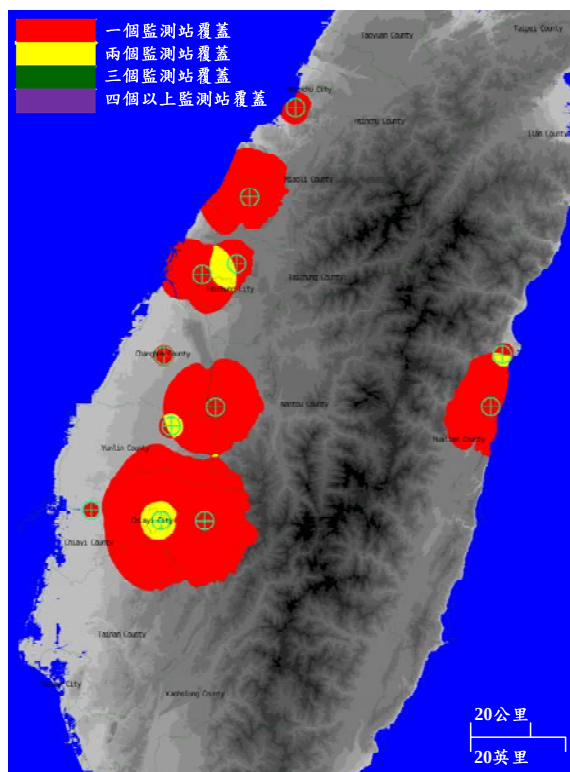
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



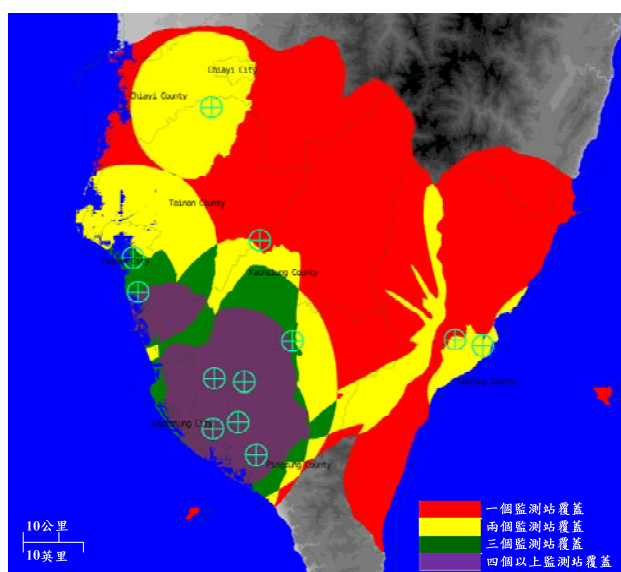
(e) 2430 MHz



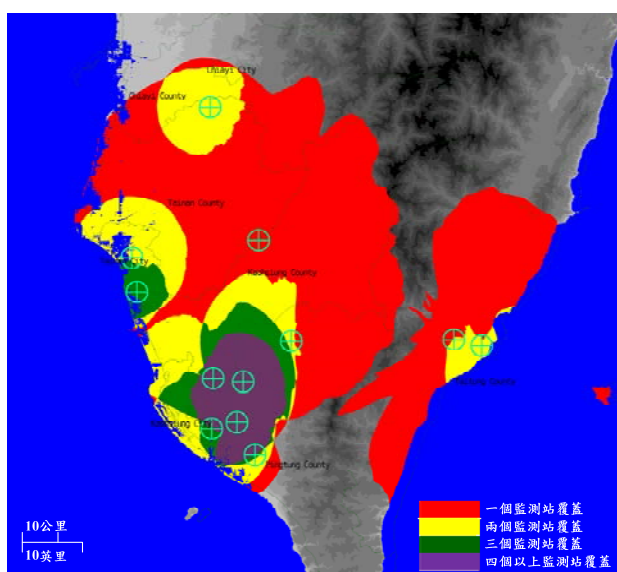
(f) 3470 MHz

圖 4.59 中部地區監測站定向涵蓋模擬圖。

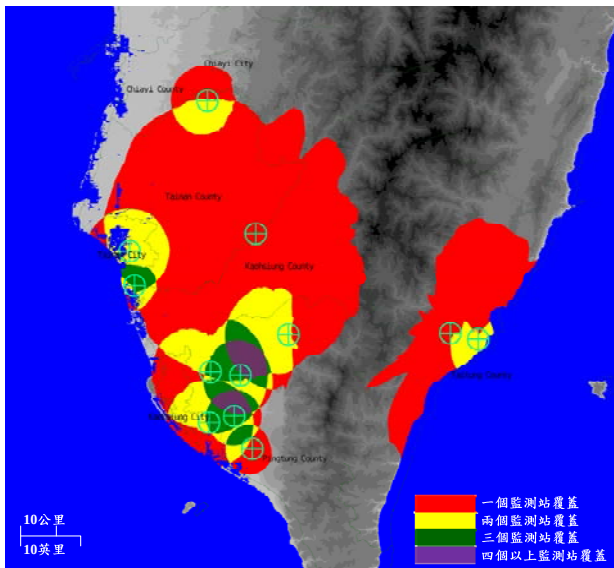
4.5.3 南部地區之監測站臺



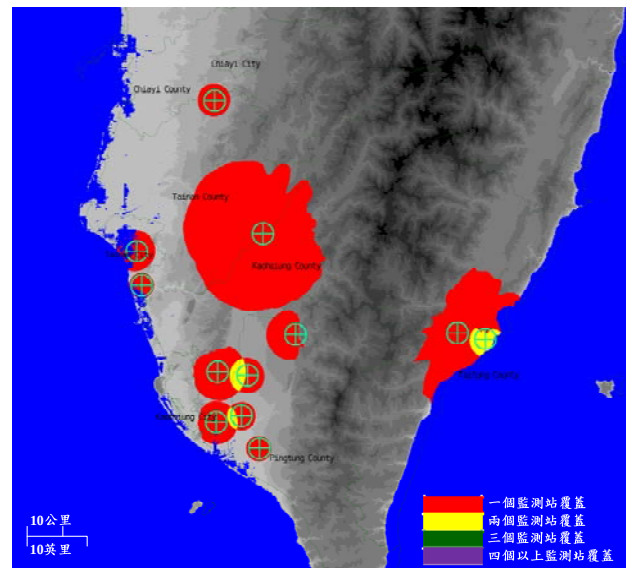
(a) 146.5 MHz



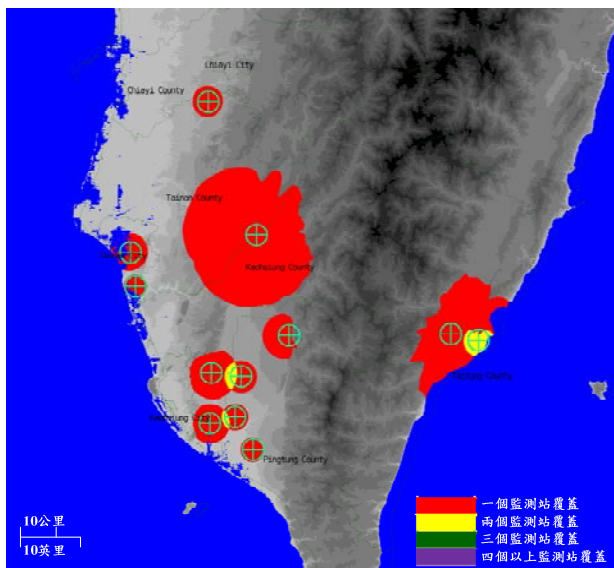
(b) 445 MHz



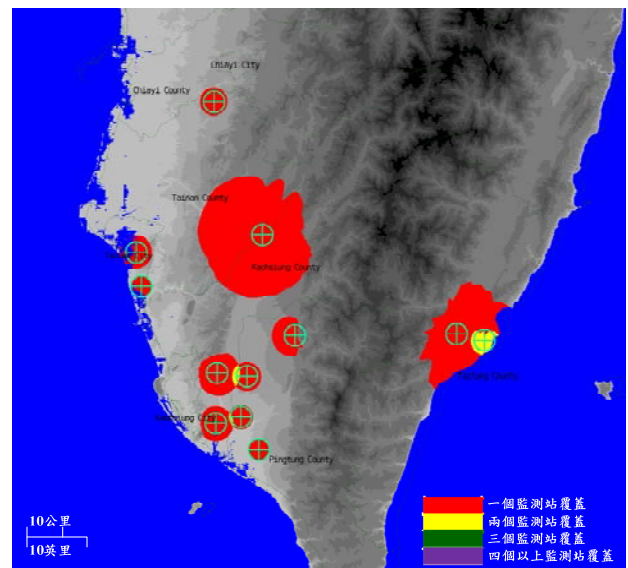
(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



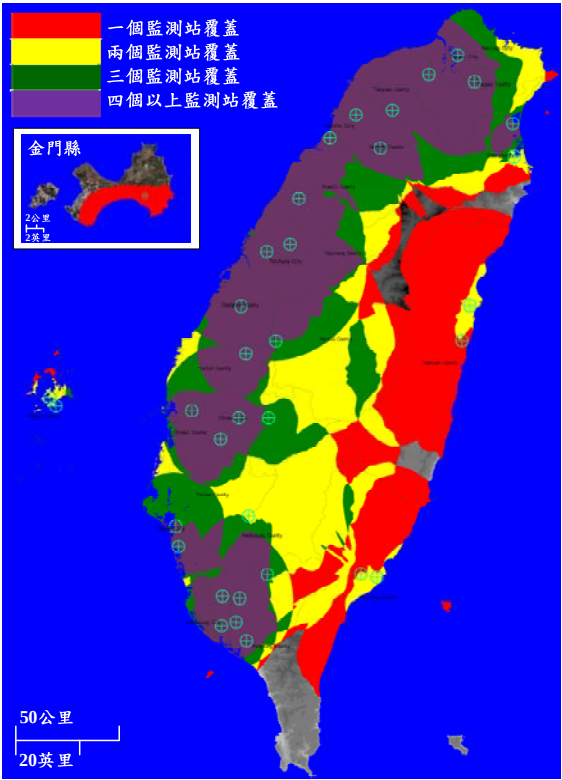
(e) 2430 MHz



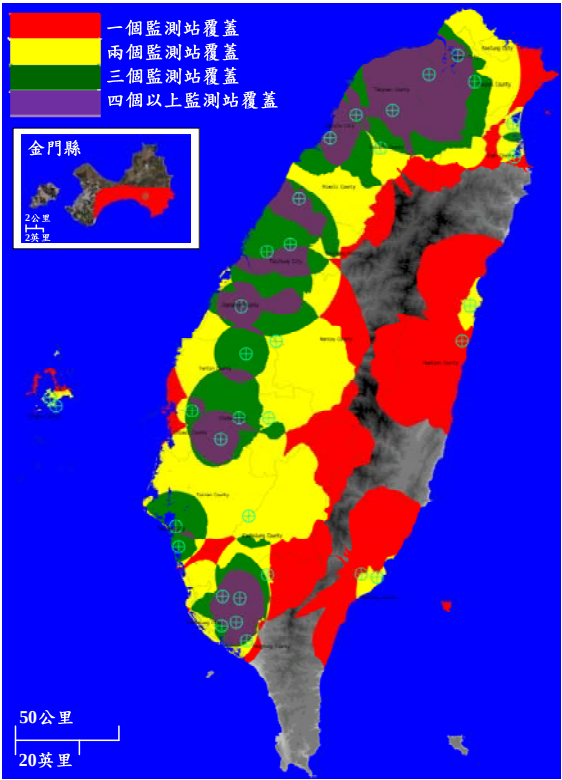
(f) 3470 MHz

圖 4.60 南部地區監測站定向涵蓋模擬圖。

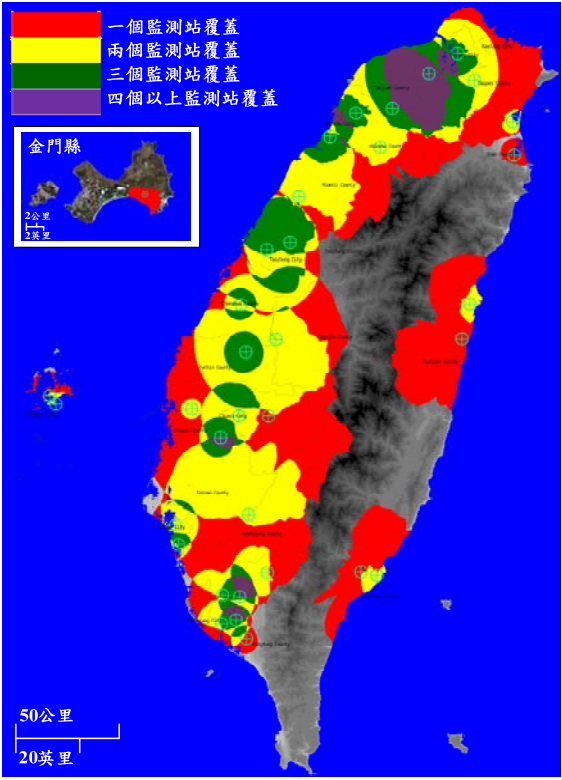
4.5.4 全臺 35 處監測站臺



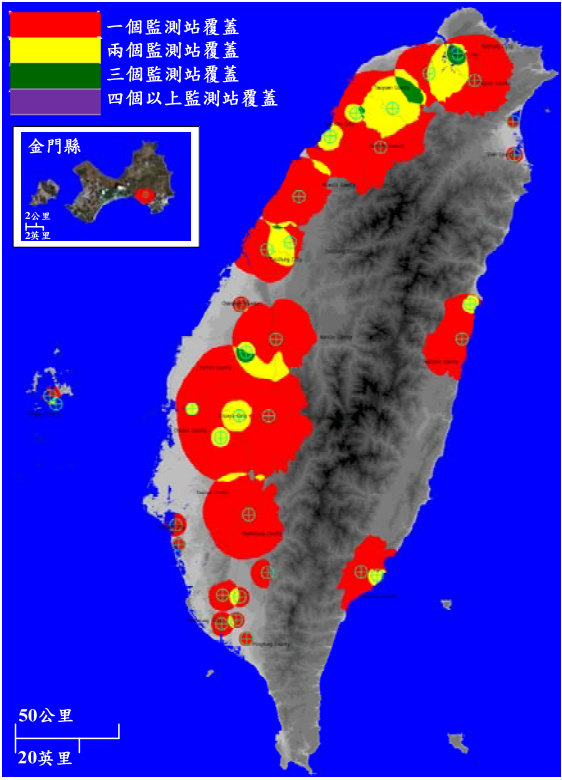
(a) 146.5 MHz



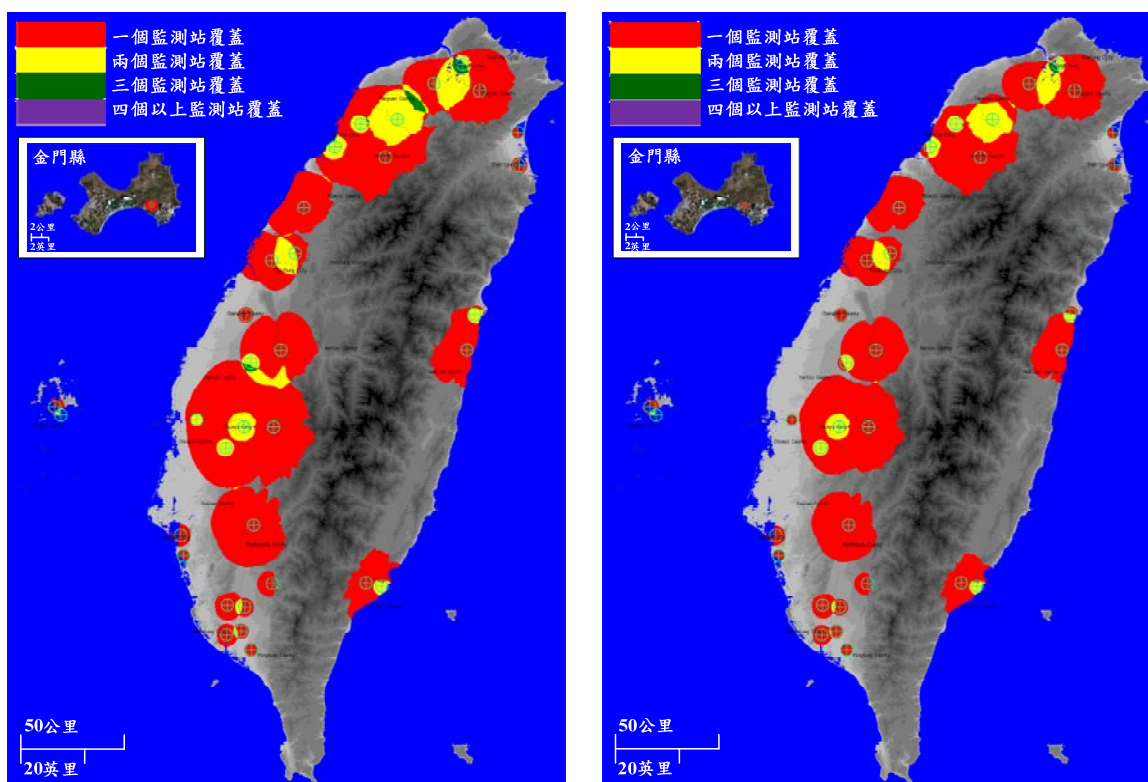
(b) 445 MHz



(c) 855 MHz



(d) 1870 MHz



(e) 2430 MHz

(f) 3470 MHz

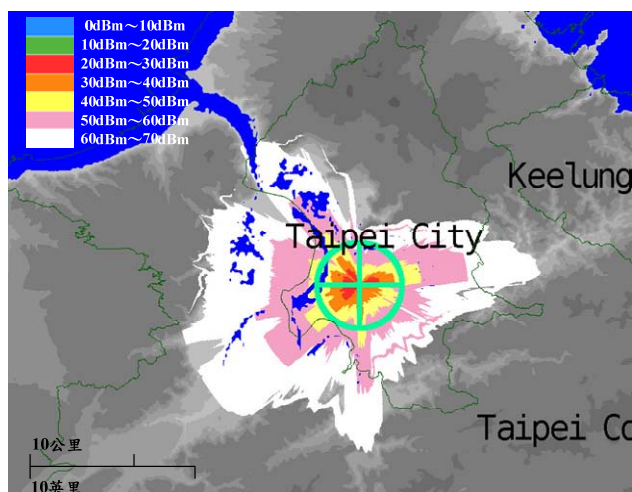
圖 4.61 全臺 35 處監測站定向涵蓋模擬圖。

4.6 移動式與可攜式監測站臺之監測涵蓋模擬

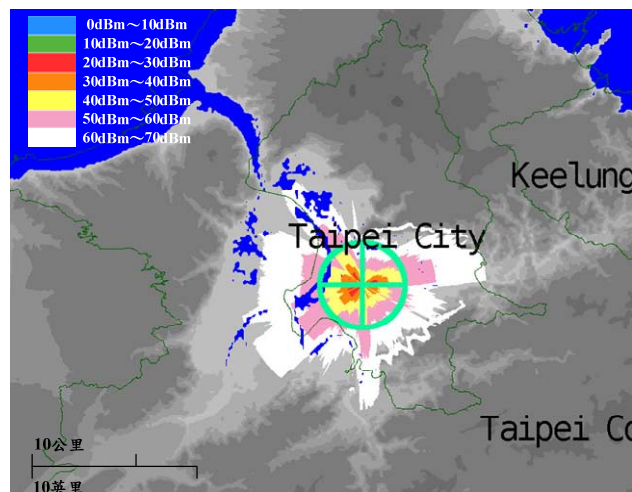
本研究案之軟體平台可藉由輸入經緯度座標位置進行監測/定向涵蓋模擬，因此在臺灣地形的任何一個位置都可加上移動式或可攜式監測站，可針對臺灣某些地區有監測不足的地方進行監測/定向涵蓋模擬。以下是我們在台北市東區某個位置進行移動式與可攜式監測站之模擬，如圖 4.62~4.63 所示，表 4.28 為相關的模擬參數設定。

表 4.28 移動式與可攜式監測站之模擬參數。

經度：121.523 緯度：25.081	
移動式監測站	
監測站天線高度	5 公尺
監測站靈敏度	-110dBm
可攜式監測站	
監測站天線高度	2 公尺
監測站靈敏度	-100dBm

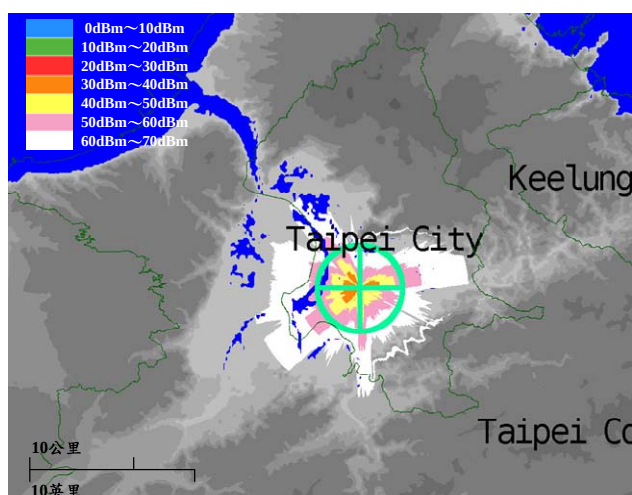


(a) 146.5 MHz

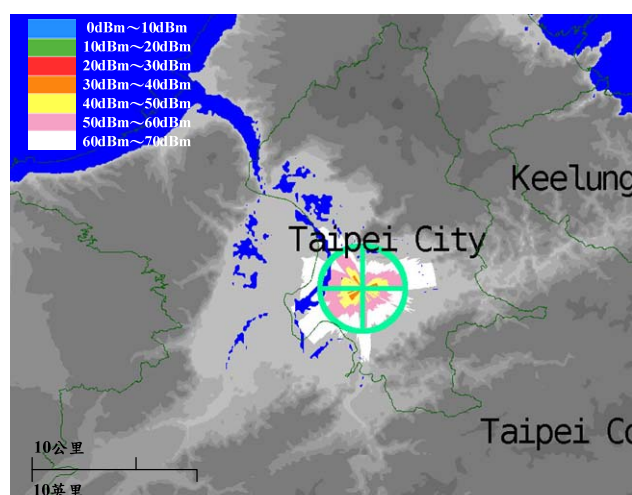


(b) 445 MHz

圖 4.62 移動式監測站之監測涵蓋模擬圖。



(a) 146.5 MHz



(b) 445 MHz

圖 4.63 可攜式監測站之監測涵蓋模擬圖。

第五章 電波監測站臺涵蓋範圍之優化建議

5.1 基因演算法優化分析

本研究案採用簡化的基因演算法，根據全臺 35 個電波監測站的相關位置，加入到軟體平台進行優化分析。利用基因演算法優化的方式[15]，考慮適應度函式，在演化過程中得到適應度更佳的基因。將電波監測站的染色體利用(5.1)式換算成電波監測站位置，直接擺放於模擬平台上，並依使用者設定之參數及環境擺設來進行涵蓋率之模擬。

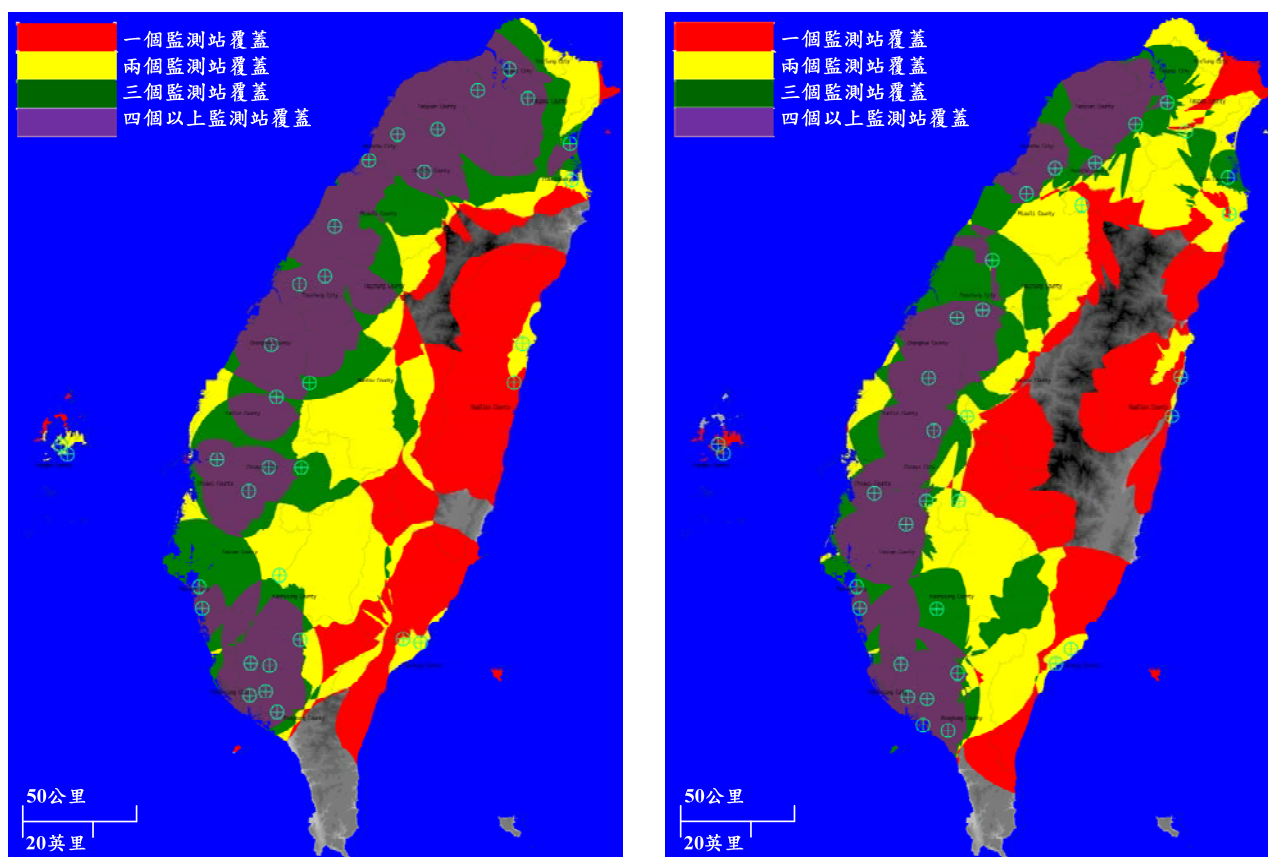
$$\begin{aligned} A_1(x_1, y_1) &= (C_x + (Length - R) \times a, C_y + (Length - R) \times a) \\ A_2(x_2, y_2) &= (C_x + (Length - R) \times c, C_y + (Length - R) \times d) \end{aligned} \quad (5.1)$$

其中， (C_x, C_y) 為環境中心點、Length 為環境長度之一半、Width 為環境寬度之一半，O 為基站可能擺放之位置。由圖 5.1 得知，電波監測站可能擺放之位置很分散且沒有規律，但為了不讓電波監測站的位置太偏邊界以致於影響模擬的準確度，所以限制其位置只能落在邊界扣掉一個電波監測站半徑之範圍內。假設在既有的監測站臺分佈狀況下，使用基因演算法進行監測站臺位置選擇的優化[16-20]。

Chromosome	a	b	c	d
------------	---	---	---	---

圖 5.1 基因編碼圖。

此基因演算法是根據每三處監測站所定向最大涵蓋區域範圍，優化出臺灣本島與澎湖群島之電波監測站佈建位置。圖 5.2(a) 為優化前的臺灣本島與澎湖群島監測站定向涵蓋模擬，圖 5.2(b) 是經由基因演算法優化後的臺灣本島與澎湖群島監測站定向涵蓋模擬。從圖 5.2(b) 中可看出每處監測站位置都有稍微移動過，並且定向涵蓋到最佳狀態。可是在現實狀況中，每處監測站所移動到的位置不見得適合建置，因為要考慮到地形與環境的因素，以及建置成本昂貴。因此，基因演算法優化僅提供參考，不建議做新電波監測站建置之參據。



(a)優化前

(b)優化後

圖 5.2 基因演算法優化模擬圖。

5.2 未來電波監測站建置優先順序

根據 VHF/UHF 固定式電波監測站之佈建位置，選擇監測站的位址時，為避免外界環境對監測系統的性能產生不利影響，位址環境應盡最大可能滿足下列需求[1]：

1. 監測天線在周圍 500 公尺以內不受任何障礙物遮蔽，以減少多路徑傳輸帶來的干擾信號。
2. 遠離已是或將成為工業區或居民密集的地區，至少在 1 公里或更遠處。不能類似有電焊、電力高壓設備、電熱器、吸塵器和帶有極大射頻能量設備的工廠，以防產生的電磁輻射提高監測站周圍的背景雜訊，從而降低監測系統靈敏度。
3. 遠離大功率發射源，因為監測站接收到超出接收範圍的大功率信號時，容易導致信號靈敏度降低或阻塞。因此，固定式電波監測站與各大功率發射站之間的距離應盡可能滿足表 5.1 所列的限制。實際上在都會區很難找到完全滿足表 5.1 限制的場地，如果確

實無法找到，建議監測站不要安裝主動式天線（Active Antenna）。因為如果使用主動式天線，接收到的強信號就容易產生交互調變信號，使監測或定向結果產生影響。

表 5.1 電波監測站與大功率發射站間的距離限制。

工作頻率	發射機功率(kW)	最小間距(km)
$9\text{ kHz} \leq f \leq 174\text{ MHz}$	<1	1
	1~10	5
	>10	10
$174\text{ MHz} \leq f \leq 3\text{ GHz}$	<1	1
	1~10	2
	>10	5

4. 監測站天線與超過 100kV 的高壓電線間距不要小於 1 公里，以避免高壓電線帶來的寬頻雜訊干擾。
5. 遠離機場，監測站與飛機跑道的距離應在 8 公里以上。因為低飛行物會反射大量的多路徑傳播信號，而且無論是來自飛機上的機械式還是電子式干擾，都會妨礙到監測。

若根據台灣現有的 35 處電波監測站，與其它國家的監測站數量相比，台灣的電波監測站算是蓋的數量多又密集。由上一章節的臺灣本島的 32 處監測站各別之涵蓋面積比率（如表 4.20）和臺灣本島整體之總涵蓋面積比率（如表 4.23）相比（以頻率 445MHz，發射機的 EIRP 值 0dBm~50dBm 為例），32 處監測站之涵蓋率相加起來的值約為 85%，而臺灣本島整體之涵蓋率約為 55.5%，很明顯可看出有 29.5%是各監測站有重疊覆蓋到的部份。因此，有些重疊覆蓋到的監測站其實可以考慮不做新世代電波監測站之建置規劃。以下我們將陸續各別撤掉 16 個電波監測站，進行監測/定向涵蓋模擬與涵蓋範圍分析，如圖 5.3 所示。

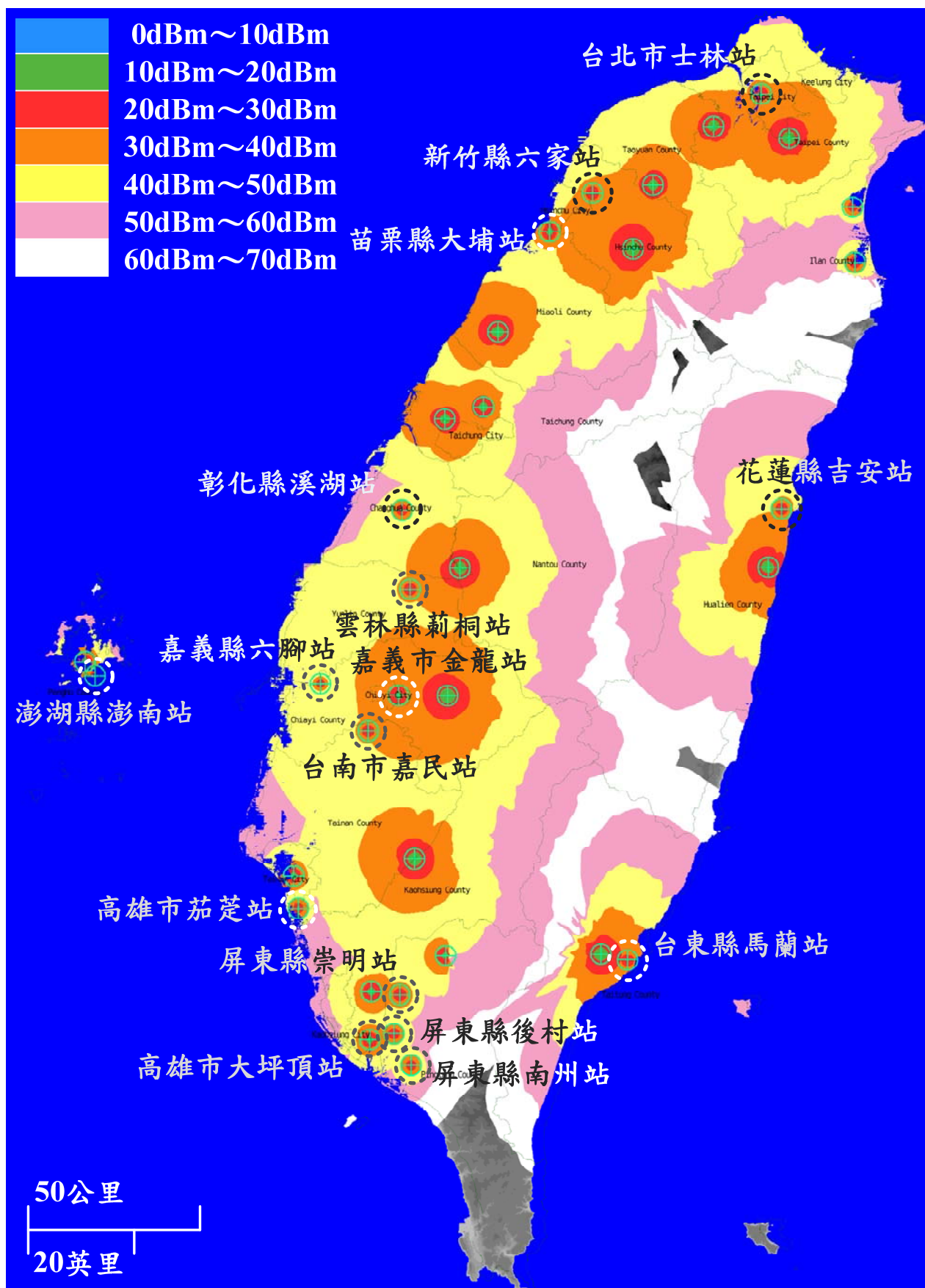


圖 5.3 分別撤掉 16 個電波監測站之位置圖。

建議撤掉的電波監測站有台北市士林站、新竹縣六家站、苗栗縣大埔站、彰化縣溪湖站、雲林縣莿桐站、嘉義市金龍站、嘉義縣六腳站、台南市嘉民站、高雄市茄萣站、高雄市大坪頂站、屏東縣崇明站、屏東縣後村站、屏東縣南州站、台東縣馬蘭站、花蓮縣吉安站和澎湖縣澎南站。決定被撤掉的監測站之建議方法如下：

1. 監測站與鄰近監測站非常靠近。
2. 監測涵蓋面積非常小。
3. 被其它地形位置較高的監測站有涵蓋到的監測站。

以下圖 5.4~5.19 分別為撤掉 1~16 個監測站之電波涵蓋模擬圖，其中監測/定向涵蓋模擬只考慮地勢高度的影響，並未考慮建築物與遮蔽物所造成的偵測盲點。從表 5.2 的監測涵蓋面積比率可看出，分別撤掉 1~15 個監測站與原本臺灣本島之監測站的總涵蓋面積比率幾乎近似，並沒有太大的差異。其中澎湖縣澎南站並不包含在臺灣本島內，因此對臺灣本島的總涵蓋面積比率沒有任何的影響。直到撤掉第 16 個監測站之後，總涵蓋面積比率才開始減少，而各 EIRP 值的涵蓋面積比率也明顯有減少的現象。

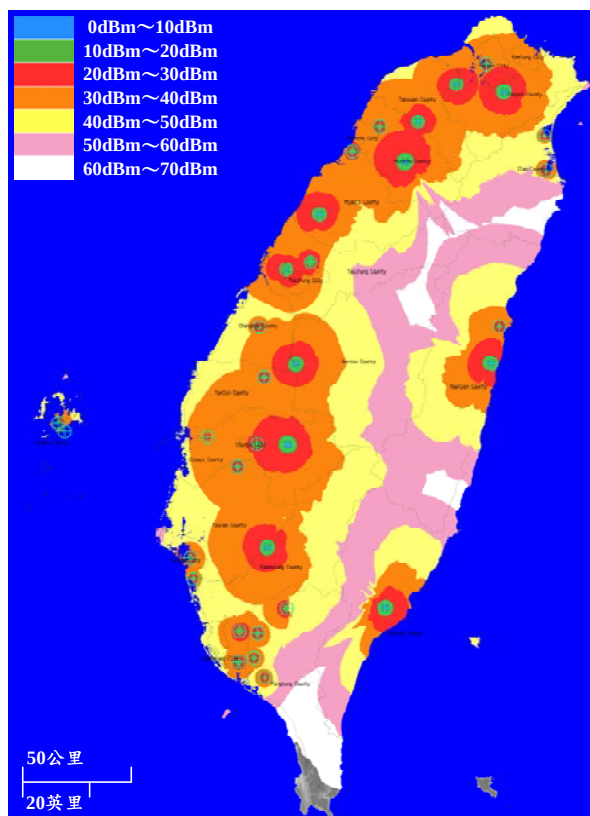
定向涵蓋的部份撤掉 3~6 個監測站開始，雲林縣、嘉義縣和台南市地區幾乎只有被兩個監測站覆蓋到。直到撤掉 14~16 個監測站時，高雄市和屏東縣有被三個監測站覆蓋到的地區也開始逐漸縮小。至於花蓮縣、台東縣和澎湖縣也都只剩下 1 個監測站有被覆蓋到，而這些地區的人口密度也較稀少，可藉由移動式監控車或可攜式監控設備充當臨時的電波監控站，這樣也可以省下固定式監測站的建置成本。若外島及台東地區未常駐人員在那裡，還是請貴會建置固定式監測站會比較理想。若從監測涵蓋面積比率上來看，撤掉 16 個監測站對臺灣本島的涵蓋面積比率並沒有太大的影響；可是從定向涵蓋角度來看，撤掉第 6 個監測站就會有很明顯定向偵測不足的問題。

表 5.2 撤掉 1~16 個監測站之涵蓋面積比率比較表。

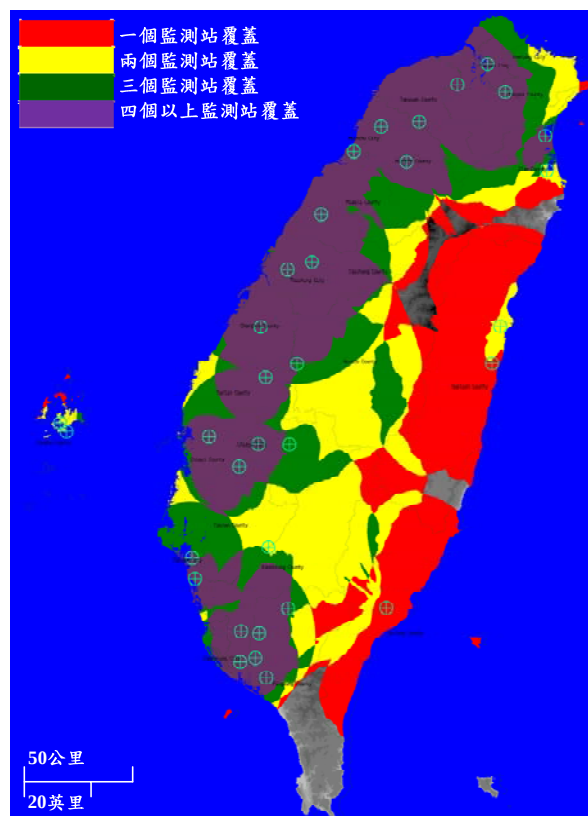
撤掉站臺 之個數	撤掉之站 臺(含以上)	頻率 (MHz)	發射機 EIRP 值佔全臺灣本島之涵蓋面積比率					總涵蓋率
			20~30dBm	30~40dBm	40~50dBm	50~60dBm	60~70dBm	
0	無	146.5	10.365%	32.063%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
		445	3.266%	17.63%	34.102%	24.694%	16.136%	96.266%
1	台東縣	146.5	10.38%	32.06%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%

	馬蘭站	445	3.236%	17.661%	34.102%	24.694%	16.136%	96.266%
2	嘉義市	146.5	10.371%	32.101%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
	金龍站	445	3.19%	17.719%	34.102%	24.694%	16.136%	96.266%
3	台南市	146.5	10.32%	32.167%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
	嘉民站	445	3.161%	17.709%	34.141%	24.694%	16.136%	96.266%
4	新竹縣	146.5	10.259%	32.245%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
	六家站	445	3.127%	17.739%	34.145%	24.694%	16.136%	96.266%
5	苗栗縣	146.5	10.164%	32.361%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
	大埔站	445	3.09%	17.64%	34.289%	24.694%	16.136%	96.266%
6	雲林縣	146.5	10.108%	32.433%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
	莿桐站	445	3.058%	17.6%	34.36%	24.694%	16.136%	96.266%
7	花蓮縣	146.5	10.059%	32.498%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
	吉安站	445	3.029%	17.551%	34.439%	24.694%	16.136%	96.266%
8	澎湖縣	146.5	10.056%	32.503%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
	澎南站	445	3.025%	17.553%	34.44%	24.694%	16.136%	96.266%
9	台北市	146.5	10.005%	32.571%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
	士林站	445	2.999%	17.553%	34.471%	24.694%	16.136%	96.266%
10	屏東縣	146.5	10.005%	32.571%	29.156%	20.527%	5.219%	98.956%
	崇明站	445	2.966%	17.47%	34.52%	24.76%	16.136%	96.266%
11	屏東縣	146.5	9.907%	32.488%	29.361%	20.532%	5.219%	98.956%
	後村站	445	2.942%	17.409%	34.541%	24.825%	16.136%	96.266%
12	彰化縣	146.5	9.868%	32.434%	29.466%	20.532%	5.219%	98.956%
	溪湖站	445	2.918%	17.342%	34.632%	24.826%	16.136%	96.266%
13	嘉義縣	146.5	9.842%	32.461%	29.466%	20.532%	5.219%	98.956%
	六腳站	445	2.903%	17.311%	34.678%	24.826%	16.136%	96.266%
14	高雄市	146.5	9.816%	32.396%	29.567%	20.532%	5.219%	98.956%
	茄萣站	445	2.883%	17.274%	34.648%	24.912%	16.136%	96.266%
15	屏東縣	146.5	9.786%	32.277%	29.516%	20.742%	5.219%	98.956%
	南州站	445	2.862%	17.223%	34.495%	24.995%	16.277%	96.266%
16	高雄市	146.5	9.701%	31.969%	29.675%	20.916%	5.29%	98.943%
	大坪頂站	445	2.828%	17.078%	34.202%	25.305%	16.397%	96.214%

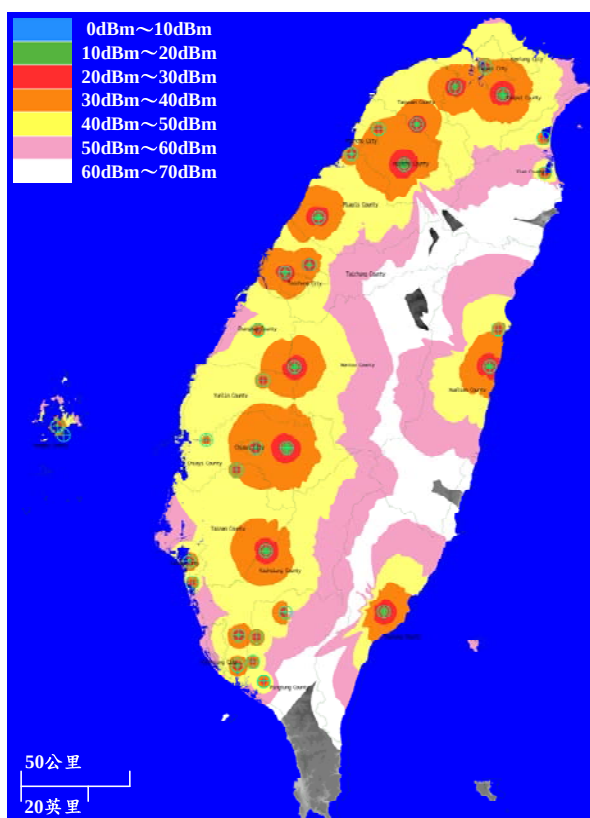
※以上模擬的發射機高度為 2 公尺。



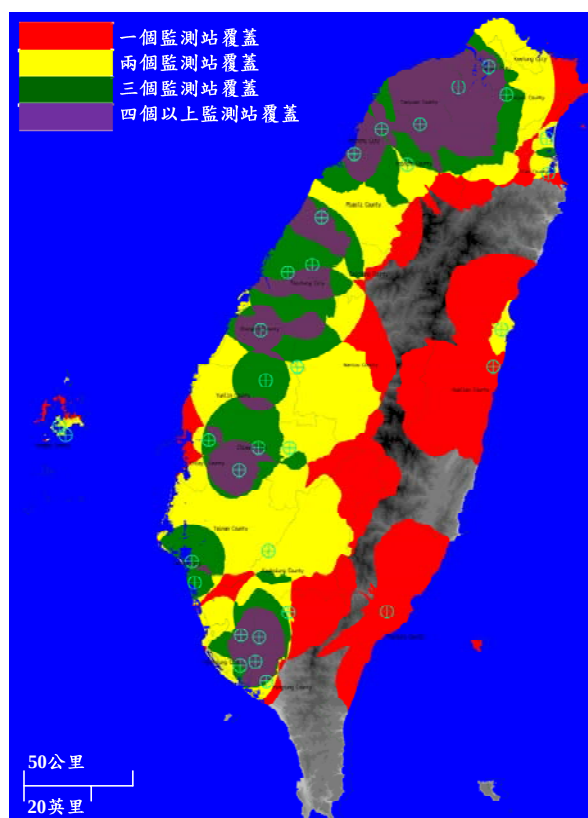
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

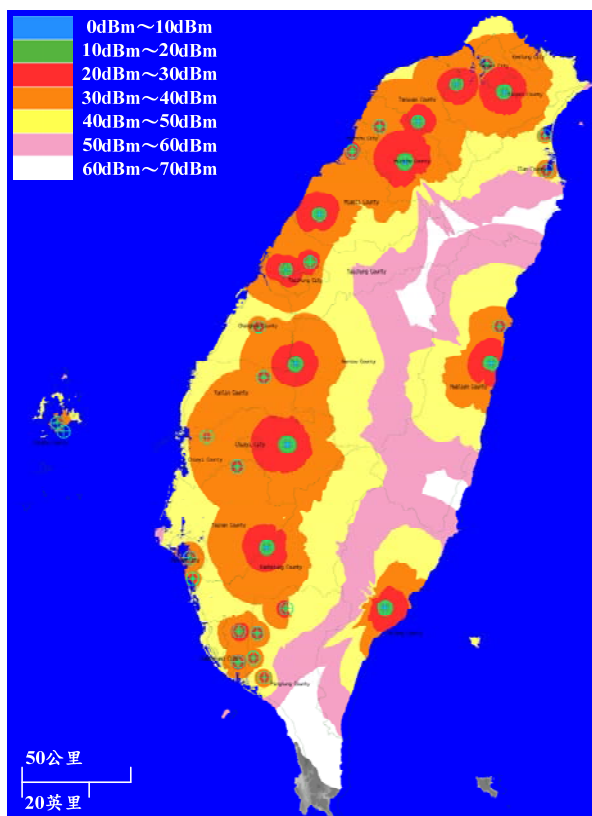


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

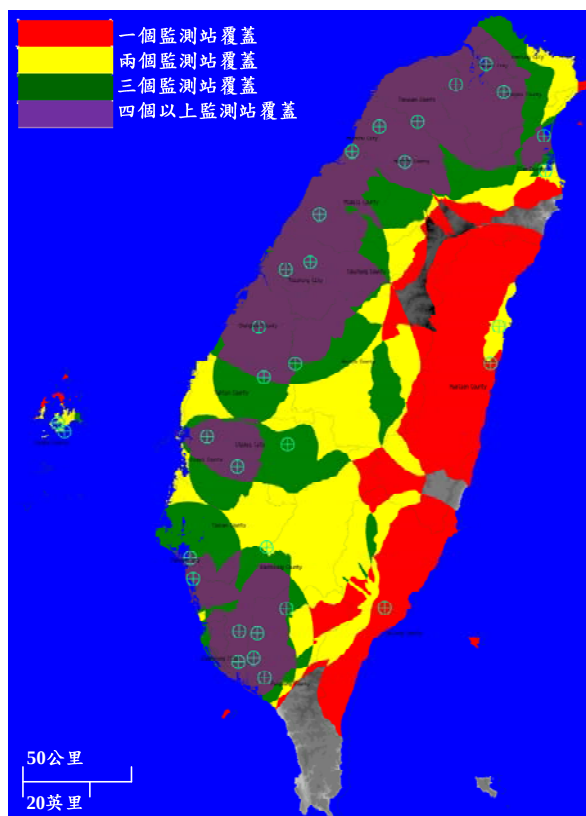


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

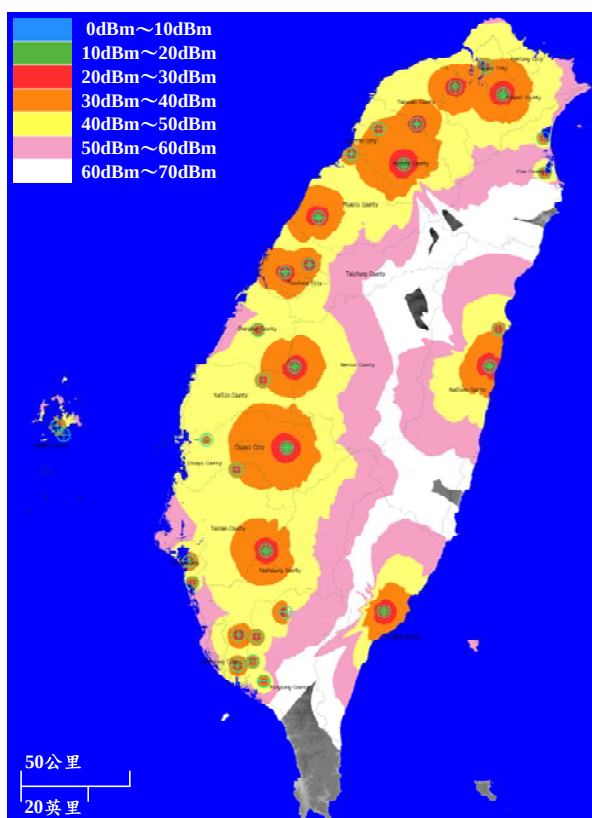
圖 5.4 撤掉 1 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



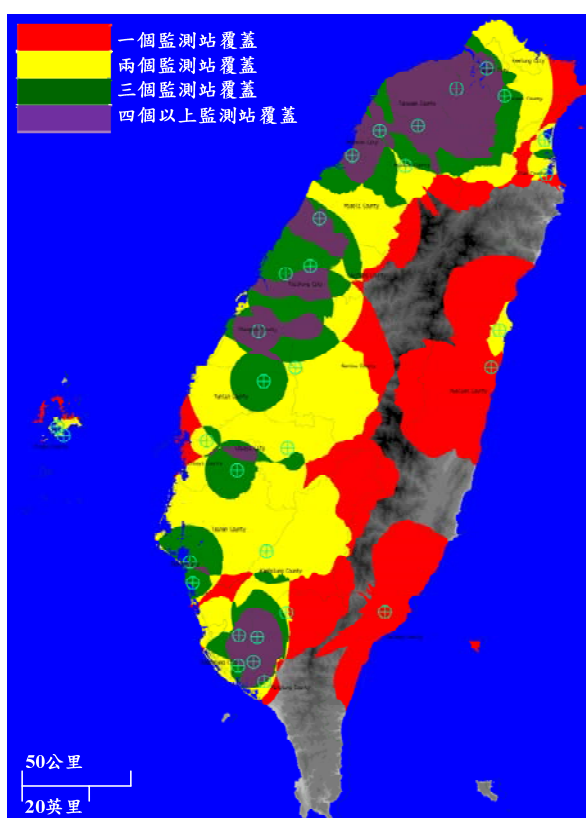
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

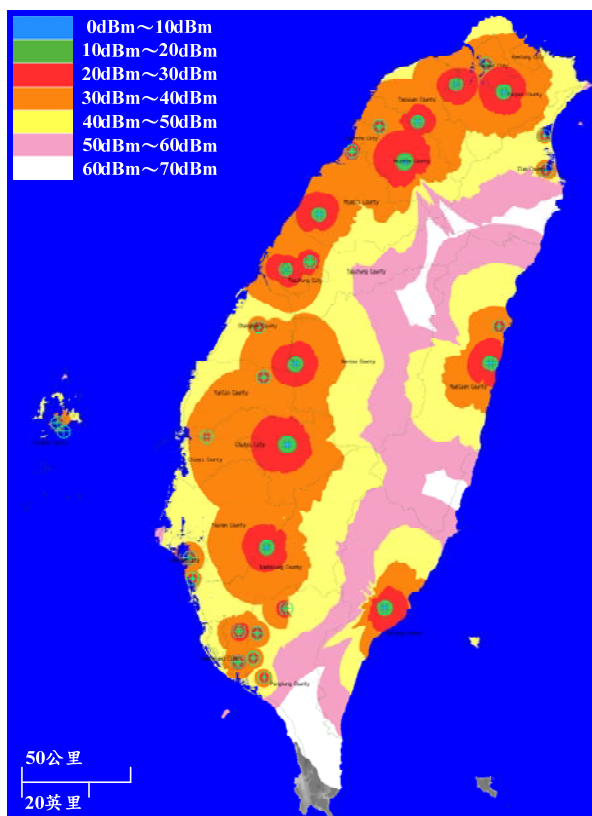


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

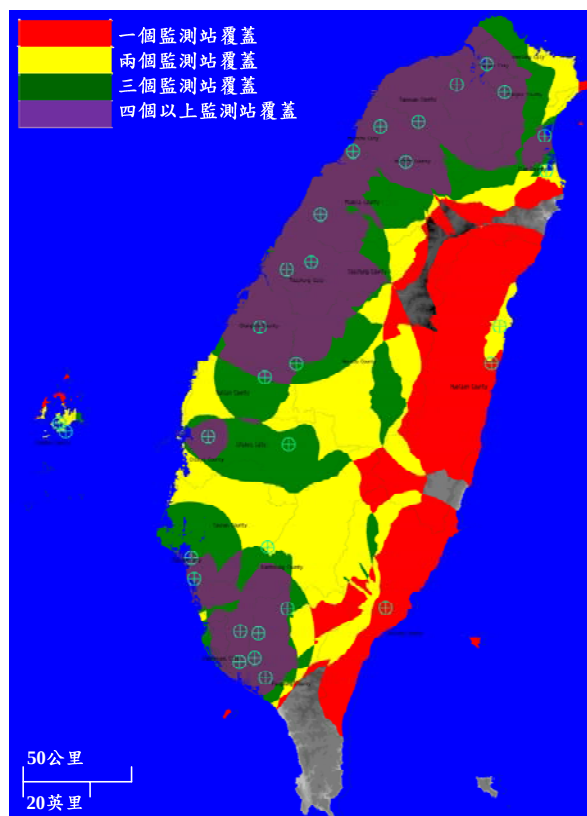


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

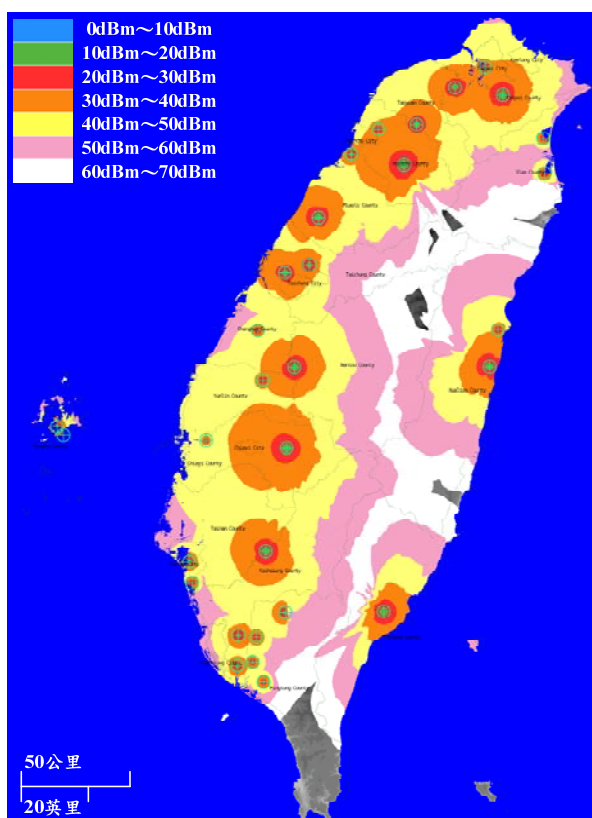
圖 5.5 撤掉 2 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



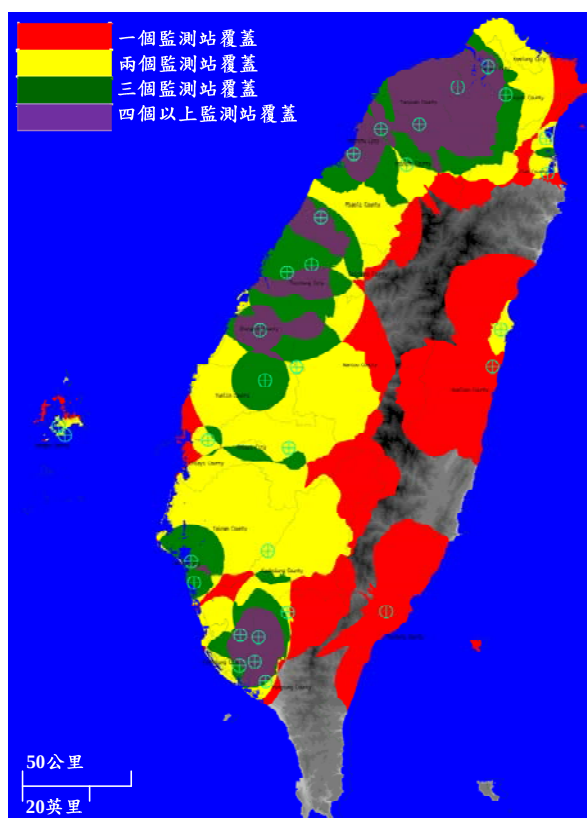
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

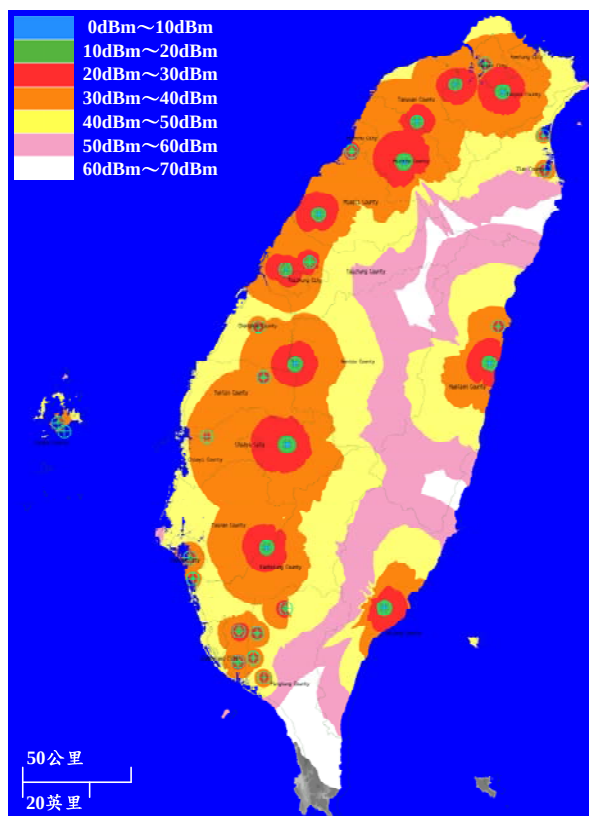


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

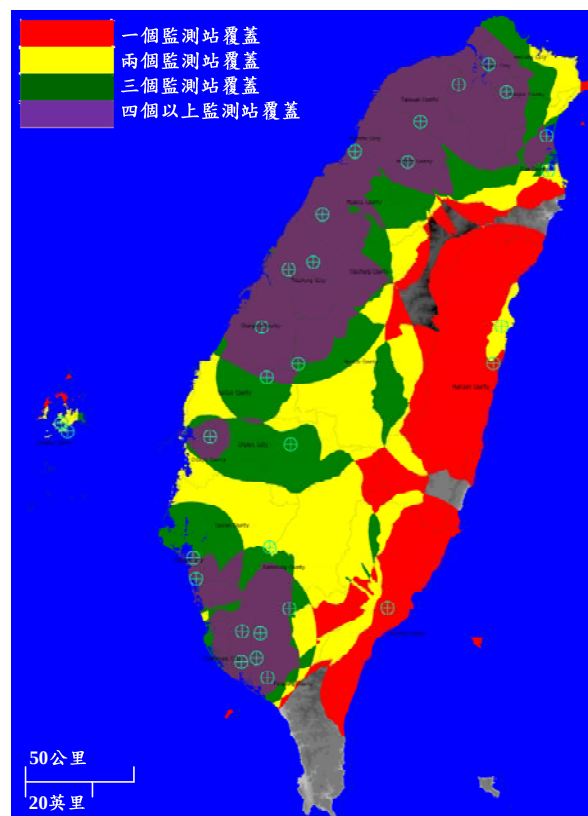


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

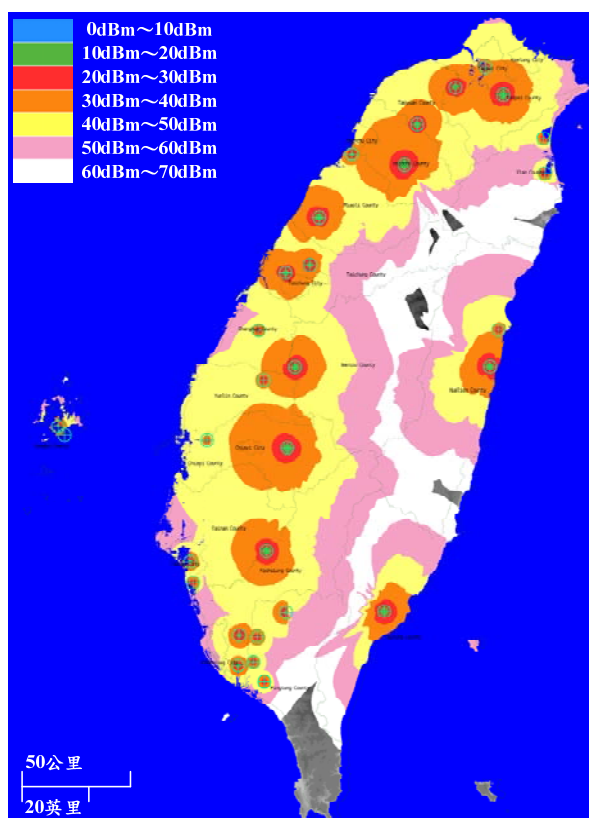
圖 5.6 撤掉 3 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



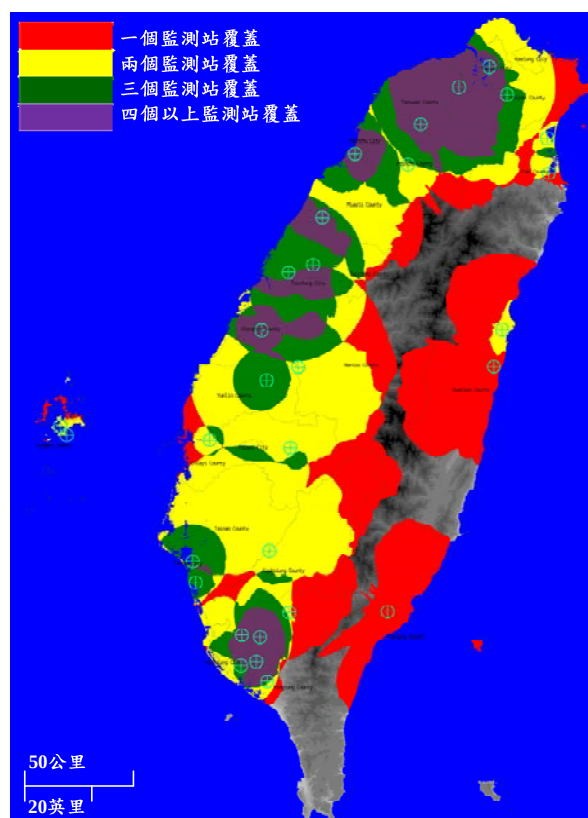
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

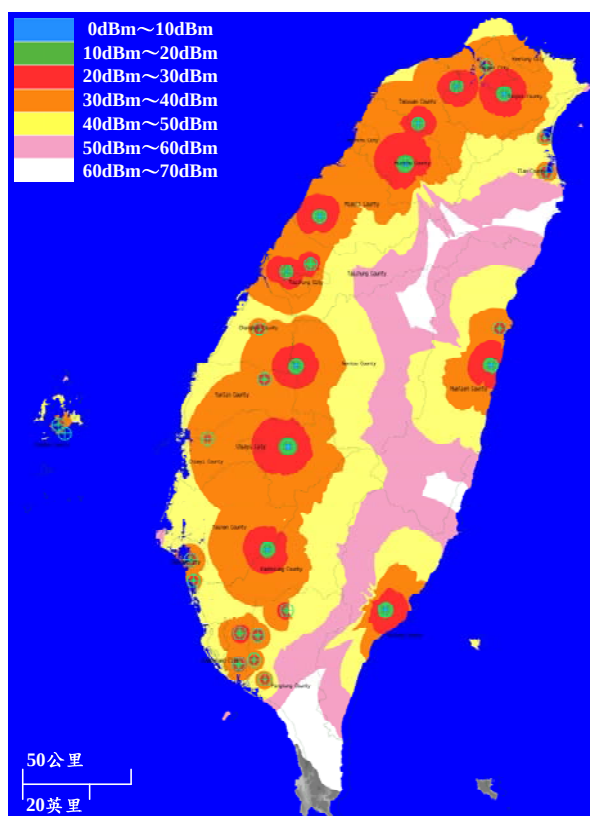


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

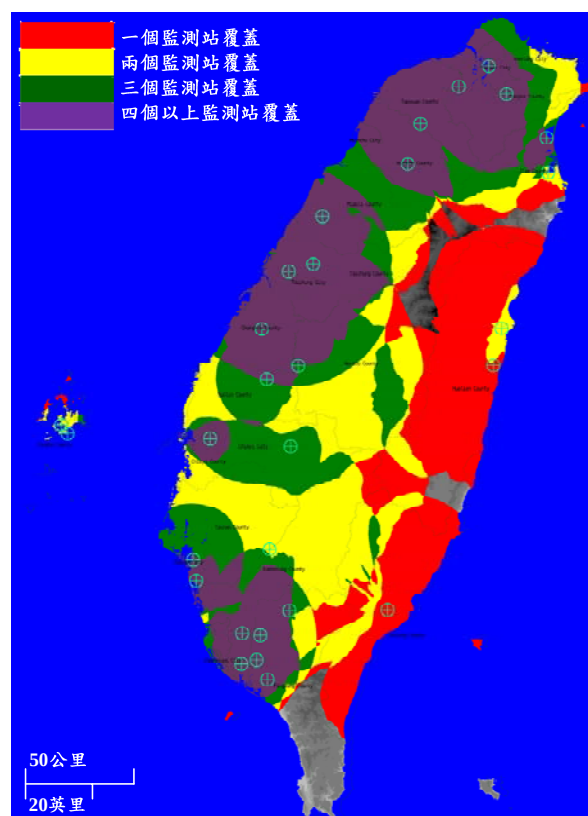


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

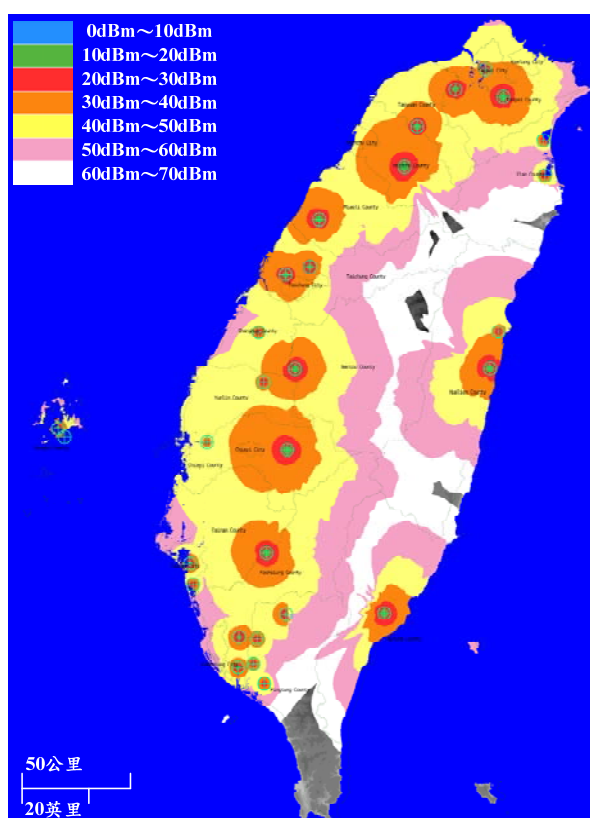
圖 5.7 撤掉 4 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



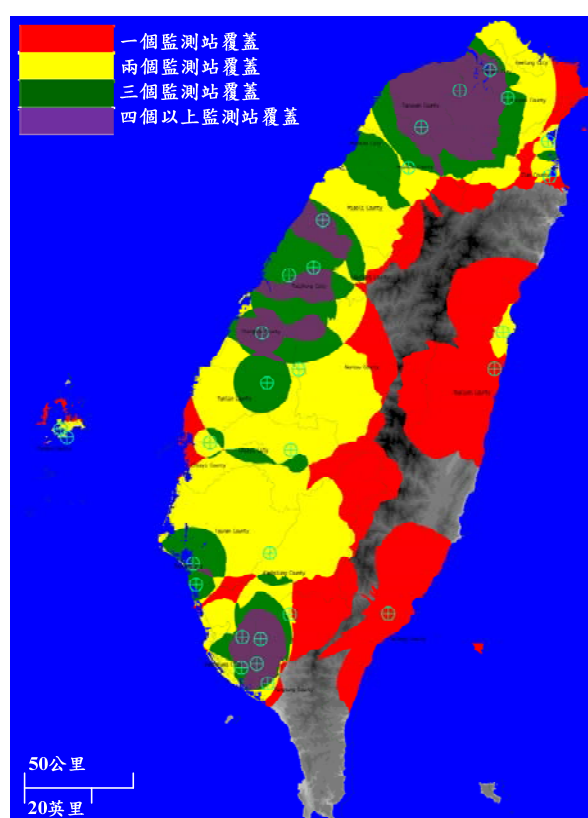
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

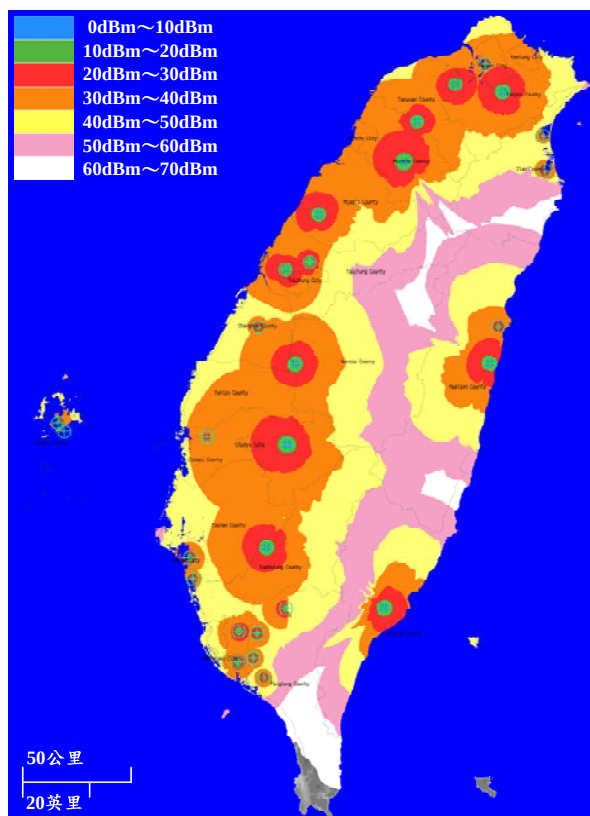


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

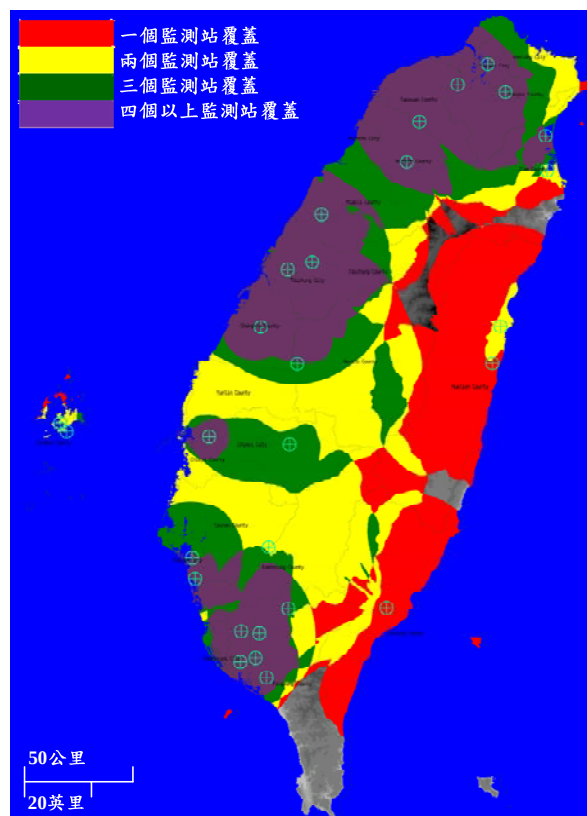


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

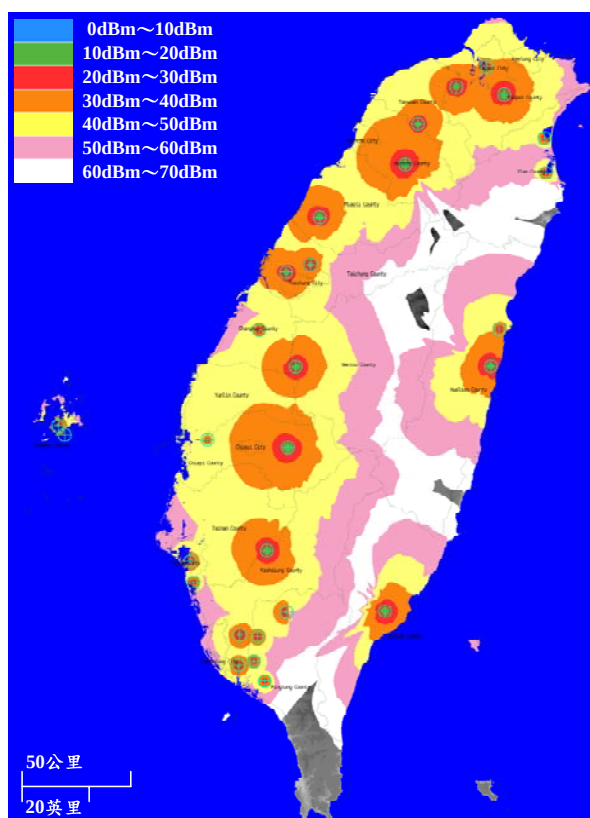
圖 5.8 撤掉 5 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



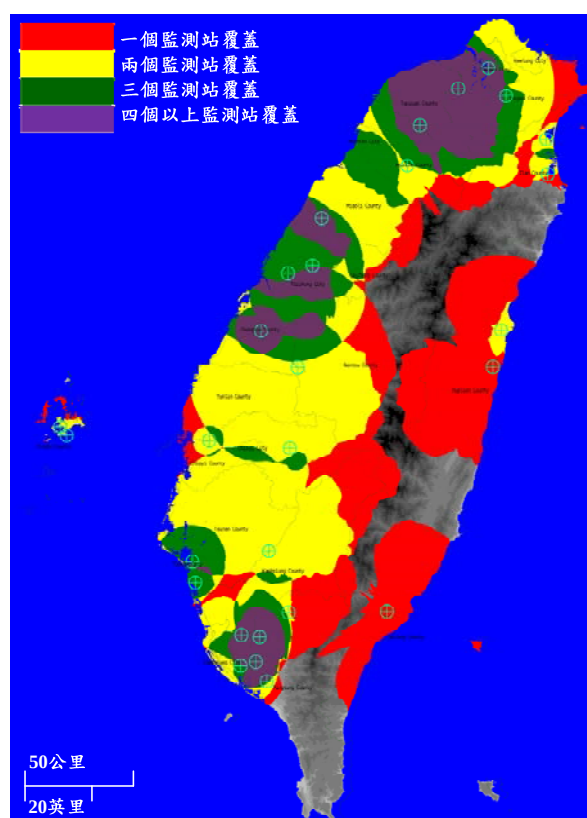
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

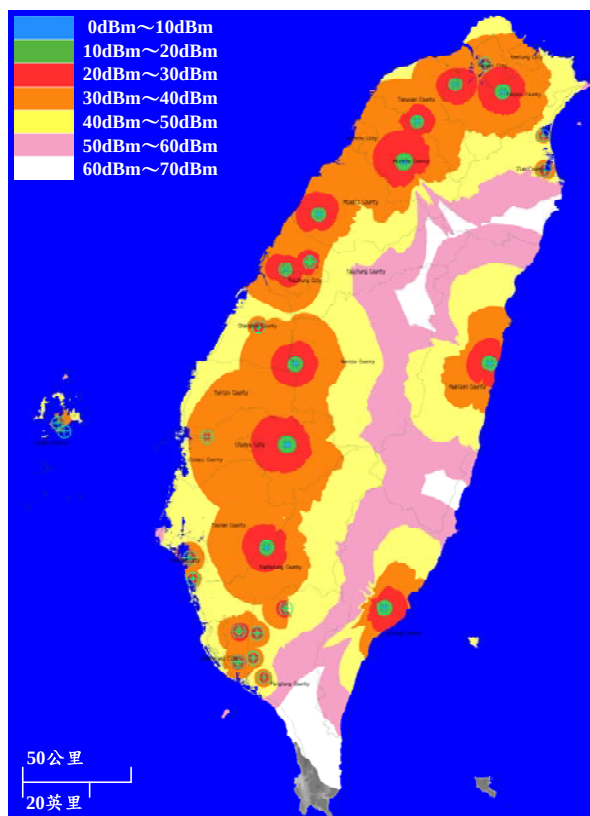


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

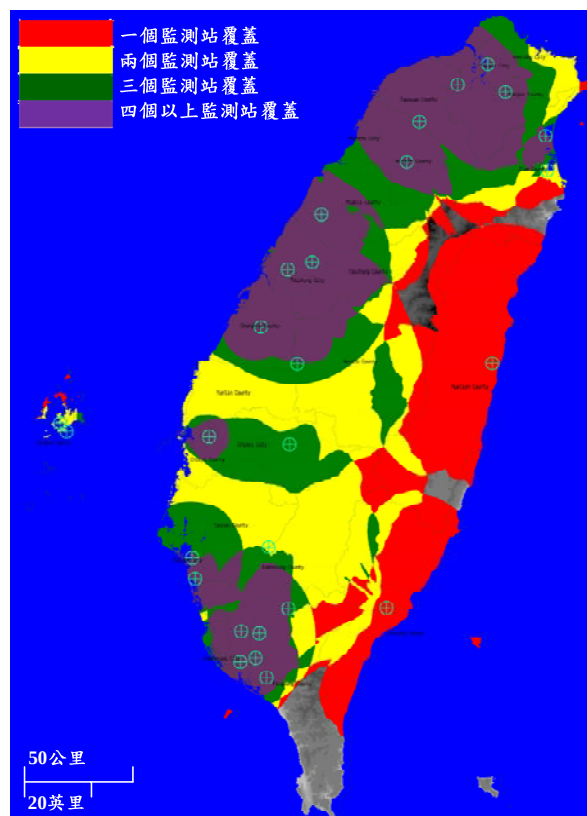


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

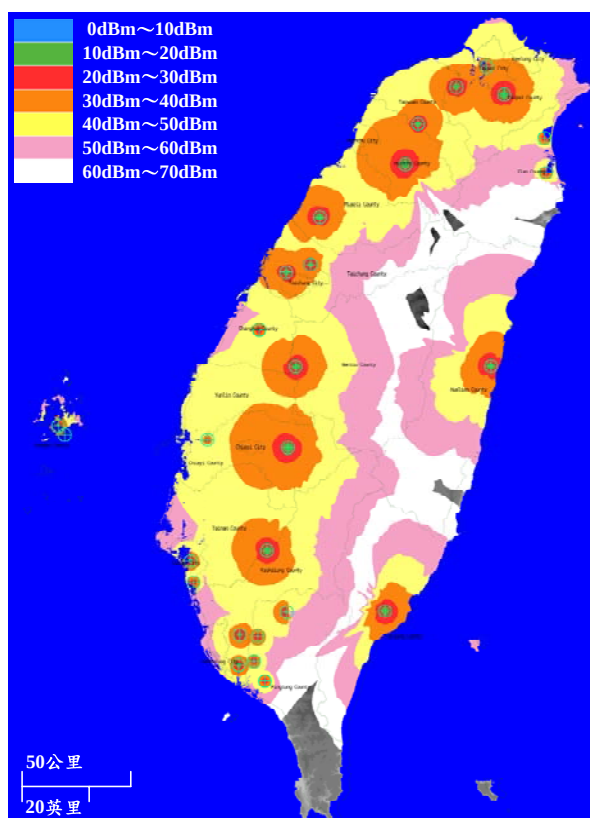
圖 5.9 撤掉 6 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



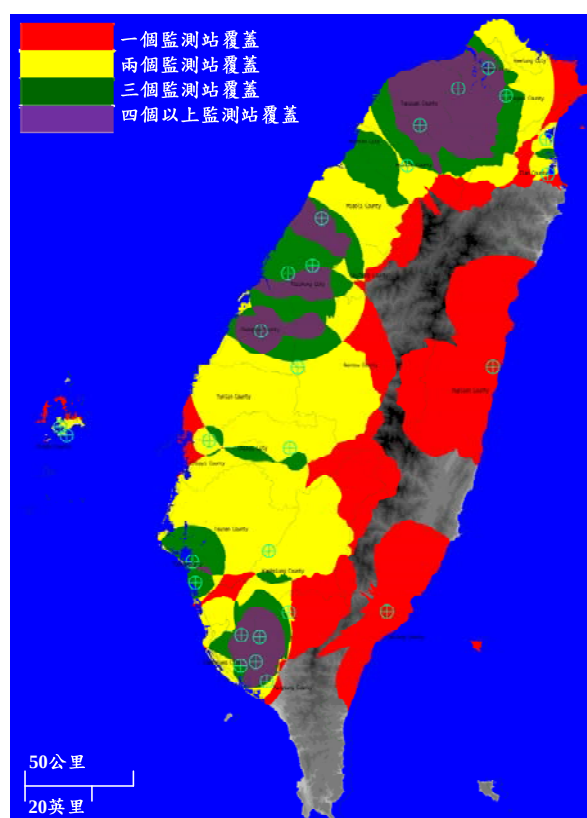
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

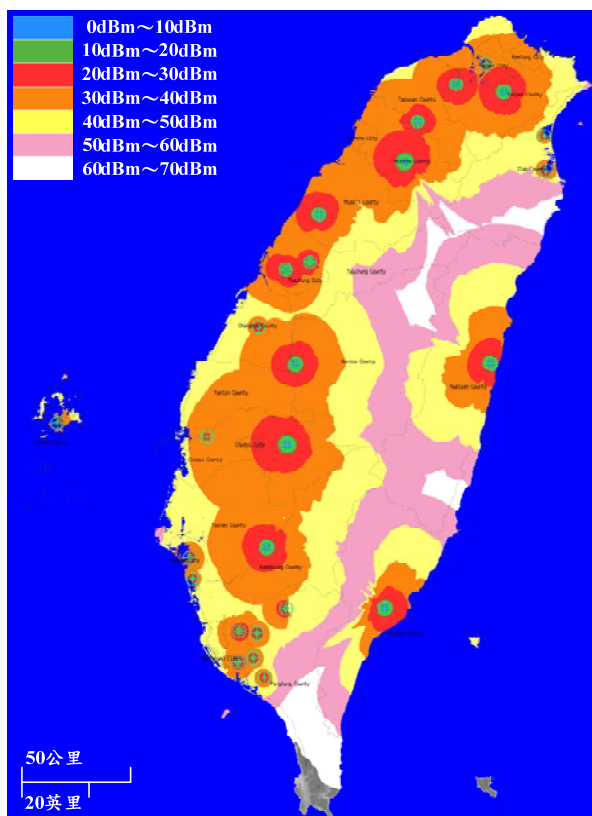


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

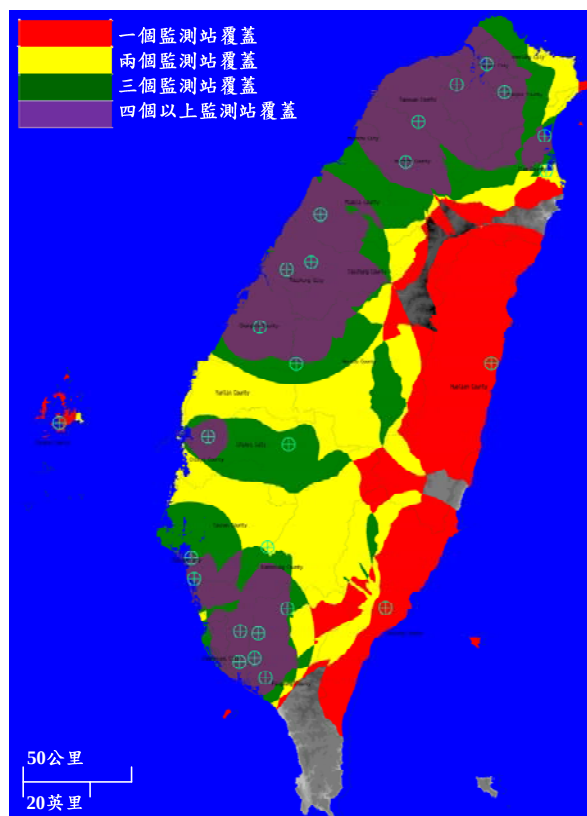


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

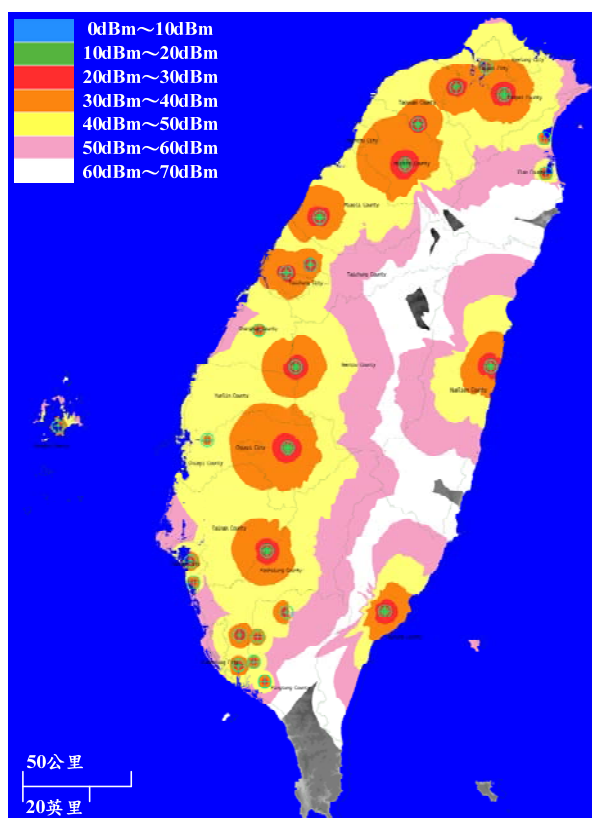
圖 5.10 撤掉 7 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



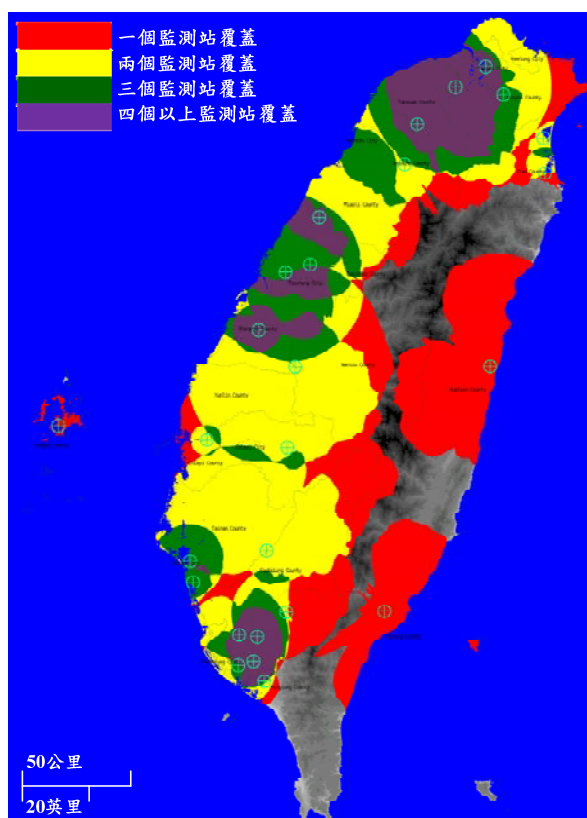
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

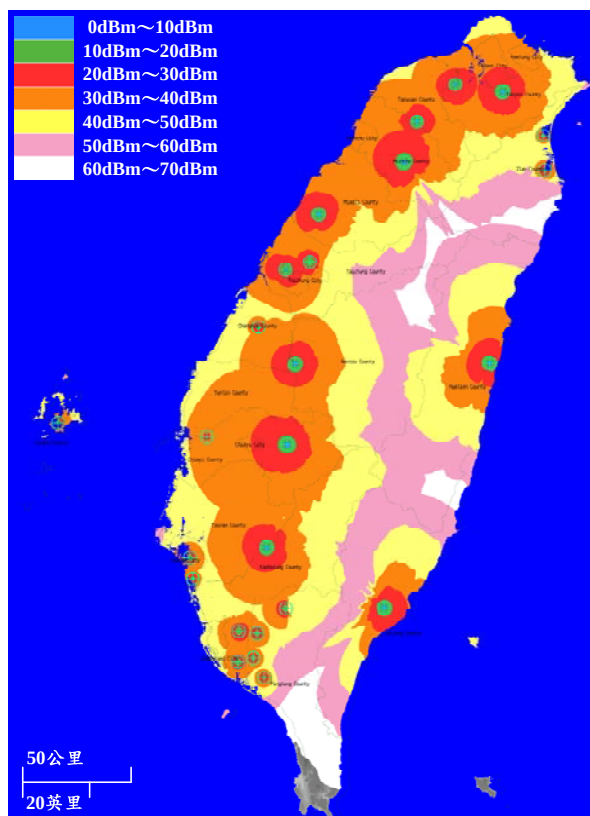


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

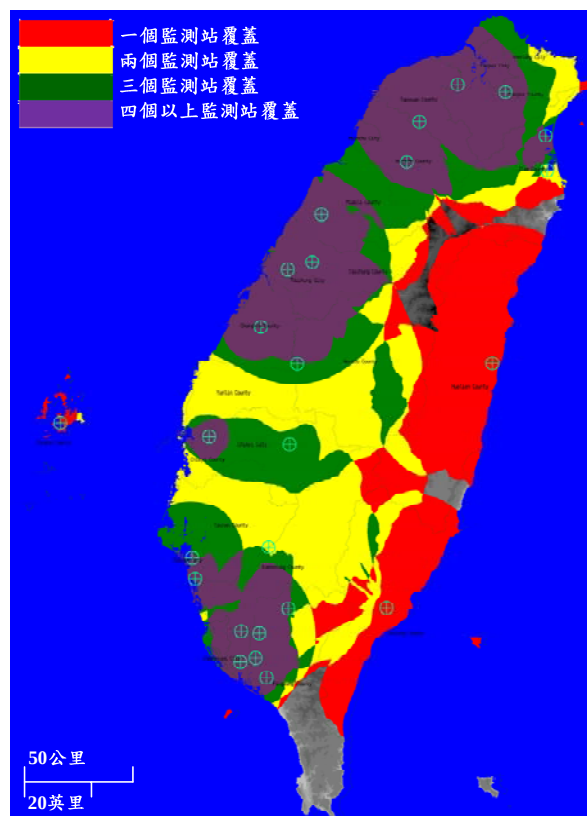


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

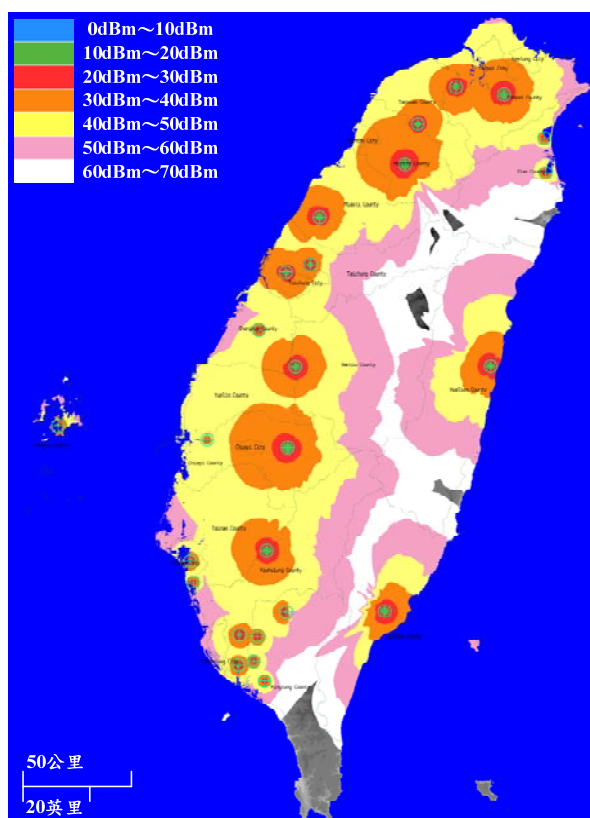
圖 5.11 撤掉 8 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



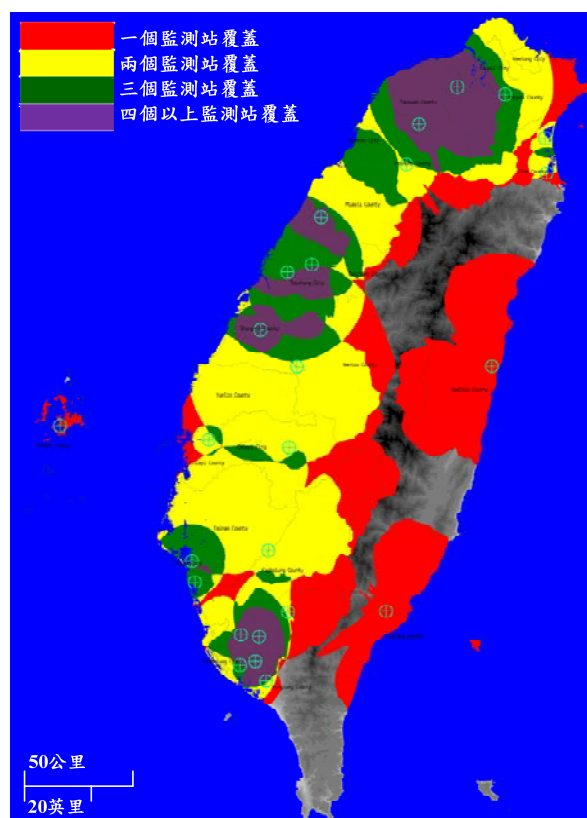
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

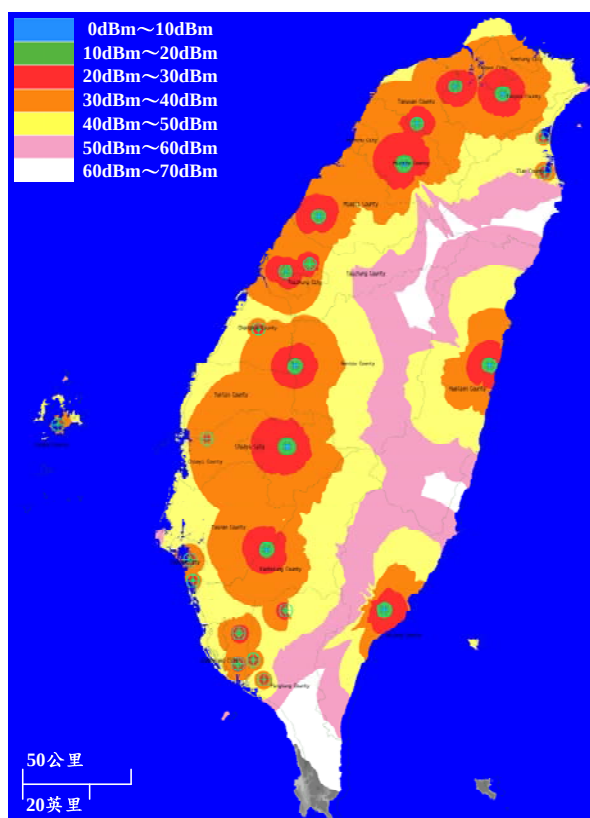


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

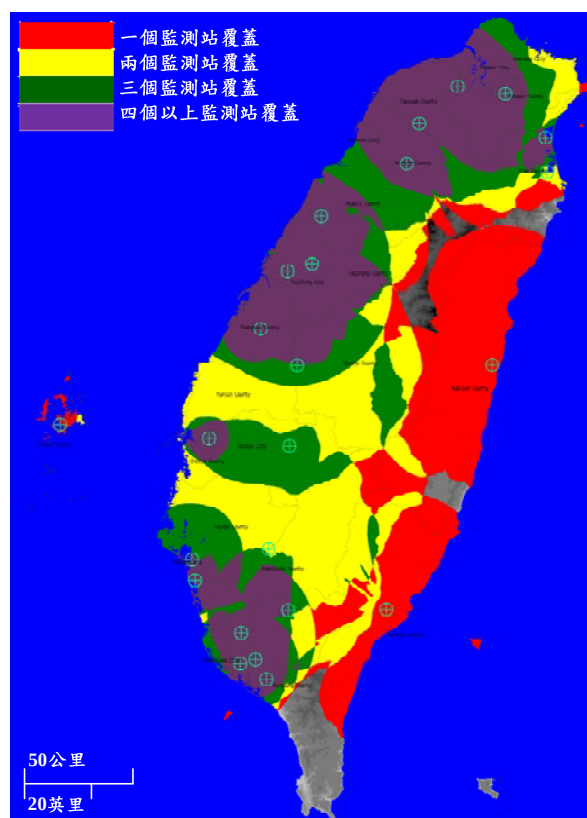


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

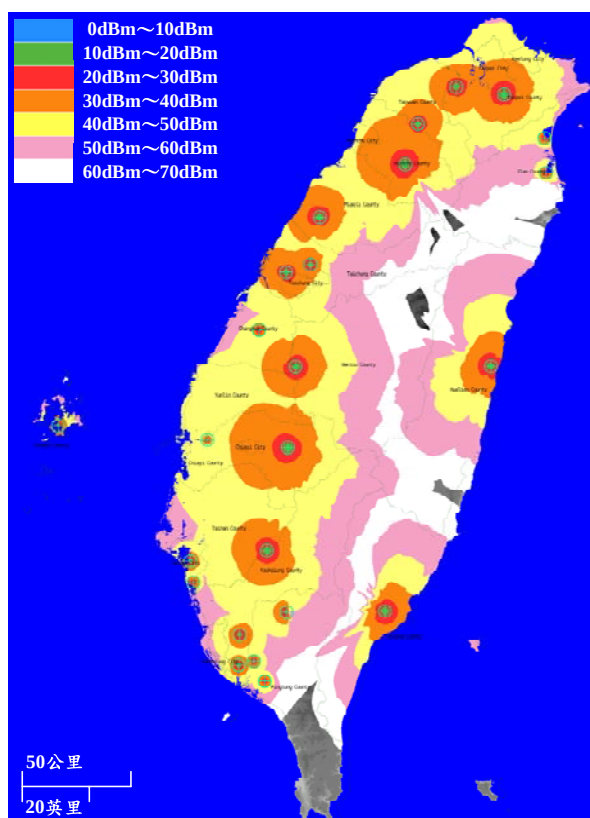
圖 5.12 撤掉 9 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



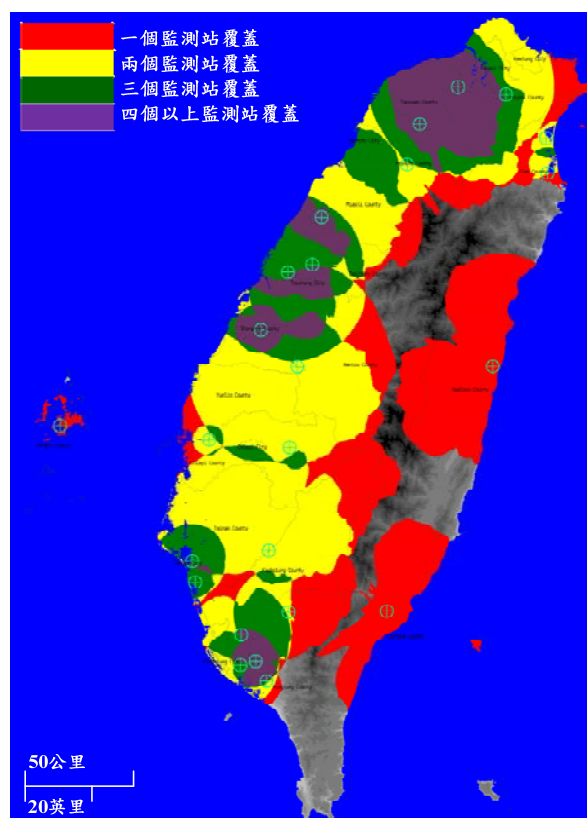
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

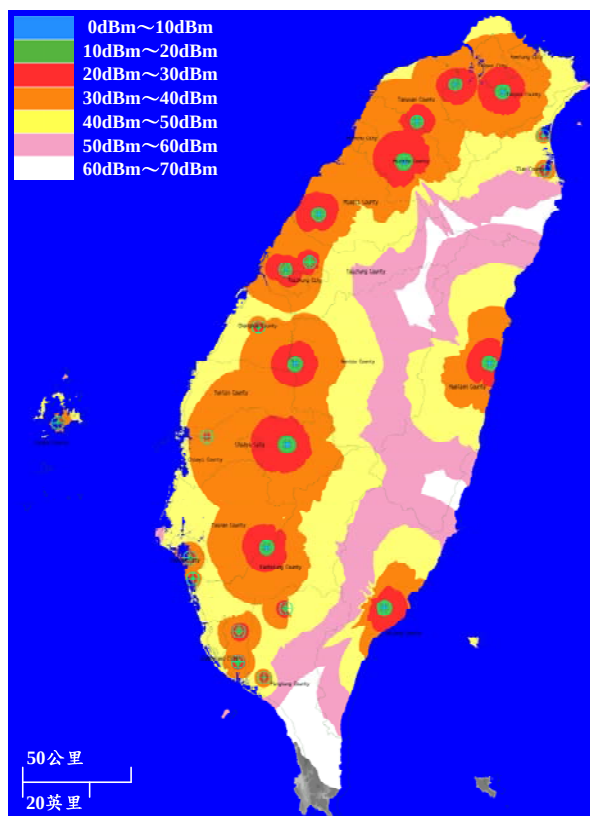


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

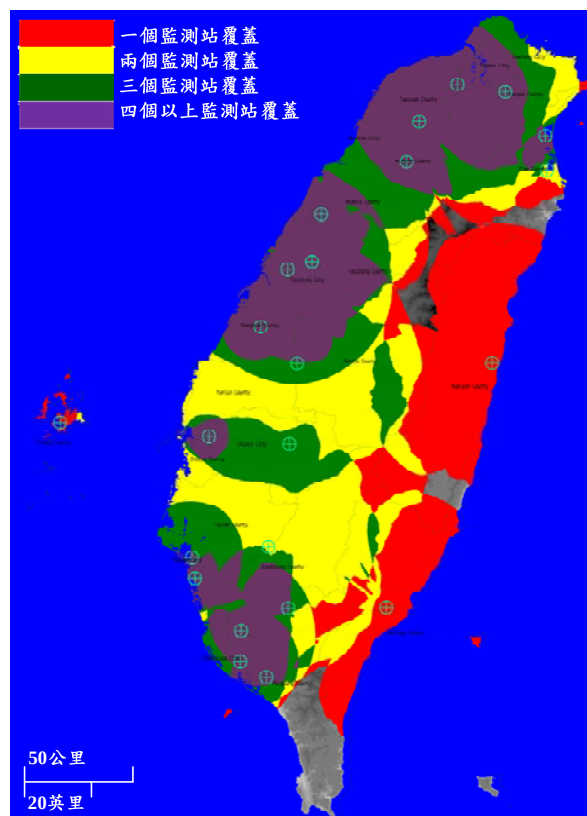


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

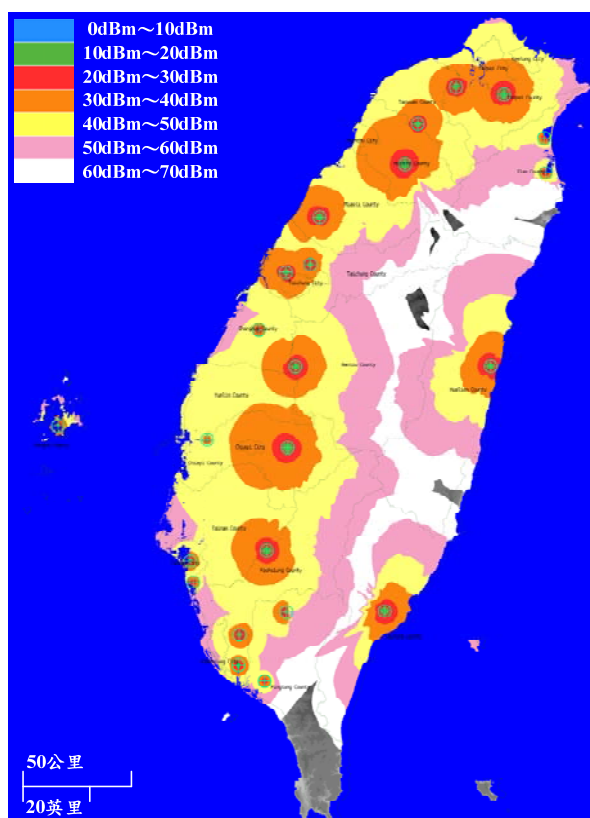
圖 5.13 撤掉 10 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



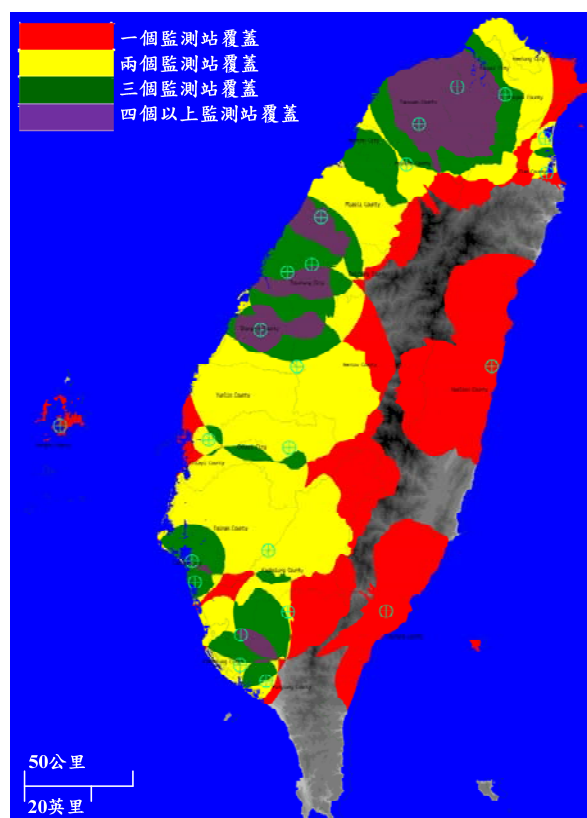
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

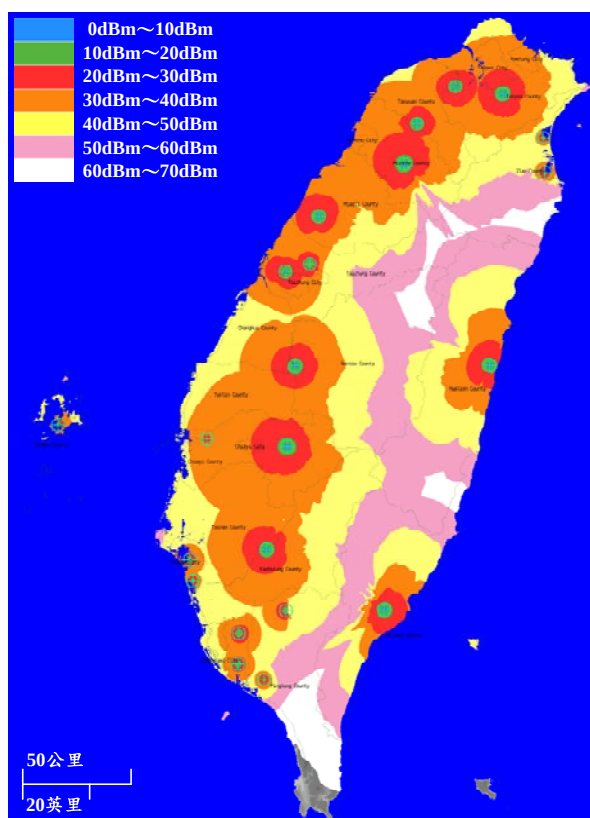


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

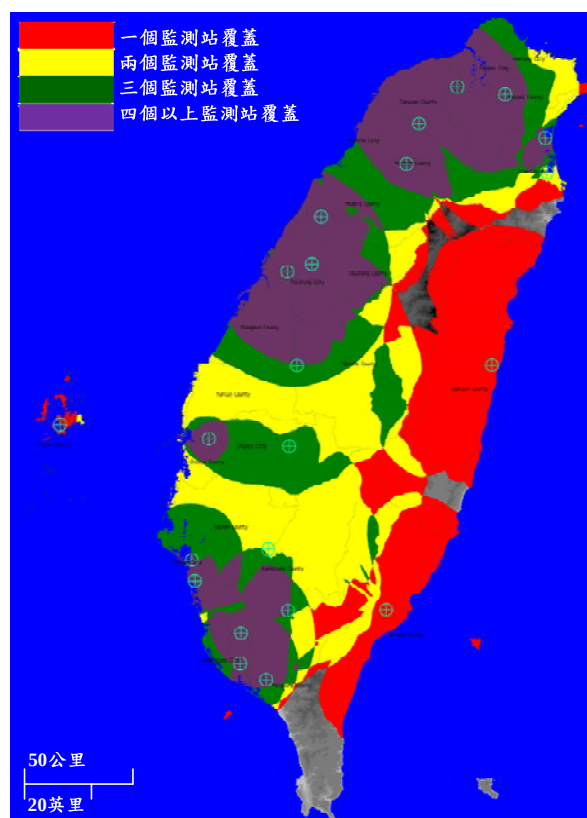


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

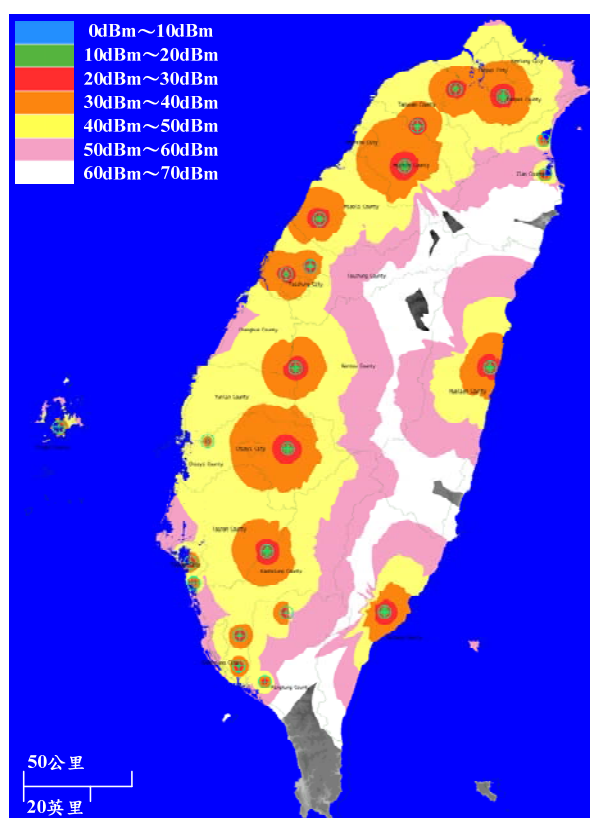
圖 5.14 撤掉 11 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



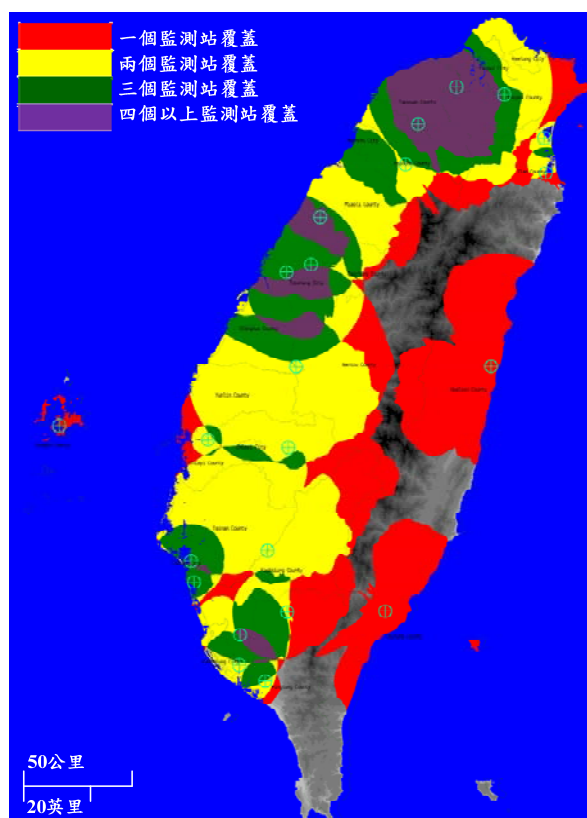
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

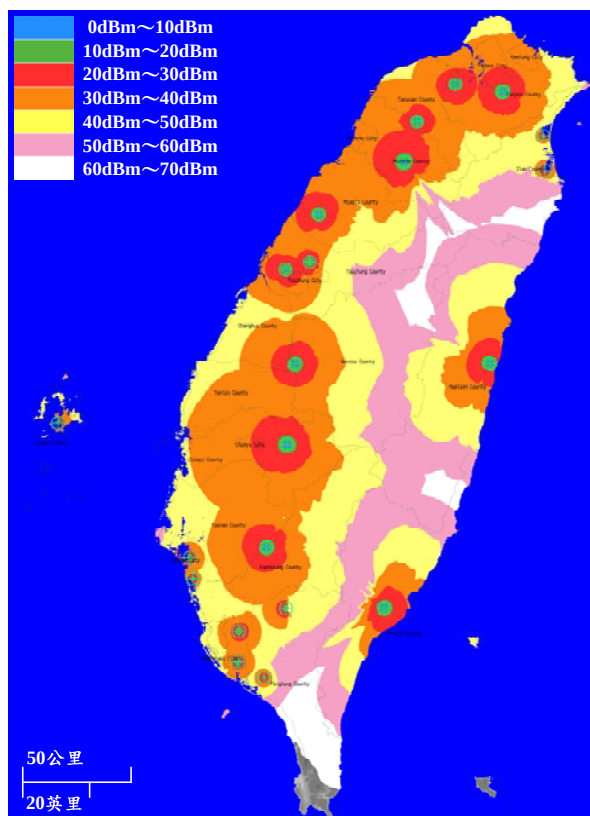


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

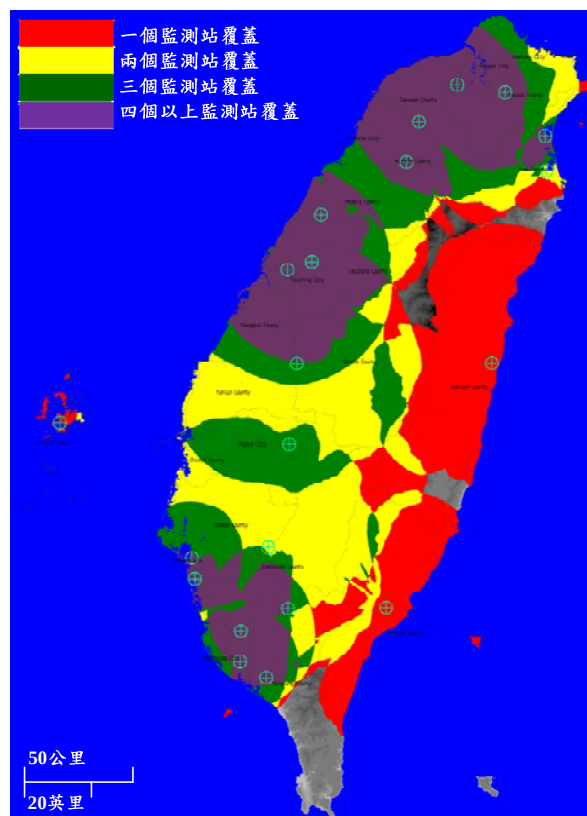


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

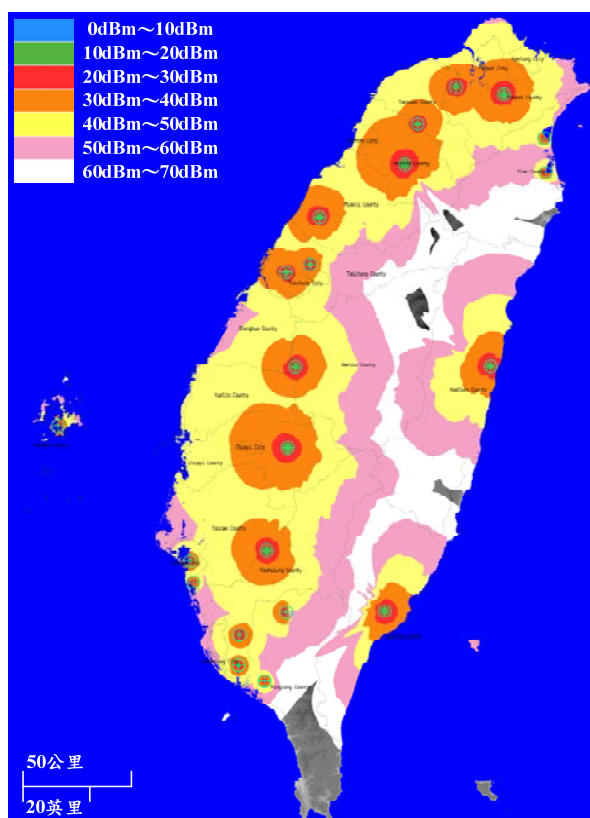
圖 5.15 撤掉 12 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



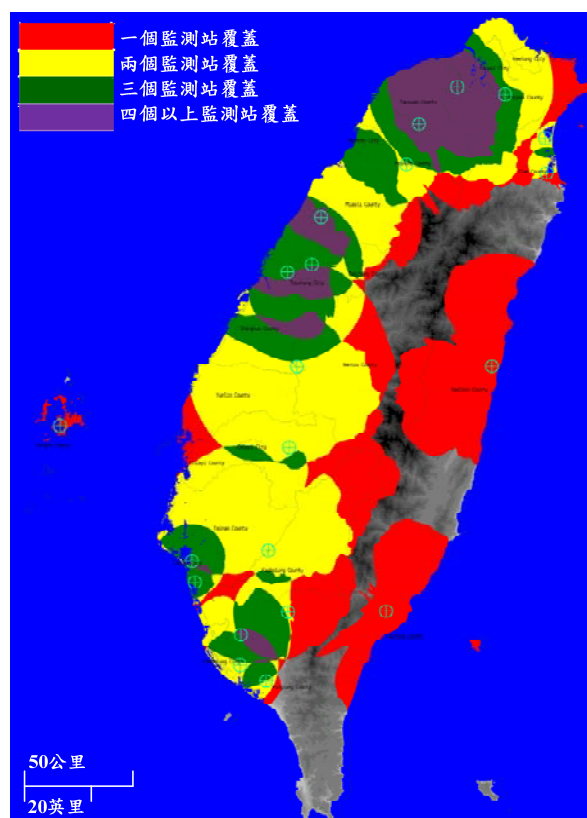
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

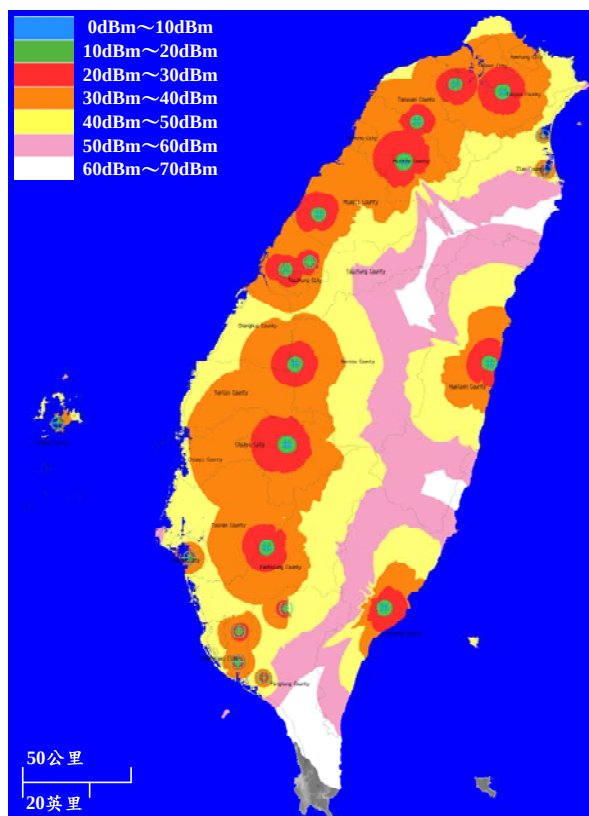


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

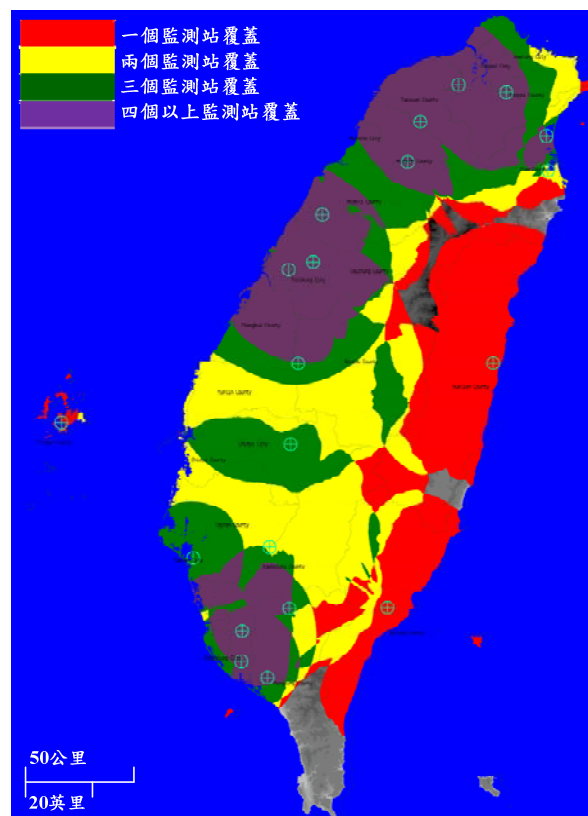


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

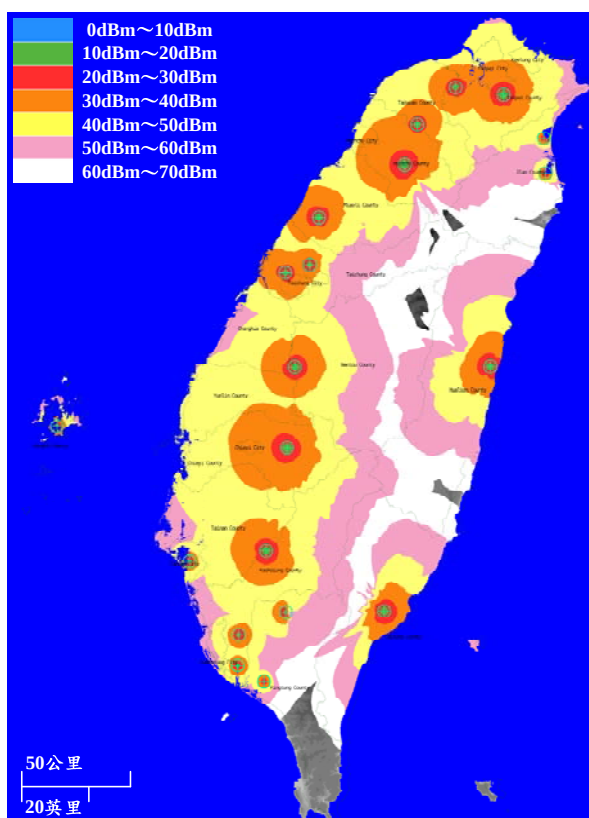
圖 5.16 撤掉 13 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



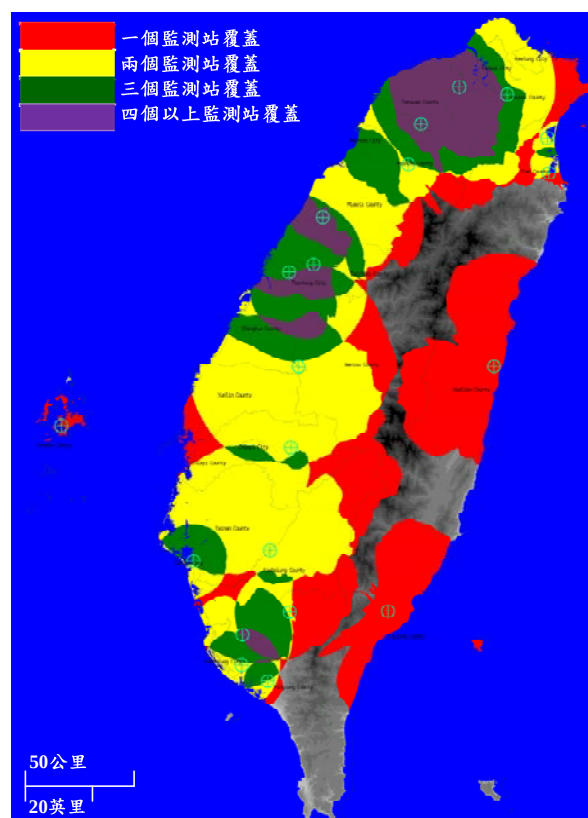
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

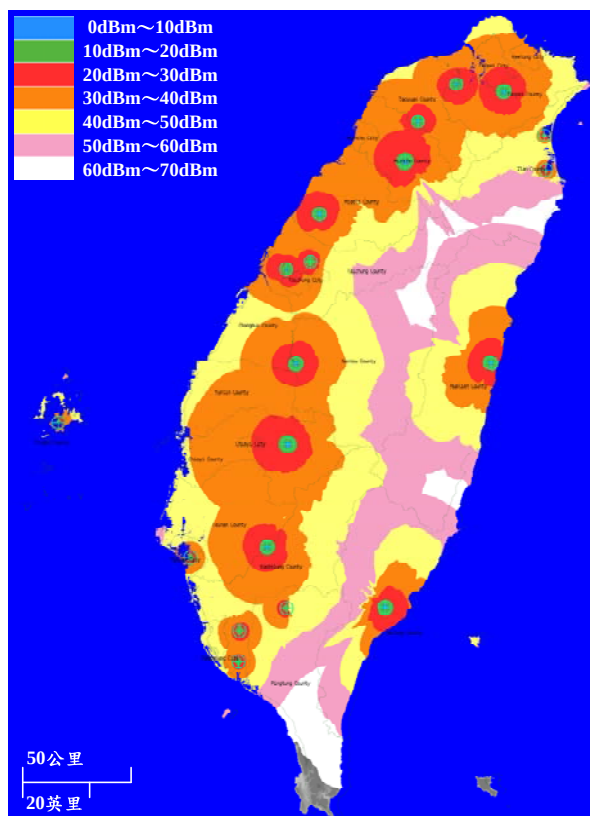


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

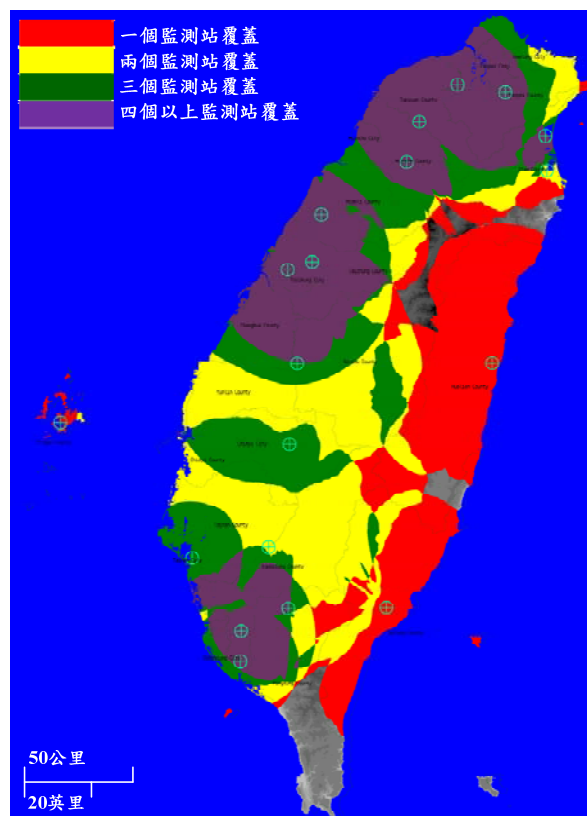


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

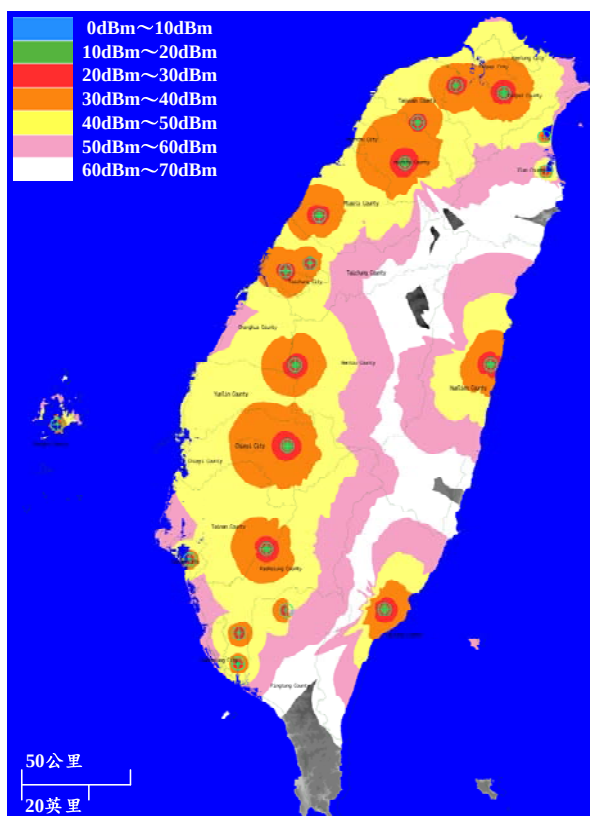
圖 5.17 撤掉 14 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



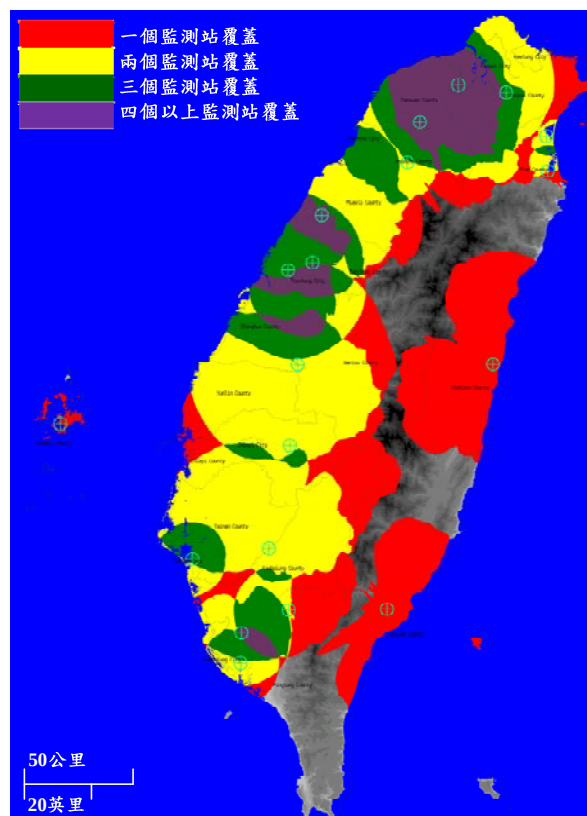
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz

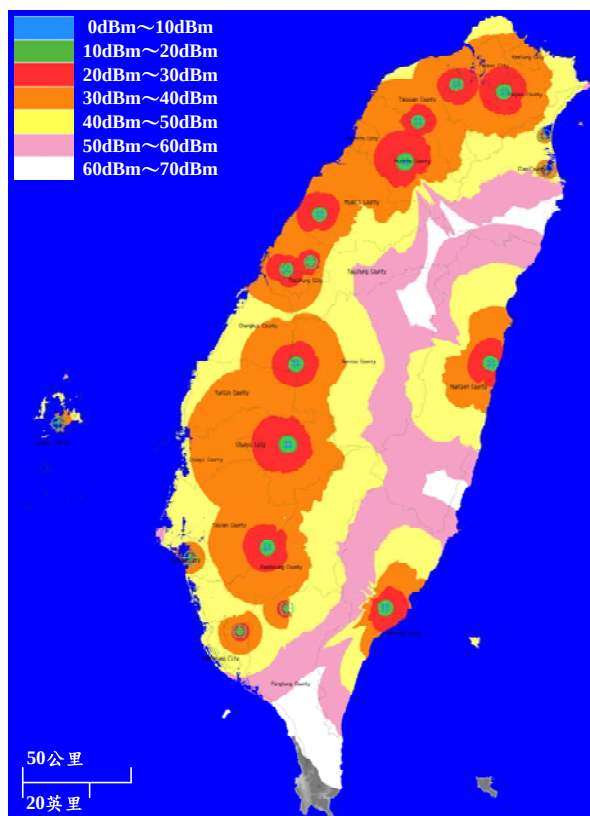


(c) 監測涵蓋模擬 445MHz

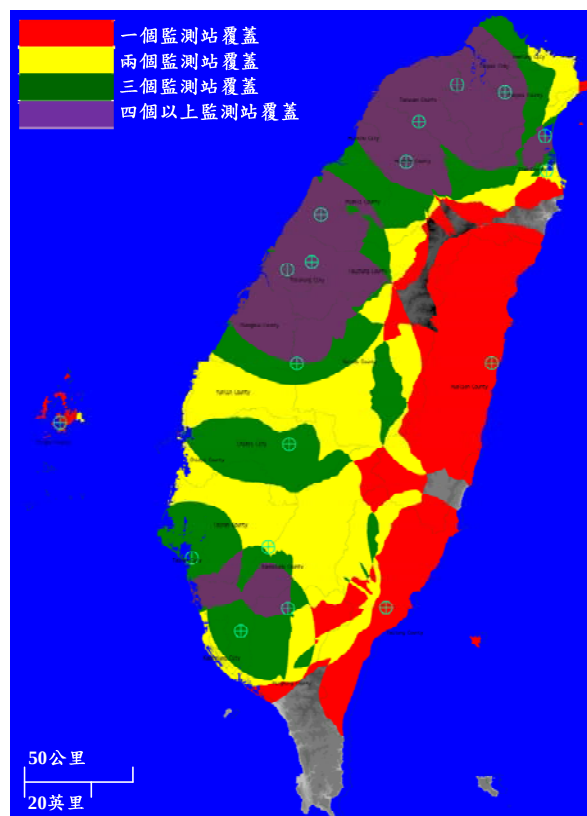


(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

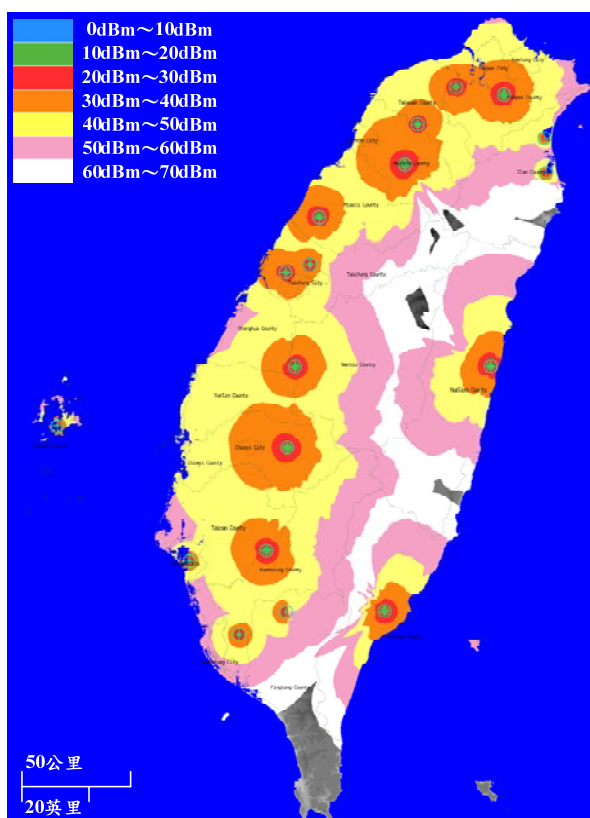
圖 5.18 撤掉 15 個監測站之電波涵蓋模擬圖。



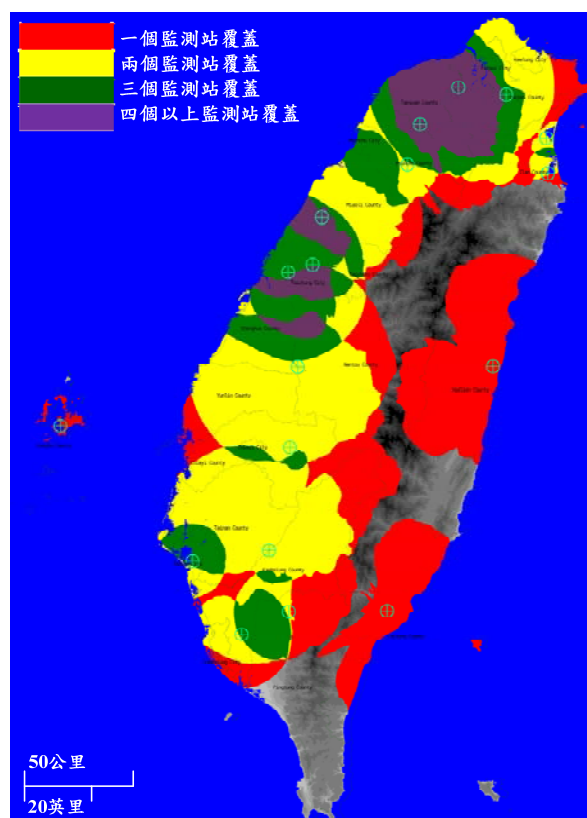
(a) 監測涵蓋模擬 146.5MHz



(b) 定向涵蓋模擬 146.5MHz



(c) 監測涵蓋模擬 445MHz



(d) 定向涵蓋模擬 445MHz

圖 5.19 撤掉 16 個監測站之電波涵蓋模擬圖。

建議未來新世代電波監測站系統，最好先從都會區人口密度較高的地方開始做更換，例如：台北市、新北市、桃園縣、台中市、台南市和高雄市等，而這些都會區的監測站最好至少有兩個監測站進行監測/定向。然後建議更換高山位置的電波監測站系統，涵蓋範圍比較寬廣的監測站優先做更換。最後建議更換平原地區與外島地區的監測站系統。

根據圖 4.56 的全臺 35 處監測站監測涵蓋 445MHz 模擬圖，若從發射功率最大為 50dBm 的範圍來看，在彰化縣、台南市和高雄市靠海地區，以及屏東縣的恆春地區有很明顯的電波監測偵測盲點的存在。而這些地區建議可搭配移動式監控車或可攜式監控設備來彌補偵測盲點的不足，至於實際情況還請由貴會斟酌規劃，看是要新建置固定式監測站在該地區，還是派駐人力搭載移動式監控車或可攜式監控設備前往該地區去駐守。另外，蘇花公路與花東公路的地區人口密度非常稀少，因此建議可不需規劃新世代電波監測站在該地區。

在都會區、花蓮縣、台東縣和外島地區的部份至少要各配置一台移動監控車和一套可攜式監控設備，因為都會區的人口密度較高，建築物與遮蔽物也較多，產生監測盲點的地方機率也較大，因此可搭配移動式監控車或可攜式監控設備來彌補監測盲點不足的部份。至於花蓮縣、台東縣和外島地區只有架設一個固定式監測站，也需要移動式或可攜式監測設備做輔助與加強監測，若貴會在該地區未常駐人員，還請貴會再增加固定式監測站系統，以節省人事成本。

第六章 電波監測站之抗干擾保護建議

無線電監測系統需要接收不同形式的信號，因此應具有高接收靈敏度、大動態範圍、極快的搜索截獲速度、寬頻率工作範圍、多種信號形式的解調能力、完善的信號分析處理能力、靈活的控制方式與多站構成廣域系統等功能。因此需有系統性地測量電台和干擾電台的使用頻率與發射的頻寬，以及測量電台的信號場強、調變、諧波、其它雜散發射和干擾電台的信號場強。亦須注意監聽電台的操作時間表和經營業務是否符合該電台執照的規定，並查尋未經許可的國內電台或身分不明電台的發射，以下我們將針對電波監測站的抗干擾保護做出一些建議。

6.1 選擇抗干擾能力強之設備

依據 ITU 頻譜監測手冊的建議，電波監測站應設在地面平坦、附近無障礙物、遠離大功率電臺之區域。但近年來由於城鄉硬體建設及通訊傳播科技的快速發展，符合 ITU 建議之適合電波監測站已越來越少。特別是在都市區域，具有良好電波涵蓋的高樓大多已被行動通信業者用來建置基地臺，而城市周圍的高山區域也大多被廣播或電視電臺捷足先登。而在這種日益惡化的電波監測環境下，監測接收機的整體性能也會受到某種程度的影響，其中主要係來自於互調變訊號產生。

由於接收機是寬頻接收機及天線等非線性設備組合而成，當輸入訊號的強度過大導致接收機進入非線性工作範圍時，將產生包括二階互調變訊號（2nd order Intermodulation Product；IP2）、三階互調變訊號（3rd order Intermodulation Product；IP3）在內之互調變訊號[21]，進而嚴重影響頻譜監測及定向之準確性，如圖 6.1 所示。

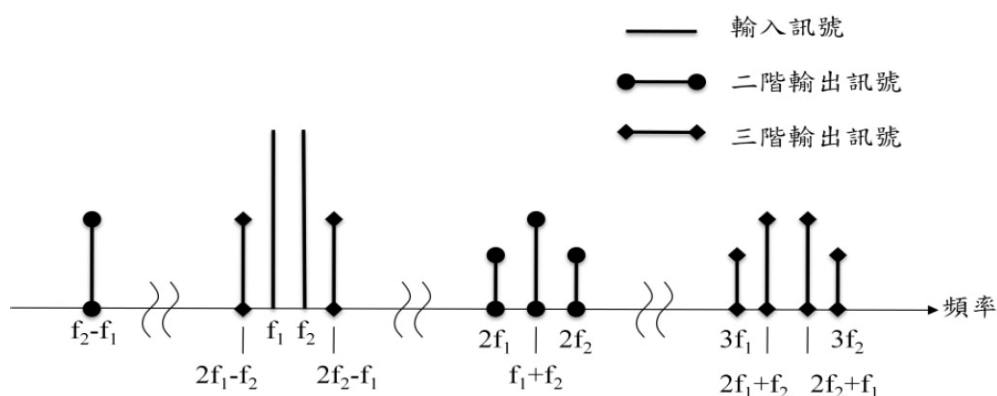


圖 6.1 交互調變頻譜示意圖。

而二階截斷點（input second order intercept point；IIP2）及三階截斷點（input third order intercept point；IIP3）是我們用來描述一個接收機抵抗交互調變干擾能力的重要指標，單位為 dBm。以 IIP3 為例，其定義為輸入兩個功率大小一樣的 f_1 與 f_2 訊號，並逐漸增加其功率，當輸出的三階互調變訊號與 f_1 的輸出功率相同時，此時的輸入功率定義為 IIP3。由此可知，具有較高 IIP2 及 IIP3 的定向機，對於交互調變的衍生輸出有較高的抑制能力，也較不會因為定向機周圍的大功率無線電發射機所可能產生之互調變干擾，而影響其定向結果之準確度。

6.1.1 選擇移動式頻譜分析儀測量

頻譜分析儀可用來測量信號的頻率、功率大小值（Power Level）、波形失真、雜訊大小值和頻譜特性等，加上標準天線還可以用來測量場強，是一種應用廣泛的信號分析儀器。它的主要特點是能寬頻連續掃描，並將量測到的信號在螢幕上即時顯示。在整個頻段內，功率大小值顯示範圍大於 70dB，在無線電波測量中可以很方便地看出頻譜佔用和信號使用的情況。因此，頻譜分析儀可替代場強儀成為電波測量中一種新的被廣泛應用的儀器，也是快速尋找干擾源的利器。

一般測試接收機的輸入端都帶有調諧式高放電路，以抑制頻帶外的信號，藉此提高靈敏度。而由於頻譜分析儀有寬頻連續快速掃描的特性，輸入端一般都直接接到第一混頻器上。當信號功率大小值較高時，混頻器工作在非線性變頻狀態，將產生高階互調變和混頻增益壓縮，而且過高的功率大小值（一般大於 5dBm）將會燒壞混頻器。因此，在使用時要合理地選擇射頻衰減器以確保線性工作狀態。

為使混頻器進行線性變頻，中頻放大器進行線性放大，使螢幕上出現的寄生響應（Spurious Responses）功率大小值縮至最小。這時混頻器上的輸入信號功率越小越好；而為了擴大量測功率大小值的動態範圍，則輸入功率越大越好。為此對輸入信號功率大小值的選擇有如下三個規定：

- （1）最佳輸入信號功率大小值：在頻譜分析儀輸入混頻器上輸入信號時，使所產生的失真功率大小值小於某個規定的功率大小值時的輸入信號叫最佳輸入信號功率大小值。它

隨混頻器的構造不同而有所不同，通常頻譜分析儀的最佳輸入功率大小值是-30dBm。用這樣的功率大小值輸入時，規定頻譜分析儀產生的失真功率大小值和寄生響應功率大小值小於-90dBm，即在-30dBm 到-90dBm 間出現的信號是真正的信號，這時，顯示器的動態範圍有 60dB。

- (2) 線性輸入信號功率大小值：使輸入混頻器的特性保持線性最大輸入信號功率大小值叫做線性輸入信號功率大小值。所謂「線性」是指允許輸入混頻器有 1dB 的增益壓縮，增益壓縮 1dB 約產生 12.2%的誤差。當加到混頻器的信號功率大小值在線性輸入功率大小值範圍內時，則增益壓縮小於 1dB。這並不意味著在頻譜分析儀顯示器上產生不同的失真響應和寄生響應，只有當輸入到混頻器的信號功率等於最佳輸入功率大小值時，在螢幕上才不會出現寄生響應。通常頻譜分析儀的線性輸入功率大小值是-5dBm 到-10dBm，視輸入混頻器的特性而定。

- (3) 最大輸入功率大小值：頻譜分析儀一直加大輸入信號功率，直到燒毀的功率大小值叫做最大輸入功率大小值。它是由輸入衰減器和混頻器的特性決定，輸入混頻器的燒毀功率大小值的典型值是+10dBm，輸入衰減器的燒毀功率大小值是+30dBm。

在實際量測中為了測量不失真或寄生響應功率大小值減至最小，應經常使用最佳輸入功率大小值。就輸入端是單一個大信號而言，使用最佳輸入功率大小值將會得到較滿意的測量結果。但當輸入端存在多個高功率大小值信號時，即使這些信號可能在頻譜分析儀的工作頻帶外，終究會因為輸入端沒有選擇性，而這些信號功率的疊加很容易使混頻器過載產生高階交互調變失真，也使得產生寄生響應。因此有必要對所量測信號以外的信號功率加以衰減，最好的辦法是加一個跟蹤濾波器，即預選器（Preselector）。如羅德史瓦茲公司和美國安捷倫公司都有為頻譜分析儀配套的預選器[4、22]。

有些頻譜分析儀沒有配套的預選器，但可根據測量頻段加固定的帶通濾波器。此時用頻譜分析儀和追蹤信號產生器（Tracking Generator）對通帶漣波（Passband Ripple）和插入損耗（Insertion Loss）進行量測並且記錄下來。如果連帶通濾波器也沒有，那麼可按照所測頻段配置合適的高通濾波器。實踐證明，強電台及電磁干擾大部份集中在中、短波及調頻波段和 VHF 低端頻段。在採用高通濾波器後，可把被量測頻段以下的信號衰減 40dB 以上，這樣可

大大減少交互調變失真。

檢驗混頻器是否工作在最佳狀態，可以採用射頻衰減器增加 10dB，顯示減少 10dB 的方法驗證。通常-30dBm~-35dBm 為混頻器的最佳工作狀態，即頻譜分析儀的最佳輸入功率大小值。

6.1.2 提高監測系統動態範圍減少內部失真

(1) 盡量選用專業監測接收機

專業監測接收機設計有 RF 預選器，一般由多個不同頻寬和中心頻率的亞倍頻程濾波器（suboctave filter）組成。由於目前業界對寬頻信號監測功能的重視，過去常用的監測接收機只有窄頻帶中頻，不能勝任寬頻信號的監測，有些業者就把目標轉到了目前較先進的具有寬頻掃頻功能的射頻信號分析儀上。它們的高速、寬頻功能很有優勢，但由於它們一般在 RF 輸入之後沒有進行 RF 預選處理，或只有簡單的低通濾波。所以，在都會區複雜的電磁環境中，當監測頻段四周有大信號時它們的抗干擾能力明顯較接收機差。由大信號進入接收通道產生的非線性失真分量，不但提升底下雜訊也使系統靈敏度降低，有些甚至大大超過外部信號，即出現了不存在的假信號。這樣的監測系統實際上的瞬時動態範圍是不能滿足複雜電磁環境下監測工作需要的。

合理的選擇方案應該是選用有 RF 預選器的專業監測接收機模擬通道，有些廠商稱為 tuner。利用其頻寬帶中頻輸出，進行可控衰減的中頻放大濾波處理，之後做 14 或 16 位精度的 A/D 轉換、數位下變頻、數位正交變換、專用 DSP（FFT 變換、信號解調、監測定向專業算法的實現）、PC 接口及顯示操作實現。

(2) 採用被動式天線

在條件許可的情況下，選用被動式天線（Passive Antenna）做電波監測站天線是明智的選擇。在固定式監測站可由不同頻段的多副被動式天線覆蓋全頻段，但在低頻段的部份要保證被動式天線增益足夠高，天線尺寸就要足夠大。這在外出執行監測任務時極為不方便，現在已有方便安裝與收納的寬頻（50MHz~3GHz）便攜天線供選用。

(3) 採用大動態範圍天線轉換開關矩陣

監測系統使用的射頻開關矩陣一般由寬頻率範圍的微波開關電路構成。例如 HE116GaAs 單刀雙擲微波開關電性能中，1dB 壓縮輸入功率為 16~24dBm，假如射頻輸入功率大小值超過此限值也會產生失真產物。所以，應該採用大動態範圍微波開關電路構成的射頻開關矩陣。

(4) 採用高性能預選器

性能優良的射頻預選器應由 RF 衰減器、亞倍頻程帶通濾波器、窄頻帶阻濾波器、低雜訊放大器等構成，一般接收機都有 RF 衰減器。在測量大信號時，為了保護設備和避免失真經常使用 RF 衰減。亞倍頻程帶通濾波器用於對帶外信號進行有效抑制，盡可能減少大信號進入系統的機會。窄頻帶阻濾波器在系統設計時適當使用，將監測站存在的定頻常發大信號進行有效抑制。為了提高測試系統的靈敏度，低雜訊放大器經常在測量小信號時使用，但此時要非凡注重控制其輸入總功率大小值，以免其產生的內部失真帶來錯誤的報告。

(5) 採用大動態範圍混頻電路

混頻電路的動態範圍對系統動態範圍有重要影響，應盡量擴大範圍，但是這會使系統功率消耗增加。也可通過應用軟體調整混頻器的本地振盪功率大小值，本地振盪功率大小值越高，1dB 壓縮點也越高，動態範圍也就越大。當然這也可能使本地振盪信號泄漏發射升高，給系統電磁相容帶來不良影響。

(6) 採用數位控制中頻增益控制

一般接收機的人工增益控制 (MGC) 和自動增益控制 (AGC) 功能均用來調整系統的動態範圍。但是由於它們影響功率大小值測量的準確性，在頻譜監測時不能使用。對此一般採用數位增益控制 (DGC)，系統在根據信號大小控制中頻放大器的增益值的同時，對信號功率大小值測量結果進行相對應的修正。

(7) 提高 A/D 轉換器的雜訊比

提高 A/D 轉換器的雜訊比 (SNR)，可以使系統瞬時動態範圍得到提高。以增加硬體成本為代價的方法有：增加 A/D 轉換器的有效位數 n 、提高取樣頻率 f_s 、降低一次取樣的模擬信號頻寬 B 。

6.2 強電場對監測站接收設備的影響

6.2.1 監測站接收機主要參數

強輻射電磁環境影響監測接收機最重要的參數包括雜訊（雜訊因數 F 、雜訊係數 NF ）、靈敏度、二階互調變訊號 IP_2 、三階互調變訊號 IP_3 、振盪器（合成器）相位雜訊、阻塞和交互調變等參數[23]。

(1) 雜訊：

雜訊被認為是接收機內部的雜訊，它降低了輸入信號的訊雜比。因此，內部雜訊成為衡量接收機靈敏度的標準，對於接收機的評估和比較來說，雜訊係數是一個關鍵的標準，也是可靠檢測小信號的關鍵。內部雜訊可以用雜訊因數或雜訊係數表示，通常雜訊因數或雜訊係數被認為是不依賴頻寬的參數。雜訊因數 F 是二埠網路（接收機）輸入端和輸出端訊雜比：

$$F = \frac{S_1 / N_1}{S_2 / N_2} \quad (6.1)$$

其中 S_1 / N_1 為輸入端訊雜比， S_2 / N_2 為輸出端訊雜比，雜訊係數 NF （用 dB 表示）：

$$NF = 10 \log F \quad (6.2)$$

(2) 靈敏度：

靈敏度對於監測站接收機來說同樣重要，經常用來替代雜訊係數或同雜訊係數並列。雜訊係數和靈敏度之間可以按下式轉換：

$$P_{in,min}(dBm) = -174 dBm/Hz + NF + 10 \log BW \quad (6.3)$$

也就是說，它依賴於頻寬 BW 的設置。則靈敏度 $V_{in, Min}$ （用 V 表示）：

$$V_{in,min} = \sqrt{P(W) \cdot 50 \Omega} \quad (6.4)$$

而 $P(W) = P(mW) \cdot 10^{-3}$ ， $P(mW) = 10^{\frac{dBm}{10}}$ 。同樣，已知靈敏度也是可以計算出雜訊係數。

值得注意的是接收機特性參數表中通常不能直接列出最大靈敏度，而是針對某一個 S/N 的靈敏度。例如，對於 AM 時 S/N=10dB，對於 FM 時 S/N=25dB。在這種情況下，當確定最大訊雜比時，必須考慮 10 dB 或 25 dB 的取值。例如，對一個特定的頻寬，當 S/N 為 10 dB 時，靈敏度為 $1 \mu V$ ，我們做除法 $1 \mu V / 3.16$ (~ 10 dB)，得到 $0.32 \mu V$ ，這就是最大靈敏度。

(3) 互調變訊號 IP2/IP3：

當兩個或更多的信號同時載入在主動元件輸入端，由於主動元件（放大器/混波器）的非線性，會產生互調變等無用信號。這些無用信號的電壓越低越好。而主動元件的線性度隨著電流和功率的增加而增加，也就是說放大器提供的電流越大，或混頻器的本地振盪功率越大，它們的線性度也就越高。但要注意，這同雜訊的要求卻又是互相矛盾的，預選器的接入衰減可以控制互調產物，在較高的雜訊係數下會有較高的 IP3 值，所以 IP3 和雜訊係數應當在同等的操作模式下進行分析和比較。IP3 值是衡量通信系統線性度的一個重要指標，如圖 6.1 所示。它反映了系統受到強電場干擾時互調變失真的大小。

(4) 振盪器（合成器）相位雜訊：

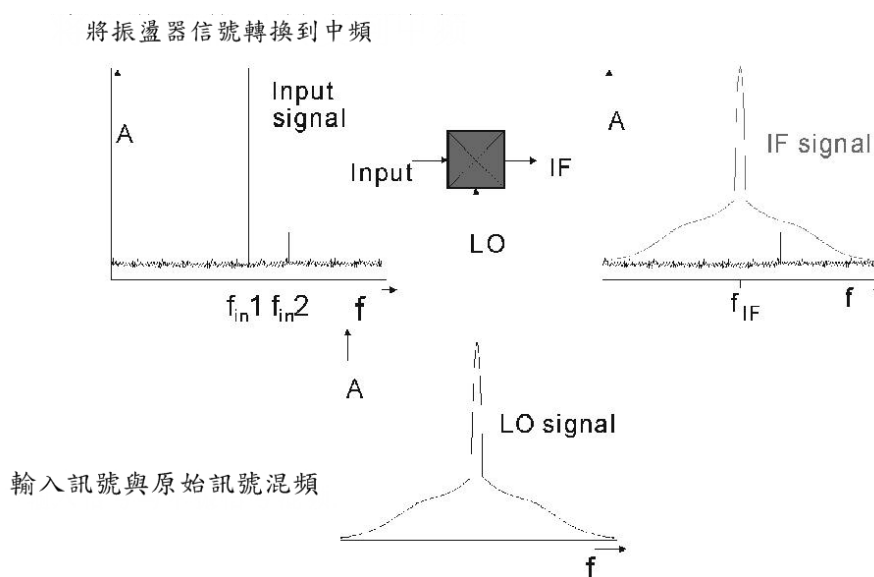


圖 6.2 合成器圖。

振盪器用來把不同的頻率轉換到中頻，如圖 6.2 所示。相位雜訊則是振盪器短時間穩定度的標準。相位雜訊是由相位、頻率、幅度的變化而造成，它通常是對於一個特定的載波偏移有關。它是用 dBc/Hz 來表示，而 dBc 為載波偏移量 (dB)。

(5) 阻塞：

阻塞是指監測接收機在接收一個相對較大的有用信號的同時，一個非常強的雜散信號出現在有用信號附近，致使有用信號電壓被降低，即被壓縮的現象。這是由於在混頻器的強雜散信號和接收機放大器的存在，幾乎沒有給有用信號的空間，電壓範圍幾乎完全被雜散信號阻塞，雜散信號電壓越高，阻塞就越大。在一定程度上，阻塞也描述了接收機的線性度，並可以基本地等同於 IP2 和 IP3。

(6) 交互調變：

交互調變也是一個不好的特性，特別是對於調幅信號，它表示對一個相鄰於有用信號的雜散信號的調變（如果電壓高的話，雜散信號可以較遠），因此雜散信號可以在有用信號中聽到。它是由混頻器和放大器的線性度造成的，也就是說這些效果是伴隨交互調變抑制產生的，所以在一台較高的截中斷點值的監測接收機就有較高的交互調變抑制。

6.2.2 強電場對監測接收機的影響分析

監測站接收機應對雜訊、大信號和寄生響應等各種電磁干擾是監測站接收機的基本需求，儘管接收機的性能優異，但現實情況卻更加複雜。由於各種客觀條件的限制，現在接收機的工作環境也越來越惡劣，有的時候都不得不在行動電話基站或廣播電視發射機附近建立監測機房，在此最嚴酷的電磁環境下繼續承擔著艱巨的無線電信號監測任務。例如 CDMA 基站的發射功率可達 50dBm，WCDMA 基站的發射功率可達 42dBm，而無線調頻、電視廣播的發射功率更可達 kW 甚至 10kW 的水準。如果將監測站接收機發射天線設置於行動電話基站或廣播電臺機房附近，這種情況下的電磁環境無疑是最極端的情況，完全違背了 ITU 頻譜監測手冊關於監測站工作環境的建議。不幸的是，近年來由於城市建設和資訊通信的高速發展，

優良的監測站位址資源已越來越少。特別是在一些大中型的都會區裡，市區內已十分密集，而且有優良區域覆蓋的高樓已被行動電信業者佔領，城市周邊的高山也基本上被廣播電視發射台的機房捷足先登。

對於具體的 VHF/UHF 電波監測站工程建設來說，除了對 ITU 頻譜監測手冊的技術要求之外，還有許多涉及社會各方面的實際因素需要規劃者統籌考慮。因此，在許多無線電監測站建設工程都不得不通過必要的妥協，以確保工程建設的順利進行。但在這種惡劣的環境下，監測接收機的工作表現受到了較大影響。根據實測經驗，接收機的整體性能會有一定幅度的下降：

- 靈敏度降低：由於輸入信號的電壓值太大，超出了低雜訊放大器的線性工作範圍，造成低雜訊放大器的工作點和 S 參數改變，失去放大作用，造成整機靈敏度下降。
- 交互調變信號增多：由於大信號的電壓已進入了接收機的非線性工作區，必將產生各階交互調變信號，造成頻譜圖上的雜波和毛刺增多，影響分析判斷。
- 產生寄生響應：大信號必然產生寄生響應，包括鏡頻、中頻寄生響應，選擇性寄生響應等。

6.2.3 強電場對監測接收機的解決對策

(1) 選擇優秀的監測接收機：

監測接收機的性能指標差別很大，為了對抗惡劣的電磁環境，對接收機的技術指標和電路結構有很高的要求。一些普通、低指標的監測接收機在這種情況下是肯定不可能給出有價值的頻譜資訊的。正如先前所述，對於監測接收機來說，對強電場產生影響的最重要技術參數包括預選器、雜訊係數、IP3 和相位雜訊等。

無線電監測接收機是專門為了監測天空中複雜擁擠的無線電波而設計的專業設備，其與頻譜儀的一個顯著的差別就是配有高性能的預選器，這個預選器提高了接收機在擁擠的頻譜環境中選收無線電信號的能力。以 R&S 公司的 EM550 接收機為例，它的預選器由 20MHz～1500MHz 的跟蹤濾波器、1500MHz～2300MHz 帶通濾波器和 2300MHz～3600MHz 的帶通濾波器所組成。跟蹤濾波器是目前性能最好的選擇濾波器，它基本上是由 YIG 濾波器所構成，

其中心頻率可在極寬的頻率範圍內滑動，濾波頻寬的中心頻率一般為 10 %。

預選器位於接收機的最前端，與天線輸入端相連接。預選器主要提供前置放大、信號衰減、選擇濾波等三項功能。一個性能優秀的預選器對弱信號應提供增益以提高監測接收機的靈敏度，而對強信號應提供衰減以免超出監測接收機的線性範圍。另外，對於全頻段的輸入信號應能提供選擇性的濾波以濾除無用的信號，提取出監測工程師所感興趣的信號。

其次，監測接收機的雜訊係數應盡可能地小，IP3 值盡可能高。但需注意的是，監測接收機的最小雜訊係數和最大 IP3 值是不可能同時出現的。因為在測量雜訊係數時，監測接收機設置於低雜訊工作狀態，低雜訊放大器是開啟的，以獲得最好的雜訊係數。而測量 IP3 值時，接收機設置於低失真的工作狀態，低雜訊放大器是關閉的，衰減器此時也是關閉的，這樣監測接收機可獲得最大的線性範圍。因此接收機在得到最大靈敏度的時候，必然會適當犧牲線性範圍；而在獲得最大 IP3 時，也必然會相對應犧牲了靈敏度。

(2) 靈活設置接收機：

透過了解監測站接收機的基礎參數和工作原理，即可根據工作任務和電波頻譜的實際情況靈活配置監測站接收機。監測站接收機在不同配置下的性能表現，並靈活地根據工作任務，設置接收的前置放大器增益、衰減、頻寬等參數，以得到最良好的性能。特別是在測量含有大信號或附近有大信號的頻段時，應充分瞭解所用監測接收機的性能和電路結構，在靈敏度和線性度之間正確取捨，找到平衡點，使我們可以在惡劣的電磁環境下最大限度地發揮監測接收機的性能。

(3) 配置外接陷波器：

對於特強的干擾信號，如電壓達 0dBm 的強信號。可在天線和接收機或測向機之間插入定制的陷波器，以抑制大信號，保證小信號的接收靈敏度。如在上例中可外加配置一個 88MHz ~108 MHz 頻帶陷波器（均可選擇、衰減可調節）以消除強廣播電視信號以及交互調變信號對監測測向設備的影響。

(4) 選擇被動式和不同極化的天線

在附近的監測站可選用具有較高測向準確度和線性度的被動式天線，可減少天線的非線性影響，這樣監測系統的非線性就主要集中在監測接收機身上。由於廣播電視多數採用水平極化方式，監測和測向全部選擇垂直極化天線，利用天線的極化去耦合，可得到約 20dB 的強信號抑制。

(5) 儘量遠離大功率發射機

由於各種限制，如果監測接收機設置網站不得不選在靠近廣播電視發射機附近的山頂，但即使同在一個山頭，也應盡可能遠離發射機房，像是在廣播電視發射網站院內和院外的測量結果就有較大差別。根據電波傳播的原理，頻率 100MHz 的無線電電波，在空中傳輸了 50 公尺後，將衰減 46dB；傳輸 500 公尺後，衰減 66dB；傳輸 1000 公尺後，衰減 72dB。頻率 500MHz 的無線電電波，在空中傳輸了 50 公尺後，將衰減 60dB；傳輸 500 公尺後，衰減 80dB；傳輸 1000 公尺後衰減 86dB。由此可見，將網站選在發射機房院內（50 米），或是院外（500 米）其信號強度差別可達 20dB。因此，應儘量將監測接收機設置網站選在發射機房外，以遠離大功率發射機，這是最簡單有效的解決方法。

6.3 採用快速尋找干擾源之方法

利用現有監測設備的特性，通過在實際尋找無線電干擾源過程中的操作運用，不斷提昇應變措施，形成一套快速監測電磁環境和尋找無線電干擾源的方法。以下為方法程序的介紹 [24]：

- (1) 做好日常準備工作，平時要注意對可攜式設備的充電電池與電瓶做維護，確保任何時候都有足夠電力可工作。測試人員要盡可能多掌握、匯集有關頻率和附近設置的無線電站臺資料，熟悉各頻段無線電波傳播特性。
- (2) 在接到干擾投訴和發現干擾時，受理人要對干擾情況進行登記。寫明干擾時間、地點和現象，初步確定干擾信號的頻率或頻段和干擾區域，並將干擾情況向上級報備，擬定干擾監測方案。

- (3) 測試人員根據干擾信號的頻率和性質選擇匹配的監測天線，建議配帶手持式指向型天線，這將會提高定位的準確性，快速找到干擾源。出發尋找干擾源之前攜帶頻譜分析儀或場強儀、電瓶、電源延長線、地圖和相關頻率站臺資料等。出發時要對頻譜分析儀或場強儀開機檢查，確定設備工作是否正常。同時對干擾出現的頻率和頻段進行測試獲得一個基本場強的參考點。在赴干擾目的地時，對干擾記錄進一步觀察，依靠頻率站臺資料和地圖對干擾區域的電磁環境、地形外貌以及行進路徑做分析，估計干擾源可能出現的地方和尋找可能出現的情況，多考慮幾種應對方案 and 解決問題的方法。在移動監控車上，頻譜分析儀或場強儀應盡可能通過變頻器（Inverter）使用汽車電源。若無法得到電源時，沒在量測的時候頻譜分析儀或場強儀應省電關機。
- (4) 在接近干擾區域時，要密切注意頻譜分析儀或場強儀上場強值的變化。一旦接收到干擾信號，移動監控車應減速緩慢前進，利用頻譜分析儀或場強儀開始對干擾信號做定性分析。通過不同設定接收信號確定干擾信號性質，正確選擇頻譜分析儀或場強儀是處於調頻方式還是調幅方式，是採用窄頻接收還是寬頻接收，對干擾信號進行實時監測。當接收到干擾信號最強時不要急於下車尋找，還需要繼續前進一段路才行，並注意觀察周圍的地形地物，在確認信號減弱或消失後再折返。遇到十字路口，應對各方向進行巡回測試。在完全確定接收到干擾信號的最強點，再下車進行徒步測試。這樣既充分節省時間，又可避免由於遮蔽物影響無線電波傳播所造成的錯覺。
- (5) 到達目的地時，測試人員應迅速觀察周圍的地物，盡可能選擇不同方位的空曠地對干擾信號場強進行測試，採用逐步逼近測試法進行尋找干擾源。先按場強最強的方位前行，若信號開始減弱，再選擇不同的方位進行場強測試，以此類推。在測試中，要時刻注意周圍的環境，以增強綜合判斷的能力。頻譜分析儀或場強儀和天線的位置一般情況下要盡可能保持不變，採用後背式或手提式都可，但不要頻繁變換攜帶方式，以免影響場強值的比較性，降低定位準確率。此外，在測試時頻譜分析儀或場強儀近距離內盡可能少站人，以減少對頻譜分析儀或場強儀接收信號的影響。
- (6) 要相信監測設備，但不能迷信監測設備。由於無線電波的傳播受地形地物的影響很大，所以在尋找干擾源的過程，測試人員要充分考慮周圍的電磁環境，分析可能存在的干

擾源。在接近干擾源時，頻譜分析儀或場強儀的數值至少要達到-50dBm 以上，如果在尋找干擾源時，場強值始終在-80dBm 上下 10dBm 間變化，就要考慮周邊是否有高山、高樓和電塔，干擾信號可能從較遠處傳來的可能性。一定要利用地圖進行地形的分析與判斷，因為若忽視了地形分析、定錯了方位，會極大地影響尋找干擾源的速度。

- (7) 尋找完干擾源之後，要對整個過程進行總結，尤其對其中走過的路徑要進行分析、找出原因，避免下次重蹈覆轍，以進一步提高尋找干擾源的效率，為完善的監測程序，購置新的監測設備提供參考。

第七章 結 論

本研究案開發出針對 VHF/UHF 頻段可加入不同電波傳播模型的軟體平台，而電波傳播模型包含有自由空間傳播損失模型、Cost-231 Hata 模型、ITU-R P.370-7 和 ITU-R P.1546-4 模型，載入台灣電子地理圖資即可開始進行場強模擬分析。由於 ITU-R P.1546-4 模型可考慮地勢高度與天線架設的高度，而且頻率範圍可達 30MHz 至 3000MHz，經由模擬分析得知此傳播模型較適合用於臺灣地區的使用。再將 16 處監測站的量測數值分成三種不同環境類型，使用迴歸分析的方法來調整 ITU-R P.1546-4 模型的參數，開發出更符合於台灣地區之電波傳播模式，並以此為依據進行全台 35 處站點之電波監測涵蓋及定向涵蓋之模擬評估。

本研究案蒐集不同種類與不同廠商之電波監測站，包括固定式、移動式、可攜式…等相關設備規格，定出軟體平台的接收靈敏度參數為-110dBm。此外，本軟體平台可分析使用干擾來向之定位追蹤偵測之可行性，以每個區域會被幾個電波監測站涵蓋的方式呈現，我們也輔以優化之程式來評估未來電波監測站建置優先順序與抗干擾保護之依據。

若根據台灣現有的 35 處電波監測站與其它國家的監測站數量相比，台灣電波監測站的佈建數量多又密集。從模擬臺灣本島的 32 處監測站各別之涵蓋面積比率與臺灣本島整體之總涵蓋面積比率做比較（以頻率 445MHz，發射機的 EIRP 值 0dBm~50dBm 為例），各監測站之涵蓋率相加起來的值約為 85%，而全臺 35 處監測站之涵蓋率約為 55.5%，明顯可看出各監測站有重疊覆蓋到的地方。因此，提出新世代電波監測站建置規劃之建議：

1. 有些重疊覆蓋到的監測站可考慮不做新世代電波監測站之建置規劃，可先藉由全臺 35 處監測站之電波涵蓋模擬圖中，找出監測站與鄰近監測站非常靠近，以及電波監測涵蓋面積非常小的監測站，或是被其它地形位置較高的監測站有涵蓋到的監測站，優先不考慮做為新世代電波監測站之建置規劃。從監測涵蓋面積比率上來看，撤掉 16 個監測站對臺灣本島的涵蓋面積比率並沒有太大的影響；可是若從定向涵蓋來看，撤掉 6 個監測站就會有很明顯定向偵測不足的問題。
2. 建議未來新世代電波監測站系統，最好先從都會區人口密度較高的地方開始做更換，例如：台北市、新北市、桃園縣、台中市、台南市和高雄市等，而這些都會區的監測站最好至少有兩個監測站進行監測/定向。然後建議更換高山位置的電波監測站系統，涵蓋範

圍比較寬廣的監測站優先做更換。最後建議更換平原地區與外島地區的監測站系統。

3. 其中都會區、花蓮縣、台東縣和外島地區的部份至少要各配置一台移動監控車和一套可攜式監控設備，因為都會區的人口密度較高，建築物與遮蔽物也較多，產生監測盲點的地方機率也較大，因此可搭配移動監控車或可攜式監控設備來彌補監測盲點不足的部份。
4. 至於花蓮縣、台東縣和外島地區若只有架設一個固定式監測站，也需要移動式或可攜式監測設備做輔助與加強監測。若貴會在該地區未常駐人員，可考慮增加固定式監測站系統，以節省人事成本。
5. 未來新世代的監測站可選擇抗干擾能力強之設備，例如選擇優秀的監測接收機以及被動式和不同極化的天線。另外再配置外接陷波器可以抑制大信號，並且靈活設置接收機的性能。儘量遠離行動電話基站或廣播電臺機房附近，避免大功率發射機的干擾，以免強電場對監測站接收設備造成影響。

參考書目

- [1] 吳成，「淺談 VHF/UHF 固定監測系統的建設」，*中國無線電管理*，2003 年 9 月，第 49-51 頁。
- [2] 圖片來源：R&S 公司簡報資料。
- [3] National Instruments, <http://www.ni.com/>.
- [4] ROHDE & SCHWARZ, <http://www.rohde-schwarz.com/>.
- [5] TADIRAN, <http://www.tadiran.com/>.
- [6] S. R. Saunders, "Antennas and Propagation for Wireless Communication System," West Sussex, John Wiley, 2007, pp. 89-91.
- [7] 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.
- [8] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications principles and practice," New Jersey, Prentice Hall, 2002.
- [9] Parsons David, "The Mobile Radio Propagation Channel," John Wiley & Sons, 1998.
- [10] Hata M., "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 29, No. 3, pp. 86-95, 1980.
- [11] COST 231 Final report, "Digital Mobile Radio: COST 231 View on the Evolution Towards 3rd Generation Systems," *Commission of the European Communities and COST Telecommunications*, Brussels, 1999.
- [12] 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.
- [13] International Telecommunication Union. "Recommendation ITU-R P.1546-2: Method for Point-to-area Predictions for Terrestrial services in the Frequency Range 30 MHz to 3000 MHz," Oct. 2009.
- [14] 林惠玲和陳正倉，「線性迴歸中文版」，*雙葉書廊*，1996 年。
- [15] J. K. Han, B. S. Park, Y. S. Choi, and H. K. Park, "Genetic approach with a new representation

- for base station placement in mobile communications,” in IEEE Vehicular Technology Conference, Vol. 4, pp. 2703-2707, Oct. 2001.
- [16] S. P. Mendes, “A Differential Evolution Based Algorithm to Optimize the Radio Network Design Problem,” in Proceedings of the Second IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing, pp. 119, Mar. 2005.
- [17] B. S. Park, J. G. Yook, and H. K. Park, “The determination of base station placement and transmit power in an inhomogeneous traffic distribution for radio network planning,” in IEEE Vehicular Technology Conference, Vol. 4, pp. 2051-2055, 2002.
- [18] L. Nagy and L. Farkas, “Indoor base station location optimization using genetic Algorithms,” Indoor and Mobile Radio Communications, Vol. 2, pp. 843-846, 2000.
- [19] P. Calegari, F. Guidec, P. Kuonen, and D. Wagner, “Genetic Approach to Radio Network Optimization for Mobile Systems,” in IEEE Vehicular Technology Conference, Vol. 2, pp. 755-759, May 1997.
- [20] A. A. Fernando, M. V. Aurea M., A. V. Lino J., H. Jose M., and A. Formella, “Optimization Methods for Optimal Transmitter Locations in a Mobile Wireless System,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 51, No. 6, pp. 1316-1321, Nov. 2002.
- [21] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley and Sons, pp. 500-509, 2005.
- [22] Agilent, <http://www.agilent.com/>.
- [23] 鐘松峰, 「強信號電磁輻射對監測接收機的影響分析與對策研究」, 電子質量 *Electronics Quality*, 2006 年, 第 8 期, 第 72-76 頁。
- [24] 楊芳, 「快速查找干擾源的方法和經驗」, 中國無線電管理, 2003 年 10 月, 第 61 頁。

附 錄

附錄一 鄭獻勳教授訪談紀錄

國家通訊傳播委員會

「電波監測網監測範圍涵蓋評估研究」委託研究案（案號：
NCCB99019）專家學者訪談紀錄

壹、會議時間：中華民國100年9月6日（二）上午11時整

貳、會議地點：台北市忠孝東路三段1號 電子工程系 綜合科館

108-1會議室

參、主持人：林信標 教授 記錄：蔡邦均

肆、出席人員：東華大學 鄭獻勳教授

伍、列席人員：臺北科技大學 林教授信標、臺北科技大學 蔡邦均

陸、報告事項：

- 一、臺北科技大學簡報(略)。
- 二、聽取專家學者意見。
- 三、根據專家學者意見進行修改期末報告書。

柒、專家學者意見：

- 一、建議電波涵蓋模擬的結果與量測的結果放在同一個章節裡，
不要分不同章節來撰寫，這樣比較好做比對分析。
- 二、ITU-R P.370 和 ITU-R P.1546 模組兩個差別在哪，請指出它
們之間的差異性。

- 三、 干擾分析的參考文獻數量有點少，請多列幾篇相關的文獻和書籍。
- 四、 電波監測站涵蓋模擬圖上的地圖請加上地圖比例尺，比較能知道相關的距離位置。
- 五、 電波監測站之抗干擾保護不要只光做定向技術的分析，也要考慮到當有一個地方發射強電場源時，要如何避免電波監測站是否還能工作正常。
- 六、 全臺灣電波監測站涵蓋範圍模擬應該要分區做模擬，不要各別只做一個監測站的模擬，可以分北、中、南三個區域的模擬。

專家學者簽名： 鄭淑勳

附錄二 柯正義博士訪談紀錄

國家通訊傳播委員會

「電波監測網監測範圍涵蓋評估研究」委託研究案（案號：

NCCB99019）專家學者訪談紀錄

壹、會議時間：中華民國100年9月8日（四）下午2時整

貳、會議地點：台北市忠孝東路三段1號 電子工程系 綜合科館

108-1會議室

參、主持人：林信標 教授 記錄：蔡邦均

肆、出席人員：台灣大哥大公司 柯正義博士

伍、列席人員：臺北科技大學 林教授信標、臺北科技大學 蔡邦均

陸、報告事項：

一、臺北科技大學簡報(略)。

二、聽取專家學者意見。

三、根據專家學者意見進行修改期末報告書。

柒、專家學者意見：

一、建議電波涵蓋模擬圖的涵蓋顏色分不同種的顏色，不要只顯示同一種由深到淺的顏色。

二、建議第 5.2 節裡顯示一張圖分別指出被拿掉的 12 個監測站的各個位置。

- 三、軟體平臺的部份能稍微畫一下程式流程圖，這樣比較清楚知道軟體模擬是怎麼跑的。
- 四、35 個監測站的電波傳播模型宜依據所在不同區域而採用不同模型，且距離應考慮地形地物之高度。
- 五、不同頻率的涵蓋區域宜明顯區隔，報告上之圖形不易分辨，影響報告之價值。
- 六、在新建監測站時，可以使用本報告之建議，並且將天線高度實際的影響，也列入優化考量中。

專家學者簽名： 