101 年委託研究報告

特殊干擾處理技術與方法之評估研究

計畫委託機關：國家通訊傳播委員會

中華民國 101 年 12 月

101 年委託研究報告
計畫編號：NCCB101003
GRB 系統編號：PG10106-0142

特殊干擾處理技術與方法之評估研究

受委託單位：
高苑科技大學
主持人：
張耀堂 教授
共同主持人：
王春清 教授、熊大為 教授、
鄭旭志 教授、李國龍 工程師
兼任助理:
巫季霖、劉家維
洪新志、沈民鋒、許仲慶

本報告不必然代表國家通訊傳播委員會意見
中華民國 101 年 12 月

目　　次

圖　次 V
表　次 IX
提　要 XI
一、 研究緣起 XI
二、 研究方法及過程 XVI
三、 重要發現 XVII
中　文　摘　要 XXVI
Abstract XXVIII
第壹章 緒論 1
第一節 研究緣起 1
第二節 研究目的 2
一、 國外特殊干擾案件處理之最新技術及方法之蒐集及研析 2
二、 TDOA、AOA/TDOA 定位技術發展現況之蒐集及研析 2
三、 分析並比較 TDOA、AOA 定位技術之適用情境 3
四、 TDOA 系統架構及規格之研析 3
第三節 研究步驟 4
第四節 研究架構與方法 7
一、 研究架構 7
二、 研究方法 9
第五節 研究進度及成果說明 13
第六節 研究範圍及章節對照表 17
第貳章 特殊干擾之偵測及處理研析 19
第一節 特殊干擾處理 20
一、 特殊干擾之定義與成因 20
二、 特殊干擾之處理步驟 21
三、 解決特殊干擾之定位技術與方案 23
第二節 VHF/UHF 頻段之特殊干擾案件 24

一、 飛航干擾..... 24
二、 低功率無線電設備干擾..... 29
三、 突發干擾源..... 33
四、 都會區干擾..... 35
五、 類比廣播電台干擾..... 41
六、 電子舞弊..... 42
第三節 3-6 GHz 頻段技術發展與干擾案件處理.....44
一、 3-6GHz 陸上通信技術發展 44
二、 3-6GHz 干擾案件處理技術及分析 48
第四節 特殊干擾辨識、分析(定位)與防制設備之探討.....54
第五節 小結.....57
第參章 定位技術之發展趨勢與研析.....59
第一節 無線電定位技術簡介.....59
一、 TOA 與 TDOA 定位技術 59
二、 AOA 定位技術 60
三、 RSS 定位技術 60
第二節 AOA 與 TDOA 定位技術.....62
一、 AOA-based 干涉術(interferometry)技術原理與精確度分析 .. 62
二、 AOA/TDOA 與 TDOA 定位系統技術分析 69
第三節 TDOA 定位技術設備供應商能力評估.....73
第四節 AOA/TDOA 定位技術研討會.....74
一、 AOA/TDOA 定位技術之研討議題 74
二、 AOA/TDOA 定位技術研討會紀錄摘要 75
第五節 AOA/TDOA 定位技術研討會議題彙種分析.....84
第六節 小結.....86
第肆章 TDOA 與 AOA 定位系統發展現況之蒐集及研析.....87
第一節 電波監測定位系統設備製造商與規格.....87
第二節 各國監理機關定位系統應用實例.....105
一、 英國..... 105

二、 美國 106
三、 其他國家 107
第三節 TDOA 與 AOA 系統定位範圍評估 108
一、 AOA 與 TDOA 系統定位範圍 108
二、 AOA/TDOA 定位系統涵蓋所需架設之站台數目 111
三、 傳播模式探討 120
第四節 定位準確度與監測站位置分布 124
一、 TDOA 定位精確度與涵蓋服務區的影響分析 124
二、 建置 TDOA-based 定位系統的評估與考量因素 126
三、 TDOA、AOA/TDOA 監測信號類型的分析 129
第五節 小結 133
第伍章 實測 TDOA 定位系統設備架構之設計 137
第一節 實測 TDOA 硬體模組之設計 137
第二節 實測 TDOA 系統軟體之設計 153
一、 底層軟體控制介面 153
二、 TDOA 上層控制介面 155
第三節 實測環境與定位站台建置之設計 158
一、 監測站台與實驗待偵測點的選擇 158
二、 TDOA 實驗設計驗證說明 159
第四節 小結 161
第陸章 TDOA/AOA 定位系統之實現與實測 163
第一節 TDOA 實驗架設概述 164
第二節 TDOA 定位實驗測試 168
一、 TDOA 實驗測試設計 168
二、 TDOA 定位實測精確度分析 171
第三節 AOA 定位實驗實測 189
一、 AOA 實驗測試設計 189
二、 AOA 定位實測精確度分析 190
第四節 實驗 AOA/TDOA 定位系統架構之分析與探討 196

第五節 小結 201
第柒章 TDOA 導入特殊干擾防制之應用 203
第一節 TDOA、AOA 定位技術的適用情境 203
一、 AOA 與 TDOA 定位技術分析比較 203
二、 AOA/TDOA 定位技術整合應用情境 211
三、 AOA/TDOA 在特殊干擾之處理方法與應用 218
第二節 電波監測技術發展趨勢與設備供應現況分析 229
一、 比較國際電波監測技術發展趨勢 229
二、 TDOA 監測定位系統設備供應現況 229
第三節 TDOA 系統架構及規格建議 240
一、 TDOA 定位系統與組織架構可行性分析 241
二、 TDOA 定位系統軟體與接收機架構可行性分析 244
三、 TDOA 監測定位設備規格之建議 248
第四節 台北市 TDOA 站台建置之評估與建議 258
第五節 小結 266
第捌章 結論與建議 268
一、 結論 268
二、 建議 269
參考文獻 273
中英文對照 276
附件一 AOA/TDOA 實測展示會議 285
附件二 期中審查意見回覆 297
附件三 期末審查意見回覆 301

圖　次

圖 1-1 研究步驟流程圖 4
圖 1-2 完成期末報告的研究步驟 6
圖 1-3 研究架構圖 7
圖 1-4 「特殊干擾處理技術與方法之評估研究」擬定的作業流程圖 12
圖 2-1 FCC 1.525GHz 至 1.6605GHz 頻段使用情況 25
圖 2-2 新唐人衛星下鏈訊號與干擾訊號 48
圖 2-3 雙星定位技術概略圖 50
圖 2-4 利用雙星定位技術 TDOA(橫軸)與 FDOA(縱軸)定位干擾源 50
圖 3-1 HF 頻段無線電波測距原理 63
圖 3-2 現行電波監測系統測向與定位介面 63
圖 3-3 無線電波相位差測向(Bearing)原理 65
圖 3-4 Dipole Antenna 構成五角形天線陣列 65
圖 3-5 雙站交叉定位示意圖 67
圖 3-6 雙站交叉定位模糊區示意圖 68
圖 3-7 TOA 定位法之示意圖 69
圖 3-8 TDOA 的原理概述 71
圖 3-9 TDOA-based 誤差範圍評估 72
圖 4-1 NI-1000 掃描模式 91
圖 4-2 NI-1000 解調模式 91
圖 4-3 NI 固定監測站系統方塊圖 92
圖 4-4 NI VHF/UHF 監測天線 93
圖 4-5 NI 獲取時間差資訊進行 TDOA 定位 93
圖 4-6 TCI Model 803C 外觀 94
圖 4-7 TCI Model 803C 做為固定或移動的定向電波監測設備 95
圖 4-8 TCI Model 803C 使用者介面 96
圖 4-9 TCI Model 920 在機場部署 97
圖 4-10 Agilent 地理定位服務 N6854A 軟體 98

圖 4-11 由 N6854A 與 N6841A 射頻偵測設備建置電波監測系統.....99
圖 4-12 由 TDOA 估算最大機率位置.....100
圖 4-13 R&S DDF255 數位定向設備.....101
圖 4-14 R&S DDF255 圖形介面.....102
圖 4-15 R&S 單通道干涉術定向機制.....102
圖 4-16 AOA 定位技術幾何的不確定性.....109
圖 4-17 TDOA 定位技術幾何的不確定性.....110
圖 4-18 AOA 與 TDOA 定位技術在相同定位精準度下定位範圍示意圖....111
圖 4-19 模擬路竹偵測點 30MHz 頻段涵蓋資訊.....116
圖 4-20 模擬路竹偵測點 300MHz 頻段涵蓋資訊.....116
圖 4-21 模擬路竹偵測點 1GHz 頻段涵蓋資訊.....117
圖 4-22 模擬路竹偵測點 3GHz 頻段涵蓋資訊.....117
圖 4-23 TDOA 正三角形配置站點估算.....118
圖 4-24 FCC 之 F(50,50)場強規範曲線.....121
圖 4-25 模擬電臺各方位場強之示意圖.....122
圖 4-26 台灣地區 FM 場強模擬規範曲線圖.....122
圖 4-27 有效天線高度示意圖.....123
圖 4-28 TDOA-based 自動定位系統接收機的不佳地理配置.....126
圖 4-29 信號在時域領域與頻率的傅立葉轉換關係.....130
圖 4-30 多重路徑傳輸對信號頻寬的展延效應.....130
圖 4-31 雜訊與多路徑失真對 TDOA-based 互相關演算法的影響.....132
圖 5-1 TDOA 實現平台之系統硬體裝置.....140
圖 5-2 TDOA 實現平台之系統架構.....140
圖 5-3 AOA/TDOA 實現平台的系統接收機硬體架構-PXI.....141
圖 5-4 TDOA 實現平台的系統接收機硬體架構-PXI.....141
圖 5-5 TDOA 實現平台之 18 槽式控制器機箱-NI PXIe-1075.....142
圖 5-6 TDOA 實現平台之 8 槽式控制器機箱-NI PXIe-1082.....143
圖 5-7 TDOA 實現平台之射頻模組-NI 5665.....144
圖 5-8 TDOA 實現平台之時序與同步化模組與 GPS 天線-NI PXI-6682.....146

圖 5-9 AOA/TDOA 實現平台之 AOA 天線規格-NI5845.....148
圖 5-10 TDOA 實現平台之固定式天線規格-NI 5875.....149
圖 5-11 TDOA 實現平台之被動監視天線規格-NI5872.....150
圖 5-12 TDOA 實現平台之所使用 3G 網卡.....151
圖 5-13 TDOA 實現平台之無線網路部屬架構.....152
圖 5-14 TDOA 實現平台之寬頻掃描模式.....153
圖 5-15 TDOA 實現平台之類比解調模式.....154
圖 5-16 TDOA 實現平台之數位解調模式.....154
圖 5-17 TDOA 實現平台之 TDOA 模式使用者操作介面.....155
圖 5-18 TDOA 實現平台之時間差相關性解算程序.....156
圖 5-19 TDOA 實現平台之呼叫監測站 IP 使用者操作介面.....156
圖 5-20 TDOA 實現平台之站台地圖資訊與監測訊號源操作介面.....157
圖 5-21 TDOA 實現平台之雙曲線地圖定位顯示介面.....157
圖 5-22 TDOA 實現平台之偵測站點與實驗待偵測點選擇.....159
圖 5-23 TDOA-based 技術的 CEP (Circular Error Probability)精確度評估...160
圖 5-24 建置的實測 TDOA 定位系統設備架構.....161
圖 6-1 AOA、TDOA 實現設計與精確度分析流程架構.....163
圖 6-2 偵測站點與實驗待偵測點選擇.....165
圖 6-3 FM 88.3MHz 長榮之聲定位雙曲線的解算結果.....168
圖 6-4 FM 88.3MHz 長榮之聲座標資訊.....170
圖 6-5 FM 88.3MHz 長榮之聲電臺雙曲線定位結果顯示.....172
圖 6-6 FM 88.3MHz 長榮之聲電臺定位誤差資訊.....175
圖 6-7 FM 91.5MHz 自由之聲電臺雙曲線定位結果顯示.....177
圖 6-8 FM 91.5MHz 自由之聲電臺定位誤差資訊.....179
圖 6-9 FM 89.1MHz 南都廣播電臺雙曲線定位結果顯示.....181
圖 6-10 FM 89.1MHz 南都廣播電臺定位誤差資訊.....183
圖 6-11 FM 91.9MHz 嘉南廣播電臺雙曲線定位結果顯示.....185
圖 6-12 FM 91.9MHz 嘉南廣播電臺定位誤差資訊.....187
圖 6-13 FM 88.3MHz 長榮之聲 AOA 定位角度結果顯示.....189

圖 6-14 FM 88.3MHz 長榮之聲實際定位角度線.....190
圖 6-15 FM 91.5MHz 自由之聲 AOA 定位角度線結果顯示.....191
圖 6-16 FM 91.5MHz 自由之聲實際定位角度線.....192
圖 6-17 FM 89.1MHz 南都廣播 AOA 定位角度線經緯度顯示結果.....193
圖 6-18 FM 89.1MHz 南都廣播實際定位角度線.....193
圖 6-19 FM 91.9MHz 嘉南廣播 AOA 定位角度線經緯度顯示結果.....194
圖 6-20 FM 91.9MHz 嘉南廣播實際定位角度.....194
圖 7-1 TDOA 與 AOA 無法定位區域.....209
圖 7-2 台北市 AOA/TDOA 整合應用情境.....211
圖 7-3 AOA/TDOA 導入台北市都會區干擾防制應用(士林區域為中心)....212
圖 7-4 特殊干擾防制流程架構-頻段核配之評估.....219
圖 7-5 特殊干擾防制流程架構-AOA、TDOA 之干擾辨識與分析.....221
圖 7-6 AOA、TDOA 之干擾防制-飛航、低功率與突發干擾處理.....223
圖 7-7 AOA、TDOA 之干擾防制-都會區、衛星與行動干擾處理.....224
圖 7-8 TDOA 定位系統的可行性架構圖.....241
圖 7-9 TDOA-based 定位系統組織架構可行性評估.....242
圖 7-10 TDOA-based 定位系統網路架構可行性評估.....243
圖 7-11 TDOA-based 定位系統軟體架構可行性評估.....245
圖 7-12 整合 AOA/TDOA 監測定位系統的接收機架構.....246
圖 7-13 模擬 TDOA 服務涵蓋區域的台北市地圖資訊.....258
圖 7-14 模擬士林偵測點 30MHz 頻段涵蓋資訊.....259
圖 7-15 模擬士林偵測點 300MHz 頻段涵蓋資訊.....260
圖 7-16 模擬士林偵測點 1GHz 頻段涵蓋資訊.....260
圖 7-17 模擬士林偵測點 3GHz 頻段涵蓋資訊.....261
圖 7-18 AOA 與 TDOA 正三角形配置站點估算.....262

表　次

表 1-1 監測與定位相關議題的主要參考文獻.....9
表 1-2 研究活動紀錄表.....13
表 1-3 研究完成事項說明表.....15
表 1-4 工作項目與章節對照.....17
表 2-1 FCC 各頻段使用情況.....25
表 2-2 美國 4G 行動網路與 GPS 訊號干擾處理案例.....26
表 2-3 高空飛行載具訓練儀器與 2G 行動電話基地台干擾案例.....27
表 2-4 低功率頻段(ETC)與 LTE 之間可能產生的干擾案例.....29
表 2-5 韓國數位電視與無線麥克風干擾處理案例.....32
表 2-6 感知網路與數位電視訊號干擾處理.....34
表 2-7 LTE 訊號干擾 2.4 GHz ISM 頻帶之其它通訊服務處理.....35
表 2-8 LTE 行動網路與數位電視訊號模擬干擾處理案例.....39
表 2-9 英國 LTE 行動網路與數位電視訊號干擾處理案例.....41
表 2-10 廣播電台干擾處理案例.....42
表 2-11 電子舞弊處理案例.....43
表 2-12 新唐人衛星干擾處理.....49
表 2-13 中國 GPS 衛星頻段干擾案例.....51
表 4-1 最新電波監測設備硬體規格比較.....87
表 4-2 R＆S DDF255 天線系統配置.....103
表 4-3 AOA 定位系統硬體規格比較.....104
表 4-4 監測站台選擇考量.....112
表 4-5 模擬偵測測向範圍參數設計.....113
表 4-6 TDOA-based 定位系統的概略區域位置.....118
表 4-7 模擬北高雄與南台南之參數設定與結論.....119
表 4-8 建置「TDOA-based 自動監測定位系統」規畫設計考量的要項.....133
表 5-1 國際聯合會新版電波監測接收機特性.....138
表 6-1 待測發射源電臺資訊.....169

表 6-2 FM 88.3MHz 長榮之聲連續十次測試距離差與時間差.....171
表 6-3 FM 88.3MHz 長榮之聲標準差分析.....173
表 6-4 FM 91.5 MHz 自由之聲連續十次測試距離差與時間差.....175
表 6-5 FM 91.5 MHz 自由之聲標準差分析.....178
表 6-6 FM 89.1MHz 南都廣播電臺連續十次測試距離差與時間差.....180
表 6-7 FM 89.1MHz 南都廣播電臺標準差分析.....182
表 6-8 FM 91.9 MHz 嘉南廣播電臺連續十次測試距離差與時間差.....184
表 6-9 FM 91.9MHz 嘉南廣播電臺標準差分析.....186
表 6-10 各廣播電臺定位準確度分析.....188
表 6-11 AOA 各廣播電臺定位準確度分析.....195
表 7-1 AOA-based 技術應注意的關鍵與繁複過程.....204
表 7-2 TDOA-based 自動定位系統優缺點分析.....205
表 7-3 TDOA-based 自動定位系統 SWOT 分析表.....210
表 7-4 TDOA 監測定位站導入干擾辨識、分析(定位)與防制的應用.....213
表 7-5 TDOA 監測系統供應現況能力與能力評估指標.....230
表 7-6 AOA/TDOA 整合之架構.....247
表 7-7 TDOA-based 定位系統的概略區域位置.....262
表 7-8 模擬之參數設定與結論 (依據台北市地形的監測站台).....264

提　要

一、研究緣起

為因應國內無線電通訊傳播事業發展，以及新興寬頻無線通訊新技術的發展，增加了無線電干擾查測的困難度、複雜度。因此，本研究進行相關電波監測定位新技術評估，例如訊號到達時間差 (Time Difference Of Arrival, TDOA)、信號到達角度(Angle of Arrival, AOA)/TDOA 等。為評估與探討 TDOA-based 定位系統在解決都會區干擾的可行性，本計畫運用實測及科學分析的方法完成「TDOA-based」的實測模擬驗證情境。其中選擇於台南都會區建置三角形偵測點，站台位置分別為：高雄科學園區、台南健康定向站與台南高鐵站(交大南校區)並完成 AOA、TDOA-based 定位精確度分析。

再者，在實現 TDOA 監測定位系統的雛型架構(prototype)下，探討 AOA/TDOA 監測定位系統導入特殊干擾防制之應用情境，並分析與探討 TDOA、AOA/TDOA 在特殊干擾(飛航、低功率無線電設備、突短微弱與都會區等干擾)辨識、分析(定位)與防制的解決方法。

更進一步，研提 AOA/TDOA-based 定位系統的可行性的階層管理組織、網路、軟體架構與系統設備規格，以建構更多元的電波監測定位技術，以作為國家通訊傳播委員會(National Communications Commission, NCC)未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之目標。最後，依據「TDOA-based」定位系統服務涵蓋(20km~30km)，完成台北市所需架設之 3~5 個站台數目的模擬評估與規劃，暨研提台北市建置 TDOA 定位系統的地點、設備規格需求與應用的具體可行方案。

本研究報告分為捌個章節，相關內容摘要分述如下：

第壹章　緒論

隨著國內無線電通信傳播事業發展及各類無線電臺數量的增加，以及寬頻無線新技術的發展，無線電干擾的頻段增大，干擾查測的困難度與複雜度也在增加。以飛航干擾、低功率無線電設備干擾、突發干擾源及都會區干擾問題等特殊干擾處理為例，對於各國電信監理機關而言都是相當棘手的問題。鑑此，本案將進行電波監測定位技術評估（如：TDOA、AOA/TDOA 等），以提供主管機關作為未來處理相關干擾案件及優化電

波監測網之參考。本章說明特殊干擾處理技術與方法之評估研究，包括計畫緣起、計畫目的、計畫研究範圍、研究方法與步驟、及研究進度及成果說明。

第貳章　特殊干擾之最新技術及處理方法研析

國內在無線廣播電視已採用正交分頻多工技術的 DVB-T 技術，在高速公路也導入無線識別電子收費系統，行動通訊亦即將開放 4G 執照，未來車載系統等，各種無線通訊發展越來越蓬勃，各種頻譜干擾也將伴隨而來。尤其，都會地區的各類無線訊號交錯下，無線通訊器材將可能會受到干擾，或者設備故障時發出不必要的干擾信號，均可能會妨礙其他無線設備的正常運作。解決干擾方式除必須慎重評估無線廣播、無線通信技術、移動網路、衛星訊號等分配的頻段與通訊系統無干擾下共存以外，如何進行新興通訊技術的干擾查測，會是將來必須克服的難題。有鑑於頻譜是有限資源，在有限資源如何發揮最大功效，必須倚賴新的電波干擾查測技術。

本研究蒐集各種電波干擾的案例，分析可能受干擾的案件與處理分法。對各種新興通訊系統例如：4G 行動網路、電子收費系統、無線麥克風等，可能干擾現有或未來預計開放之通訊，提出案例分析。對處理過程與方式做綜整，做為未來特殊干擾案件處理時參酌之方法。並探討 TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統導入與協同現行通傳會(NCC)AOA 監測定位系統，以解決特殊干擾的可能性應用。

第參章　TDOA 定位技術之發展趨勢與研析

本章節主要探討無線電定位技術與舉辦 AOA/TDOA 定位技術研討會，在特殊干擾方面首先導入 AOA 干涉術、定位精確度與 TDOA 自動定位技術之說明。並舉辦研討會，邀請相關知名廠商 NI、TCI、安捷倫進行專題演講與交流互動，探討建置站台的限制條件(天線型式、網路頻寬、站台位置、站台服務涵蓋範圍等)、定位誤差來源、優缺點與適用情境，作為後續 TDOA-based 實現與實測設計之參考資訊。再者，經由研討會可以對市場進行充分的瞭解與研究，取得業界間可以提供的 TDOA-based 定位系統的合理規格，評估建置一套兼具彈性與親和性的客製化(Custom-oriented)「TDOA-based 定位系統」，以做為未來建置「TDOA-based 定位系統」設備規格之依據。

第肆章　TDOA 與 AOA 定位系統發展現況之蒐集及研析

本研究蒐集電波監測定位系統設備製造商，將其特性及規格進行比較。此外，對各國監理機關定位系統應用實例，主要針對英國案例，提供

通傳會(NCC)對未來定位系統設備採購之參考。電波監測定位涵蓋部分，本章對南台南與地形進行涵蓋模擬，由模擬數據分析所需定位站點數。由模擬可知，偵測站點數量與位置的評估，應考量監測區域之地形，並盡量減少阻隔障礙物及雜訊源等因素，在配置之數量上應考慮地形因素、接收機性能及偵測的精準度。

第伍章　實測 TDOA 定位系統設備架構之設計

本研究 TDOA 實驗設備設計方面，本研究透過與美商國家儀器公司（National Instruments, NI）合作方式，進行軟硬體設備開發。在 TDOA 定位系統的硬體設備由 NI 提供各項天線裝置搭配接收機設備，本研究則參考相關文獻，規劃設計適用之偵測站點與待偵測發射源。

在實驗情境設計上，選擇 FM 電臺，主要在通傳會(NCC)網站可以獲得 GPS 座標、住址及頻率等完整資訊，可以將量測數據與實際站點位置進行比對，對開發 TDOA 實驗中進行取樣的最佳化。再者，開發團隊分屬美國及台灣二方團隊，FM 訊號各方較易取得。實測地點選擇台南安平與台南高鐵站。以三角形方式佈置，將待測點選擇靠近三角形內的 FM 88.3MHz 長榮之聲，再選擇逐漸遠離三角形的 FM 91.5MHz 自由之聲電臺，FM 89.1MHz 南都廣播電臺和 FM 91.9 MHz 嘉南廣播，藉以分析定位準確與 TDOA 監測定位站台幾何位置的關係。

第陸章　TDOA/AOA 定位系統之實現與實測

本研究實際選擇路竹科學園與台南健康站與台南高鐵站，進行 TDOA 測試，並選擇在路竹科學園進行 AOA 測試，目的在分析 TDOA 實驗測試之定位精準度。更進一步，完成 TDOA-based 定位精確度分析。實測結果顯示：在都會區多路徑的傳輸效應下，TDOA-based 定位在三角形內最大距離誤差約 300 公尺內（CEP=50%）

TDOA 需要可靠的網路和網路性能，本次實驗僅有數次可直接即時做 TDOA 定位，若有穩定的網路連線頻寬，將可提高系統的可靠度，未來可思考兩種方式，一是建立穩定的固定網路，或者利用 3G 網路，由軟體規劃建立同步錄製功能，再將數據回傳至中央控制中心，進行 TDOA 定位。

本實測驗證展示會議中顯示：基於 AOA-based 與 TDOA-based 技術的最大的差異性為軟體定位演算法的不同。在高雄科學園區的監測站的建置上，本研究係採用「無線電軟體」的設計開發。當經由高雄科學園區，交通大學台南校區(高鐵台南站)與台南健康定向站的三個監測站取得 TDOA-based 定位區域(Allocation area)，更進一步，為了提昇 TDOA-based

定位精確度，本研究經由高雄科學園區監測站，運用 AOA-based 單站測向技術，以解算發射電台的定向線(Bearing)，實現 AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用。

第柒章　TDOA 導入特殊干擾防制之應用

在實現 TDOA 監測定位系統的雛型架構(prototype)下，本章節主要探討 TDOA 監測定位系統導入特殊干擾防制技術之應用。首先，對於 AOA 與 TDOA 定位技術的優缺點與適用情境進行分析比較。

再者，經由 TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統導入與連結現行通傳會(NCC)AOA 監測定位系統，以實現(A). 頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。(B).干擾源之辨識、定位系統之建置與運用的兩個層面上的應用。再者，分析與探討 TDOA、AOA/TDOA 在特殊干擾(飛航、低功率無線電設備、突短微弱與都會區等干擾)辨識、分析(定位)與防制的解決方法。

藉由探討電波監測技術發展趨勢與 TDOA 定位系統設備供應現況，更進一步，研提 AOA/TDOA-based 定位系統的可行性的階層管理組織、網路、軟體架構與系統設備規格，建構更多元的電波監測定位技術以補償現有電波偵測網的盲點與死角，達成通傳會(NCC)未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之目標。最後，依據「TDOA-based」定位系統服務涵蓋(20km~30km)，完成台北市所需架設之 3~5 個站台數目的模擬評估與規劃，暨研提台北市建置 TDOA 定位系統的地點、設備規格需求與應用的具體可行方案。

第捌章　結論與建議

- 本次期末報告結論分為

1. 首先完成飛航、突短微弱、低功率無線電設備與都會區、3 GHz 至 6 GHz 陸地通信技術發展既有與未來預期的各種同頻、鄰頻與互調變的特殊干擾問題進行蒐集及研析。更進一步，從既有與未來預期的特殊干擾，研擬出可行的干擾消除處理之技術與解決方法流程。

2. 經由文獻分析與收集各製造商、整合商的設備規格型錄，並經由舉辦的「TDOA-based 定位技術研討會」所提供的重要技術規範與商轉現狀，完成「TDOA-based」監測系統的評估。暨運用獲知的設備規格完成「TDOA-based」定位系統服務涵蓋(20km~30km)南台南市與台北市所需架設之 3~5 個站台數目的模擬評估與規劃。

3. 完成 TDOA-based 定位精確度分析。實測結果顯示：在都會區多路徑的傳輸效應下，TDOA-based 定位在三角形內距離誤差約 300 公尺內（CEP=50%）。在協同都會區的 TDOA-based 定位站的應用下，可提昇 NCC 既有 AOA-based 固定(行動)監測定位站的 2 倍服務涵蓋面與 6 度偏角的定位精確度。

4. 完成分析與探討 TDOA、AOA/TDOA 在特殊干擾(飛航、低功率無線電設備、突短微弱與都會區等干擾)辨識、分析(定位)與防制的解決方法。更進一步，研提 AOA/TDOA-based 定位系統的可行性的階層管理組織、網路、軟體架構與系統設備規格，藉由建構更多元的電波監測定位技術，以補償現有電波偵測網的盲點與死角，達成通傳會(NCC)未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之目標。

5. 依據「TDOA-based」定位系統服務涵蓋(20km~30km)，完成台北市所需架設之 3~5 個站台數目的模擬評估與規劃，暨研提台北市建置 TDOA 定位系統的地點、設備規格需求與應用的具體可行方案。

➢ 建議

本計畫藉由監測定位系統的製造商、設備商與整合商提供系統架構、軟硬體規格暨舉辦研討會的方式，進行資料蒐集。更進一步，經由建置 TDOA-based 的最低定位運作站台(三個監測站台)，以進行實際驗證 TDOA-based 定位系統的可行性評估。並期望 NCC 可立即就以下建議，深入思考我國電波監測的未來發展。

- 立即可行的建議:

(1). 更新 AOA 監測定位站與探討 TDOA 定位系統並重

(2). 台北市試行建置 TDOA 監測系統以解決都會區干擾

- 中長期建議:

(1).AOA 與 TDOA-based 定位系統的協同運作

(2).賡續探討 TDOA 定位系統在特殊干擾防制的應用

(3).持續關注並探討電波監測定位技術之最新發展趨勢

二、研究方法及過程

本研究預計執行之研究變項共分為：資料蒐集、評估監測站台設置數量、TDOA-based 系統架構規格建議、TDOA-based 技術實測模擬驗證與 TDOA 導入特殊干擾之應用的五個主要研究探討的部分。研究變項間的相關性為：

- 在資料蒐集方面分為二個大項有(1).國外特殊干擾案件處理之最新技術及方法之蒐集及研析。(2).TDOA、AOA/TDOA 定位技術發展現況之蒐集及研析。蒐集對於 VHF/UHF 與微波頻段干擾問題探討及文獻蒐集，並邀集國內專家學者進行焦點座談，研擬未來 TDOA-based 自動定位系統可能適用監測情境。

- 本計畫期中報告主要項目分為(1).收集研析現行 TDOA-based 技術的設備商與規格，進行 TDOA-based、AOA/TDOA-based 比較優越性及質性分析。更進一步，完成 TDOA-based 系統架構及規格建議。其主要探討的因素分別為：(a).分析並比較 TDOA、AOA 定位技術之適用情境。(b).TDOA 系統架構及規格之研析。(c).TDOA-based 監測定位系統架構包括，硬體、軟體模組、系統各單元功能、人機操作介面、及通訊網路系統等。更進一步，依據研析的可行性規格擬提未來 TDOA-baed 自動定位系統建置可行性的系統架構及規格的建議，以完成(2).初期評估監測站台分布位置。(3).初期台北市站台數量評估分析。

- 最後，本研究將建置 TDOA-based 技術實測模擬驗證環境，制訂系統測試標準及測試方法，並進行實地測試驗證。依據本計畫的預期成果完成六大項之期末報告分別為

  (1).國際電波監測技術發展趨勢。

  (2).TDOA-based 定位系統設備供應現況。

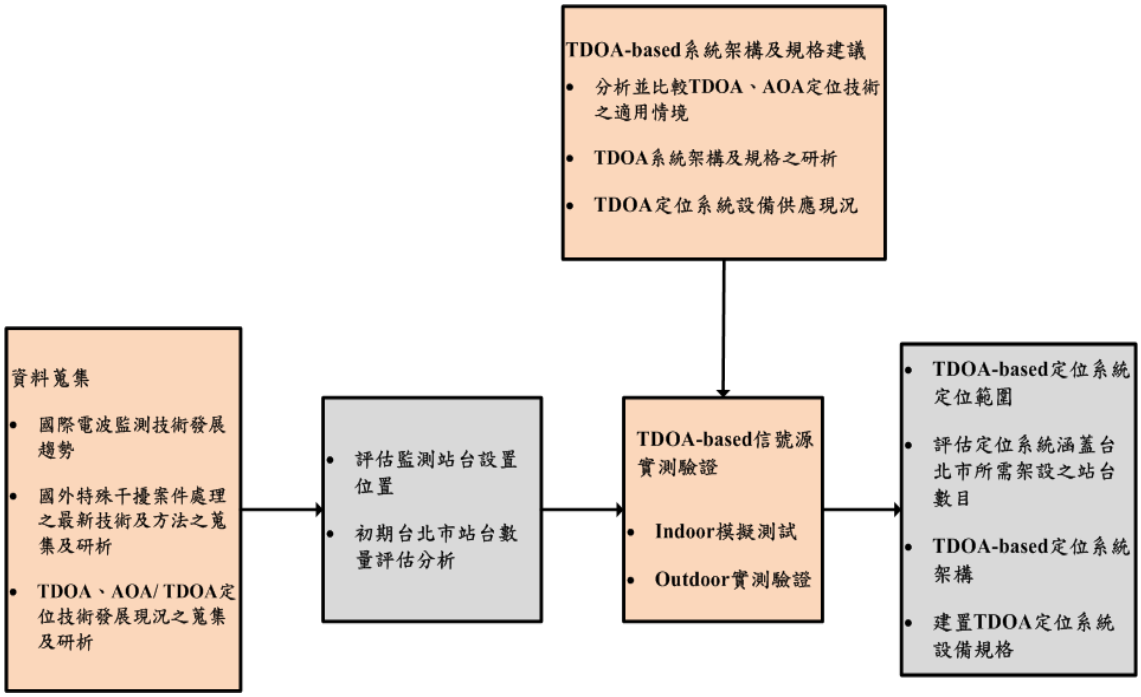
  (3).TDOA-based 定位系統範圍。

  (4).評估定位系統涵蓋台北市所需架設之站台數目。

  (5).TDOA-based 定位系統架構。

  (6).建置 TDOA-based 定位系統設備規格。

從上述完成工作項目達成計畫目標，本計畫擬定的研究架構如下圖所示



三、重要發現

透過本研究發現：

1. 特殊干擾各階段處理方法，如下所示：

- 特殊干擾情形發生前：應著重研究偵測各種干擾源類型，相關設備定期校驗，提高系統可靠性，並進行頻譜妥適分配等，且不限於射頻訊號發射設備，部分電子設備故障，也可能產生電磁干擾情形。
- 特殊干擾情形發生中：應判別為隨機或非隨機出現的干擾訊號，在偵測干擾訊號的方法，對大發射功率的干擾訊號由電波監測系統，輔助定位技術進行偵測，小功率之干擾訊號，ITU 與相關文獻顯示：監測站對於發射功率小於 1W 以下之發射之射頻器材，其偵測效果有限。因此往往需倚靠手持式頻譜分析儀或訊號分析儀，以人工進行偵測處理與判別狀況。
- 特殊干擾情形發生後：應建立各種訊號偵測處理與判別案例歸納。

2. 特殊干擾的辨識、分析(定位)與防制案件與解決方法分析

未來行動寬頻網路與發射設備所衍生的電波干擾案件必然會呈現低功率、突發(短)、都會區的複合型電波干擾。加以行動網路訊號將使無線電頻譜更加複雜，必然使電波監測定位與干擾消除帶來更大的衝擊與挑戰。綜合國內外干擾案件而言，在干擾的產生因素，並不限於射頻器材，還包括：車輛、電子產品，及自然環境的雷擊現象。僅能加強各類設備各相關審驗規範並加入電磁干擾防治(EMI)防制要求。干擾的防制上主要採取的解決方案計有(1)提高發射機的性能抑制干擾源。(2). 阻絕干擾源影響接收機之傳播途徑。其有效的方法分別為調整頻段(移頻)，設置保護帶寬。並執行相關干擾(時域、頻域、空域、極化域、通訊識別協定、碼域與功率域)的阻絕隔離等抗干擾方法以增加干擾源的隔離度。(3). 提高發射端、接受端的濾波器頻譜遮罩性能。另基於監測定位技術的發展趨勢下，可導入TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統，協同現行通傳會(NCC)AOA 監測站台。如此可運用更近接干擾源的方式，補償監測網的盲點與死角，以進行特殊干擾(飛航、低功率設備、突發與都會區干擾)的辨識、分析(定位)與防制。

3. TDOA 及 AOA 定位技術重要特徵分析比較

✧ TDOA 監測定位系統優缺點分析：

- 優點：成本較低、容易架設、天線小、設備簡單、可處理寬頻、跳 頻等新興數位通訊訊號。TDOA 監測定位站成本約為 AOA 監測定位站成本的 10%~20%。
- 缺點：三角形幾何範圍外定位誤差大、相較 AOA 可定位範圍限縮。定位相關演算法需依據不同調變信號的特性，進行相異的取樣最佳化。相對地，AOA 的優點卻可使用單站呈現定位線、靈敏度較高、並可以定位連續信號（CW）。

✧ AOA 監測定位系統優缺點分析：

- 優點： AOA-based 可使用於單個站台可實現 SSL 定位技術。在單站量測情況下的離線分析，如果用 AOA 監測定位站台，單站測試結果可使用離線的方式分析出方位線。
- 缺點： AOA-based 系統的時間同步要求不高。可以容許接收站台之間幾秒鐘的誤差。在發射功率上也需要比較高的能量以正確解算 AOA-based 信號的相位。當信號微弱時無法在 0~2pi 辨識出相位差值。因為 AOA-based 技術以最後反射信號解算迎向角度而無

法觀照到干擾源最初的迎向角度，容易被多路徑傳播效應影響，造成誤差。

✧ TDOA 結合 AOA 監測定位系統優缺點分析：

- 優點:可結合上述 TDOA 與 AOA 優點,當兩個站同時具有 TDOA 與 AOA，可增加定位準確性，並且克服解決 TDOA 幾何範圍外的定位問題，以增加服務涵蓋面。
- 缺點：TDOA/AOA 監測站成本將提高 AOA 監測定位站成本的 10%~20%。

4. TDOA 監測定位系統的實現與實測

為探討 TDOA-based 定位性能的可行性評估，本計畫與美商 NI 合作開發 TDOA 定位系統，眾多執行 ITU 電波監測定位的設備商宣稱：目前硬體備妥，但實際卻無法展示針對各種調變訊號（例如：調頻、調幅等）以進行 TDOA 定位。各廠商設備型錄也未對 TDOA 定位與地圖顯示功能完成上層軟體的設計開發。本次研究與 NI 實際開發調頻(FM)的 TDOA 監測定位任務並結合電子地圖顯示功能，在地圖上直接顯示信號發射源定位資訊。此外，結合 3G 行動通訊網路，運用遠端遙控監測站方式以完成即時或離線定位任務。未來通傳會(NCC)可以依照本研究方式，進一步對各種調變訊號種類進行 TDOA 定位技術開發。本研究主要選擇台南都會區完成「TDOA-based」的實測模擬驗證情境。其中選擇建置的三角形的監測定位站台位置分別為：高雄科學園區、台南健康定向站與台南高鐵站(交大南校區)。在監測站相互距離 10 至 20 公里下，監測定位站台直線連接的三角形內，定位距離誤差約 300 公尺內（CEP=50%)。在靠近連接的三角形外，定位距離誤差也尚在 1 公里內（CEP=50%)，顯示 TDOA 技術導入於電波監測定位的應用將是具體可行的方案。

5. TDOA-based 定位系統的「最小誤差距離」

在初期實測驗證過程中，使用 40 公尺傳輸線下，當兩個(壹組)監測站臺擷取來自於的 GPS 同步時間信號，在接收相同的自發測試信號源時，可得知兩個(壹組)監測站臺的定位時間差，經換算顯示出最小誤差距離約±4 公尺。

6. TDOA-based 定位系統實測精確度分析

在本次的北高雄與南台南定位區域的實測驗證展示中，三個監測站台分別建置於高雄科學園區(以下簡稱路竹)、台南健康定向站(以下簡稱健康)與交通大學台南校區(高鐵台南站，以下簡稱高鐵)。其中相距的最小距離為 9.94 公里，相距的最大距離為 20.05 公里。在 TDOA-based 定位過程中均能實現即時性的定位任務。驗證結果顯示：對於不同發射電台的相對地理位置，顯示出不同的定位精確度。

7. TDOA-based 定位系統上傳網路頻寬的需求

本研究實測過程的連線網路使用 3G 網卡(中華電信、遠傳與台灣大哥大電信公司)。實測過程中出現網路壅塞而中斷傳輸的情況，導致無法進行即時性的定位。然而，當使用者流量較低時(中午十二點到一點、下午五點過後)，實測過程中即可非常順暢地完成 TDOA-based 即時性定位。本研究的通訊協定封包設計中，上傳頻寬的需求約為 100Kbps(byte per second)。因應未來需要傳送更多的訊息。TDOA-based 定位系統的的上傳頻寬(up-link bandwidth)需滿足大於 1Mbps(byte per second)。若使用 TDOA-based 固定站可使用有線傳輸的光纖網路實現，即可克服頻寬不足的疑慮。在無線通訊上，待 4G 建置完成，更能確保 TDOA 定位系統網路上傳頻寬的穩定度與可靠性。若因 4G 建置時程無法超越 TDOA 定位系統的建置，本研究的規劃仍然可採用如下的解決方式:

原 TDOA 實驗設計欲利用 3G 行動通訊網路，進行即時 TDOA 定位。但由於實際在三個監測站點的 3G 網路即時頻寬，上傳網路一直無法達到穩定 100kbps 的傳輸資料量，因此實驗進行遭受困難。由於本實測 TDOA 監測定位系統雛型的電波監測接收機具有訊號錄製與回放功能。利用三個監測站點在同一時間進行訊號錄製，再將各站資料攜回控制中心後回放。本實測過程中模擬三個站台即時同步狀況以進行 TDOA 定位量測。

為克服網路壅塞受阻，導致無法進行即時 TDOA 定位。因此，TDOA 定位系統其電波監測接收機，亦應具備訊號錄製與回放功能。首先由遠端下達錄製指令(其網路連線要求僅需小於 10 kbps)，並將訊號資訊由各地電波監測接收機蒐集完畢後，再由網路回傳資料或藉由儲存裝置攜回控制中心，即可避免因網路壅塞受阻而無法進行 TDOA 定位的任務。

8. TDOA-based 即時定位與離線解算作業程序

本研究主要實現了 TDOA-based 即時定位與離線雙曲線解算定位作業。在即時定位作業上，首先選定監測定位的站台(三個監測站台)並運用 3G 網路將所監測收錄到的發射電台訊號以數位封包協定傳送到中心控制站台(Central control station)，接著使用相關演算法(correlation algorithm)解算出 3 個時間差。最後，將 3 條雙曲線時間差線結合至地圖(MAP)上，即可取得發射電台的定位區域(經緯度資訊)，以完成 TDOA-based 即時性定位。

在離線定位作業上，可應用於通訊網路異常(例如：封包傳輸壅塞中斷)，或者需進一步分析發射電台信號的特性(例如：調變形式、頻寬)。本研究展示：可將側錄的訊號以重放檢視(Replay)的方式輸入相關演算法(correlation algorithm)中，以解算出 3 條雙曲線時間差定位線，並結合至地圖(MAP)以完成離線方式的解算定位。

此研究計畫採用模組化方式進行 TDOA-based 定位系統的設計開發，並使用分段解構式的測試以驗證 TDOA-based 相關演算法(correlation algorithm)定位的正確性。其中在 TDOA-based 技術的校驗(calibration)過程中，主要模擬同一個發射訊號同時經由不一樣時間延遲的傳輸線(同一信號經過信號分離器進入不同長度的裝置)之後，輸入 TDOA 運算模組以驗證 TDOA-based 相關演算法(correlation algorithm)的精確性。例如：比較直接傳輸與經過已知距離的傳輸線，可驗證不同路徑的時間延遲以驗證相關演算法(correlation algorithm)的時間差與距離差的精確性。更進一步，相較於 AOA-based 需進行繁複的方向線(Bearing)對應頻率的干涉術校驗(Interferometry calibration)程序，TDOA-based 定位系統可提供較為簡易的校驗程序與站台建置。

9. 辨識 TDOA-based 定位系統交測雙曲線的信賴度以提高定位精確度

本研究案中，三個監測站台分別建置於高雄科學園區、台南健康定向站與交通大學台南校區(高鐵台南站)。TDOA-based 定位系統需選定三個監測站台以交測出三條雙曲線的經緯度。由於三條雙曲線的時間差均存在誤差，使得 TDOA-based 定位的結果會呈現出可信賴的區域範圍。因此，若僅有三個監測站台必然無法辨識出哪些雙曲線的時間差定位線較為精確(錯誤機率較低)。

當三個監測站台對同一發射電台進行功率的量測過程中，若出現某監測站台所量測的功率呈現偏低的情況，有經驗的監測人員應該意識到該發射電台可能發生電波阻隔、衰減等障礙。此現象可能因為多路徑

(Multi-path)、非直視性(non line of sight)的傳輸干擾而導致 TDOA-based 定位產生極大的誤差。相同於 AOA-based 定位系統，可由應用軟體的設定來決定「定位結果」信賴度的取捨準則(定位結果的採用或廢棄)。

在 TDOA-based 定位系統的實務應用上，必須建置多個(3 個以上) TDOA-based 監測站以涵蓋偵測區域。實務上更可依據上述電波功率與定位精確度相關性的辨識法則，在頻譜量測作業中選定電波功率強度較高(接近發射電台)的三個 TDOA-based 監測站台以取得較為精確的定位區域範圍 (因其具有較低干擾，可獲得較為正確的雙曲線時間差定位線)。

10. 行動 TDOA-based 站在行進中同時執行都會區干擾處理的方法

先由不同的 TDOA-based 監測站量取信號的強度，以判斷不同的監測站的地理位置監測到同一發射電台。選定三個適當位置的監測站以執行 TDOA 定位量測。本研究所舉辦的 AOA/TDOA 定位技術研討會中，TCI/竑傑科技公司表示其 TDOA-based 技術可搭載在飛機上，對於一般車行速度 40~50km/hr 的干擾源具有行動追蹤的定位能力，但因其屬於軍事國防的規格，價格非常昂貴，不適用於民用商轉的需求。一般而言，TDOA-based 監測站尚無法在行進中同時執行 TDOA-based 監測站定位作業。

本研究採取的解決方案中，首先需將 TDOA-based 監測站或 TDOA 運載式設備固定在監測地點後，才能繼續進行較為精確的 TDOA-based 定位任務。在都會區出現微小的突短、寬頻訊號的干擾時，可運用建置更為密佈的多個 TDOA-based 監測固定站，並搭配手提式無線電接收測向機(獵狐槍)以進行都會區的干擾處理。

11. AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用

本研究實測分別於高雄科學園區，交通大學台南校區(高鐵台南站)與台南健康定向站建置三個 TDOA-based 監測站。為了實現 AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用，更進一步，在相同的高雄科學園區位置上建置 AOA-based 定向系統。本研究中 AOA-based 與 TDOA-based 技術相同與相異之處如下表所示：

定位技術 項目	AOA-based 技術	TDOA-based 技術
天線型式	繁複的天線陣列	簡易的天線
接收機數量	需要二套運算模組 (振盪器模組、Down converter、Digitizer)	需要三套運算模組 (振盪器模組、Down converter、Digitizer)規格與性能相同於 AOA-based 技術
定位演算法	量測發射電台的訊號(主要定位要素為訊號相位與功率),並在監測站解算出角度後，上傳至到中心控制站台(Central control station)	量測發射電台的訊號(主要定位要素為訊號到達監測站的時間與功率)，上傳至到中心控制站台(Central control station)後，使用相關演算法 (correlation algorithm)解算出 3 組時間差。

本實測驗證展示會議中顯示：基於 AOA-based 與 TDOA-based 技術的最大的差異性為軟體定位演算法的不同。在高雄科學園區的監測站的建置上，本研究係採用「無線電軟體」的設計開發。當經由高雄科學園區，交通大學台南校區(高鐵台南站)與台南健康定向站的三個監測站取得 TDOA-based 定位區域(Allocation area)，更進一步，為了提昇 TDOA-based 定位精確度，本研究經由高雄科學園區監測站，運用 AOA-based 單站測向技術，以解算發射電台的定向線(Bearing)，實現 AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用。本研究顯示：在「無線電軟體」設計開發的原則下，可進行最小成本與最少時間的改進與更新。更進一步，可整合 AOA-based 與 TDOA-based 協同定位的技術，實現 AOA/TDOA-based 監測站的建置。

12. 導入 TDOA、AOA/TDOA 在特殊干擾辨識、分析(定位)與防制之分析

本研究可經由 TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統導入與連結現行通傳會(NCC)AOA 監測定位系統，以實現(A). 頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。(B). 干擾源之辨識、定位系統之建置與運用的兩個層面上的應用。再者，分析與探討 TDOA、AOA/TDOA 在特殊干擾(飛航、低功率無線電設備、突短微弱與都會區等干擾)辨識、分析(定位)與防制的解決方法。基於，未來行動寬頻開放後可能之干擾狀況，通傳會(NCC)為建立無間隙行動通訊網路環境，讓國人能享有高速、優質及多樣化的電信服務，規劃釋出 700MHz、900MHz 及 1800MHz 等計

3 組頻段，在不指定與規範技術下提供行動寬頻服務。未來行動寬頻業務的蓬勃發展，頻譜勢必被行動寬頻訊號廣泛所使用，將使空中無線電頻譜的應用型態更加複雜，因此未來行動寬頻網路與發射設備所衍生的電波干擾案件必然會呈現低功率、突發(短)、都會區的複合型電波干擾，加以行動網路訊號將使無線電頻譜更加複雜。必然使電波監測定位與干擾消除帶來更大的衝擊與挑戰。其因應之道與解決方法歸納為：

- 使用 TDOA、AOA/TDOA 固定站或行動監測站追蹤與近接干擾源(或達成 Homing 的功能)。相較於現行 AOA 監測定位系統，TDOA 監測定位系統可使用 10%~20%的建置成本，在定位作業時更能提供與接近干擾源之地理資訊與位置，以克服同頻干擾之定位問題。
- 增建簡易監測(遠端遙測簡易站台)或感測站台以增加干擾源的時間與空間地理資訊。
- 同頻干擾、諧波、鄰頻與互調變干擾辨識與分析。
- 解調或解碼干擾源的內容並分析識別碼之可能。
- 惡意干擾的動機分析(干擾受益者為何?例如:受解雇的計程車司機挾怨報復計程車基地站台。或民眾使用小型 SNG 設備干擾衛星)。
- 干擾處理時可動用受干擾計程車隊進行隨機搜索以增加干擾源的時間與空間地理資訊的樣本。

13.電子防弊在無線電監測定位系統之應用情境

電子舞弊屬於電波監測的特殊任務，其主要在於杜絕使用未核配或合法核配頻道傳送數據、文字或影像(傳送試題答案)。結合既有與未來的防弊措施整理如后：

1.考試離場時間的規則制定

2.禁止攜帶通訊器材

3.使用電波遮斷器(干擾器)

4.隱形耳機偵測追蹤器

5.使用行動電波監測系統的監測與定位功能:

(A).量測並比對考場四週的電波發射環境。例如根據觀測一段時間的頻譜歷史數據)。

(B).將量測的歷史頻譜資料以設定支援訊號活動頻譜遮罩的異常告警門限與閥值(threshold value)。

(C).考試現場若測到異常之訊號，電子舞弊偵測任務自動告警監考人員使用者。

(D).結合測向與定位之功能，當偵測到異常訊號時能夠記錄一段時間之測量與測向數據，並將異常訊號之電波發射位置與測量結果顯示於電子地圖中。

以上的監測與定位方法主要針對利用「非法核配頻段」的電子舞弊處理。在使用「合法核配頻段」的電子舞弊處理上，需進行信號的監測與定位，且需進行信號內容的解調與解碼。更進一步，依照不同的作弊情節採取不同的因應對策。

14. 研提 AOA/TDOA-based 定位系統的設備規格與建置

研提 AOA/TDOA-based 定位系統的可行性的階層管理組織、網路、軟體架構與系統設備規格，以建構更多元的電波監測定位技術，以作為通傳會(NCC)未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之目標。最後，依據「TDOA-based」定位系統服務涵蓋(20km~30km)，完成台北市所需架設之 3~5 個站台數目的模擬評估與規劃，暨研提台北市建置 TDOA 定位系統的地點、設備規格需求與應用的具體可行方案。

其具體可行的地理位置整理如下：

- 士林區域- AOA/TDOA RX1 (經緯度: 121 度 32 分 22.56 秒,25 度 05 分 18.24 秒)
- 新店區域-TDOA RX2 (經緯度: 121 度 29 分 21.12 秒，24 度 56 分 13.92 秒)
- 南港區域- TDOA RX3 (經緯度: 121 度 35 分 49.92 秒，25 度 01.50 分 88 秒)
- 八里站域- TDOA RX4 (經緯度: 121 度 25 分 27.84 秒，25 度 07 分 27.84 秒)
- 陽明山區域- TDOA RX5 (經緯度: 121 度 32 分 22.56 秒,25 度 10 分 3.36 秒)

中 文 摘 要

關鍵字：電波監測網(Radio Frequency Monitoring Network) 、訊號到達時間差 (Time Difference of Arrival, TDOA)、信號到達角度(Angle of Arrival, AOA)、電波偵測能量計畫、國際電信聯合會建議書(International Telecommunications Union Recommendation, ITU-R)

國家通訊傳播委員會(National Communications Commission, NCC)運用全天候、即時、自動化的全國電波監測網，秉持「持續依法取締、積極開放頻道」之施政方針以維護全國電波秩序。基於台灣近年來經濟的蓬勃發展，大量建設使得原始監測站周遭地形地物的快速變化，暨先進的通訊技術更加多元與繁複，導致原始運用信號到達角度(Angle of Arrival, AOA)定位技術之監測站，已無法滿足原始規劃監測站台所需地理與電波環境的條件，嚴重影響監測定向的精確度與效能。再者，先進的通訊技術將朝增加頻譜使用效率的發展，使得頻譜配置更加密集與壅塞而易於衍生同頻、諧波、鄰頻與互調變干擾。甚而，發生於都會區的干擾更因多路徑的傳輸效應，導致都會區的干擾源更加難以辨識與定位。

本計畫首先經由各種特殊干擾(飛航、低功率無線電設備、突短微弱與都會區等干擾)案件分析中，歸結出干擾源的辨識、分析(定位)與防制應從兩個層面上的應用著手。包括：(A). 頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。(B).干擾源之辨識、定位系統之建置與應用。並探討 TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統導入與連結現行通傳會(NCC)AOA 監測定位系統，以解決特殊干擾案件的可行性。

本研究經由文獻分析與收集各製造商、整合商的設備規格型錄，並整合舉辦的「TDOA-based 定位技術研討會」提供的重要技術規範與商轉現狀，完成「TDOA-based」監測定位系統的評估。更進一步，研提 AOA-based 與 TDOA-based 定位監測的互補應用的發展趨勢。

為探討 TDOA-based 定位系統在解決都會區干擾的可行性評估，本計畫選擇台南都會區完成「TDOA-based」的實測模擬驗證情境。其中選擇建置的三角形偵測點，站台位置分別為：高雄科學園區、台南健康定向站與台南高鐵站(交大南校區)。更進一步，完成 TDOA-based 定位精確度分析。實測結果顯示：在都會區多路徑的傳輸效應下，TDOA-based 定位在三角形內最大距離誤差約 300 公尺內（CEP=50%）。在協同都會區的

TDOA-based 定位站的應用下，可提昇 NCC 既有 AOA-based 固定(行動)監測定位站的服務涵蓋、定位精確度。實測結果更印證：TDOA-based 在兩站台軸承基線上產生較大定位誤差，整合 AOA/TDOA 的監測定位系統更加適合佈建於台灣南北狹長走向的地理環境。

本研究經由 TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統導入與連結現行通傳會(NCC)AOA 監測定位系統，分析與探討 TDOA、AOA/TDOA 在特殊干擾(飛航、低功率無線電設備、突短微弱與都會區等干擾)辨識、分析(定位)與防制的解決方法。更進一步，研提 AOA/TDOA-based 定位系統的可行性的階層管理組織、網路、軟體架構與系統設備規格，建構更多元的電波監測定位技術以補償現有電波偵測網的盲點與死角，達成通傳會(NCC)未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之目標。最後，依據「TDOA-based」定位系統服務涵蓋(20km~30km)，完成台北市所需架設之 3~5 個站台數目的模擬評估與規劃，暨研提台北市建置 TDOA 定位系統的地點、設備規格需求與應用的具體可行方案。

Abstract

Key Index：Radio Frequency Monitoring Network, Time Difference of Arrival, TDOA), Angle of Arrival (AOA), Radio Frequency Monitoring Project, International Telecommunications Union Recommendation (ITU-R)

In order to execute telecommunication act, the radio frequency monitoring system is applied to protect and maintain a great radio frequency environment for easy communication at anywhere, anytime and any-devices. Since the rapid developing of economy in Taiwan recently years, a large number of constructions make the rapid changes of the terrain surrounding the radio monitoring stations. Furthermore, more complex-communications technology and equipment has been invented. Hence, the monitoring station that configured originally and based on signal angle of arrival (angle of arrival, AOA) location technology is unable to meet the changing of geography and radio-frequency environment. That is, the accuracy performance of the radio monitoring station has been seriously degraded.

In this project, the final report include the following the five parts in seven chapters.

(1) First, this project of background, research purpose and step are demonstrated.

(2) In chapter 2, The special interference cases from past to the future is collected and analyzed such as flight, low transmitted power, burst and weak signal and metropolitan interference. Moreover, the interference scenarios have been investigated from 3GHz to 6GHz under developing land communications technology. Furthermore, the feasible operation and solution of anti-interference are submitted to process and solve various interferences mentioned above. In order to extend the monitoring network and more approaching the interference transmitter for finding burst and weak interference signal, the TDOA and AOA/TDOA-based location system is proposed to integrate the previous AOA-based location system installed in current national communication commission (NCC). Hence the interference transmitter for flight, low transmitted power, burst and weak signal and

metropolitan interference is easy identified, analyzed (located) and prevented.

(3) In chapter 3 and 4, The equipment specifications catalog of various manufacturers and integrators is collected and analyzed via literatures survey and seminar called AOA/TDOA-based positioning technology. The important technical specifications, requirement (hardware, software framework) and use interface are obtained via various suppliers of radio monitoring system. Furthermore, By applying F(50, 50) transmission channel model of applied in Federal Communications Commission (FCC) and following specifications and requirement of TDOA-based receiver, the required number of TDOA-based in metropolitan area of Tainan is simulated and evaluated. The results show that the number of 3 to 5 TDOA-based location stations are needed to install for 20km ~ 30km coverage area in metropolitan of Tainan.

(4) In chapter 5 and 6, the practical simulation on open air scenarios (outdoor environment) is demonstrated. Here, three TDOA-based radio monitoring station is installed and located in Luzhu, Tainan Gaote and Jinkang, respectively. By monitoring the frequency modulation (FM) for broadcasting station of 88.3, 91.5, 89.1 and 91.9 MHz lactated on metropolitan, rural and urban area, respectively. The TDOA-based locating technologies is first implemented and success in locating technology in Taiwan. The result show the locating accuracy for 91.9 MHz at circle error probability (CEP) 50% is less than 950 m distance under multi-path effect. Furthermore, the possible system and network architecture, hardware and software specification of AOA/TDOA monitoring station are submitted to improve and the capacity of monitoring area and strengthen the ability of anti-interference for NCC demand by integrating current AOA and TDOA locating system.

(5) In chapter 7, by apply the proposed TDOA and AOA/TDOA-based location system to integrate the previous AOA-based location system installed in current national communication commission (NCC), the anti-interference

solution is analyzed and then the interference transmitter for flight, low transmitted power, burst and weak signal and metropolitan interference is investigated and verified to easy identify, analyze (locate) and prevent the special interference. Hence, the possible architecture, equipment specification of proposed TDOA location system is proposed to solve the special interference and improve the monitoring network of NCC. Moreover, By applying F(50, 50) transmission channel model of applied in Federal Communications Commission (FCC) and following specifications and requirement of TDOA-based receiver, the required number of TDOA-based in metropolitan area of Taipei is simulated and evaluated. Since the number of 3 to 5 TDOA-based location stations are needed to install for 20km ~ 30km coverage area in metropolitan of Taipei, the TDOA, AOA/TDOA installation of position (i.e., longitude and latitude) is also investigated.

(6) Final, the conclusion and future works is demonstrated and short and long term suggestion is investigated.

第壹章 緒論

隨著國內無線電通信傳播事業發展及及寬頻無線新技術的發展，加以無線電干擾源趨向微波頻段與高速寬頻網路，導致干擾查測的困難度與複雜度也在增加。以飛航干擾、低功率無線電設備干擾、突發干擾源及都會區干擾問題等特殊干擾處理為例，對於各國電信監理機關而言已成為干擾處理上急迫的議題。鑑此，本案將進行電波監測定位技術評估（如：TDOA、AOA/TDOA 等），並於大台南都會區建置 TDOA 實測環境以探討遽增特殊干擾的辨識、分析與防制的可行性與解決方案。更進一步，研提 TDOA-based 定位系統的可行性軟硬體架構與設備之評估，以作為 NCC 主管機關未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之參考。

第一節 研究緣起

國家通訊傳播委員會(National Communications Commission, NCC)成立前，電信監理機關電信總局自民國 86 年接辦「電波偵測能量計畫」[1]，於民國 91 年完成「全國電波監測網」之建置。「電波偵測能量計畫」分為國內監測計畫及國際監測計畫兩部分。在國內監測計畫方面，以無線電頻譜監測系統(Radio Spectrum Monitoring System, RSMS)為主要架構[2]，輔以無線電定向系統(Direction Finding Location System, DFLS)和無線電頻譜管理系統(Spectrum Management System, SMS)從事監測作業，以構成全天候、即時、自動化的全國電波監測網。

為合理化管理無線電頻譜資源，電信總局並於民國 90 年 5 月完成 SMS 之建置。透過網路 RSMS 可與 DFLS 互連，藉以精確快速偵測出特定無線電波來源以構成綿密之電波監測網，進而將監測資料作為 SMS 之應用參考。如此可使有限的頻譜資源發揮最大使用效率，讓我國頻率分配之規劃、協調及編修事項更加制度化及透明化。國內監測網完成後，為善盡國際電波監測之責，與國際接軌共同捍衛國際電波秩序，電信總局於民國 91 年興建完成桃園崙坪及屏東南洲兩個國際監測站。使我國之電信國際化又向前邁出一大步。

在各類無線通訊傳播與數位多媒體新技術的蓬勃發展之下，帶給民生諸多便利同時，也使得電波環境日益複雜。惟該監測網自建置迄今已歷時多年，系統維護不易，且原監測功能無法滿足新寬頻通訊技術之發展，隨著國內無線電通信傳播事業發展及各類無線電臺數量的增加，以及寬頻無線新技術的發展，無線電干擾的頻段增大，導致干擾查測的困難度與複雜

度也在增加。以飛航干擾、低功率無線電設備干擾、突發干擾源及都會區等特殊干擾處理為例，對於各國電信監理機關而言均為棘手的問題。鑑此，本案將進行電波監測定位技術評估（如：TDOA、 AOA/TDOA 等），以提供通傳會(NCC)作為未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之參考。

第二節 研究目的

在「特殊干擾處理技術與方法之評估研究」委託研究案中，報告研究主題包含下列各項:

一、國外特殊干擾案件處理之最新技術及方法之蒐集及研析

蒐集、整理、歸納國際組織（International Telecommunications Union）及先進國家（如美國、歐盟國家等）對於在 VHF/UHF 頻段之特殊干擾案件處理之最新技術及方法，包括：

- 飛航干擾
- 低功率無線電設備干擾
- 突發干擾源
- 都會區干擾問題

蒐集、整理、歸納 3GHz~6GHz 頻段內，包括：

- 陸地通信技術發展
- 相關干擾案件處理之技術及方法

二、TDOA、AOA/TDOA 定位技術發展現況之蒐集及研析

蒐集並比較現有 TDOA、AOA/TDOA 定位系統，包括：

- 定位系統的製造商
- 定位系統的相關設備規格

蒐集並研析先進國家之頻譜管理機構應用的應用實例，包括：

- TDOA 定位系統

- AOA/TDOA 定位系統

分析 TDOA、AOA/TDOA 定位系統之功能，包括：

- 定位範圍
- 評估定位系統涵蓋台北市所需架設之站台數目

蒐集並分析 TDOA、AOA/TDOA 定位系統，包括：

- 定位準確度
- 監測站位置分布
- 監測信號類型（待測信號頻率、頻寬、信雜比、功率與持續時間）之關係

三、分析並比較 TDOA、AOA 定位技術之適用情境

利用 TDOA、AOA 監測設備進行 VHF/UHF 頻段信號源實測，包括：

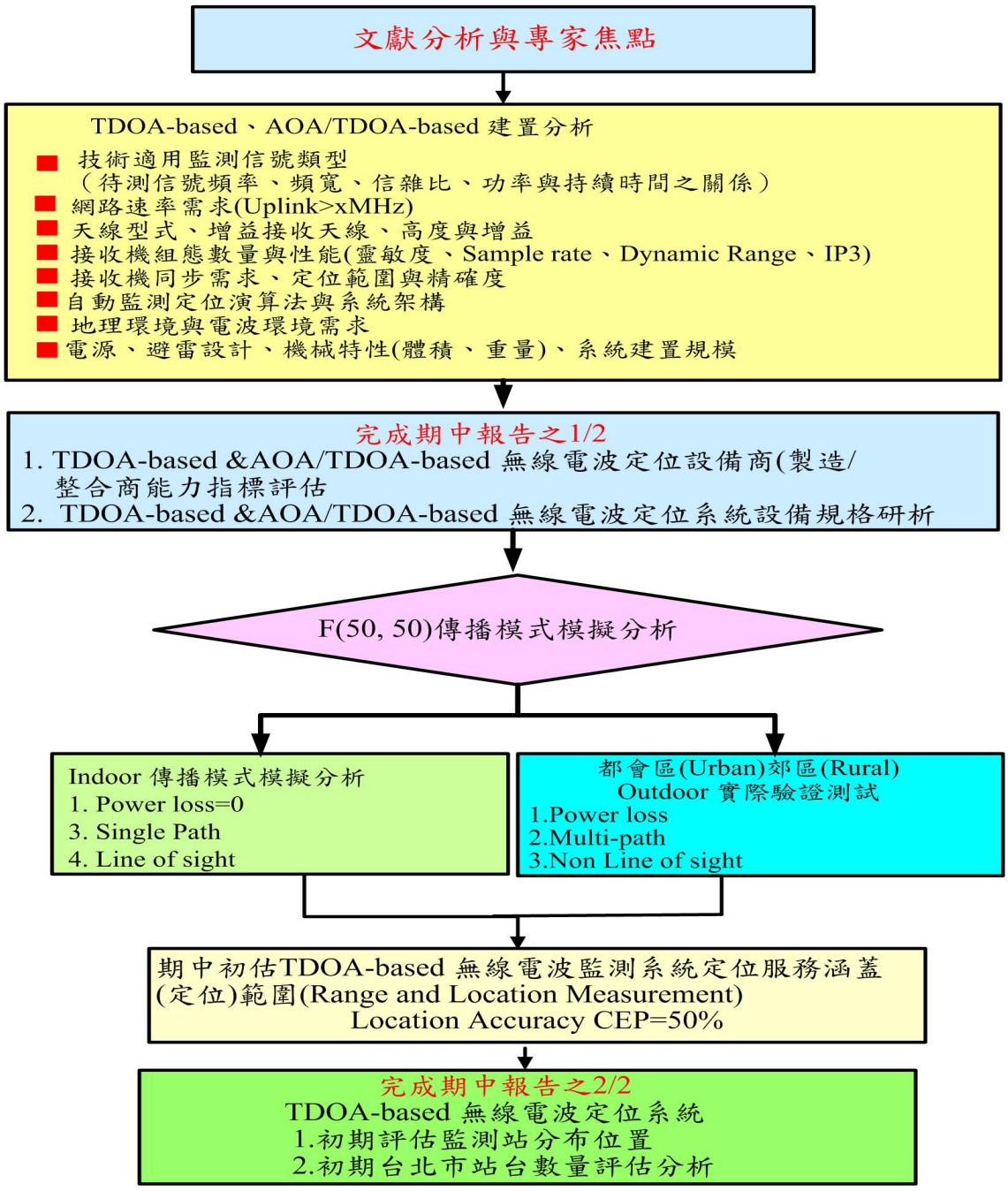
- 信號源實測
- 分析並比較在郊區及都會區使用 TDOA、AOA 技術定位效果 (TDOA 設備由研究團隊租用，AOA 設備由本會提供使用)
- 分析並比較 TDOA 及 AOA 定位技術之誤差來源
- 分析並比較 TDOA 及 AOA 定位技術之優缺點(包括：信號頻率、
- 頻寬、訊雜比、調變種類、監測站位置分布、訊號持續時間…)
- 分析並比較 TDOA 及 AOA 定位技術的適用情境（包括：信號頻率、頻寬、訊雜比、調變種類、監測站位置分布、訊號持續時間…）

四、TDOA 系統架構及規格之研析

- 比較國際電波監測技術發展趨勢
- TDOA 定位系統設備供應現況
- 本會電波監測需求後，研提本會 TDOA 定位系統架構（System architecture，包含硬體、軟體及資料傳輸介面…等）
- 研提本會未來建置 TDOA 監測設備規格(包含接收機、天線、GPS 及網路性能要求)

第三節 研究步驟

因應國內無線電通訊事業及各類無線電技術的蓬勃發展，目前無線電干擾的頻段增高，干擾監測定位的困難度與複雜度也增加。本研究針對期中報告需完成的要項其進行步驟如下圖 1-1 所示。

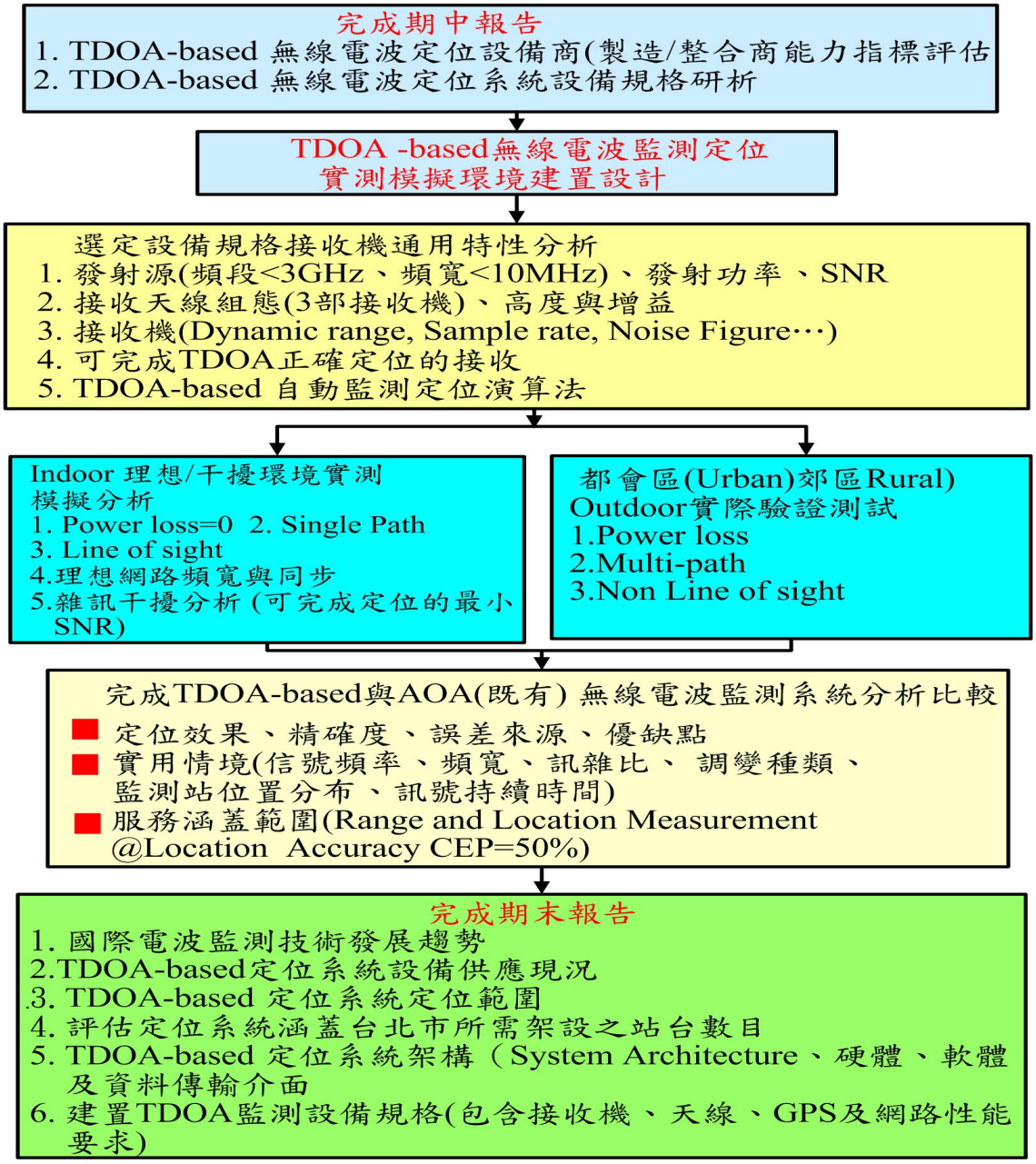


資料來源：本研究整理

圖 1-1 研究步驟流程圖

本研究首先針對特殊干擾案件進行分析、蒐集及了解先進國家對於VHF/UHF 頻段之干擾問題進行評估，以及 3GHz~6GH 頻段內之陸地通信技術發展，然後把資料蒐集進行文件分析與專家諮詢會議的建議進行評估。利用 TDOA、AOA/TDOA-based 進行分析，分析內容包括：適用監測信號類型(待測信號頻率、頻寬、信雜比、功率與持續時間之關係)、網路頻寬需求(Uplink>X Kbps)、天線型式、增益接收天線、高度與增益、接收機同步需求、定位範圍與精確度、自動監測定位演算法與系統架構、地理環境與電波環境需求、電源、系統建置規模等，完成以上建置分析後，進行比較 TDOA、AOA/TDOA-based 無線電定位系統整合製造商能力評估指標以及定位系統設備規格研析。接著進行軟體模擬驗證，以探討 TDOA-based 技術定位服務涵蓋範圍，並完成分析定位準確度與監測站位置分佈及監測信號類型之間的關係，完成各監測站分布位置及初期台北市站台數量分析。

本研究將建置實測模擬驗證環境以完成分析並比較 TDOA、AOA-based 定位技術之適用情境及 TDOA-based 系統架構規格之研析，為達成本計畫之「特殊干擾處理技術與方法之評估研究」期末報告，其研究步驟如下圖 1-2 所示。



資料來源：本研究整理

圖 1-2 完成期末報告的研究步驟

首先進行 TDOA-based 無線電波監測定位實測模擬環境建置設計，然後選定設備規格接收機通用特性分析包括：(1)發射源、發射功率、SNR。(2)接收天線組態(3 部接收機)、高度與增益。(3)接收機性能(靈敏度、動態範圍、IP3)。(4)可完成 TDOA 正確定位的最小接收功率。(5)TDOA-based 自動監測定位演算法。 為實測驗證 TDOA-based 技術定位精確度，定位精確度指標 Circular Error Probability (CEP)=50%估算，基於上述研究報告

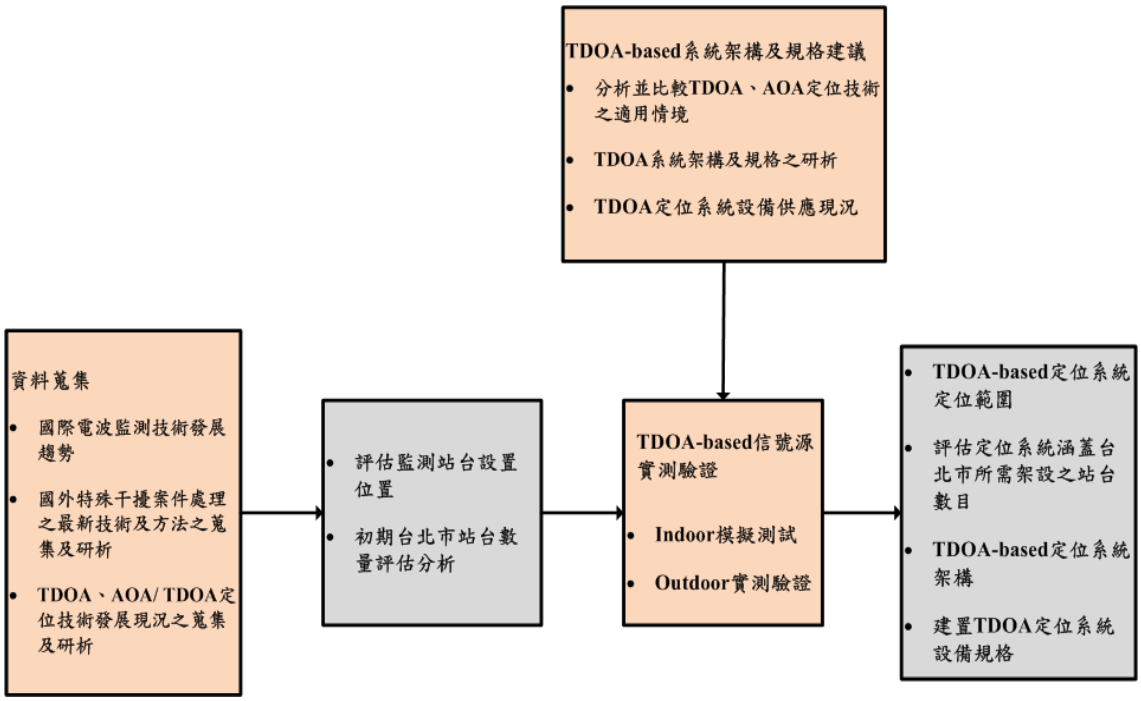
包括 (1) 國際第波監測技術發展趨勢(2)TDOA-based 定位系統設備供應現況與規格 (3) TDOA-based 定位系統定位範圍(4)評估定位系統涵蓋台北市所需架設之站台數目(5) TDOA-based 定位系統架構(6)建置 TDOA-based 監測設備規格。藉由本研究可結合 TDOA、AOA/TDOA 等不同定位技術，做為通傳會(NCC)未來優化電波監測網之參據，提升未來處理相關干擾案件之能力[3]。

第四節 研究架構與方法

本研究的研究方法為(1).針對計畫目標進行分析並逐步完成計畫事項。(2).研析 ITU-R 建議書與各相關文獻資料。

一、研究架構

為確實完成工作項目達成計畫目標，本計畫擬定的研究架構如圖 1-3 所示。



資料來源：本研究整理

圖 1-3 研究架構圖

本研究預計執行之研究變項共分為：資料蒐集、評估監測站台設置數量、TDOA-based 系統架構規格建議、TDOA-based 技術實測模擬驗證與 TDOA 導入特殊干擾之應用的五個主要研究探討的部分。研究各項的相關性為：

在資料搜集方面分為二個大項有(1)國外特殊干擾案件處理之最新技術及方法之蒐集及研析。(2)TDOA、AOA/TDOA 定位技術發展現況之蒐集及研析。在資料收集方面蒐集一些對於 VHF/UHF 頻段干擾問題探討及文獻蒐集並邀集國內專家學者進行焦點座談，研擬未來 TDOA-based 自動定位系統可能適用監測情境。

- 期中報告主要項目分為(1). 收集研析現行 TDOA-based 技術的設備商與規格，進行 TDOA-based、AOA/TDOA-based 比較優越性及質性分析。更進一步，完成 TDOA-based 系統架構及規格建議。其主要探討的因素分別為：(a).分析並比較 TDOA、AOA 定位技術之適用情境。(b).TDOA 系統架構及規格之研析。(c).TDOA-based 監測定位系統架構包括，硬體、軟體模組、系統各單元功能、人機操作介面、及通訊網路系統等。更進一步，依據研析的可行性規格擬提未來 TDOA-baed 自動定位系統建置可行性的系統架構及規格的建議，以完成(2)初期評估監測站台分布位置。(3)初期台北市站台數量評估分析。

- 本研究建置 TDOA-based 實測模擬驗證環境，制訂系統測試標準及測試方法，並進行實地測試驗證。依據本計畫的預期成果完成六大項之期末報告分別為

  (1).國際電波監測技術發展趨勢。

  (2).TDOA-based 定位系統設備供應現況。

  (3).TDOA-based 定位系統範圍。

  (4).評估定位系統涵蓋台北市所需架設之站台數目。

  (5).TDOA-based 定位系統架構。

  (6).建置 TDOA-based 定位系統設備規格。

二、研究方法

- 文獻分析

電波監測的作法與規範，世界各國之頻譜主管機關及設備供應商，目前均以 ITU-R 所制定的建議為基礎。包括 Spectrum monitoring handbook、及其一系列的 ITU-R SM (spectrum management)規範。本研究目前已蒐集到大部份相關資料，並且針對電波監測工作所需要用到的規範整理如表 1-1。其中，屬於一般性的規範主要是參考 SM.1050, SM.1723, 及 SM.1794, ITU-R SM.2211[4]。對於頻譜監測定位管理主要是參考 SM.182, SM.1536, SM.1793 及 ITU spectrum monitoring handbook section 4.4[5], ITU spectrum Management series[6]。重要的是，本計畫也將參考英國 Ofcom 在 TDOA-based 自動定位系統的經驗與 Ofcom AMS final report [7]所制定的建議，進行各項影響因素的可行性評估，以規劃我國 TDOA-based 自動定位系統。

表 1-1 監測與定位相關議題的主要參考文獻

本計畫監測與定位的相關議題	參考文獻
General	ITU-R SM.1050 ITU-R SM.1723 ITU-R SM.1794
Spectrum occupancy measurement	ITU-R SM.182 ITU-R SM.1536 ITU-R SM.1793 ITU spectrum monitoring handbook section 4.4
Direction finding measurement	ITU-R SM.854 ITU-R SM.1598 ITU spectrum monitoring handbook section 4.7
Mobile monitoring	ITU-R SM.1708

本計畫監測與定位的相關議題	參考文獻
Unwanted emissions	ITU-R SM.328 ITU-R SM.329
Measurement on digital broadcasting systems	ITU-R SM.1682 ITU-R SM.1792
Standard data exchange format at monitoring stations	ITU-R SM.1809
Signal analysis	ITU spectrum monitoring handbook section 4.9
Test procedure for measuring the IP3 of radio monitoring receivers	ITU-R SM.1837
Test procedure for measuring the noise figure radio of monitoring receivers	ITU-R SM.1838
Test procedure for measuring the scanning speed of radio monitoring receivers	ITU-R SM.1839
TDOA-based automatic monitoring system	ITU-R SM.2211 Ofcom AMS final report

資料來源：本研究整理

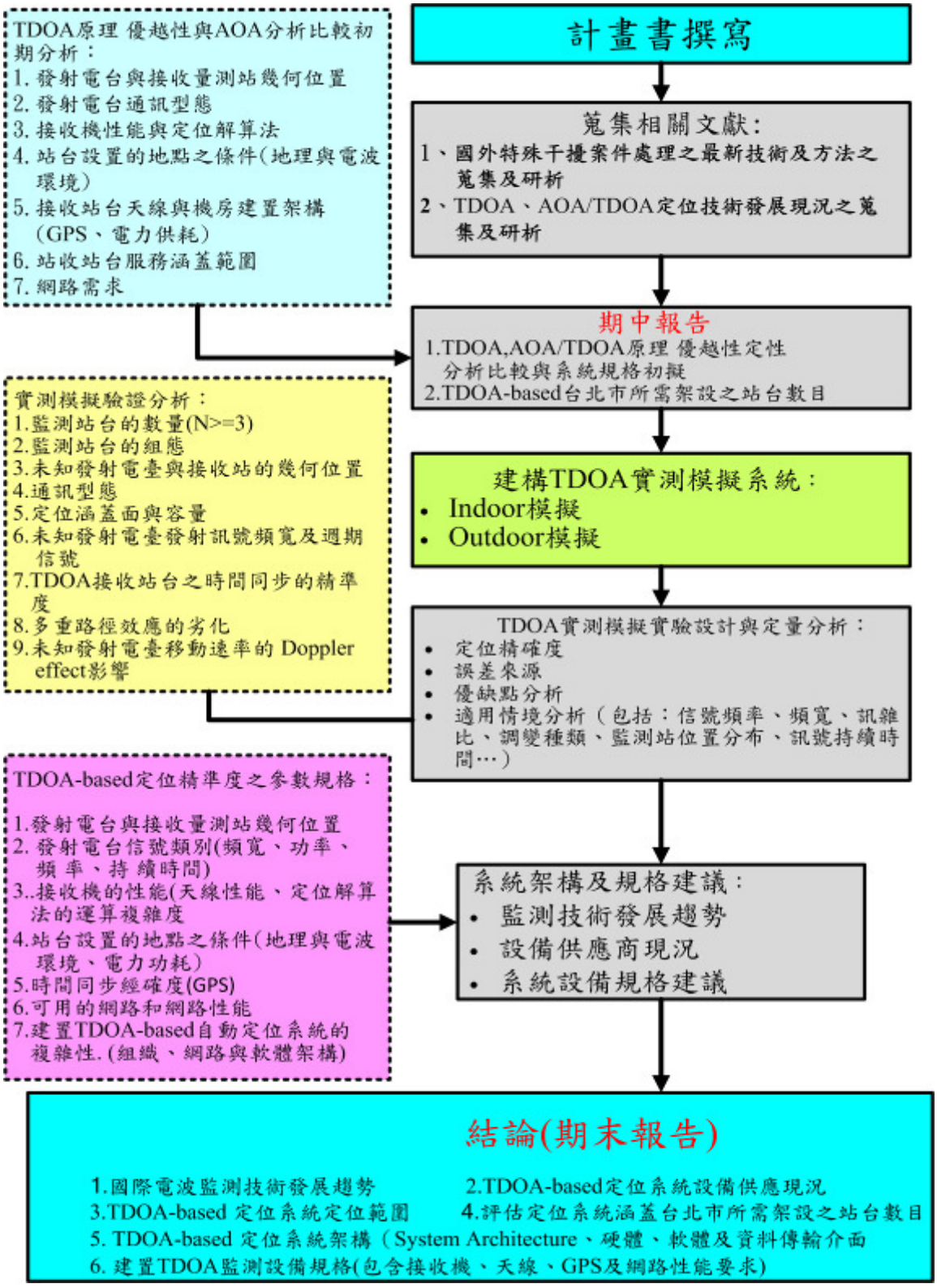
- 舉辦研討會與深度訪談

為因應未來迅速發展的通訊技術所衍生的特殊干擾問題，本研究在九月中旬舉行 TDOA 定位技術研討會。本次研討會邀請多位專家學者與無線電波定位製造/設備商一同參與，為未來電波特殊干擾技術與方法評估貢獻心力，希望藉由研討會加速學術與廠商現有技術的結合，以推動國內處理相關干擾案件的技術與防範。研討會中除了蒐集資訊與確認設備規格，更深入分析 TDOA 的站台建置計畫，對於定位系統的有效覆蓋容量、系統可靠性、回應時間、應用價值都有更進一步的了解。並且多方面地討論 TDOA 站台的地理因素，其對監測站位置的分佈與服務涵蓋範圍的影響。

- 實機測試與驗證

本研究主要在信號源實測與 AOA、TDOA-based 技術定位效果分析中，本研究將建置 TDOA-based 技術實測模擬驗證環境，制訂系統測試標準及測試方法，並進行實地測試驗證。本研究為探討 TDOA-based 對發射電台的測量解算值和實際值位置相近程度的度量，需要提出公正、合理和規範的評價標準。本研究在 TDOA 定位實際驗證測試過程中，將由定位系統重複測試所判讀出的信號發射源，與實際發射源所在位置，藉由多次的重複測試以進行分析比較，並確認 TDOA-based 定位系統的定位精準度。

從上述的說明本研究依據『特殊干擾處理技術與方法之評估研究』擬定的作業流程如圖 1-4 所示。其分別為(1)蒐集相關文獻。其中 AOA 與 TDOA 的重要文獻為 ITU spectrum monitoring handbook 與 Ofcom AMS final report。特殊干擾的重要文獻為 ITU spectrum monitoring handbook 與發表於國際期刊的論文。(2)TDOA、AOA/TDOA 技術原理分析比較與系統規格初擬 (3)建構 TDOA 實測模擬系統 (4)TDOA 實測模擬實驗設計與定量分析、(5)系統架構及規格建議(期末報告)共有五個部分，在期中報告對於 TDOA-based 自動定位系統的影響因素包括：站台設置的地點之條件(地理與電波環境)、發射電台通訊型態、接收站台天線與機房建置架構、接收站台服務涵蓋範圍、網路需求來完成期中報告。最後再進行實測模擬驗證後，更進一步，研析 TDOA-based 定位精準度的影響參數包括：站台設置的地點之條件(地理與電波環境、發射信號類型、接收站台天線與接收機的性能、接收站台服務涵蓋範圍、網路的性能與需求、系統架構的複雜性完成期末報告。



資料來源：本研究整理

圖 1-4 「特殊干擾處理技術與方法之評估研究」擬定的作業流程圖

第五節 研究進度及成果說明

目前已完成的研究活動紀錄及工作成果說明，如表 1-2 及表 1-3 所示。

表 1-2 研究活動紀錄表

日期	研究工作紀錄		內容概要
	配合國家通訊傳播委員會(NCC)	研究團隊專案工作會議	
101/06/27	簽約		
101/07/31		第一次溝通會議	探討各國資料方向 VHF/UHF 頻段之特殊干擾案件處理之最新技術
101/08/07		第二次溝通會議	蒐集、整理、歸納 3GHz~6GHz 頻段-相關干擾案件處理
101/08/16		第三次溝通會議	探討定位系統的製造商、定位系統的相關設備規格
101/08/23		第一次專案工作會議	3GHz~6GHz 頻段相關干擾案件資料彙整
101/09/14	出席會議	TDOA 暨 AOA/TDOA 定位技術研討會	各大廠商 NI、TCI、安捷倫探討定位技術的建置站台的限制條件(天線型式、網路頻寬、站台位置等)、定位誤差來源、優缺點與適用情境進行實機展示或技術報告與說明。

日期	研究工作紀錄		內容概要
	配合國家通訊傳播委員會(NCC)	研究團隊專案工作會議	
101/09/27		第二次專案工作會議	各國特殊干擾案資料彙整
101/10/12		第三次專案工作會議	資料總彙整
101/11/9	出席專案會議	「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位系統實際驗證程序」專案會議	1.AOA/TDOA 專案簡報會議說明 2.實際天線介紹與設備說明
101/11/14	出席展示會議	「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位系統交測定位實際驗證」展示會議	1.AOA/TDOA 展示簡報會議說明 2.實際測試雙曲線測試結果
101/11/22		第四次專案工作會議	1.展示會議討論 2.期中檢討修正 3.期末實測討論
101/12/13		第五次專案工作會議	1.期末報告彙整 2.期中檢討修正
101/12/20		第六次專案工作會議	期末報告初稿

資料來源：本研究整理

表 1-3 研究完成事項說明表

研究需求項目	期末已完成之研究	期末完成之研究
一、蒐集、整理、歸納國際組織及先進國家(如美國、歐盟國家等)對於在 VHF/UHF 頻段之飛航干擾、低功率無線電設備干擾、突發干擾源及都會區干擾問題等特殊干擾案件處理之最新技術及方法」。 蒐集、整理、歸納 3-6GHz 頻段內之陸地通信技術發展，及相關干擾案件處理之技術及方法。	1.完成在 VHF/UHF 頻段之飛航干擾、低功率無線電設備干擾、突發干擾源及都會區干擾問題等特殊干擾案件處理之最新技術及方法。 2.完成 3GHz~6GHz 頻段內之陸地通信技術發展，及相關干擾案件處理之技術及方法 3.於本報告第二章「各國特殊干擾案件資料綜整」	本項工作已於期中完成
二、邀集各大廠商相關業者，討論 AOA/TDOA 定位技術的建置站台的限制條件(天線型式、網路頻寬、站台位置等)、定位誤差來源、優缺點與適用情境進行實機展示或技術報告與說明」建議案之可行性。	1.於 9/14 召開「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位技術」研討會，討論下列相關議題。 ■ 定位範圍及站台數目評估 ■ 建置站台的限制條件 ■ 優越性能與實用情境 ■ 實機展示或功能模擬展示 2.完成研討會記錄縱整於本報告第四章「綜整專家學者建議」。	本項工作已於期中完成
三、利用 TDOA、AOA 監測設備進行信號源定位實測，分析並比較 TDOA 及 AOA 定位技術之誤差來源、優缺點及適用情境（包括：信號頻率、頻寬、訊雜比、	1.完成 TDOA、AOA 監測設備進行 VHF/UHF 頻段信號源定位實測，分析並比較在郊區及都會區使用 TDOA、AOA 技術定位效果及誤差來源(TDOA 設備由研究團隊租用，	本項工作已於期末完成

研究需求項目	期末已完成之研究	期末完成之研究
調變種類、監測站位置分布、訊號持續時間…）。	AOA 設備由本會提供使用)。 2.完成分析並比較 TDOA 及 AOA 定位技術之誤差來源、優缺點及適用情境（包括：信號頻率、頻寬、訊雜比、調變種類、監測站位置分布、訊號持續時間…）。 3.於 11/9 召開「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位系統實際驗證程序」專案會議 4.於 11/14 召開「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位系統交測定位實際驗證」展示會議	
四、比較國際電波監測技術發展趨勢、TDOA 定位系統設備供應現況及本會電波監測需求後，研提本會 TDOA 定位系統架構。 研提本會未來建置 TDOA 監測設備規格建議，包含接收機、天線、GPS 及網路性能要求。	1.完成比較國際電波監測技術發展趨勢、TDOA 定位系統設備供應現況及本會電波監測需求後，研提本會 TDOA 定位系統架構（System architecture，包含硬體、軟體及資料傳輸介面…等）。 2.完成研提本會未來建置 TDOA 監測設備規格建議，包含接收機、天線、GPS 及網路性能要求。	本項工作已於期末完成

資料來源：本研究整理

以上綜整本研究期中與期末成果之摘要說明，而各項研究工作之重要發現與分析內容，依序於各章節中詳述。

第六節 研究範圍及章節對照表

為達成計畫之主要目標，本計畫將包含下列重點工作項目:

1. 蒐集、整理、歸納國際組織及先進國家對於在 VHF/UHF 頻段之特殊干擾案件處理之最新技術及方法
2. 蒐集、整理、歸納 3GHz~6GHz 頻段
3. 蒐集並比較現有 TDOA、AOA/TDOA 定位系統
4. 蒐集並研析先進國家之頻譜管理機構應用的應用實例
5. 分析 TDOA、AOA/TDOA 定位系統之功能
6. 蒐集並分析 TDOA、AOA/TDOA 定位系統

各工作項目及其細部工作內容之章節對照，如表 1-1 所示：

表 1-4 工作項目與章節對照

工作項目內容	章節對照
1.蒐集、整理、歸納國際組織及先進國家對於在 VHF/UHF 頻段之特殊干擾案件處理之最新技術及方法 ● 飛航干擾 ● 低功率無線電設備干擾 ● 突發干擾源 ● 都會區干擾問題	第二章 第二節
2.蒐集、整理、歸納 3GHz~6GHz 頻段 ● 陸地通信技術發展 ● 相關干擾案件處理之技術及方法	第二章 第一節與第三節
3.蒐集並比較現有 TDOA、AOA/TDOA 定位系統 ● 定位系統的製造商 ● 定位系統的相關設備規格	第貳章第五節 及 第參章 第一節、第二節、第三節與第五節

4.蒐集並研析先進國家之頻譜管理機構應用的應用實例 ● TDOA 定位系統 ● AOA/TDOA 定位系統	第肆章 第一節與第二節
5.分析 TDOA、AOA/TDOA 定位系統之功能，包括 ● 定位範圍 ● 評估定位系統涵蓋台北市所需架設之站台數目	第肆章第三節 及 第柒章第四節
6.蒐集並分析 TDOA、AOA/TDOA 定位系統，包括 ● 定位準確度 ● 監測站位置分布 ● 監測信號類型（待測信號頻率、頻寬、信雜比、功率與持續時間）之關係	第肆章第四節
7.分析並比較 TDOA、AOA 定位技術之適用情境 ● 信號源實測 ● 分析並比較在郊區及都會區使用 TDOA、AOA 技術定位效果(TDOA 設備由研究團隊租用，AOA 設備由本會提供使用) ● 分析並比較 TDOA 及 AOA 定位技術之誤差來源 ● 分析並比較 TDOA 及 AOA 定位技術之優缺點（包括：信號頻率、頻寬、訊雜比、調變種類、監測站位置分布、訊號持續時間...） ● 分析並比較 TDOA 及 AOA 定位技術的適用情境（包括：信號頻率、頻寬、訊雜比、調變種類、監測站位置分布、訊號持續時間...飛航干擾	第伍章第三節 及 第陸章 第一節到第三節 及 第柒章 第一節
8.TDOA 系統架構及規格之研析 ● 比較國際電波監測技術發展趨勢 ● TDOA 定位系統設備供應現況 ● 本會電波監測需求後，研提本會 TDOA 定位系統架構（System architecture，包含硬體、軟體及資料傳輸介面...等） ● 研提本會未來建置 TDOA 監測設備規格(包含接收機、天線、GPS 及網路性能要求)	第五章 第一節、第二節 及 第六章第四節 及 第七章 第二節與第三節

第貳章 特殊干擾之偵測及處理研析

鑒於無線電波頻率的稀少性，無線通訊系統對頻譜的需求日益增大。而一些具有商機的頻段每每成為拍賣場合下爭相競價的標的物。國內各種新型態的無線通訊發展越來越蓬勃，例如無線廣播電視已採用正交分頻多工技術的 DVB-T 技術、在高速公路也導入無線識別電子收費系統、行動通訊 4G 執照即將開放與日趨重要的車載通訊系統。尤其，在都會地區的各類無線訊號交錯發射使用下，無線通訊系統設備或器材將可能遭受干擾，或者發出不必要的干擾信號妨礙其他無線通訊系統設備或器材的正常運作。為了讓大眾能夠享受現代通訊科技所帶來的便利與暢通的通訊品質，干擾發射源的頻率辨識、分析(定位)與防制更為通傳會(NCC)優先的使命與當務之急。解決干擾方式除必須慎重評估無線廣播、無線通信技術、移動網路、衛星訊號等分配的頻段，暨在眾多干擾環境下，尋求異質或同質通訊系統設備或器材的共存與互相阻絕隔離之道以外，一旦干擾發生時，必須倚賴新最新無線電監測定位技術以執行干擾發射源的頻率辨識、分析(定位)與防制。

本研究首先蒐集各種電波干擾的案例，分析可能受干擾的案件與處理分法。對各種新興通訊系統例如：4G 行動網路、電子收費系統、無線麥克風等，可能干擾現有或未來預計開放之通訊，提出案例分析。再者，對處理過程與方式做綜整分析，做為未來特殊干擾案件處理時參酌之方法。更進一步，探討在飛航干擾、低功率無線電干擾、突發(Burst)干擾、都會區干擾與行動(Mobility)干擾源的頻率辨識、分析與防制上最新的解決方法，暨分析未來通傳會(NCC)導入最新無線電監測定位技術的可能性應用。

第一節 特殊干擾處理

隨著無線系統的普及，訊號干擾也日益成為無線系統、營運商與監理單位之間的重要問題。訊號干擾不僅影響了無線系統的覆蓋範圍和容量，而且還限制了現有系統和新興系統的效能。在極為複雜的訊號環境下，無線通訊系統中的干擾顯然不可避免。

一、特殊干擾之定義與成因

干擾訊號的頻率，是識別干擾源的最常用參數，因此，通常可以根據頻率特性對干擾訊號進行分類。此外，不管干擾訊號在頻帶內還是在頻帶外，訊號都必然經由天線、電纜，然後進入受影響的接收器。頻譜分析儀可以作為顯示並識別可能的干擾訊號的測量接收器。

電波干擾通常只影響接收器的性能。儘管干擾源在實體上靠近發射器，但發射訊號的特性則完全可能不受任何影響。因此，了解受影響系統待接收訊號的特性是識別干擾接收器的訊號的關鍵。

一般性的干擾：「在於已知的訊號所產生必然性的干擾訊號。」例如：廣播電臺的鄰頻，干擾收音機的接收性能、行動通訊 N±9 頻道干擾數位電視訊號、有線電視系統干擾飛航頻道等。都是建立在已知的訊號，可預測所可能產生的干擾訊號。

特殊干擾可定義：「在於不可預測所產生的干擾訊號」。當符合現有頻率使用的發射電臺，其電波發射不應造成其他通訊系統之干擾或被干擾，但仍發生的干擾現象。其中又可分為隨機出現的干擾訊號，與非隨機的干擾訊號。

- 隨機出現的干擾訊號：屬突發性干擾訊號，具有訊號不連續性之特性，例如：車輛所產生的電磁干擾。依據國際標準 CISPR 25 分類，電磁擾動包含寬頻與窄頻擾動兩大類，一般而言，寬頻擾動是指頻寬大於特定量測儀器或接收機的發射，包含點火系統、電動馬達等皆屬之；窄頻發射是指頻寬小於特定量測儀器或接收機的發射，包括微處理器、數位邏輯電路、振盪器、時脈產生器、或顯示器等動作時所產生的擾動為窄頻發射，此類干擾訊號包括脈衝訊號等。
- 非隨機的干擾訊號：屬連續性干擾訊號，具有連續在一段時間內持續發生之干擾訊號，例如：國防或氣象所使用陣列雷達訊號，藉由測量雷達回波的都卜勒頻移，再利用訊號處理裝置就能將地形與目標進行分析，但都卜勒頻移將可能造成其他通訊設備的干擾現象。

在國內外發生的特殊干擾案例中的飛航干擾、低功率設備、數位電視同頻網與都會區干擾類型可歸類於非隨機干擾訊號，突發干擾則屬隨機出現的干擾訊號。

完整的訊號分析系統可以幫助分析接收的調變訊號。利用頻譜分析儀分析頻域特性，可以非常簡便地測量訊號的頻率、功率、諧波、調變品質、訊號失真、雜訊或干擾。如果干擾訊號覆蓋了期望接收的訊號，那麼頻譜分析儀上的顯示將相對明顯，訊號分析儀顯示的干擾訊號則包含多種訊號重要的識別特徵，而根據調變方式的不同，調變訊號的特徵也不同。

任何測量設備的精密度都與分析儀使用的各種元件的精密度有關。在將未知訊號測量值與待測系統的測量規格進行比較時，測量精密度發揮了重要作用。在進行典型的干擾測試時，用戶往往需要確定一些比率，如訊雜比表現出了相同工作頻寬下，期望載波相對於干擾訊號的逾越程度。因此，絕對精密度往往不如相對精密度重要。

二、特殊干擾之處理步驟

由於特殊干擾為在不可預測所產生的干擾訊號，因此在處理方法上，主要在偵測干擾訊號的方法，對大發射功率的干擾訊號可經由電波監測系統，掌握電波使用狀況，適時處理電波干擾問題。對較小發射功率的干擾訊號，在偵測發生上尤其困難。除射頻器材外，包括車輛、飛機、音響與照明設備等，一般電機設備和電子產品在使用過程中也皆可能產生電磁輻射，以致干擾其他設備之正常運作。例如汽車在狹小空間裡，彼此間容易產生電磁干擾，而可能衍生之行車安全問題。因此國際 ISO 11451 及 ISO 11452 等系列標準及制定出從整車到電子控制模組(ECU)的 EMC 標準。例如火星塞引燃的突波(Surge)及馬達運轉時產生之反電動勢(back EMF)暫態波形對車內電子通訊設備(如音響、收音機等)的電磁干擾、天線所發射的電磁波對車內電子通訊設備的電磁干擾、電子通訊設備間的相互電磁干擾、雷突波(LEMP)對車內電子通訊設備的電磁干擾等影響進行規範。因此對較小發射功率的特殊干擾訊號，必須倚靠相關設備國際標準或國家標準，在電磁相容與電磁干擾的相關規範。

特殊干擾各階段處理方法，如下所示：

- 特殊干擾情形發生前：應著重在各種設備相關審驗規範，且不限於射頻訊號發射設備，部分電子設備故障，也可能產生電磁干擾情形。
- 特殊干擾情形發生中：應判別為隨機或非隨機出現的干擾訊號，在偵測干擾訊號的方法，對大發射功率的干擾訊號由電波監測系統，

輔助定位技術進行偵測。對於小功率之干擾訊號，ITU 與相關文獻顯示：監測站對於發射功率小於 1W 以下之發射之射頻器材，其偵測效果有限。因此往往需倚靠手持式頻譜分析儀或訊號分析儀，以人工進行偵測處理與判別狀況。

- 特殊干擾情形發生後：應建立各種訊號偵測處理與判別案例歸納。

三、解決特殊干擾之定位技術與方案

定位技術主要在獲得干擾訊號發射源位置，定位技術必須建立在已被偵測獲得的干擾訊號條件下，且無線電定位技術並不限制於一般干擾或特殊干擾。地圖資訊、全球定位系統、訊號類型、偵測點與發射源的幾何關係等，都會影響定位技術的準確性。

在小功率之干擾訊號，仍需靠手持式頻譜分析儀或訊號分析儀，以人工進行偵測處理與判別狀況。大功率之干擾訊號可由電波監測系統輔助定位技術進行偵測。TOA 的定位技術需要極為嚴格的監測站台時間同步的條件，為解決發射機與接收機無須進行同步，以及發射的訊號不用內藏時間資訊也無須正確得知有效輻射功率的定位技術，故僅 AOA 與 TDOA 兩種定位技術在國際上被廣泛討論。AOA 定位技術適用在岑頻、非隨機的干擾訊號；TDOA 則適用在寬頻、隨機的干擾訊號，利用時域分析並且可以獲得更多的電波訊號資訊，兩種定位技術在應付各種訊號類型具有互補性。

特殊干擾類型中，隨機出現的干擾訊號，很難透過有效的定位技術進行定位，而 AOA 與 TDOA 定位資訊，並無須知道訊號強度，但藉由接收之訊號強度，可以輔助增加定位資訊。判別干擾訊號可出現的位置，進行縮小定位範圍。甚至利用多種混合式定位技術，進行縮小搜索範圍。

本節已充分說明一般干擾與特殊干擾之差異，由訊號類型與發生狀況可進行辨別，以下將蒐集並分析各種特殊干擾案例。

第二節 VHF/UHF 頻段之特殊干擾案件

無線電頻率實際的用途非常廣泛。本章節主要參照 ITU 規劃與美國聯邦通訊委員會(FederalCommunications Commission, FCC)拍賣經驗，將研究位於 698-806MHz 的頻段，針對適合應用於本頻段之技術發展及未來可能形成的干擾進行資料蒐集與研究。其相關實驗結果或模擬干擾結果，可為通傳會(NCC)提供 700MHz 頻段可能發生的干擾，以防範於未然。所以假設前提將 700MHz 設定為可供收回再利用之頻段，繼而參照各種無線通信技術之間潛在的相互干擾，並參考國外的案例，思考後續可能的防範機制與解決方法。

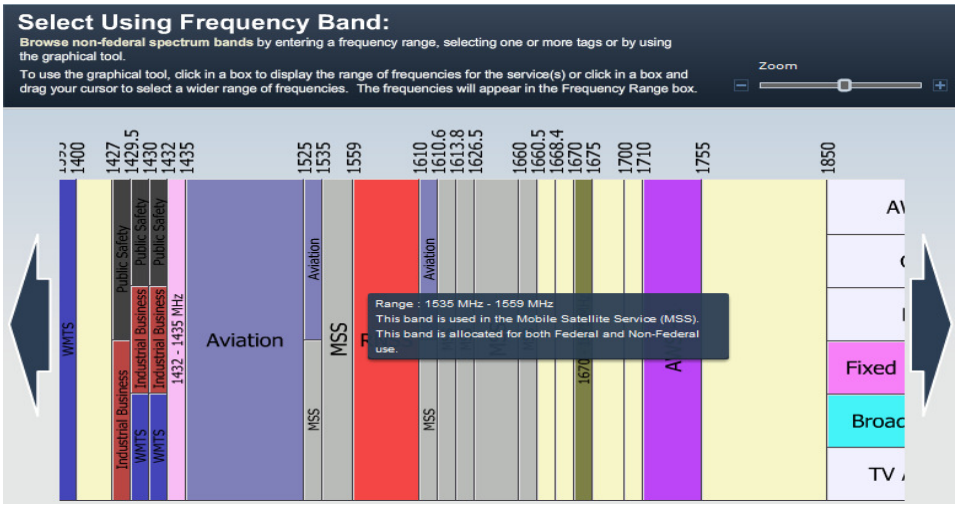
假設 700MHz 頻段回收再利用，可能會有各種不同的通訊技術在此頻段運作，為了避免不同通訊技術彼此之間，以及與 700MHz 頻段其他相鄰用戶間的潛在干擾問題，便需要考量到保護頻帶的配置問題。

在目前無線通訊技術蓬勃發展的年代，可以使用的無線頻道被許多不同應用無線技術所佔滿，突發性的干擾訊號常常會很嚴重的影響到通訊的品質。本研究特別針對某幾類常見的突發性訊號干擾源訊號類型作一個簡單的討論，並且分析其發生干擾的機制，更進一步分析特殊干擾案件的背景並提出解決的方案。在這些常見的突發性干擾源，我們特別加以討論與分析。本研究將針對先進國家 Ofcom、FCC 等監理機關，所發佈之公開訊息，蒐集干擾案件處理之最新技術及使用方法。將案例整理如下：

一、飛航干擾

1. 美國 4G 行動網路與 GPS 干擾案例

由美國國防部、民航管理局(FAA)，以及多家全球定位系統(GPS)裝置廠商出資進行的研究報告顯示，美國預計要發展的第四代行動無線網路，會干擾高達 75%的 GPS 接收器性能表現。美國電信業者的 4G-LTE 營運商 LightSquared 於 2007 年向 Sprint Nextel 購買 1525MHz 到 1660.5MHz 的頻譜區段預計建立 4G-LTE 服務。然而這些頻譜區段與許多 GPS 設備採用的頻譜非常接近。由圖 2-1 為 FCC 內頻譜的使用情況，行動衛星服務(Mobile Satellite Service)的使用頻譜為 1535MHz 到 1559MHz。由表 2-1 為 1525MHz 到 1610MHz 詳細的頻譜使用情況。



資料來源：本研究整理

圖 2-1 FCC 1.525GHz 至 1.6605GHz 頻段使用情況

表 2-1 FCC 各頻段使用情況

頻段	使用情況
1.525-1.535GHz 及 1.610-1610.6GHz	MSS: Mobile Satellite Service (行動衛星服務) Aviation(航空服務)
1.535-1.559GHz、 1.6106-1.6605GHz	MSS: Mobile Satellite Service (行動衛星服務)
1.559-1.610GHz	RNSS: Radionavigation Satellite Service (無線電導航衛星服務)

此案件中 LightSquared 所架設的 4G 行動網路服務，將讓駕駛人無法透過 GPS 來進行定位、找對方向。因此，美國聯邦傳播委員會（FCC）宣布撤銷 LightSquared 建造 4G-LTE 網路的許可。2011 年 6 月，LightSquared 針對其 LTE 網路干擾 GPS 信號問題擬出了更換頻段(移頻)的備用方案以解決 GPS 被干擾的問題。但此一方案尚未通過驗測以證明是否可行。美國 4G 行動網路與 GPS 干擾案例整理如下表 2-2 所示。

衛星所發射的 GPS 定位信號僅有幾十瓦的發射功率，要傳播至少 2 萬公里的距離才能達到地球表面附近的 GPS 接收機(例如:行車紀錄器的定位系統)。然而，地面上的干擾發射源因較為接近 GPS 接收機，因此干擾

GPS 信號並不需使用高超的技術、龐大的設施與資金支持，便能在一定範圍內威脅使用 GPS 信號的用戶。

即使目前 GPS 採用 GPS 衛星信號加密、空間-時域自適應處理、空間-頻率自適應處理、極化方向處理與波束控制等抗干擾方法也很難避免 GPS 定位信號被干擾。另 GPS 干擾器係發射與 GPS 相同或相似而功率更強一些的信號，導致接收機的導航處理器產生錯誤的信息或無信息輸出，或者干擾 GPS 追蹤器的外接網路(例如：2G、3G 與 4G 行動通訊系統的遮斷器)令其失效。運用相同的原理，干擾與反制干擾的應用必然會陸續出現於各通訊頻段中。在特殊干擾的處理上，應及早因應制定相關的通訊規範或嚴禁製造與販售未經型式認證的發射管制器材[8]。美國 4G 行動網路與 GPS 干擾案例整理如下表 2-2 所示。

表 2-2 美國 4G 行動網路與 GPS 訊號干擾處理案例

干擾類型	同頻及鄰頻干擾
干擾頻段	1525MHz 到 1660.5MHz 的 4G-LTE 頻段，因未能保持適當的保護頻寬而導致干擾 GPS 設備
調變方式	OFDMA、BPSK
干擾案件	LightSquared 公司提供之 4G 無線服務會破壞使用全球定位系統幫助飛機保持飛行避免撞向地面的安全設備及干擾高達 75%的 GPS 接收器性能表現
處理過程與方式	1. FCC 撤銷 LightSquared 建造 4G-LTE 網路的許可。並採取更換頻段(移頻)的備用方案以解決 GPS 被干擾的問題。但此一方案尚未通過驗測以證明是否可行。 2.訂定國際公約，禁止生產 GPS 干擾器。 3.強化 GPS 接收器的抗干擾能力。
未來可行的解決方法與建議	1.頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護頻寬、隔離度)。 2.干擾源之辨識、定位系統之建置與運用，例如建置成本較低與機動性較高的監測定位系統(例如:可攜式監測定向、TDOA 運載式與行動監測定位設備)以建立更綿密的監測網。

2. 高空同頻干擾案例

我國東部的高空飛航訓練使用之空中通訊儀器受到地面的不明同頻訊號干擾，因此飛行器無法傳回飛機的狀態信號與相關資料，嚴重影響地面的指揮中心之調度與監視任務，訓練任務因而停擺，嚴重影響我國飛航與空防安全。

在處理過程中由於發生於高空之干擾，因為在台東為高山縱谷等複雜地域所組成，而且飛航器在高空中只要短暫的飛行，即可對應涵蓋到方圓幾百公里的大面積範圍，因此在高空的可疑干擾範圍太過寬廣，導致高空中能收到的信號在地面上無法偵測得到。因此使用一般的頻譜儀器或地面的監測站設備 (固定站或行移動監測站車)均為艱難的挑戰。首先由同頻干擾信號特徵辨識出為 2G 行動電話基地台干擾。接著進行同頻干擾源的位置搜尋，其採用的的主要方式為[9]:

(1). 利用輕薄短小的工程模組的手機結合筆記型電腦，構成一個具有可攜式的行動小監測系統。

(2). 分析飛航干擾出沒頻繁區域，選擇至高點進行監測分析，找出干擾電台之 Cell-ID。

本案件處理方式整理如下表 2-3 所示:

表 2-3 高空飛行載具訓練儀器與 2G 行動電話基地台干擾案例

干擾類型	同頻干擾
干擾頻段	我國東部的高空飛航訓練基地之 900 MHz 通訊儀器遭受干擾(干擾源為 GSM900 MHz 頻段)
調變方式	GMSK
干擾案件	我國東部的高空飛航訓練使用之空中通訊儀器受到地面的不明同頻訊號干擾，因此飛行器無法傳回飛機的狀態信號與相關資料，嚴重影響地面的指揮中心之調度與監視任務，訓練任務因而停擺，嚴重影響我國飛航與空防安全。
處理過程與方式	由於發生於高空之干擾，高空範圍寬廣，在高空中能收到的信號在地面上不一定收得到，此乃台東為高山縱谷等複雜地域所組成，而且飛航器在高空中只要短暫的飛行，即

	可對應涵蓋到方圓幾百公里的大面積範圍，可想而知，用一般的頻譜儀器或地面的監測系統儀器(固定站或行移動監測站車)將是在一項艱難的挑戰。本案之主要處理過程如下: (1) 本案曾請國防部電訊單位處理，列案追蹤。 (2) 國防部函請交通部聯合處理，以傳統的監測與定位技術進行分析，歷經 2 年，仍無法找出干擾源。 (3) 移頻處理:嘗試將當地行動通信基地台或該通訊儀器之頻率偏移，以避開干擾源，但效果不佳。 (4) 電信總局監理單位至綠島至高點上，以 GSM 工程手機模組，監視手機所收到的基地台訊號強弱，依訊號強弱將基地台編號進行排序比對(Sorting Match)，並逐一從基地台資料庫中找出基地台位址，過濾可疑的基地台，再進行基地台發射功率等參數的量測。在分析當中，發現遠從 100 多公里外的花蓮壽豐鄉的某電信業者的基地台，因參數設定錯誤，致發生發射功率異常，再加上海面上無任何屏蔽障礙物，其電波因而可暢行無阻到達綠島上空，對高空的飛行器進行直接的同頻干擾。 (5) 針對該基地台進行發射功率等參數量測，發現異常。 (6) 通知業者改善，重新到綠島量測，確認該訊號干擾源消失。 (7) 委請飛航單位重新起飛，並於指揮中心大螢幕上可清晰監看及掌握飛航的狀況，確認干擾源已排除。
未來可行的解決方法與建議	目前的監測系統因受地形地物限制，且監測站又太稀疏，造成監測定位的盲點與死角。更難以對高空上的電波干擾信號特徵與地理位置進行分析和聚焦干擾範圍，未來可採行的解決方案為: (1). 將頻譜監測設備放在無人飛行載具（Unmanned Aeronautical vehicle, UAV）或飛行船中，以有效解決飛航干擾問題。其中頻譜監測設備可使用「簡易型頻譜分析儀」。 (2).建置成本較低與機動性較高的監測定位系統(例如:可攜式監測定向、TDOA 運載式與行動監測定位設備)以建立更綿密的監測網。

二、低功率無線電設備干擾

1. 低功率頻段(ETC)與 LTE 之間可能產生的干擾分析

在台灣電子收費系統(Electronic toll collectio, ETC)使用的頻率為 922.75MHz 和 924.25MHz，頻寬為 300kHz。若以日本為例，在 700MHz 頻段規劃允許數位地面電視廣播系統、智慧型運輸系統(Intelligent transportation systems, ITS) 與通訊系統使用系統的運作狀況，微幅調整保護頻帶的規劃。至於在美國的狀況，則是規範了系統間合理的干擾容忍值，作為認定某一系統是否受到鄰近系統干擾而影響其服務的基礎，再由 FCC 負責爭議處理的方式，維繫頻譜資源的使用秩序。為了避免系統間的干擾，在這三種系統被分配使用的頻段之間，初步規劃各自保留了 5MHz 的頻段，作為保護頻段。並且預定未來可能會依據實際該案整理如下表 2-4 所示。

表 2-4 低功率頻段(ETC)與 LTE 之間可能產生的干擾案例

干擾類型	鄰頻干擾
干擾頻段	低功率頻段/規劃中 LTE 頻段。在我國 ETC 所發射功率不屬於低功率設備)
調變方式	OFDMA
干擾案件	900MHz 頻譜範圍內的 ETC 頻譜可能會干擾一些在 900MHz 範圍內的 LTE 服務
處理過程與方式	1. 保護區間參考日本的 5MHz 保護頻寬 2. 微調發射頻率或降低功率以增加 LTE-4G 的保護頻寬 3. 仿效新加坡於高速公路建置移動收費門架以增加空間隔離度(dB)與空間隔離距離(m)
未來可行的解決方法與建議	增加異質通訊系統的隔離度 異質通訊系統之間保證一定的隔離度。例如: 全向天線通訊系統僅能依靠調整天線的高度與位置增加空間隔離度。定向天線通訊系統還可以調整定向天線的方向角與下傾角增加異質通訊系統的空間隔離度。因為在實際工作中，異質通訊系統之間的干擾，很難通過提高射頻性能，調整發射頻段(移頻)，增加發射濾波器頻譜遮罩性

	能的手段來降低，增加系統間的隔離度，尤其是對空氣隔離度，往往是可實施的方法。隔離度需求由兩個因素決定：(1). 發射端發送干擾大小。(2). 接收機允許接收的最小干擾。 系統隔離度需求(dB)＝發射端發出干擾(dBm)-接收機允許的最小干擾 在此，發射端發出干擾(dBm)協議中不同種類的干擾(帶外、互調變干擾) 指標都有隔離度的要求與規定。在實際工程中，選擇隔離度要求最大的值為工程參考值。

資料來源：本研究整理

2. 數位電視訊號干擾無線麥克風案例

目前，一些國家正在展開類比電視轉換成數位電視的計劃，如韓國、英國，而美國、日本和台灣都已全面轉為數位廣播。然而，數位電視和其他潛在的服務系統之間的相容性問題必須被考慮。潛在的服務如：IMT-2000 的 WiMAX，4G 系統和無線麥克風等等。

韓國在 2009 年已經作出了頻譜規劃，分配 CH 14~CH 51(470Hz - 698Hz）用在數位電視。因此，必須考慮到數位電視和其他潛在的服務系統之間的兼容性。這裡假設數位電視在 CH 51（692Hz~698Hz）和無線麥克風在 CH52(698 兆赫~704 MHz)的備用帶，進而分析數位電視和無線麥克風之間的兼容性。

韓國數位電視採用美規 ATSC(Advanced Television Systems Committee)系統，複頻網的頻譜使用效率較低，因此在數位電視和無線麥克風之間的相容性和頻譜共享的問題上，在未指配數位電視的區域，數位電視訊號的帶外訊號將是干擾源，影響無線麥克風的使用。

市場上有兩類無線麥克風，一類是室內無線麥克風，它主要用於在劇院，音樂廳和工作室，另一類是室外無線麥克風，通常用於外部廣播或電子新聞採集的位置和工作室之間的音頻連結。無線麥克風可以是手持式或穿戴式的，假設干擾的情況是無線麥克風要傳輸訊號到接收器，並且都在 52 頻道，同一時間，在頻道 51 的 DTV 產生帶外發射訊號到頻道 52，因此問題是 DTV 發射器必須離麥克風接收器多遠，無線麥克風才不會產生干擾?這個就是指保護距離(DTV 發射器與麥克風接收器的最短距離)。考

慮到最壞的情況下，使用自由空間損耗的傳播模型。為了分析現實可能的情況，分別考慮了操作在室內和室外的情形。

本案最壞的情況是，DTV 和麥克風的頻率都是 698MHz 時，若室內麥克風和接收器的距離是 100m，那麼 DTV 和麥克風之間的保護距離必須要 1710.6m，但是當麥克風距離接收器只有 10m 時，保護距離只要 171.1m。另外，如果麥克風的頻率離 DTV 的頻率越遠，那麼它們之間的保護距離也就更小，例如當麥克風頻率在 704MHz，麥克風和接收器距離 10m 時，只需要 0.1m 的保護距離。在室外的最壞情況下，麥克風接收器和 DTV 發送器的保護距離是 168.1km，但只要麥克風頻率離 DTV 頻率越遠，也同樣的比較不會受到 DTV 的帶外訊號干擾。

SEAMCAT 統計技術是模擬受害的接收器，在一個隨機產生干擾人口的干擾概率，因此在 DTV 干擾麥克風的情況下，SEAMCAT 是用來確定 DTV 和無線麥克風之間的保護頻帶。設定干擾鏈路和受害鏈路之後，SEAMCAT 會根據 DTV 和室內無線麥克風的參數，基於它們之間不同的頻率獲得干擾概率。

根據 DTV 和室內無線麥克風的參數，建立干擾鏈路和受害鏈路，然後會由 SEAMCAT 獲得干擾機率。考慮到最壞的情況下（室內無線麥克風發射覆蓋範圍為 100m），室內無線麥克風的中心頻率是 700.5MHz 時，DTV 和室內無線麥克風至少需要 2.4MHz 的保護帶。DTV 干擾室外無線麥克風和干擾室內麥克風的情況是一樣的，除了室外無線麥克風發射覆蓋範圍應該是 10 公里。由 SEAMCAT 獲得 DTV 和室外無線麥克風之間至少需要 2.9MHz 的保護帶。

本實驗結果是在信號保護輪廓要求和系統參數下，無線麥克風和數位電視的干擾可使用最小耦合損耗方法(Minimum Coupling Loss, MCL)，來確定所需保護的距離。用頻譜工程蒙卡羅分析工具(Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool, SEAMCAT)可以確定數位電視和無線麥克風之間的保護頻寬。分析結果可以提供一個參考，使用在數位電視和無線麥克風之間的相容性。該案整理如下表所示。

表 2-5 韓國數位電視與無線麥克風干擾處理案例

干擾類型	互調變干擾、數位電視干擾
干擾頻段	數位電視信道 51（692MHz～698 MHz），和 52 頻道（698 MHz～704 MHz）無線麥克風在備用帶操作。
調變方式	無線麥克風 DSSS 或 FHSS、DTV 8VSB
干擾案件	在同一時間，51 頻道的數位電視發射機生產出 52 頻道的帶外發射。評估必須距離多遠，數位電視發射器的帶外發射訊號，不會干擾與影響無線麥克風。
處理過程與方式	1. 用最小耦合損耗(MCL)方法確定所需保護之距離，與頻譜工程先進蒙卡羅分析工具(SEAMCAT)確定數位電視和麥克風之間的保護頻帶。 2. 本案空間隔離度解算與估測方法如下所示。此可供類似案件空間隔離度估測準則之參考
未來可行的解決方法與建議	考慮到干擾最壞的情況下，使用自由空間損耗的傳播模型。為了分析現實可能的情況，分別考慮了操作在室內和室外的情形。在，自由空間 DTV 信號在空間中傳輸的功率損失為： Free space loss (20dB)= 20 log(distance)+20 log(frequency)-27.56 無線麥克風的載波頻率為 17dBm，因此接收器的訊號強度為： Rx signal = 17dBm –Free space loss(dB) = 52.35dBm 干擾功率由下列方程式表示： $P_{interference}$ = $P_{DTV\ out\text{-}of\text{-}band}$ - (20 log(distance) + 20 log(frequency) -27.56 當接收器與麥克風距離為 100m，由載波干擾比(Carrier to interference ratio, C/I)得到干擾訊號必須小於-79.15dBm，因此保護距離為： PD = 10^｛〔$P_{DTV\ out\text{-}of\text{-}band}$ − $P_{interference}$ +27.56 – 20 log(f)〕/20｝ 在室外，當干擾信號小於背景雜訊 (Noise floor)時，就不會對接收器造成干擾，背景雜訊等於相關頻寬的熱雜訊加

	上接收器雜訊係數： Noise floor = Thermal noise in the relevant bandwidth + Receiver noise figure 在頻寬 200kHz 時的熱雜訊為-120dBm，並假設接收器雜訊係數是 4dB，因此最大干擾訊號為-116dBm。DTV 信號在空間中傳輸的功率損失為： Free space loss(dB) = 20 log (distance) +20 log (frequency) – 27.56 對於室外無線麥克風，干擾功率為： $P_{interference}$ = $P_{DTV\ out\text{-}of\text{-}band}$ +3dB constructive fade – (20 log (distance) +20 log(frequency) – 27.56) 因此，保護距離為： PD = 10^｛〔$P_{DTV\ out\text{-}of\text{-}band}$ + 3dB constructive fade - $P_{interference}$ + 27.56 -20 log(f) 〕/20｝

資料來源：本研究整理

三、突發干擾源

1. 感知網路與數位電視訊號干擾案例

無線通訊技術的蓬勃發展，世界各國的頻譜規劃都已經日趨擁擠與飽和。儘管如此，其頻譜真正有在使用的比率常常只有 10%以內，這個彼此矛盾的現象，激發出感知網路的概念，也就是說，如果取得頻譜使用權的原本應用服務空閒不使用時，就可以由稱為感知網路的智慧型網路加以使用，這樣就可有效提昇頻譜使用效率。這個作法需要有效的頻譜偵測機制加以執行頻譜監控的重要任務，並且在原先的應用服務使用頻譜的時候適時的讓出頻譜，讓舊有的使用者能進行順暢的網路服務。而監控頻譜是否有主要使用者要使用是整個複合式網路能否正常運作的關鍵[10]。該案整理如下表 2-6 所示。

表 2-6 感知網路與數位電視訊號干擾處理

干擾類型	同頻干擾
干擾頻段	UHF 512-698 (MHz)
調變方式	8VSB、OFDM、FHSS
干擾案件	依照 FCC 的規定,感知網路可以使用數位電視暫時不使用的頻譜空洞，感知網路需要不停地在頻譜上掃描，如果數位電視節目開始廣播，感知網路需要在很短的時間把頻譜再讓出來給原數位電視使用，若是不能及時的讓出頻譜使用權，則造成了同頻干擾。
處理過程與方式	媒體存取控制(MAC，media access control)層控制了通訊系統使用通訊媒介的方法以及遇到干擾訊號的資料重傳方式。常用的 MAC 層做法包括有以載波偵測多重存取(CSMA，carrier sense multiple access)為基礎一系列的作法，但是這個系列的作法對於感知網路而言並不是一個很好的做法，於是，有許多不同的解決方案被提出來。 Kumar 等人在 2010 年提出能夠對感知網路的使用品質(quality of service)有保證的 MAC 層通訊協定。在感知網路中，感知使用者在偵測到頻譜空檔時，便可以趁機傳輸並且使用空閒頻譜，在偵測到原來的使用者開始傳輸時，則必須很快的結束傳輸，並讓出頻譜給原來的使用者，並對原系統的使用者的服務品質有相當的保障。 目前在 IEEE 已經有 802.22 的通訊規格被討論與制定，此規格一個重要的目的是在數位電視廣播系統中容納感知網路使用者，MAC 層通訊協定的設計則對這個未來的網路提出可行的方案。
未來可行的解決方法與建議	1. 感知網路在未來的通訊應用中將扮演重要的角色,世界各國對於這樣一個新的通訊技術無不抱著熱切的期待，寄望這個新的網路能對各國的通訊產業帶來正面的效應。現行的規格有 IEEE 802.22 以及以展頻與跳頻為基礎的頻譜共用技術。但 IEEE 802.22 尚在制定中，還沒有定案，但此規格一但制定完成之後，對於每個國家的數位電視廣播勢必帶來一定程度的衝擊與干擾，值得持續注意與觀察。至於展頻為基礎的感知網路，尚沒有國際上的組織對此技

	術展開制定規格的動作，但亦值得密切注意。 2.電波監測定位技術，未來除 AOA、TDOA 定位技術以外，主要趨勢為「信號位置擷取與蒐集系統」(Signal Location, Intercept and Collection System, SLIC)。其主要功能將即時定位結果進行儲存，以利日後追蹤與資料搜尋。傳統電波監測定位技術因儲存設備容量的侷限，導致無法將即時定位結果儲存記錄，以進行後續的測向信號分析與解調、解碼。

資料來源：本研究整理

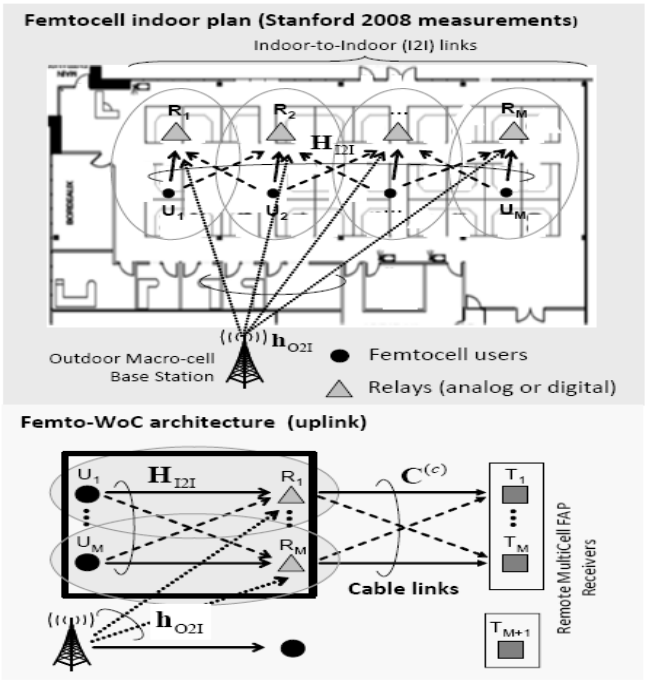
四、都會區干擾

1. 模擬 LTE 訊號干擾 2.4 GHz ISM 頻帶之其它通訊服務案例

本案例是發生在 2008 年，地點在美國加州史丹福。此案例是為了進行一個校內的競賽所刻意安排出來，當然，此干擾的場景也反映出常見的 2.4 GHz ISM 頻帶的干擾型態，因此，此案例也非常具有代表性。該案例的系統參數採用類似 LTE 的系統參數設定,通訊器材具有 MIMO OFDMA 的收發器功能，並且是在蜂巢式通訊系統的上鏈(uplink)發生。LTE 是邁向第四代行動通訊系統的規格,具有高速行動接收多媒體資訊的能力。而 2.4 GHz ISM 頻帶是不必申請就可以使用的免執照頻帶。因此，有許多的通訊系統都喜歡以此頻帶作為通訊的媒介，其中包含有藍芽(Bluetooth)、無線區域網路(WLAN)等應用[11-13]。本干擾案例整理如下表 2-7 所示。

表 2-7 LTE 訊號干擾 2.4 GHz ISM 頻帶之其它通訊服務處理

干擾類型	同頻干擾
干擾頻段	模擬 LTE 訊號干擾 2.4 GHz ISM 頻帶(此案例為實驗模擬同頻干擾。實務上上 ISM 頻帶, 2.4 (GHz)為免執照頻段，LTE 干擾影響層面較重要)
調變方式	MIMO OFDMA,

干擾案件	LTE 訊號干擾 2.4 GHz ISM 頻帶之其它通訊服務，其室外的干擾場景如附圖。資料來源：(Oestges et al. 2010)  Fig. 1: Radio propagation for indoor femtocells. Indoor-to-indoor (I2I) and outdoor-to-indoor (O2I) wireless channel parameters are taken from a 2.4GHz measurement campaign (Stanford, 2008). 整個系統的干擾場景實線表示想要接收的訊號，虛線表示干擾訊號，干擾訊號來源是同頻干擾，結果造成每個接收端的收訊品質下降。資料來源：(Gambini et al. 2012)
處理過程與方式	Gambini 等人以數位訊號處理，作最可能的訊號偵測。無線通道的通道響應假設成有時間延遲且有誤差的估計量，有線端的通道假設為已知，訊號偵測以線性最小平均平方誤差

	(LMMSE，linear minimum mean-square error)的方式偵測。LMMSE 是一種對未知物理量的偵測方式，在此假設發射端發射 OFDM 的訊號，在這個訊號中，通常在固定的時間以及固定的頻率上都會安排導航訊號(pilot signal)，導航訊號為接收端已知的訊號，經由觀察這些已知訊號的接收，就可以估計出目前的通道響應，再經由目前的通道響應反推出傳送訊號。經由一些數學運算，我們可以得到相對應的數學表示法為： $$\mathbf{W}_k = \sqrt{P_T}\mathbf{Q}_{\mathrm{I2I},k}^H(P_T\mathbf{Q}_{\mathrm{I2I},k}\mathbf{Q}_{\mathrm{I2I},k}^H + \mathbf{R}_{\mathrm{O2I},k} + \mathbf{R}_k)^{-1}$$ 將接收訊號 Y_k 乘上 W_k^{-1}，就可得到傳送訊號的估計量，因此可以順利解調。
未來可行的解決方法與建議	1. 應及早因應制定相關的 Femtocell 建置的規範，例如：最大的平均發射功率、使用方向性天線等，以避免發生於都會區的低功率無線電設備與突發干擾。 2. 美國數位電視採用 ATSC 技術及複頻網設計，因此積極開發感知網路應用，藉以提升頻譜使用效率。英國數位電視與國內採用相同 DVB 技術及單頻網設計，但由於類比電視頻道數位化後，頻譜出現數位紅利，主要分為清除頻譜（cleared spectrum）與間隔頻譜（interleaved spectrum），其中間隔頻譜與美國所稱「閒置頻譜」（White Space），原用於防止電視傳輸產生干擾之間隔頻寬相同，故英國亦積極開發感知網路應用，藉以提升頻譜使用效率。我國目前僅出現清除頻譜的類型，現階段尚未遭遇頻譜使用效率問題，但 IEEE802.22 無線區域網路的應用與 IEEE802.11af 未來可能應用在 500MHz 至 700MHz 裝置，將可能造成數位電視訊號干擾問題。

資料來源：本研究整理

2. LTE 行動網路與數位電視訊號模擬干擾案例

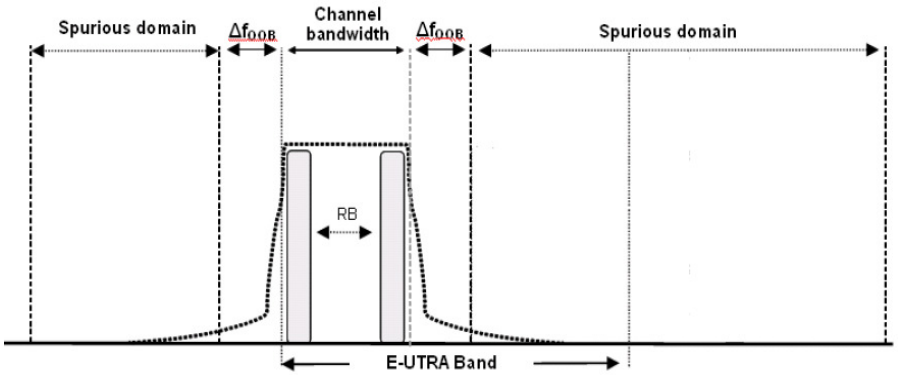
電視空白頻譜（television white space ,TVWS）是指未指配區域的電視廣播頻道，它可以是可用的無線通信系統，特別是從類比電視轉換為數位電視之後，有更多可用的電視空白頻譜被釋放。FCC 在 2011 年 12 月 22 日在一份公告中表示：“今天我們批准了第一個電視頻道空白頻譜數據庫和設備，並向無線創新邁出了重要一步。釋放空白頻譜將帶來數十億美元的經濟效益。最後這一些重要的未授權頻譜，將推動私人投資並創造就業崗位。”FCC 技術辦公室批准的空白頻譜數據庫由 Spectrum Bridge 組織制定。Spectrum Bridge 數據庫必須確保使用新頻譜的設備不會對頻率接近的電視廣播造成干擾。

由於電視空白頻譜在 VHF 和 UHF 頻段，它們有幾個重要的屬性如下，使它們可以成為非常理想的無線通信：良好的傳播，能夠穿透建築物和樹葉、非線性的視線連接、寬帶的有效載荷能力。因此，TVWS 通道可以用在某些地方，如長期演進技術(Long Term Evolution, LTE)、移動全球互通微波存取(WiMAX)、無線麥克風等。假設 LTE 操作在 TVWSs 的相鄰頻道，另外也考慮 LTE 基地台(Base station, BS)和移動站台(Mobile station, MS)的頻譜發射模板(Emission mask)。分析 LTE 可能會干擾 DTV 的影響是使用基於 Monte-Carlo 模擬方法的頻譜技術，先進的蒙特卡羅分析工具(SEAMCAT），保護距離(protection distance)和保護帶(guard band)，將通過分析計算出。

此論文為模擬干擾狀況，假設分配頻道 34 給數位電視。而 LTE 使用頻分雙工(FDD)，然後假定分配給 LTE 的上行鏈路(UL)在頻道 32 和頻道 33，分配給下行鏈路(DL)在頻道 35 和頻道 36。模擬在此情況下 LTE 和數位電視接收器的干擾影響。

LTE 的影響可能會干擾數位電視頻道。通過 SEAMCAT 分析數位電視不被 LTE 干擾的保護距離和保護帶。研究結果考慮到最壞的情況下，如果數位電視接收機和 LTE BS 允許最大傳輸功率，計算出的干擾概率(interference probability)是 5%，當使用 LTE BS 的指定發射模板時，為了滿足 LTE 的 4 MHz 保護頻帶，防護距離必須超過 14 公里；但是如果使用假設的發射模板時，保護距離可以減少到 2 公里。當 LTE MS 使用指定發射模板時，保護距離至少要 13 公里；但如果使用假設的發射模板，保護頻帶是 8MHz 時，LTE MS 和數位電視接收器之間的保護距離是 0。其模擬結果分析可做為 LTE 在空白頻譜和數位電視並存的計劃參考。該案整理如下表 2-8 所示。

表 2-8 LTE 行動網路與數位電視訊號模擬干擾處理案例

干擾類型	鄰頻干擾
干擾頻段	LTE 上行載波頻率(UL)595 MHz(Channel 35,36) 下行載波頻率 (DL) 579 MHz(Channel 32,33)，數位電視頻段 587 MHz(Channel 34)。 LTE 是干擾源，數位電視可能會受干擾。
調變方式	OFDMA、8VSK
干擾案件	假設 LTE 被部署在電視空白頻譜，而數位電視就要加以考慮 LTE 干擾的影響。LTE 使用頻分雙工(FDD)，通道 32 和通道 33 的 4MHz 分配給 LTE 的上行鏈路(UL)，通道 35 和通道 36 的 4MHz 分配給下行鏈路(DL)，通道 34 在 DTV 頻帶並分配給數位電視。數位電視的頻帶在 LTE 的頻帶之間，所以必須考慮可能會有鄰頻干擾。
處理過程與方式	DTV 在空白頻譜的情況下，LTE 是潛在的干擾。可以通過 SEAMCAT 分析保護距離和保護帶，使 DTV 不被 LTE 干擾。
未來可行的解決方法與建議	參照如下圖表 ETSI TS 136-101 所提供的 LTE 接收機頻譜遮罩規定，依據不同的使用頻寬應保持適當的保護頻寬以確保干擾防制之隔離度。 

Spectrum emission limit (dBm)/ Channel bandwidth

Δf_{OOB} (MHz)	1.4 MHz	3.0 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	Measurement bandwidth
± 0-1	-10	-13	-15	-18	-20	-21	30 kHz
± 1-2.5	-10	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
± 2.5-2.8	-25	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
± 2.8-5		-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
± 5-6		-25	-13	-13	-13	-13	1 MHz
± 6-10			-25	-13	-13	-13	1 MHz
± 10-15				-25	-13	-13	1 MHz
± 15-20					-25	-13	1 MHz
± 20-25						-25	1 MHz

資料來源：ETSI TS 136-101 LTE;Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA);User Equipment (UE) radio transmission and reception

資料來源：本研究整理

3. 英國數位電視實際干擾案例

英國愈來愈多的消費者利用他們的智慧型手機、筆記型電腦及平板電腦所提供的行動網路來存取網路應用服務。700MHz 頻率具有高穿透性及攜帶資料有效率的特性，因此，是用來提供高速及較佳行動網路服務品質的重要關鍵。然而，當 700MHz 的頻譜開始被使用時，它的頻率會跟數位地面電視系統(DTT)的頻譜相當接近。這意謂著會發生行動基地台影響數位地面電視系統接收訊號的潛在可能干擾。

現有的數位地面電視廣播系統接收器及天線是被設計來接收跨越 UHF 頻帶 IV 及 V 的訊號(470-862MHz)，這其中包含全部的 700MHz 頻帶。這意謂著，數位地面電視廣播系統除了會接收到所欲接收到的訊號外，亦會收到從行動基地台所發射出來的訊號，因此造成干擾。此外，亦可發現到手機在發射 700MHz 較高頻帶的訊號時，也會造成數位地面電視接收器的少量干擾，而這些少量的干擾是由於(1)手機及數位地面電視接收器間較大的分頻頻譜(Frequency separation)以及(2)手機發射比行動基地台較低的功率。如果此干擾情況沒有被處理的話，估計會有將近 760000 的 DTT 使用者可能會無法接收到一個或者若干個數位電視頻道。

對於可能解決數位地面電視廣播干擾的問題如下所列:數位地面電視廣播系統接收器濾波(DTT receiver filtering)、基地台發射器濾波(Base station transmit filtering)、改善或者修改 DTT 設備、重新調整 DTT 天線(Re-orientating DTT aerials)、與 DTT 極性相反(Opposite to DTT

polarization)、On-channel repeaters(OCRs)、基地台功率降低(Base station power reductions)。該案整理如下表 2-9 所示。

表 2-9 英國 LTE 行動網路與數位電視訊號干擾處理案例

干擾類型	鄰頻干擾
干擾頻段	干擾源 800MHz/受干擾源 700MHz
調變方式	OFDMA、COFDM
干擾案件	800MHz 頻譜範圍內的 4G 頻譜可能會干擾一些在 700MHz 範圍內的數位電視服務
處理過程與方式	1. 安裝接收器或者發射器濾波器 2. 降低基地台功率 3. 調整 DTT 天線
未來可行的解決方法與建議	參照上表 2-8 所示。對於我國尚未建置的 4G LTE 通訊系統。可經由發射源功率等特性，實測模擬分析接收機所具有濾波頻譜遮罩的阻隔能力。

資料來源：本研究整理

五、類比廣播電台干擾

在台灣解除戒嚴之後，我國廣播頻道逐步釋出以達到電信自由化的目的，但仍然有許多沒有被核准的電台業者自行播放。一般未立案廣播電台均採用內插嵌入合法頻段的保護頻寬(200 kHz)之間，因此在保護頻寬間中有非法未立案之廣播電台而產生鄰頻干擾。另未立案廣播電台也經常使用中繼頻段，從都會區的廣播電台播音室以中繼頻段(例如 400MHz)傳送信號至較隱密山區的發射天線站台而產生互調變干擾，而干擾到合法核配的廣播電台與飛航助航儀器的通訊頻段。從我國廣播電台干擾案件整理如下表 2-10 所示。

表 2-10 廣播電台干擾處理案例

干擾類型	鄰頻干擾
干擾頻段	88~109 (MHz)
調變方式	FM
干擾案件	我國電信自由化之後，已逐步釋出類比廣播電台頻道。但仍然有許多沒有被核准的電台業者自行播放。一般未立案廣播電台均採用內插嵌入合法頻段的保護頻寬(200kHz)之間而造成鄰頻干擾。
處理過程與方式	運用現行 AOA 監測定位系統執行辨識、分析與定位。如此可快速聚焦干擾發射源的地理位置。並使用全天候自動監測信號任務(Mission)以防止未立案電台在取締之後又行復播。
未來可行的解決方法與建議	目前的監測系統因受地形地物限制，且監測站又太稀疏，造成監測定位的盲點與死角。應建置成本較低與機動性較高的監測定位系統(例如:可攜式監測定向、TDOA 運載式與行動監測定位設備)以建立更綿密的監測網。

資料來源：本研究整理

六、電子舞弊

本案例說明使用未核配或合法核配頻道傳送數據、文字或影像(傳送試題答案)，最常見為防止手機作弊防範可以使用電波遮斷器(干擾器)來防治，也可以利用頻譜量測並比對考場四周的發射環境是否有通訊儀器之干擾，並結合測向與定位之功能，當偵測到異常訊號時能夠記錄一段時間之測量與測向數據，並能設定異常，並將異常訊號之電波發射位置與測量結果顯示於電子地圖中，能夠減少電子舞弊干擾之解決方案，從上述說明處理過程整理如下表 2-11 所示。

表 2-11 電子舞弊處理案例

類型	電子舞弊
頻段	合法或非法核配的頻段
調變方式	GSM (DCS)、電子振盪器材
案件	使用未核配或合法核配頻道傳送數據、文字或影像(傳送試題答案)
處理過程與方式	1.考試離場時間的規則制定 2.禁止攜帶通訊器材 3.使用電波遮斷器(干擾器) 4.隱形耳機偵測追蹤器 5.使用行動電波監測系統的監測與定位功能: (A).量測並比對考場四週的電波發射環境。例如根據觀測一段時間的頻譜歷史數據 (B).將量測的歷史頻譜資料以設定支援訊號活動頻譜遮罩的異常告警門限與閥值(threshold value)。 (C).考試現場若測到異常之訊號，電子舞弊偵測任務自動告警監考人員使用者 (D).結合測向與定位之功能，當偵測到異常訊號時能夠記錄一段時間之測量與測向數據，並將異常訊號之電波發射位置與測量結果顯示於電子地圖中。 以上的監測與定位方法主要針對利用「非法核配頻段」的電子舞弊處理。在使用「合法核配頻段」的電子舞弊處理上，需進行信號的監測與定位，且需進行信號內容的解調與解碼。更進一步，依照不同的作弊情節採取不同的因應對策。

資料來源：本研究整理

第三節 3-6 GHz 頻段技術發展與干擾案件處理

3-6GHz 頻段技術發展與干擾案件處理，主要對頻段內通信技術發展進行說明，再對相關干擾案件處理之技術及方法作研究分析。

一、3-6GHz 陸上通信技術發展

綜合各國在 3GHz~6GHz 頻段內之陸地通信技術發展，主要有三者：在 3.4GHz 未來可能只配給行動通訊系統，部分低功率設備例如：UWB、WiFi 技術透過免執照方式使用，以及應用在微波中繼信號。本研究將對 3GHz~6GHz 頻段內相關干擾案件，進行案例分析，分析其處理之技術及方法。包含低於 3GHz 通訊設備，諧波干擾至該頻段之影響。各國在 3-6GHz 頻段內之陸地通信技術發展如下：

- 韓國：3.4GHz 頻段目前供微波中繼使用，今後預計指配供 IMT (International Mobile Telecommunications)使用。
- 新加坡：監理機關在 IDA 未來將視需求規劃中的 4G ，頻段其中包含 3.4-3.6 GH z 頻段。2009 年供衛星用途使用 4-6 GHz、7-8 GHz 與 11-14 GHz 等頻段。於 2008 年 1 月 2 日指配 3400-10600 MHz 頻段供 UWB 技術透過免執照方式使用。
- 中國：在 3.4-3.5 GHz 範圍內，固定、衛星固定（空對地）為主要業務，業餘無線電和移動為次要業務。香港目前 3~3.4 GHz 頻段用於無線電定位服務，而 3.4~3.7 GHz 頻段則用於無線服務。
- 澳洲：監理機關 ACMA 分析，預期衛星固定業務(Fixed -Satellite Service, FSS)與廣播業務(BSS)，將持續使用 3 GHz 以上頻段；有產業提案在澳洲的 3575-3700 MHz 頻段導入無線寬頻接取。

綜合在 3GHz~6GHz 頻段內各種通信技術發展說明如下：

(一).WiFi 通訊應用

WiFi 所使用 5GHz 頻段，是 IEEE 802.11a 在 1999 年的 9 月被發表的，它是操作在頻帶為 5GHz 區域，其為美國制訂的免執照頻帶範圍內。802.11a 的規格是操作在300MHz的頻帶範圍內它是在 5.15GHz~5.25GHz

擁有連續的 200MHz 頻寬並且在 5.725GHz~5.825GHz 間也有 100MHz 的頻寬。頻譜分成三個範圍，每一個範圍都有限制其最大的可輸出功率。在低頻帶的第一個 100MHz 的部分，其最大限制的可輸出功率是 50mW。第二個頻帶的最大可輸出功率是高於 250mW。第三個頻帶主要是應用在輸出部分，其最大的輸出功率是 1W 左右。

802.11a 規範採用 5GHz 頻段使用正交分頻多工(orthogonal frequency division、multiplexing, OFDM)技術，其調變方式包括了 BPSK、QPSK、16-QAM 和 64-QAM 等四種。其主要特徵其一為可將高速(High rate)的資料，分給多個彼此正交的副載波同時傳送。可以降低每個副載波傳送的資料速率，符號持續時間(Symbol duration)因此增加。其二為減少多重路徑所造成的分散效應(Dispersion)以克服頻率選擇性頻道衰落(Frequency selective fading channel)的影響[14-16]。

在低與中頻帶 200MHz 的範圍裡可以容納 8 個 20MHz 頻寬的通道，高頻帶 100MHz 的範圍裡可以容納 4 個 20MHz 頻寬的通道。每個頻道(channel)內有 52 個副載波。48 個副載波負責資料的傳送，4 個副載波負責同步資訊與傳輸頻率的參考點。802.11a 使用四種複雜的調變方式，主要的不同是在接收機和傳送機內之通道條件具有不同的資料速率。

超寬頻(Ultra-wideband, UWB)通訊，是一種低耗電與高速傳輸的無線個人區域網絡通訊技術，適合需要高傳輸量服務的無線通信應用，可以用在無線個人區域網絡(WPAN)、家庭網路連接和短距離雷達等領域。

UWB 使用頻段涵蓋 3-10GHz，利用奈秒(ns)至皮秒(ps)級的非正弦波窄脈衝傳輸數據,而時間調變技術令其傳送速度可以大大提高，而且耗電量相對地低，並有較精確的定位能力。與常見的通信使用的連續載波方式不同，UWB 採用極短的脈衝信號來傳送數據。這些脈衝所佔用的頻寬甚至達到幾 GHz，因此最大數據傳輸速率可以達到幾百 Mbps。因為使用的是極短脈衝，在高速通信的同時，UWB 設備的發射功率卻很小，僅僅只有目前的連續載波系統的幾百分之一。

(二).車載通訊

車載通訊規範 IEEE 802.11p [17]，是由美國電氣與電子工程師協會所提出應用於車用電子無線通訊上的協定，基本上它的設定是由 802. 11 延伸而來，以便符合智慧型運輸系統(ITS)的相關應用。而所謂的 ITS 係指將資訊、電子、通訊以及控制各領域之科技作一整合之應用，其目的在於將運輸上的所有有限的資源有效地利用。如此不僅可以減輕道路尖峰時間

所產生壅塞的狀況、減少因交通堵塞所付出時間成本、降低人工化的營運成本、減少車輛怠速所引發的空氣汙染甚至提升交通行車的安全等。

國道上利用紅外線的電子收費(ElectronicToll Collection, ETC)系統對國人而言屬較為熟知的實際應用案例之一。IEEE 802.11p 主要是被應用於車載通訊(Telematics)，針對車用環境無線存取所提出的通訊協定基礎，故又稱為車用環境無線存取(Wireless access in vehicular environments, WAVE)技術，而 IEEE 1609 標準則是在以 IEEE 802.11p 協定上為基礎的高層標準。通常將 IEEE 802.11p/1609 視為一個整體架構之模組。

至於 1609.11 則是屬於 WAVE 上層的一種標準，其目的在於規範 WAVE 環境之中，符合 ITS 相關應用的資料交換。此規範主要是針對車載單元(Onboard Unit, OBU)之間的溝通，亦稱作 V2V (Vehicle to Vehicle)之溝通，以及針對路側單元(Roadside Unit, RSU)，亦稱作 V2R (Vehicle to Roadside) ，即車載對路側單元間之溝通。甚者，還有車載單元對基礎設施間的溝通，稱作 V2I(Vehicle to Infrastructure)。電子付費服務(Electronic payment service, EPS)便是 V2R 在實際生活應用上的一種形式。再者，車載專用短距離通訊(Dedicated Short Range Communication, DSRC)，為車載通訊(Telematics)第三個世代之技術。至於車載通訊原先可應用的通訊技術包涵了 Wimax、紅外線、WiFi 和 3.5G 等，WAVE 技術不過是其中一種但卻是適用於車載通訊網路環境中之技術。

美國聯邦通訊委員會(FCC)在 1999 年底，決定將 5.850～5.925GHz 此頻段應用在汽車通訊上，此頻段的優點不僅可支援 6M～25Mbit/s 的傳輸速率，傳輸距離更因此提升為數百公尺。而目前現況的規格制定為將此 75 MHz 的頻寬，以 10MHz 為單位切割，共有七個頻道可供操作。位於中間的一個頻道為控制頻道(CCH)、兩旁共有四個服務頻道(SCH)，以及兩個用於特殊目的安全頻道。以電子收費 ETC 為例，其實這不過是 Telematics 中最下層的低階應用而已，未來國內的高公局將可能會採用歐盟與美國早已在使用的未來世代的收費系統，也就是所謂「用多少便付多少」的 VPS (Vehicle Positioning System) 微波系統，此系統結合 3G 相關無線通訊技術、移動付費和 GPS 等諸多技術，能夠精確地計算出車輛在國道上行駛多遠的距離與行駛時段，駕駛者僅需付出相對的費用即可。

(三).衛星廣播

下世代(Next Generation)無線通訊技術，為達到全球無縫隙之覆蓋暨提供高速、多元之多媒體無線傳輸服務。寬頻衛星通訊系統已日漸受到重

視，並認為是達成通訊無死角、無縫隙及提昇系統容量、提高資訊傳輸速率和確保通訊品質之有效途徑。衛星系統具有以下特徵與重要作用包括：獨具三度空間無縫隙覆蓋能力、獨特靈活性與普及服務能力、大區域的可機動性或可行動性通連、廣域網狀網路構連能力與廣域 Internet 交互連接能力、特有的廣域廣播與多點同時通連能力、對緊急救災及故障搶救的快速靈活與安全可靠方面的獨特等能力。

一般衛星通訊系統所使用的頻帶有：L, C, Ku 及 Ka 等四種頻帶，其中 Ka 頻帶將是未來主要的使用頻段，但其主要關鍵問題是遭受嚴重雨衰。C band 係指“C 波段”為頻率 3.7-4.2GHz 的頻段，作為通信衛星下行傳輸信號的頻段。C 波段是原來的頻率分配為通信衛星。C 波段利用 3.7 4.2GHz 為下行和 5.925 - 6.425GHz 上行。低頻率的 C 波段，在陰雨天氣不會出現類似 KU 波段的雨衰現像。

衛星通信的業務量正快速激增中，以美國為例，境內已有許多系統正在提供服務，例如美國的 DBS 系統就是屬於以衛星電視直播到家(Direct to Home, DTH)的廣播服務，DTH 利用中功率的 C 或 Ku 頻段衛星把電視節目廣播至地面，用戶只需以大約一公尺面寬的天線，即可直接收視衛星電視。

(四).衛星通訊

衛星行動通訊系統是由澳洲於 1992 年成功的將 AUSSAT 送上軌道而開始萌芽，成為全球第一個提供國內衛星行動通信的國家。至於美國著名的 AMSC (American Mobile Satellite Corporation)系統也在 1995 年發射衛星升空至同步軌道，開始提供區域性行動通信業務。由於衛星通信技術不斷提升，現階段已能提供輕薄短小手機的衛星行動通信系統，截至 2003 年止，已有許多中/低軌道的衛星行動通信系統被提出，如 Iridium、Global-star(LEO)、Odyssey 和 Inmarsat-P (MEO)，這些系統將以 L/S 頻段提供全球個人衛星行動電話服務。

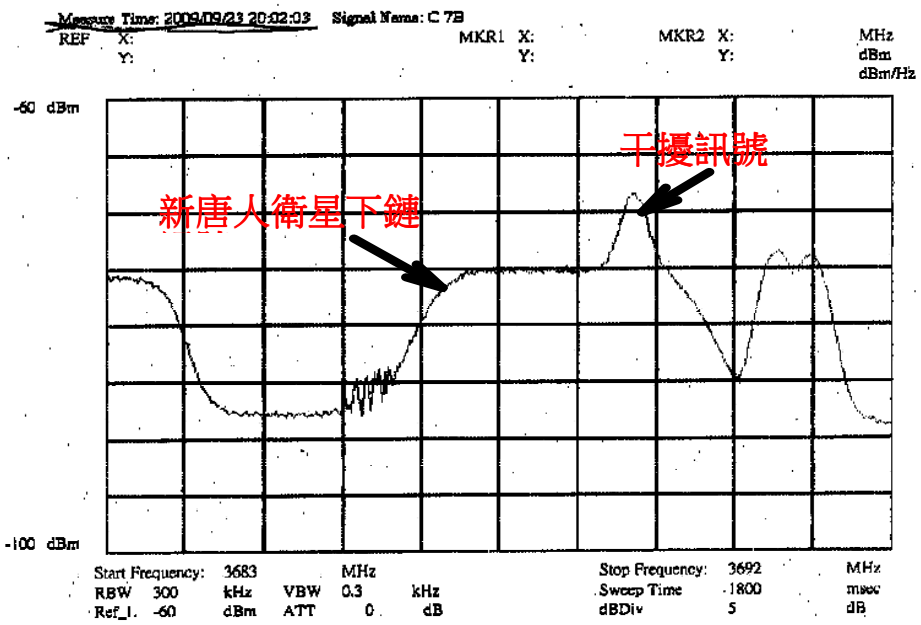
此外，由於衛星擁有大容量、高速率及涵蓋範圍廣泛等種種優點，使得通信衛星能提供多元且多樣之寬頻接取服務。全球先進國家與跨國通信業紛紛投入寬頻衛星通訊技術及應用的研究，期望能拔得頭籌搶佔市場。而欲達成真正衛星寬頻整體服務數位網路目標，首要技術便是將應用於地面光纖的 ATM 技術，移轉至衛星上處理。

二、3-6GHz 干擾案件處理技術及分析

(一).衛星干擾

1. 新唐人衛星干擾案件

2009 年 9-10 月，新唐人亞太台衛星訊號遭受不明訊號干擾。中新一號衛星於 1998 年提供商用通訊服務，屬新加坡與中華電信共用的早期商用衛星，無各項抗干擾機制與地面相關干擾查測技術。更無法在短時間內確定干擾源的地理位置資訊。新唐人衛星下鏈訊號與干擾訊號如下圖 2-2 所示。2009 至 2010 年陸續召開各干擾處理會議，中華電信公司提出遭受干擾處理流程，無法克服時，再藉由改變頻率進行播放。2011 年中華電信和新唐人雙方在 6 月完成中新二號衛星的租約，可利用新技術解決干擾問題。該干案案例整理如下表 2-12 所示。



資料來源：中華電信衛星公司

圖 2-2 新唐人衛星下鏈訊號與干擾訊號

表 2-12 新唐人衛星干擾處理

干擾類型	同頻干擾
干擾頻段	3689MHz
調變方式	DVB-S
干擾案件	新唐人亞太台訊號遭受干擾
處理過程與方式	1. 召開干擾處理會議，建立干擾處理流程。 2. 改變使用頻段或未來轉換 DVB-S2 新技術。
未來可行的解決方法與建議	1.假設干擾源地點不固定，干擾的時間很短且不是持續，以地面偵測站進行干擾源偵察將增加許多困難度。國際上常用衛星、熱氣球及飛機進行高空偵測以發現干擾衛星的發射源。其中最可行的雙星定位解決方案，成本較高。雙星定位技術的原理與應用說明如后。 2.目前的監測系統因受地形地物限制，且監測站又太稀疏，造成監測定位的盲點與死角。應建置成本較低與機動性較高的監測定位系統(例如:可攜式監測定向、TDOA運載式與行動監測定位設備)以建立更綿密的監測網。

資料來源：本研究整理

假設干擾源地點不固定，干擾的時間很短且不是持續的，欲偵測干擾源將增加許多困難度。目前可能的解決方案為雙星定位技術，其主要利用當衛星地面站將天線的主波朝向天空中衛星轉頻器(primary satellite)發射時，天線的旁波瓣(side lobe)所發射的訊號有可能被鄰近的其他使用相同頻段的衛星轉頻器接收(如圖 2-3)。運用兩顆衛星接收正常信號與干擾信號，經過運算可得頻率偏差(Frequency Difference of Arrival, FDOA)與時間偏差(Time Difference of Arrival, TDOA)其代表之兩條線於電子地圖上交測點即為干擾源之位置，其精確度約為交測點直徑 3 公里範圍，在業界算是很精確的技術(如圖 2-4)。

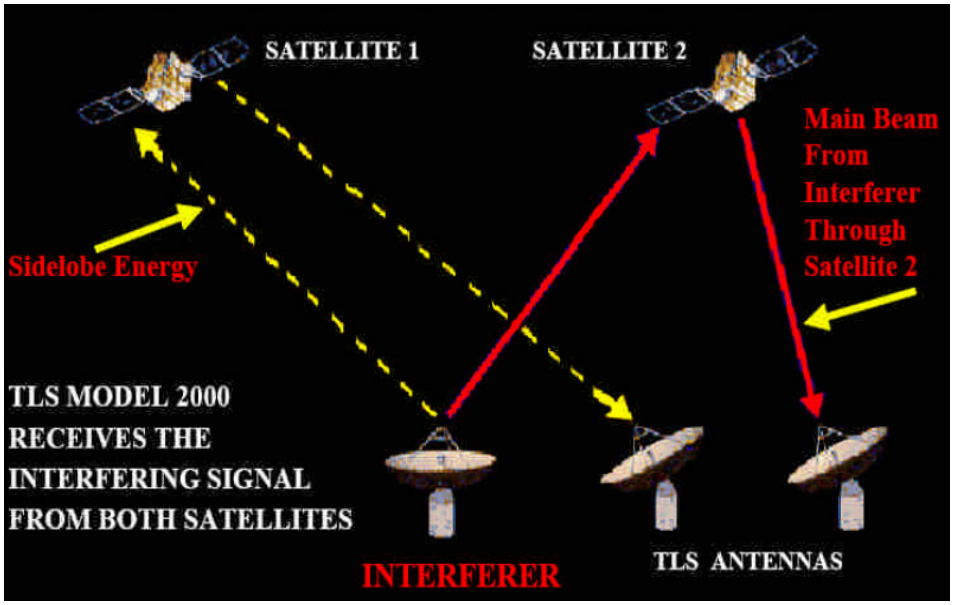


圖 2-3 雙星定位技術概略圖

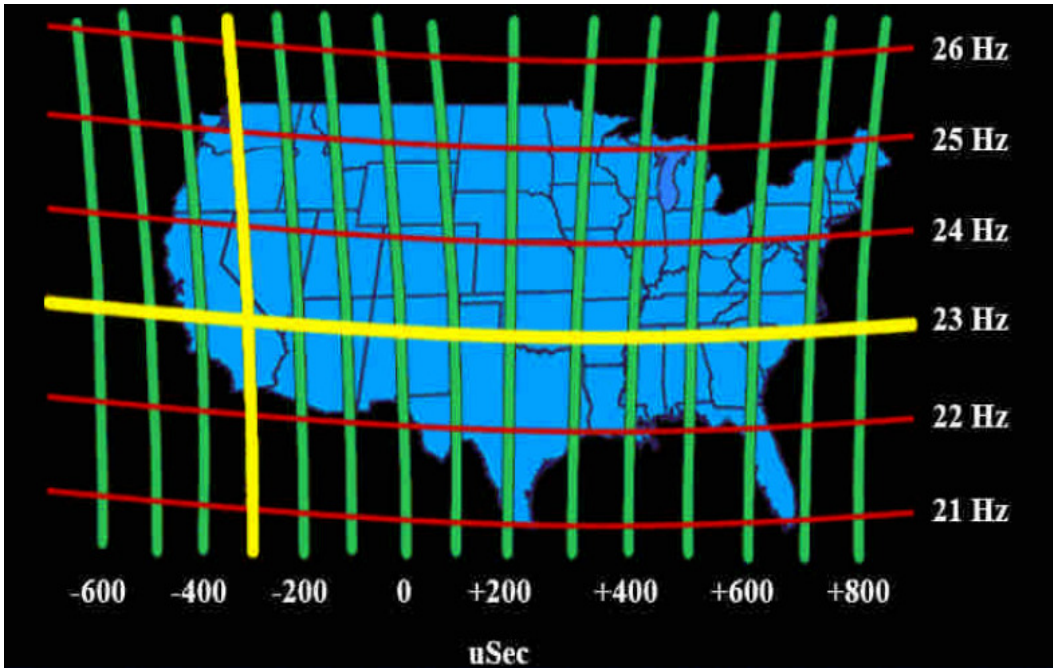


圖 2-4 利用雙星定位技術 TDOA(橫軸)與 FDOA(縱軸)定位干擾源

2. 中國 GPS 衛星頻段干擾案例

中國常有製造商遊走法律漏洞邊緣，製造相關干擾無線電頻段之相關產品，GPS 定位干擾器主要利用發射機發射與 GPS 同頻段之信號，使 GPS 接收器接收不到衛星訊號或干擾接收訊號，使自己的位置資訊(經緯度資訊, 速度與時間)不會回傳至監控中心的地理資訊系統，如此便不會暴露自己的位置於監控中心。然而在此同時，因為 GPS 干擾器發射了相同的頻段，致使在該區域的其他使用者或機構公司同蒙其害，舉例而言，在一些機場的管制中心常因 GPS 干擾器的使用者開啟，致使機場飛航管制中心無法解讀飛機進場的位置資訊，特別是高度位置。中國 GPS 衛星頻段干擾案例整理如下表 2-13 所示。

表 2-13 中國 GPS 衛星頻段干擾案例

干擾類型	同頻干擾
干擾頻段	1560MHz-1590MHz
調變方式	BPSK
干擾案件	大陸廠商製造大量的 GPS 衛星干擾器，影響鄰近的使用者。
處理過程與方式	1.訂定國際公約，禁止生產 GPS 干擾器。 2.強化 GPS 接收器的抗干擾能力。
未來可行的解決方法與建議	干擾源之辨識、分析與防制主要包括兩個層面分別為 (A). 頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。 (B). 假設干擾源地點不固定，干擾的時間很短且不是持續，以地面偵測站進行干擾源偵察將增加許多困難度。國際上常用衛星、熱氣球及飛機進行高空偵測以發現干擾衛星的發射源。其中最可行的是成本較高的雙星定位技術。 (C).目前的監測系統因受地形地物限制，且監測站又太稀疏，造成監測定位的盲點與死角。應建置成本較低與機動性較高的監測定位系統(例如:可攜式監測定向、

	TDOA 運載式與行動監測定位設備)以建立更綿密的監測網。干擾源之辨識、定位系統之建置與運用。

資料來源：本研究整理

綜合上述國內外干擾案件而言、干擾源之辨識、分析與防制主要包括兩個層面分別為(A).頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。(B).干擾源之辨識、定位系統之建置與運用，例如: AOA、TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統。在干擾的解決方案整理計有(1).提高發射機的性能抑制干擾源。(2).阻絕干擾源影響接收機之傳播途徑的手段分別為調整頻段(移頻)，設置保護帶寬。並執行相關干擾(時域、頻域、空域、極化域、通訊識別協定、碼域與功率域)的阻絕隔離等抗干擾方法以增加隔離度。(3). 提高發射端、接受端的濾波器頻譜遮罩性能。其對於干擾的防制方法分述如后。

(1) 提高發射機的性能

提高發射機的性能，就是要求發射機只發送工作帶寬內的有用信號，而不產生那些影響網路性能的帶外、互調變等信號。接收機性能不好，對待外的帶外信號、互調變信號抑制度不夠，同時又很容易被其他系統的較高功率的信號壓制，甚而無法進行正常的通信。在設計發射機和接收機的時候，選用線性度較高的射頻元件，如濾波器、放大器。在安裝的時候，確保元件接口之間穩定可靠，避免附近的金屬物件體對發射機、接收機的射頻性能造成影響。

(2) 阻絕干擾源影響接收機之傳播途徑

主要在於執行相關干擾(時域、頻域、空域、極化域、通訊識別協定、碼域與功率域)的阻絕隔離等抗干擾方法。

(a) 調整頻段(移頻)、設置適當保護帶寬(guard band)。

兩個相鄰、相近頻率的信號容易產生較大程度的相互影響，調整系統的工作頻段，在不同系統的工作頻段間設置保護帶寬，可以降低多系統的鄰頻干擾，提高各系統的網站性能。但是設置保護帶，也會降低頻譜使用效率與頻率資源的浪費。

(b) 增加異質通訊系統的隔離度

異質通訊系統之間保證一定的隔離度。例如: 全向天線通訊系統僅能依靠調整天線的高度與位置增加空間隔離度。定向天線通訊系統還可以調整定向天線的方向角與下傾角增加異質通訊系統的空間隔離度。因為在實際工作中，很難通過提高射頻性能，調整發射頻段(移頻)，增加發射濾波器頻譜遮罩性能的手段以降低異質通訊系統之間的干擾，增加系統間的隔離度，尤其是對空氣隔離度，往往是可實施的方法。隔離度需求由兩個因素決定：(1). 發射端發送干擾大小。(2). 接收機允許接收的最小干擾。

系統隔離度需求(dB)＝發射端發出干擾(dBm)-接收機允許的最小干擾

在此，針對不同種類的干擾 (帶外、互調變干擾也包括混附與諧波干擾)各國通常在射頻管制器材規範中明訂出隔離度(dBm)的要求與規定。在實際工程中，選擇隔離度要求最大的值為工程參考值。

接收機允許的最小干擾，往往讓靈敏度的允許下降值相容。靈敏度允許下降的越多，可以接收的最小干擾值就越大。

協議中規定的發射機性能指標及接收機性能指標往往是某一頻段，某一頻寬的數值：在計算隔離度的時候，需要注意發射機對接收機在什麼頻率位置進行干擾，單位帶寬干擾的大小。

當系統的隔離度需求有了之後，系統天線之間的空氣隔離度就可以確定了。系統隔離度要求減去射頻器件損耗與加上天線增益的影響，就是空間隔離度要求。

確定了空間隔離度(dB)即可解算出天線之間的距離。天線隔離後有三種方法：水平隔離，垂直隔離，傾斜隔離。天線水平間隔距離和隔離度之間的關係如下式所示。

$$D_H = 22 + 20\log(d/\lambda) - (G_t + G_r) \quad \text{.....(2-1)}$$

DH 為水平空間隔離度要求，d 為天線水平方向的間距，λ為載波中心頻點波長，Gt 為發射天線在輻射方向上的增益，Gr 為接收天線在輻射方向上的增益。

天線垂直間隔距離和隔離度之間的關係如下式所示。

$$D_V = 28 + 40\log(d/\lambda) \quad \text{.....(2-2)}$$

DV 為垂直空間隔離度要求，d 為天線垂直方向的間距，λ為載波中心頻點波長。

天線傾斜隔離時，水平與垂直間隔的綜合效果如下式所示。

$$D_S = D_H + (D_V - D_H) \times (\theta / 90^\circ) \quad \text{.....(2-3)}$$

Ds 為傾斜空間隔離度，DH 為水平空間隔離度，DV 為垂直空間隔離度，θ 為天線之間的斜線與水平線夾角。

(3) 提高發射端、接受端的濾波器頻譜遮罩性能

發射端增加濾波器頻譜遮罩性能，盡量避免發射端發生帶外干擾、互調變信號（intermodulation）也包括：混附與諧波。接收端增加濾波器頻譜遮罩性能，減少對帶外阻塞干擾、帶外互調干擾、帶外洩漏信號的接收，相對於提高了系統的免疫力和干擾能力。

第四節 特殊干擾辨識、分析(定位)與防制設備之探討

鑒於無線電波頻率的稀少性，無線通訊系統對頻譜的需求日益增大。而一些具有商機的頻段，每每成為拍賣場合下爭相競價的標的物。為了讓大眾能夠享受現代通訊科技所帶來的便利與暢通的通訊品質，有必要防止非法與不當使用頻率所衍生的干擾問題。在電信業務的頻譜監測與管理，就必須投注更多的技術、人力與物力。因此有賴於「高效率的頻率核配作業」與「精確有效的無線電波監測定位系統」協同合作以發揮干擾辨識、分析與防制的功能與成效。

通傳會(NCC)電波監測網在功能係採用 AOA-based 干涉術(interferomery)之技術。緣此，實有必要進行 AOA 監測定位系統之更新與功能提昇之研究，以解決 AOA 監測定位系統在特殊干擾辨識、分析(定位)與防制的侷限性。例如通傳會(NCC)現有 AOA 定位系統，並無法有效進行寬頻與脈衝等訊號的定位。再者，無線頻譜的應用與發展趨勢必然往高頻段方向發展，如第四代行動通訊—LTE (Long Term Evolution)與數位電視的發展與應用。國外已見 LTE 與數位電視干擾案例。如此，在頻譜的監測與管理必須投注更多的技術、人力與物力，電波監理作業也更形繁複。尤其，飛航干擾、低功率無線電設備、突發(Burst)與都會區干擾與行動(Mobility)干擾源均對干擾辨識、分析與防制帶來更大的挑戰與衝擊。其中主要主要的發展趨勢分述如后。

(一).需強化監測模組功能

傳統的電波監測系統僅可處理包括調頻（FM）、調幅(AM)等類比調變訊號，隨著無線通訊新技術的數位化與寬頻化之發展趨勢，包括分時多工接取（Time Division Multiple Access, TDMA）、分碼多工接取（Code Division Multiple Access, CDMA）及正交分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 等無線調變技術不斷推陳出新。如何在快速擷取這些複雜信號後，還能迅速辨識這些信號，以便快速解調及監測該信號，一切都有賴接收信號後的強大數位訊號處理（Digital Signal Processing, DSP），以提昇信號識別的能力[18]。

(二).需改善測向與定位模組功能

信號到達角度（Angle of Arrival, AOA）技術，主要係由特定架構排列的兩個以上相同天線接收信號的相位差，來獲得目標信號的方向角度。但AOA 技術對於寬頻訊號如正交分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)、多發射源（multiple sources）及多路徑(multipath)傳播將造成對於寬頻訊號的測向誤差大，且無法執行同時發射的多個同頻發射源之測向任務。另外，多重路徑（multipath）的傳播環境中，會產生嚴重的測向誤差。在實際情況下，監測站台與偵測目標之間的除了直射路徑（Line of Sight, LOS）之外，電波還會透過反射和散射後到達接收端，此時測量到的數據，如到達時間、時間差、入射角度等，將不能正確反映發送端與接收端的真實距離，這種現象被稱為多重路徑衰落（multipath fading）。多重路徑衰落會造成定位演算法性能的顯著下降，並造成測向角誤差。因此，如何正確辨識多重路徑傳播的影響是提升定位準確度的關鍵。

- 對於突發短信號的監測與定向

目前的電波監測系統對於長時間持續發射信號的掌握已不是太大的問題，但是突發性的、跳頻等短時間發射信號越來越多。如何快速掌握這些訊號，就有賴具有快速掃描和寬頻接收能力的監測接收機。因此，接收機寬頻即時(real time)特性，應具備即使如雷達設備發射非常窄的突發信號，也可以被偵測和分析。

- 對於微弱信號的監測與定向

隨著各種免執照的無線電器材種類及數量日益增加，電子設備所產生的干擾案件有逐年增加的趨勢，且由於電子設備大多位於建築物內，而且發射功率很小。以超寬頻（Ultra Wide Band, UWB）為例，其發射功率頻

譜就像噪音一樣，要如何偵測這類型態的弱信號，便有賴高靈敏度的接收機或藉由可攜式電波監測設備來偵測這些設備。

綜合上述，在飛航干擾、低功率無線電干擾、突發(Burst)干擾、都會區干擾與行動(Mobility)干擾源的頻率辨識、分析與防制上，相關的處理必須先以偵測發射干擾源，否則即使提升 AOA 監測定位系統的接收機性能來克服低功率無線電設備、突發(Burst)、行動(Mobility)與都會區等干擾，都需增加巨大的預算與成本。參照英國 Ofcom 與 E-911 已提出 TDOA 在監測定位的應用，本計畫藉由 TDOA 善於處理高速寬頻與克服多傳輸路徑之特性，將進行評估分析 TDOA 導入干擾辨識、分析與防制的可能性應用，並探討 TDOA 之設計實現的基本雛型架構以克服目前傳統 AOA 電波監測定位技術所遇到之限制，並經由協同 AOA 與 TDOA 監測定位系統以解決低功率無線電設備、突發(Burst)與都會區與行動(Mobility)干擾之可能性應用。

第五節 小結

特殊干擾各階段處理方法，如下所示：

- 特殊干擾情形發生前：應著重在各種設備相關審驗規範，且不限於射頻訊號發射設備，部分電子設備故障，也可能產生電磁干擾情形。
- 特殊干擾情形發生中：應判別為隨機或非隨機出現的干擾訊號，在偵測干擾訊號的方法，對大發射功率的干擾訊號由電波監測系統，輔助定位技術進行偵測。對於小功率之干擾訊號，ITU 與相關文獻顯示：監測站對於發射功率小於 1W 以下之發射之射頻器材，其偵測效果有限。因此往往需倚靠手持式頻譜分析儀或訊號分析儀，以人工進行偵測處理與判別狀況。
- 特殊干擾情形發生後：應建立各種訊號偵測處理與判別案例歸納。

綜合上述國內外干擾案件而言，干擾源之辨識、分析與防制主要包括兩個層面分別為(A).頻段核配之評估。(B). 干擾源之辨識、定位系統之建置與運用。在干擾解決方案主要計有(1)提高發射機的性能抑制干擾源。(2). 切斷干擾傳播途徑的手段分別為調整頻段，設置保護帶寬。並執行相關干擾的阻絕隔離等抗干擾方法以增加隔離度。(3). 提高發射端、接受端的濾波器頻譜遮罩性能。

系統隔離度需求(dB)＝發射端發出干擾(dBm)-接收機允許的最小干擾

當系統的隔離度需求有了之後，系統天線之間的空氣隔離度就可以確定了。系統隔離度要求減去射頻器件損耗與加上天線增益的影響，就是空間隔離度要求。

確定了空間隔離度(dB)即可解算出天線之間的距離。天線隔離後有三種方法：水平隔離，垂直隔離，傾斜隔離。

目前傳統電波監測定位技術，主要以 AOA 定位技術為主，AOA 定位技術所遇到之限制，與未來遭遇特殊干擾時，可導入 TDOA 監測定位系統協同 AOA 監測定位系統執行干擾防制的應用，其主要動機與原因敘述如下：

1. 對新興通訊的信號類型，如 TDMA、CDMA、FHSS 等信號分析能力有限：以跳頻展頻技術 (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)而言，是將頻道劃分為若干個小頻道，傳輸訊號在這些小頻道之間跳躍發送，對 AOA 定位技術而言，無法追蹤進行測向的載波頻率，因此無法進行偵測定位。TDOA 對於新興通訊的信

號類型，可以利用時域分析，將不同監測站所接收信號進行相關比對，所獲得時間差資訊，即可作為定位資訊使用。

2. AOA 在多重路徑環境下表現不佳，無法在城市或大都市地區使用：早期 AOA 電波監測站臺通常建議在地形至高點，由於城市變遷，原本建置點可能因為周遭大型建築物興建下，使得變成非所在地形的至高點，因此在多重路徑環境下表現不佳。TDOA 雖然也有多重路徑環境下表現不佳的問題，但相較於 AOA 影響程度較小。

3. 無法應付同頻在密集信號環境做監測：AOA 定位技術無法應付同頻號信號監測，尤其在同頻訊號密集的環境，TDOA 則可對同頻的信號類型，利用時域分析，將不同監測站所接收信號進行相關比對，比較是否接收到為同一發射源所發射之訊號類型。

4. 不支持快速掃描：AOA 定位技術是由兩個接收機對同一訊號進行相位比較，再藉由陣列天線切換不同的天線進行運算，無法進行快速掃瞄工作。TDOA 僅需單一組接收機，可對不同頻率的信號類型，進行頻率切換，就可整合接收訊號與 GPS 接收到時間資訊。

5. 需要大的天線陣列，且需要校准，使定位系統成本提高：AOA 定位技術需要陣列天線切換不同的天線進行運算，為配合需要較寬的頻率響應，因此天線體積較大，並且在安裝時需要對正北方進行校准作業。TDOA 僅需單一全向性天線，也無須進行校準，利用 GPS 接收到的經緯度資訊，即可開始進行作業。

電波監測定位技術，未來除 AOA、TDOA 定位技術以外，干擾處理案例其他偵測技術，主要趨勢包括：(1).「信號位置擷取與蒐集系統」(Signal Location, Intercept and Collection System, SLIC)。主要功能將即時定位結果進行儲存，以利日後追蹤與資料搜尋。傳統電波監測定位技術因儲存設備容量的侷限，導致無法將即時定位結果儲存記錄，以進行後續的測向信號分析與解調、解碼。(2). AOA 與 TDOA 混合定位技術。利用 AOA 與 TDOA 資訊互補方式，結合相互優點進行電波監測定位，但目前蒐集各國電信監理機構等相關資料，尚未將兩種先進技術實際納入電波監測管理，故本研究著重於分析並探討 TDOA 技術的發展與實現。

第參章 定位技術之發展趨勢與研析

本章節主要探討無線電定位技術介紹，暨舉辦 AOA/TDOA 定位技術研討會之過程與成果。在特殊干擾方面，首先探討 AOA 定位干涉術、定位精確度與 TDOA 自動定位技術之原理。在舉辦的 TDOA 定位技術研討會中，本研究邀請相關知名廠商 NI、TCI、安捷倫進行專題演講與交流互動，其中探討建置站台的限制條件(天線型式、網路頻寬、站台位置、站台服務涵蓋範圍等)、定位誤差來源、優缺點與適用情境。作為後續 TDOA-based 實現與實測設計之參考。再者，經由 TDOA 定位技術研討會完成對市場進行充分的瞭解與研究，取得業界間可以提供的 TDOA-based 定位系統的合理規格，以建置一套兼具彈性與親和性的客製化(Custom-oriented)「TDOA-based 定位系統」的可行性評估，以做為未來建置「TDOA-based 定位系統」設備規格之依據。

第一節 無線電定位技術簡介

無線定位技術主要分為時間到達(Time of Arrival,TOA) 、角度到達(Angle of Arrival,AOA)、和接收訊號強度 Received Signal Strength (RSS)，三種技術。

一、TOA 與 TDOA 定位技術

TOA 定位技術又稱飛行時間(Time of Flight ,TOF)定位，定位系統的幾何原理，是利用各訊號接收點的訊號的傳播時間，來決定圓半徑的參數，由於電波訊號的傳播時間同光速。各個接收點所量測到的 TOA 可以用來形成不同的圓圈，利用這些圓圈的交點即可判斷出訊號發射源的位置。例如手機 GSM 訊號定位，或全球衛星定位系統（Global Positioning System ,GPS）皆是利用該技術實現。

TOA 定位技術最大的問題，在於發射機與接收機需要進行同步，因此，發射的訊號必須內藏時間資訊，藉由接收時間與訊號的內藏的時間，進行比對，才能解出訊號在空中的飛行時間，再由電波訊號的傳播時間同光速，解出距離資訊。例如 GPS 系統，由衛星發射出特定編碼的無線電信號，在待測範圍內的接收器，利用衛星持續發出的特定編碼（Gold Code），得知訊號在空中的飛行時間。

但無論一般訊號或干擾訊號，無法期望發射機與接收機能進行同步，也無法確認發射的訊號是否內藏時間資訊，以及時間的準確性。因此，TOA 延伸的時間差到達（TDOA）技術定位，好處是發射機與接收機方面不需要同步，接收器就能夠藉由所謂的自動訊號相關（auto correlation）的方式，得知待訊號發射源所發出之信號、到達接收器時所花費的時間（arrival time）；再藉由三個以上的接收器所測得的三個以上到達的時間差（difference），計算發射源的正確位置，這就是所謂的時間差到達定位原理。

二、AOA 定位技術

角度到達定位技術，能得知發射訊號源與被偵測點方向角度，再經過三角定位法，利用兩個以上的偵測點量測到之測向線(Bearing)的交點，獲得被偵測點的位置(經緯度)，測向線越多定位的精準度就越高。

由於 AOA 定位技術，發射機與接收機也無須進行同步，發射的訊號不用內藏時間資訊，且可以透過單一偵測點進行偵測方位。因此，在電波偵測技術上，最早被使用在定位技術上。

AOA 定位技術基本原理是利用電波(wave front)電場形成之等相位面垂直於其傳播方向，沿東西方向排列間距與兩天線與來自方位角方向頻率。無線電波通過兩天線時存在一個時間差異(time difference，Δt)，存在一個相位差異(phase difference，$\Delta \varphi$)。經由測向系統可針對頻率之電波信號，推算出電波傳播的方位角。

三、RSS 定位技術

訊號強度定位技術是利用接收信號的強度做偵測，依照強度大小來判斷所發射的電波與接收端的距離，每個鄰近的偵測點都可以透過發射的無線電波強弱來判斷訊號發射源與接收點的相對位置。

計算在自由空間損失中的能量衰減損耗比即是傳送端與接收端的距離，然而多重訊號會有不同大小的強度和相位傳遞到接收端，也因此頻率會因為訊號的重建和破壞造成頻段選擇的干擾改變，使用寬頻接收可以有比較佳的接收訊號及降低干擾。在統計模式中（例如：Hata model），一般衰減損耗比 ，為，為路徑衰減(Path Loss)指數，通常為 2~4 之間，整體平均接收功率與距離關係為下式：

$$\overline{p}(d) = p_0 - 10n_p \log\frac{d}{d_0} \quad \text{.....(3-1)}$$

RSS 定位技術必須先得知訊號發射源準確的有效輻射功率，再計算路徑衰減，然而干擾訊號很難正確預測有效輻射功率。此外，路徑衰減受限傳播模式、發射與接收高度、天線與場強等，參數錯誤則估算誤差會造成極大出入。因此 RSS 定位技術並不適用在干擾處理之定位技術。

由上述可瞭解，在受限於發射機與接收機也無須進行同步，發射的訊號不用內藏時間資訊也無須正確得知有效輻射功率的定位技術，僅 AOA 與 TDOA 定位技術。其中又以 AOA 可單點進行定位，且對訊號類型無須進行最佳化，因此最早被電波偵測技術所採用。現階段國際在干擾處理之定位技術，皆以 AOA 與 TODA 定位技術為主，利用 AOA 混合 TDOA 或者 AOA 混合 RSS 等，混合式定位技術由於可增進定位精準度，或者彌補各單獨定位技術之缺點，也逐漸被廣泛採用。

第二節 AOA 與 TDOA 定位技術

AOA-based 技術已經實現於現有電波監測系統的侷限性包括(1). 寬頻數位訊號解調變及高精確度測向能力。(2). 突發短信號及微弱的測向與定向。尤其在都會區干擾中，監測站台與偵測目標之間的除了直射路徑（Line of Sight, LOS）之外，電波還會透過反射和散射後到達接收端，此時測量到的數據，如到達時間、時間差、入射角度等，將不能正確反映發送端與接受端的真實距離，這種現象被稱為多重路徑衰落（multipath fading）。多重路徑衰落會造成定位演算法性能的顯著下降，並造成測向角誤差。因此，如何降低多重路徑傳播的影響以提高測向定位準確度，是未來監測系統的發展趨勢。

一、AOA-based 干涉術(interferometry)技術原理與精確度分析

(一).AOA 干涉術(interferometry)技術原理

我國電波測向的核心技術主要運用 AOA-based 干涉術(interferometry)技術，其 AOA-based 干涉術測向定位技術主要運用於 UHF (Ultra High Frequency)與 VHF (Very High Frequency)的直射波(Line of Sight) 頻段。對於 HF (High Frequency)頻段測向定位技術而言，由於 HF 主要為天波(Sky Wave)的非直視波(Non-line-of-sight)屬性，其測距精確度深受電離層(Ionosphere)的影響[19][20]。根據圖 3-1 所示，其關鍵技術如下:

(1).利用前述「相位差測向法」偵測出電波入射方位角。

(2).偵測出電波入射的仰角(此迴異於 UHF 與 VHF 頻段)。

(3).測得電離層反射高度(hi) 。運用 hi 與電波入射的仰角的關係，

以求得發射電台的距離 NT(NT=2 × $\cot\theta$)。目前 NCC 已具有國際監測站，並針對 HF 頻段進行監控與定位。

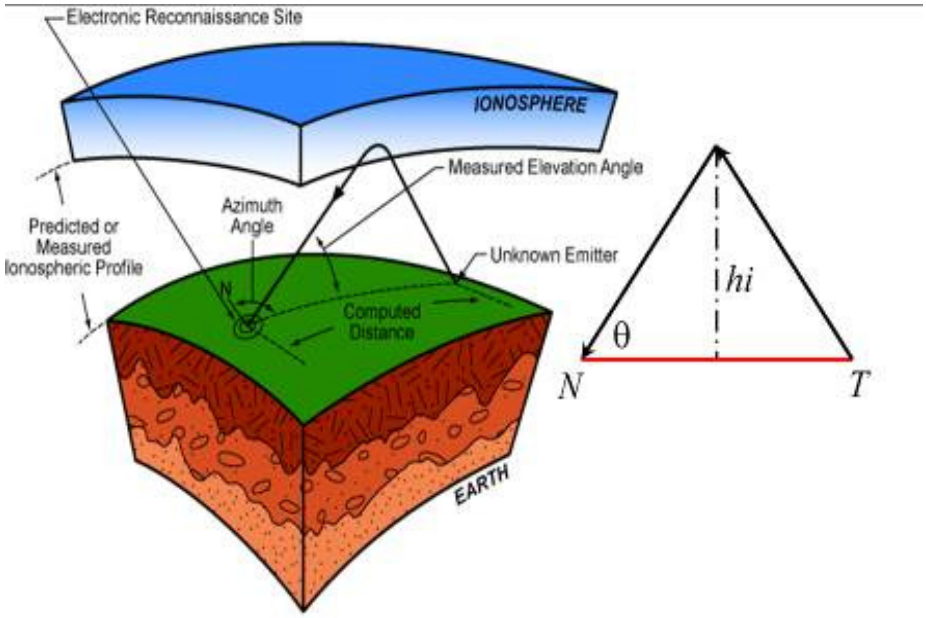


圖 3-1 HF 頻段無線電波測距原理

參考圖 3-2，現行測向與定位模組功能可運用兩個以上不同的監測站即可藉由交測的功能達到定位(Allocation)的目的，迅速地搜尋到發射源的經緯度，以達到保障合法發射台的目標。

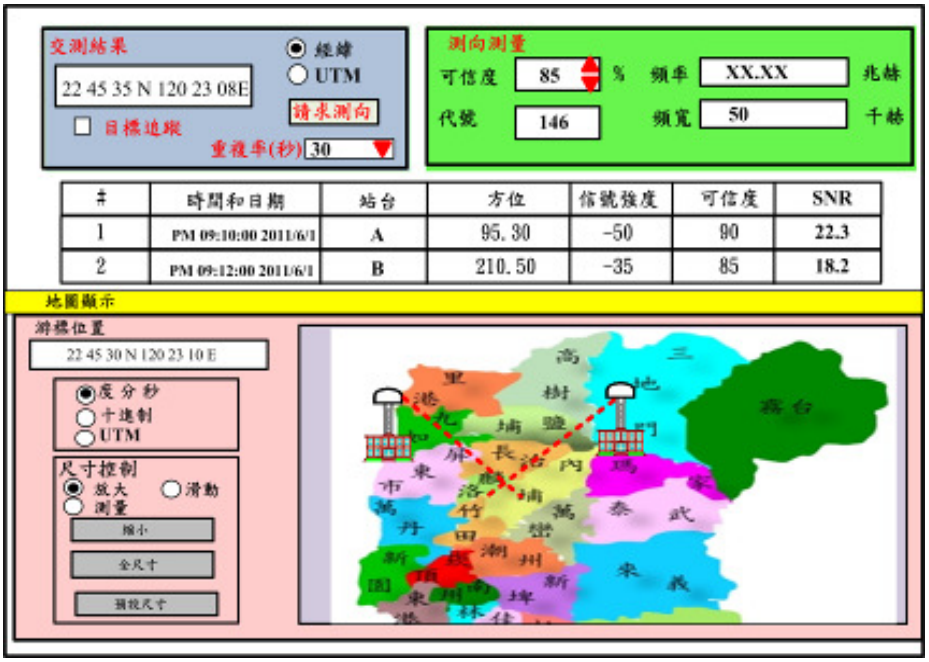


圖 3-2 現行電波監測系統測向與定位介面

定位(Location)的基本原理主要運用三角定位法。當我們得知兩條以上的測向方位線(Bearing)，即可獲知發射電台的位置(經緯度)。現行電波監測系統係採用相位差與單通道振幅之測向技術，運作機制如圖 3-3 所示。

(1). 給定欲偵測目標物 (發射電台的中心頻率 f)

(2). 由已知定理計算出波長λ，其等於光波速度 C 除以頻率 f (θ=C/f)。

(3) .單極的天線(Dipolar Antenna)相互間的距離為 D。

(4). 參見圖，可證得其幾何三角的關係式，其滿足入射波與正北方向角θ等於角 B。因此波前到達天線 A 與 B 的路徑差(Path Difference) L 為

$$L = D \times \sin\theta \quad \text{.....(3-2)}$$

因此，某發射電台的電波到達兩天線(焦點)的相位差值(Phase difference)為

$$\Delta\phi = D \times (\sin\theta / \lambda) \times 2\pi \quad \text{.....(3-3)}$$

由於波速 C=λ (波長) × *f*(頻率)，方程式(6-2)可置換為

$$\Delta\phi = D \times \sin\theta \times (f/c) \times 2\pi \quad \text{.....(3-4)}$$

換言之，所求得的相位差值($\Delta\phi$)代表某發射電台的電波到達兩天線(焦點)的時間差值(Time difference)。根據方程式(3-4)即可由測定$\Delta\phi$推導出無線電波入射方向θ，如此可決定方位測向線 (Bearing)。

(5). 根據圖 3-3 的幾何分析，將上述的觀念擴展至五對(Five Pairs)單極的天線，以達到更精確的測向線。

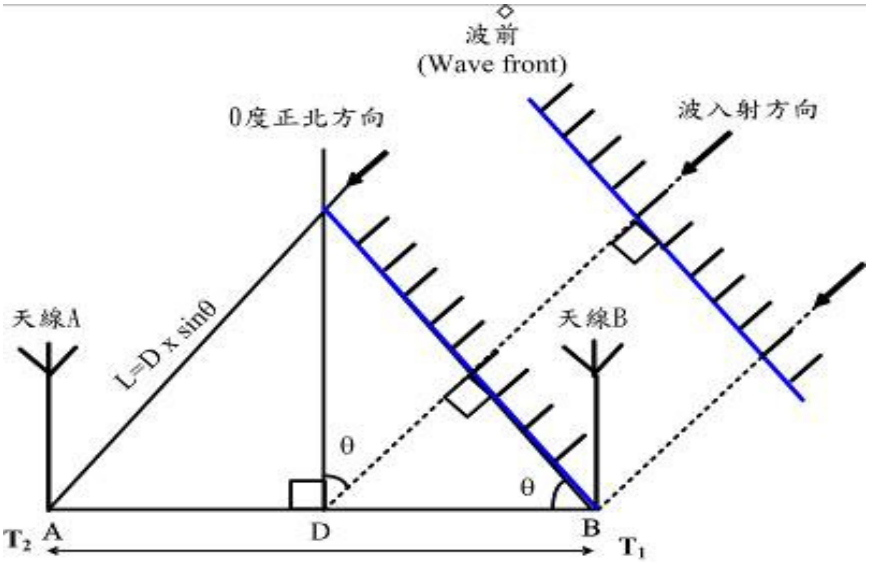


圖 3-3 無線電波相位差測向(Bearing)原理

AOA-based 干涉術(interferometry)可設計成五根彼此獨立之 Dipole Antenna 構成五角形天線陣列(Pentagonal Antennaen Array)，如下圖 3-4 所示：

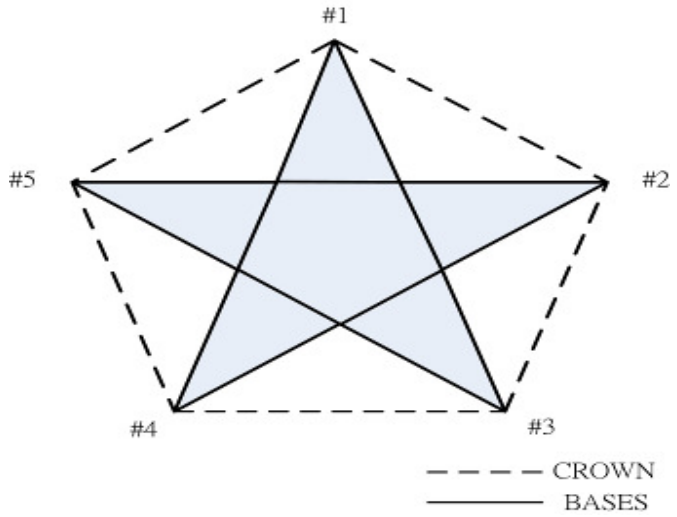


圖 3-4 Dipole Antenna 構成五角形天線陣列

上圖 3-4；星形連線表示在每根天線測得之電波相位ϕ後，即可得知$\Delta\phi_{13}$、$\Delta\phi_{24}$、$\Delta\phi_{35}$、$\Delta\phi_{41}$、$\Delta\phi_{52}$。

以五組相位差來代入$\Delta\phi = D\times(\sin\theta/\lambda)\times 2\pi$，由電腦程式解算選擇其中一組$\Delta\phi$，決定出最佳電波入射方向，便是目標物測向之方位角。

提高 AOA 系統定向精確度的關鍵技術分別為：

A. 校正檔案之製作(Calibration File)。

B. 線性內插法比對 Calibration File，解算五組ϕ_{op}。

C. 使用 Mean Square Comparision 來趨近θ_{meas}。

D. 使用拋物線(Parabolic)內插法來解算θ_{real}。

E. 使用 Double Calculation 來修正相位差值。

F. 使用 MASKED DIPOLE 法則之補救措施，避免 Dipole Antenna 障礙發生時；解算出錯誤θ_{real}。

(二).AOA 定位精確度分析

現行 AOA 測向定位方法是基於交叉定位法。雙站交叉定位法是常用的定位方式，此法的基本原理是由兩個測向站對同一目標進行測向，利用三角學公式計算出（或用幾何學的方法在地圖上交會出）目標的所處位置。如圖 3-5 所示，通常兩測向站 DF_1 及 DF_2 的位置坐標已知，設兩測向站座標為 DF_1（x_1，y_1）與 DF_2（x_2，y_2），兩測向站對目標進行測向後得到的方向角分別為（Φ_1，Φ_2），則兩條方向線的交會點 T 被認為目標所處的位置座標（x_t，y_t）。

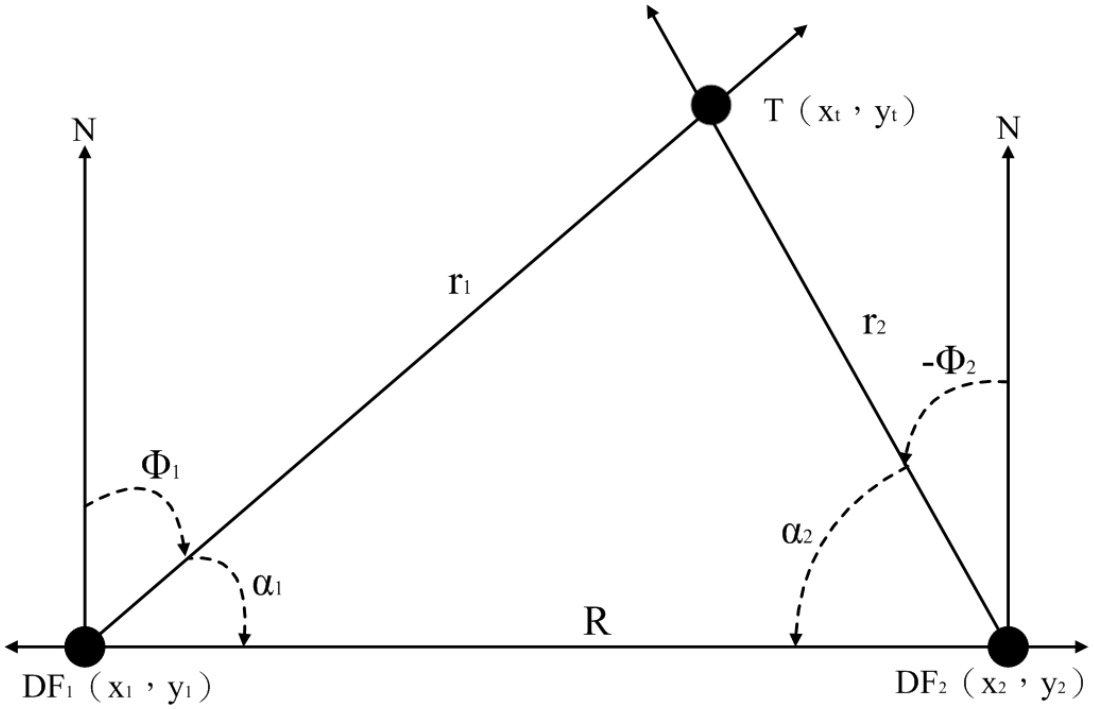


圖 3-5 雙站交叉定位示意圖

若前述兩個測向站的位置座標 DF_1（x_1，y_1）及 DF_2（x_2，y_2）精確無誤差，測向設備對目標實施測向時亦無測向誤差，如此依照前述介紹的交叉定位法可得到交點位置就是目標的真實位置，而不致產生定位誤差的結果。但實際上測向站的位置座標及量測的方向角（線）都不可避免存在定位誤差。

當測向站的位置座標精確無誤差，並設兩個測向站的最大測向誤差均為 $\Delta\theta$ max，則真實來波方向分別位於以方向線（Φ_1，Φ_2）為中心 $\pm\Delta\theta$ max 扇形區域範圍內，如圖 3-6 所示。

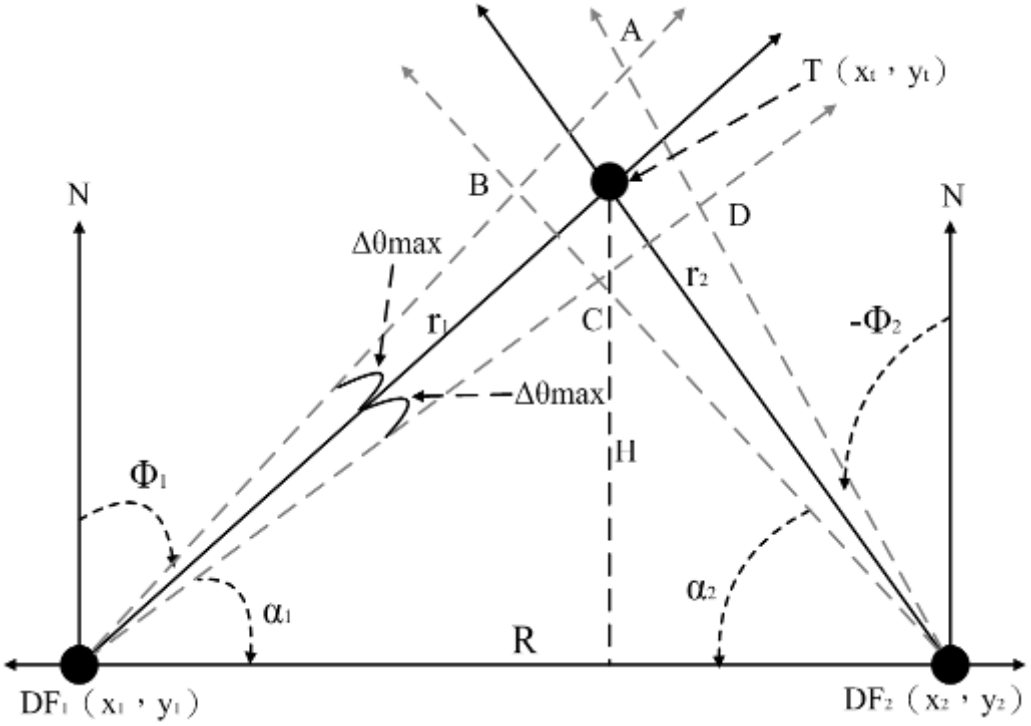


圖 3-6 雙站交叉定位模糊區示意圖

目標的真實位置應該位於兩扇形區相交的四邊形 ABCD 區域內，因為最大測向誤差範圍為±Δ θ max，所以目標的真實位置可能在四邊形 ABCD 區域內的任何點上，由於無法確定目標位於四邊形 ABCD 區域內的真實位置，因此四邊形 ABCD 稱為定位模糊區。

系統定位精度高低的重要指標是定位模糊區面積的大小，當四邊形 ABCD 的面積愈小，則表示定位精度愈高。設目標距離測向站很遠，即相對於四邊形 ABCD 的邊長而言，目標距離兩個測向站基線 H 是很大，r_1 與 r_2 亦即很大，Δ θ max 則較小，如此四邊形 ABCD 可近似為平行四邊形。此時平行四邊形 ABCD 的面積近似於四邊形 AETF 面積的 4 倍，而平行四邊形 AETF 兩邊對應的高近似對應的一段圓弧[21][22]。

二、AOA/TDOA 與 TDOA 定位系統技術分析

，信號抵達的時間(Time of Arrival, TOA)定位法的原理是由三個以上的基地台接收到使用者所發送的訊號，並量測出使用者與基地台間的延遲時間(TOA 值)，轉換成使用者與基地台之距離。如此，可運算出使用者之位置。但因基地台需測量出使用者抵達之延遲時間，及使用者與基地台都需要有訊號同步機制才可以得到準確的 TOA 值。如圖 3-7 所示，由於 TOA 定位法之使用者的同步機制非常繁複且干擾發射源不致提供同步時間資訊，較難適用於辨識、分析(定位)未知發射源的無線電波監測定向系統。

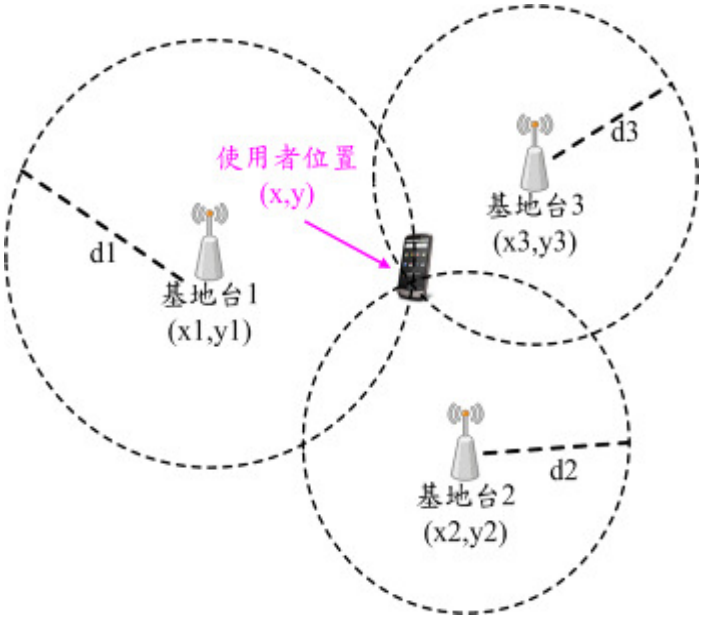


圖 3-7 TOA 定位法之示意圖

TDOA 與 TOA 定位法之選用，是因為 TOA 定位法需要行動端與基地台有著精確的同步訊號。大多同步的方式為搭載一個精準的計時裝置，在訊號封包中加入時間的資料，而基地台接收資料後將封包中的時間資料與現在時間進行比對計算，就可以取得這筆封包傳遞的 TOA 值。若計時裝置稍有誤差則會造成 TOA 值計算上的錯誤。而採用 TDOA 定位法可避免這樣的問題產生，因基地台只需接收由行動端發射的訊號，再比對兩基地台間所接收到訊號的時間差，即可得到 TDOA 值。只需基地台之間有著精確的同步訊號即可，省去需要與行動端同步的設備，只是增加了計算上的難度。相較於 TOA 定位法，由於 TDOA 定位法不必得知干擾發射源的同步時間資訊，可以導入無線電波監測定向系統，以解決干擾源的辨識、分析(定位)與防制。

(一). AOA/TDOA 自動定位系統

基於 TDOA /AOA 混合定位技術的附加定位功能實現已被建置於3G電信網路的信號和系統資源上。其主要的優點包括：當有超過 3 個監測基站的設計，會增進 TDOA 方法的精確性。由於 3G 電信網路系統上主要採用寬頻帶分碼多重擷取(Broadband code-division multiple-access, CDMA)的方式，其高細元速率(high chip rate)具有高度 Time sensitivity 的特性，非常適用於 TDOA-based 的定位系統。

AOA/TDOA-based 的 3G 電信網路系統中運作機制為：首先運用時間差到達（TDOA）的前向鏈路(forward link)的測量導引信號(pilot signal) 以解算 3G 電信網路 使用者的地理位置。接著，運用建置於 Home base-station 的智能天線(smart antenna)與反向鏈路(reversed link) 的導引信號，以解算蜂巢架構(macro-cell configuration)內準確的 AOA 測量角度。如此，當 TDOA 定位產生混淆問題(Ambiguous problem) 時，3G 電信網路的定位系統可藉助 AOA/TDOA 的互補機制以提高 TDOA 的定位精確性。

(二).TDOA-based 定位技術原理

TDOA-based 定位法是利用發射機到接收機的時間差，反求出發射機到接收機的距離，定位方法如圖 3-8 所示。利用三個以上接收機，以其到發射器的距離畫曲線，三個曲線的交點即為發射干擾源。TDOA 定位法的主要特徵包括：

- TDOA 方法不需要接收機和發射源同步。
- 由信號 correlation 的方式，解出接收機所測得 arrival time 的差（difference）對應於距離差(D_1-D_2)，即能夠計算出待測物體的正確位置。

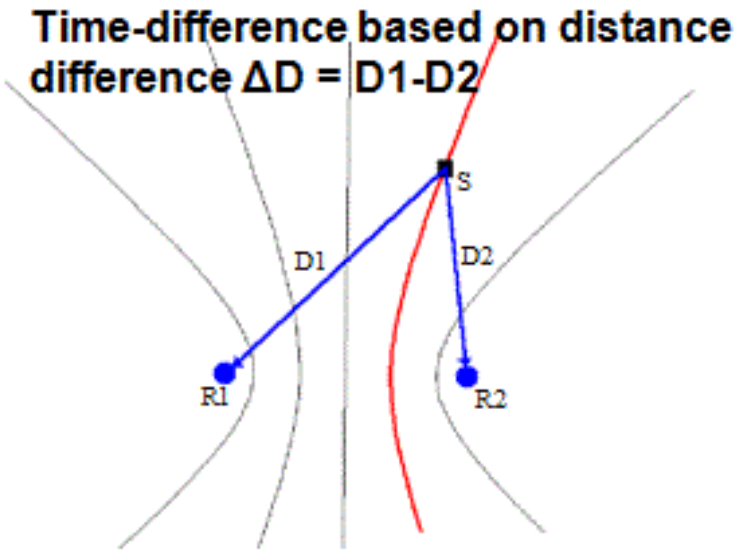


圖 3-8 TDOA 的原理概述

假設發射機(待定位物)的座標為(x_T，y_T)，接收機 A、B、C 的座標分別為(x_A，y_A)、(x_B，y_B)、(x_C，y_C)，d_A、d_B、d_C 分別為接收機 A、B、C 到發射機 T 的距離，其數學表示為：

$$d_A = \sqrt{(x_A - x_T)^2 + (y_A - y_T)^2} \quad \text{.....(3-5)}$$

$$d_B = \sqrt{(x_B - x_T)^2 + (y_B - y_T)^2} \quad \text{.....(3-6)}$$

$$d_C = \sqrt{(x_C - x_T)^2 + (y_C - y_T)^2} \quad \text{.....(3-7)}$$

時間與距離的關係式為

$$d_{ij} = ct_{ij} = c(t_i - t_j) = d_i - d_j \quad \text{.....(3-8)}$$

因此，在 TDOA 定位法則中，利用三個接收機到待測物所得之時間差，利用公式以得到待測物之位置。TDOA 又稱為雙曲線導航(Hyperbolic Navigation)，其待定位點將位於以兩個接收機為焦點所畫出雙曲線之交點。一般來說，N 個接收機將會得到 N-1 個獨立數值，若使用兩個獨立雙曲線將可得到平面定位位置，但若其中一數值有誤差即及無法準確定位，因此增加接收機之數目，則可提高定位的準確度，並且還可將平面定位延伸至空間定位。

TDOA-based 定位方法是先估測每三個量測站配對偵測信號到達的時間差，再依據預先設計的演算法將確定的時間差值相應匹配為某一條雙曲線群組族。此類似於 AOA-based 方法中得到一條方位線(lines-of-bearing, LoB)。若能再次獲得更多可用量測站配對的信號時間差，即可求取多條雙曲線群組族的相交點，以實現 TDOA-based 的定位技術。相較於前揭所介紹的我國既有 AOA-based 定位技術，會使多條方位線無法匯集在相同的定位交點上導致定位誤差的範圍。相同的情況 TDOA-based 會因可用量測站配對的信號時間差估測誤差，造成如圖 3-9 所示的 3 個雙曲線群組族無法匯聚在交點上，導致出現定位誤差的範圍。配合三組雙曲線的交點，其降低 TDOA 定位系統誤差的判斷準則歸納兩點如下，其監測的能量大小與站台幾何地理位置規劃重點會影響 TDOA 監測定位系統的設計。

- 信號源最接近接收機 R3。
- R1，R3 和 R2，R3 的配對比 R1，R2 的配對要佳。

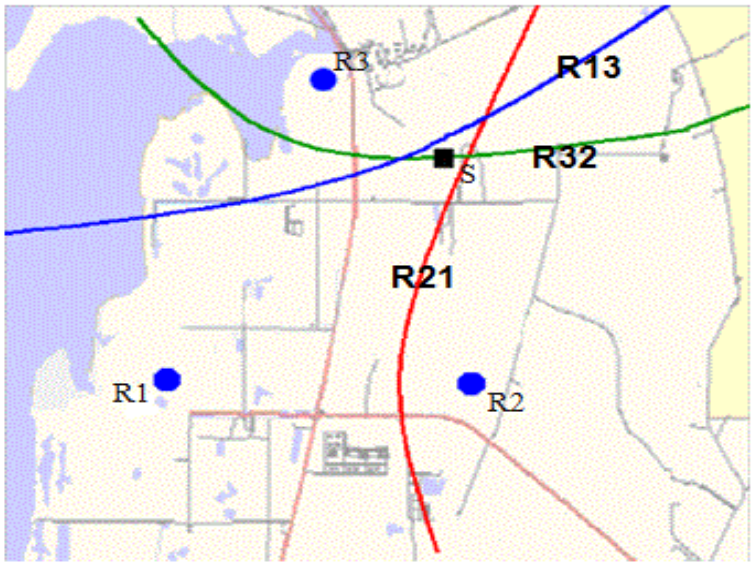


圖 3-9 TDOA-based 誤差範圍評估

第三節 TDOA 定位技術設備供應商能力評估

為因應未來迅速發展的通訊技術所衍生的特殊干擾問題，本研究在九月中旬舉行 TDOA 定位技術研討會。本次研討會邀請多位專家學者與無線電波定位製造/設備商一同參與，為未來電波特殊干擾技術與方法評估貢獻心力，希望藉由研討會加速學術與廠商現有技術的結合，以推動國內處理相關干擾案件的技術與防範。

無線電通訊事業及各種技術的蓬勃發展，使得監測定位干擾源的困難度增加，伴隨著無線電干擾頻率的案件也遽增。本次研討會針對訊號到達時間差(Time Difference of Arrival, TDOA)定位技術系統進行探討，並且更進一步，藉由無線電波定位製造/設備商的能力指標評估，研提 TDOA 與信號到達角度 (Angle of Arrival, AOA)AOA 定位系統的互補應用。研討會主要目的在於分析與探討 TDOA、AOA/TDOA 在特殊干擾(飛航、低功率無線電設備、突短微弱與都會區等干擾)辨識、分析(定位)與防制的解決方法。並且提出各家廠商對 TDOA 建站設置的建議，以提供通傳會(NCC)作為未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之參考。

在 TDOA 定位技術研討會之前，本研究已針對 3GHz 到 6GHz 頻段與 VHF/UHF 頻段的同頻干擾、鄰頻干擾與互調變干擾等等，蒐集國際最新的處理技術及方法，暨對於現代陸地通訊技術發展情況，進行資料的文件分析與問題評估。研討會之前，專家學者也對此次的 TDOA-based 定位系統進行廣泛的討論與研究。包括供應商的現況與能力指標分析、TDOA-based 實測模擬環境建置等等。接著在民國 101 年 9 月 14 日(星期五)舉辦「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位技術研討會」，進行專題演講、交流互動、技術報告與說明。研討會中邀請邀請通傳會(NCC)資源技術處與會指導，暨邀請 TDOA-based 定位系統的監測設備供應商，現場講解另外關於定位系統相關設備規格：接收機、測向天線、測向處理器、電力設備、網路設備、GPS 接收機、通訊界面與資料庫管理系統等。除了蒐集資訊與確認設備規格外，這次研討會更深入分析 TDOA 的站台建置計畫，對於定位系統的有效覆蓋容量、系統可靠性、回應時間、應用價值都有更進一步的了解。並且多方面地討論 TDOA 站台的地理因素，其對監測站位置的分佈與服務涵蓋範圍的影響，但最主要的是針對於「特殊干擾處理技術與方法」的各項需求與解決問題提出適當的看法與討論。

第四節 AOA/TDOA 定位技術研討會

一、AOA/TDOA 定位技術之研討議題

✧ 下表勾選的選項為設備商提供的研討議題

TDOA 定位技術之研討議題				
研討議題		NI	TCI	Aglient
定位範圍及站台數目評估	建站的設備規格	✓	✓	✓
	應用實例		✓	✓
	定位範圍	✓	✓	✓
	定位準確度(定位誤差來源)	✓		
	監測站位置分布	✓	✓	✓
	可監測信號類型之關係	✓	✓	✓
建置站台的限制條件	天線型式	✓	✓	✓
	網路頻寬、網路需求的考量	✓		✓
	發射電台與接收量測站台幾何位置	✓	✓	✓
	定位系統的有效覆蓋和容量	✓	✓	✓
優越性能與實用情境	站台建置實際情況			✓
	系統複雜性	✓	✓	✓
	多重路徑寬頻訊號傳播	✓	✓	✓
	同步時間精準度	✓		✓
實機展示或功能模擬展示	測向定位精確度	✓		
	監測應用程式功能			✓

- 舉辦日期時間：民國 101 年 9 月 14 日(週五) 上午 09:30～下午 19:00
- 舉辦地點：國立虎尾科技大學綜一館 2F 光電系會議室
- 指導單位：國家通訊傳播委員會
- 主持人：計畫主持人 張耀堂博士
- 與談人：出席代表

單位	姓名
國家通訊傳播委員會	陳福良
高苑科技大學	張耀堂博士
高苑科技大學	王春清博士
國立彰化師範大學	熊大為博士
國立虎尾科技大學	鄭旭志博士
國立虎尾科技大學	林易泉博士
財團法人工業技術研究院	李國龍博士
美商國家儀器股份有限公司(NI)	蔡鎮宇
美商國家儀器股份有限公司(NI)	黃翔銍
TCI/竑傑科技	林峰全
安捷倫(Aglient Technologies)	章鴻仁

二、AOA/TDOA 定位技術研討會紀錄摘要

(一).美商國家儀器股份有限公司：

- 最小時脈及最大距離限制來自於時脈的準確性，而時脈同步精確性已有±15nsec 的規格。

- 雖然軟體與硬體都已開發出來，但對於站台佈點範圍的議題，第一是目前只有計算出站台的最大及最小距離限制。第二是要對訊號作解調,而每個訊號例如 FM 或 3G 的訊號解調都有差別，所以還無實測。
- 在誤差範圍中，理論上已有數據，但實際上訊號強度在郊區與市區不同，也有多路徑傳輸等問題。所以誤差範圍只能估計出來。
- TDOA 在市區的佈局會更緊密，所以價格較便宜，相對 AOA 而言反而對小功率訊號比較好偵測。
- NI 是在硬體先拿到原始數據，接著放進軟體做分析，不管什麼分析都是用軟體去做計算。
- 軟體定義無線電：在軟體以及可重複設定的硬體上實現高頻通訊演算法，只要更換軟體，便可做不同的應用。例如在郊區的 AOA 偵測車開到市區，只要更換軟體，便可以使用 TDOA 的定位技術。
- 對於站台建置的實際情況，在驗證測試與實際規劃上因為有商業的考量，畢竟真正有實際建站的很少，如果未來的建站可能性不高，廠商方面並不會花費去做校驗。
- 使用基於 PXI 平台的系統機收機硬體架構，並把轉換器、濾波器、變頻器等等硬體完全把它拆開，單獨做成一個一個的模組。
- 硬體前端先把要的訊號隔離開來，再降低雜音基底，不造成訊號失真，降頻之後會有其他干擾，再把需要的訊號擷取出來。
- PXI 系統是共用的，所以也可以拿別家廠商的模組放進去，最後把硬體整個模組串連起來後，NI 有提供整個城市可以直接拿來使用，而且也對單獨模組提供程式。
- PXI 的硬體特點：8 槽 3UPXI Express 主機殼，有 12GB/s 系統頻寬；嵌入式控制器，2.3GHz Inteli7 四核處理器；高性能訊號(3.6GHz)/頻譜分析儀(14GHz)；GPS 同步+高精度參考時脈。

- 頻率範圍是 20MHz 到 3.6GHz，可以達到 50MHz 的瞬間頻寬，連續紀錄超過 8 小時。
- 系統特點：基於軟體定義無線電架構以及 PXI 模組化硬體組態的彈性，可輕易符合未來高頻趨勢；維修替換方便，成本經濟；有開放的軟體平台。

(二).TCI/竑傑科技：

- 利用空中載具做地理定位式的整合系統名稱為守護者，整合了搜尋、收集地理定位系統。
- 本身採用模組方式，天線系統機收機，訊號的分析測向器以及後端的系統軟體。
- 天線部分從 9KHz 到 8GHz 都有生產，機動型、戰術型以及全球最靈敏的戰略原形配置天線。
- 守護者可以依照客戶的需求做調整以及設計，包含可以做搜尋識別以及收集、解調、記錄回撥、測向、地理定位分析跟控制。
- 守護者可以記錄頻率、頻寬、強度甚至頻譜的外型。
- 8240RF 處理器可以達到 20MHz 的頻寬、V/UHF 可以瞬間到 6GHz 的頻寬。
- 地理定位方法混合了 AOA 與 TDOA，只需要兩個 TDOA 傳感器。
- 守護者特點：容易操作的使用者介面；智慧搜尋；可回溯蒐集的訊號；無線攔截系統的連結；產業標準上內建多功能平台。

(三).安捷倫科技：

- 把傳感器密集放置在都市地區，比起放在一個制高點有利，因為這樣對監測高密度複雜的 RF 地區比較有利。
- N6841A RF Sensor 的特點：設備很輕很小，不怕風吹雨淋；頻率範圍 20MHz 到 6GHz；帶寬 20MHz；結合 GPS 定位，內建 GPS 同步訂位時間<20nsec;用 LAN(局部區域網路)做遠

程控制；只要設定好 IP 位址，連上網路便可即插即用；改進並整合 Surveror 軟體，它可以設定一些條件、環境因素。一但有干擾信號就可以透過軟體做定位；CPU 裡可存放 1.2GB 的擷取記憶。

- 天線部分有兩個，一個是接收 20MHz 到 2GHz，另一個是 2GHz 到 6GHz。
- 在北京已有一套完整的系統，北京奧運安裝將近 40 個，倫敦奧運也用了 60 個。
- 必須至少有兩部電腦同時運用，一部要控制傳感器動作、搜尋，另一部用在地圖做定向定位。
- 當傳感器裝在室內無法使用 GPS 定位時，可以用 IEEE1588-2008 做定位。
- System Planning and Optimization Tool(SPOT)，這個軟體是用來做模擬，可以直接在網路上下載一個地圖，只要定四個座標，就可以把傳感器定位在地圖上，同時標示要用什麼頻率、高度，就可以模擬信號品質最好的範圍，只要在模擬範圍內，監測訊號就可以達到很好的效果。
- N6845A Geolocation Server 適用 TDOA 和 RSS 的混合定位技術，支援 GPS 或 IEEE1588。
- 當干擾訊號很短、瞬間出現，必須要硬體能很快的掃瞄，才能把干擾訊號捉下來，如果訊號很小，但一直出現的話，是可以被偵測到的。
- 在國外有站台建置的實際情境，在一個地區裝了 4 個傳感器，最遠的距離達到 36 英里，用網路連線到每一個傳感器，速度是 2MB/S，每個傳感器配置不同網段的網路，使用”遠程桌面”來驗證每個傳感器的性能。
- 如果有裝有干擾 GPS 的車接近機場，可能會干擾機場的 GPS，要找出干擾源，可以再偵測車上裝傳感器設定 GPS 的頻寬，就可以在地圖上找到大概位置，再拿手持式頻譜跟天線，追蹤到干擾源。

(四).三家廠商研討會議紀錄摘要歸納如下表所示。

TDOA 定位技術之研討議題				
設備廠商		NI	TCI	Aglient
定位範圍及站台數目評估	建站的設備規格	頻率範圍		
		20M to 3600 MHz	80M to 6GHz	20MHz to 6GHz
		量測頻寬		
		1 kHz - 50MHz	20MHz	20MHz
	應用實例		軍事應用	在國外有站台建置的實際情境
	定位範圍	目前只有計算出站台的最大及最小距離限制	信號強度隨距離減弱	在城市環境中,通常減少了 50%的距離會提供 10dB 的增益
	定位準確度(定位誤差來源)	恆溫控制晶體震盪器(OCXO)50ppb		
	監測站位置分布	三角定位	TDOA sensor 和 TCI DF 在同個位置,另一個 TDOA sensor 可移動或固定	三角定位
	可監測信號類型之關係	可調整頻率範圍搜尋訊號	隨機型不同,最高可監測到 SHF,可戰略應用	可調整頻率範圍搜尋訊號

TDOA 定位技術之研討議題				
設備廠商		NI	TCI	Aglient
建置站台的限制條件	天線型式	20M-3000MHz (band 1) 3000-6000MHz (band 2)	9KHz 到 8GHz 都有生產	20M-2000MHz (band 1) 2000-6000MHz (band 2)
	網路頻寬、網路需求的考量	2MB/S		2MB/S
	發射電台與接收量測站台幾何位置	現場手動或遠端監控單次或自動重覆量測	遠端監控 ScanEagle 無人機偵測	營運中心的遠程控制，通過 Wireless/LAN
	定位系統的有效覆蓋和容量	需進一步由供應商提出評估方法	需進一步由供應商提出評估方法	「TDOA-based」定位系統在台北市地區的服務涵蓋(約 30km)需架設 5 個站台數目的評估與規劃。
優越性能與實用情境	站台建置實際情況			在國外一個地區裝了 4 個傳感器，最遠的距離達到 36 英里
	系統複雜性	至少 3 個 TDOA 感測器	混合 AOA，只需 2 個 TDOA 感測器	需要 4 個 TDOA 感測器
	多重路徑寬頻訊號傳播	GPS IEEE 1588 IRIG-B PPS 信號	GPS	GPS IEEE1588-2008
	同步時間精準度	±15 nsec		<20nsec

TDOA 定位技術之研討議題				
設備廠商		NI	TCI	Aglient
	行動追蹤干擾源	需進一步與供應商確認系統的建置功能	因戰情需要所建置的 TDOA-based 鷹眼系統可行動追蹤干擾源	無法行動追蹤干擾源。需固定靜止狀態下，獲得決定雙 TDOA-based 所在焦點的經緯度下才能進行定位。
實機展示或功能模擬展示	測向定位精確度	需對監測的訊號進行解調以進行定位。因此，對於不同訊號的調變方式(例如 FM 或 3G) 會得到不同的定位精確度。理論上已有估計的誤差數據，但實際上訊號強度在郊區與市區不同，也有多路徑傳輸等問題，所以誤差範圍只能估計出來。		
	監測應用程式功能			系統規劃與優化工具(SPOT)，可模擬傳感器的訊號覆蓋範圍。

(五).研討會現場照片座談會現場照片

說明: TDOA 暨 AOA/TDOA 定位技術研討會會場

說明:美商國家儀器股份有限公司(NI)簡報會議

說明: 安捷倫(Aglient Technologies)簡報會議

說明: 研討會議題交流與討論

第五節 AOA/TDOA 定位技術研討會議題彙種分析

在「特殊干擾處理技術與方法之評估研究」中，其中研討會的議題是定位範圍及站台數目評估；建置站台的限制條件；優越性能與實用情境；實機展示或功能模擬展示。

關於干擾的案例層出不窮，例如同頻干擾，韓國飛航的 GPS 干擾事件與衛星干擾事件。安捷倫(Aglient Technologies)簡報提到為隱匿行蹤而裝設干擾 GPS 訊號的裝置。為比較定位系統的技術發展現況，要先了解定位系統的設備規格。其中關於製造商的接收機頻率範圍、測向天線的模式及頻段、測向處理器的方位準確度、網路設備、GPS 定位精準度還有軟體的通訊界面與資料庫管理系統等等都是必須考量的因素。

先進國家已有 TDOA 監測定位系統的應用實例，例如倫敦的奧林匹克運動會已建置完整的區域性頻譜監測規劃，並有多台行動偵測車監控和人力資源的分配，使得規劃相當完善。要建置 TDOA 監測定位站台需要一連串的評估，其中定位系統的有效覆蓋和容量是重要指標，此關係到站台數目、定位範圍。TDOA 監測定位系統的可靠性也要納入考量，定位系統製造商提出的設備定位準確性、精確度、誤差時間都是重要的數據。還有後續關於軟體設備和硬體設備的價格、大小、相容性和處理的負荷都足以顯現與影響設備的價值。

都市地區的地理因素常常妨礙了偵測干擾訊號，為了提高定位精確度，要審慎的評估各項因素才能決定監測站的位置分佈。站台的建置條件也要評估當地現有的網路資源與效能、傳播環境和電源需求等等。設備的系統精確度就是我們不能夠改變的，現今定位系統通常也會結合多個定位方法以提高定位精確度。

- 不同設備商對研討會議題分析綜整

關於TDOA 定位技術研討會中討論的主題，與會定位系統的製造商(或設備商與系統整合商)展示了相關設備的規格。首先硬體設備的頻率範圍最好的是 20MHz 到 6GHz，其次是 20MHz 到 3.6GHz。頻寬最好的有到 50MHz，再來是 20MHz。而同步時間都是小於 20nsec 的。

軟體方面都有定向追蹤、回溯干擾訊號、測向分析、搜尋跟控制的功用。另外也有軟體可以定位干擾發射源位置之後，以模擬最好的收訊品質範圍。比較不同的是硬體，有的製造商(或設備商與系統整合商)把每個功

能都拆成一個一個的模組，再用硬體整合起來，如此可以直接更換要淘汰的模組，或是可以運用別家製造商(或設備商與系統整合商)的模組取代，維修替換方便，也符合以後高頻的需求，但是在處理訊號方面都是由軟體執行。另外有的硬體跟軟體是一整套的系統，已有軍方使用，它可以依照需求做調整以及設計，包含可以做搜尋識別以及收集、解調、記錄回撥、測向、地理定位分析跟控制等等功能。

也有製造商(或設備商與系統整合商)的產品已被國外奧林匹克運動會使用，規劃出全套完整的監測系統，可存放的記憶體有 1.2GB，用 LAN 做遠程控制，也可直接連上網路做定位。要計算台北地區的監測站位置分佈，因為需要考量的因素很多，所以無法給出準確的預測圖或是數據，而 TDOA 定位技術可以偵測很多的頻段，所以不管干擾源是哪一種類型的訊號，只要在偵測的頻段範圍內就可以被偵測出來。

建站的限制條件中，天線有比較小而且輕便的，但也有比較巨大可能不適合在都市地區架構的，接收量測站台與定位系統的有效覆蓋量是密不可分的。因 TDOA 定位技術至少需要三個收發台才能準確的定位，但有的系統是結合 AOA 或 RSS 定位技術，所以站台的佈點範圍可能也會有所不同，不變的是，只要接收量測站越多，定位的精確度也會相對地提高。

第六節 小結

無線定位技術主要分為時間到達(Time of Arrival,TOA)、角度到達(Angle of Arrival,AOA)、和接收訊號強度 Received Signal Strength (RSS)，三種技術。綜合上述內容為因應未來飛航、突短微弱、低功率無線電設備與都會區的特殊干擾問題。民國 101 年 9 月 14 日國立虎尾科技大學舉行的「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位技術研討會」，採閉門會議方式進行並邀請相關知名廠商 NI、TCI、安捷倫進行專題演講與交流互動。研討會中主要議題著重於 TDOA 或 AOA/TDOA 定位技術。過程中進行建置站台的限制條件(天線型式、網路頻寬、站台位置、站台服務涵蓋範圍等)、定位誤差來源、優缺點與適用情境進行實機展示或技術報告與說明。基於各家廠商設計理念不同的關係，目前業界間無法形成共通的標準與平台。經由研討會可以對市場進行充分的瞭解與研究，取得業界間可以提供的 TDOA-based 定位系統的合理規格，以建置一套兼具彈性與親和性的客製化(Custom-oriented)「TDOA-based 定位系統」的可行性評估。

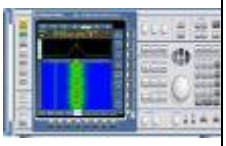
第肆章 TDOA 與 AOA 定位系統發展現況之蒐集及研析

本研究蒐集電波監測定位系統製造商、設備商與系統整合商的設備規格，將其特性及規格進行比較。再者，對蒐集各國監理機關定位系統的應用實例，主要針對英國案例之探討，以提供通傳會(NCC)對未來定位系統設備採購之參考。對電波監測定位涵蓋部分，本章對北高雄與南台南的地形進行涵蓋模擬，由模擬數據分析所需 TDOA 定位站的站台數量。

第一節 電波監測定位系統設備製造商與規格

本研究蒐集 2012 年，全球最新定位系統之設備，資料來源包括：國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)官方網站[1][23]所相關發佈或發行的文件、本研究所拜訪的廠商以及通傳會(NCC)給予的信息等。依據各項資料來源，對美國國家儀器(National Instruments, NI)、TCI 國際公司、安捷倫(Agilent)與羅德史瓦茲(Rohde&Schwarz, R&S)四家公司，其最新電波監測定位系統各項設備規格進行比較分析。分析資料如下表所示。

表 4-1 最新電波監測設備硬體規格比較

廠商	NI	TCI	Agilent	R&S
監測定位硬體設備型號	VISN-NI	Model-803C Model-920	N6841A	ESMD 

[1] ITU-R 官方網站與發行文件：
http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&rlink=rhome&lang=en

廠商	NI	TCI	Agilent	R&S
操作頻率	9KHz~3.6GHz 26.5 GHz (optional)	20MHz~3GHz 8GHz (optional)	20MHz~6GHz	20MHz~ 3.6GHz 9 kHz to 26.5 GHz (optional)
最大中頻頻寬	20MHz	20MHz	10MHz	20MHz
定位模式	TDOA+AOA (TDOA 屬於研發階段，尚未商轉)	TDOA+AOA (TDOA 屬於研發階段，尚未商轉)	TDOA 僅對某些預選頻段 (TDOA 屬於研發階段，尚未商轉)	AOA
頻譜掃瞄	Yes	Yes	Yes	Yes
雜訊指數	<12dB	<12dB	15～25dB	9 k-30MHz 15 dB, typ. 12 dB 20M-2GHz 12 dB, typ. 10 dB 2G-3.6GHz 15 dB, typ. 12 dB 3.6-8GHz, 12dB 8-13GHz, 15dB 13-18GHz, 17 dB 18-22GHz, 20 dB 22-26.5GHz, 24 dB

廠商	NI	TCI	Agilent	R&S
接收靈敏度與動態範圍	-130dBm~30dBm (160dB)	Max input 25dBm	Max input 20dBm	– 30 dBuV to 110 dBuV (140dB)
線性度(2/3階互調失真)	2nd 9k-3.6GHz< -80 dBc (IIP2 > +50 dBm) 3rd 10M-1GHz< -80 dBc (IIP3 > 10 dBm) 1-2GHz<-84 dBc (IIP3 > 12 dBm) 2-3.6GHz<-86 dBc (IIP3 > 12 dBm)	2nd 50dBm (70 dBm typical) 3rd 30dBm	-	2nd 9k-30Hz>60 dBm 20M-26.5GHz typ.55dBm 3rd 9k-30MHz> 20 dBm 20M-3.6GHz >10 dBm 3.6-26.5GHz >12dBm
解調模式	AM, FM, USB, LSB,CW, PM, Pulse, IQ GSM, FSK, 802.11 a,b,g	AM/CW/SSB/ FM	AM/FM	AM/FM/PM, PULSE/ I/Q, TV (all IF bandwidths) USB/ LSB/ CW/ISB (IF bandwidth 15 kHz)
TCPIP通訊介面	Yes	Yes	Yes	Yes
尺寸	18*27*40cm	36*48*56cm	29*25*5 cm	45*43*18cm
重量	10.5Kg	30-36 Kg	3.6Kg	18Kg

廠商	NI	TCI	Agilent	R&S
電源功耗	-	200-500W	25-30W	-

資料來源：本研究整理

在電波監測定位系統的硬體設備，各家廠商差異不大，可監測頻譜範圍皆可達到 3GHz，最大中頻掃瞄頻寬多數皆達到 20MHz。該特性可以有效改善，在偵測瞬間出現的訊號。例如：脈衝或跳頻訊號。部分廠商 NI 與 R&S 可選項升級偵測達到 26.5GHz。雜訊指數該數值關係到頻段與所參考的訊雜比，一般以 ITU-R SM.1838 的建議書訊雜比 10dB 為基準，在 LF/HF 雜訊指數小於 15dB，在 VHF/UHF 雜訊指數小於 12dB。所蒐集資料除 R&S 清楚標示各頻段雜訊指數外，其餘設備並無詳細資訊可參考。線性度與接收動態範圍比較顯示，NI 可承受最大輸入功率，R&S 在 2 階互調失真有較好的表現，TCI 與 Agilent 則無足夠的資料來比較線性度與接收動態範圍。NI 與 R&S 顯示有較多的解調模式，在 ITU 頻譜監測手冊建議，解調模式應至少包括 AM/FM/CW/LSB/USB 等，Agilent 則無足夠的資料顯示支援該項目。各家廠商皆有提供網路介面，可使用遠端控制處理。在尺寸、重量與電源功耗方面，Agilent N6841A 的設備則有優異的表現。

(一).NI

NI 所推出的 VISN-NI-1000 系統包括軟體及硬體設備，符合 ITU-R 建議書 SM.1537 的頻譜監測系統與自動頻譜管理的推薦標準。該標準對信號發射源定位方法即包括支援 TDOA 以及寬頻多重信號量測。NI-1000 有兩種工作模式：掃描模式和解調方式，即下圖 4-1 與圖 4-2 所示。掃描模式專為頻譜分析和信號檢測，此模式可用來監測一個相對較寬的頻率範圍，並找出想要監測的信號 。解調方式是專為信號分析和鑑別，此模式可偵聽解調信號的調變參數分析和識別調變類型的信號。此外，還有類比解調和數位解調模式，類比解調模式包括：CW，AM，FM，LSB，USB，ISB，PM 和 IQ 信號解調，此為依據 ITU-R 測量標準和電波監測手冊。對於未來各種解調模式，例如：LTE、DVB-T2 等，可以透過軟體升級方式，加入各種解調演算法。NI-1000 同時配備具有 LAN 介面運行，可由 TCP / IP

協議遠端連線。支援 IEEE 488.2 標準的 SCPI 命令語法，目的是在於設備控制的標準化。

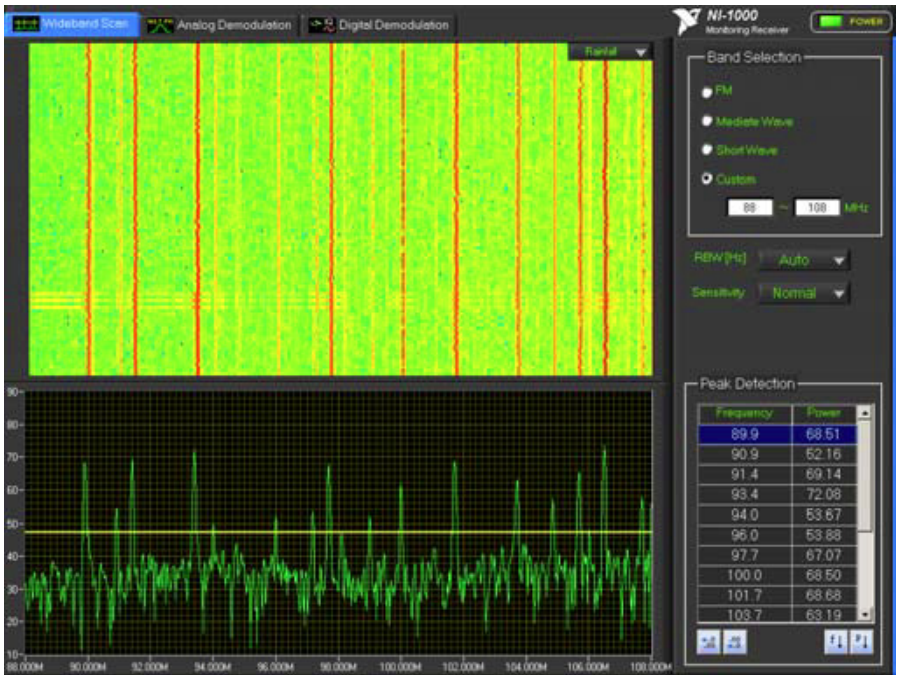
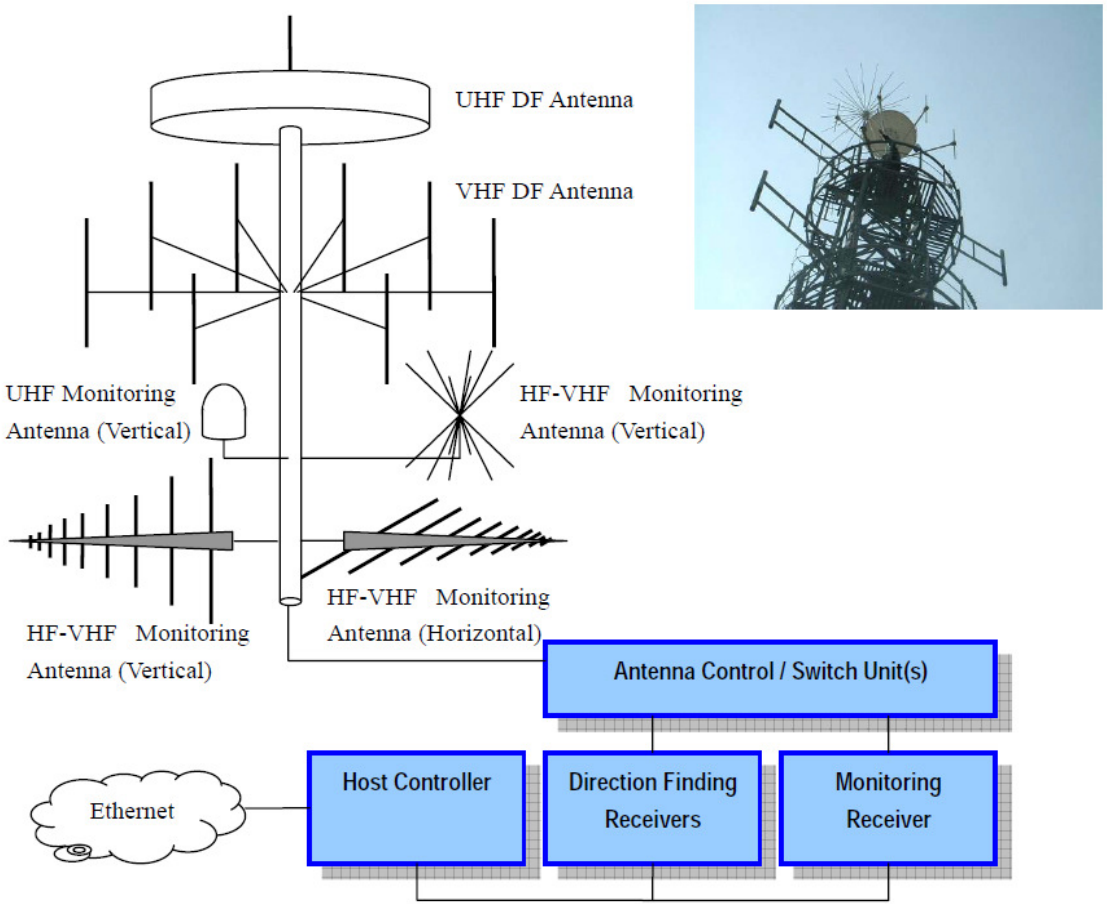


圖 4-1 NI-1000 掃描模式

圖 4-2 NI-1000 解調模式

NI 的定位測向系統主要參照 ITU 電波監測手冊，在固定監測站建置可客製化服務。針對各項不同頻段設計天線陣列以提升監測信號的接收靈敏度，或對垂直、水平不同的極化方向進行電波信號監測，如下圖 4-3 所示。在 AOA 定向系統是採用相關干涉(Correlative interferometry)定位方法，寬頻快速傅立葉變換(Fast Fourier Transform, FFT)可定向 1 kHz – 20 MHz 多重信號，包括水平或垂直極化信號。系統定位精確度約 1.5 度均方根值，定位靈敏度在 10 μV/m 場強以下，信號出現時間需要持續 1.5 毫秒，這已包括了多種脈衝信號或微弱信號。系統最小解析定位方向，可由軟體設定 0.1 或 1 度[24]。



資料來源：HR-VISN-NI Fixed DF Monitoring System

圖 4-3 NI 固定監測站系統方塊圖

當 VISN-NI-1000 系統搭配各種不同陣列天線，如下圖 4-4 所示。可放置在行動車輛作為行動電波監測車。

資料來源：HR-VISN-NI Fixed DF Monitoring System

圖 4-4 NI VHF/UHF 監測天線

NI 在 TDOA 定向技術，可針對各種調變訊號進行演算優化，如下圖 4-5 所示。利用 VISN-NI-1000 系統所監測到的信號進行分析，由多個監測站所量測到的訊號，對全球行動通訊系統(Global System for Mobile Communications, GSM)做 TDOA 定位分析，獲得不同到達時間差資訊後再進入地理圖資以尋找信號發射源。

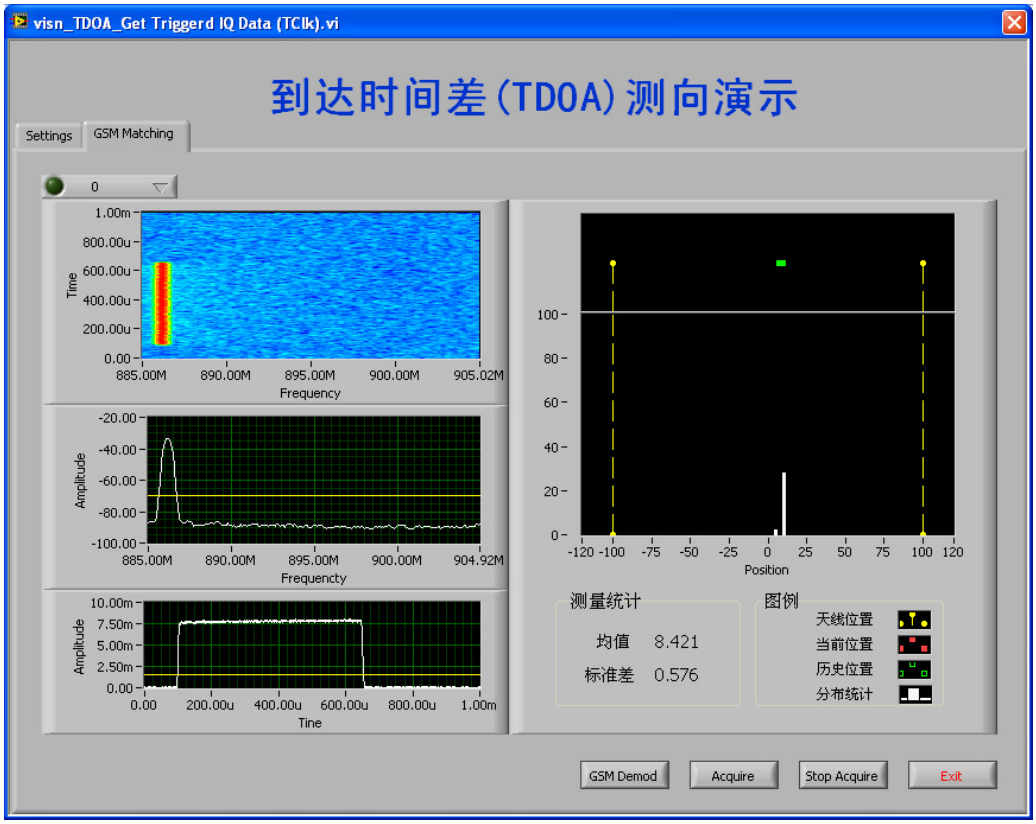


圖 4-5 NI 獲取時間差資訊進行 TDOA 定位

(二).TCI

截至 2012 年 9 月，TCI 所推出最新 VHF/UHF 頻段的定向系統為 Model 803C。Model 803C 每秒具有 3GHz 的掃瞄速度，可偵測多種訊號進行定向分析，例如：跳頻（frequency hopping）、瞬間或突發的訊號，可升級達到 8GHz 的操作頻率。外觀如下圖 4-6 所示。

資料來源：TCI Model 803C 產品手冊

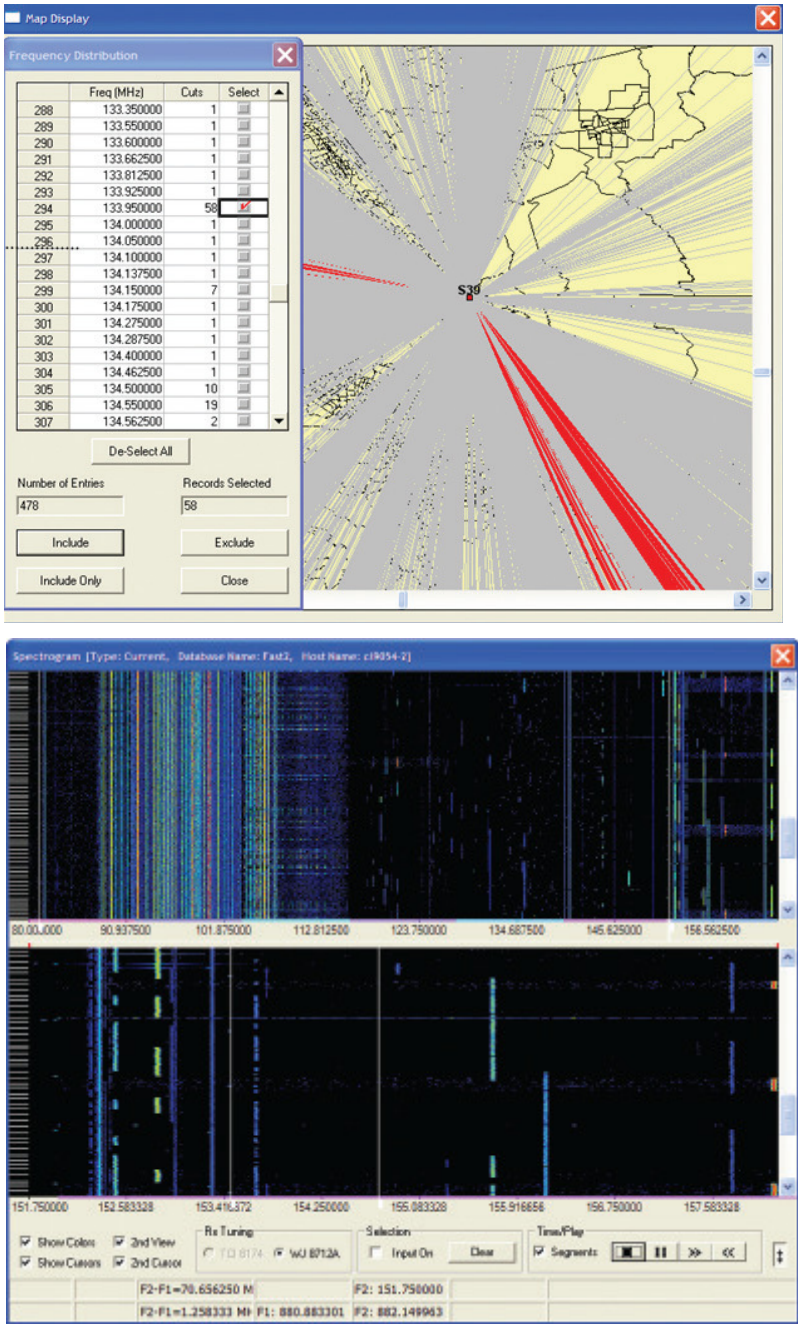
圖 4-6 TCI Model 803C 外觀

TCI 803C 可網路連接，搭配各種天線做為固定或移動的定向電波監測設備，如下圖 4-7 所示。在搜索截獲與識別找到信號發射來源，採用 AOA 定向技術，可連續掃描記錄頻譜上任何一個頻率通道。再針對此一頻率進行定向分析，最大即時解析頻寬為 20MHz。在檢測和捕獲微弱的信號時，可瞬間切換 2 MHz 的即時頻寬增加解析能力，803C 軟硬體結合現代 DSP 提供支援進行多任務排程、定向和監測任務。

資料來源：TCI Model 803C 產品手冊

圖 4-7 TCI Model 803C 做為固定或移動的定向電波監測設備

TCI 803C 系統的操作介面，其顯示功能包括：寬頻掃描量測與同時測向模式。該測向報告有方位、時間和頻率，以及頻率與時間的瀑布圖，以了解頻譜使用情形。在地理圖資上會顯示發射源在地圖的方位與定向設備所在的位置。如下圖 4-8 所示。803C 具快速掃描檢測能力，任何工作站都可以合併數據集結成多個站，提供完整的事後三角定向和地理位置的可能發射源地點。



資料來源：TCI Model 803C 產品手冊

圖 4-8 TCI Model 803C 使用者介面

TCI 920 是具 TDOA 定位系統，可佈置在大面積場所。例如：機場，港口，教育校園等。如下圖 4-9 所示。它符合 ITU 頻譜監測的建議設備，並提供頻率、寬頻、解調變場強及方向的分析。其可結合 AOA / TDOA 混合兩種技術做為地理定位測量。這種混合式的方法提供這兩種技術的優勢分別為 AOA 在掃描大範圍的頻譜速度非常快，並可確定哪些信號的來源

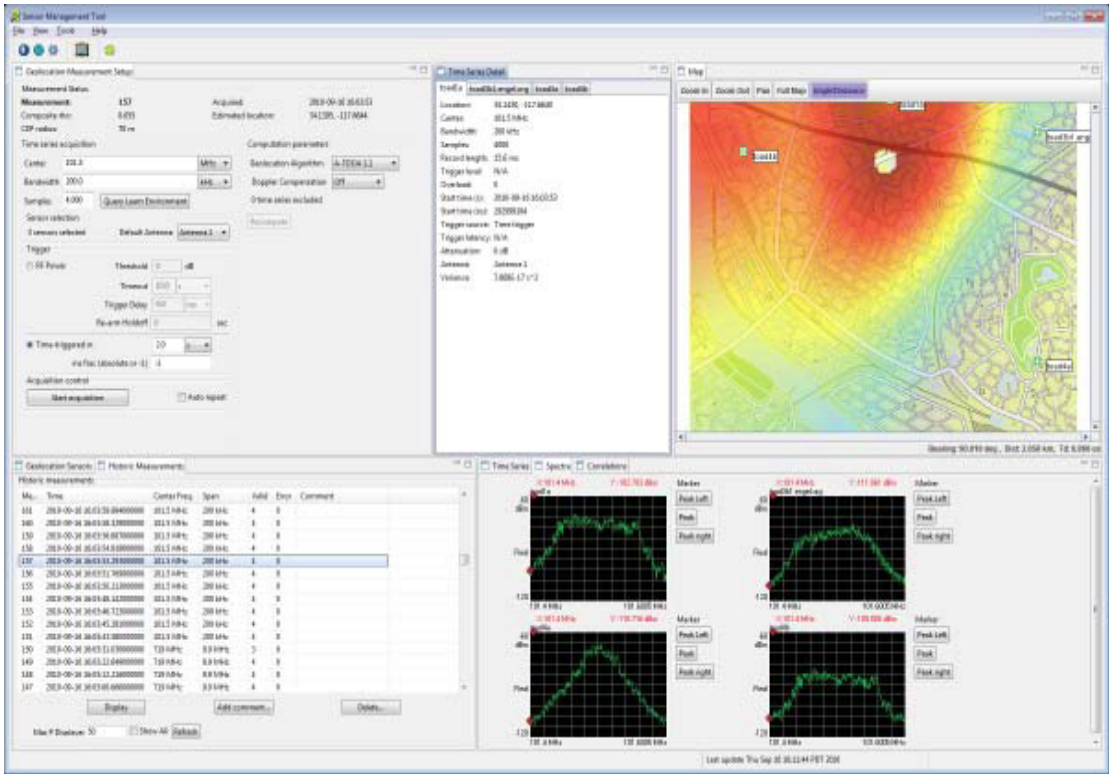
方向。TDOA 的監測設備體積可以很小、重量輕，相對比較低成本並且容易部署，混合 AOA / TDOA 方法利用綜合優勢可以獲得很好的成本效益，和整體系統的解決方案。

資料來源：TCI Model 920 產品手冊

圖 4-9 TCI Model 920 在機場部署

(三).Agilent

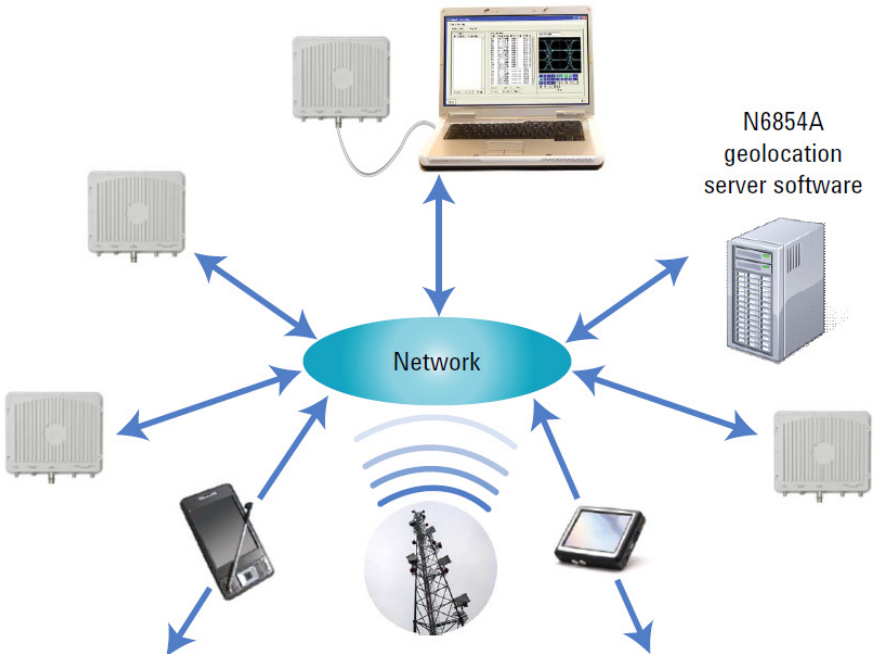
Agilent 所推出地理定位服務 N6854A 軟體，可以配合 N6841A 射頻偵測的硬體設備，實現電波監測的發射定位功能。此軟體估算發射器的位置，有一些獨特的地理定位方法，例如：利用時間差時定位(Time Difference of Arrival, TDOA)與接收信號強度(Received Signal Strength, RSS)混合的演算機制，同時使用 TDOA 和 RSS 中的信息，增加定位精準度。一旦被鎖定的檢測信號，結合信號搜索系統可提供信號的強度、佔用頻寬、調變方式等。當啟動地理定位測量後，其結果會被記錄到數據庫中，同時顯示在使用者界面。如下圖 4-10 所示。



資料來源：Agilent N6854A RF Geolocation Server Software

圖 4-10 Agilent 地理定位服務 N6854A 軟體

N6854A 地理定位服務軟體，可以同時和多個 N6841A 射頻偵測設備搭配，透過網路連線以偵測新一代數位調變信號。甚而包括：間歇性、持續短時間等多種信號種類。由於 N6841A 設備具有低功耗、操作頻率高、即時解析寬頻大及低成本等特色，可作為大量部署的電波監測系統，如下圖 4-11 所示。若要使系統具有更高的性能，可以將 N6841A 設備建置在海拔較高，並且使用高增益天線，即可擴大信號偵測範圍[25-27]。

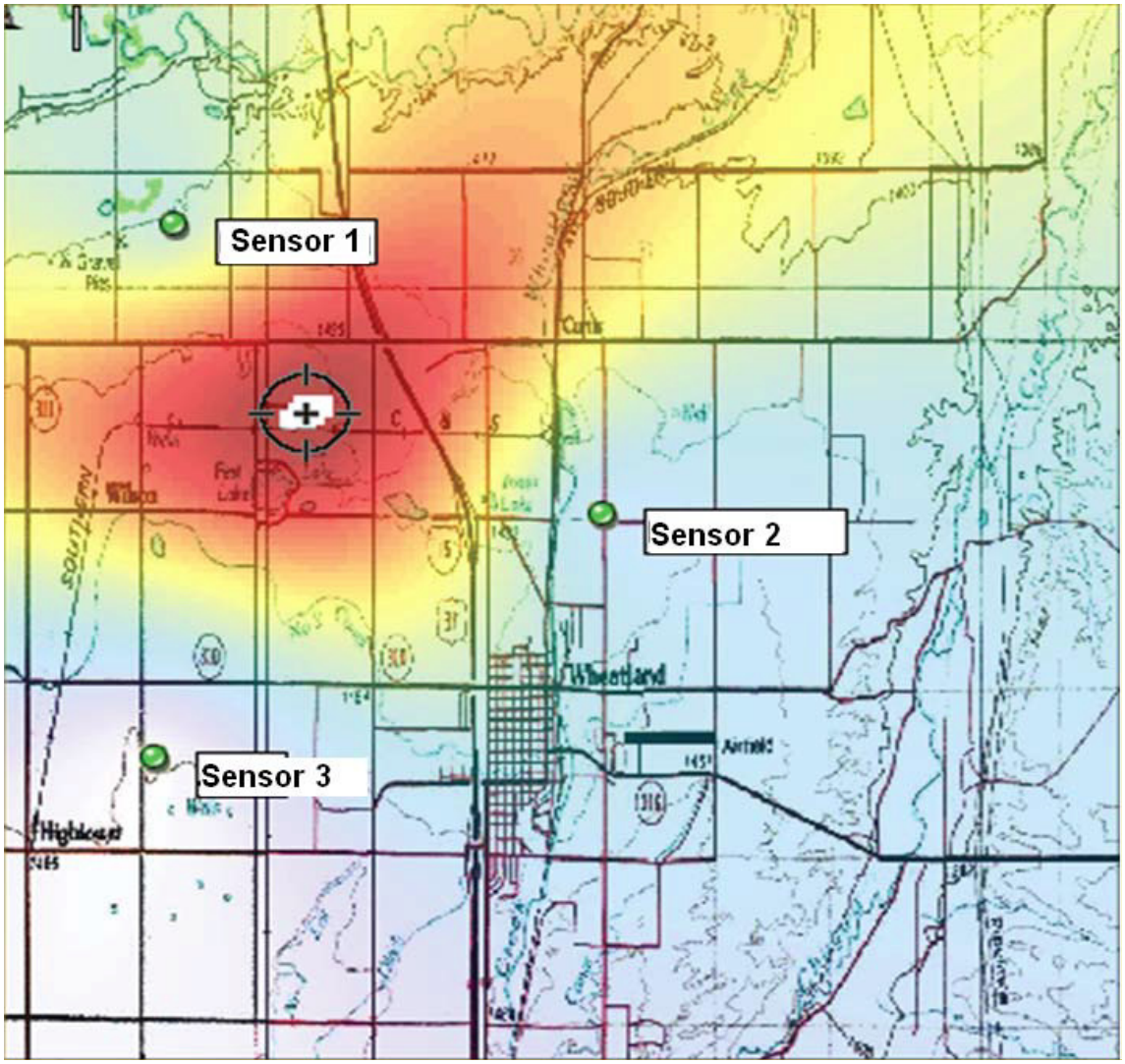


資料來源：Agilent N6854A RF Geolocation Server Software

圖 4-11 由 N6854A 與 N6841A 射頻偵測設備建置電波監測系統

N6854A 所記錄的原始測量數據和測量參數，可將每個同步的射頻偵測設備記錄到系統數據庫中，提供後續分析處理。此外，一般測量適合在多數長時間且持續的信號。若為偵測持續短時間的瞬間信號，需要有較低得雜訊準位(noise floor)。假如在密集城市或崎嶇的地形環境，往往此時接收機會被瞬間信號形成飽和狀態。射頻偵測器在這種情況下，需啟動其他相鄰的射頻偵測器，使系統在一個特定的頻率範圍，迅速做到連續測量。

安捷倫的 N6854A TDOA 要求偵測到的發射機信號功率，需大於某個訊雜比 (signal-to-noise ratio, SNR)。因此先採用最接近信號發射源的射頻偵測器所量測的頻譜數據，藉由相干射頻偵測器之間的量測數據進行演算。在優化估算信號發射源地理位置方面，由每個射頻偵測器提供的到達時間差估計，最多可能出現概率的位置，使用暗紅色標示。這個精準度關係到每個射頻偵測器放置的幾何形狀，將影響辨識率和靈敏度。並且需要高精度時間同步，其精密的時間協議可根據 IEEE1588-2008 標準，或通過使用全球定位系統。定位精準度的呈現，可利用圓機率誤差(Circular Error Probable, CEP)這是一個常見的準確性定位系統。N6854A 會顯示一區域的 CEP 值，在 50%的基礎上做機率的估計。如下圖 4-12 所示。



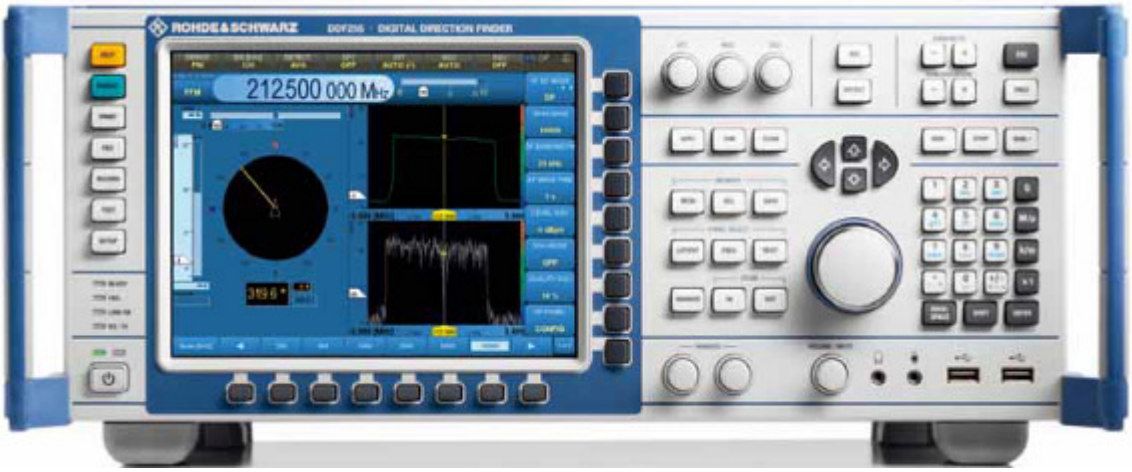
資料來源：Agilent N6854A RF Geolocation Server Software

圖 4-12 由 TDOA 估算最大機率位置

(四).R&S

羅德與施瓦茨公司的 ESMD 電波監測接收機，設計擔任對信號搜索、無線電監測、頻譜監測等任務，並符合 ITU 相關建議，適用在移動或固定的系統上所使用。ESMD 也可以適用在 AOA 或 TDOA 的定向應用。該接收機可通過 LAN 做遠程控制，所有的測量數據，包括：頻譜數據、解調資訊都可透過 LAN 輸出。基本款版本頻率範圍從 20 MHz 到 3.6 GHz，也可增加選項模組擴大其操作頻率範圍到 26.5 GHz，具有 20MHz 即時解析頻寬和解調頻寬。ESMD 該設備無論是接收靈敏度、線性度、雜訊排除或解調功能皆有優異的表現。

在定向功能方面，R&S 在 2011 年推出 DDF255 數位定向設備。如下圖 4-13 所示。DDF255 強調具有很好的反射係數下運作，即便在反射訊號惡劣的環境仍可提供可靠的定向功能，該定向設備提供達 6GHz 的定向操作頻率，可選項搭配符合 ITU 建議的測量項目。當搭配 DDF255-IGT 的 GPS 模組和天線，DDF255 數位定向設備將具有 TDOA 定向預備功能和高精度的時間標記。

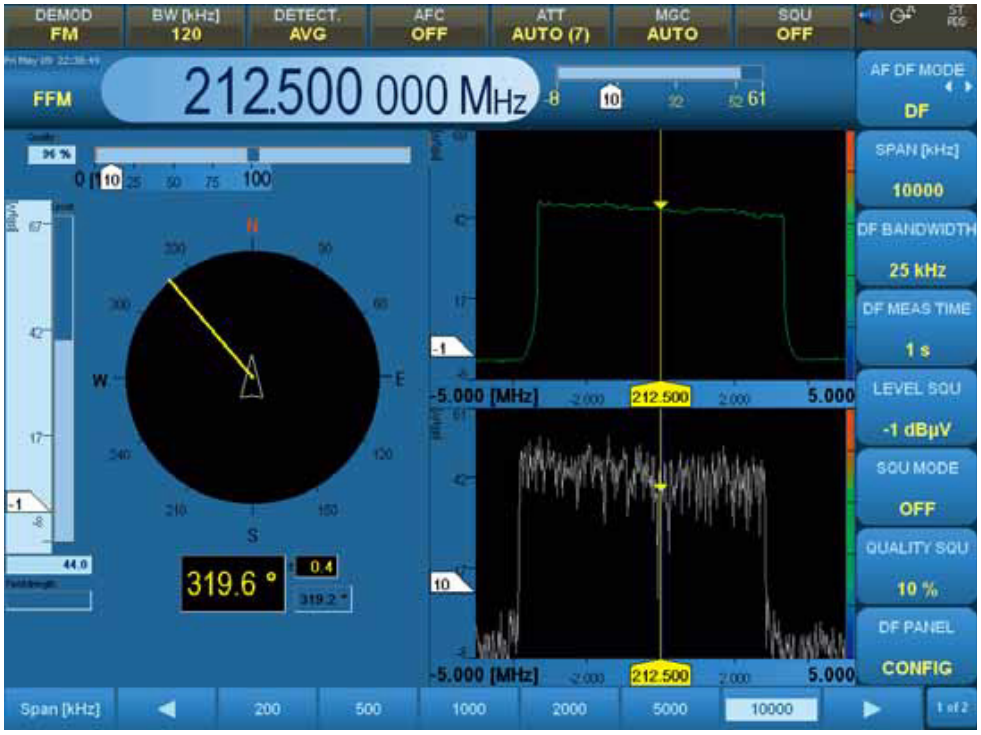


資料來源：R&S DDF255 數位定向機產品手冊

圖 4-13 R＆S DDF255 數位定向設備

DDF255 數位定向設備有速度極快的頻譜監測掃描速度(100 GHz / s)，可以連接到一個大的存儲硬碟，詳細記錄量測數據，也可透過遠程控制 LAN 介面，做控制命令或量測記錄的傳輸，LAN 介面具有 1Gbps 局網介面並相容 SCPI 語法。

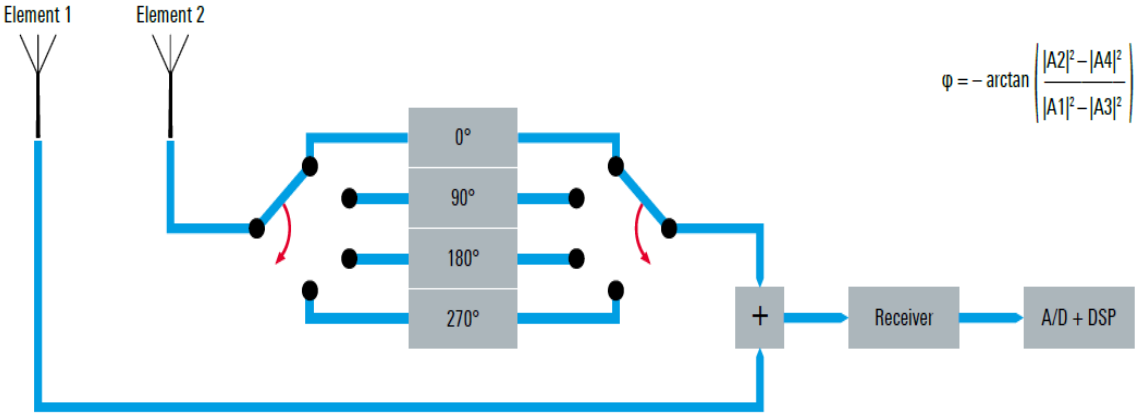
在 ITU 量測項目方面，DDF255 數位定向設備可進行頻率或頻偏 ITU-R SM.377-1 建議書量測方法、信號場強 ITU-R SM.378 建議書量測方法、頻譜佔用 ITU-R SM.182/SM.328 建議書量測方法和頻寬限制 ITU-R SM.443 建議書量測方法。以及對調頻廣播進行解調。其圖形介面如下 4-14 圖所示，其使用 AOA 定向技術，對信號來源進行解析。



資料來源：R&S DDF255 數位定向機產品手冊

圖 4-14 R＆S DDF255 圖形介面

DDF255 為提升定位精準度，將參考訊號經過四種 90 度相移器，與向角天線所測到之訊號進行合成，經過每次相移後重新計算方向角，獲得較精準的定向效果。如下圖 4-15 所示。



資料來源：R&S DDF255 數位定向機產品手冊

圖 4-15 R＆S 單通道干涉術定向機制

DDF255 數位定向設備可搭配 R&S 所推出的多種天線設計，達到監測涵蓋各種頻段，以及擔任固定或行動電波監測定向任務。如下表 4-2 所示。

表 4-2 R&S DDF255 天線系統配置

天線型號	功能
R&S ADD119 	直徑約 1 公尺，可放置車輛作為行動監測或放置三角架做臨時監控。 操作頻率：20MHz~3GHz
R&S ADD197 	具有水平和垂直極化信號接收功能，可放置車輛作為行動監測或建置在固定監測站。 操作頻率：20MHz~1.3GHz
R&S ADD196+ADD071 	R&S ADD196 可放置車輛作為行動監測或建置在固定監測站，擔任定向任務達到最大測向精準度和靈敏度。操作頻率：20MHz~1.3GHz R&S ADD071 則涵蓋 1.3GHz 至 3GHz 頻段。擔任定向任務達到最大測向精準度和靈敏度

資料來源：本研究整理

綜合上述討論四家廠家，本研究再進一步分析三家 AOA 定位系統硬體規格比較，分別 Grintek、Thales、Tadiran 進行探討如下表 4-3 所示。

表 4-3 AOA 定位系統硬體規格比較

廠商	Grintek	Thales	Tadiran
監測定位硬體設備型號		未提供圖	目前該公司已與 Edbit 公司合併，主要的產品為軍事用途方面，例如多感測器偵查和監測系統，目前無提供 AOA 或 TDOA 監測系統的建置。(經由網頁資訊取得)
操作頻率	20MHz~3.6GHz	20MHz~3GHz	
最大中頻頻寬	100kHz/500kHz/ 1MHz/2MHz/ 5MHz/10MHz/ 20MHz	40 MHz	
定位模式	AOA	AOA	
頻譜掃瞄	Yes	Yes	
雜訊指數	≦12dB	9dB (typical) 12dB (max)	
接收靈敏度與動態範圍	Min input -125dBm	-	
線性度(2/3階互調失真)	15dBm	20dBm	

廠商	Grintek	Thales	Tadiran
解調模式	AM、FM、CW、LSB、USB	AM、FM、CW、LSB、USB	
TCPIP通訊介面	Yes	Yes	
尺寸	19” 6U	-	
重量	<23kg	-	
電源功耗	<200Watt	-	

資料來源：本研究整理

第二節 各國監理機關定位系統應用實例

本研究蒐集各國國家之頻譜管理機構，最新應用 TDOA、AOA 與 TOA 定位系統之實例如下：

一、英國

英國監理機關 Ofcom 目前已部署了兩個系統，分別為位於山頂上，記錄無線電頻譜佔用的 24 個固定監測站(Remote Monitoring and Direction Finding System, RMDF);和位於城市中心 44 個無人值守監控系統(Unattended Monitoring System, UMS)，處理頻譜監測和解決干擾問題。規劃佈置自動電波監測系統(Automatic Monitoring System, AMS)，取代固定監測站與無人值守監控系統[2]。由以下數家廠商進行研究規劃。

- ARUP：進行 AMS 案例研究，評估部署成本效益分析。由傳播模型和地理位置預測工具，建立系統的性能預測。

[2] Ofcom 2006 年 Ofcom AMS Final report

- TRL：進行軟硬體的開發。
- QinetiQ：負責最終系統的設計及測試，進行評估了該方法的有效性。

2006 年英國監理機關 Ofcom 委託 QinetiQ 完成「自動監測系統」研究報告，除針對最新的 TDOA 定位技術建立研究模型，並比較各廠商最新的監測設備，包括：WinRadio、Sat Corp、Codem、Aselsan、TCI、Rohde&Schwarz 和 Thales，對頻譜掃瞄、天線系統、操作頻率、雜訊指數、靈敏度、接收動態範圍等進行比較分析。傳統 RMDF 是採用 AOA 定位方法，而新的 AMS 則採用 TDOA 定位技術。該報告原預估花費五年時間，建置 982 個自動電波監測站點。但截至 2012 年，僅在倫敦舉辦奧林匹克運動會時，為有效維持電波秩序在奧林匹克運動場館附近佈設 40 個 TDOA 技術之 RF sensor 點[3][28][29]，以及未來英國 2014 年在蘇格蘭的格拉斯哥城市，所舉辦第二十屆英國聯邦運動會，預計投入設置電波監測站點。

二、美國

在 2010 年 8 月美國聯邦通信委員會（FCC）的公共安全和國土安全局（PSHSB），發出公告（RFQ100000PS5）預先採購 TDOA 之設備以進行設計和開發一個自動化 TDOA 的射頻信號發現系統。其操作在 VHF 和 UHF 頻段，並且可直接呈現地理位置資訊。該合約的預算約為 700 萬美元。FCC 將在評估過程中，確認廠商過往相關經驗和設備性能。該採購分為三階段，執行如下：

- 第一階段：承包商提供 TDOA 系統，包括：購買與使用所有設備的完整清單。製造商、型號、序列號的列表。並提供系統的原理和裝配圖，或提供現場測試前的裝配手冊。
- 第二階段：在哥倫比亞特區，馬里蘭州和華盛頓特區的現場進行系統測試。

[3] NCC 民國 100 年委託研究案「新世代電波監測系統之建置規劃與優化分析研究_期末報告」

- 第三階段：在安裝時間內，承包商應完成 TDOA 系統在美國大陸的永久部署。

三、其他國家

其他國家其監測系統，主要採用 AOA 定位技術。

- 1999 年委內瑞拉電信監理機關 Conatel 的簽署 1000 萬美元，購置 TCI 自動頻譜。包括：一個國家的控制中心，5 個監測站和 10 台監測車[4][30]。
- 2004 年非洲 Botswana，SPX 獲得 1100 萬美元合約，購置 TCI 自動頻譜，16 個監測站和 2 台監測車。監測系統採用 AOA 定位技術[5][31]。
- 2000 年哥倫比亞接受 TCI 的 1800 萬美元的全國自動頻譜監控系統。購置 TCI-710。
- 2005 年牙買加頻譜管理委員會(SMA)投資 1 億美元以上，改善電波監測。

[4] Reported by Newsbytes.com, http://www.newsbytes.com

[5] http://www.dielectric.com/broadcast/news_story.asp?ID=63

第三節 TDOA 與 AOA 系統定位範圍評估

一、AOA 與 TDOA 系統定位範圍

對於一個未知的訊號發射源定位，AOA 可以利用方向偵測(Direction-finding, DF)的設備以確認發射源的位置。假如多個定位偵測站建立在適合的地理位置上，則可以更準確的定位。AOA 定位技術在最理想情況下，可以使用最少兩個偵測站台定位，可具有很高的定位精確度。TDOA 定位技術至少需要三個定位偵測站才能定位，TDOA 在理想的情況下以一個正三角形部署定位偵測站台，而三角形的中央具有最高的定位精確度。

AOA 定位設備其定位的準確度，一般來說受下列因素影響：

- 天線孔徑(antenna aperture)
- 天線配置：天線形式、操作頻率、極化方向等其他因素
- 定位偵測設備的性能
- 接收器通道數
- 信號類型
- 信號強度和訊雜比
- 積分時間
- 傳播條件
- 其他干擾因素

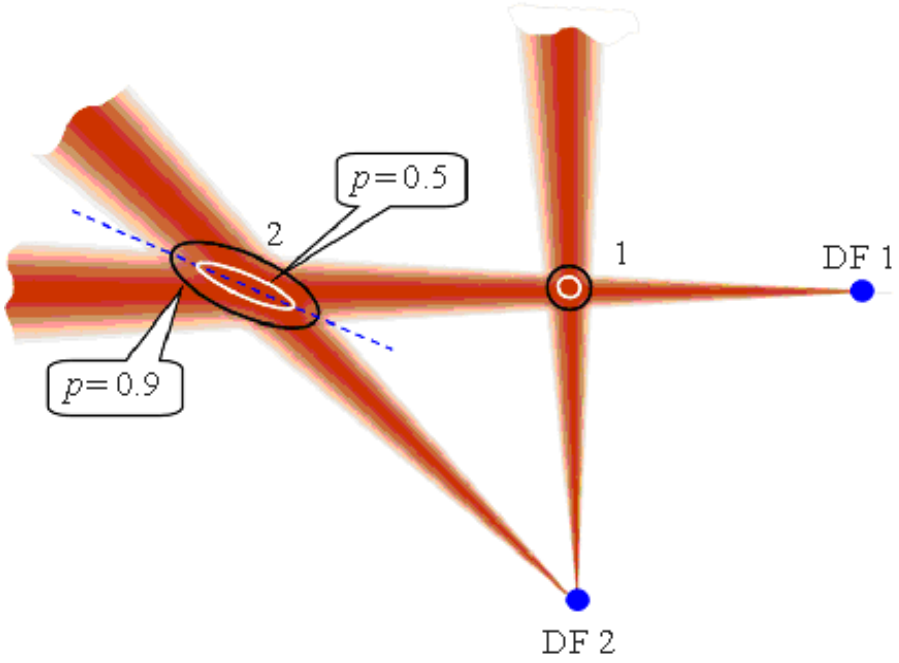
TDOA 定位解算是先決定一個共同的訊號發射源，再估計每個接收機相對的時間差，然後計算相對應時間差值的雙曲線交叉點以決定發射源的位置。TDOA 定位系統的準確度一般來說受到下列因素影響：

- 可用的網路和網路性能
- 傳播環境
- 信號類型: (頻寬，功率，頻率，持續時間)
- 天線的性能:

■ 接收機性能。

為了詳細比較 AOA 與 TDOA 系統之定位準確度，本研究發現兩種技術在接收設備性能、天線增益、天線高度、信號類型、信號強度、傳播條件、發射源或偵測站點位置等因素一致的條件下，影響 AOA 與 TDOA 兩種技術的定位準確度主要來自於平面的幾何問題。

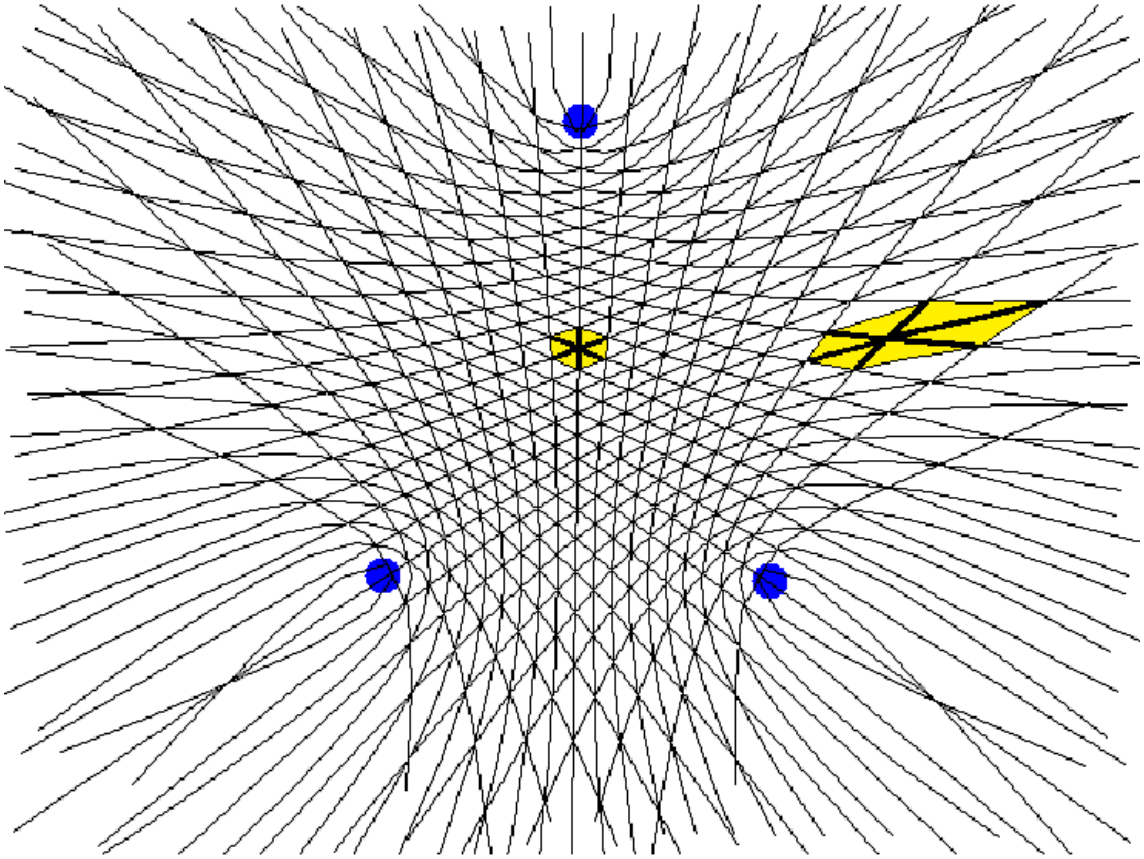
AOA 定位即使在定位軸線上沒有外在的影響(例如：多重路徑、都普勒效應以及無線傳播損失的影響)，其定位結果並不是在同一個點上，而是一個橢圓區域。它的定位原理可以由下圖 4-16 所示。若從 DF1 和 DF 2 兩個方向來定位，這兩條線段相交於 90°的位置是不確定性最低的地方。在相交角度低於 90°的區域以及 90°到 180°的區域則會有較高的不確定性。其定位的範圍將從圓形變成橢圓形，在這種情況下，只有兩個定向偵測站的定位誤差很大，因此有必要使用第個三方向加以定位。在下圖 4-16 中可以清楚地看到位置的不確定性，隨著橢圓的長軸長度變化，定位命中的機率 p 也會隨之變化。



資料來源：ITU 2011 電波監測手冊

圖 4-16 AOA 定位技術幾何的不確定性

影響 TDOA 定位精準度的幾何問題如下圖 4-17 所示。在雙曲線繪製橫跨均勻間隔時間差的範圍內，三個定向偵測站點最佳的配置為正三角形，其中藍色為偵測站的位置，在三角形正中央附近其不確定性的區域範圍最小。三個偵測站點所構成的三角形的外側，其定位精準度將大幅降低，最差的區域，則是緊鄰在偵測站台的後面。



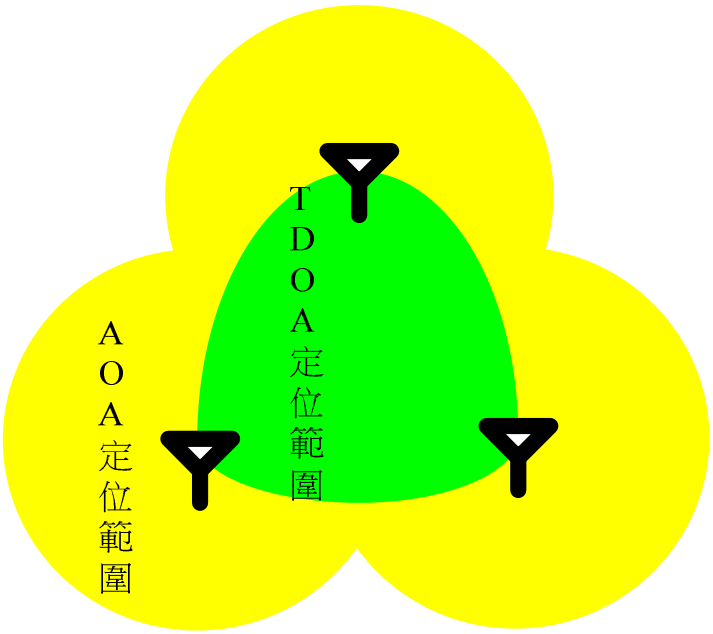
資料來源：ITU 2011 電波監測手冊

圖 4-17 TDOA 定位技術幾何的不確定性

如果 AOA 與 TDOA 都佈置同樣三個偵測站點，並且使用圓形誤差機率[6] (Circular Error Probability, CEP) 50%的條件下，其定位範圍約為下圖 4-18 所示。很明顯的，AOA 的定位範圍將大於 TDOA 定位範圍 2 倍以上，

[6] 圓形誤差機率：可透過計算多個測量值處在以真實值為圓心(球心)某固定值為半徑的圓內(球內)的概率來給定其概率分佈。

尤其在緊鄰偵測站點的周圍。利用 AOA 定位，其定位範圍在相同定位精準度要求下，將遠大於 TDOA 定位技術。



資料來源：本研究整理

圖 4-18 AOA 與 TDOA 定位技術在相同定位精準度下定位範圍示意圖

AOA 定位技術在相同定位精準度要求下，定位範圍雖遠大於 TDOA 定位，但 TDOA 的偵測設備具有天線尺寸小、易於安裝的天線實現定位等優勢。此外，最重要的是 TDOA 定位偵測設備成本遠低於 AOA，由設備廠商提供資料顯示，TDOA 設備成本不到 AOA 的 20%。

二、AOA/TDOA 定位系統涵蓋所需架設之站台數目

ITU 電波監測手冊提及，在頻譜監測站點的選擇必須遵守三大原則。

- 坐落在適合的區域內進行監控：其站點所在具有適當覆蓋範圍。
- 防止具有阻隔障礙物
- 具電磁保護

監測站應該盡量選擇環境場強較低，相對未受干擾的地點。特別是低於 30 MHz 的站點，選擇坐落在一個相對平坦的區域，減少附近的架空電纜、建築物、大樹、山丘和其他人為或自然的特性的影響。這些因素將限制量測的有效性，其中包括有頻率範圍和所使用的天線的類型、方向。尤其在 VHF 和 UHF 頻段，需使用高指向性的天線。再者，由本地反射或再輻射的信號將會造成多重路徑接收，必須盡量降低其影響。

監測站台應遠離現有的工業區或擁擠的住宅區，並且最好具有至少 1 公里的間隔。如果有某些類型的工業廠房，例如：電氣焊工、高功率加熱設備、除塵器或其他機器，則可能會需要比 1 公里更大的間距。此外，距離 100KV 電壓的電纜線路至少要保持 2 公里以上的間距，若是非常高電壓的電纜，甚至要保持 10 公里以上。

監測站台不能設置在機場附近，因為低空飛行的飛機會影響較高的頻率的頻段。由經驗判斷，距離機場應該超過 8 公里以上，此外，也要避免在交通繁忙的道路附近。下表 4-4 列出當選擇一個測向偵測站應保持的距離。

表 4-4 監測站台選擇考量

障礙物	最小距離(m)
Non-metallic one-storey building:	200
Two- or three-storey non-metallic buildings	250
Non-metallic buildings of over three storeys	300 and over depending on height
Small buildings with metal roofs	250
Metal structures (small sheds, etc.)	800
Reservoirs, large metal structures, metal bridges	1500
Open-wire telephone lines, low-tensions lines	250-300

High-tension lines with pylons 20 m high	1000
High-tension lines with pylons of 30 m and over	2000-10000
Railway or tram lines	1000
Wind turbines	2000 from individual wind turbines 5000 from wind farms
Isolated trees	100
Small groups of trees	200
Forests	800
Metal fences	200 (in HF depending on the size and the shape of the antenna more than 200)
Small antennas	200
Large antennas	400
Lakes, ponds, rivers	1000

資料來源：ITU 2011 電波監測手冊

在 ITU 文獻中並沒有針對電波監測網路最佳化，僅有將它們安排成正三角形的配置方式。監測站之間的距離是可偵測的範圍與監測的精確度兩者之間取捨的結果。為了監測台北市的區域，若在台北市西南側的士林設置監測站台，則監測範圍能含蓋整個台北市。本研究模擬監測台北市，其相關參數之設定如下表 4-5 所示。

表 4-5 模擬偵測測向範圍參數設計

監測站參數	
天線高度	20m

操作頻率	30MHz、300MHz、1GHz、3GHz
傳播模式	F(50,50)
天線增益	2.15dBi
天線場型與極化方向	Omni /垂直極化
發射源參數	
天線高度	2 m
發射功率	10W
系統參數	
最低偵測場強值	(S+N+D/N+D) ≥12 dB　12dBuV/m
傳播模式	F(50,50)

資料來源：本研究整理

在建立無線系統模擬平台前，必須先瞭解無線通道的特性。根據這些無線通道的特性，才能建立出一個接近真實環境的模擬平台。另外傳播模式採用 FCC 建議使用的 F(50,50)訊號涵蓋範圍為判定法則，它的原理我們將於後面的章節再作說明。

各類訊號從發射端送出之後，在到達接收端之前所經過的所有路徑，統稱為通道。通道對傳送訊號所產生的影響，是各類通訊系統接收端設計的一個關鍵。其中，如果傳送的是無線電訊號，電磁波傳播所經過的路徑，特別稱為無線通道。無線通道可能是很簡單的直線傳播(Line of Sight, LOS)，也可能會被許多不同的地形或障礙物所影響(None Line of Sight, NLOS)，例如訊號經過建築物、山丘、或者樹葉反射所產生的多重路徑效應，多重路徑效應會造成訊號放大或衰減，訊號最大和最小可以相差 30 到 40 dB。

在無線通訊系統中，無線通道通常是利用通道的統計特性來分析與模擬，各類文獻已經提出相當多的通道模型。一般而言，整個無線通道對訊號所產生的影響，共可分為三大部分，它們在一個無線通道中是同時存在的：(1)傳播路徑損耗 (Propagation Path Loss)：一般而言，接收訊號的功率大小或是傳播路徑的損耗，可以視為一個隨機變數，而傳播路徑損耗代表訊號的發射功率經傳播路徑所產生的平均損耗，平均接收功率會隨著傳播距離的增加而減少，而傳播路徑的損耗會隨著距離的增加而增加，因此，這個隨機變數是一個距離的函數，而隨著距離的不同，會有不同的平均值或中間值。(2)大尺度傳播損失(Large-scale Signal Loss)：這個損失用巨觀的角度，來描述訊號在經過較大尺度的障礙物所產生的變化，而此變化通常用統計的方式來描述(3)小尺度衰退損失(Small-scale Fading)：這個損失是用微觀的角度，來描述在很短的距離(或時間)之內，接收訊號功率所呈現快速的變動。以上只是概略的介紹此三種通道的效應，在接下來的小節內將會有更詳細的論述。

在最低電場強度方面，參考 V.V. Kogan 於 2004 年所提出之頻譜監測網路規劃方法。在大多數情況下的接收器，可以將電場強度是 12dB μV/ m 解調其中的訊號，其中電場強度代表的意義是空間中電場的大小，它可以用下列的式子計算。

- 電場強度 E0（dBμV/m）=接收信號功率強度（dBm）＋107（dB）＋天線因子（dB/m）＋電纜損耗（dB）
- 天線因子(antenna factor) AF=20log(f)-33.7

其中 f 是以 MHz 為單位之訊號頻率。由上式換算天線因子在 30MHz、300MHz、1GHz、3GHz 等頻率，分別為-4.2dB、15.8dB、26.3dB、35.8dB。以天線因子-4.2dB 反推 12dB μV/ m 電場強度，則接收機必須具有-100dBm 以下的接收靈敏度。參考各設備廠商，在 NI 與 R＆S 都具有支持-100dBm 以下的接收靈敏度之量測能力。

因為本次實測驗證在北高雄與南台南舉行，為三個監測站台分別建置於高雄科學園區、台南健康定向站與交通大學台南校區(高鐵台南站) 。其中相距的最小距離為 9.94 公里，相距的最大距離為 20.05 公里。本計畫進一步分析高雄科學園區模擬涵蓋面。

運用上述的參數設計模擬 30MHz，本研究模擬參數分析偵測站點係依據北高雄與南台南地形，另兩點選擇健康站與台南高鐵(交大南分校)。摒除前述 ITU 電波監測手冊之雜訊干擾與地形阻礙因素，偵測站點選擇路

科，則其偵測範圍將廣泛涵蓋北高雄與南台南。模擬 30MHz、300MHz、1GHz、3GHz 所得如下圖 4-19 至 4-22 所示。

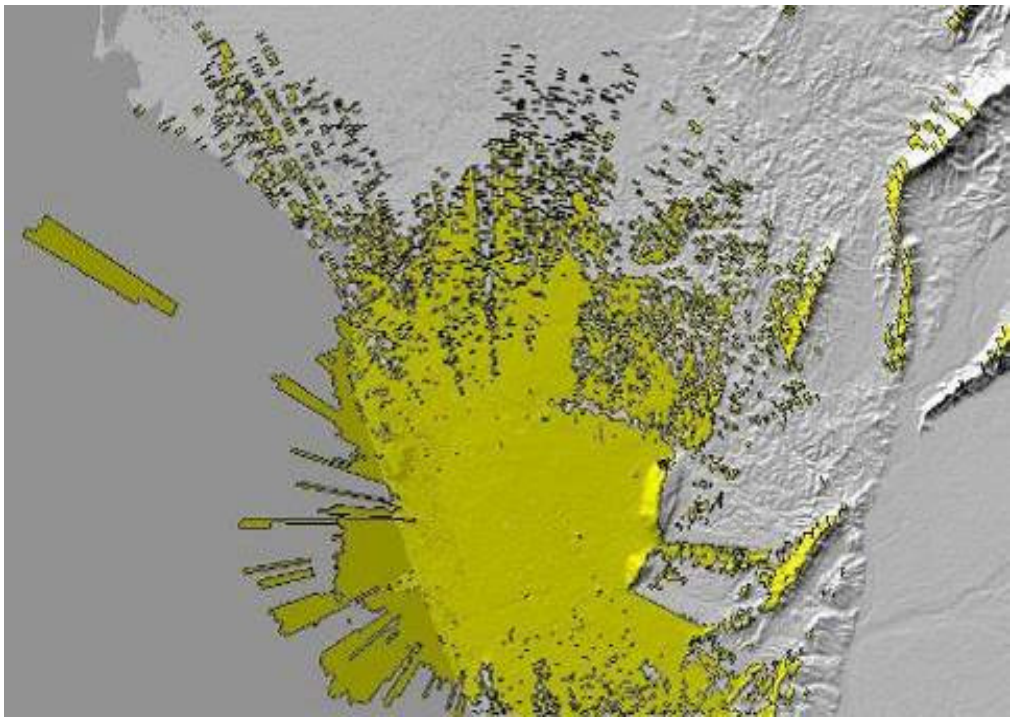


圖 4-19 模擬路竹偵測點 30MHz 頻段涵蓋資訊

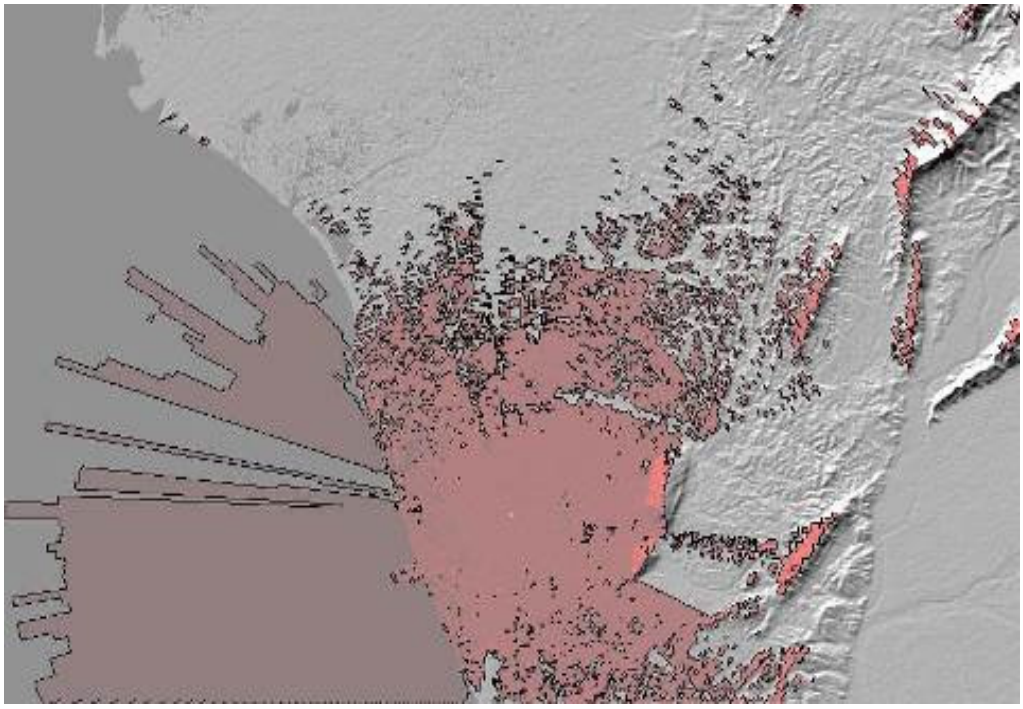


圖 4-20 模擬路竹偵測點 300MHz 頻段涵蓋資訊

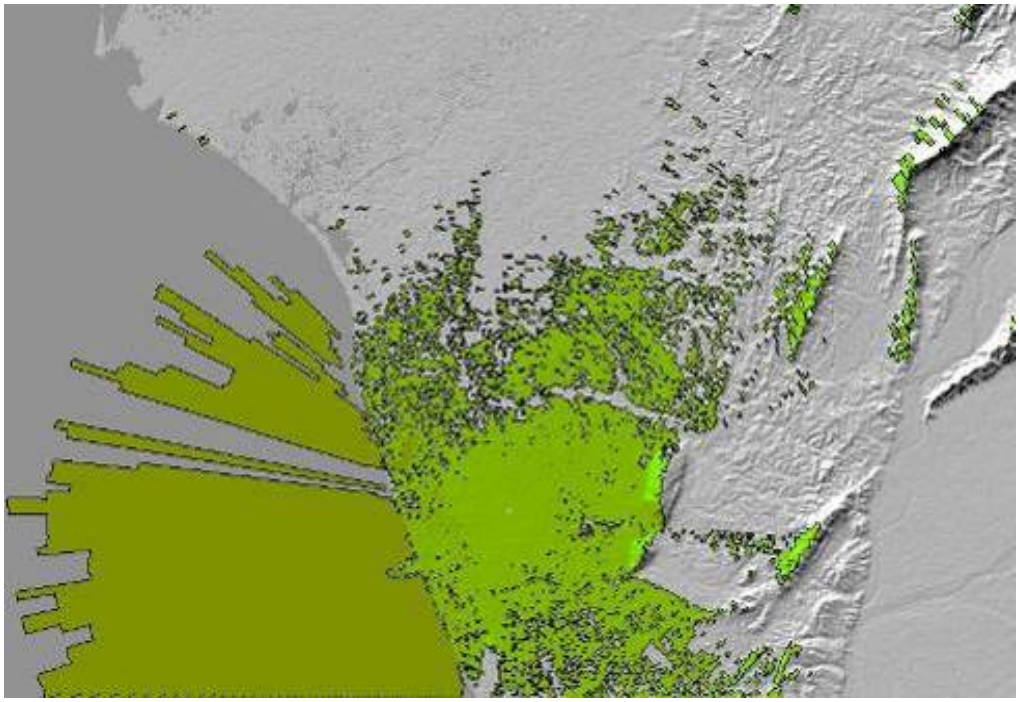


圖 4-21 模擬路竹偵測點 1GHz 頻段涵蓋資訊

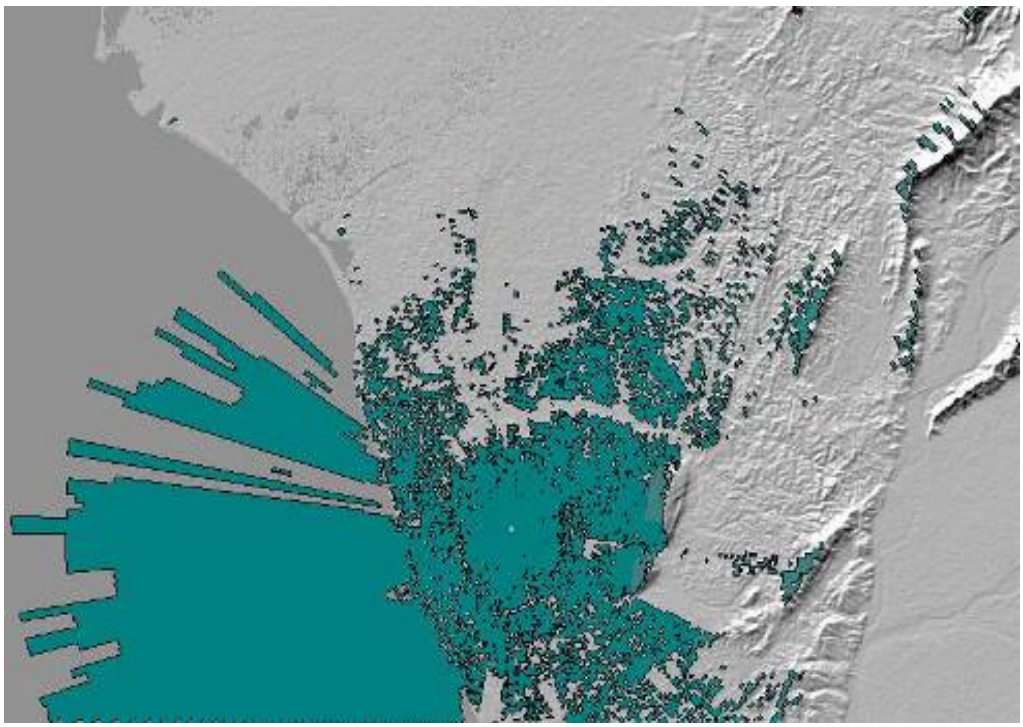


圖 4-22 模擬路竹偵測點 3GHz 頻段涵蓋資訊

初步估計以 TDOA 為佈置方式，本次實驗約需要選定 3 個偵測站點。其佈置方式如下圖 4-23 所示。

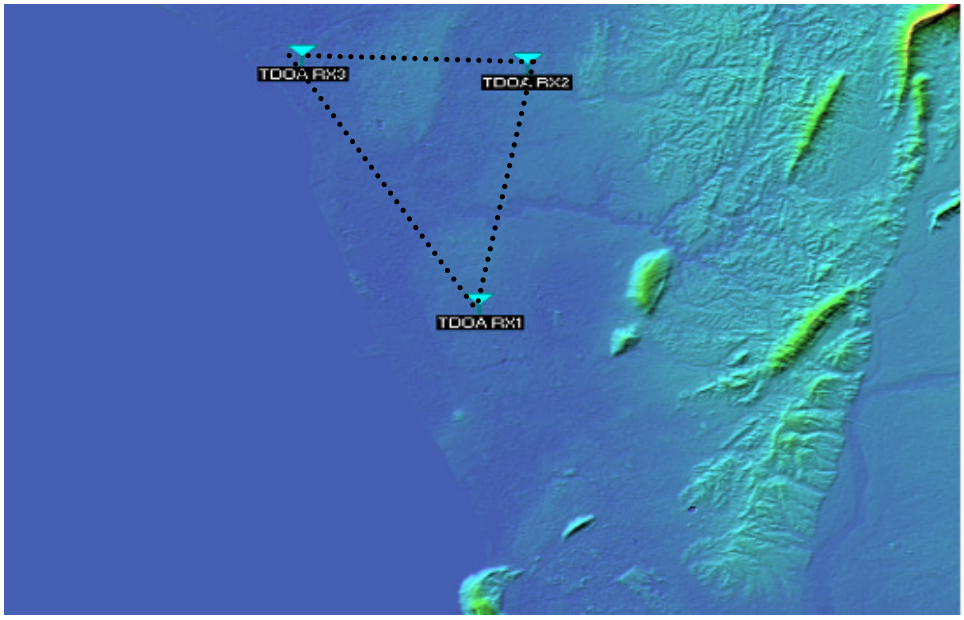


圖 4-23 TDOA 正三角形配置站點估算

由以上敘述可知，監測站台的數量與地理位置的評估，應考量監測區域之地形，並盡量減少阻隔障礙物及雜訊源等因素。在配置之監測站台數量上應考慮地形因素、接收機性能及偵測的精準度。上圖 4-23 所示之地點，僅依據正三角配置初步的規劃涵蓋範圍。在實際配置上則可以用測試車更精確的模擬評估。圖 4-23 所示的模擬 TDOA 定位系統的詳細資訊如下表 4-6 所示。

表 4-6 TDOA-based 定位系統的概略區域位置

TDOA-based 定位系統的概略區域位置 (模擬評估)	TDOA-based 定位站台	經度(度分秒)
		緯度(度分秒)
高雄科學園區區域	TDOA RX1	120 度 15 分 42.41 秒
		22 度 50 分 21.70 秒
交通大學台南校區區域	TDOA RX2	120 度 17 分 9.00 秒
		22 度 55 分 29.00 秒
台南健康定向站區域	TDOA RX3	120 度 10 分 14.60 秒
		22 度 59 分 49.70 秒

本次 TDOA、AOA/TDOA 定位範圍評估系統涵蓋之站台數目綜合分析，本次實測測試結果在第陸章所呈現，如下表 4-7 所示

表 4-7 模擬北高雄與南台南之參數設定與結論

模擬地點(偵測站)	測試頻率(f)	天線因子(AF)	範圍距離(KM)	接收機靈敏度	天線高度(發射端)	天線高度(接收端)	地形與偵測範圍考量(TDOA)	地形與偵測範圍考量(AOA)
高雄科學園區(路竹)	30 MHz	-4.2 dB	涵蓋北高雄與南台南	-100 dBm 以下	2m	20m	模擬 3 個偵測站點	3 個偵測站點
	300 MHz	15.8 dB	15					
	1GHz	26.3 dB	15					
	3GHz	35.8 dB	8					
備註: 傳播模式 F(50,50)								

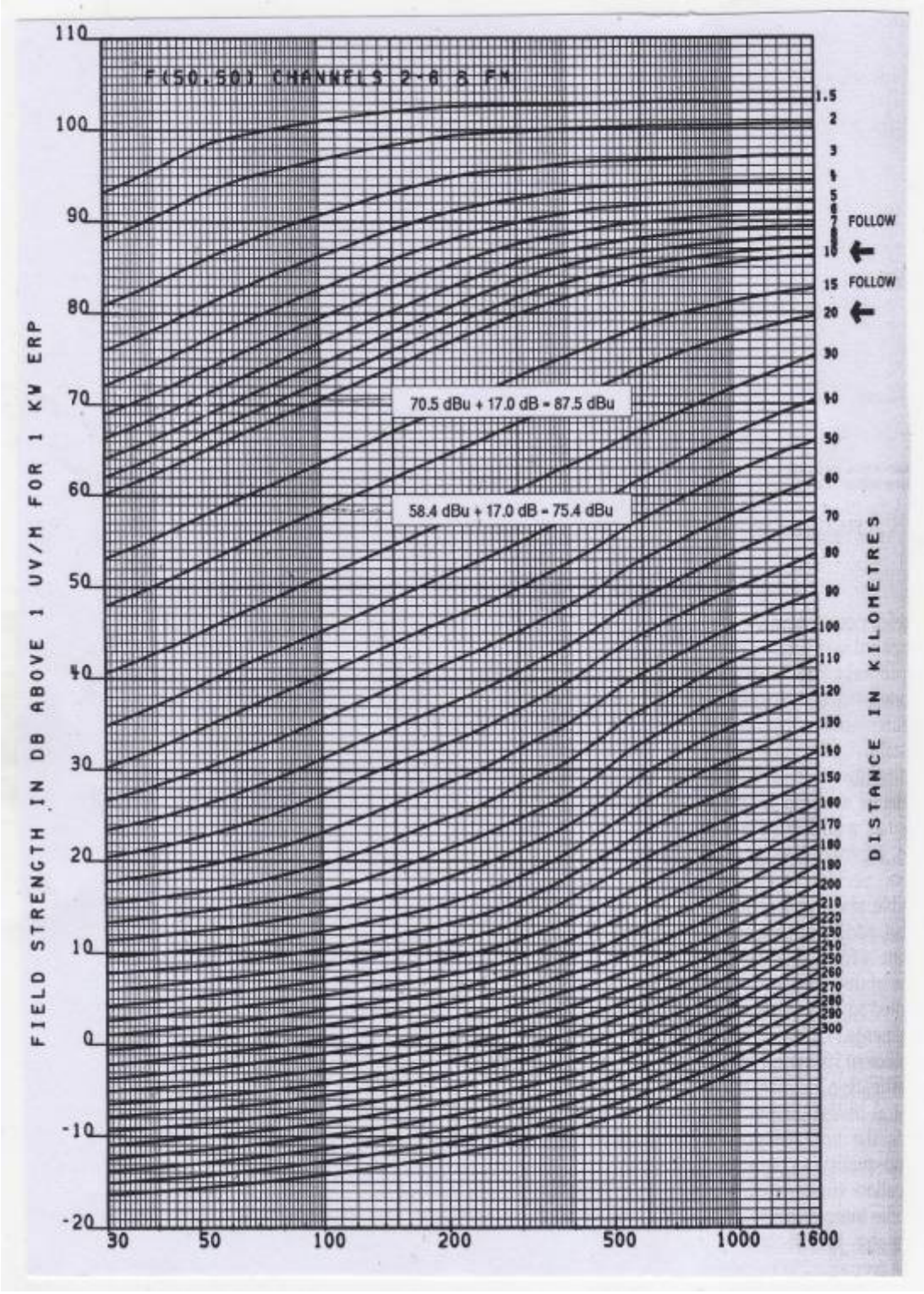
資料來源：本研究整理

三、傳播模式探討

在本小節，本研究將說明傳輸模式的設定。美國的電信監理機構 FCC 曾經針對電波涵蓋的圓形面積的半徑與天線發射功率、發射頻率等系統參數做過一系列的實際實驗，並且以圖形的方式及網路即時計算器的方式提供給相關的研究機構與民間團體參考使用。這些資訊可以在 FCC 的網站很方便地取得。

這些常用的關係對於廣播式的通訊服務(例如：FM 廣播、類比電視廣播、數位電視廣播等)有很大的幫助。常用的關係有 F(50,10)、F(50,50)、F(50,90)三種，其通稱為傳輸模式。本研究以 F(50,50)為例說明它實際的意義以及可供本研究利用的部分。由於無線電波在無線通道傳遞的特性，接收訊號的強度通常不是一個恆定的值，而是具有類似擲骰子所得到的點數一般，會有隨機的變化。換言之，它是一個隨機的實驗。F(50,50)傳輸模式的意義是該電臺廣播服務的圓形區域中有 50%的接收地點，有 50%的機率達到某一個特定場強，而此一特定場強與所使用的頻率與要求的接收訊號強度有關。舉個例子來說，在 FM 的廣播服務中，FCC 規定如果 FM 的發射站台是屬於 A 類別時，發射的頻道屬於非商用教育使用頻道(88.1~91.9 MHz)，如果接收品質是城市等級(city grade)，那麼訊號電場強度必須是 70 dBu，這個時候訊號涵蓋的圓形面積的半徑是 16.2 公里，如果訊號電場強度是 60 dBu，則半徑放大到 28.3 公里。

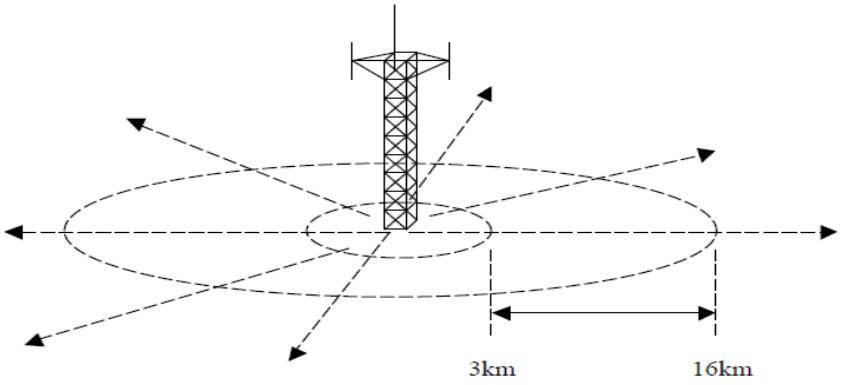
除了 F(50,50)傳輸模式之外，還有 F(50,10)以及 F(50,90)這兩種傳輸模式，而 F(50,90)主要是給數位電視參考使用，F(50,50)以及 F(50,10)主要是給 FM 廣播與類比電視參考使用。在圖 4-24 中，展示一張 F(50,50)傳輸模式的場強曲線圖，這張圖形是給 FM 廣播電台頻道 2~6 使用，當頻道不同時，這張圖形將有所不同。這些電台的頻道的實際頻率以 FCC 之規定為準，與台灣並不全然相同[32]。



資料來源：FCC ”TRANSMITTING ANTENNA HEIGHT IN METERES FIGURE 4.15-6 FCC F(50,50) propagation chart”

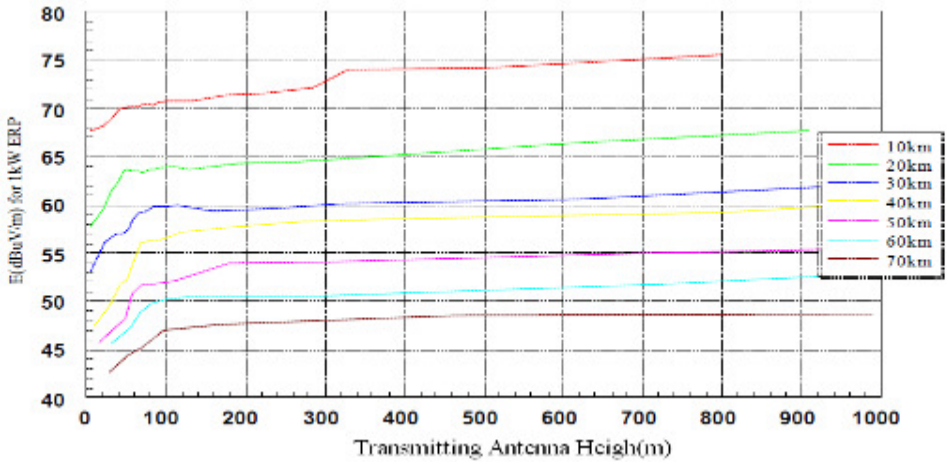
圖 4-24 FCC 之 F(50,50)場強規範曲線

以台灣為應用環境，本研究參考中山大學林根煌教授所指導的論文-「台灣地區 FM 頻帶場強預測曲線與電臺設立規範之研究」[33]。該文仿照 FCC 的作法，以 Degout 模型模擬電臺各方位的場強值如圖 4-25 與 4-26 所示。與 FCC 的實驗不同之處是該論文針對台灣多山的地形，考慮如果電台附近地形有高低起伏的場強分佈關係。其結論是當天線高度是 30 公尺時，場強大約比 F(50,50)的建議值少 5 dBu。當天線高度是 900 公尺時的場強比 F(50,50)規範多 5 dBu。除此之外，大約有 70%左右的場強值大致上與 FCC 之 F(50,50)建議值很接近，因此 FCC 之 F(50,50) 建議值很有參考價值。



資料來源：林根煌、謝奇軒「台灣地區 FM 頻帶場強預測曲線與電臺設立規範之研究」，國立中山大學民國 86 年碩士論文

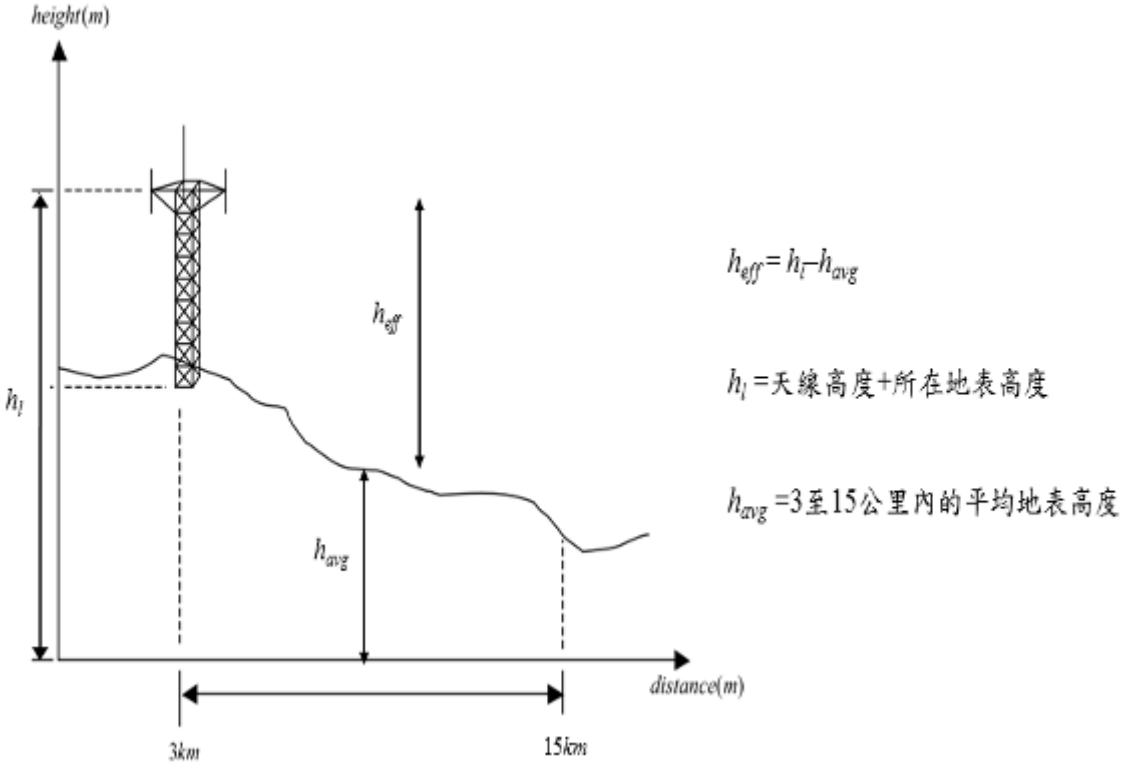
圖 4-25 模擬電臺各方位場強之示意圖



資料來源：林根煌、謝奇軒「台灣地區 FM 頻帶場強預測曲線與電臺設立規範之研究」，國立中山大學民國 86 年碩士論文

圖 4-26 台灣地區 FM 場強模擬規範曲線圖

除此之外，ITU-R370 是由 ITU 所建議的一種電磁波傳播模式，其測量的頻率範圍是 30~1000 MHz，量測距離則為 100~1000 公里，主要適用於 VHF(80~250MHz)與 UHF(450~700MHz)廣播電臺頻段。它亦根據地形高低起伏變化，提供相對場強預測修正量。ITU-R370 的量測如圖 4-27 所示，若發射電台的天線實際距離海平面的高度是 h_l，距離發射電臺 3 至 15 公里內的平均地表高度比起海平面高度是 h_{avg}，則有效的天線高度 h_{eff} 是 $h_{eff} = h_l - h_{avg}$。



資料來源：本研究整理

圖 4-27 有效天線高度示意圖

ITU-R370 傳播模式和地平面反射模式類似，但地平面反射模型只考慮直接波與地面反射波，ITU-R370 則多考慮了地形起伏因素。若接收端的地形起伏變化較小時，則使用 ITU-R370 模式預測其場強分佈，可以得到準確的場強預測。國立台灣大學李學智教授主持的「台灣地區廣播電視電波傳導模式的建立與共站之實測驗證」計畫指出， ITU-R370 電波傳播模式適用台灣西部、中南部等沒有阻擋且地勢高度起伏變化小的平原區域。

第四節 定位準確度與監測站位置分布

本研究完成 TDOA 定位系統初步規劃下，TDOA 技術之定位精確度的關係分析如下：

一、TDOA 定位精確度與涵蓋服務區的影響分析

TDOA-based 的已知位置線是地球表面上至兩個監測站台具有恆定測量距離差的曲線。根據幾何原理，發射台無線電波到達兩監測站台的距離差為常數的軌跡即為以兩個監測站台為焦點的一條雙曲線。因此 TDOA-based 位置線也是雙曲線的位置線。由於無線電波已確定的傳播速度，傳播距離與時間成正比。所以，TDOA-based 的位置線既是距離差位置線，同時也是時間差位置線。

TDOA-based 定位技術是運用位於三個以上在雙曲線焦點的監測站台。當兩兩監測站台接收到發射源的時間差，透過時間差轉換為距離差，再根據已知監測站台配置的經緯度座標，計算出發射源定位點的地理座標。TDOA-based 定位精確度是指在給定時間下測量位置與真實位置的符合程度。影響 TDOA-based 定位誤差因素(不包含人為操作誤差)綜合歸納為:

- 發射信號不穩定所導入的誤差
- 空間傳播介質(例如：天氣)及其他物理變化導入的誤差
- 接收設備所導入的誤差
- 時間差測量誤差導入定位誤差

TDOA-based 定位精確度與監測站台所處的涵蓋服務區有極大的關係。換言之，TDOA-based 定位精確度是監測站台位置關係的函數。相較於 AOA-based 定位技術可量測位於監測站台幾何位置內的發射源而言，TDOA-based 主要量測位於監測站台幾何位置內的發射源較為準確。在時間差測量誤差導入定位誤差中，TDOA-based 涵蓋服務區內的定位精確度將隨發射台距離監測站台而變化。

TDOA-based 涵蓋服務區的一般定義為：在定位精確度下(或接收機性能信號雜訊比)，容許監測站台定位精確度(或接收機性能信號雜訊比)的地球表面或空間的範圍。TDOA-based 涵蓋服務區不是一個絕對的概念，例如：對於相同 TDOA-based 定位精確度的要求下，性能好的接收機比性能

差的接收機涵蓋服務區較為寬廣。對於不同精確度的要求下，其TDOA-based 涵蓋服務區也不盡相同。定位精確度要求越高，涵蓋服務區愈小。另外，「最大運作距離」也可以用來做 TDOA-based 涵蓋服務區的參考指標。所謂「最大運作距離」是指三個監測站台組成幾何位置中，發射源信號到達各監測站台極限最低值，所產生公共區域中距離主要監測站台的最大距離。其使用「最大運作距離」描述的 TDOA-based 涵蓋服務區可對應於信號雜訊比獲得的涵蓋服務區。TDOA-based 定位精確度取決於三方面的條件：

- 到達監測站台的信號條件：主要依據監測站台與發射源的距離暨發射源的功率有關。另外，發射至接收路徑的傳播條件也非常重要。在傳輸干擾良好的路徑上所接收到的信號衰減小則信號品質較佳。更重要的是，信號延遲的可預測性較佳。因此，監測站台接收機的信號條件相關於：發射源信號品質(波形的精確性與穩定度)、接收機性能、監測站台選址與安裝狀況。
- 監測站台與發射源的雜訊環境：信號雜訊的條件會影響定位精確度。
- 監測站台幾何精確度：TDOA-based 主要依據兩條時差位置線的交點來獲得。而且定位精確度與位置線交角有關。位置線交角愈接近垂直，所獲得的定位精確度愈高。另外，兩監測站基線延長線附近，定位精確度很低且有時間差值的問題(Ambiguous problem)，TDOA-based 涵蓋服務區不包括兩監測站基線延長線附近的區域。

再者，商用服務與軍規戰情規格的權衡取捨(Trade off)也是決定定位 TDOA-based 定位系統的重要指標。因為 TDOA-based 定位精確度與涵蓋服務面大小的需求，可權衡商用服務或軍規戰情的規格來建置。換言之，在預算成本的考量下，TDOA-based 定位系統的建置業者均同意依客製化的需求以實現「軍規戰情」的高精確度規格。例如:提高接收機的性能、突短信號的捕捉與解算反應時間、行動追蹤干擾源。綜合分析定位準確度之各項影響因素歸納於下：

(一)發射電台與接收量測站台幾何位置：

TDOA-based 接收站台的排成一列的不當建置如下圖 4-28 所示，也會嚴重影響定位精確度。此顯示通傳會(NCC)既有的 AOA-based 站台的選定中，因選址的種種限制條件而不能避免 AOA 監測站台在地理位置的不佳配置。TDOA-based 技術在量測站台的選定，雖然具有較佳與寬鬆的選址條件，仍然需要審慎地評估各項因素。包含幾何地理環境、電波環境與服務涵蓋範圍等因素。

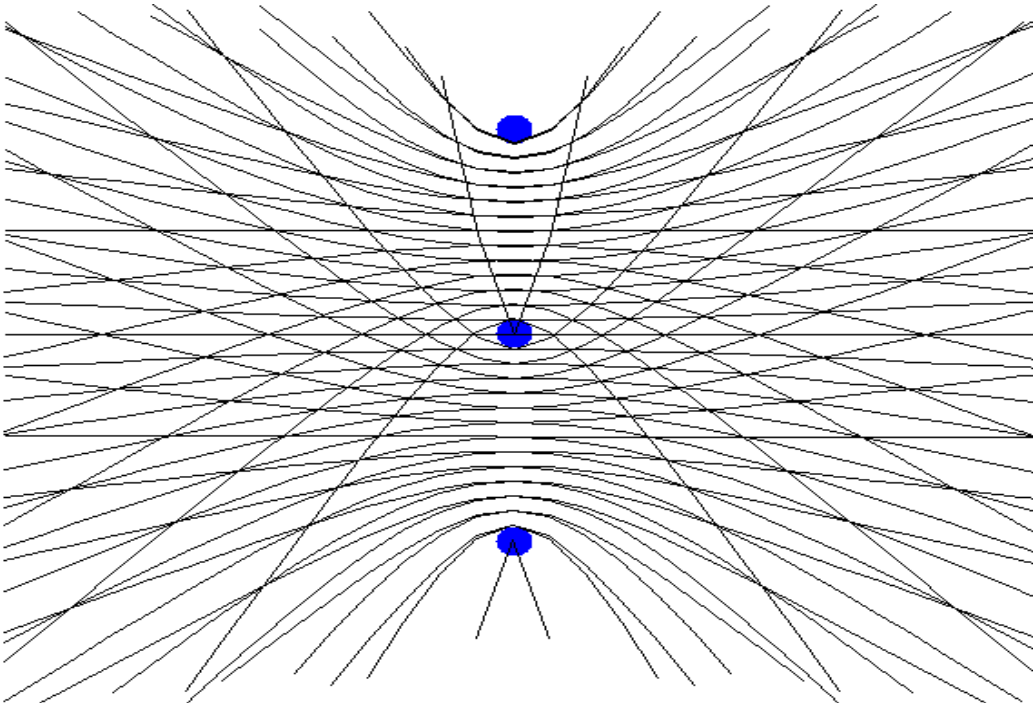


圖 4-28 TDOA-based 自動定位系統接收機的不佳地理配置

二、建置 TDOA-based 定位系統的評估與考量因素

在接收機性能方面，接收機的重要特性包括如下:

- TDOA-based 量測接收機的中頻濾波器(Intermediate Frequency Filter)應具備良好分離量測的信號，暨實現最大信號頻寬以達定位精確度的效能。
- 為了盡量減少網路高速的要求，接收機傳輸至 TDOA-based 定位解算模組的取樣信號(sample signal)，應該盡可能使用不會造成信號重疊失真(aliasing)的最低取樣率(minimum sample

rate)來傳輸。重要的是，取樣率(sample rate)與計時精確度(Timing accuracy)無關。換言之，20 k Hz 信號的取樣率並不等同 50 μ s (1/20 k Hz) 的計時精確度。

- 為了進一步減少網路和運算的要求，當信號不出現時，接收器應盡可能避免信號的傳輸。
- TDOA-based 技術應避免導入開關內部預選濾波器、衰減器或其他接收機的類比和數位信號處理單元的變動而造成接收器的總群延遲變化，造成計時定位的誤差。
- 在量測所有的頻率情況下，TDOA-based 接收機的定時精確度應適用於接收器的 IF 帶寬。TDOA-based 接收機應確保 IF 頻寬的信號沒有進一步產生群延遲失真。更應確保相對於 IF 的窄頻信號，IF 頻寬內的任何頻率偏移仍然具有良好的計時精確度。最大的計時誤差的來源通常極為可能存在於接收機內部信號路徑。因此，TDOA-based 的每一個量測站台應建置有補償延遲校準係數(calibration coefficients)的設施與機制以提高定位精確度[34][35]。
- 在相關(correlation)濾波器組態的選用上，一般通常可使用廣義互相關函數(Generalized Cross-correlation function, GCC) 估測最佳到達時間差。$\mathrm{r}_{x,y}(\tau) = E\{\mathrm{x}(n)\,\mathrm{y}(n+\tau)\}, \mathrm{d} = \arg\max\{r_{\mathrm{x,y}}(\tau)\}$ (或基於高階統計量的 TDOA 演算法)。更進一步，為提高 GCC 的抗干擾性能，可使用不同的前置濾波器組態設計。例如: the configuration of Roth Impulse Response, SCOT, PHAT, Eckart, Hannan or Maximun Likelihood。
- TDOA-based 監測定位系統應進行多路徑傳輸與非直視(No line of sight) 環境因素的補償修正，以提高定位精確度。例如:Urban 與 Rual 傳播模型的選用與 Correlation Filter 的設計。

其它接收機與站台建置相關條件之設計考量如下：

- 系統複雜度
- 可用電源需求

- 現有可用網路資源與效能
- 站臺與電波傳播環境
- 信號重用的環境
- 擬定位的信號類型(頻寬, 功率, 持續時間, 頻段)
- 基於任務下，可供定位站台(站台地理環境-海拔高度, 鄰近的發射電台狀況)
- 天線效能
- 接收機效能

根據這些考慮，TDOA-based 量測站台需保持適當的間距(幾百公尺到幾十公里不等)。

(一).定位站台的基本數量(Number of receivers)

TDOA-based 最小定位站台的需求為 3 個。當可用定位站台超過 3 個即能增加定位的精確度。當有 N 個量測電台便可擁有[N×(N-1)/ 2]個配對而獲得[N×(N-1)/2]組時間差估測以增加定位精確度。因為不同量測站台具有相異的多傳輸路徑環境信號與接收功率，造成不同的[N×(N-1)/ 2]估測配對具有不同估測時間差的品質差異。優良的 TDOA-based 定位演算法可採用先進的時間差演算法整合多個量測接收站台的較佳配對數據，以提高定位精度。但另一方面較佳的智慧型的適應性演算法(adaptive geo-location algorithm)也將增加解算的複雜度。

(二).系統計時精確度(Timing accuracy)

計時精確度(Timing accuracy)是 TDOA-based 定位精確度的基礎。同樣的，角度精確度(angular accuracy)是 AOA-based 定位精確度的根本。理論上定位解析度約為 30 cm/ns 但即使 TDOA 定位系統得到一個極為精確的計時量測精確度(Timing accuracy)也無法確切依賴能獲得準確預測發射電台位置的效能。此還尚未考量前揭所述的發射電台與 TDOA-based 監測站台所處的地理位置。同時也未將天線至接收機、Cable 傳輸所衍生偵測信號的時間延遲而導致定位解算定位誤差的因素考量在內。TDOA-based 定位系統通常會使用 GPS 接收機，以建立一個共同的時間參考。為了達到最佳的計時精確度，GPS 接收器可運作於 TDOA-based 固定(或運載式)監測站台模式以提供 GPS 接收機更精確的時間。當然也不能全然依賴 GPS

設備或其他 RF-based 時間效準的儀器。國際上曾發生 GPS 受到干擾的案例，若欲量測的信號干擾到 GPS 設備，將嚴重影響 TDOA-based 技術的精確度。

(三).網路的需求考量(Network considerations)

TDOA-based 網路考量主要著重於速度與可靠性的需求。網絡容量和速度的要求將採樣信號的時差傳送至中央控制單元以解算時差。尤其 TDOA 技術對於傳送接收站台的及時需求，造成上行與下行具有高度的不對稱性，且上行頻寬比下行頻寬更大。估計所有接收站台所擷取到的數據完全匯集至定位解算控制單元才是網路真正的速度與頻寬需求。網路的低延遲是 TDOA-based 技術渴望的目標。同樣的，網路的高延遲絕對會對於 TDOA-based 造成解算位置更新的負面影響，同時也可能影響 TDOA-based 對於行動干擾電台追蹤定位的能力。

當 TDOA-based 定位系統負責較大的區域時，可能需要多種異質網絡技術進行水平的整合。例如結合無線電信網路，ADSL，cable-modem 與光纖。基於網路連接傳輸過程中可能會受到天氣干擾，和來自其他網路用戶的負載能力和可靠性的變動影響。 TDOA 定位系統需滿足容納各種網路連接以正常運作之需求，以及一個或多個接收中斷在性能上的差異。使用無線網路時，更應注意避免 TDOA 定位接收器和 RF 調變/解調器之間的干擾。倘若 TDOA-based 定位系統需要介接至公眾網路時，應考量選用虛擬專用網(Virtual Public Network, VPN)或其他類似的網路技術，以確保數據傳輸安全與防止接收器上的直接攻擊。一般而言，TDOA-based 僅具備有限的運算資源與能力，很容易因為不必要的或惡意的網路流量而發生超載(overload)，造成 TDOA-based 系統即時自動定位的困擾[36]。

三、TDOA、AOA/TDOA 監測信號類型的分析

(一).發射電台信號類型

發射電台信號頻寬(Signal bandwidth) 在時域和頻域經過傅立葉轉換電波信號之關係，如下圖 4-29 所示。在時域形狀（長方形的 RECT）屬於較寬的信號，在頻域上經由傅立葉轉換後而形成一個狹窄的 sin x / x 的信號。反之，在時域形狀（長方形的 RECT）屬於較窄的信號在頻域轉換後形成一個狹寬的 sin x / x 的信號。不考量其他因素的影響，TDOA-based 技術對於寬頻信號的量測具有較佳的定位精確度。因為在雜訊與多路徑導致定位失真與誤差的情況下，寬頻信號具有時域上更為尖銳的變動特性。

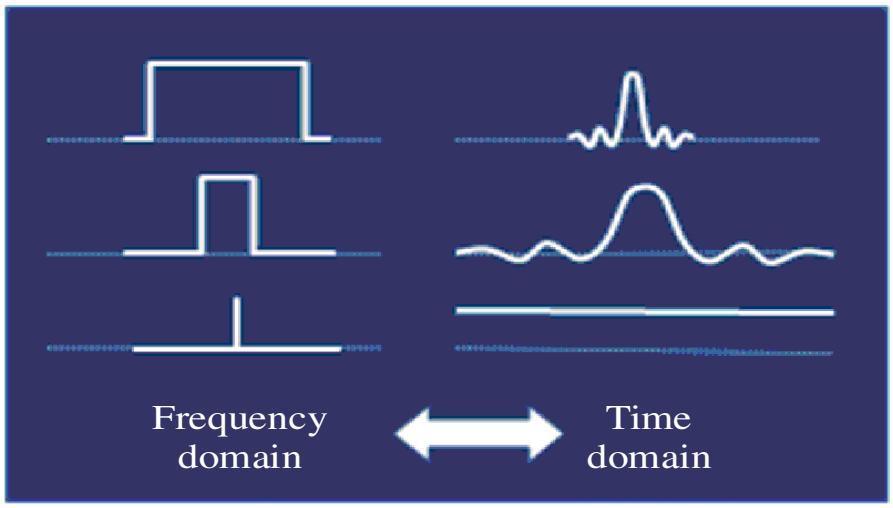


圖 4-29 信號在時域領域與頻率的傅立葉轉換關係

(二).發射電台信號的多重路徑傳輸效應(Multi-path effect)

信號多重路徑傳輸，將使得同一發射信號經由不同路徑傳送至相同的接收站台。其類似於同一接收站台於不同的時間擷取到多個副本信號。如圖 4-30 所示。因多路徑傳輸引起的脈衝形狀畸變是很難區分，也造成時間差的錯誤估測，使得 TDOA-based 產生定位誤差。當採用增加 TDOA 站台以更近接干擾源之方式可有效克服多重路徑傳輸效應的影響。

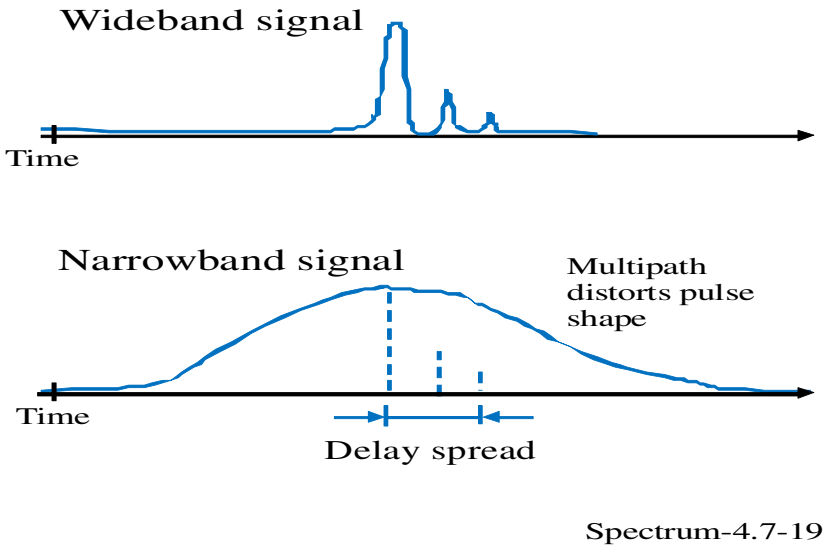


圖 4-30 多重路徑傳輸對信號頻寬的展延效應

(三).發射電台信號周期性信號(Periodicity Signal)

即使發生定位誤差的機率非常低，對於發射電台的周期性信號，TDOA-based 解算法也會產生不正確的定位。同時，TDOA-based 量測站也會因同時接收到來自於多個發射電台所發射共同的同步信號，而造成定位系統檢測的錯誤。例如周期性信號常見於重複的數據序列和同步脈衝信號。在此情況下，TDOA-based 定位系統可能無法區分多個發射電台所發射共同的同步信號到達兩個不同的 TDOA-based 接收機的互相關峰值(correlation peak)。

(四).信號接收功率與雜訊比、持續時間與行動速度

TDOA-based 定位技術取決計算兩個接收信號之間時間差。例如互相關函數定位演算法 $d=\arg\max\{R_{x,y}(\tau)\}$。$R_{x,y}(\tau)$ 表示到達兩種不同接收量測站 x(t)與 y(t)信號的時間延遲 τ。d 表示最佳估測的時間差(the best estimate of time difference)。以互相關函數定位演算法而言，探討到達兩個接收量測站台信號的互相關性作為時間偏移的函數。藉由觀測相同的時間間隔內。互相關函數的最大振幅峰值即可解算出欲量測的信號到達兩個不同的接收站台的時間延遲的差異。

交互相關的振幅峰值與兩個量測站台接收機所量測到的信號功率有關。如下圖 4-31 所示，從三接收系統的單次測量的交互相關圖。理想的情況下，每個小區將包含一個單脈衝，最大振幅峰值依時間差而顯現於其中左移或右移的位置。圖 4-31 中，來自於實際測量的數據，顯現真實環境對於互相關函數定位演算法劣化的影響。因此第二個 (R1-R3) 互相關表現出較低的 SNR 比。但是，複雜的 TDOA-based 定位演算法仍然需要從此劣化的數據中獲得位置的訊息。

眾所周知，在移動中發射電台與 TDOA-based 監測站台會發生杜普勒效應(Doppler effect)。不同的杜普勒效應取決於發射電台與 TDOA-based 接收器相互接近或遠離的不同速度而變動。為求 TDOA-based 定位精確度，TDOA 定位系統接收器之間的相對頻率變化的因素，也需在估計時間差演算法中獲得補償與修正。

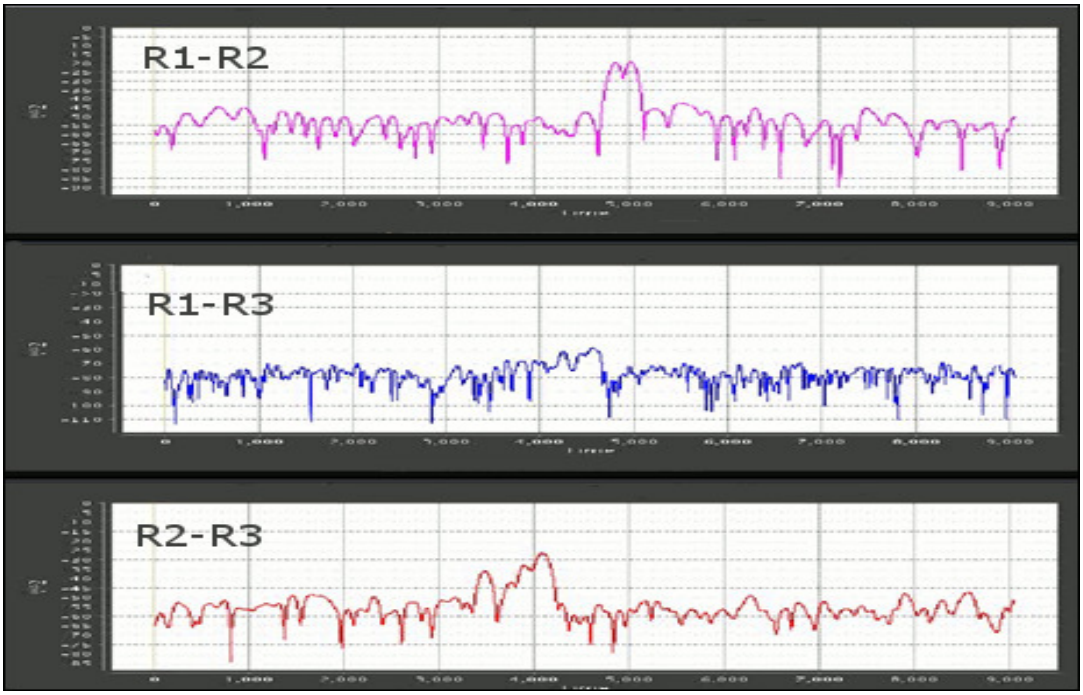


圖 4-31 雜訊與多路徑失真對 TDOA-based 互相關演算法的影響

第五節 小結

綜合上述，本研究分析建置「TDOA-based 自動監測定位系統」規劃設計考量的要項整理如下表 4-8 所示。

表 4-8 建置「TDOA-based 自動監測定位系統」規畫設計考量的要項

建置「TDOA-based 自動監測定位系統」規畫設計考量的要項	TDOA-based 定位精確度影響因素	發生情境剖析
幾何位置 由於使雙曲線無法匯集在相同的定位交點上導致定位誤差的範圍。	發射電台相對於 TDOA-based 監測站台位置	發射電台出現於三個接收站台的中心附近定位精確度較高。但位處於三個可偵測接收站台區域以外的地區，由於雙曲線往往相互平行，勢必造成較為嚴重的定位誤差。
	TDOA-based 監測站台組態與位置	相同於我國 NCC 現行的 AOA-based 站臺的選定。TDOA-based 技術在監測站臺的選定上，仍然需要審慎地評估各項因素。包含幾何地理環境、電波環境與服務涵蓋範圍等因素。
發射電台 信號類型	頻寬 (broad band or narrow band)	TDOA-based 技術對於寬頻信號的量測具有較佳的定位精確度。因為在雜訊與多路徑導致定位失真與誤差的情況下，寬頻信號具有時域上更為尖銳的變動特性。
	週期性信號/burst signal	TDOA-based 量測站也會因同時接收到來自於多個發射電台所發射共同的同步信號，而造成定位系統檢測的錯誤。例如周期性信號常見於重複的數據序列和同步脈衝信號。

	多路徑傳輸信號	因多路徑傳輸引起的脈衝形狀畸變是很難區分，也造成時間差的錯誤估測，使得 TDOA-based 產生定位誤差。當採用增加 TDOA 站台以更近接干擾源之方式可有效克服多重路徑傳輸效應的影響。
	信號接收功率與雜訊比、持續時間與行動速度	1. 交互相關的振幅峰值與兩個量測站台接收機所量測到的信號功率有關。來自於實際測量的數據，顯現真實環境對於互相關函數定位演算法劣化的影響而在互相關演算法上表現出較低的 SNR 比。但是，複雜的 TDOA-based 定位演算法仍然需要從此劣化的數據中獲得位置的訊息。 2. 在發射電台與 TDOA-based 的相對運動中會存在移頻的杜普勒效應 frequency shift (Doppler effect)。不同的杜普勒效應取決於發射電台與 TDOA-based 接收器相互接近或遠離的不同速度而變動。為求 TDOA-based 定位精確度， TDOA 定位系統接收器之間的相對頻率的變化的因素，也需在估計時間差演算法中獲得補償與修正。

接收量測站性能與定位解算法		3. 濾波器與相關演算法之選用 ■ 一般通常使用廣義互相關函數(Generalized Cross-correlation function, GCC)估測 the best time difference of arrival 。 $r_{x,y}(\tau) = E\{x(n)\, y(n+\tau)\}, d = \arg\max\{r_{x,y}(\tau)\}$ 更進一步，為提高 GCC 的抗干擾性能，可使用不同的前置濾波器組態設計。例如: the configuration of Roth Impulse Response, SCOT, PHAT, Eckart, Hannan or Maximun Likelihood。 ■ TDOA-based 監測定位系統應進行多路徑傳輸與非直視(No line of sight)環境因素的補償修正，以提高定位精確度。例如:Urban 與 Rual 傳播模型的選用與 Correlation Filter 的設計。
		定位地圖的精確度會直接影響相關演算法解出的干擾源地理位置。干擾源地理位置結合電子地圖以經緯度顯示的程序中很容易產生誤差。「TDOA-based 自動監測定位系統」的定位精確度在匯入與整合電子地圖的工程上具有非常關鍵的影響，需賴多個發射站台與多次重覆實測來校正。
	可用量測定位站數量	當有 N 個量測電台便可擁有[N×(N-1)/ 2]個配對而獲得[N×(N-1)/ 2]組時間差估測以增加定位精確度。
	站臺環境(Power Loss, Multi-path, Non Line of sight)。	TDOA-based 監測定位系統應進行傳輸功率衰弱、多路徑傳輸與非直視(No line of sight) 環境因素的補償修正，以提高定位精確度。

	站台選址與建置的考量	■ 系統複雜度。 ■ 可用電源需求。 ■ 現有可用網路資源與效能。 ■ 站臺與電波傳播環境。 ■ 信號重用的環境。 ■ 基於任務下，可供定位站台(站台地理環境-海拔高度，鄰近的發射電台干擾狀況) ■ 天線效能。 ■ 接收機效能。
	參考同步時鐘(GPS)	計時精確度(Timing accuracy)是 TDOA-based 定位精確度的基礎。例如天線至接收機、內建 Cable 傳輸所衍生偵測信號的時間延遲都會影響定位誤差。國際上曾發生 GPS 受到干擾的案例。若欲量測的信號干擾到 GPS 設備，將嚴重影響 TDOA-based 技術的精確度。
網路需求	網路的頻寬、速度與可靠性需求考量 (Network considerations)	1. TDOA-based 定位系統的的上傳頻寬(up-link bandwidth)需滿足大於 1Mbps (byte per second)。「TDOA-based 自動監測定位系統」規畫設計上應具有訊號錄製與回放功能以在網路壅塞時進行離線相關演算法的作業機制。 2. 傳輸網路需滿足高速、寬頻暨異質網路整合的可靠性需求。若需介接於公眾網路時，宜選擇 VPN 網路的連結以增加「TDOA-based 自動監測定位系統」的私密性。

第伍章 實測 TDOA 定位系統設備架構之設計

本研究 TDOA 實驗設備設計方面，透過與美商國家儀器公司（National Instruments, NI）合作方式以進行軟硬體設備開發。在 TDOA 定位系統的硬體設備由 NI 提供各項天線裝置搭配接收機設備，本研究則參考相關文獻，規劃設計適用之偵測站點與待偵測發射源。其實驗設備設計的主要原則為:

- 模組化設計：無論接收機、控制器與 GPS 同步器，都有現成模組組合，易於快速建立實驗佈置而獲得測試數據。
- 開放性軟體架構:TDOA 監測系定位系統需針對各種訊號類型與各項功能需求，進行系統的設計。採用開放性軟體架構易於快速建立針對所需要的待測訊號。
- 設備的一體性：對於部分的實驗監測站台，對電源、網路等相關資源不足下，單一設備及低電源消耗對實驗監測站台佈置有絕佳的幫助。

第一節 實測 TDOA 硬體模組之設計

時間差到達定位技術(Time difference of arrival, TDOA)是使用多個接收機，再依據待定位物所發出之信號、解算出到達接收機時所花費的時間（arrival time）。由每個接收機所測得的三個的時間差，計算出待測發射原的正確位置。該 TDOA 技術軟硬體實驗設計必須建立在，接收機性能、時間同步與網路連線功能的基礎上，本節對各項實驗設計分述如下。

(一).接收機

TDOA 硬體的接收機實驗設計，主要參考 ITU 電波監測手冊，對接收機特性如下表 5-1 所示，其新版與 2002 年版本最大差異有二，其一是雜訊指數（Noise Figure, NF），目前廠商設備在 30 MHz to 2000 MH 約可達到 10dB；其二是自動控制增益（Automatic Gain Control, AGC），廠商在設備多數可達到 130dB，其餘與原來規範差異不大。

表 5-1 國際聯合會新版電波監測接收機特性

Function	VHF/UHF
Frequency range	20 MHz to 3 000 MHz
Tuning resolution	≤ 10 Hz
Tuning error	≤ 0.1 ppm, or ≤ 0.001 ppm using global positioning by satellite(1) for external reference
Synthesizer settling time	≤ 5 ms
Input (antenna input) VSWR	50 Ω, nominal ≤ 2.5
Preselection (highly linear receivers may meet intermodulation specifications without preselection)	Set of suboctave band filters or tracking filter
3rd order intercept	≥ 10 dBm
2nd order intercept	≥ 40 dBm
Noise figure	≤ 12 dB(2)
IF rejection	≥ 80 dB
Image rejection	≥ 80 dB
IF bandwidths (–6 dB)	Internal or external filters, preferably digital, from 1 kHz to at least 300 kHz
Selectivity 60 to 6 dB (shape factor)	2:1
Detection modes (in digital receivers, demodulation may be done in internal or external DSP)	AM, FM, CW, LSB, USB
AGC range (for digital receivers, may be partly implemented in internal or external DSP)	≥ 120 dB

Function	VHF/UHF
Outputs – IF	Digital IF output
Audio	0 dBm, 600 Ω or digital streaming audio and ear-phone jack
IF monitor	For external IF monitor, or digital data stream
Remote control	Ethernet LAN, or GPIB, or RS-232
IF spectrum (may be done in DSP)	Built-in or external, FFT processing; refresh ≥ 10/s
RF spectrum (may be done in DSP)	Built-in or external; refresh ≥ 10/s
RF and IF spectrum display	Via local or remote control
Electromagnetic compatibility	IEC 61000-4-2, -3, -4 CISPR 11, group 1, class B
Operating temperature range	0° to 45° C
Relative humidity	95% non-condensing
Vibration	IEC 68-2-6

資料來源：ITU-R 2011 Handbook spectrum monitoring 3.3.5

在 TDOA 定位實驗設計上，由 NI 所提供各項天線裝置搭配所開發之 TDOA 定位設備。本研究硬體分為 NI PXIe-1075 可做 AOA 與 TDOA 定位設備與 NI PXIe-1082 二台 TDOA 定位設備，本實驗系統硬體如下圖 5-1 所示。

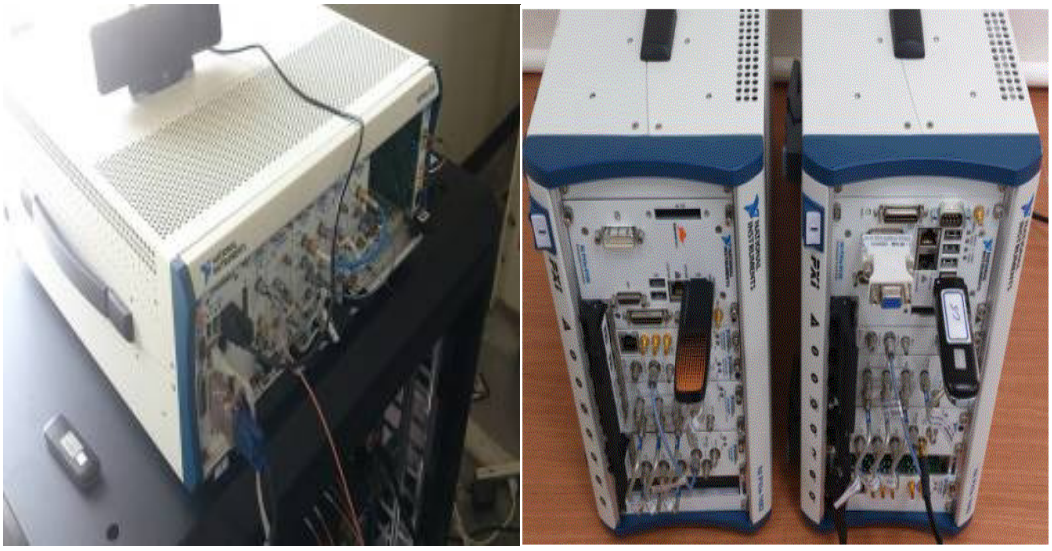


圖 5-1 TDOA 實現平台之系統硬體裝置

由於實驗設計作為一個主要證明的系統架構，其應具有相同與統一的整體系統內置佈局。因此，內部系統架構如圖 5-2 所示。

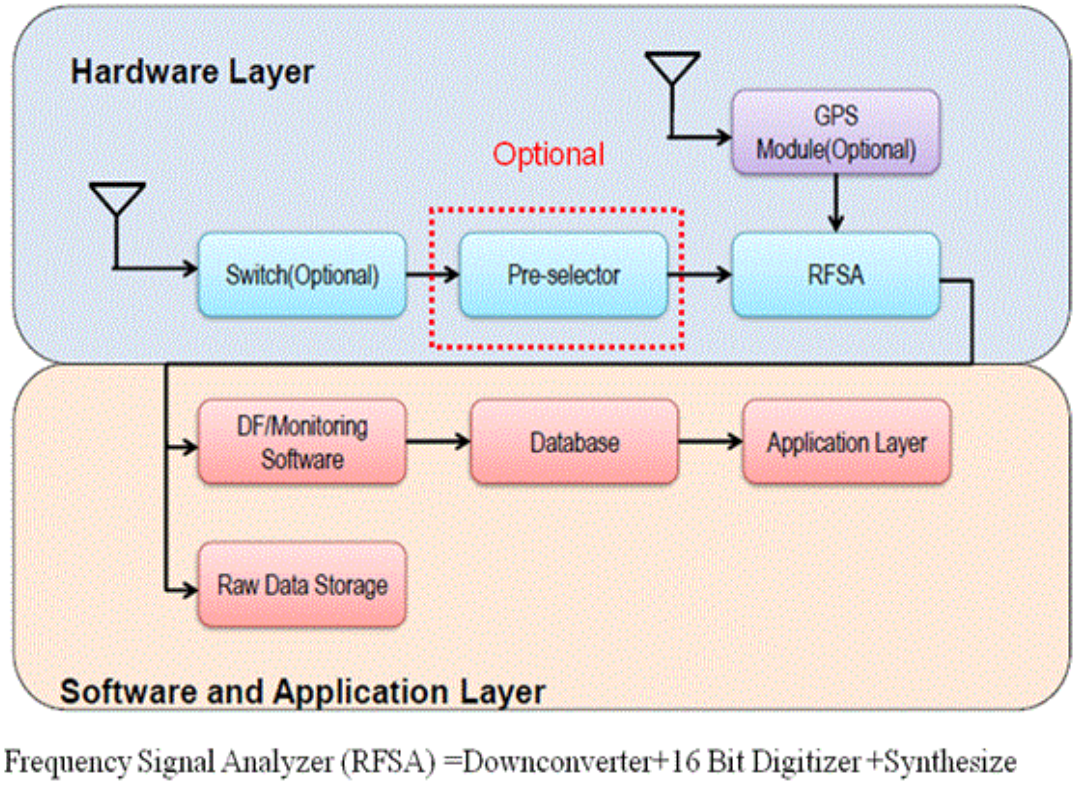


圖 5-2 TDOA 實現平台之系統架構

(二).TDOA 硬體重要元件介紹

AOA/TDOA 硬體架構設計，如下圖 5-3、5-4 所示。其硬體選擇與系統規格分述於后。

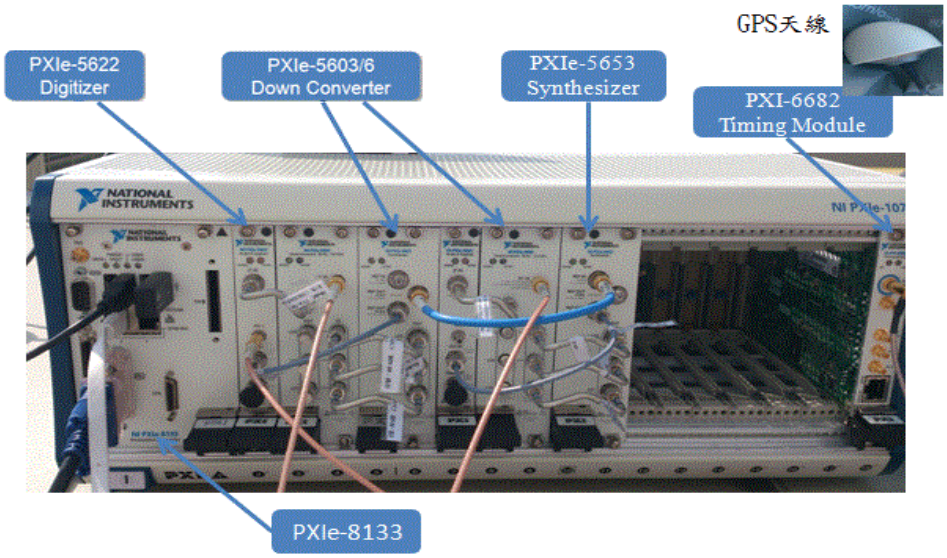


圖 5-3 AOA/TDOA 實現平台的系統接收機硬體架構-PXI

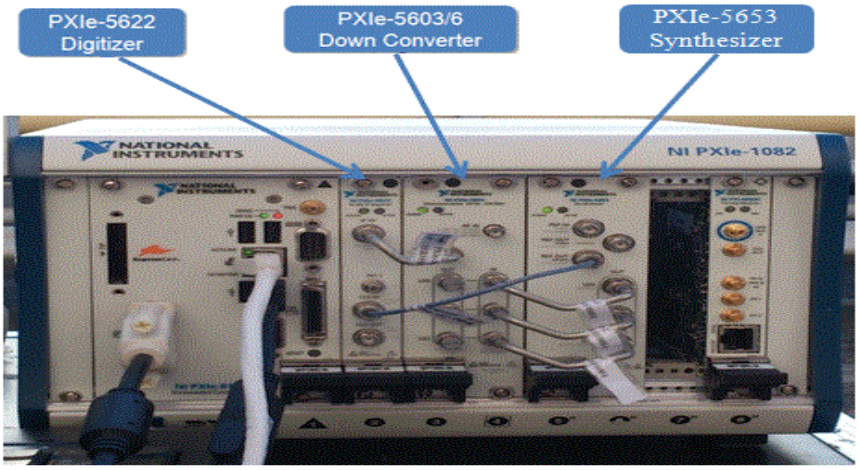


圖 5-4 TDOA 實現平台的系統接收機硬體架構-PXI

(三).控制器機箱

本研究設備機體為 NI PXIe-1075 為具備高頻寬背板的 18 槽式機箱，可滿足多項高效能測試與量測的應用需求。具備較多插槽的 NI PXIe-1075 可為較高通道數的解決方案。機箱作業環境溫度範圍提高至 55 °C，適於需要冷卻功能的應用。亦整合最新 PXI 規格的所有功能，同時支援 PXI 與 PXI Express 模組。針對 PXI 模組內建 10 MHz 參考時脈、PXI 觸發器匯流排、PXI 星形觸發器；針對 PXI Express 模組則內建 100 MHz 參考時脈、SYNC100，與 PXI 差動星形觸發器，如下圖 5-5 所示。設備介面之擴充：包括 8 組混合式插槽、8 組 PXI Express 插槽、1 組 PXI Express 系統時序插槽。

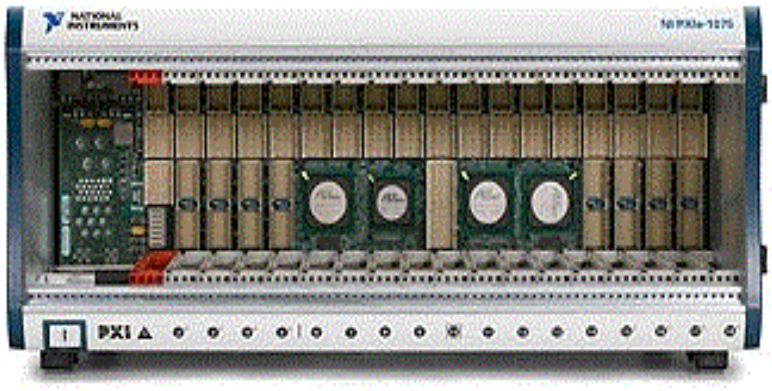


圖 5-5 TDOA 實現平台之 18 槽式控制器機箱-NI PXIe-1075

NI PXIe-1082 為具有高頻寬背板的 8 槽式機箱，可符合多種高效能量測的應用需求。各組插槽均可容納 PXI Express 模組，並最多 4 組插槽可支援標準的 PXI 混合式模組。機箱作業環境溫度提高至 55 °C，適合嚴苛環境中的應用。若整合 NI PMA-1115 可攜式 LCD 螢幕與鍵盤配件，即可為最佳的可攜式解決方案。亦可搭配最新 PXI 規格的所有功能，同時支援 PXI 與 PXI Express 模組，並內建時序與同步化功能。

利用 NI PXIe-1082 具備 AC 電源輸入的機箱，將所有模組及網路介面整合在 NI PXI Express 控制器內，如下圖 5-6 所示。最大負載功率 507W，TDOA 系統消耗功率約為 100W，系統頻寬 7 GB/s。TDOA 定位系統忽略特殊情況的幾何圖形，需要至少 3 個接收機，定位在兩個方向的信號源，故本研究將採取三組接收機做同時定向，如下圖 5-6 所示。設備介面之擴

充包括：4 組混合式插槽、3 組 PXI Express 插槽、1 組 PXI Express 系統時序插槽。

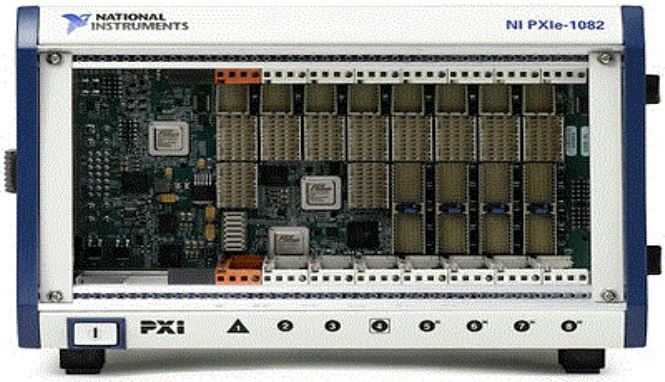
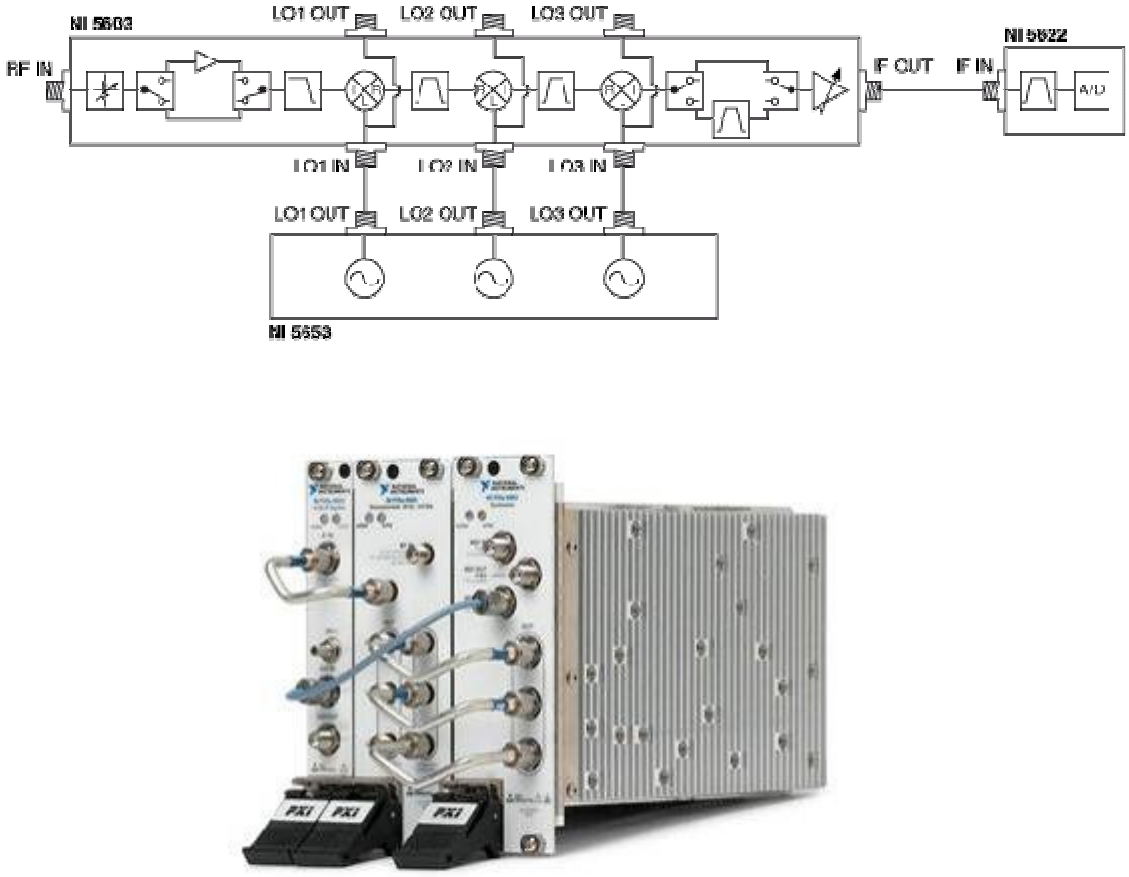


圖 5-6 TDOA 實現平台之 8 槽式控制器機箱-NI PXIe-1082

(四).接收機模組

本研究設備採用 TDOA 實驗硬體為 NI PXI Express 控制器搭配 NI 5665 射頻模組，相關技術規格符合 ITU-R 建議書 SM.1837、SM.1838、SM.1836。故本研究預計採用 TDOA 實驗硬體為 NI PXI Express 控制器，由三組信號產生器的 NI 5653 模組、分頻控制的 NI 5603 降頻混波器模組，和類比數位轉換的 NI5622 模組，三個模組組合而成的 NI 5665 射頻模組達到訊號分析的功效。如下圖 5-7 所示。



資料來源：NI 產品手冊

圖 5-7 TDOA 實現平台之射頻模組-NI 5665

NI PXIe-5603 主要功能為模組化的 3 階超外差 (Three-stage Superheterodyne) 分析器，可同時作為頻譜分析器與向量訊號分析器 (VSA)。其可量測 20 MHz ~ 3.6 GHz 頻率範圍的訊號，並可選擇 25 MHz 與 50 MHz 瞬時頻寬。本設備 RF 儀器於 800 MHz 時，將以 10 kHz 偏移達到極低的 -129 dBc/Hz 相位雜訊；-165 dBm/Hz 平均雜訊強度；+24 dBm 的 3 階截點 (IP3)；±0.10 dB 絕對振幅精確度。

NI PXIe-5622 示波器可達 150 MS/s 取樣率，並內建訊號處理功能 (DSP)。OSP 則包含正交數位降轉換 (ODC)、實際數位降轉換，與抗交疊濾波功能。NI PXIe-5622 的高動態範圍前端極適用於通訊應用；高傳輸量 PXI Express 介面更可達到 150 MS/s 全速取樣率，將 IF 資料串流至磁碟。

(五).GPS 訊號同步

TDOA 定位系統通常會使用 GPS 接收機，以建立一個共同的時間參考。在 TDOA 技術中所需要的時間同步，本研究採用 NI PXI-6682H 的時序同步，透過全球定位系統（global positioning system,GPS）可以得到高可靠的 10MHz 同步信號，進行每個接收機的時間同步以獲得待測信號到達每個接收機之間的時間差。利用外加主動式天線，加強接收來自衛星的 1.575GHz 射頻訊號。其 GPS 模組與天線如下圖 5-8 所示。

在 NI PXI-6682H 時序與同步化模組，可透過 GPS、IEEE 1588、IRIG-B 而同步化 PXI/PXI Express 系統，以執行同步化事件。透過同步化的系統時脈，NI PXI-6682 將透過特定的同步化未來時脈 (Future times) 與時間戳記輸入事件，產生事件與時脈訊號。亦可於單一 PXI 機箱或多個機箱之間，透過低歪曲 (Low-skew) 而使用 PXI-6682 連接時脈訊號與觸發，以同步化 PXI 系統中的多個裝置。

透過 PXI-6682H，即可於 PXI Express 系統中戳記事件的時間(time stamp)，並於 PXI 觸發通道上設定未來的時間事件。此模組可設定 RT 系統的時間為 GPS、IEEE 1588、IRIG-B。但由於 PXI-6682H 是專為 PXI Express 系統中的 PXI 混合式插槽所設計，因此無法透過背板而直接取代 10 MHz 時脈，亦無法驅動 PXI 星形觸發器。

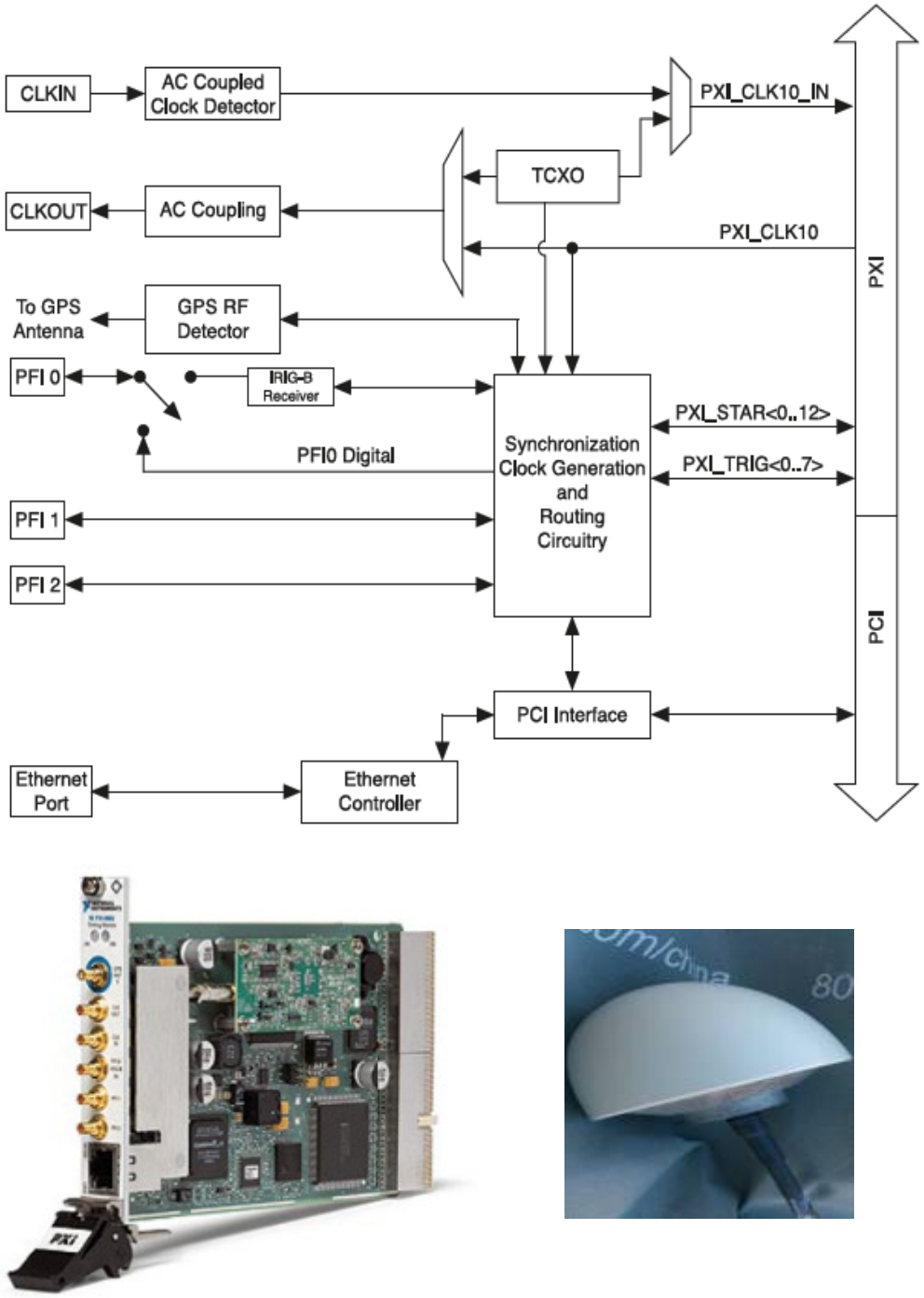


圖 5-8 TDOA 實現平台之時序與同步化模組與 GPS 天線-NI PXI-6682

(六).類比數位轉換器

類比數位轉換器 (ADC) 的動態特性描述 (Characterization) 作業。將可進行總諧波失真、總諧波失真加雜訊、無雜波干擾動態範圍，與訊噪失真比 (Signal-to-noise-and-distortion ratio, SINAD) 量測。

取樣時脈是時間訊號，用於控制示波器與訊號產生器上的 ADC 與 DAC，以分別進行類比轉數位與數位轉類比操作。取樣時脈亦控制數位訊號產生器/示波器，於取得或產生數位波型速度時的訊號。在大多數的情況下，取樣時脈是一個週期訊號，源自設備上的一個晶體振盪器。晶體振盪器技術的類型包含電壓控制式晶體振盪器(VCXO)、溫度控制式晶體振盪器(TCXO)，與恆溫晶體振盪器(OCXO)。

ADC 動態特性參數測試難度極高且所費不貲，且常見的箱型儀器往往體積龐大。只要透過 PXI 模組化儀器，即可建置彈性的解決方案，以精確量測動態特性參數；與傳統的機架或堆疊式設備相較，則僅需更低的成本即可達到更高的處理速度。

有能力使用內部 150 MHz 的採樣時鐘，或接受提供一個外部採樣時鐘的時鐘電路的 NI5622 提供多種時鐘選項。其更可以使用鎖相環（PLL）電路在數字化的 PXIe 100 MHz 的參考或與使用者可提供一個外部參考時鐘內部 150 MHz 的採樣時鐘相位鎖定。

(七).天線

TDOA 定位系統所需要的天線要求，相對於 AOA 定位系統是低成本、低複雜度與較小的尺寸規格。天線體積小好處是較不起眼，在古蹟建築物或受限制的站點，進行部署 TDOA 定位系統較容易。TDOA 定位接收機可採用單一簡易天線，如偶極天線(Dipole Antenna)，AOA 則需要龐大的天線陣列，但為了具有涵蓋 VHF 到 UHF 的頻段，TDOA 天線仍須選擇具有寬頻接收特性。

本實驗設備 NI5845 是一個寬頻的便攜式的 DF 天線，適用於固定和移動桅杆上的安裝。天線有很寬的頻率範圍，靈敏度高，緊湊的尺寸和可靠的室外使用。如下圖 5-9 所示。

Electrical	
Frequency Range	1M-3600MHz
Polarisation	Vertical
Impedance	50 Ohm
Accuracy in Azimuth	3º, 1-90MHz 2º, 30-3600MHz
Eleveation Coverage	+/-7º +/-15º (reduce accuracy)
Sensitivity (CW)	100 uV/m (1-10MHz) 10 uV/m (10M-800MHz) 50 uV/m (800M-3.6GHz)
Mechanical	
Dimensions (h x d)	550 x 1100 mm
Weight	26 kg
Max Wind Speed	160 km/h
Surrounding	
Operating Temperature	-30 - +55 ºC
Storage Temperature	-30 - +70 ºC
Vibration	1.5 g
Shock	40 g

圖 5-9 AOA/TDOA 實現平台之 AOA 天線規格-NI5845

本實驗設備 TDOA 的固定天線 NI 5875 是一個全向性接收天線，操作在 20 - 3600 MHz 的頻帶，電壓駐波比（VSWR）小於 3:1（如下圖 5-10 所示）。在良好的架設地點，使用該天線可以得到較高的訊號強度，可以藉以提高接收靈敏度。

Electrical	
Frequency Range	20M-3600MHz
Polarisation	Vertical
VSWR	< 3:1 (95% frequency range)
Impedence	50 Ohm
Connector	N-type female
Sensitivity (1kHz bandwidth)	0.1 uV/m (<3GHz) 0.3 uV/m (3-6GHz)
Mechanical	
Dimensions	6m x 2m
Weight	24 kg
Wind Survival	160 km/h
Surrounding	
Operating Temperature	-30 - +55 ºC
Storage Temperature	-30 - +70 ºC

圖 5-10 TDOA 實現平台之固定式天線規格-NI 5875

實驗設備 NI5872 是一個 TDOA 天線。該天線具有小尺寸和良好的線性度。操作在 75 - 3000 MHz 的頻帶，天線型式與天線規格（如下圖 5-11 所示）。在臨時架設地點，小尺寸天線具有容易架設的優勢。

Electrical	
Frequency Range	75M-3000MHz
Polarisation	Vertical
Impedence	50 Ohm
Connector	N-type female
Mechanical	
Dimensions	Height: 670mm Diameter: 470mm
Weight	0.5kg
Surrounding	
Working Temperature	-30 - +55 ºC
Storing Temperature	-30 - +70 ºC

圖 5-11 TDOA 實現平台之被動監視天線規格-NI5872

(八).網路介面

網路性能要求，影響到要求的速度和可靠性。定位系統可能需要多種網路技術：如無線、XDSL、cable 和光纖。在使用無線網路時，需避免無線網路的訊號與接收待測訊號之間的干擾。本研究實驗設計之網路介面，主要透過 3G 無線上網建立每個接收器的網路介面。待測訊號主要選擇 1GHz 以下的頻率，避免不必要的干擾存在。

在 NI PXI Express 控制器內部已安裝 Windows 作業系統，在網路介面，透過安裝網卡(如下圖 5-12 所示)，由各家電信業者所提供的網際網路服務，建立每個接收器與控制中心之間的網路介面。由軟體設計傳送 10MHz 頻寬的即時資訊約需 100Kbps。台灣地區 3G 無線上網各家電信業者所提供的連線速率不一，以中華、遠傳和台灣大三家為例，下載速率平均約 2Mbps，上傳速率平均約 300Kbps，以網路介面設計在 200Kbps 流量下，則多數地點多能達到網路連線下的操作功能，如下圖本實驗所使用的 3G 網卡之說明。

圖 5-12 TDOA 實現平台之所使用 3G 網卡

網路配置目的是要連接各個監測站點，使用 3G 數據卡，如圖 5-13 所示。這將使各個監測器連接至網際網路，獲得快速的部署。並且 3G 網路可以具有下載速率平均約 2Mbps，上傳速率平均約 300Kbps 的數據交換。

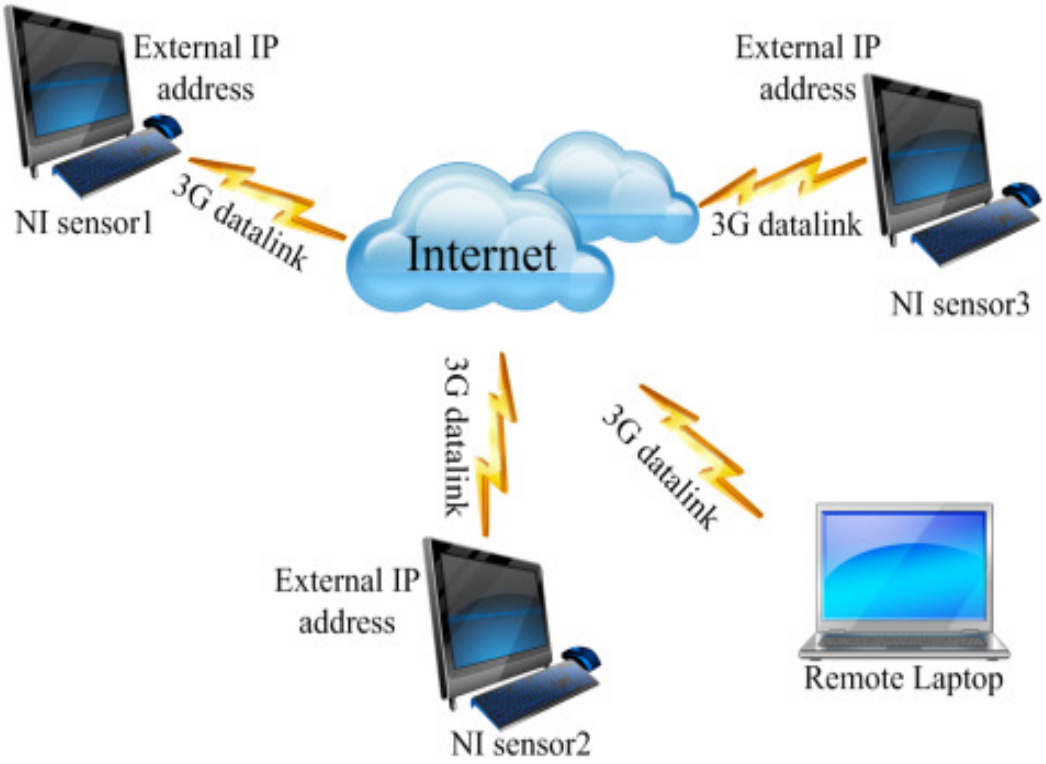


圖 5-13 TDOA 實現平台之無線網路部屬架構

第二節 實測 TDOA 系統軟體之設計

本實驗 TDOA 定位實現建置上，在 NI PXIe-8133 系統內含微軟 Windows XP 作業系統、NI-VISA 和 NI-488.2 驅動程序以及輸出輸入端的驅動程序。軟體控制介面分為底層的 VS-300 和 TDOA 上層控制介面。

一、底層軟體控制介面

底層軟體控制介面 VS-300 主要功能連接接收機控制資訊，搭配天線參數與纜線損失，經校正程序可以獲得量測場強值。其操作模式分別為：寬頻掃瞄、類比與數位解調以及 TDOA 模式。

寬頻掃描模式可以配置的頻率範圍內進行頻譜掃描，並設置限制值找到感興趣的信號。下圖 5-14 顯示了 VS-300 接收器在寬頻掃描模式下的介面。

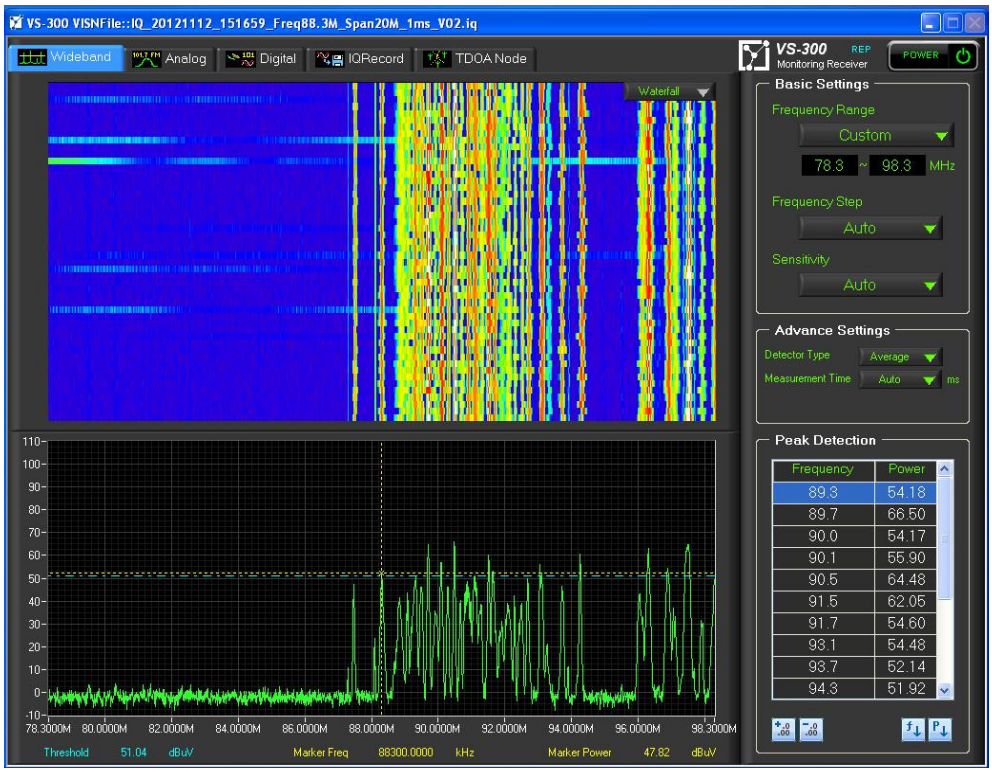


圖 5-14 TDOA 實現平台之寬頻掃描模式

VS300 切換到類比解調或數位解調模式。可以設置頻率和頻寬解調並執行的 ITU 測量和音頻分析。下圖 5-15 顯示在類比解調模式與 5-16 數位解調模式。

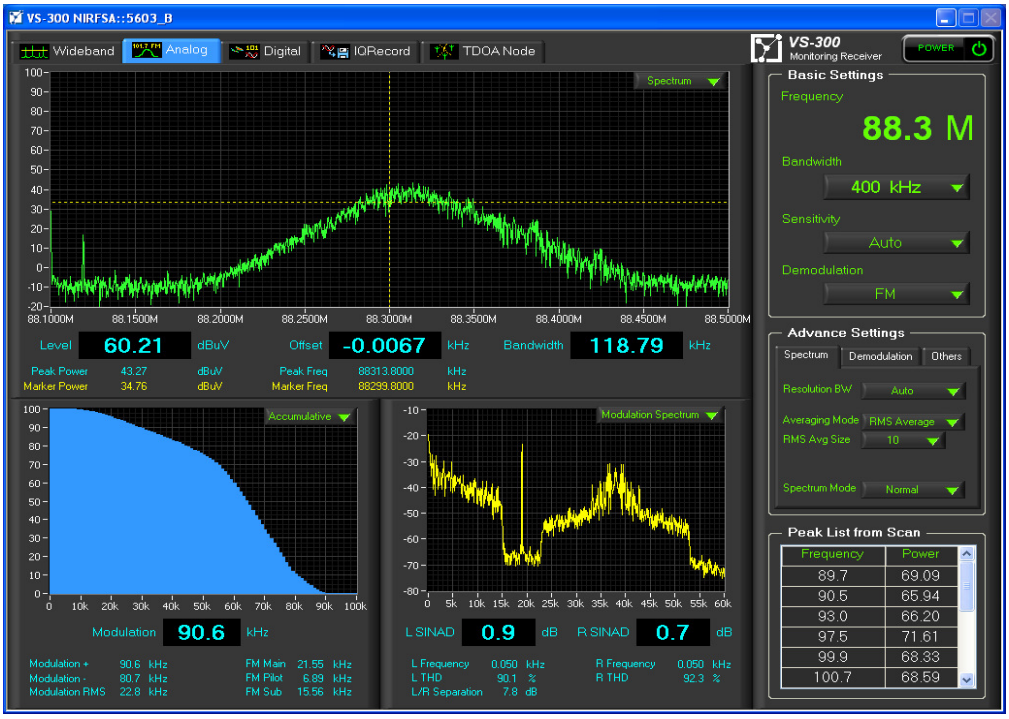


圖 5-15 TDOA 實現平台之類比解調模式

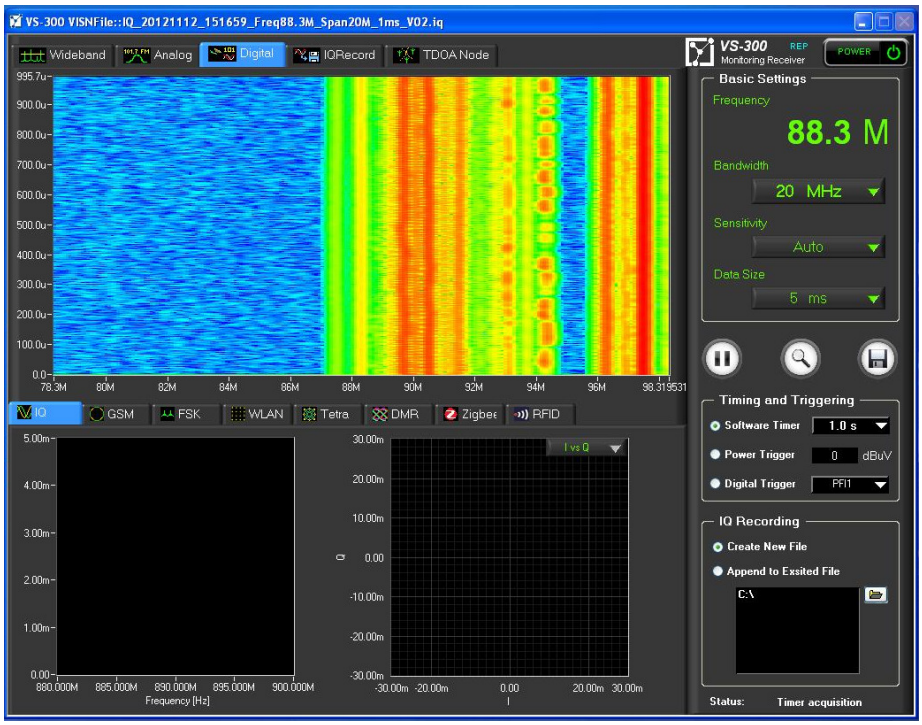


圖 5-16 TDOA 實現平台之數位解調模式

本次實驗設計 TDOA 模式。可以設置頻率和頻寬大小等，進行相位和振幅之訊號分析，並利用 GPS 接收器紀錄站點數據，如圖 5-17 所示。TDOA

模式通常需要視各種接收訊號的訊號源，其頻率、頻寬、調變模式，進行取樣的最佳化。以 FM 接收訊號為例，接收機設定 20MHz 即時接收頻寬，利用軟體設定濾波器取 400KHz，取 1 毫秒時域變化資訊，對應 GPS 接收器獲得的時間與 GPS 座標資訊（如下圖 5-17 左下方），即可得到該監測站台所接到訊號的時間資訊。當頻率越高所需取樣時間可以降低，頻寬變化可利用濾波器設定最佳化。取樣過程無須進行解調，僅是將頻域利用傅利葉轉換時域，由時域變化資訊與 GPS 接收器獲得的時間資訊進行結合。

圖 5-17 TDOA 實現平台之 TDOA 模式使用者操作介面

二、TDOA 上層控制介面

TDOA 上層控制介面是將以每個監測站台搜集到的訊號與時間數據，利用接收波型進行比對分析，再進行時間差相關演算，如下圖 5-18 所示。時間差相關演算由低層時域變化資訊與 GPS 接收器獲得的時間資訊，進行兩個監測站之間的訊號相關比對。不同監測站台搜集到的訊號會有強弱差別，若當相關度相似度設定太高，可能造成無法進行比對，相似度設定太低則可能造成誤判。此時，通常需要視各種接收訊號的訊號源進行最佳化設定。以 FM 接收訊號為例，時域變化並不快速，其相關性容易辨別。

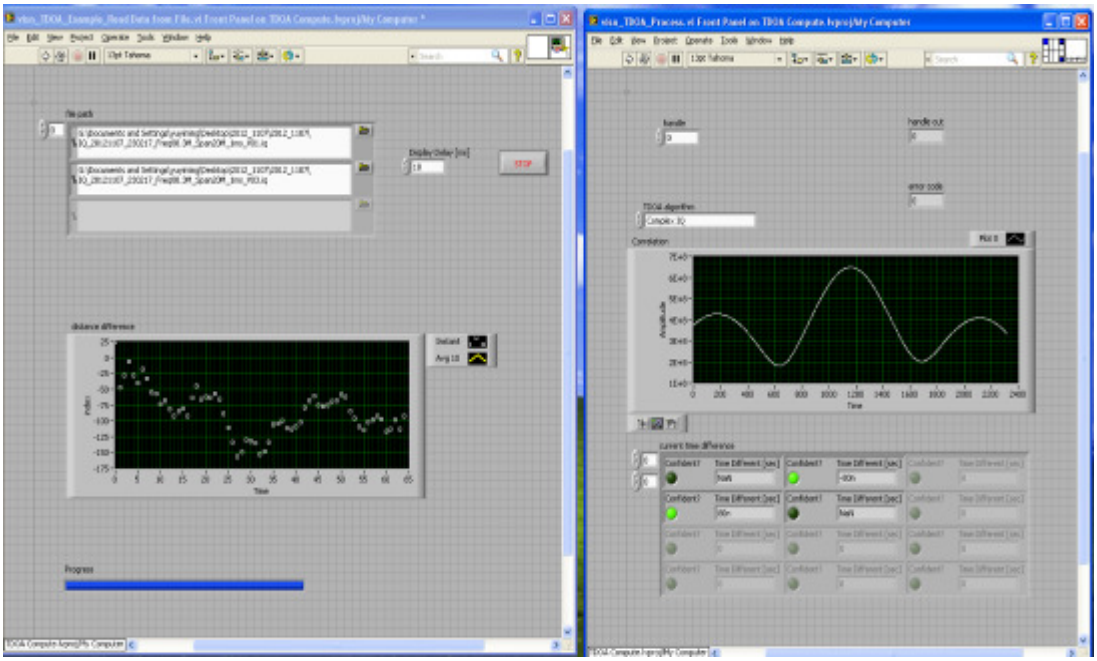


圖 5-18 TDOA 實現平台之時間差相關性解算程序

軟體在設定多站交測，可選擇 TDOA 多站模式，再選擇呼叫各個監測站點網路 IP 位置，由介面顯示各個監測站點相對位置，判斷三角形形狀（關係定位精準度），再由兩個站點進行雙曲線解算，如下圖 5-19 所示。

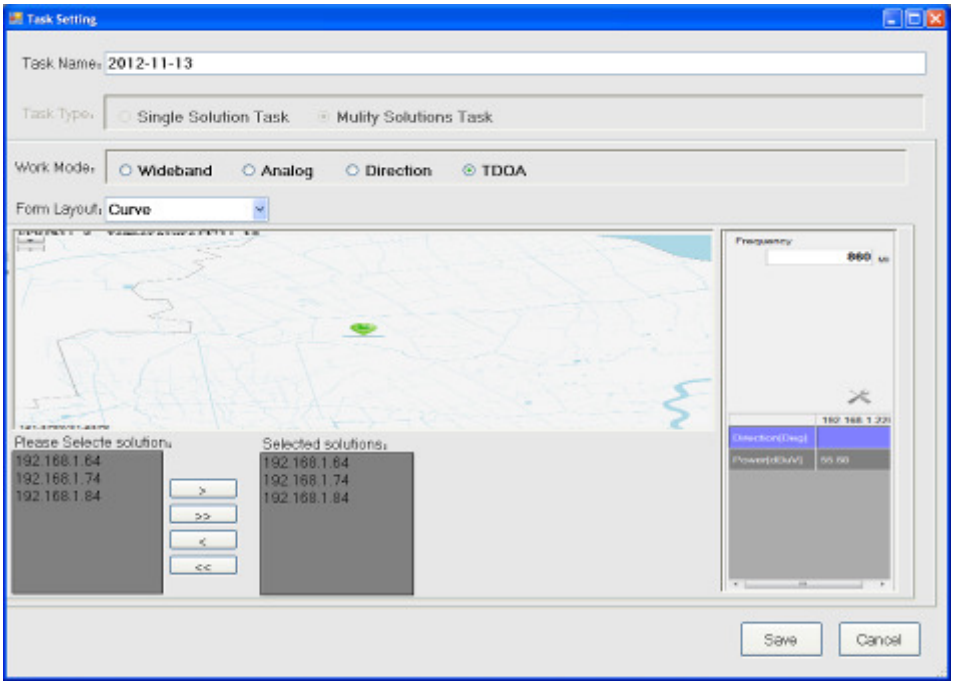


圖 5-19 TDOA 實現平台之呼叫監測站 IP 使用者操作介面

將把台灣地圖檔匯入 TDOA 上層控制軟體，並選擇各個監測站台，以及待測訊號類型。TDOA 上層控制軟體會在地圖顯示監測站台的位置，如下圖 5-20 所示。此時將待監測訊號呈現簡單的時域變化，藉以判斷各個監測站點所測量到的訊號是否為同一訊號發射源。此設計先由不同的 TDOA-based 監測站量取信號的強度，以判斷不同的監測站的地理位置監測到同一發射電台，可避免同頻干擾所產生的定位誤差。

圖 5-20 TDOA 實現平台之站台地圖資訊與監測訊號源操作介面

TDOA 上層控制介面，呼叫各個監測站點進行雙曲線演算，從地圖顯示出：兩兩配對的監測站點所畫出的雙曲線，如下圖 5-21 所示。並呈現距離差、時間差資訊(如下圖 5-21 右下方所示)。

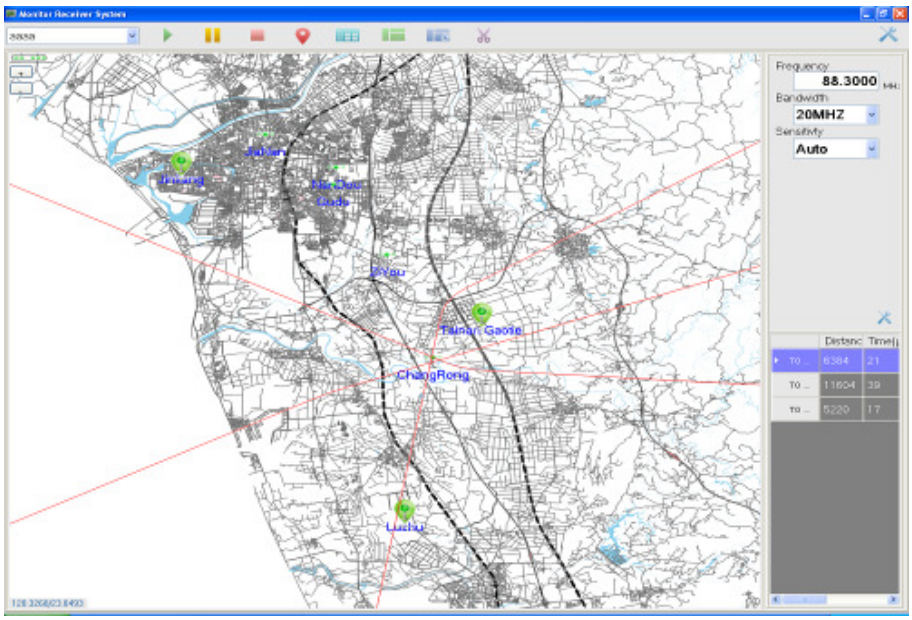


圖 5-21 TDOA 實現平台之雙曲線地圖定位顯示介面

第三節 實測環境與定位站台建置之設計

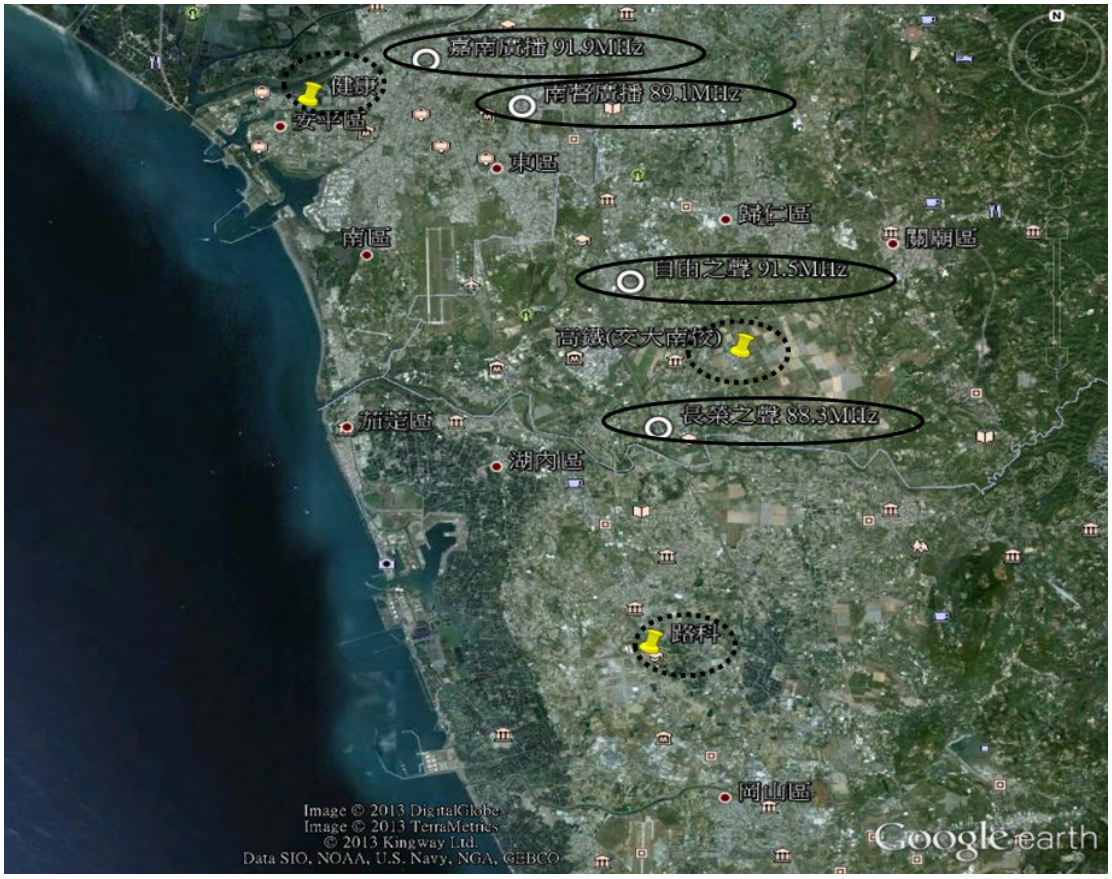
由前述各國資料蒐集顯示，TDOA 定位技術還沒有被廣泛使用在頻譜監測，但由於價格低廉、設備緊湊與計算能力強大等優點，加上電信服務普及能隨時提供數據網路。因此，TDOA 的定向偵測越來越被頻譜監測所接受。TDOA 定位技術在射頻信號到達的時間，並比較每個接收器之間的時間差。TDOA 定位並不是新的技術，在國防軍事用途的無線電任務早已被廣泛應用。最新在一些特定的應用，如 GSM 的位置、緊急通訊（消防，救護等）也相繼導入 TDOA 定位技術之應用。世界各地不同國家已有多個設備供應商(製造商或整合商)宣稱投入 TDOA 監測定位系統的研發，但在電波監測與定向能力上，仍須針對各種訊號類型與各項所要達到功能目的，進行系統的設計。本研究藉由文獻蒐集及無線電定位實驗，設計選擇監測站位置及訊號源。

一、監測站台與實驗待偵測點的選擇

參考 ITU 電波監測手冊與 V.V. Kogan 於 2004 年所提出之頻譜監測網路規劃方法主要使用正三角形佈置方式。由前述第四章各項模擬範圍，選擇各個監測站點距離約 10 公里的正三角形佈置方式。AOA 天線通常必須現場安裝後校準，以盡量減少由此產生的頻率和方向的錯誤。TDOA 偵測站點選址，沒有需要因為迎向天線陣列角度的校準問題，故遠低於 AOA 的限制，這使選擇 TDOA 能允許更靈活的快速進行裝置部署。

為克服高大建築物阻隔的影響，並且減少地面反射或反射波影響。有必要將其中一個偵測站點佈置在建築物上方，本研究選擇建立一偵測點在路竹科學園區內，建築物達 20 公尺以上，另兩點選擇，使用正三角形佈置方式，分別在茄萣鄉興達港(實測地點選擇台南安平)與台南高鐵站。

以正三角形方式佈置 TDOA 和 AOA 最精確的信號源，最佳測量地點為中心。TDOA 定位系統在待監測發射源位置的不確定性，關係到時間差接收器之間的距離而影響定位精確度。在一定條件下，測量地點為中心的部分是比 AOA 有利。AOA 定位方法的精確度是關係到信號源和每個迎角接收機之間的距離，AOA 定位的不確定性是軸承角的不確定性和接收器估計位置距離的函數。當信號源是遠遠超出周邊，TDOA 對於在測量區外的發射源，比 AOA 定位精度的下降更加迅速。由上述原理，將待測點選擇靠近正三角形中心部分的 FM 88.3MHz 長榮之聲，再選擇逐漸遠離正三角形的 FM 91.5MHz 自由之聲電臺、FM 89.1MHz 南都廣播和 FM 91.9 MHz 嘉南廣播。如下圖 5-22 所示。



資料來源：本研究整理

圖 5-22 TDOA 實現平台之偵測站點與實驗待偵測點選擇

本研究 TDOA 定位實驗測試，將由定位系統重複測試所判讀出的信號發射源，與實際發射源所在位置進行分析比較，藉由多次的重複測試以確認系統的定位精準度。

二、TDOA 實驗設計驗證說明

在信號源實測與 AOA、TDOA-based 技術定位效果分析中，本研究將建置 TDOA-based 技術實測模擬驗證環境，制訂系統測試標準及測試方法，並進行實地測試驗證。本研究為探討 TDOA-based 對發射電台的測量解算值和實際值位置相近程度的度量，需要提出公正、合理和規範的評價標準。可採行定位評估方法與因素分析如后：

(一).均方誤差(RMSE)標準

定位技術的定位均方根誤差 LRMSE 由測量位置 xmeasured 和實際位置 xtrue 按如下公式計算：

$$L_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\left[x_{measured}\ (k) - x_{true}\right]^2} \quad \text{.....(5-1)}$$

其中 N 是對一個位置的定位檢測次數，k 是測量次數索引。該方法還可以分二維或三維定位精度。三維定位精度要求檢測移動終端位置的三維空間座標，而二維精度將省略移動終端的垂直位置。一般來說在蜂窩系統中的移動終端定位兩維精度就可以評估系統性能了。

(二).圓形誤差概率(Circular Error Probability, CEP)

另一種精度度量方法是基於經典的概率計算。通過計算多個測量值處在以真實值為圓心(球心),由某固定值為半徑的圓內(球內)的概率來給出定位值的概率分佈。二維使用圓形誤差概率(CEP)來計算概率。CEP 意義的如下圖 5-23 所示。當發射源的真實位置在原點處情況下，下圖說明 125 米內 CEP=67% (50%)表示 67%(50%)的位置測量解算值在以 125 米為半徑的圓內。CEP=95%表示 95%的位置測量解算值在以 500 米為半徑的圓內。

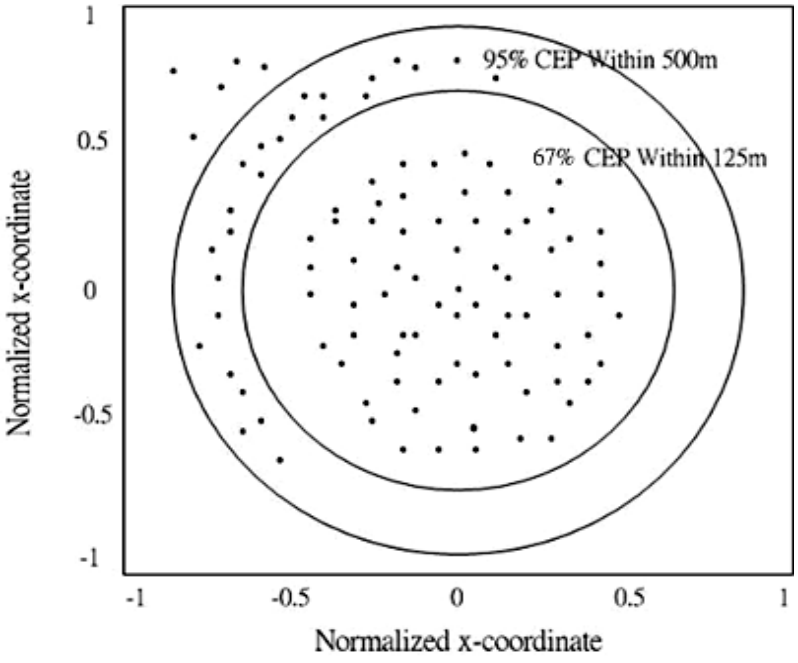


圖 5-23 TDOA-based 技術的 CEP (Circular Error Probability)精確度評估

第四節 小結

綜合第五章 TDOA 定位系統設備架構之設計之說明，主要分為三大層面進行探討。其實測規劃與設計分別為硬體選擇、軟體應用、定位誤差的估測，其建置的實測 TDOA 定位系統設備架構與定位需求如下圖 5-24 所示。

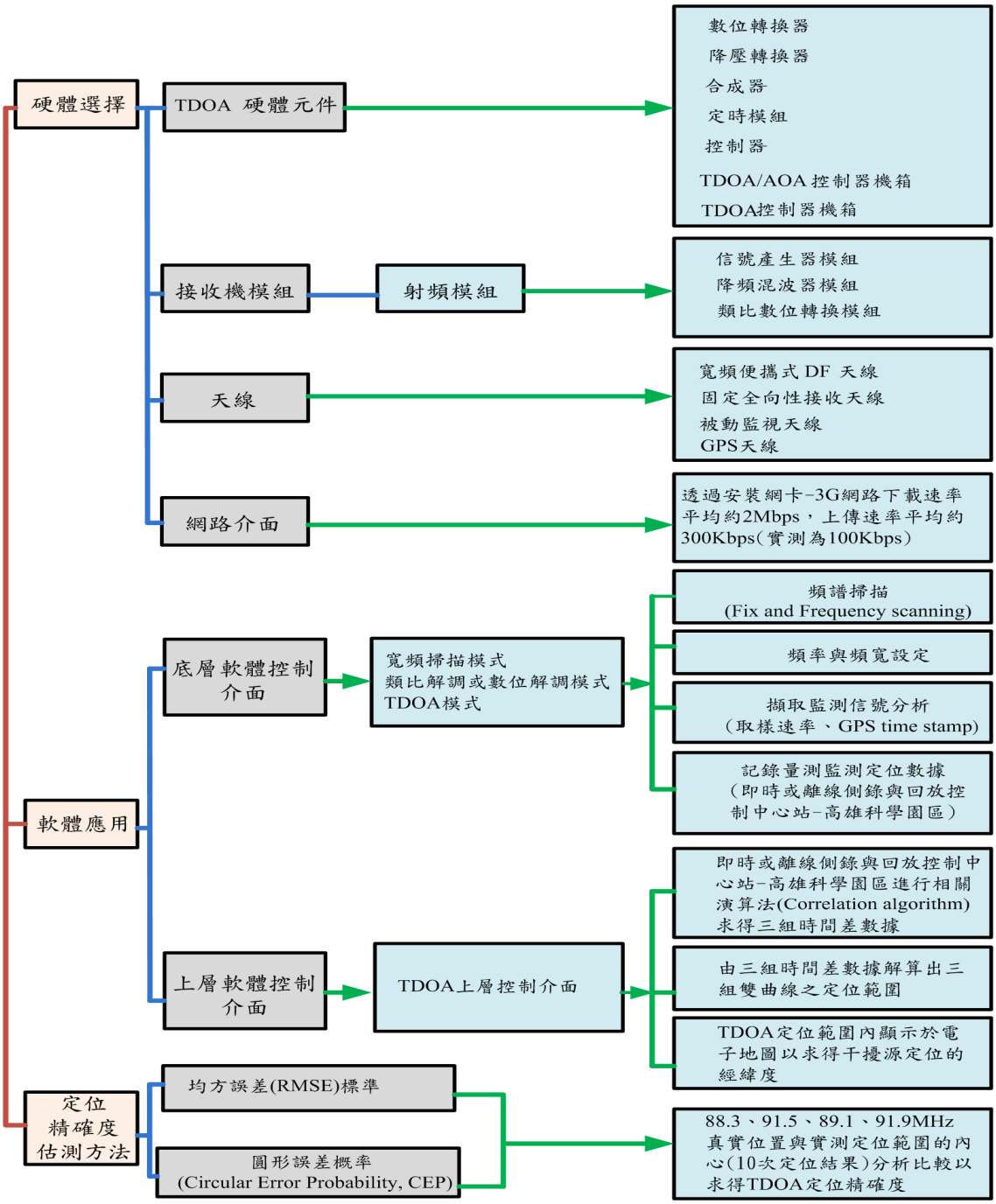


圖 5-24 建置的實測 TDOA 定位系統設備架構

本章在 TDOA 實驗設計主要說明，實驗設備設計設備選擇。TDOA 監測定位雛型的規劃與設計過程，在與 NI 合作進行軟硬體設備開發過程前，亦尋求其他廠商協助，但僅僅數個月內要進行 TDOA 定位實驗，遭遇多種障礙。故由 NI 所提供各項天線裝置搭配 TDOA 定位設備進行開發設計與整合。例如，「TDOA-based 自動監測定位系統」的定位精確度在匯入與整合電子地圖的工程上具有非常關鍵的影響，需賴多個發射站台與多次重覆實測來校正。本研究參考相關文獻並規劃以選擇適用之情境並進行數據分析。

在 TDOA 系統軟體介面，面分為底層的 VS-300 和 TDOA 上層控制介面。底層介面掌管單一監測站由接收機獲取各項資訊。上層控制介面是將以每個監測站點搜集到的訊號與時間數據，利用接收波型進行比對分析，再進行時間差相關演算。但 TDOA 模式通常仍要視各種接收訊號的訊號源，其頻率、頻寬、調變模式，進行取樣的最佳化。

在實驗情境設計上，選擇 FM 電臺，主要在通傳會(NCC)網站可以獲得 GPS 座標、住址及頻率等完整資訊，可以將量測數據與實際站點位置進行比對，且開發 TDOA 進行取樣的最佳化，開發團隊分屬美國及台灣二方團隊，FM 訊號各方較易取得。實測地點選擇台南健康定向站與台南高鐵站(交通大學南分校)。以三角形方式佈置，將待測點選擇靠近三角形內的 FM 88.3MHz 長榮之聲，再選擇逐漸遠離三角形的 FM 91.5MHz 自由之聲電臺、FM 89.1MHz 南都廣播和 FM 91.9 MHz 嘉南廣播，藉以分析定位準確的與幾何關係。

第陸章 TDOA/AOA 定位系統之實現與實測

本研究實際選擇高雄科學園區與台南健康定向站與台南高鐵站，進行 TDOA 測試，並選擇在高雄科學園區進行 AOA 測試，目的在分析經 TDOA 實驗測試之定位精準度。其流程分別為實測設計與建置站台階段、TDOA 實現與實測設計與 TDOA、AOA 定位精確度分析三個階段，AOA、TDOA 實現設計與精確度分析流程架構如下圖 6-1 所示。

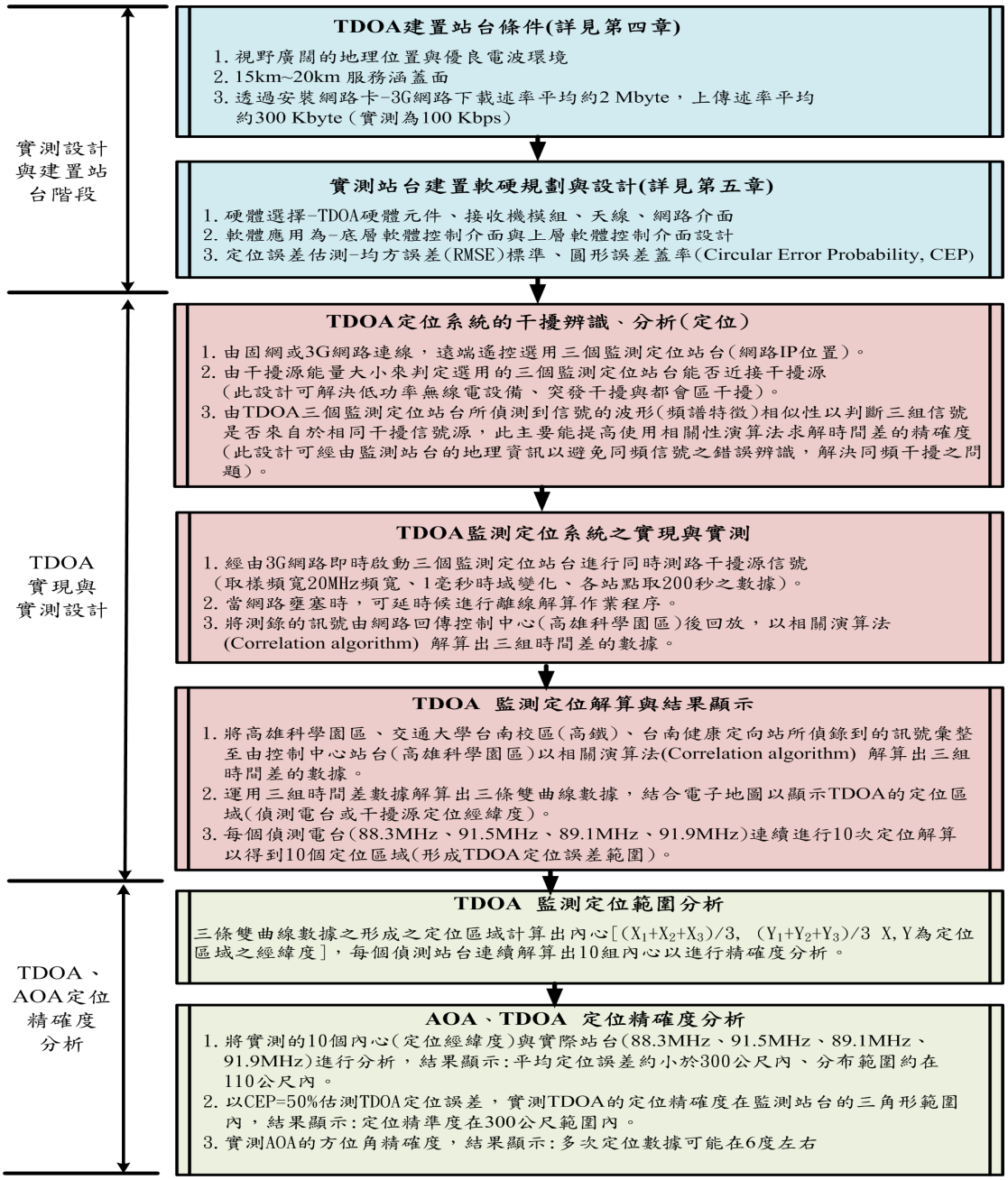


圖 6-1 AOA、TDOA 實現設計與精確度分析流程架構

第一節 TDOA 實驗架設概述

為克服高大建築物阻隔的障礙，並且減少地面反射或反射波影響，並驗證 TDOA 監測定位系統在都會區干擾的實用與可行性，本研究進行實測過程中，，特別選定一監測點在高雄科學園區內，另兩點選擇，使用三角形佈置方式，分別在台南健康站(台南都會區)與台南高鐵站(交通大學南分校)。三角形三個點中高鐵到路科距離約 9.94 公里、健康站到路科距離約 20.05 公里、健康站到高鐵距離約 14.27 公里。此監測站台的設計與選定除了考量前述建築物阻隔、地面反射與反射波影響，另外還需以電源取得及 3G 行動通訊網路做設計。

理論上，當以正三角形方式佈置 TDOA 和 AOA 監測站台，發射源出現在定位地點的中心，TDOA 監測定位系統可獲得最精確的定位。換言之，在一定條件下，當干擾源出現於 TDOA 監測定位系統中心的部分，期比較 AOA 更能得到更佳的定位結果。相較於 AOA 定位精度，當信號源是遠遠超出周邊，TDOA 在測量區外的定位效能劣化的更加迅速。另 AOA 定位方法的精確度則相關於關係到信號源和每個仰角接收機之間的距離。為了更加瞭解與證實監測定位系統與發射干擾原幾何地理位置在定位效能的關係與影響的確切數據，暨考量各個待測發射電臺地形與高度不同的影響，本研究實測設計將待測點選擇靠近正三角形中心部分的 FM 88.3MHz 長榮之聲，再選擇逐漸遠離正三角形的 FM 91.5MHz 自由之聲電臺、FM 89.1MHz 南都廣播和 FM 91.9 MHz 嘉南廣播，如下圖 6-2 所示。

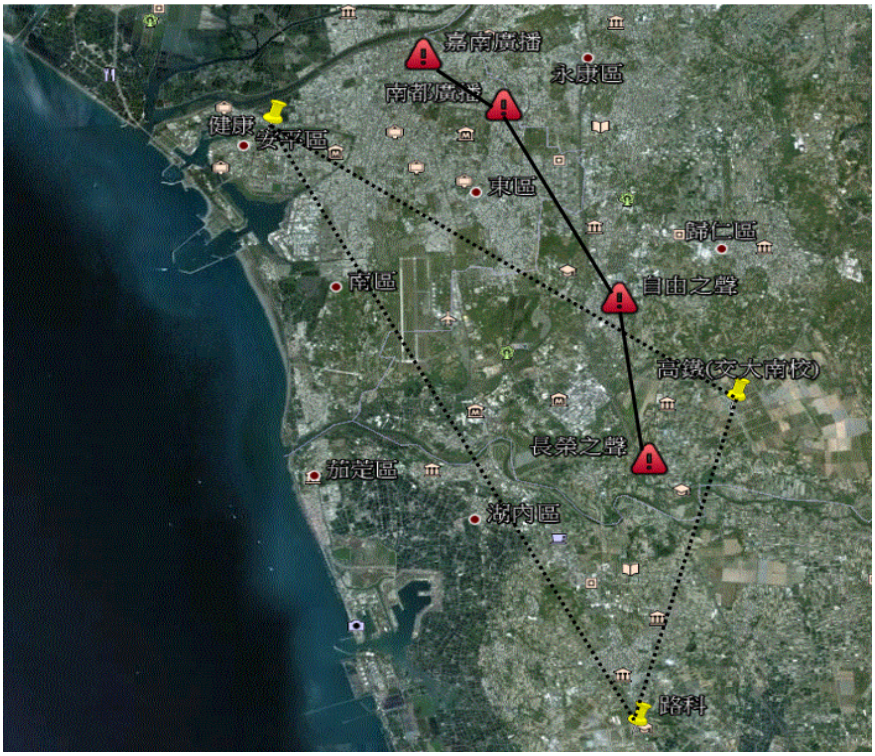


圖 6-2 偵測站點與實驗待偵測點選擇

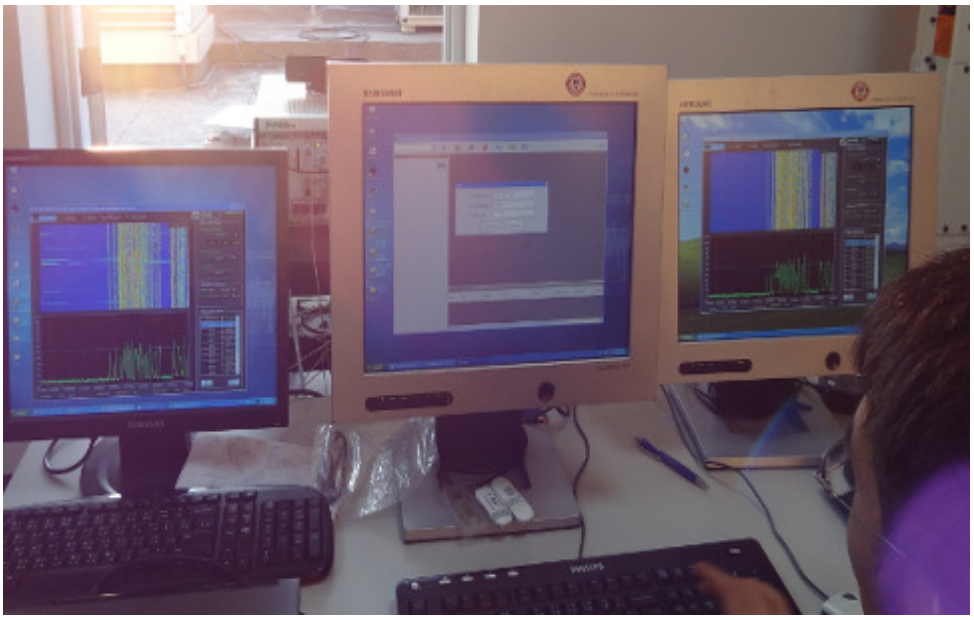
本研究首先進行三個監測站台的實驗架設，在實驗中選定建築物較高的點(建築物之頂層)，分別在路竹、高鐵(交大南校)、台南健康站(通傳會)，實驗架設過程每個監測站台要有 TDOA 定位設備、行動方便攜帶式天線、GPS、3G 網卡等，三個站所蒐集數據可以記錄並做離線進行偵測數據的回放等工作。

說明:實驗設備一台 TDOA 主機、輕便移動式天線

說明:實驗設備左圖為 AOA 天線、右圖為 TDOA 天線

說明:主站偵測定位之設備

說明:正在進行 TDOA 定位軟體設定操作過程



說明:把三個點蒐集到的數據進行雙曲線計算，圖中間為主控端電腦

第二節 TDOA 定位實驗測試

本研究進行 TDOA 定位實驗測試結果，並分析 TDOA 技術定位精確度及誤差範圍，探討 TDOA-based 對發射電台的測量值和實際值位置相近程度的度量，並提出公正、合理和規範的評價標準。

一、TDOA 實驗測試設計

本研究利用 3G 行動(無線)網路，並在三個站點路竹科學園區、台南健康站、台南高鐵(交通大學南分校)收集數據並進行分析解算。在 TDOA 定位實際驗證測試過程中，將由定位系統重複測試所判讀出的信號發射源，與實際發射源所在位置，藉由多次的重複測試以進行分析比較，並確認 TDOA-based 定位系統的定位精準度。頻率設定為 88.3MHz，取樣頻寬為 20MHz 利用軟體濾波器取 400KMHz，再取 1 毫秒時域變化做訊號相關解析，兩個站之間可解析出一條雙曲線。因此，路竹-健康、路竹-高鐵、健康-高鐵共構成三條雙曲線，如下圖 6-3 所示。

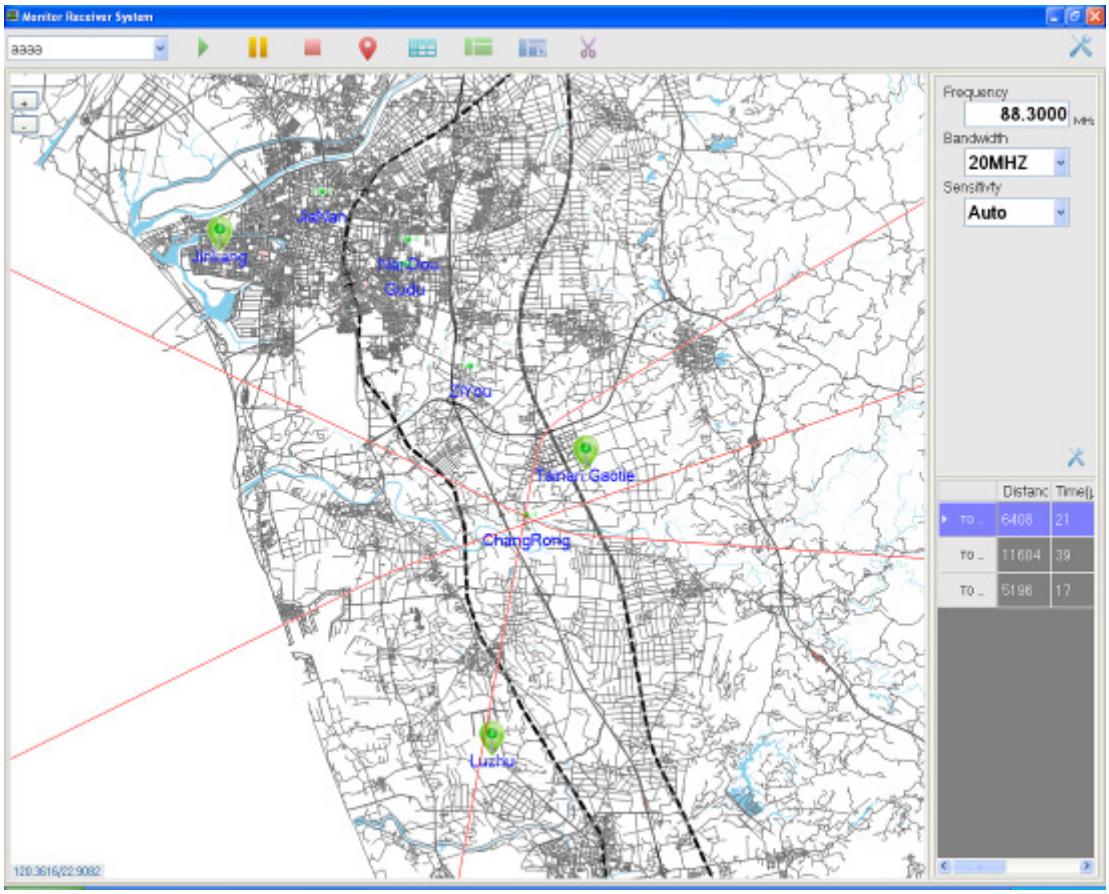


圖 6-3 FM 88.3MHz 長榮之聲定位雙曲線的解算結果

本實驗選擇 FM 電臺，從通傳會(NCC)下載電臺資訊[7][37]，由 TDOA 雙曲線定位交點與所得到已知的電臺位置進行比對，如下表 6-1 所示[38]。

表 6-1 待測發射源電臺資訊

電臺名稱	頻率 (MHz)	發射功率	東經			北緯			電臺類別
			度	分	秒	度	分	秒	
長榮之聲學校實習廣播電臺	88.3	<1.5 KW	120	15	56	22	54	23	學校
南都廣播電臺	89.1	<1.5 KW	120	13	45	22	59	57	甲
自由之聲廣播電臺	91.5	<1.5 KW	120	15	29	22	56	55	甲
嘉南廣播電臺	91.9	<1.5 KW	120	12	33	23	0	45	甲

資料來源：通傳會(NCC)網站
http://www.ncc.gov.tw/chinese/content.aspx?site_content_sn=582&is_history=0

該份資料電臺所使用的經緯度，是依據地址門牌號碼所提供之 GPS 經緯度資訊。然而某些電臺位置，GPS 經緯度資訊與實際電臺位置甚至相差 1 公里以上距離。例如：長榮之聲學校實習廣播電臺，位處於校園內，

[7] NCC 網站：http://freqdbo.ncc.gov.tw/upload/FILESAVE/100709084746.pdf

通傳會(NCC)提供之經緯度資訊與實際電臺位置，如下圖 6-4 所示。相差 874 公尺。

圖 6-4 FM 88.3MHz 長榮之聲座標資訊

二、 TDOA 定位實測精確度分析

原 TDOA 實驗設計欲利用 3G 行動通訊網路，進行即時 TDOA 定位，但由於實際在三個監測站點的 3G 網路即時頻寬，上傳網路一直無法達到穩定 100kbps 的傳輸資料量，因此實驗進行遭受困難。所幸經本實驗該電波監測接收機具有訊號錄製與回放功能，利用三個監測站點在同一時間進行訊號錄製，再將各站資料攜回控制中心後回放。模擬三個監測站台即時同步狀況，進行 TDOA 定位量測。本次以 200MHz 頻寬、1 毫秒資訊預錄訊號每個頻率點取 200 秒，檔案大小約 3-4Mbyte。

(一).88.3MHz 長榮之聲電臺 TDOA 定位

實驗定位 88.3MHz 長榮之聲電臺，由三個監測站點健康、高鐵、路竹，每兩個站點就有一組數據。分別為健康-路竹、健康-高鐵、路竹-高鐵共三個數據，並連續測試 10 次，實測結果如下表 6-2 所示。

表 6-2 FM 88.3MHz 長榮之聲連續十次測試距離差與時間差

	Distance Delta (m)			Time Delta (us)		
No	健康-路竹	健康-高鐵	路竹-高鐵	健康-路竹	健康-高鐵	路竹-高鐵
1	6408	11604	5196	21.36	38.68	17.32
2	6384	11604	5220	21.28	38.68	17.41
3	6420	11556	5148	21.41	38.52	17.16
4	6396	11568	5184	21.32	38.56	17.28
5	6336	11592	5280	21.12	38.64	17.62
6	6300	11604	5316	21.00	38.68	17.72
7	6408	11580	5184	21.36	38.6	17.28
8	6324	11568	5256	21.08	38.56	17.52
9	6384	11568	5208	21.28	38.56	17.36
10	6396	11604	5208	21.32	38.68	17.36

下圖說明以頻率 FM88.3MHz 電臺在三角形邊線內，頻帶選用 20MHz，選定電波監測站位置，雙曲線定位資訊如下圖 6-5 所示。健康與高鐵的雙曲線，由於時間差最大，誤差為最大。健康與路竹的雙曲線，時間差最小，誤差應為最小，但訊號距離最遠，也可能影響量測誤差。

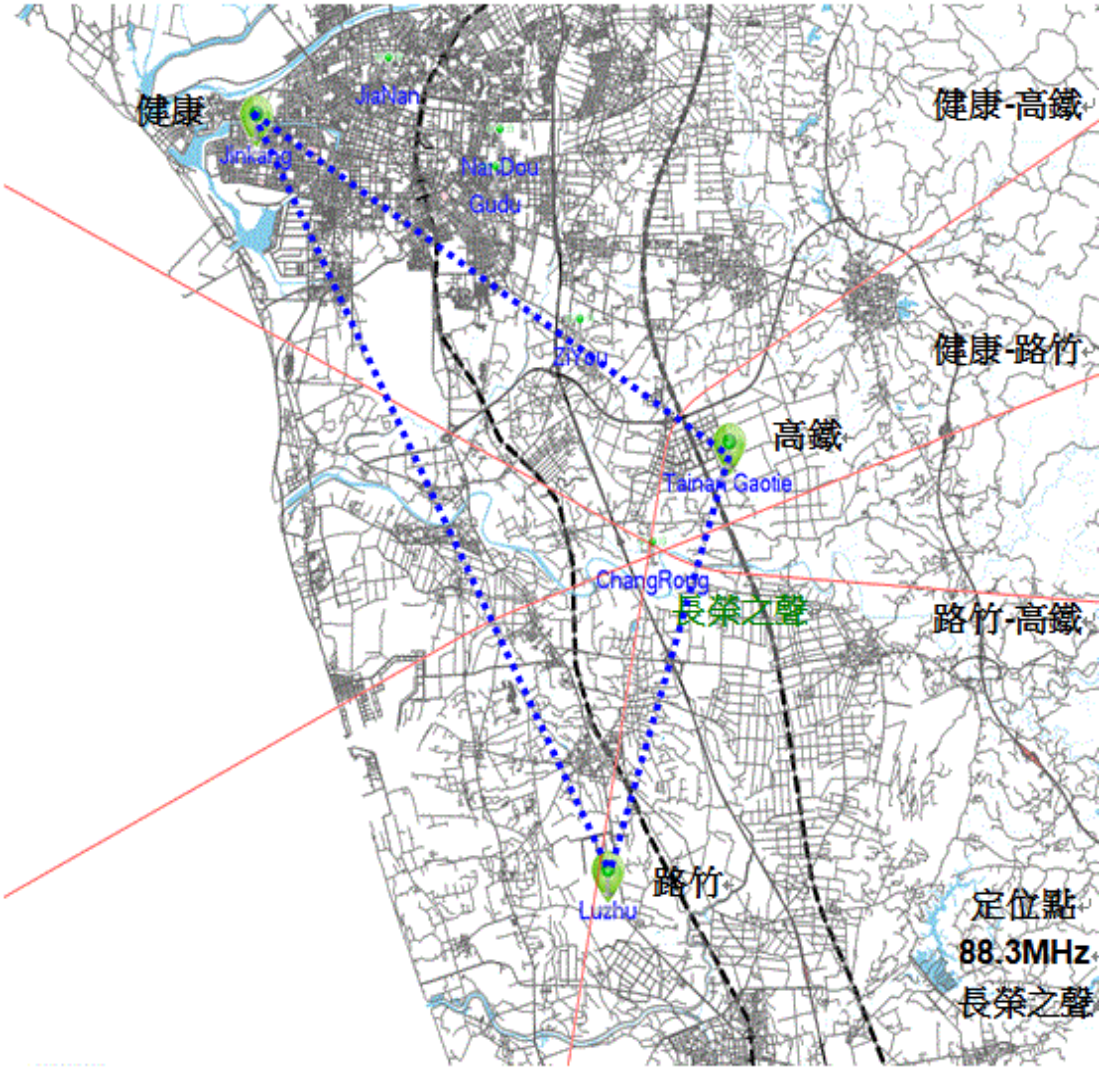


圖 6-5 FM 88.3MHz 長榮之聲電臺雙曲線定位結果顯示

88.3MHz 長榮之聲電臺雙曲線定位資訊，取三條雙曲線交測所得三個交點為三角形頂點，再解算出三角形中心點的 10 個點座標(88.3MHz 經緯度)。將由定位系統重複測試所判讀出的信號發射源的 10 個點座標(經緯度)，與實際發射源所在位置分析比較，可計算得知最大誤差距離、最小誤差距離、平均距離誤差與標準差如下 6-3 表所示。從表 6-3 顯示在長榮之聲在三角形範圍內，十次的定位數據的相差極小，所有量測到的定位點，分布範圍約在 20 公尺內。

表 6-3 FM 88.3MHz 長榮之聲標準差分析

<table>
<tr><td colspan="7">88.3 MHz 長榮之聲
實際實際站台經緯度(實測發射站台與通傳會(NCC)位置相差 874.34m)
經度 120 度 16 分 26.36 秒。緯度 22 度 54 分 15.15 秒</td></tr>
<tr><td rowspan="2">10 個定位點座標編號</td><td>經度</td><td rowspan="2">誤差距離</td><td rowspan="2">最大誤差距離</td><td rowspan="2">最小誤差距離</td><td rowspan="2">平均距離誤差</td><td rowspan="2">標準差</td></tr>
<tr><td>緯度</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td>120.2673</td><td rowspan="2">222.62 m</td><td rowspan="10">274.53 m</td><td rowspan="10">200.82 m</td><td rowspan="10">230.31 m</td><td rowspan="10">22.24 m</td></tr>
<tr><td>22.9076</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td>120.2673</td><td rowspan="2">236.58 m</td></tr>
<tr><td>22.9078</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td>120.2671</td><td rowspan="2">200.82 m</td></tr>
<tr><td>22.9075</td></tr>
<tr><td>4</td><td>120.2671
22.9076</td><td>206.87 m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td>120.2673</td><td rowspan="2">251.54 m</td></tr>
<tr><td>22.9080</td></tr>
</table>

6	120.2672	274.53 m				
	22.9076					
7	120.2672	214.47 m				
	22.9076					
8	120.2672	244.51 m				
	22.9080					
9	120.2672	221.55 m				
	22.9077					
10	120.2673	229.64 m				
	22.9077					

在本實驗中以 FM88.3MHz 偵測 10 個點中的數據進行誤差分析，若以通傳會(NCC)提供之電臺座標，顯示最大誤差距離為 274 公尺，最小誤差為 200 公尺，平均差約為 230 公尺，定位值的概率分佈 CEP 50%約 235 公尺，但若以實際電臺座標計算，最大誤差距離為 812.59 公尺，最小誤差為 781.08 公尺，平均差約為 796.25 公尺，定位值的概率分佈 CEP 50%約 795 公尺，如下圖 6-6 所示。

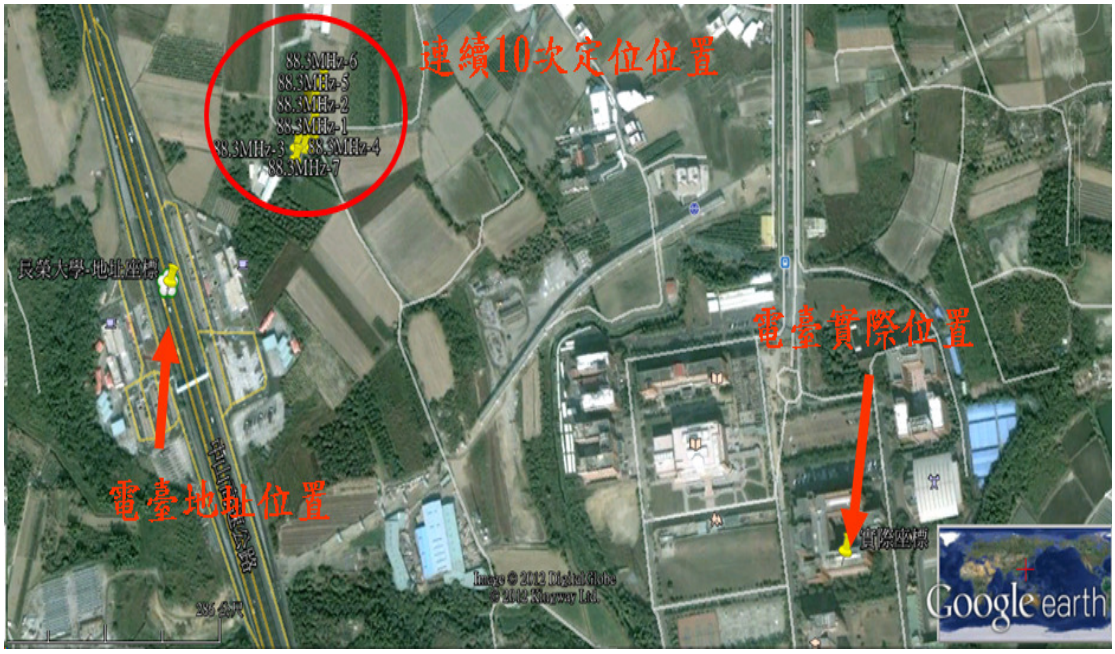


圖 6-6 FM 88.3MHz 長榮之聲電臺定位誤差資訊

(二).91.5MHz 自由之聲電臺 TDOA 定位

設定待測訊號發射源頻率為 91.5MHz，取三條雙曲線交測所得三個交點，為三角形頂點再取三角形中心點 10 個點座標。並由三個監測站台健康、高鐵、路竹，每兩個站點決定一組時間差數據。其中包括健康-路竹、健康-高鐵、路竹-高鐵共三組數據，並連續測試 10 次，實測結果如下表 6-4 所示。

表 6-4 FM 91.5 MHz 自由之聲連續十次測試距離差與時間差

	Distance Delta (m)			Time Delta (us)		
No	健康-路竹	健康-高鐵	路竹-高鐵	健康-路竹	健康-高鐵	路竹-高鐵
1	-2640	5676	8292	-8.8	18.92	27.64
2	-2412	6084	8508	-8.04	20.28	28.36
3	-2436	6120	8532	-8.12	20.40	28.44
4	-2256	6180	8424	-7.52	20.61	28.08

5	-2388	6108	8508	-7.96	20.36	28.36
6	-2520	5820	8352	-8.4	19.42	27.84
7	-2340	6120	8472	-7.8	20.41	28.24
8	-2388	6096	8496	-7.96	20.32	28.32
9	-2508	6060	8592	-8.36	20.24	28.64
10	-2496	5952	8460	-8.32	19.84	28.2

下圖說明以頻率 FM91.5 電臺在三角形邊線上，頻帶選用 20MHz，選定電波監測站位置，雙曲線定位資訊如下圖所示。路竹與高鐵的雙曲線，由於時間差最大，誤差為最大。健康與路竹的雙曲線，與健康和高鐵的雙曲線，時間差最小，誤差應為最小，故交測以健康與路竹的雙曲線與健康和高鐵的雙曲線兩組數據準確性較高。

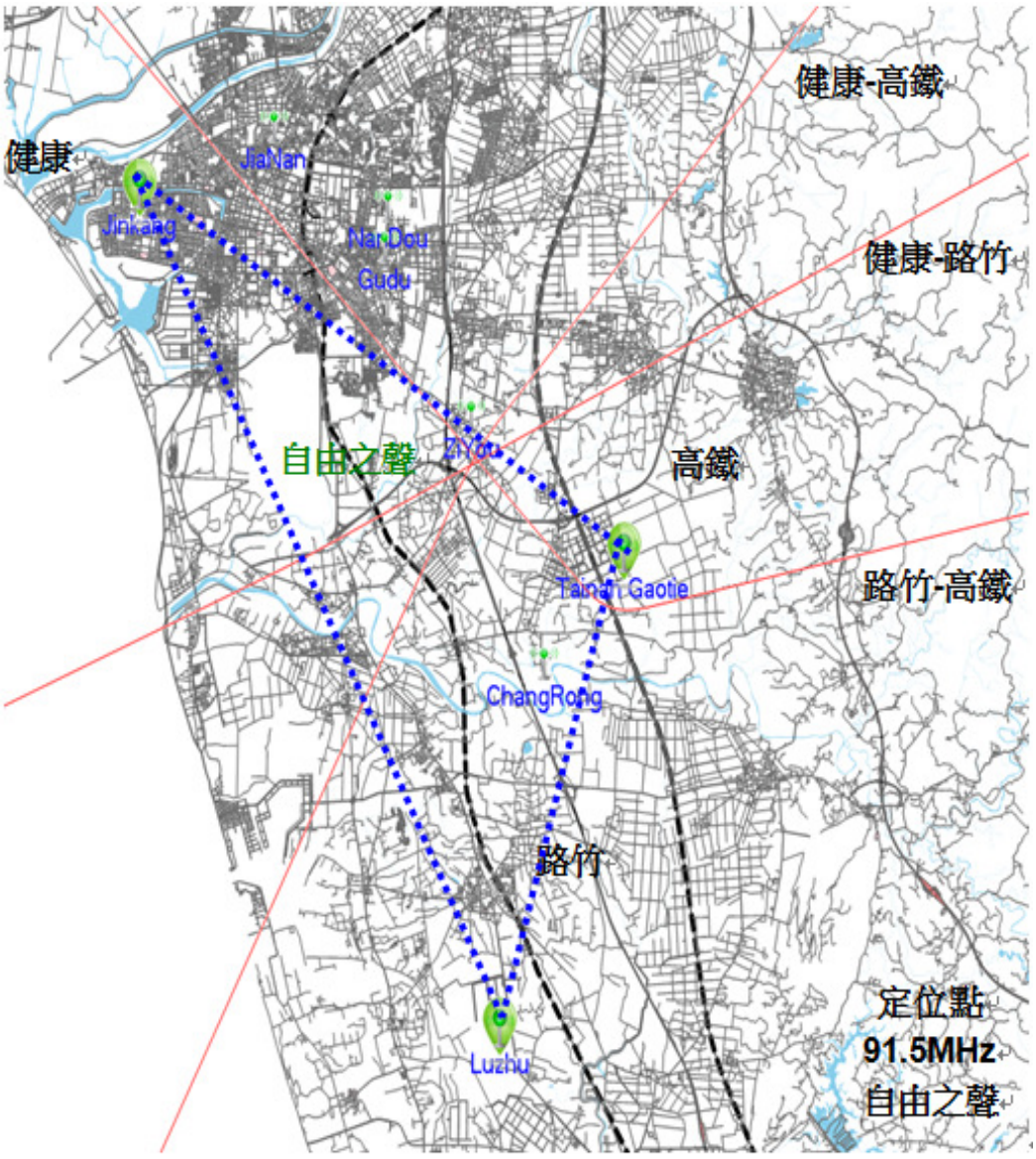


圖 6-7 FM 91.5MHz 自由之聲電臺雙曲線定位結果顯示

91.5MHz 自由之聲電臺雙曲線定位資訊，取三條雙曲線交測所得三個交點為三角形頂點，再解算出三角形中心點的 10 個點座標(91.5 MHz 經緯度)。將由定位系統重複測試所判讀出的信號發射源的 10 個點座標(經緯度)，與實際發射源所在位置分析比較，可計算得知最大誤差距離、最小誤差距離、平均距離誤差與標準差如下 6-5 表所示。從表 6-5 顯示自由之聲在三角形範圍線上，十次的定位數據的相差極小，所有量測到的定位點，分布範圍約在 110 公尺內。

表 6-5 FM 91.5 MHz 自由之聲標準差分析

91.5 MHz 自由之聲 實際站台經緯度(與通傳會(NCC)位置相符) 經度 120 度 13 分 45 秒。緯度 22 度 59 分 57 秒						
10 個定位點座標編號	經度 緯度	誤差距離	最大誤差距離	最小誤差距離	平均距離誤差	標準差
1	120.2539 22.9490	428.43 m	428.43 m	200.14 m	260.50 m	76.97 m
2	120.2560 22.9491	217.93 m				
3	120.2563 22.9494	200.14 m				
4	120.2558 22.9481	238.20 m				
5	120.2561 22.9490	205.49 m				
6	120.2545 22.9488	365.80 m				
7	120.2559 22.9487	221.58 m				
8	120.2560 22.9490	215.25 m				

9	120.2564 22.9500	229.11 m				
10	120.2554 22.9493	283.02 m				

在本實驗中以 FM91.5 偵測 10 個點中的數據進行誤差分析，若以通傳會(NCC)提供之電臺座標，顯示最大誤差距離為 428.43 公尺，最小誤差為 200.14 公尺，平均誤差約為 260.50 公尺，定位值的概率分佈 CEP 50%約 230 公尺。如下圖 6-8 所示。通傳會(NCC)提供之電臺座標與電臺實際座標相符。

圖 6-8 FM 91.5MHz 自由之聲電臺定位誤差資訊

(三).89.1MHz 南都廣播電臺 TDOA 定位

設定待測訊號發射源頻率為 89.1MHz，取三條雙曲線交測所得三個交點，為三角形頂點再取三角形中心點 10 個點座標。並由三個監測站點健康、高鐵、路竹，每兩個站點決定一組時間差數據，其中包括健康-路竹、健康-高鐵、路竹-高鐵共三組數據，並連續測試 10 次，如下表 6-6 所示。

表 6-6 FM 89.1MHz 南都廣播電臺連續十次測試距離差與時間差

	Distance Delta (m)			Time Delta (us)		
No	健康-路竹	健康-高鐵	路竹-高鐵	健康-路竹	健康-高鐵	路竹-高鐵
1	-12864	-4512	8352	-42.88	-15.04	27.84
2	-12960	-4800	8256	-43.20	-16.00	27.52
3	-12756	-4320	8400	-42.52	-14.41	28.00
4	-12876	-4754	8244	-42.92	-15.84	27.48
5	-13584	-5508	8076	-45.28	-18.36	26.92
6	-12936	-4584	8364	-43.12	-15.28	27.88
7	-12648	-4308	8328	-42.16	-14.36	27.76
8	-12888	-4404	8460	-42.96	-14.68	28.20
9	-13404	-5280	8148	-44.68	-17.60	27.16
10	-13068	-4980	8268	-43.56	-16.60	27.56

下圖說明以頻率 FM 89.1MHz 電臺在三角形邊線外，頻帶選用 20MHz，選定電波監測站位置，雙曲線定位資訊如下圖 6-9 所示。健康與路竹的雙曲線，由於時間差最大，誤差為最大。路竹和高鐵的雙曲線，與健康和高鐵的雙曲線，時間差最小，誤差應為最小，故交測以路竹和高鐵的雙曲線與健康和高鐵的雙曲線兩組數據準確性較高。

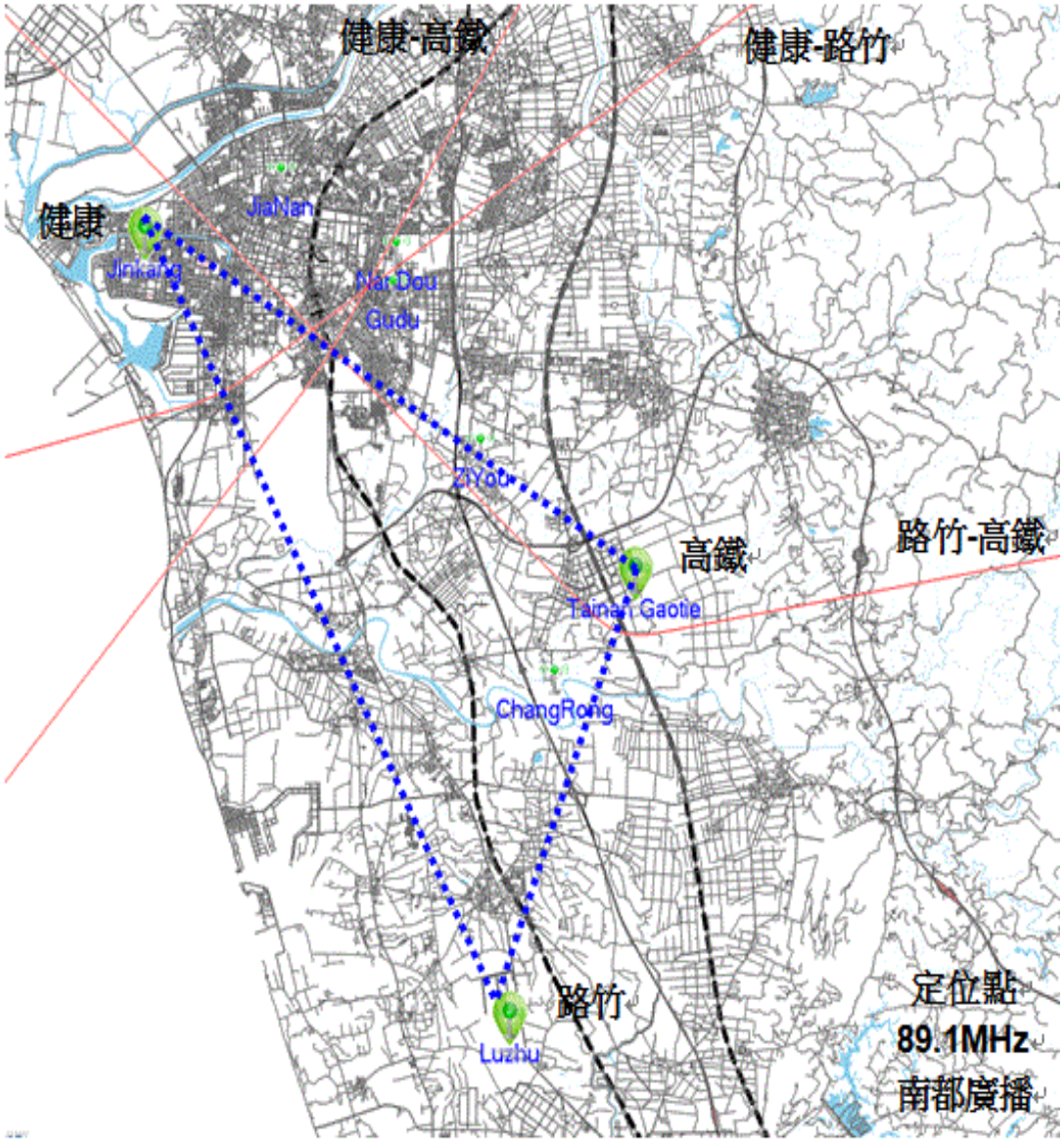


圖 6-9 FM 89.1MHz 南都廣播電臺雙曲線定位結果顯示

89.1MHz 南都廣播電臺雙曲線定位資訊，取三條雙曲線交測所得三個交點為三角形頂點，再解算出三角形中心點的 10 個點座標(89.1 MHz 經緯度)。將由定位系統重複測試所判讀出的信號發射源的 10 個點座標(經緯度)，與實際發射源所在位置分析比較，可計算得知最大誤差距離、最小誤差距離、平均距離誤差與標準差如下 6-7 表所示。從表 6-7 顯示在南都廣播電臺在三角形範圍外，十次的定位數據的相差甚大，所有量測到的定位點，分布範圍約在 350 公尺內。

表 6-7 FM 89.1MHz 南都廣播電臺標準差分析

89.1MHz 南都廣播 實際站台經緯度(與通傳會(NCC)位置相符) 經度 120 度 13 分 45 秒。緯度 22 度 59 分 57 秒						
10 個定位點座標編號	經度 緯度	誤差距離	最大誤差距離	最小誤差距離	平均距離誤差	標準差
1	120.2288 22.9953	429.48 m	690.71 m	264.86 m	515.22 m	137.25 m
2	120.2270 22.9943	582.75 m				
3	120.2298 22.9955	410.85 m				
4	120.2270 22.9936	655.06 m				
5	120.2238 22.9954	690.71 m				
6	120.2287 22.9958	375.68 m				
7	120.2291 22.9939	582.74 m				
8	120.2300 22.9969	264.86 m				

9	120.2250 22.9953	605.32 m				
10	120.2265 22.9948	554.78 m				

在本實驗中以 FM 89.1MHz 偵測 10 個點中的數據進行誤差分析，若以通傳會(NCC)提供之電臺座標，顯示最大誤差距離為 690.71 公尺，最小誤差為 264.86 公尺，平均誤差約為 515.22 公尺，定位值的概率分佈 CEP 50%約 550 公尺。如下圖 6-10 所示。

圖 6-10 FM 89.1MHz 南都廣播電臺定位誤差資訊

(四).91.9MHz 嘉南廣播電臺 TDOA 定位

設定待測訊號發射源頻率為 91.9MHz，取三條雙曲線交測所得三個交點為三角形頂點，再解算出三角形中心點的 10 個點座標。並由三個監測站點健康、高鐵、路竹，每兩個站點決定一組時間差數據，其中包括健康-路竹、健康-高鐵、路竹-高鐵共三組數據，並連續測試 10 次，如下表 6-8 所示。

表 6-8 FM 91.9 MHz 嘉南廣播電臺連續十次測試距離差與時間差

	Distance Delta (m)			Time Delta (us)		
No	健康-路竹	健康-高鐵	路竹-高鐵	健康-路竹	健康-高鐵	路竹-高鐵
1	-16164	-8664	7440	-53.88	-28.88	24.80
2	-16284	-8508	7812	-54.28	-28.36	26.04
3	-16764	-8748	8148	-55.88	-29.16	27.16
4	-16740	-8592	8232	-55.8	-28.64	27.44
5	-16356	-8688	7692	-54.52	-28.96	25.64
6	-16740	-8592	8232	-55.8	-28.64	27.44
7	-15924	-8064	8124	-53.08	-26.88	27.08
8	-16200	-8664	7476	-54.00	-28.88	24.92
9	-16386	-8700	7716	-54.62	-29.00	25.72
10	-16212	-8568	7644	-54.04	-28.56	25.48

下圖說明以頻率 FM 91.9MHz 電臺在三角形邊線上，頻帶選用 20MHz，選定電波監測站位置，雙曲線定位資訊如下圖所示。健康與路竹的雙曲線，由於時間差最大，誤差為最大。健康和高鐵的雙曲線，與路竹和高鐵的雙曲線，時間差最小，誤差應為最小，故交測以健康和高鐵的雙曲線與路竹和高鐵的雙曲線兩組數據準確性較高。

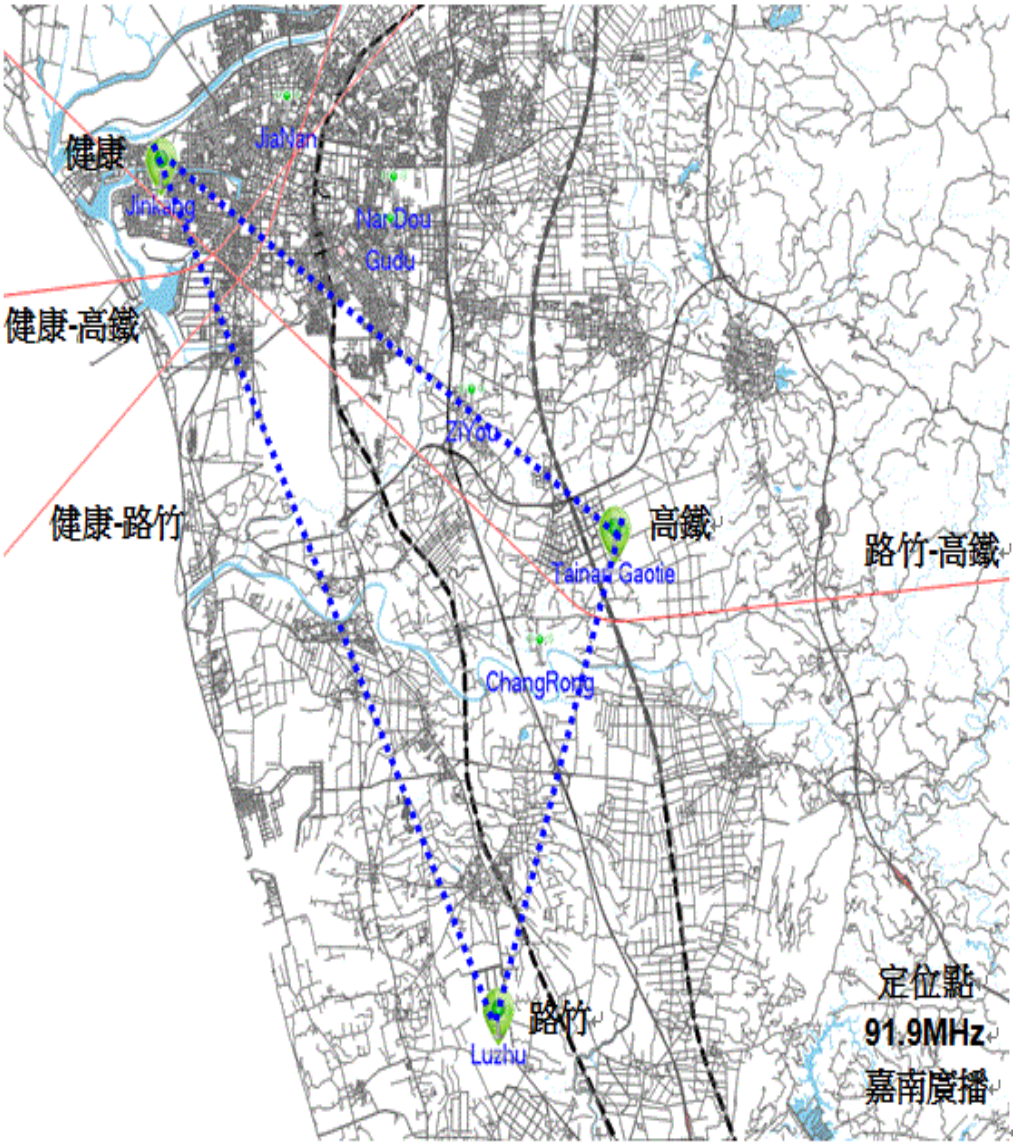


圖 6-11 FM 91.9MHz 嘉南廣播電臺雙曲線定位結果顯示

91.9MHz 嘉南廣播電臺雙曲線定位資訊，取三條雙曲線交測所得三個交點為三角形頂點，再解算出三角形中心點的 10 個點座標(91.9 MHz 經緯度)。將由定位系統重複測試所判讀出的信號發射源的 10 個點座標(經緯度)，與實際發射源所在位置分析比較，可計算得知最大誤差距離、最小誤差距離、平均距離誤差與標準差如下 6-9 表所示。從表 6-9 顯示在嘉南廣播電臺在三角形範圍內，十次的定位數據的相差甚大，所有量測到的定位點，分布範圍約在 950 公尺內。

表 6-9 FM 91.9MHz 嘉南廣播電臺標準差分析

91.9 MHz 嘉南廣播 實際站台經緯度(與通傳會-NCC 位置相符) 經度 120 度 12 分 33 秒。緯度 23 度 0 分 45 秒						
10 個定位點座標編號	經度 緯度	誤差距離	最大誤差距離	最小誤差距離	平均距離誤差	標準差
1	120.2288 22.9953	1408.70 m	1408.70 m	522.92 m	929.26 m	275.76 m
2	120.2270 22.9943	825.31 m				
3	120.2298 22.9955	522.92 m				
4	120.2270 22.9936	724.01 m				
5	120.2238 22.9954	933.47 m				
6	120.2287 22.9958	724.15 m				
7	120.2291 22.9939	852.67 m				
8	120.2300 22.9969	1330.74 m				

9	120.2250 22.9953	882.68 m				
10	120.2265 22.9948	1087.92 m				

在本實驗中以 FM 91.9MHz 偵測 10 個點中的數據進行誤差分析，若以通傳會(NCC)提供之電臺座標，顯示最大誤差距離為 1408.70 公尺，最小誤差為 522.92 公尺，平均誤差約為 929.26 公尺，定位值的概率分佈 CEP 50%約 950 公尺。如下圖 6-12 所示。通傳會(NCC)提供之電臺座標與電臺實際座標相符。

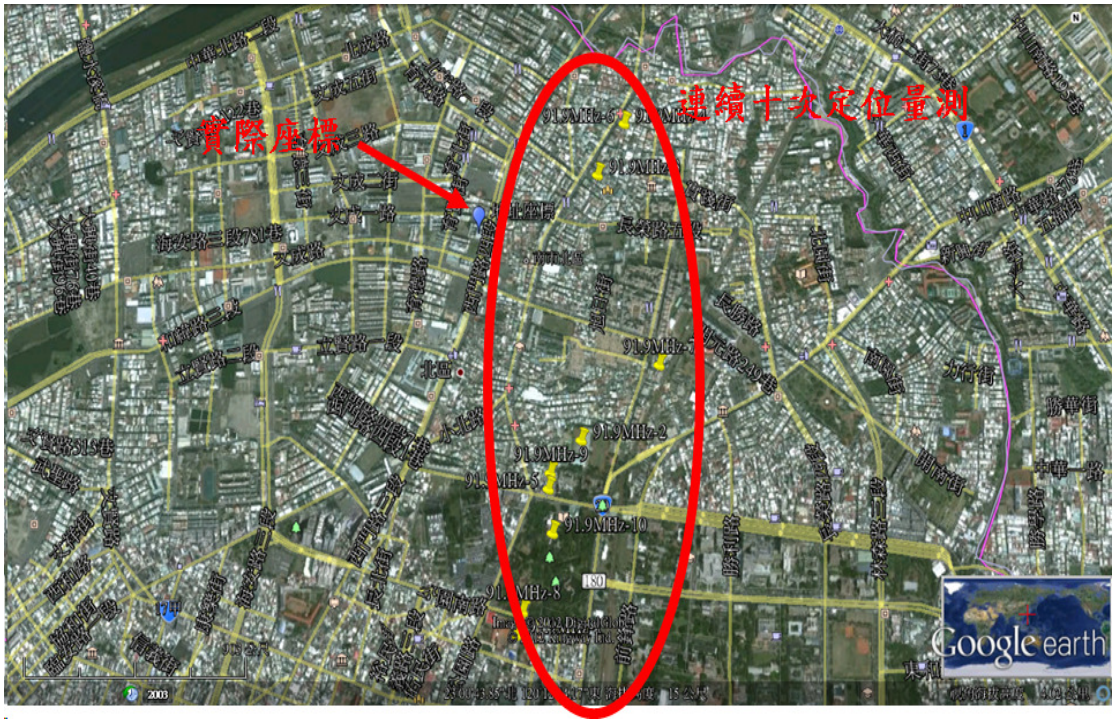


圖 6-12 FM 91.9MHz 嘉南廣播電臺定位誤差資訊

實驗證明以 TDOA 監測定位的可行性，其明顯受到幾何影響定位判斷錯誤誤差。各個實測頻率數據整理如下表 6-10 所示。

表 6-10 各廣播電臺定位準確度分析

電臺名稱	頻率 (MHz)	分布範圍（m）	定位精準度@CEP50%（m）	平均距離誤差 (m)	標準差(m)
長榮之聲學校實習廣播電臺	88.3	20	235	230.31	22.24
自由之聲廣播電臺	91.5	110	230	260.50	76.97
南都廣播電臺	89.1	350	550	515.22	137.25
嘉南廣播電臺	91.9	950	950	929.26	275.76

實驗數據顯示，當在各監測站所形成的三角形範圍內，其多次定位數據會在分布範圍約在 110 公尺內，平均距離誤差(定位)約小於 300 公尺，定位精準度也在 300 公尺範圍內。此次實驗未考慮監測站所在地點的地形高度，以及地球曲面變化，未來若有更多監測站台，可以解出地形高度資訊，同時將可提高定位精確度。

第三節 AOA 定位實驗實測

本研究進行 AOA 定位實驗測試結果，並分析 AOA 技術定位精確度及誤差範圍。再者，探討 AOA-based 對發射電台的測量值和實際值位置相近程度的度量，並提出公正、合理和規範的評價標準。

一、AOA 實驗測試設計

本研究在高雄科學園區建置 AOA 定位實際驗證環境，實測過程驗證運用「軟體無線電」之設計原則可重複運用 AOA 的硬體設備，減少系統開發的成本與時間。實測過程中主要量測與確認 AOA-based 定位系統與訊號發射源之定位方向角度。首先，設定頻率為 88.3MHz，取樣頻寬為 400KMHz，如下圖 6-13 所示。量測定位角度結果顯示為 14.55 度，如圖 6-13 右下方

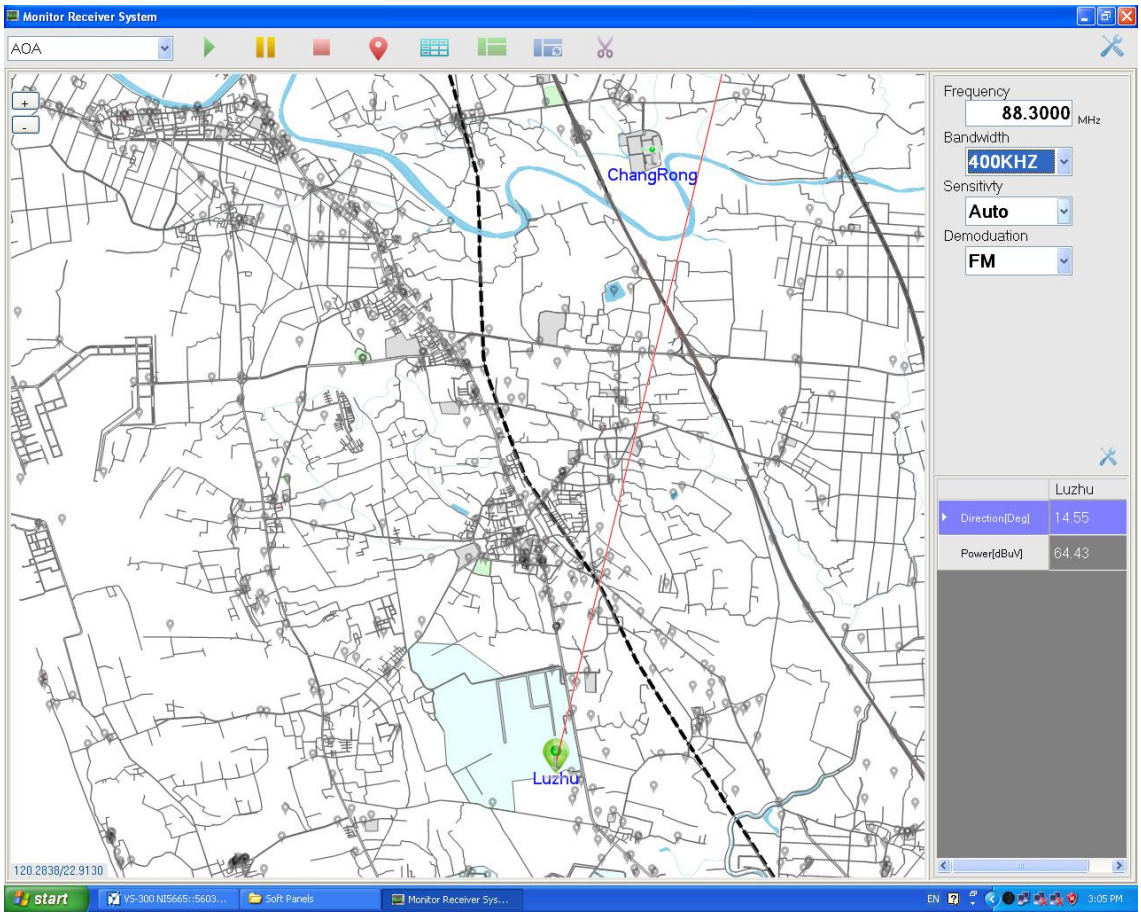


圖 6-13 FM 88.3MHz 長榮之聲 AOA 定位角度結果顯示

本實驗為分析與探討 AOA/TDOA 整合的應用情境，選擇與 TDOA 相同的 FM(88.3、91.5、89.1 與 91.9 MHz)電臺。並從通傳會(NCC)下載電臺資訊（如圖 6-14 所示），與所得到已知的電臺位置在 Google Earth 地圖上進行角度比對，如下圖 6-14 所示。高雄科學園區與 88.3MHz 長榮之聲電臺已知距離為 7.82 公里，實際角度為 9.3 度。

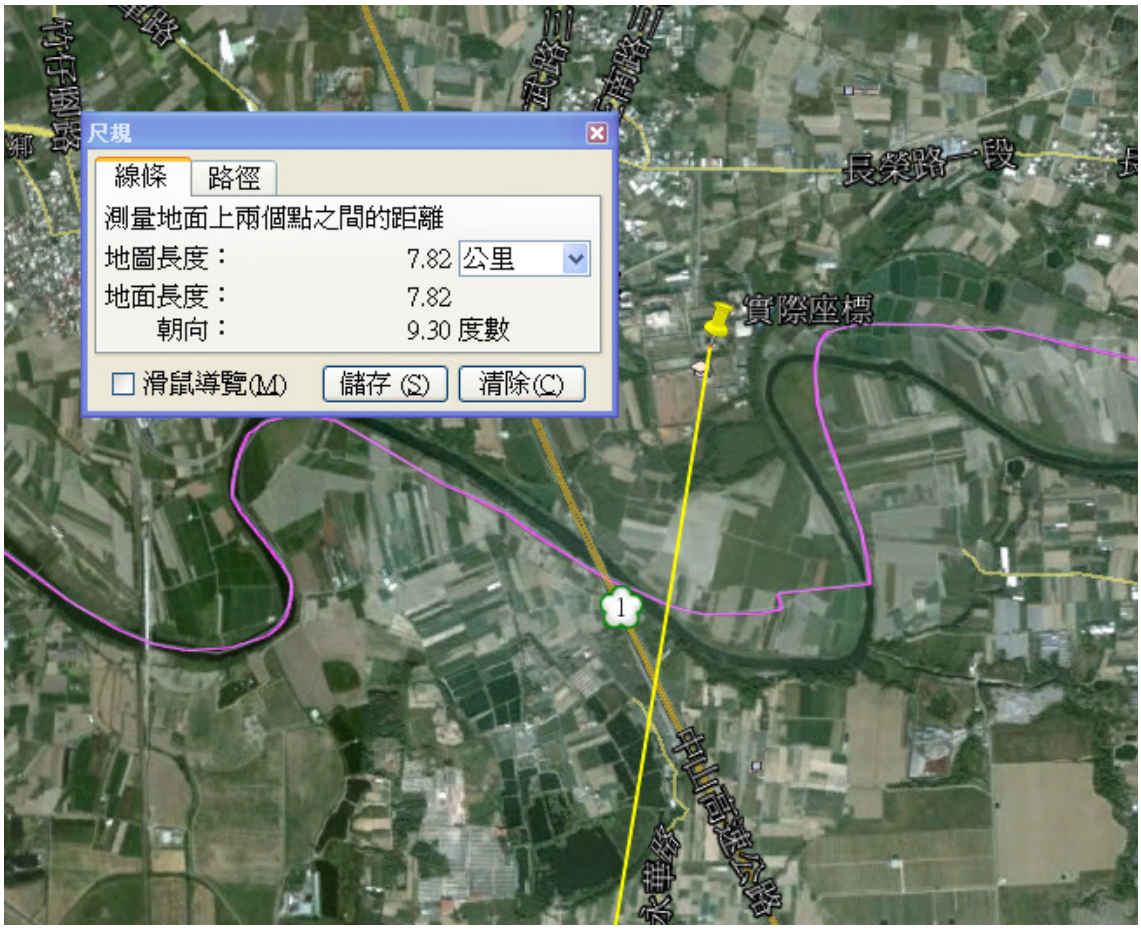


圖 6-14 FM 88.3MHz 長榮之聲實際定位角度線

二、AOA 定位實測精確度分析

AOA 定位實驗，需有良好的場地及搭配現場校正的程序。故實際僅在高雄科學園區的監測站台(可模擬 AOA/TDOA 整合應用情境)進行實驗。本次以 400kHz 頻寬進行 AOA 定位測試，觀察由 AOA 測試角度與實際定位角度線，並分析角度差與最短小距離(偏)差值之關係。

(一).88.3MHz 長榮之聲電臺 AOA 定位

實驗定位 88.3MHz 長榮之聲電臺，如上圖 6-13「88.3MHz 長榮之聲 AOA 定位角度線」與「88.3MHz 長榮之聲實際定位角度線」所示，實際距離為 7.82 公里，角度誤差為 5.25 度，該角度最短小距離差值約 700 公尺。

(二).91.5MHz 自由之聲電臺 AOA 定位

實測定位 91.5MHz 自由之聲電臺如下圖 6-15 所示。「91.5MHz 自由之聲 AOA 定位角度線」與「91.5MHz 自由之聲實際定位角度線」圖 6-16 所示，實際距離為 12.57 公里，角度誤差為 3.33 度，該角度最短小距離差值約 730 公尺。

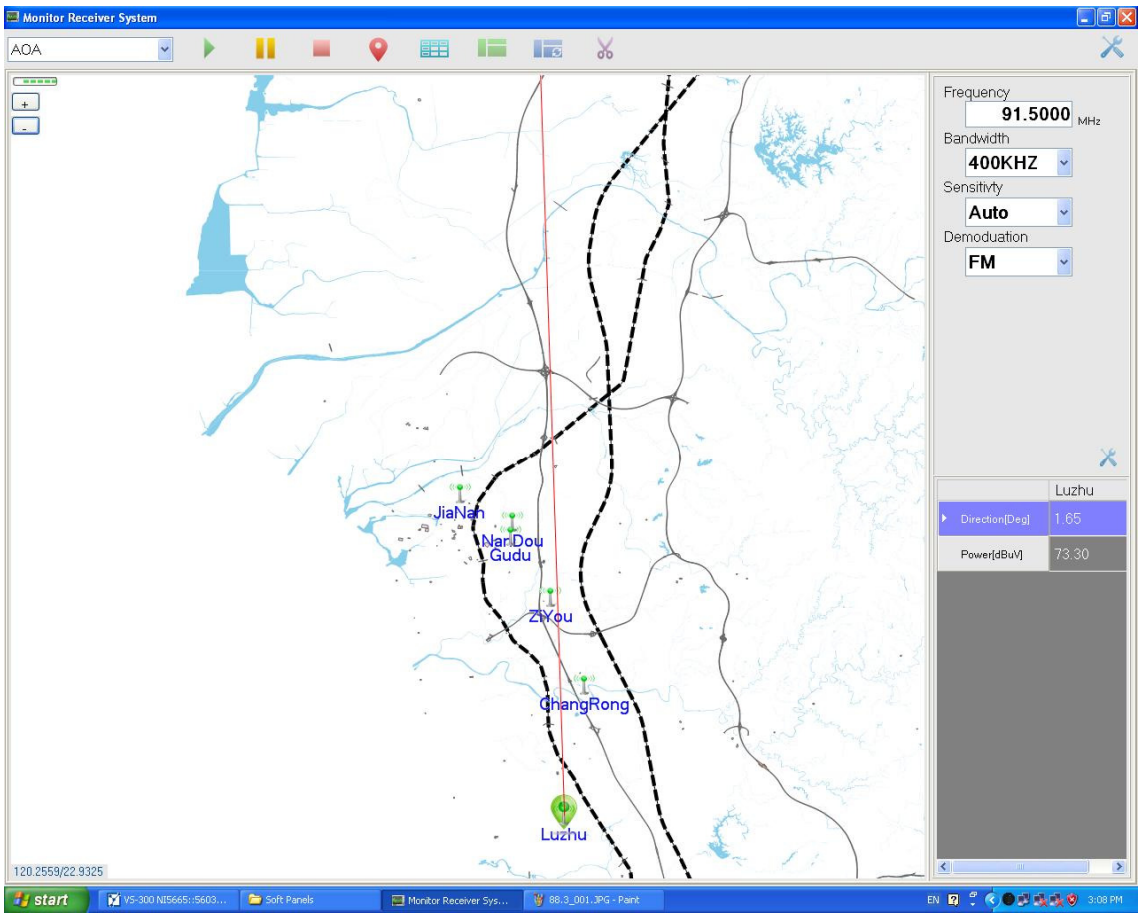


圖 6-15 FM 91.5MHz 自由之聲 AOA 定位角度線結果顯示

圖 6-16 FM 91.5MHz 自由之聲實際定位角度線

(三).89.1MHz 南都廣播電臺 AOA 定位

實驗定位 89.1MHz 南都廣播電臺，如下圖 6-17 所示「89.1MHz 南都廣播 AOA 定位角度線」與「89.1MHz 南都廣播實際定位角度線」如圖 6-18 所示，實際距離為 18.5 公里，角度誤差為 1.58 度，該角度最短小距離差值約 520 公尺。

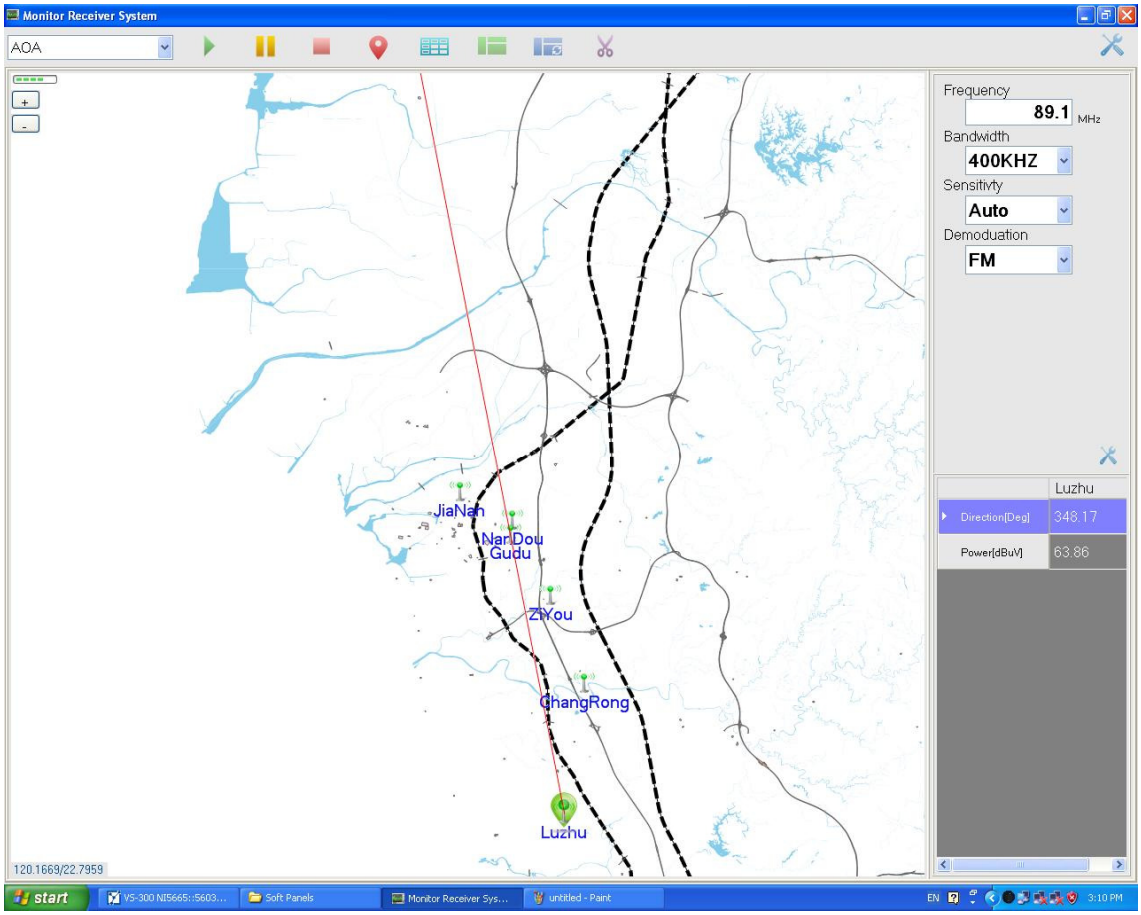


圖 6-17 FM 89.1MHz 南都廣播 AOA 定位角度線經緯度顯示結果

圖 6-18 FM 89.1MHz 南都廣播實際定位角度線

(四).91.9MHz 嘉南廣播電臺 AOA 定位

實驗定位 91.9MHz 嘉南廣播電臺，如下圖 6-19 所示「91.9MHz 嘉南廣播 AOA 定位角度線」與「91.9MHz 嘉南廣播實際定位角度線」如圖 6-20 所示，實際距離為 20.47 公里，角度誤差為 1.92 度，該角度最短小距離差值約 1.2 公里。

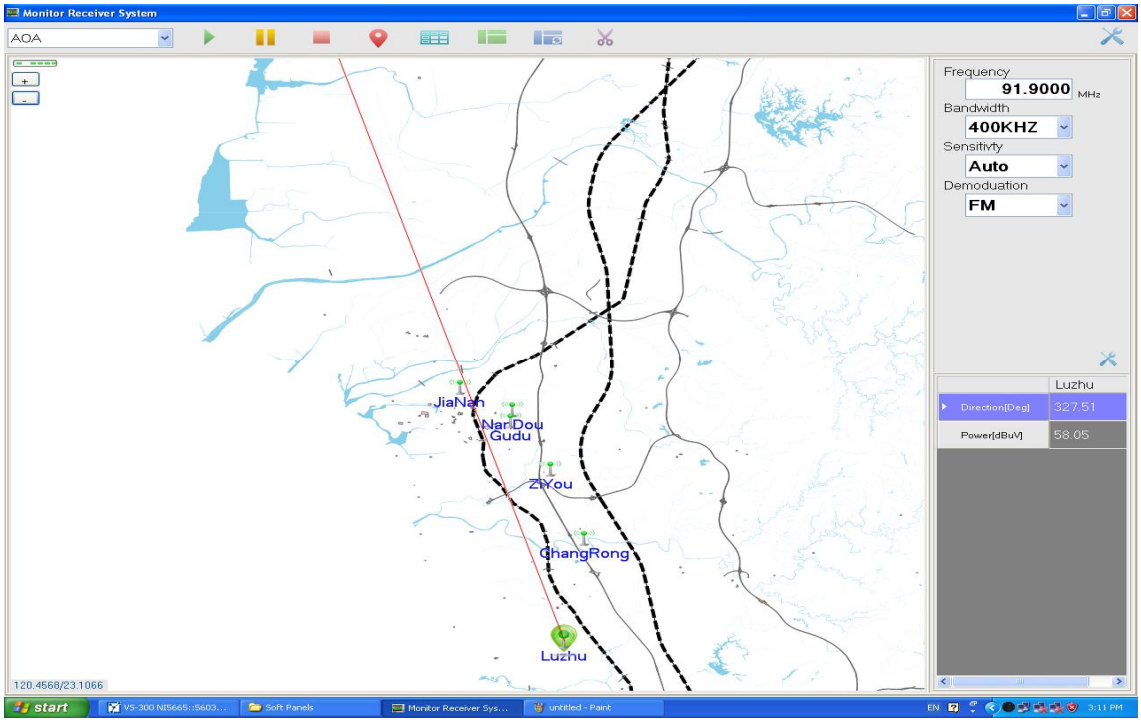


圖 6-19 FM 91.9MHz 嘉南廣播 AOA 定位角度線經緯度顯示結果

圖 6-20 FM 91.9MHz 嘉南廣播實際定位角度

實驗證明 AOA 電波定位的角度誤差與該角度最短小距離(偏)差值相關。當待測發射源距離 AOA 監測定位站台較近則角度誤差大。其主要可能受信號多重路徑影響，也明顯受到距離影響定位該角度而導致對應的最短小距離(偏)差值。各個實測頻率數據整理如下表 6-11 所示。

表 6-11 AOA 各廣播電臺定位準確度分析

電臺名稱	頻率 (MHz)	定位誤差角度（度）	定位距離（Km）	該角度最短小距離差值（m）
長榮之聲學校實習廣播電臺	88.3	5.25	7.82	700
自由之聲廣播電臺	91.5	3.33	12.82	730
南都廣播電臺	89.1	1.58	18.5	520
嘉南廣播電臺	91.9	1.92	20.47	1200

實驗數據顯示，當距離較近反而可能影響定位誤差的角度，多次定位數據各數據可能在 6 度左右的變化範圍。此次實驗未處於監測站所在地點的最高位置，可能受建築物頂樓上各種設施導致信號多重路徑之影響。AOA 定位監測的架設需要有良好的環境。最好選擇建置在建築物或鐵塔頂端，否則各項量測無法獲得有效穩定的測試數據。

第四節 實驗 AOA/TDOA 定位系統架構之分析與探討

本實測驗證展示會議中顯示：基於 AOA-based 與 TDOA-based 技術的最大的差異性為軟體定位演算法的不同。在高雄科學園區的監測站的建置上，本研究係採用「無線電軟體」的設計開發。當經由高雄科學園區，交通大學台南校區(高鐵台南站)與台南健康定向站的三個監測站取得 TDOA-based 定位區域(Allocation area)，更進一步，為了提昇 TDOA-based 定位精確度，本研究經由高雄科學園區監測站，運用 AOA-based 單站測向技術，以解算發射電台的定向線(Bearing)，實現 AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用。本研究顯示：在「無線電軟體」設計開發的原則下，可進行最小成本與最少時間的改進與更新。更進一步，可整合 AOA-based 與 TDOA-based 協同定位的技術，實現 AOA/TDOA-based 監測站的建置。本實測驗證展示會議的重要議題與成果分述如后。

1. TDOA-based 定位系統的「最小誤差距離」與「最大涵蓋面」

在初期實測驗證過程中，使用 40 公尺傳輸線下，當兩個(壹組)監測站臺擷取來自於的 GPS 同步時間信號，在接收相同的自發測試信號源時，可得知兩個(壹組)監測站臺的定位時間差，經換算顯示出最小誤差距離約±4 公尺。在「最大涵蓋面」的分析，在本次的北高雄與南台南定位區域的實測驗證展示中，三個監測站台分別建置於高雄科學園區、台南健康定向站與交通大學台南校區(高鐵台南站)。其中相距的最小距離為 9.94 公里，相距的最大距離為 20.05 公里。在 TDOA-based 定位過程中均能實現即時性的定位任務。驗證結果顯示：對於不同發射電台的相對地理位置，顯示出不同的定位精確度。

2. TDOA-based 定位系統上傳網路頻寬的需求

本研究實測過程的連線網路使用 3G 網卡(中華電信、遠傳與台灣大哥大電信公司)。實測過程中出現網路壅塞而中斷傳輸的情況，導致無法進行即時性的定位。然而，當使用者流量較低時(中午十二點到一點、下午五點過後)，實測過程中即可非常順暢地完成 TDOA-based 即時性定位。本研究的通訊協定封包設計中，上傳頻寬的需求約為 100Kbps(byte per second)。因應未來需要傳送更多的訊息。TDOA-based 定位系統的的上傳頻寬(up-link bandwidth)需滿足大於 1Mbps(byte per second)。若使用 TDOA-based 固定站可使用有線傳輸的光纖網路實現，即可克服頻寬不足的疑慮。在無線通訊上，待 4G 建置完成，更能確保 TDOA 定位系統網

路上傳頻寬的穩定度與可靠性。若因 4G 建置時程無法超越 TDOA 定位系統的建置，本研究的規劃仍然可採用如下的解決方式:

原 TDOA 實驗設計欲利用 3G 行動通訊網路，進行即時 TDOA 定位。但由於實際在三個監測站點的 3G 網路即時頻寬，上傳網路一直無法達到穩定 100kbps 的傳輸資料量，因此實驗進行遭受困難。由於本實測 TDOA 監測定位系統雛型的電波監測接收機具有訊號錄製與回放功能。利用三個監測站點在同一時間進行訊號錄製，再將各站資料攜回控制中心後回放。本實測過程中模擬三個站台即時同步狀況以進行 TDOA 定位量測。

為克服網路壅塞受阻，導致無法進行即時 TDOA 定位。因此，TDOA 定位系統其電波監測接收機，亦應具備訊號錄製與回放功能。首先由遠端下達錄製指令(其網路連線要求僅需小於 10Kbps)，並將訊號資訊由各地電波監測接收機蒐集完畢後，再由網路回傳資料或藉由儲存裝置攜回控制中心，即可避免因網路壅塞受阻而無法進行 TDOA 定位的任務。

3. TDOA-based 即時定位與離線解算作業程序

本研究主要實現了 TDOA-based 即時定位與離線雙曲線解算定位作業。在即時定位作業上，首先選定監測定位的站台(三個監測站台)並運用 3G 網路將所監測收錄到的發射電台訊號以數位封包協定傳送到中心控制站台(Central control station)，接著使用相關演算法(correlation algorithm)解算出 3 個時間差。最後，將 3 條雙曲線時間差線結合至地圖(MAP)上，即可取得發射電台的定位區域(經緯度資訊)，以完成 TDOA-based 即時性定位。

在離線定位作業上，可應用於通訊網路異常(例如：封包傳輸壅塞中斷)，或者需進一步分析發射電台信號的特性(例如：調變形式、頻寬)。本研究展示：可將側錄的訊號以重放檢視(Replay)的方式輸入相關演算法(correlation algorithm) 中，以解算出 3 條雙曲線時間差定位線，並結合至地圖(MAP)上以完成離線方式的解算定位。

此研究計畫採用模組化方式進行 TDOA-based 定位系統的設計開發，並使用分段解構式的測試以驗證 TDOA-based 相關演算法(correlation algorithm)定位的正確性。其中在 TDOA-based 技術的校驗(calibration)過程中，主要模擬同一個發射訊號同時經由不一樣時間延遲的傳輸線(同一信號經過信號分離器進入不同長度的裝置)之後，輸入 TDOA 運算模組以驗證 TDOA-based 相關演算法(correlation algorithm) 的精確性。例如：比較直

接傳輸與經過已知距離的傳輸線，可驗證不同路徑的時間延遲以驗證相關演算法(correlation algorithm)的時間差與距離差的精確性。更進一步，相較於 AOA-based 需進行繁複的方向線(Bearing)對應頻率的干涉術校驗(Interferometry calibration)程序，TDOA-based 定位系統可提供較為簡易的校驗程序與站台建置。

4. 辨識 TDOA-based 定位系統交測雙曲線的信賴度以提高定位精確度

本研究案中，三個監測站台分別建置於高雄科學園區、台南健康定向站與交通大學台南校區(高鐵台南站)。TDOA-based 定位系統需選定三個監測站台以交測出三條雙曲線的經緯度。由於三條雙曲線的時間差均存在誤差，使得 TDOA-based 定位的結果會呈現出可信賴的區域範圍。因此，若僅有三個監測站台必然無法辨識出哪些雙曲線的時間差定位線較為精確(錯誤機率較高)。

當三個監測站台對同一發射電台進行功率的量測過程中，若出現某監測站台所量測的功率呈現偏低的情況，有經驗的監測人員應該意識到該發射電台可能發生電波阻隔、衰減等障礙。此現象可能因為多路徑(Multi-path)、非直視性(non line of sight)的傳輸干擾而導致 TDOA-based 定位產生極大的誤差。相同於 AOA-based 定位系統，可由應用軟體的設定來決定「定位結果」信賴度的取捨準則(定位結果的採用或廢棄)。

在 TDOA-based 定位系統的實務應用上，必須建置多個(3 個以上) TDOA-based 監測站以涵蓋偵測區域。實務上更可依據上述電波功率與定位精確度相關性的辨識法則，在頻譜量測作業中選定電波功率強度較高(接近發射電台) 的三個 TDOA-based 監測站台以取得較為精確的定位區域範圍 (因其具有較低干擾，可獲得較為正確的雙曲線時間差定位線)。

5. 行動 TDOA-based 站在行進中同時執行都會區干擾處理的方法

先由不同的 TDOA-based 監測站量取信號的強度，以判斷不同的監測站的地理位置監測到同一發射電台。暨判斷較接近發射干擾電台的監測站地理位置。以選定三個適當位置的監測站以執行 TDOA 定位量測。本研究所舉辦的 AOA/TDOA 定位技術研討會中，TCI/竑傑科技公司表示其 TDOA-based 技術可搭載在飛機上，對於一般車行速度 40~50km/hr 的干擾源具有行動追蹤的定位能力，但因其屬於軍事國防的規格，價格非常昂

貴，不適用於民用商轉的需求。一般而言，TDOA-based 監測站尚無法在行進中同時執行 TDOA-based 監測站定位作業。

本研究採取的解決方案中，首先需將 TDOA-based 監測站或 TDOA 運載式設備固定在監測地點後，才能繼續進行較為精確的 TDOA-based 定位任務。在都會區出現微小的突短、寬頻訊號的干擾時，可運用建置更為密佈的多個 TDOA-based 監測固定站，並搭配簡易定向設備(獵狐槍)以進行都會區的干擾處理。

6. AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用

本研究分別於高雄科學園區，交通大學台南校區(高鐵台南站)與台南健康定向站建置三個 TDOA-based 監測站。為了實現 AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用，更進一步，在相同的高雄科學園區位置上建置 AOA-based 定向系統。本研究中 AOA-based 與 TDOA-based 技術相同與相異之處如下表所示：

定位技術 項目	AOA-based 技術	TDOA-based 技術
天線型式	繁複的天線陣列	簡易的天線
接收機數量	需要二套運算模組 (振盪器模組、Down converter 、Digitizer)	需要二套運算模組 (振盪器模組、Down converter 、Digitizer)規格與性能相同於 AOA-based 技術
定位演算法	量測發射電台的訊號(主要定位要素為訊號相位與功率)，並在監測站解算出角度後，上傳至到中心控制站台(Central control station)。	量測發射電台的訊號(主要定位要素為訊號到達監測站的時間與功率)，上傳至到中心控制站台(Central control station)後，使用相關演算法(correlation algorithm)解算出 3 個時間差。

本實測驗證展示會議中顯示：基於 AOA-based 與 TDOA-based 技術的最大的差異性為軟體定位演算法的不同。在高雄科學園區的監測站的建置上，本研究係採用「無線電軟體」的設計開發。當經由高雄科學園區，交通大學台南校區(高鐵台南站)與台南健康定向站的三個監測站取得 TDOA-based 定位區域(Allocation area)。再者，為了提昇 TDOA-based 定位精確度，本研究經由高雄科學園區監測站，運用 AOA-based 單站測向技術，以解算發射電台的定向線(Bearing)，實現 AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用。本研究顯示：在「無線電軟體」設計開發的原則下，可進行最小成本與最少時間的改進與更新。更進一步，可整合 AOA-based 與 TDOA-based 協同定位的技術，實現 AOA/TDOA-based 監測站的建置。

第五節 小結

採用正三角形方式佈置 TDOA 和 AOA，當發射源來自三角形中心點，可以獲得最精確的信號位置。在一定條件下，當測量發射源之地點為中心部分時，TDOA 定位精確度會比 AOA 有利。AOA 定位方法的精確度是關係到信號源和每個迎角接收天線(接收器)之間的距離，AOA 定位的不確定性是軸承角的不確定性和接收器估計位置的距離的函數。當信號源是遠遠超出周邊時，本研究實測結果證明：TDOA 在測量區外，比 AOA 定位精度的下降更加迅速。由上述原理，將待測點選擇靠近正三角形中心部分的 FM 88.3MHz 長榮之聲，再選擇逐漸遠離正三角形的 FM 91.5MHz 自由之聲電臺、FM 89.1MHz 南都廣播和 FM 91.9 MHz 嘉南廣播的實測設計極為可貴與正確。本研究 TDOA 定位實驗測試過程中，藉由多次的重複測試之後，分析比較由 TDOA 定位系統重複測試所判讀出的信號發射源，與實際發射源所在位置誤差以確認本研究所建置 TDOA 監測定位系統雛型的定位精準度。

為確保接收機之間的相對時間，天線、電纜和濾波器的延遲誤差都會影響定位精準度，應盡可能避免到採樣到不存在的信號。因此，濾波器設定參數將極為重要。計算從兩個接收信號之間的交叉相關，兩個信號的相關性的相似度將影響 TDOA 判別的性能。TDOA 另一重要的系統需求為需要可靠的網路和網路性能。本次實驗有數次可直接即時做 TDOA 定位，若有穩定的網路連線頻寬，更可提高系統的可靠度。未來可思考兩種方式，一是建立穩定的固定網路，或者利用 3G 網路，由軟體規劃建立同步錄製功能，再將數據回傳至中央控制中心以進行 TDOA 離線定位作業。

實測證明以 TDOA 監測定位的可行性，其精確度明顯受到站台幾何地理位置的影響。實測數據顯示：當在各監測站所形成的三角形範圍內，其多次定位數據會在分布範圍約在 110 公尺內，定位平均距離誤差約小於 300 公尺，定位精準度也在 300 公尺範圍內。此次實驗未考慮監測站所在地點的地形高度，以及地球曲面變化，未來若有更多監測站點，可以解出地形高度資訊，同時將可提高定位精確度。

另實驗證明 AOA 電波定位的角度誤差與該角度最短小距離(偏)差值相關。當待測發射源距離 AOA 監測定位站台較近則角度誤差大，其主要可能受信號多重路徑影響，也明顯受到距離影響定位該角度而導致對應的最短小距離(偏)差值。實驗數據顯示，當距離較近反而可能影響定位誤差的角度，多次定位數據可能在 6 度左右的變化範圍。此次實驗未處於監測

站所在地點的最高地形，可能受建築物頂樓上各種設施導致信號多重路徑影響，AOA 定位監測的架設，需要有良好的環境，最好建置在建築物或鐵塔頂端，否則各項量測，無法有穩定的測試數據。

本實測驗證展示會議中顯示：基於 AOA-based 與 TDOA-based 技術的最大的差異性為軟體定位演算法的不同。在高雄科學園區的監測站的建置上，本研究係採用「無線電軟體」的設計開發。當經由高雄科學園區，交通大學台南校區(高鐵台南站)與台南健康定向站的三個監測站取得 TDOA-based 定位區域(Allocation area)，更進一步，為了提昇 TDOA-based 定位精確度，本研究經由高雄科學園區監測站，運用 AOA-based 單站測向技術，以解算發射電台的定向線(Bearing)，實現 AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用。本研究顯示：在「無線電軟體」設計開發的原則下，可進行最小成本與最少時間的改進與更新。更進一步，可整合 AOA-based 與 TDOA-based 協同定位的技術，實現 AOA/TDOA-based 監測站的建置。

第柒章 TDOA 導入特殊干擾防制之應用

在實現 TDOA 監測定位系統的雛型架構下，本章節主要探討 TDOA 監測定位系統導入特殊干擾防制技術之應用。首先，對於 AOA 與 TDOA 定位技術的優缺點與適用情境進行分析比較。接著，經由 TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統導入與連結現行通傳會(NCC)AOA 監測定位系統，以實現(A). 頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。(B).干擾源之辨識、定位系統之建置與運用的兩個層面上的應用。再者，分析與探討 TDOA、AOA/TDOA 在特殊干擾(飛航、低功率無線電設備、突短微弱與都會區等干擾)辨識、分析(定位)與防制的解決方法。

接著，藉由探討電波監測技術發展趨勢與 TDOA 定位系統設備供應現況。更進一步，研提 AOA/TDOA-based 定位系統的可行性的階層管理組織、網路、軟體架構與系統設備規格，建構更多元的電波監測定位技術以補償現有電波偵測網的盲點與死角，達成通傳會(NCC)未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之目標。最後，依據「TDOA-based」定位系統服務涵蓋(20km~30km)，完成台北市所需架設之 3~5 個站台數目的模擬評估與規劃，暨研提台北市建置 TDOA 定位系統的地點、設備規格需求與應用的具體可行方案。

第一節 TDOA、AOA 定位技術的適用情境

在本研究實測雛型基礎下，本節對於 AOA、TDOA 與整合 AOA/TDOA 之間測定位系統的優缺點進行分析比較。以探討 TDOA 建置之條件與評估 TDOA 導入通傳會(NCC)之適用情境。

一、AOA 與 TDOA 定位技術分析比較

為了確保 AOA 干涉術(interferometry)監測定位系統的精確度，AOA 監測站台建置的各個階段包括廠測、站臺建置、系統施作與維護上的複雜度都緊密關係著 AOA 自動監測系統能否永續維持正常運作的關鍵，其各階段應行注意的關鍵與繁複過程分述如下表 7-1 所示。

表 7-1 AOA-based 技術應注意的關鍵與繁複過程

測向與定向精確度的重要階段	應行注意的關鍵與繁複過程
站台規劃(電波環境、地理環境與電信網路)	1.由於台灣人口密集、地形繁複，極為困難尋覓到可建置 AOA 監測定位站台的優良地理與電波環境。 2.相關機構與法令若無法適時配合，也導致 AOA 監測定位站台的定向精確度逐漸降低。例如：監測站四周服務人口增長的預測、有效防止監測站四周高層建築物的興建與避免大功率電台在鄰近監測站四周的侵襲。 3.有些 AOA 監測定位 站台建至於偏遠山區，無法運用寬頻、高速網路。
廠測階段	由於 AOA 定向技術之定向精確度主要根植於： 1. 空間頻譜校準法:在視野廣闊的優良電波環境下，設定不同的各頻段，配合旋轉天線陣列(例如:呈現五角形配置的 5 對天線陣列)角度，以獲得相對應的「校準檔-Calibration file」。接著採用「定向演算法」，進一步解算出更為精確的定向角度。 2. 廠測階段是在極為嚴苛的電波與地理環境下，根據前揭天線旋轉變化以取得原始「天線與測向演算法」完全匹配的 Calibration file。其顯見廠測階段對於相位 AOA 干涉(interferometry)技術的重大與深遠的影響。即使維運階段仍然受到空間頻譜校準法深深的束縛。
站臺建置	此階段應做好 Site Survey 包括電波環境與地理環境的評估與實測。AOA-based 站台必須避開當地的障礙、地面反射，以盡量減少由於反射波造成定位精確度的影響。
系統施作	1.施工廠商若無法體認高頻(UHF)信號在使用相位差的測向方法與傳輸線長度精確施工有重要的影響。無法在施作時使用測試儀器進行傳輸路徑知校準與補償 2.依據 AOA 相位干涉術(interferometry)的原理，其相位差的量測與傳輸線長度是否相等，對定向的精確度有重要的影響。若施工品質太過粗略而無法在施工過程中保證正確的校正，會造成嚴重的測向誤差。因此施作時需不斷使用

	測試儀器以進行傳輸路徑的校準與補償。 3.台灣地形地貌與地狹人稠的通訊環境,產生諸多的同頻干擾與多重路徑傳輸干擾。施工廠商更需具備嚴謹與專精的技術，在施工過程中進行嚴格的驗證與測試，以克服「天線至監測定向接收機」中所造成傳輸線能量的嚴重損耗，以確保監測與定向的精確度。
系統維護	1.依據前揭的定向原理，當原來的天線條件或環境改變，自然會效能劣化而\影響「定向的精確度」。因此需執行相同於廠測階段的空間頻譜校準法重新校正天線陣列,以確保全匹配校準檔-Calibration file。 2.天線嚴重變質或雷擊損壞的定向天線需卸載天線陣列,後送至原廠檢修。天線若遭受嚴重的毀損還需執行廠測階段的空間頻譜校準法，程序非常繁複。因此常需另行購置備援的天線陣列。

綜合前述，本研究在預計進行模擬實測驗證後，進行 TDOA、AOA-based 監測定位技術的比較分析如下表 7-2 所示。

表 7-2 TDOA-based 自動定位系統優缺點分析

	TDOA-based 技術	AOA-based 技術 (interferometry)
站台建置條件	1. TDOA 天線體積小。在 TDOA 站台選址條件上較為寬鬆與簡易。 2. TDOA 可快速部署於都會區頂樓，且可克服都會區高大建築物所產生的多路徑傳輸的效應。在本研究實測結果顯示非常適合解決都會區的干擾。 3. 運載式 TDOA 監測定位站台具有靈巧的機動性，非常適合建置於低功率設備與突發干擾發生的可疑地點以進行全天候自動監測定位。	AOA-based 站台必須避開當地的障礙與地面反射，以盡量減少由於反射波所造成定位精確度的影響。

	TDOA-based 技術	AOA-based 技術 (interferometry)
天線要求	1. TDOA 天線是低成本，低複雜度與規模較小，因此架設上非常輕巧簡易與快速。 2. TDOA 定位接收機可採用單一的簡單天線（如單極或偶極子）。	AOA-based 需架設龐大的天線陣列。
監測站台選址條件與校準程序	幾乎沒有校準問題，允許更靈活與機動地選擇 TDOA 站台。	AOA-based 天線陣列現場安裝後，當原來的天線條件或環境改變，自然會效能劣化而產生頻率和方向的錯誤，導致影響「定向的精確度」。因此需執行相同於廠測階段的空間頻譜校準法重新校正天線陣列，以確保全匹配校準檔-Calibration file。
未知發射台信號特徵(信號頻寬與 SNR)	1. 寬頻信號具有時域上更為尖銳的變動特性。因此 TDOA-base 技術善於執行複雜的調變、寬頻帶，而且持續時間短出現的信號。 2. 對於未調變的連續無線電波（CW）信號與窄頻信號，TDOA 無法進行監測定位。假若存在，較高的 SNR 信號與更長的觀測時間，則可以改善與提高 TDOA-based 技術對於窄頻信號的定位精確度。	AOA-based 技術善於監測定位窄頻和 CW 的信號。但先進的 AOA-based 技術可用於定位任何的信號，包括任何頻寬，複雜調變，週期短等應用。
系統複雜性	1. TDOA 定位接收機和天線架構簡易。 2. TDOA 接收機只要求至少有一個 RF 通道(一套監測定位接收	典型的 AOA 天線陣列和雙多通道接收機的架構較為複雜。

	TDOA-based 技術	AOA-based 技術 (interferometry)
	機)。 3. AOA/TDOA 與 AOA 可具有相同的兩個 RF 通道(兩套監測定位接收機)。	
抑制不相關的雜訊和干擾的能力	TDOA 可以抑制時間重疊的雜訊和干擾與站台之間不相關的信號。	先進的 AOA-based 技術可提供抑制不相關的雜訊和干擾的能力。然而由於成本太高的問題，並沒有被廣泛用於頻譜監測。
傳播環境	可應於在多重路徑與寬頻訊號傳輸的環境。	AOA-based 技術可與 Received Signal Strength (RSS) 定位技術互補以提高定位精確度。
定位的幾何考慮	相較於 AOA 定位精確度，TDOA-based 定位在測量區外，效能劣化得更加迅速與嚴重。	AOA 方法的精確度是直接關係到信號源和每個迎角接收機之間的距離。
網路需求	1. 需要網路傳輸資源較多：傳輸監測接收到的信號到中央控智站台，需要高數據率通信鏈路。其網路頻寬是不對稱的需求，上傳頻寬遠超過下載頻寬之需求。 2. 先進的信號的壓縮技術，可以減少傳輸的數據。 3. 本研究實測 TDOA 監測定位雛型 設計，可將測錄的訊號以重放檢視(Replay)的方式輸入相關演算法 (correlation algorithm) 中，進行離線方式的解算定位。	1. AOA-based 技術可以執行離線分析。 2. 需要網路傳輸資源較少。只有一些如頻率和時間信號的特點，傳輸到中心站點。

	TDOA-based 技術	AOA-based 技術 (interferometry)
時間同步	TDOA-based 系統要求接收站台之間的同步時間需非常精準。	AOA-based 系統的時間同步要求不高。可以容許接收站台之間幾秒鐘的誤差。
站點數要求	TDOA-based 技術至少需要 3 個監測定位站台。	AOA-based 可使用於單個站台可實現 SSL 定位技術。
多路徑傳播	1. 如果信號具有足夠頻寬，TDOA 對於本地障礙物（本地多路徑）造成的波前失真較不敏感。TDOA 可能需要通過高級信號處理來解決遠處的障礙物（遠距離多路徑）造成的位置模糊。 2. TDOA-based 技術以解算發射點至兩監測站全程的時間差為準，時間誤差較不敏感。	因為 AOA-based 技術以最後反射信號解算迎向角度而無法觀照到干擾源最初的迎向角度，容易被多路徑傳播效應影響，造成誤差。
發射訊號功率位準	TDOA-based 技術以解算發射點至兩監測站全程的時間差為準。只要能在接收機靈敏度許可之下，即使是微弱信號便可解算時間差。	需要比較高的能量以正確解算 AOA-based 信號的相位。當信號為弱時無法在 0~2pi 辨識出相位差值。
干擾源地理位置的解算速度	對於 TDOA-based 而言，典型的地理定位速率大約在每秒 1 次。	AOA-based 典型的地理定位速率是每秒 100 次定位。
單站量測情況下的離線分析	如果用 TDOA 監測定位站台，單站的測試結果，不可能使用離線的方式分析出雙曲線(時間差)位置線。	如果用 AOA 監測定位站台，單站測試結果可使用離線的方式分析出方位線。

➢ 綜合上表， TDOA 及 AOA 定位技術重要特徵分析比較如下

✧ TDOA 監測定位系統優缺點分析：

- 優點：成本較低、容易架設、天線小、設備簡單、可處理寬頻、跳頻等新興數位通訊訊號。TDOA 監測定位站成本約為 AOA 監測定位站成本的 10%~20%。
- 缺點：三角形幾何範圍外定位誤差大、相較 AOA 可定位範圍限縮。定位相關演算法需依據不同調變信號的特性，進行相異的取樣最佳化。相對地，AOA 的優點卻可使用單站呈現定位線、靈敏度較高、並可以定位連續信號（CW）。

✧ TDOA 結合 AOA 監測定位系統之優缺點分析：

- 優點:可結合上述 TDOA 與 AOA 優點,當兩個站同時具有 TDOA 與 AOA，可增加定位準確性，並且克服解決 TDOA 幾何範圍外的定位問題,以增加服務涵蓋面。如圖 7-1 所示。整合 AOA/TDOA 的監測定位系統更加適合佈建於台灣南北狹長走向的地理環境。
- 缺點：TDOA/AOA 監測站成本將提高 AOA 監測定位站成本的 10%~20%。

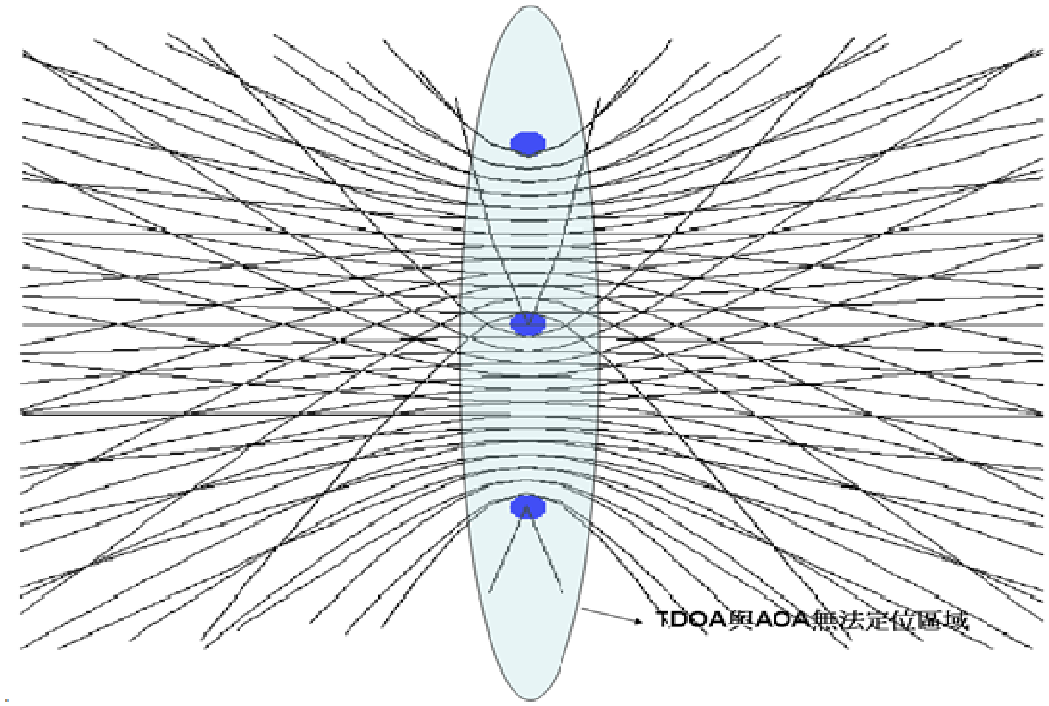


圖 7-1 TDOA 與 AOA 無法定位區域

依據 ITU-R 建議書 SM.2211 與相關資料，本研究綜合表 7-2，對於 TDOA-based 定位技術的 SWOT 分析如下表 7-3 所示。

表 7-3 TDOA-based 自動定位系統 SWOT 分析表

優勢(Strengths)	弱點(Weaknesses)
1. TDOA 天線體積小(Simple antenna requirement) 2. 適合室內環境干擾源定位 3. 站台建置簡單與校準(calibration)程序容易 4. 國外有許多不同的供應商 5. 國外有機構已在使用 TDOA 在監測上 6. TDOA 可快速被裝置部署 7. TDOA 選址要求是小於 AOA 的限制 8. 幾乎沒有校準問題，允許更靈活地選擇 TDOA 站台	1. TDOA 無法偵測未調製（CW）和窄頻信號 2. 無法進行 homing 與單站(stand alone)量測任務 3. 量測站台間需要非常精準的時間同步 4. 無法進行單站量測技術定位(Single site locatin, SSL)功能
機會(Oppounities)	**威脅(Treats)**
1. 適合進行寬頻(wideband)、低訊號雜訊比(Lower SNR)與短發 (Short duratiy) 信號的定位。 2. 低系統複雜度(不需龐大的天線列, 整合 AOA/TDOA 應用與 AOA 具有相同的接收機)。 3. 排除不相干的雜訊與干擾。 4. 適合同頻干擾的量測與定位。 5. TDOA 與 AOA 可以互補應用	1. 高速與寬頻網路的需求 2. 通訊型態的改變 3. 中心控制站台伺服器的運算模組(computer engine of central engine)需要極複雜的解算能力

二、AOA/TDOA 定位技術整合應用情境

本研究在實現 AOA/TDOA-based 定位系統的設計與實測並完成定位精確度的分析。結果顯示在 TDOA 監測定位三角形範圍內誤差可達 300m 內。最重要的是，此研究的 TDOA 監測定位站台的雛型架構，可克服 AOA–based 定位技術多路徑傳輸下定位效能不彰的瓶頸，完成都會區干擾辨識、分析(定位)與防制的之基本需求。再者，本研究 TDOA 站台雛型架構可協同通傳會(NCC)現行 AOA 監測定位系統以實現升級 AOA/TDOA 的整合應用情境。例如：當 TDOA 行動監測定位站巡行於台北都會區，運用建置於郊區與山區的 AOA/TDOA 監測定位站可解算干擾源的方位線，如此協同 TDOA 行動監測定位站所解算提供的時間差雙曲線，本研究 TDOA 監測站台的雛型架構可提供 AOA/TDOA 整合應用以提昇定位精確度與服務涵蓋面如圖 7-2 所示。此應用情境可在單一 AOA/TDOA 監測定位站與單一 TDOA 行動監測車運用下，完成發射干擾源位置的干擾辨識、定位與防制功能。

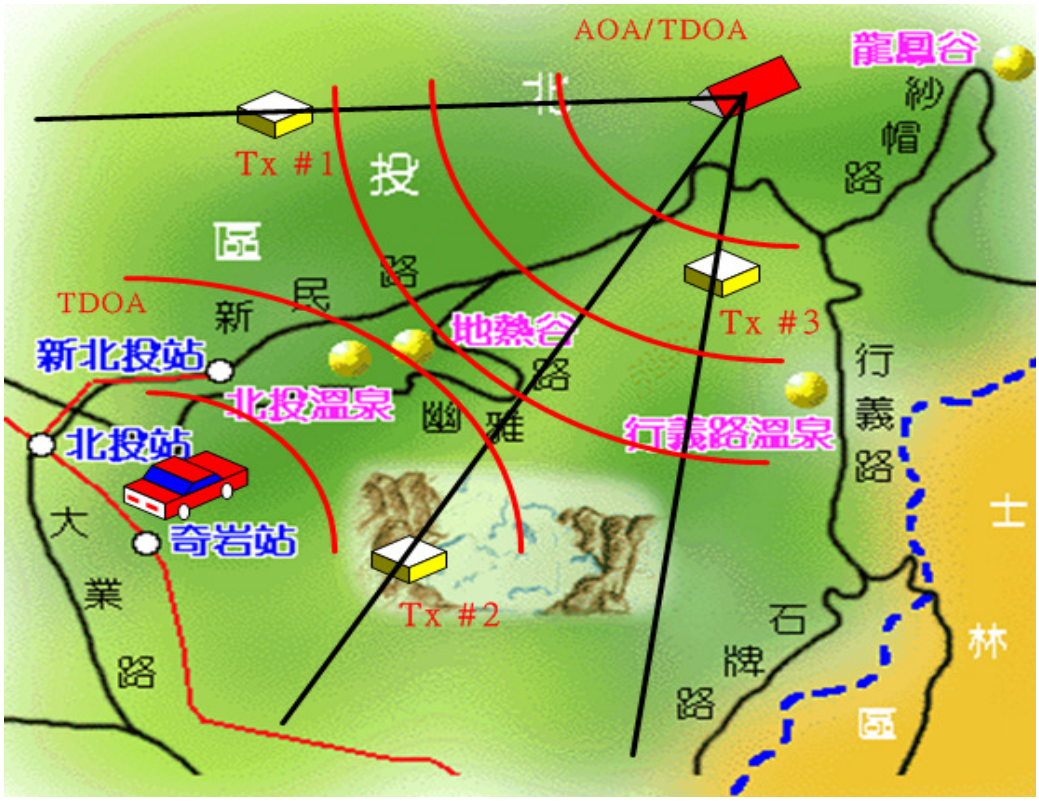


圖 7-2 台北市 AOA/TDOA 整合應用情境

在提高精確度與服務涵蓋面上，AOA/TDOA 整合應用情境如下圖 7-3 所示。本研究 TDOA 站台雛型架構主要採用「無線電軟體」的設計理念，因此接收機硬體性能的功能可維持相同於 AOA 監測定位系統的設備與規格，此雛型架構可降低 AOA 製造商、設備商與整合商的設備門檻，提高 TDOA 監測定位系統的研發與商轉意願。甚而，本研究的 TDOA 監測定位站台的雛型架構可不需增加巨大的經濟與時間的成本，克服目前傳統 AOA 電波監測定位技術所遇到之限制，並經由協同通傳會(NCC)現行 AOA 監測定位系統以解決低功率無線電設備、突發(Burst)與都會區與行動(Mobility)干擾的應用。

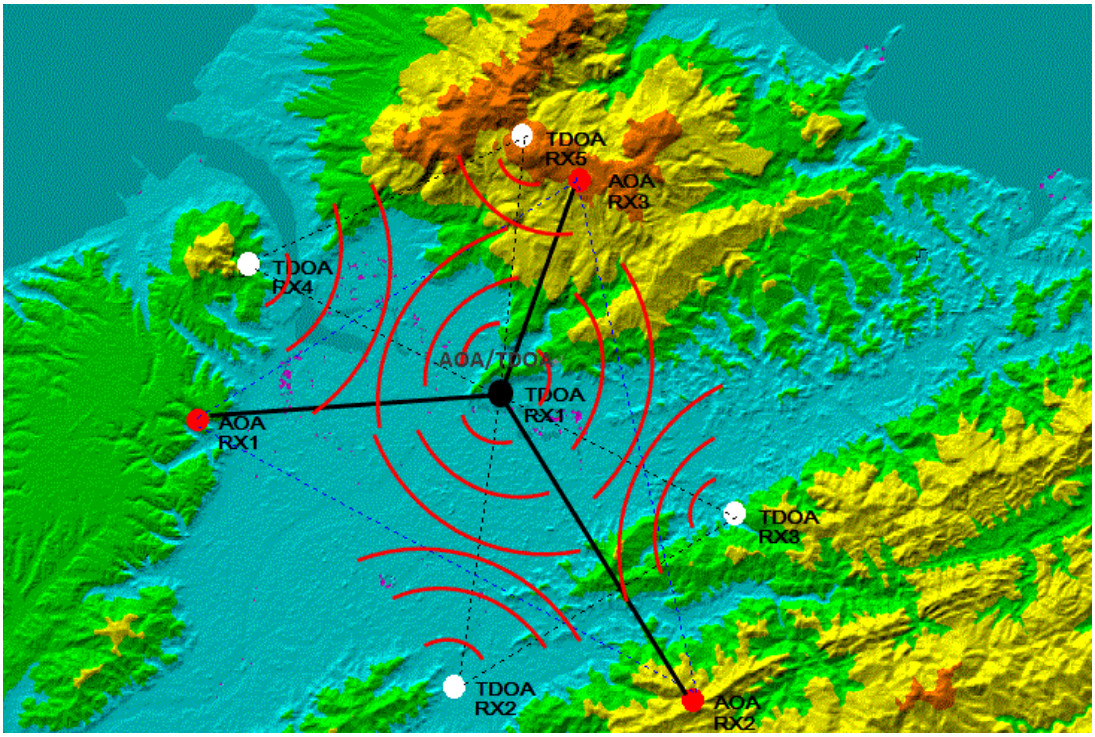


圖 7-3 AOA/TDOA 導入台北市都會區干擾防制應用(士林區域為中心)

基於 TDOA 監測定位系統在站台選址與天線架設的簡易性，甚而，其站台建置的成本約為 AOA-based 站台建置的 10%~20%。本研究 TDOA 監測定位系統雛型架構顯示出最佳效能的服務涵蓋面為 15km~20km 非常適合導入都會區的干擾防制。尤其因應未來低功率與突短信號的干擾辨識、定位與防制上。在使用相同於 AOA 監測定位接收機性能與成本下，透過簡易與多點佈放 TDOA 固定監測定位站的架構，並配合 TDOA 運載式監測定位站的機動與靈活性，可以透過遠端遙測 TDOA 固定監測定位站，暨靈活隨機佈放運載式監測定位站，全天候自動化收集並辨識干擾源的地理位置資訊，逐步進接干擾發射源以解決低功率與突短信號干擾辨識、定

位與防制。綜合上述，TDOA 監測定位站的實測驗證中，可驗證通傳會(NCC)導入 TDOA 監測定位站在干擾辨識、定位與防制的應用綜合整理下表 7-4 所示。

表 7-4 TDOA 監測定位站導入干擾辨識、分析(定位)與防制的應用

干擾類型	通傳會現行 AOA 監測定位系統之應用情境	TDOA 監測定位系統(應用情境)	AOA/TDOA 整合應用情境
飛航干擾	現行通傳會僅在機場內設置簡易遙測模組，進行飛航干擾信號的側聽卻無法進行干擾源定位。	1.在站台選址與天線架設簡易性的特性下，僅需 AOA 建置成本的 10%~20%預算經費，即可於機場內建置 TDOA 監測定位系統，以防範機場周遭的干擾。例如：第二章所說明的國外的干擾案例中，曾在機場附近出現 GPS 干擾而嚴重影響飛航安全。 2. 基於本研究實測雛型架構下，顯現天線結構簡易架設快速、接收機輕便易於移動的特性。TDOA 監測定位系統更適合延伸建置於各重要設施(高鐵、政府機構)，以進行全天候自動監測定位。	1. 運用建置於郊區與山區的 AOA/TDOA 監測定位站，協同 TDOA 行動監測車即可進行都會區干擾的辨識、分析(定位)與防制。 2.本研究 TDOA 站台雛型架構主要採用「無線電軟體」的設計實現。如此可進行最小成本與最少時間的改進與更新。更進一步，可整合通傳會現行 AOA 監測定位系統以提高定位精確度。
低功率射頻設備干擾	由於 AOA 監測定位站台為取得良好的地理與電波	1.TDOA 監測定位系統，可發揮靈活機動	3.本研究 TDOA 站台雛型架構實測結果顯

	環境，現行 AOA 監測站台多數建置於郊區與山區。為解決低功率射頻設備干擾源之辨識、分析與防制，必須投注巨大的經濟與時間的成本，以提高接收機性能(靈敏度等規格)。	的特性，採用尋跡定位(Homing)的方式逐步接近低功率射頻設備干擾源以達成辨識、分析(定位)與防制的目標。 2.運載式 TDOA 監測定位站台具有靈巧的機動性，非常適合建置於低功率設備與突發干擾發生的可疑地點以進行全天候自動監測定位。	示：在三角形正中央干擾發射源的定位精確度最高。但三角形量測範圍外的定位效能卻迅速劣化。因此，AOA/TDOA 監測定位系統的整合應用，更可擴大監測定位之服務涵蓋面。以補償現有電波偵測網的死角，達到優化電波監測網的目標。
突發干擾	由於 AOA 監測定位站台為取得良好的地理與電波環境，現行 AOA 監測站台多數建置於郊區與山區。對於干擾源地點不固定，暨干擾的時間很短且不是持續的信號的突發干擾，AOA 監測定位站台無法運用綿密的監測網提供突發干擾的辨識、分析(定位)與防制的有效方法。	1.透過簡易與多點佈放 TDOA 固定監測定位站台的架構，並配合 TDOA 運載式與行動監測站台的機動與靈活性，可以全天候自動化收集並辨識干擾源的地理位置資訊，逐步進接干擾發射源以解決低功率與突短信號干擾辨識、分析(定位)與防制。 2.無預警的擴頻與加大功率的干擾案件更迫切需要建置 TDOA 監測定位系統，以進行全天候自動監測定位。	
都會區干擾		1. 本研究 TDOA 站台雛型架構已完成定位精確度分析，結果顯示在三角形的服務	

		涵蓋範圍內誤差為300公尺。更進一步，本研究證實TDOA監測定位系統能克服 AOA－based定位技術多路徑傳輸下定位效能不彰的瓶頸，完成都會區干擾辨識、分析(定位)功能之基本需求。 2.本研究TDOA站台雛型架構下，利用時域分析，將不同監測站所接收信號進行相關比對(干擾信號的頻率、能量與時域變化資訊特徵)，據此可分析比較是否接收到為同一發射源所發射之訊號類型。如此TDOA監測定位系統可排除同頻干擾的定位誤差。 3.在都會區出現微小、寬頻訊號的干擾時，可運用 AOA 建置成本的 10%~20%預算經費，構成更為綿密的TDOA監測網(固定、運載式與行動監測車)，並搭配簡易定向設備(獵狐槍)以進行微小、寬頻信號干擾的辨識、分析(定位)與防制。	
衛星干擾	AOA 監測定位系統並未針對衛星干擾進行探討並	目前有效解決衛星干擾的方式為雙星定位技術。TDOA 監測定	

	提供確切的衛星干擾分析(定位)的方法。	位系統並未針對衛星干擾進行探討並提供確切的衛星干擾分析(定位)的方法。	
電子舞弊	電子舞弊屬於電波監測的特殊任務。主要運用 AOA 行動監測車進行可疑頻道的監測記錄與比對分析。	TDOA 監測定位系統並未特別針對電子舞弊進行探討並提供確切的電子防弊方法。但是相同於 AOA 行動監測車，TDOA 行動監測車仍然具備 ITU 的各項頻譜監測掃描的功能。此外，電子防弊的應用情境，可以透過客製化需求與供應商進行協議。	
3G~6G 新形態干擾 (單頻網之同頻干擾)	AOA 監測定位系統主要偵測干擾信號相對於天線陣列的迎向角。因同頻干擾信號。可能多重傳輸路徑的效應，產生同頻干擾的定位混淆誤差。	1. 本研究實測雛型架構中採用時域(Time domain)的相關演算法以解算時間差雙曲線。由於相關演算法善於辨識同一干擾信號的相似性與相關性。如此，可比對出各 TDOA 在示波器上的信號特徵 (時域變化資訊與時間資訊) 的差異，避免同頻干擾產生的定位混淆的誤差。 2. 本研究 TDOA 站台雛型架構下，經由選用不同地理位置的 TDOA 站台，不同監測站台偵測到的訊號會有強弱差別，據此縮小干擾發射源之可	

		能地理區域。達成區隔同頻干擾信號的地理位置特徵(距離遠近與方向角度)。	

三、AOA/TDOA 在特殊干擾之處理方法與應用

電波干擾大致可分為四種：同頻干擾(Harmful Interference)、諧波干擾(Harmonic Interference)、鄰頻道干擾(Adjacent Channel Interference, ACI)、互調變失真(Intermodulation Distortion at the Receiver, IMD)。而發生干擾的原因也可以分成無意干擾或故意干擾。一般而言壓性的同頻干擾案件以人為故意干擾的成份居大。

綜合第二章的國內外干擾案件而言、干擾源之辨識、分析(定位)與防制主要包括兩個層面分別為(A). 頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。(B).干擾源之辨識、定位系統之建置與運用，例如: AOA、TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統。

(一).特殊干擾處理方法分析

為防範特殊干擾之發生，首要於頻譜的核配應有完善的規劃。無論特殊干擾(飛航、低功率設備、突發干擾與都會區等)事件發生在已核配或未經核配的頻段，便需即時進行干擾信號源辨識、分析(定位)與防制之處理。其中在有效的干擾源定位作業上，主要以建置與應用 AOA、TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統為首要方法。其 AOA、TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統以解決特殊干擾之辨識、分析(定位)與尋覓干擾源的步驟，將於圖 7-5 說明。另一方面，在頻段核配之評估的步驟說明如圖 7-4 所示。

若干擾之頻段為未經核配之頻段，無論欲申請使用的頻段為衛星通訊、長途網路、國際網路、行動通信、微波電台設置等，都須符合國際電信聯合會(ITU) 建議或國情之需求，並參照通傳會(NCC)之相關法令規定與申請流程。此時，即可運用 AOA、TDOA 監測定位系統協助進行頻譜清查與騰讓之處理與分析，作為頻譜規劃與核配頻段知參據。TDOA 監測站台建置的成本約為 AOA 站台建置的 10%~20%。若能建置於都會區以進行全天候自動監測定位，將使頻段核配前的頻譜清查與防範核配後得括頻與加大功率作業更有效率與正確。

頻段核配前的技術性審查包括：(1). 頻率、頻寬、電功率等 ITU 參數之審核及干擾分析評估。頻段分配方面須考慮到保護頻寬(guard band)，並且評估相關干擾(時域、頻域、空域、極化域、通訊識別協定、碼域、功率域)，才能提前預防特殊干擾的發生。(2). 若有干擾的疑慮，也可能與各既設電台業者進行頻率協調作業。降低發射源功率或是調整頻段(移頻)可及早因應新核配的頻段是否產生干擾之可能性。

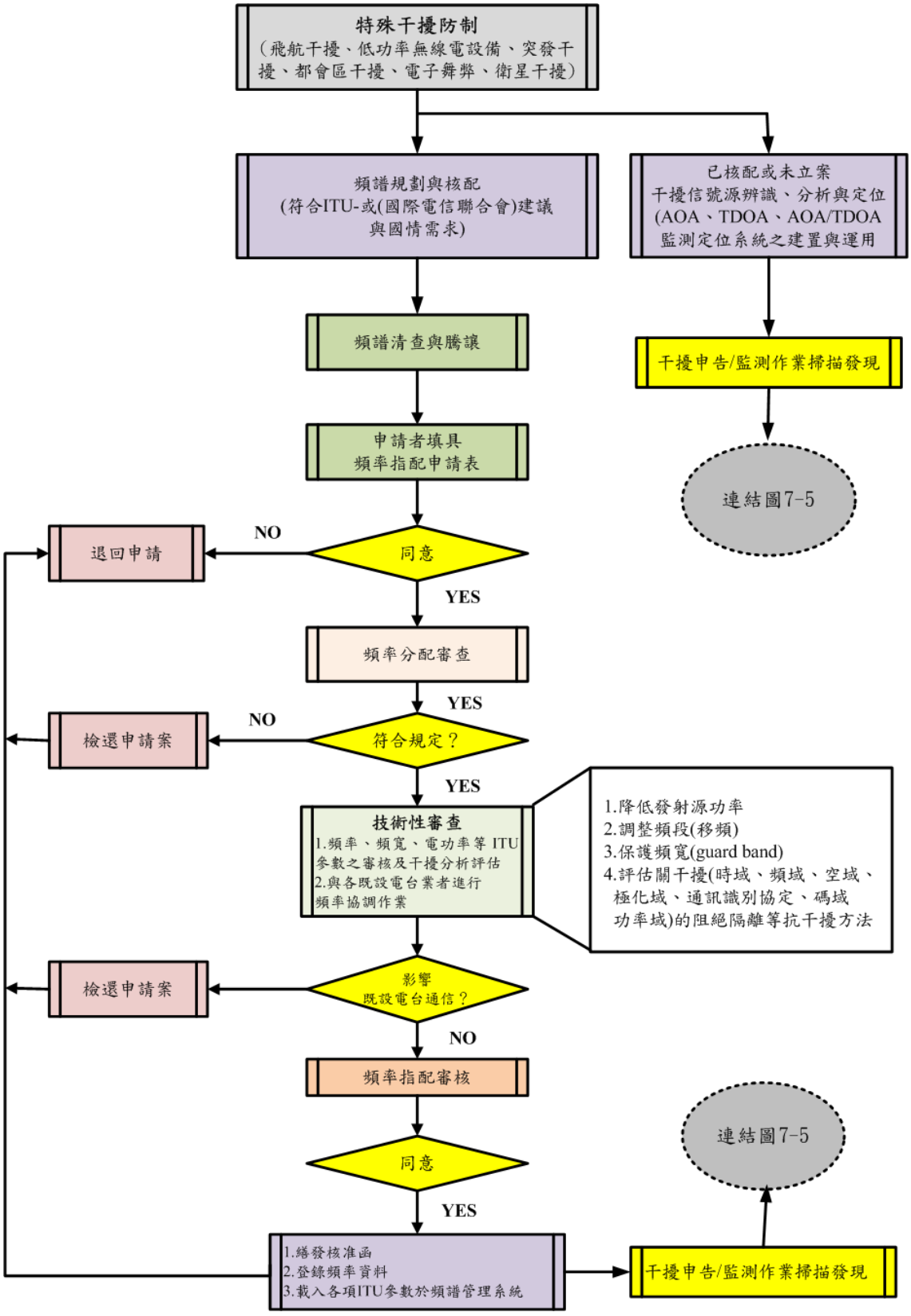
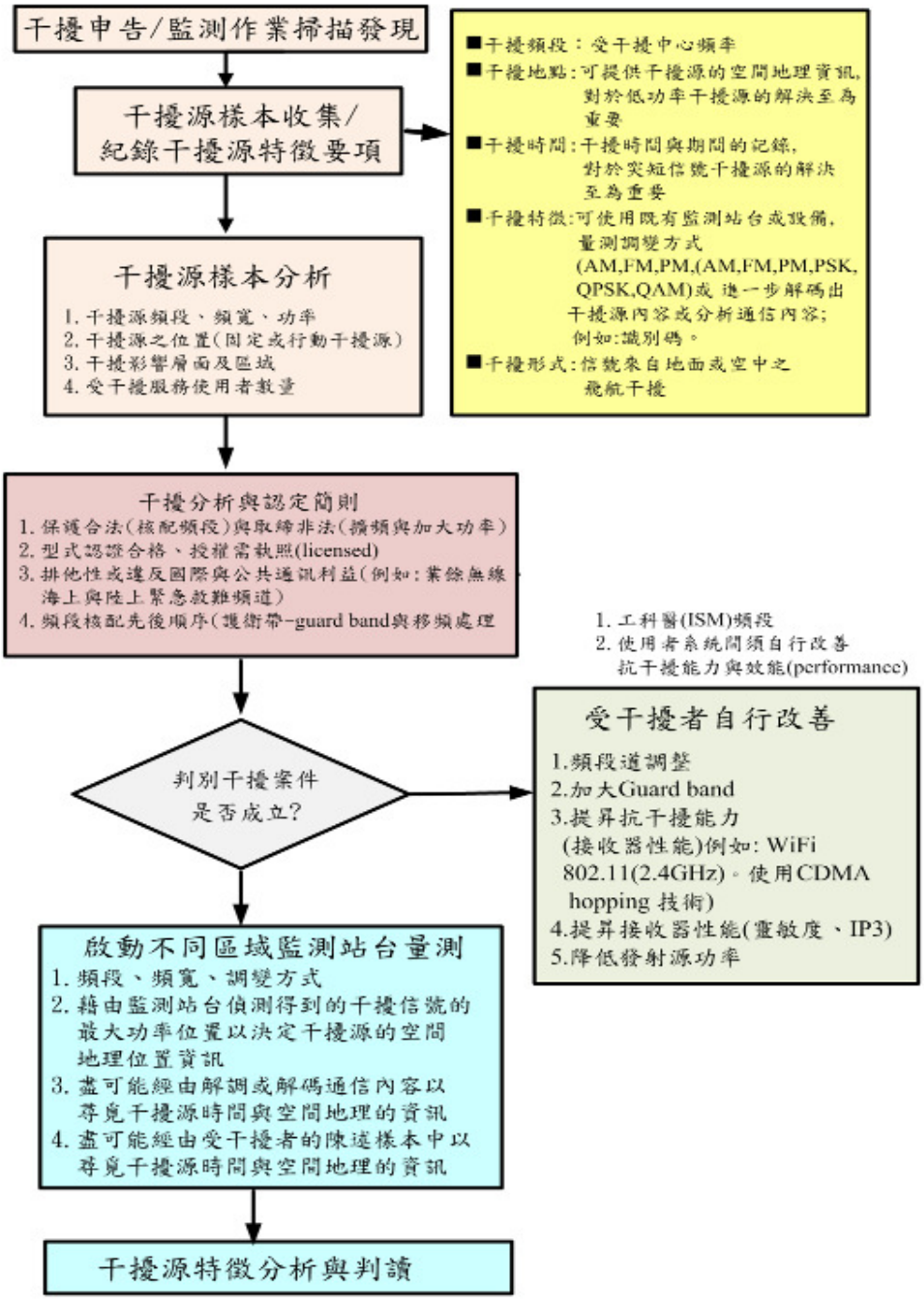


圖 7-4 特殊干擾防制流程架構-頻段核配之評估

針對各種的干擾申訴案件，主要紀錄的要項如下：

- 干擾頻段：受干擾與干擾發射源頻率。
- 干擾地點：進行測向定位，以提供干擾源的空間地理資訊。在本研究 TDOA 站台雛型架構下，經由選用不同地理位置的 TDOA 站台，不同監測站台偵測到的訊號會有強弱差別，據此縮小干擾發射源之可能地理位置。
- 干擾時間：若為突短波之信號干擾源，時間記錄更利於查找。在都會區出現微小的突短、寬頻訊號的複合型干擾時，可運用 10%~20% AOA 監測定位系統的建置成本，構成更為密佈的多個 TDOA 監測網(固定、運載式與行動監測車)，並搭配簡易定向設備(獵狐槍)以進行都會區的干擾處理。
- 干擾特徵：量測調變方式、解碼干擾源內容或分析通信內容。
- 干擾形式：初步判斷干擾源來自地面或空中。

本研究綜合國內外的干擾案例，研提特殊干擾的處理解決方法與流程如下圖 7-5 所示。



資料來源：本研究整理

圖 7-5 特殊干擾防制流程架構-AOA、TDOA 之干擾辨識與分析

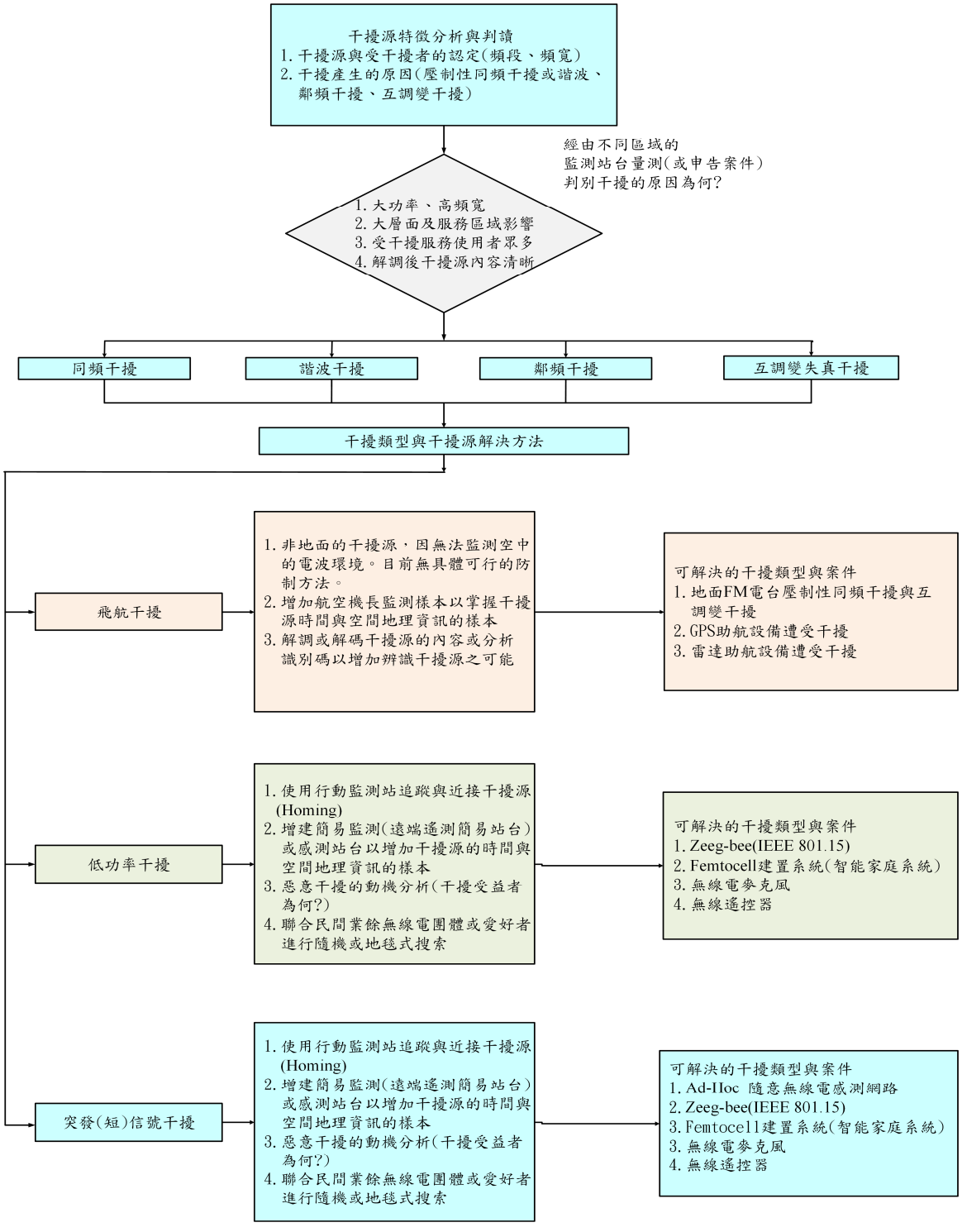
將干擾源樣本收集完之後就開始進行分析，數據上分析干擾源頻段、頻寬、功率等；依監測站的測向定位找到初步位置(固定或行動干擾源)；判斷干擾源會影響的層面及是否遍佈大區域範圍；受干擾服務使用者數量多寡等。在「保護合法、取締非法」的前提下，確定是否為干擾源必須依據頻率使用費繳納、國際通訊(例如:業餘無線、海上與陸上緊急救難頻道)等原則和電信相關法規，以研判是否成立干擾案件。

工醫科 (Industrial Scientific Medical, ISM)頻段屬於免執照使用，並沒有所謂使用者核可的限制。當出現干擾必須由使用者之間自行處理，可用的抗干擾與改善方法歸納如下：

- 調整頻段(移頻)
- 加大保護頻帶(Guard band)
- 增加抗干擾能力與效能。例如：展頻與跳頻、空間-時域自適應處理、空間-頻率自適應處理、極化方向處理與波束控制等抗干擾方法。
- 提昇接收器性能(靈敏度、IP3)
- 提高發射機、接收機率波器頻譜遮罩性能
- 降低發射源功率

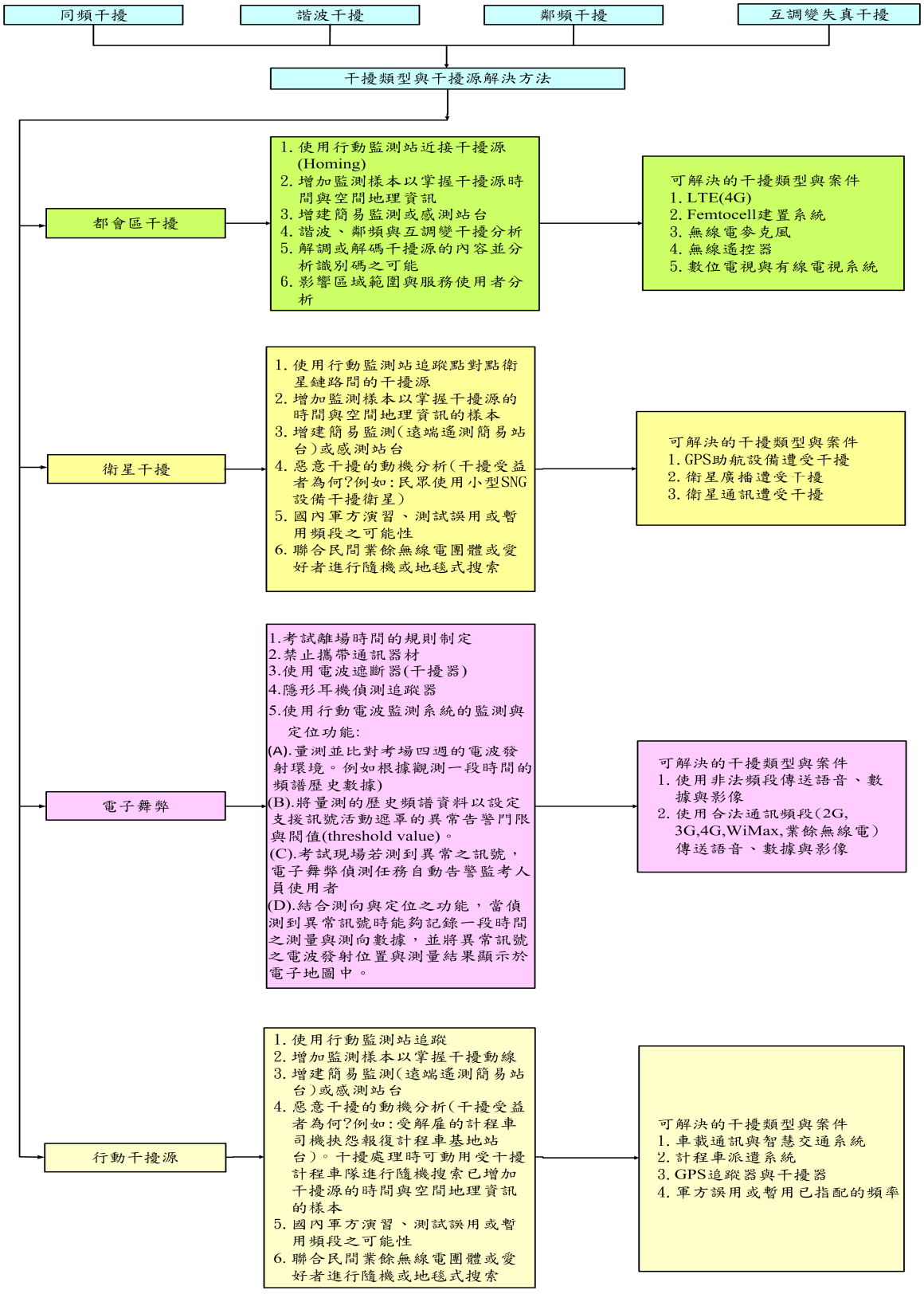
當干擾案件成立，找出干擾源的位置是最終目標。參酌本研究AOA/TDOA 實測雛型架構，首先使用遠端遙控並啟動不同區域的 AOA、TDOA 監測定位站台以尋覓與持續追蹤干擾源。因 TDOA 不同監測站台偵測到訊號會有強弱差別，依據同一干擾信號的相似性與相關性(頻率、能量強度)，可比對出各 TDOA 在示波器上的信號特徵 (時域變化資訊與時間資訊) 的差異，以縮小干擾源的空間地理位置資訊並避免同頻干擾產生的定位混淆的誤差。如此，更易於協同 AOA、TDOA 監測定位系統有效率地決定干擾源的空間地理位置區域。接著，由 AOA、TDOA 行動監測站追蹤信號源，並搭配簡易定向設備(獵狐槍)逐步近距離接近干擾源達到尋跡定位(Homing)之目標。監測分析過程中可以由解調或解碼通信內容或根據受干擾者的陳述樣本等方法，盡可能的分析干擾源的時間與空間地理資訊。並判讀以確認干擾源的特徵。包括：(1). 干擾源與受干擾者的頻段。(2). 干擾產生的原因與種類(同頻干擾與諧波、鄰頻干擾、互調變干擾)。(3)干擾頻寬與功率高低。(4). 干擾區域與服務層面的影響。(5).解調後辨識並分析干擾內容。(6). 辨識並分析特殊干擾類型(飛航干擾、低功率都會區干擾、突短信號干擾、低功率無線電設備、突發信號、都會區與行動干

擾或電子舞弊處理等類型)。最後，依照不同的干擾情況以進行干擾之辨識、分析(定位)與防制。其處理過程如圖 7-6 與圖 7-7 所示。



資料來源：本研究整理

圖 7-6 AOA、TDOA 之干擾防制-飛航、低功率與突發干擾處理



資料來源：本研究整理

圖 7-7 AOA、TDOA 之干擾防制-都會區、衛星與行動干擾處理

綜合上述，干擾源之辨識、分析(定位)與防制主要包括兩個層面分別為(A).頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。(B).干擾源之辨識、定位系統之建置與運用，例如: AOA、TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統。在特殊干擾的解決方法整理分述如下：

1. 飛航干擾

當陸空通信無線電遠端遙控(Remote Control air Ground Communication Network, RCAG)發生外來干擾，航管值班督導確定干擾情況後，必須下達更換備份頻率使用處理。各航管及航電單位應依行政程序陳報干擾處理情形與經過，以便陳報民航局核轉通傳會(NCC)協助改善處理。

在飛行器遭受高空干擾案例上，我國東部的高空飛航訓練之通訊儀器受到地面的不明同頻訊號干擾，因此飛行器無法傳回飛機的狀態信號與相關資料，嚴重影響地面的指揮中心之調度與監視任務，訓練任務因而停擺，嚴重影響我國飛航與空防安全，在案例上建議目前的監測系統因受地形地物限制，且監測站又太稀疏，造成監測定位的盲點與死角。更難以對高空上的電波干擾信號特徵與地理位置進行分析和聚焦干擾範圍，未來可採行的解決方案為: (1).將頻譜監測設備放在無人飛行載具（Unmanned Aeronautical vehicle, UAV）或飛行船中，以有效解決飛航干擾問題。(2).建置成本較低與機動性較高的監測定位系統(例如:可攜式監測定向、TDOA 運載式與行動監測定位設備)以建立更綿密的監測網。

2. 低功率干擾

在低功率干擾案例上以低功率頻段(ETC，我國 ETC 所發射之功率不屬於低功率設備)與 LTE 之間可能產生的干擾分析，在處理過程中主要提出分為三項(1).保護區間參考日本的 5MHz 保護頻寬(2).微調發射頻率或降低功率以增加 LTE-4G 的保護頻寬(3).仿效新加坡於高速公路建置移動收費門架以增加空間隔離度(dB)與空間隔離距離(m)。

為防範低功率干擾造成無法有效之辨識與偵測，更需要導入簡易與運載或 TDOA 單測定位系統，以更靈活機動的 TDOA 站台，近距離接近干擾源達到 Homing 之效果，並可隨機地建置 TDOA 監測定位站台以進行全天候的自動偵測。

3. 突發(短)信號干擾

突發信號特點就是發生時間短和不一定連續，所以如果是惡意干擾源，非常難偵測到確切的位置，因為不屬於哪一個頻段的電波，所以也無法制定相關規範。因此若是要定位突發信號干擾源的位置，為了更有效率的執行必須配合行動監測站，可以及時回傳訊息及擷取干擾信號，或是聯合民間業餘無線電團體或愛好者進行地毯式搜索。或導入簡易與運載或TDOA 單測定位系統,以更靈活機動的 TDOA 行動監測車並搭配簡易定向設備(獵狐槍)，逐步近距離接近干擾源達到尋跡定位(Homing)之效果。另可隨機性建置運載式 TDOA 監測定位站台以進行全天候的自動偵測。

4. 都會區干擾

相較於都市地區，郊區因地緣廣闊、通訊信號類型和無線電波發射台也較少，所以監測系統可以比較容易查找出定位的信號位置，都市地區主要因多重路徑(multi-path)的影響，信號源會經過一次次反射或折射扭曲的路徑，所以要解決問題可以直接增加在都會地區的簡易監測站台，如此也可以提升工作效率，快速而便捷的取得干擾信號的特徵，分析後測量定位捕獲干擾源。

本研究在實現 AOA/TDOA-based 定位系統的設計與實測驗證定位精確度下，結果顯示在 TDOA 監測定位三角形範圍內誤差可達 100m 內。此研究的TDOA 站台雛型架構可克服 AOA－based 定位技術多路徑傳輸下定位效能不彰的瓶頸，完成都會區干擾辨識、定位功能之基本需求。

5. 衛星干擾

干擾處理上主要採用雙星定位技術。主要原理為運用兩顆衛星接收正常信號與干擾信號，經過運算可得頻率偏差（Frequency Difference of Arrival, FDOA）與時間差到達（Time Difference of Arrival, TDOA）其代表之兩條線於電子地圖上交測點即為干擾源，其精確度約為交測點直徑 3 公里範圍，在業界算是很精確的技術。TDOA 監測定位系統並未針對衛星干擾進行探討並提供確切的衛星干擾的分析(定位)的方法。

6. 電子舞弊

電子舞弊屬於電波監測的特殊任務，其主要在於杜絕使用未核配或合法核配頻道傳送數據、文字或影像(傳送試題答案)。結合既有與未來的防弊措施整理如后：

1.考試離場時間的規則制定
2.禁止攜帶通訊器材
3.使用電波遮斷器(干擾器)
4.隱形耳機偵測追蹤器
5.使用行動電波監測系統的監測與定位功能:
(A).量測並比對考場四週的電波發射環境。例如根據觀測一段時間的頻譜歷史數據)。
(B).將量測的歷史頻譜資料以設定支援訊號活動頻譜遮罩的異常告警門限與閥值(threshold value)。
(C).考試現場若測到異常之訊號，電子舞弊偵測任務自動告警監考人員使用者。
(D).結合測向與定位之功能，當偵測到異常訊號時能夠記錄一段時間之測量與測向數據，並將異常訊號之電波發射位置與測量結果顯示於電子地圖中。

以上的監測與定位方法主要針對利用「非法核配頻段」的電子舞弊處理。在使用「合法核配頻段」的電子舞弊處理上，需進行信號的監測與定位，且需進行信號內容的解調與解碼。更進一步，依照不同的作弊情節採取不同的因應對策。

7. 行動通訊干擾源:

通傳會(NCC)為建立無間隙行動通訊網路環境，讓國人能享有高速、優質及多樣化的電信服務，規劃釋出 700MHz、900MHz 及 1800MHz 等計 3 組頻段，在不指定技術提供行動寬頻服務。未來行動寬頻開放後可能之干擾狀況分析如下：

- 鄰頻干擾：不同電信業者或不同設備在鄰近頻率相互干擾情形，基地台與手機設備應通過認證，確認射頻頻譜遮罩應符合相關技術規範。
- 射頻設備干擾：各國在 700MHz 頻譜因電信與廣播電視頻段相互交錯下較易產生干擾問題。例如 Ofcom 規範 LTE n±9 頻道發射限制上，我國屬清空型頻譜。因此電信與廣播電視頻段應無相互

交錯之情形。但我國屬 ITU 頻譜第三區域，在 900MHz 未設置科工醫頻段，個人或業者將國外射頻器材攜入，將可能影響 900MHz 頻譜的行動寬頻服務。

- 特殊干擾設備：當 RFID 讀取器距離與行動裝置極為靠近時，將可能造成干擾影響。例如：高速公路 ETC 電子收費系統。另外部分監獄、教堂或學校使用的行動電話射頻干擾設備，也是造成干擾行動寬頻服務的因素。

上述說明各種電波特殊干擾案件的處理方法並無完整且不變的處理法則。最主要的因應之道在於掌握並分析電波干擾源的種種特徵。

可移動的通訊系統已經非常普遍，而可移動的干擾源也因應而生。行動干擾源的類型比較廣泛，比較貼近日常生活層面。但是不管是產品間無意的干擾或是人為的惡意干擾，此類型比較無法防範且沒有明確的法律規範，只能針對每個干擾事件進行分析，運用相對應的解決方法來排除問題。

綜合上述分析，未來行動寬頻網路與發射設備所衍生的電波干擾案件必然會呈現低功率、突發(短)、都會區的複合型電波干擾，暨行動網路訊號將使無線電頻譜更加複雜，必然使電波監測定位與干擾消除帶來更大的衝擊與挑戰，其因應之道與解決方法歸納為：

- 使用 TDOA、AOA/TDOA 固定站或行動監測站追蹤與近接干擾源(Homing)。此可經由僅為現行 AOA 監測定位系統 10%~20%的建置成本，解得更接近干擾源之地理位置資訊以克服同頻干擾之問題。
- 增建簡易監測(遠端遙測簡易站台)或感測站台以增加干擾源的時間與空間地理資訊的樣本。
- 同頻干擾、諧波、鄰頻與互調變干擾分析。
- 解調或解碼干擾源的內容並分析識別碼之可能。
- 惡意干擾的動機分析(干擾受益者為何?例如:受解雇的計程車司機挾怨報復計程車基地站台。或民眾使用小型 SNG 設備干擾衛星)。
- 干擾處理時可動用受干擾計程車隊進行隨機搜索以增加干擾源的時間與空間地理資訊的樣本。

第二節 電波監測技術發展趨勢與設備供應現況分析

為了擬定 TDOA 監測定位之設備規格，本節主要進行探討國際電波監測技術發展趨勢之比較與 TDOA 監測定位系統設備供應現況之分析。

一、 比較國際電波監測技術發展趨勢

TDOA 定位技術還沒有被廣泛使用在頻譜監測，但由於價格低廉、設備緊湊與計算能力強大等優點，加上電信服務普及能隨時提供數據網路，因此，TDOA 的定向偵測越來越被頻譜監測所接受。國際各大廠商：TCI model 920 的設備已同時提供 AOA 與 TDOA 定位技術功能，本次實驗顯示 NI 設備也有具有 AOA 與 TDOA 定位技術功能，R＆S 則在 DDF225 的設備宣稱，具有 GPS 時間同步資訊，可供 TDOA 技術使用。

電波監測定位技術，未來除 AOA、TDOA 定位技術以外，干擾處理案例其他偵測技術，主要趨勢包括：(1).「信號位置擷取與蒐集系統」(Signal Location, Intercept and Collection System, SLIC)。主要功能將即時定位結果進行儲存，以利日後追蹤與資料搜尋。傳統電波監測定位技術因儲存設備容量的侷限，導致無法將即時定位結果儲存記錄，以進行後續的測向信號分析與解調、解碼。(2). AOA 與 TDOA 混合定位技術。利用 AOA 與 TDOA 資訊互補方式，結合相互優點進行電波監測定位，但目前蒐集各國電信監理機構等相關資料，尚未將兩種先進技術實際納入電波監測管理，故本研究著重於分析並探討 TDOA 技術的發展與實現。

二、 TDOA 監測定位系統設備供應現況

為了擬定 TDOA 監測定位之設備規格，首要工作為瞭解並分析 TDOA 監測定位系統設備供應商、製造商與整合商，對於提供「自動化監測定位系統」各項需求與特殊干擾處理技術與方法的能力。參酌 TDOA 實測雛型架構下，本研究針對 TDOA 監測定位系統供應現況進行市場評估調查，暨國內外系統製造商、設備商與系統整合商之研發能力與線上商轉情況進行探討。更進一步，分析自動化定位、軟硬體設備與服務等構面並評估各項能力指標如表 7-5 所示。

表 7-5 TDOA 監測系統供應現況能力與能力評估指標

執行能力分析	NI	TCI	安捷倫	RS	能力指標
曾制定與建議國際系統需求與規範的經驗(例如:ITU-R)	1993 年 NI 公司提出 HS488 HS488 是作為 IEEE488.1—1987 標準的附件提議。	曾參與制定和建議 ITU-R 1995 年的電波監測手冊。		R&S 公司參加了許多組織和標準化機構，諸如：ITU，ETSI，3GPP，CISPR 或 IEC。	除安捷倫之外，其餘左揭之廠商均曾參與制定和建議 ITU-R 1995 年的電波監測手冊。
建置定位系統的商用實績	曾在中國大陸建置 AOA 定位系統，TDOA 正在實驗階段中，本次實驗在台灣首度實現 TDOA 定位。	曾在台灣、委內瑞拉、哥倫比亞、美國建置 AOA 定位系統，TDOA 正在實驗階段中。	曾在英國建置 TDOA 定位系統(適用於 3G 的 CDMA 調變方式)。	曾在德國、法國建置 AOA 定位系統，TDOA 正在實驗階段中。	1. NI、TCI、RS 建置過 AOA 系統 2. 安捷倫曾在英國建置 TDOA 系統 3. NI 實驗階段在第一次台灣實現
曾經供應的定位技術(AOA, TOA, TDOA, AOA/TDOA	TDOA	AOA/TDOA	RSS/TDOA	AOA	NI、TCI、RS 均有商轉的 AOA-based 電波監測與定位系統。 安捷倫目

執行能力分析	NI	TCI	安捷倫	RS	能力指標
					前提供TDOA-based的電波定位系統(運作於CDMA與FM無線通訊調變技術)。
TDOA-based系統研發現狀與線上商轉情況	TDOA正在實驗階段中，本次實驗在台灣首度實現TDOA定位。	研發階段	在英國建置TDOA定位系統並完成線上商轉(適用於3G的CDMA調變方式)。	研發階段	NI、TCI、RS均同意在建置TDOA-based系統下，進行客製化研發的專案。 安捷倫目前提供TDOA-based的電波定位系統(運作於CDMA與FM無線通訊調變技術)。
站台設置的地點之條件(地理與電波環境)	TDOA在市區的佈局會更緊密，所以價格較便宜，相對AOA而言反	在地面、海上或在空中，TCI產品協同工作，以幫助人員檢測、定位、收集和分析信號的	坐落在適合的區域內進行監控，其站點所在具有適當覆蓋範圍，防止具有阻隔障礙	研發階段	相較於AOA-based電波監測定位系統，左揭廠商均可提供較為寬鬆(Relax requirement)與簡易

執行能力分析		NI	TCI	安捷倫	RS	能力指標
		而對小功率訊號比較好偵測	速度和精度，指揮在電磁環境中	物		(Simple configuration)的地理條件。
可量測定位的發射電台信號類型		本研究完成FM都會區實測與定位誤差分析	研發階段	完成線上商轉(適用於3G的CDMA調變方式)。	當使用R & S® GX435，R & S® DDF255 -DS選項，會為每個短的時間被檢測到的信號提供結果。	NI、TCI、RS均同意在建置TDOA-based系統下，進行客製化研發的專案。 安捷倫目前提供TDOA-based的電波定位系統(運作於CDMA與FM無線通訊調變技術)。
VHF/UHF 測向定位(20MHz~3GHz)		20M to 3600 MHz	80M to 6GHz	20MHz to 6GHz	20 MHz to 3.6 GHz	滿足VFH/UHF頻段的定位需求。
天線性能	天線頻段範圍	20M-3000 MHz (band 1) 3000-6000 MHz (band 2)	9KHz-8GHz	20M-2000 MHz (band 1) 2000-6000 MHz (band 2)	20MHz~ 3GHz	滿足VFH/UHF頻段的定位需求。
	天線類型、尺寸	系統接收端天線	VHF/UHF/SHF監視器和DF天	N6841A - 添加GPS功能，包	R&S ADD119：直徑約1公	左揭廠商均可提供較為寬鬆

執行能力分析		NI	TCI	安捷倫	RS	能力指標
		尺寸：220 x 110 x 350 mm 重量：<1.5 kg	線等 641、643、645、647TCI 模型	括有線和有源天線 外殼尺寸：鋁合金外殼，長度:29.2 厘米(11.5)，寬度:24.6 厘米(9.7)，高度：5.4 厘米（2.1 英寸），重量 3.5 公斤（7.7 磅）	尺 R&S ADD197/ R&S ADD196+ ADD071 ：可放置車輛以建置行動監測車或固定監測定位站台。	(Relax requirement)與簡易(Simple configuration)的天線尺寸。
建置條件		本研究完成 TDOA 監測定位雛型(詳見第五章與第六章)	TCI 天線	接收機工作在-15°C 至 55°C 的範圍內。其佔地面積小。	DF 天線為了在 VHF / UHF/ SHF 的範圍內，通常盡可能位於高處，以達到覆蓋面廣。	左揭廠商均可提供較為寬鬆(Relax requirement)與簡易(Simple configuration)的站台建置條件。
接收機性能	定位頻段範圍	20M to 3600 MHz	80M to 6GHz	20MHz to 6GHz	20 MHz to 3.6 GHz	左揭廠商均能提供客製化的接收機性能。 TCI 可提供至軍規戰情的規格

執行能力分析		NI	TCI	安捷倫	RS	能力指標
						需求。
	中頻頻寬	1 kHz - 50MHz	20MHz	20MHz	20MHz	
	Tuning resolution (Hz)			0.01 Hz		左揭廠商均能滿足寬頻網路的監測定位能力。
	Noise Figure	平均雜音底： <-165 dBm/Hz 相位雜訊: -129 dBc/Hz (800 MHz 時, 10kHz 偏移)	雜音係數： 15 dB LO 相位雜音： -110 dBc / Hz (100 kHz 偏移)	雜音係數： 整個完整的調諧器範圍 15 至 25 分貝最大 相位雜音： -82 dBc / Hz (1 GHz 的 10 kHz 偏移)		NI、TCI、RS 均同意在建置 TDOA-based 系統下，進行客製化研發的專案。 安捷倫目前提供 TDOA-based 的電波定位系統(運作於 CDMA 與 FM 無線通訊調變技術)。
	Dynamic Range		70 dB			NI、TCI、RS 均同意在建置 TDOA-based 系統下，進行客製化研發的專案。 TCI 目前提

執行能力分析		NI	TCI	安捷倫	RS	能力指標
						供高達70dB的動態範圍。
	Modu-lation Classifi-cation (FM, FSK, QAM …)	GPS Timestamp, Raw IQ Data, Spectrum & mask Violations，FM、GPS、DVB、ATSC				依據解調與解碼需要，進行監測作業。 TDOA-based系統一般僅提供定位功能。
	GPS精確度	時脈同步精確性： ±15 nsec		同步時間： < 20 nsec		左揭廠商滿足GPS的精確度。
	定位精確度		定時精確度： >150 ns RMS, GPS disciplined OCXO (>15 ns RMS Cesium option available)	時間戳精度：<100ns的時間參考	DF精確度： 1 MHz to 30 MHz： 2° RMS 30 MHz to 80 MHz：≦2° RMS, (typ. 1° RMS) 80 MHz to 1.3 GHz： 1° RMS 1.3 GHz to 6 GHz：≦	TDOA-based定位精確度與監測站台所處的涵蓋服務區有極大的關係。換言之，TDOA-based定位精確度是監測站台位置關係的函數。 除安捷倫

執行能力分析		NI	TCI	安捷倫	RS	能力指標
					2° RMS, (typ. 1° RMS)	目前TDOA-based商轉系統之外均可客製化建置。
	電力供耗條件	週邊插槽需至少25 W功率	13 VDC（包括TCI提供無線鏈路），耗電量16W	15 - 24 VDC電源（可選120/240 VAC室內適配器），耗電量典型25瓦，最大30瓦		左揭廠商均能滿足目前所有AOA-based監測站台的電力條件。
	機械特性（避雷保護措施、體積)	PXI為堅固的電腦架構平台，適用於量測與自動化系統。PXI整合PCI電子匯流排功能，搭配Compact PCI的模組化Eurocard封裝，可新增特定的同	在地面，海上或在空中，TCI產品協同工作幫助人員檢測，定位，收集和分析跡象。專為惡劣環境作戰條件下，TCI軍方事解決了案集成功能的強大到緊密系統。	安捷倫的N6841A射頻傳感器具有防水，防塵IP67級（標準IEC 60529國際保護67）的外殼加上較寬的工作溫度範圍能夠承受惡劣的環境，而無需任何昂貴的額外的防護罩。	所有已安裝的DF天線都有內置防止遭雷擊功能，有效的防雷安裝高度為20米	左揭廠商均能滿足目前所有AOA-based監測站台機械特性的條件。

執行能力分析		NI	TCI	安捷倫	RS	能力指標
		步化匯流排與主要軟體功能。PXI為高效能、低價位的佈署平台。				
可用的網路類型與網路頻寬需求		>2MB/S(固定站) >100KB上傳頻寬		>2MB/S(固定站) >100KB上傳頻寬	>2MB/S(固定站) >100KB上傳頻寬	需滿足寬頻的需求。在TDOA-based行動站台上可使用3G連結。
定位資料庫軟體		RF記錄與播放系統：來回串流硬碟的RF資料	Guardian Lookback Recorder：固態和旋轉的硬盤驅動器獨特的組合，允許讀取和全速率寫入。	N6820E Signal Survey Software	R&S®GX435有自動探測和分類能力	左揭廠商均能提供定位所需的資料庫軟體
數位電子地圖		可匯入化客製比例的電子地圖	多種地圖供應-動態使用加載共同的協議	輸出測量使用Google Earth ©"N6854A KML"軟體工具。	可匯入客製化比例的電子地圖	左揭廠商均能提供定位所需的電子地圖。

執行能力分析		NI	TCI	安捷倫	RS	能力指標
TDOA-based 自動系統使用者介面與自動化軟體整合服務		研發階段	研發階段	研發階段	研發階段	除安捷倫之外，左揭廠商均能提供客製化的 TDOA-based 使用者介面和整合服務。
售後服務與維運條件		為了符合專案壽命週期的需要，NI 接受客戶展延標準產品保固期限。NI 維修計畫將收取較低的硬體維護成本，且避免未來意外的裝置相容費用。此外，NI 亦了解使用者的需求	從天線和信號處理器、系統軟件。TCI 的技術支持能力，為世界各地的客戶。其豐富的經驗，在設計，製造和安裝，保證快速解決您的垂詢。	1. 到府維修與校驗解決方案 2. 維修中心與維修校驗合約 3. 單次維修與校驗服務	使用先進的診斷系統，檢查各單位最後細節和發現不符合的早期階段。此外，執行所有必要的修改和更新。只有我們的設備製造商可以提供這些極其重要的服務和可靠地執行	除安捷倫之外，左揭廠商均具有 AOA-based 電波監測系統的售後服務與維運條件的實績與歷程。

執行能力分析		NI	TCI	安捷倫	RS	能力指標
		可能所有變化，因此維修計畫不但可彈性展延，亦可逐次更新或進行移轉。				

綜合上述，對於「特殊干擾處理技術與方法之評估研究」設備規格訂定方面，本研究已參酌「ITU-R 頻譜監測手冊」與網路資料收集。再者，在民國 101 年 9 月 14 日也邀約相關三大知名廠商進行專題演講與交流互動，並瞭解 TDOA-based 定位系統監測設備供應商，對於提供「特殊干擾處理技術與方法」各項需求與特殊干擾處理技術與方法的能力。更進一步，在 TDOA 實測雛型的建置與定位精確度分析的基礎下，完成 TDOA 自動化定位、軟硬體設備與服務等構面中並各項能力指標的評估。

第三節 TDOA 系統架構及規格建議

本研究已經由實測模擬驗證並進行 AOA/TDOA-based 互補整合的評估分析。TDOA 定位技術還沒有被廣泛使用在頻譜監測，但由於價格低廉、設備緊湊與計算能力強大等優點，加上電信服務普及能隨時提供數據網路，因此，TDOA 的定向偵測越來越被頻譜監測所接受。國際各大廠商：TCI model 920 的設備已同時提供 AOA 與 TDOA 定位技術功能，本次實測雛型顯示 NI 設備也有具有 AOA 與 TDOA 定位技術功能，R&S 則在 DDF225 的設備宣稱，具有 GPS 時間同步資訊，可供 TDOA 技術使用。

未來建議 TDOA 定位系統規格整理如下：

- 天線：具有高靈敏度及寬頻接收(20MHz 至 6GHz)效果。
- 接收機：寬頻即時解析頻寬(20MHz)，寬頻掃瞄頻率(20MHz 至 6GHz)、極寬的信號接收動態範圍[-150 dBm~30 dBm(180dB)]。
- 軟體：測向結果顯示，在地圖熱點標示。

TDOA 需要可靠的網路和網路性能，本次實測僅有數次可直接即時進行 TDOA 定位。若有穩定的網路連線頻寬，將可提高系統的可靠度，未來可思考兩種方式，一是建立穩定的固定網路，或者利用 3G 網路，由軟體規劃建立同步錄製功能，再將數據回傳至中央控制中心以進行 TDOA 離線定位功能。本實測證明 TDOA 監測定位的具體可行方案，並完成驗證干擾源的幾何位置會影響 TDOA 定位精確度。

TDOA 架構規劃設計的主要原則為:

- 模組化設計：無論接收機、控制器與 GPS 同步器，都有現成模組組合，易於快速建立實驗佈置而獲得測試數據。
- 開放性軟體架構:TDOA 監測系定位系統需針對各種訊號類型與各項功能需求，進行系統的設計。採用開放性軟體架構易於快速建立針對所需要的待測訊號。
- 設備的一體性：對於部分的實驗監測站台，對電源、網路等相關資源不足下，單一設備及低電源消耗對實驗監測站台佈置有絕佳的幫助。

一、 TDOA 定位系統與組織架構可行性分析

(一).TDOA 系統架構

TDOA 定位系統的可行性架構圖如 7-8 所示

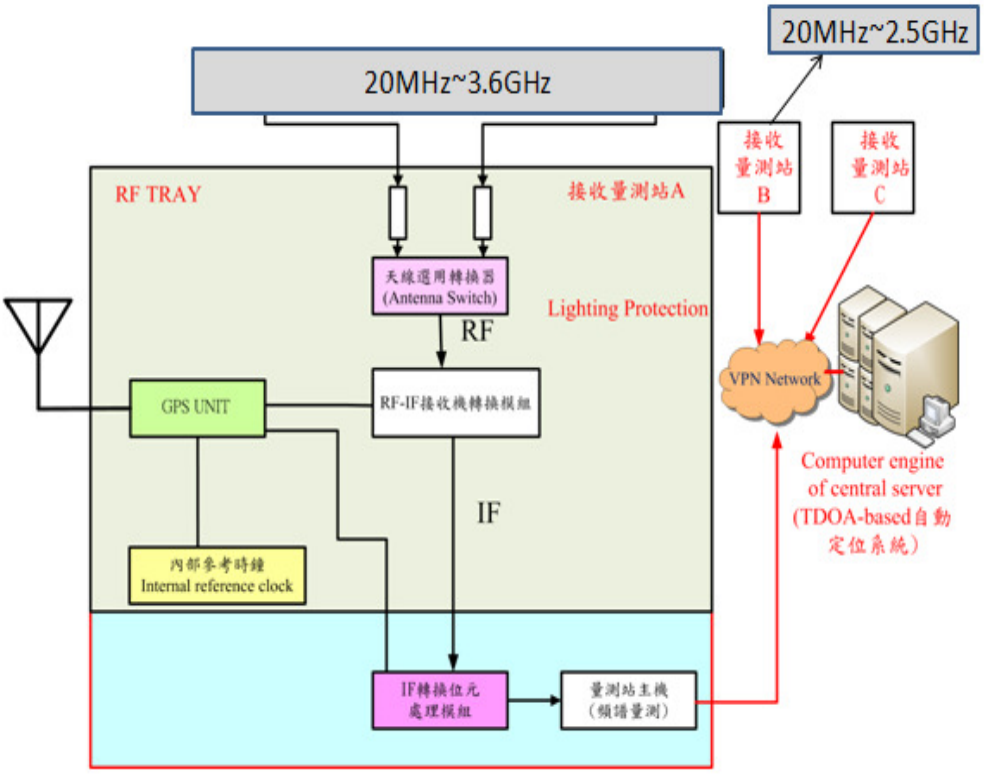


圖 7-8 TDOA 定位系統的可行性架構圖

如上圖所述其重要模組功能如下所述：

- RF-IF 接收機轉換模組

本模組的主要功能，是將射頻信號轉換為中頻信號，以作為後端處理單元(IF 轉換位元處理模組)之前處理。

- IF 轉換位元處理模組

本模組主要功能，是將中頻信號轉換為位元信號，以作為中央伺服器之資料分析及處理之用。

- 接收量測模組

可以透過使用者介面進行頻譜量測。

- GPS

本模組主要處理接收器之數據傳輸的時間同步之用。

- 中央伺服器

藉由自相關聯性(auto correlation)的方式，得知發射電台所發出之信號到達接收機時所花費的時間(t_A、t_B、t_C)；再藉由三個 TDOA-based 接收機模組所測得的三個時間差(t_{AB}、t_{AC}、t_{BC})，中央伺服器的運算模組(Computer engine of Central Server)就能夠應用預設的定位解算法計算出發射電台的正確位置。可行性架構評估中包含 TDOA-based 自動定位系統的組織架構、網路架構、軟體架構。可發揮 AOA、TDOA-based 的協同互補應用，改善與補償 AOA-based 干涉術(interferometry)自動監測定向系統的盲點與死角，以提升我國處理相關干擾案件之能力。

(二).TDOA 組織架構

TDOA 的定位系統未來的組織架構可以仿效 NCC 既有的 AOA 監測定位系統分別於北、中、南三區處各設立區域管理中心以協同運作的方式進行 AOA/TDOA 的整合應用如 7-9 所示。更進一步，建構更多元的電波監測定位技術，以補償現有電波偵測網的死角，達到優化電波監測網的目標。

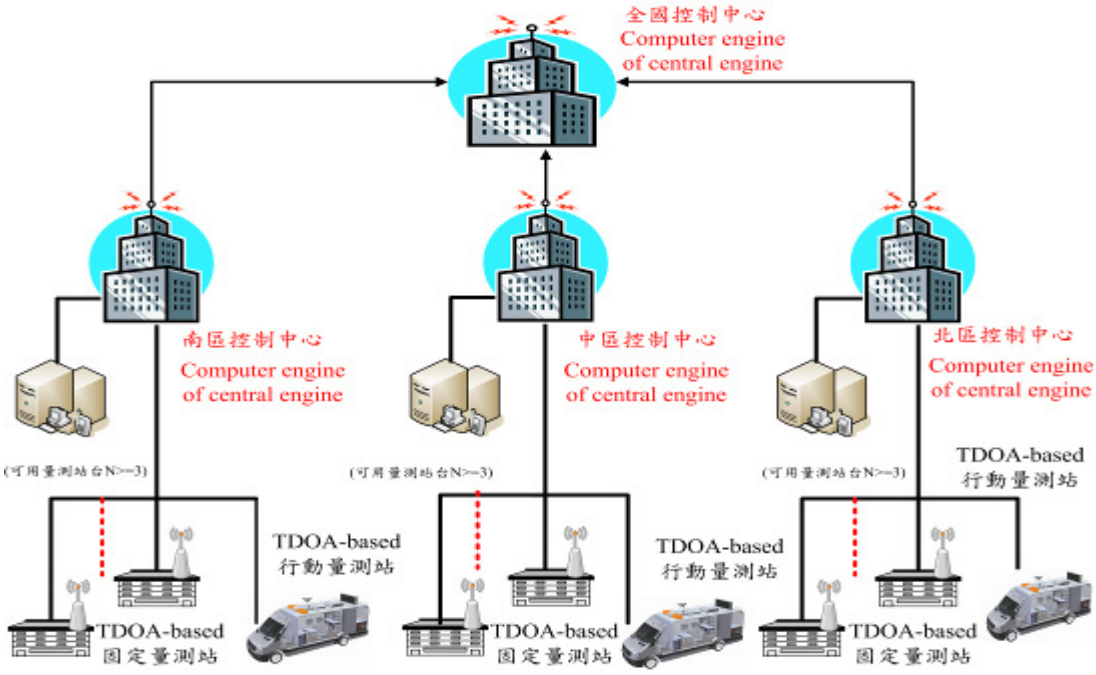


圖 7-9 TDOA-based 定位系統組織架構可行性評估

TDOA 應結合現行 AOA 監測定位系統，在全國監測中心(National Monitoring Center, NMC)分散式管理下，依據行政管轄範圍可規劃為北、中 南三區管理中心。並由區域監測中心(Regional Monitoring Center, RMC)運用遠端遙控之方式選擇進接干擾發射源之監測定位站台，以執行特殊干擾的辨識、分析(定位)與防制之任務。如此，將最為接近干擾源位置之三個站台(或三個站台以上)所偵測與側錄到的三組信號(或三組以上)回傳至 TDOA 管理中心站台(Centeral Control Station)。接著，將偵測與側錄的信號數據在 TDOA 管理中心站台回放，最後，運用時間差相關性演算以解算出之時間差，並結合電子地圖將干擾源的經緯度顯示於電腦螢幕上。

(三).TDOA 網路架構

其 TDOA-based 自動定位系統的網路架構應採用可靠性的異質整合網路。其網路頻寬須滿足高速、寬頻的需求(uplink 固定站>1MB, 行動站 uplink>200 KB)。介接於公眾網路時，VPN 網路連結的選擇，以增加系統私密性，如下圖 7-10 所示。

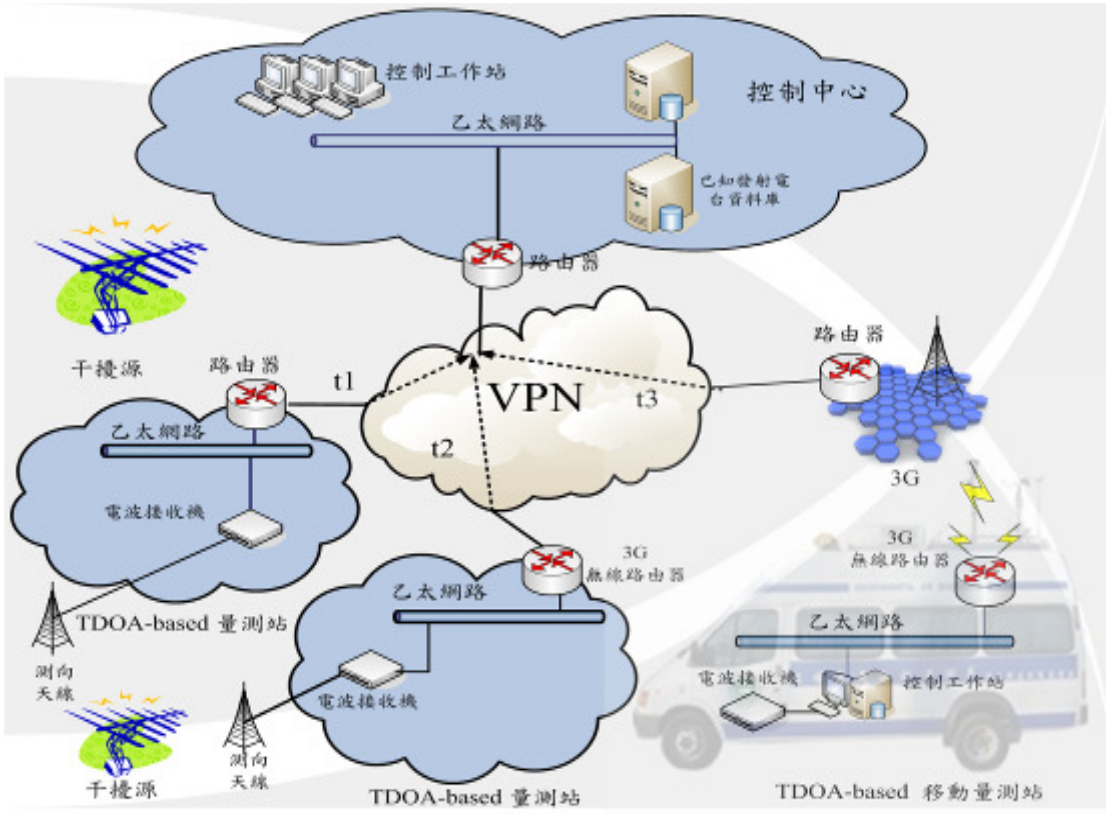


圖 7-10 TDOA-based 定位系統網路架構可行性評估

二、 TDOA 定位系統軟體與接收機架構可行性分析

(一). TDOA, AOA/TDOA 軟體架構

TDOA, AOA/TDOA 定位系統在電波監測與定向能力上，需針對各種訊號類型與各項所要達到功能需求，進行系統的規劃設計。參酌本研究實測軟體架構雛型，為了易於快速建立針對所需要的待測訊號，採取開放性軟體架構如下圖 7-11 所示。其中重要規劃設計為：

■ TDOA 底層軟體架構：

主要功能為連接接收機控制資訊，搭配天線參數與纜線損失，經校正程序可以獲得量測場強值。TDOA 模式通常需要視各種接收訊號的訊號源，其頻率、頻寬、調變模式，進行取樣的最佳化。以 FM 接收訊號為例，接收機設定 20MHz 即時接收頻寬，利用軟體設定濾波器取 400KHz，取 1 毫秒時域變化資訊，對應 GPS 接收器獲得的時間與 GPS 座標資訊以獲得到該站點所接到訊號的時間資訊。

■ TDOA 上層軟體架構：

將每個監測站點搜集到的訊號與時間數據，利用接收波型進行比對分析，再進行時間差相關演算。時間差相關演算由低層時域變化資訊與 GPS 接收器獲得的時間資訊，進行兩個監測站之間的訊號相關比對。不同監測站台搜集到的訊號會有強弱差別，若當相關度相似度設定太高，可能造成無法進行比對，相似度設定太低則可能造成誤判。此時，通常需要視各種接收訊號的訊號源進行最佳化設定。

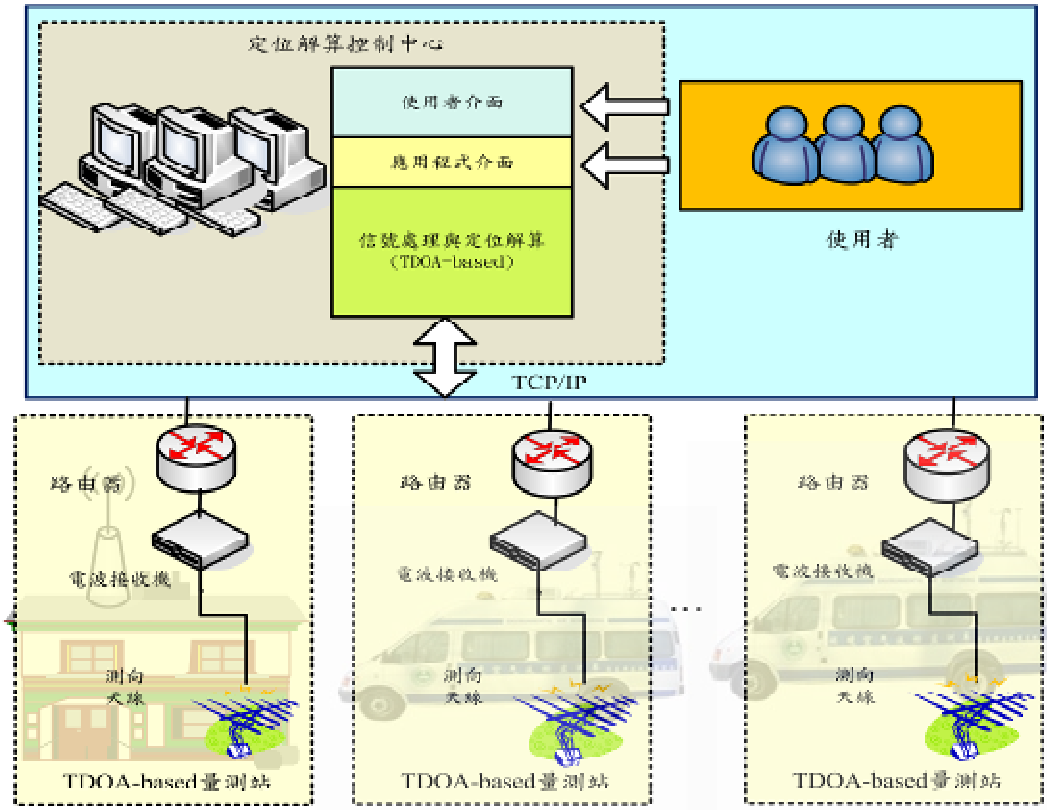


圖 7-11 TDOA-based 定位系統軟體架構可行性評估

(二).TDOA, AOA/TDOA 接收機架構

在系統成本與定位功能的考量下，可採行 AOA/TDOA-based 整合監測定位系統的架構如下圖 7-12 所示。其中三個接收機模組的規格與功能相同，主要元件為本地震盪器(Local oscillator)、降頻轉換器(down converter)、數位處理器(digitizer)。為實現 AOA-based 與 TDOA-based 的監測定位功能，做了以下分析

- 模組化設計：無論接收機、控制器與 GPS 同步器，都有現成模組組合，易於快速建立實驗佈置，獲得測試數據。
- 設備的一體性：對於部分的實驗偵測站點，對電源、網路等相關資源不足下，單一設備及低電源消耗，對實驗站點佈置有絕佳的幫助。

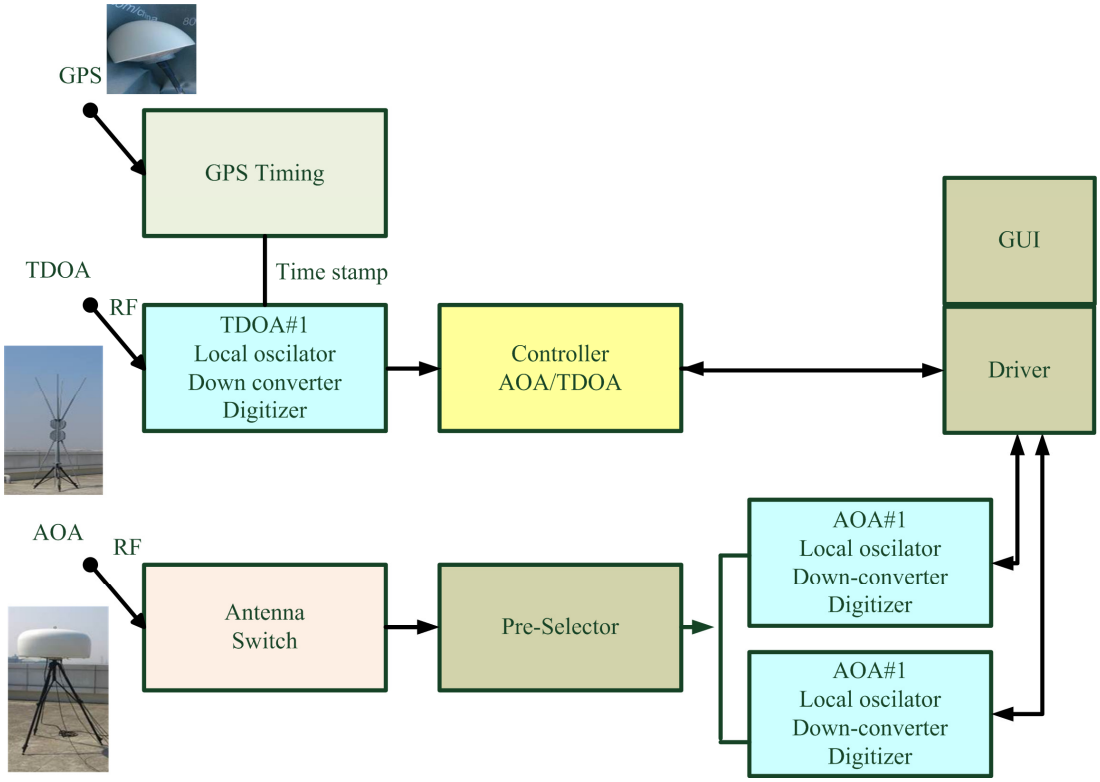


圖 7-12 整合 AOA/TDOA 監測定位系統的接收機架構

(1) Type I (使用三個接收機模組)

AOA-based 技術：

- 使用 AOA#1、AOA#2 接收模組進行 AOA-based 技術的定位作業，並使用 TDOA#1 接收模組協助進行 AOA-based 的監測(Monitoring)作業。

TDOA-based 技術：

- 使用 TDOA#1 接收模組同時進行 TDOA-based 的監測與定位作業。

(2) Type II (使用兩個接收機模組)

AOA-based 技術：

- 相同於 Type I 在 AOA-based 技術的應用，使用 AOA#1、AOA#2 接收模組進行 AOA-based 技術的定位作業，並使用 TDOA#1 接收模組協助進行 AOA-based 的監測(Monitoring)作業。

TDOA-based 技術：

- 為共用 AOA-based 與 TDOA-based 天線，並節省一個接收機模組。Type II 可運用 AOA#1 接收模組同時進行 TDOA-based 的監測與定位作業。

AOA/TDOA 整合之架構綜合說明如下表 7-6 所示。

表 7-6 AOA/TDOA 整合之架構

AOA/TDOA 整合			
	AOA	TDOA	Controller
Type#1	TDOA#1 接收模組 monitoring，AOA#1, AOA#2 測向定位	TDOA#1 接收模組 monitoring+DF	同時安裝 AOA 與 TDOA 演算法
Type#2	AOA#1 接收模組 monitoring，AOA#1, AOA#2 接收模組測向定位	AOA#1 接收模組 monitoring+DF	

三、TDOA 監測定位設備規格之建議

1. 天線部分

目前 ITU 規格尚未明列有關 TDOA 監測定位系統天線的規格，下表僅列出 AOA 監測定位系統天線的 ITU 規格(即為本研究的建議規格)。

	項目	本研究 建議規格	NI	TCI	Agilent	R&S
1.2VHF/UHF	頻率範圍	20MHz 至 3GHz	符合	符合	符合	符合
	極化	線性	符合	符合	符合	符合
	場型	全向性	符合	符合	符合	符合
	阻抗	50Ω	符合	符合	符合	符合
	電壓駐波比	≦ 2.5(2.5:1)	3.5	符合	符合	符合
	纜線耗損 (f 表示頻率)	30 MHz<f ≦300MHz: ≦ 0.06dB/m	符合	符合	符合	符合
		300 MHz<f ≦1GHz:≦ 0.1dB/m	符合	符合	符合	符合
	天線模式	被動式	符合	符合	符合	符合

2. 接收機部分

	項目	ITU-R 規格	本研究建議規格	NI	TCI	Agilent	R&S
2.1 VHF/ UHF	頻率範圍	20M 至 3GHz	20MHz 至 6GHz	符合	符合	符合	符合
	調選解析度	≦10Hz	10Hz	符合	符合	符合	符合
	IP3 接收機互調變	≧ 10dBm	≧ 12dBm	符合	符合	符合	符合
	IP2	≧ 40dBm	≧ 40dBm	符合	符合	符合	符合
	雜訊指數	≦12dB	≦12dB	符合	符合	15～ 25dB	10～ 20dB
	靈敏度與動態範圍	≧120 dB	-150 dBm~ 30 dBm(180dB)	-130dBm~ 30dBm (160 dB)	Max input 25dBm	Max input 20dBm	－30 dBuV to 110 dBuV (140 dB)
	掃描速度	-	10GHz/s	符合	符合	符合	符合
	本地振盪器-相位雜訊	-100dBc/Hz	≦ -110dBc/Hz (offset -100 dBc/Hz), 10kHz	2nd 9k-3.6GHz< -80 dBc (IIP2 > +50 dBm)	2nd 50dBm (70 dBm typical) 3rd		2nd 9k-30Hz>60 dBm 20M-26.5 GHz typ.55d

				3rd 10M-1GHz -80 dBc (IIP3 >10 dBm) 1-2GHz<-84 dBc (IIP3 >12 dBm) 2-3.6GHz<-86 dBc (IIP3 >12 dBm)	30dBm		Bm 3rd 9k-30 MHz> 20 dBm 20M-3.6GHz> 10 dBm 3.6-26.5GHz> 12dBm
	IF 拒斥	≧80dB	≧80dB	符合	符合	符合	符合
	假象拒斥	≧80dB	≧80dB	符合	符合	符合	符合
	IF 頻寬 (-6dB)	1kHz 以上，到至少 300KHz	1kHz 以上,到至少 20Mhz, 需可採用步進選調 (Optional:到至少 40MHz)	符合	符合	10MHz	符合
	60 至	2:1	2:1	符合	符合	符合	符合

	6dB 選擇性						
	偵測模式	AM,FM,CW,LSB,USB	AM、FM、PM (option : CDMA, OFDMA)	符合	符合	符合	符合
	AGC 範圍	≧ 120dB	≧120dB	符合	符合	符合	符合
2.2 VHF/UHF	輸出 IF/IQ 音頻 IF Monitor	數位 IQ 輸出 數位 IF 輸出 0dBm(600Ω) 藉由外部 IF 監測或數位串流	數位 IQ 輸出 數位 IF 輸出 0dBm(600Ω) 藉由外部 IF 監測或數位串流	符合	符合	符合	符合
	遠端控制	Ethernet LAN or GPIB,or RS232	Ethernet LAN	符合	符合	符合	符合
	交流電壓	-	100V/60Hz	符合	符合	符合	符合
	電磁相容性	IEC61000-4-2-3-4 CISPR11,Group 1,Class B	IEC61000-4-2-3-4 CISPR11,Group 1,Class B	符合	符合	符合	符合

	震動	IEC68-2-6	IEC68-2-6 或 MIL-STD810F	符合	符合	符合	符合
	網路頻寬需求	-	固定 >2MB 行動 >0.2MB	符合	符合	固定 >2MB/S	符合

3. AOA 測向處理器部分

相同於天線部分，目前 ITU 規格尚未明列有關 TDOA 監測定位系統的測向處理器規格，下表僅列出 AOA 的測向處理器 ITU 規格(即為本研究的建議規格)。

	項目	ITU-R 規格	本研究建議規格	NI	TCI	Agilent	R&S
3.1 固定站 (含運載式定位站)	頻率範圍	20MHz 至 3GHz	20MHz 至 6GHz	符合	符合	符合	符合
	測向準確度	1 度 (rms)	1 度 (rms)	符合	符合	符合	符合
	靈敏度	≦ 10 μV/m	≦ 10 μV/m	符合	符合	符合	符合
	掃描速率	至少 1GHz/s, 於解析度 25kHz	至少 1GHz/s, 於解析度 25kHz	符合	3GHz/s ~ 8GH/s	符合	100GHz/s
	即時掃瞄頻寬	20MHz	≧ 20MHz	1kHz~ 50MHz	2MHz~ 20MHz	符合	符合

	最小訊號期間	≦1ms	≦1ms	1.5ms			
3.2 行動監測車	頻率範圍	20MHz 至 3GHz	20MHz 至 6GHz	符合	符合	符合	符合
	測向準確度	3 度 (rms)	3 度 (rms)				
	靈敏度	≦20 μV/m	≦20 μV/m	符合	符合	符合	符合
	即時掃瞄頻寬	≧ 20MHz	≧ 20MHz	符合	符合	符合	符合
	測向結果顯示		地圖經緯度標示	符合	可客製化供應	可客製化供應	可客製化供應

4. TDOA 使用者介面需求

	項目	ITU-R 規格	本研究建議規格	NI 廠商設備規格	TCI 廠商設備規格	Agilent 廠商設備規格	R&S 廠商設備規格
3.1 固定站(含運載式	頻率量測	ITU-R SM.337-3	ITU-R SM.337-3	符合	符合	符合	符合
	頻寬量測	ITU-R SM.443	ITU-R SM.443	符合	符合	符合	符合
	調變量測	ITU-R SM.32	ITU-R SM.328	符合	符合	符合	符合

定位站、行動監測車)		8					
	場強量測	ITU-R SM.378	ITU-R SM.378	符合	符合	符合	符合
	訊號測量之操作介面		(1).提供執行測量之監測站的選擇 (2).提供訊號測量的參數設置（如：中心頻率、頻寬、取樣率等）。 (3)提供圖表方式顯示測量之結果。	符合	符合	符合	符合
	側向與定位操作介面		(1)提供選擇一個或多個執行測量之監測站。 (2)提供側向與定位測量的參數設定（如：可信度、頻率、頻寬、取樣率與調變方式等）。 (3)提供電子地圖的方式，顯示執行測量之監測站的地理位置資訊與雙曲線定位結果。	符合	符合	符合	符合
	發射台訊號分		(1)提供執行測量之監測站的選擇。	符合	符合	符合	符合

	析與辨識之操作介面		(2)提供違規發射台測量的相關參數設定（如：測量開始頻率、測量結束頻率、頻寬、雜訊門檻值、儲存間隔與持續時間等）。 (3)提供以圖表方式顯示測量結果(如頻譜功率密度、瞬時頻率直方圖）。				
	未知發射台偵測之操作介面		(1)提供執行測量之監測站的選擇。 (2)提供未知發射台偵測的參數設定（如：測量開始頻率、測量結束頻率、頻寬、雜訊門檻值、儲存間隔、與持續時間等）。 (3)提供與地理資訊工具結合的測量結果顯示。	符合	符合	符合	符合
	自動化電波監測任務之操作		(1)提供自動化任務參數設定（如：測量任務選項、任務執行日期、任務開使時間、任務結束時間及任務	符合	符合	符合	符合

	介面		執行週期等）。 (2)提供歷史任務之參數設定匯入與匯出操作介面。 (3)顯示各電波監測任務目前執行狀態。				
	底層軟體控制的使用者操作介面		使用者操作介面可提供: (1)寬頻掃描模式 (2)類比解調模式 (3)數位解調模式 (4)TDOA 模式需提供站台座標、位置與時間 GPS 資訊	可客製化供應	可客製化供應	可客製化供應	可客製化供應
	上層控制的使用者介面		使用者操作介面可提供: (1)提供執行測量之監測站的選擇 (2)提供各監測定位站台的待監測訊號時域變化與信號頻譜資訊於測向介面的電子地圖上。同時進行發射源信號的分析比對	可客製化供應	可客製化供應	可客製化供應	可客製化供應

			(3)提供相關演算法解算時間差的使用者操作介面,以解算出雙曲線定位並結合在電子地圖上				

第四節 台北市 TDOA 站台建置之評估與建議

為了 AOA/TDOA 導入特殊干擾防制的應用，台北都會區監測站選址及站台數建置的原則與具體可行方案說明如下:

定位範圍評估，主要考量如下：

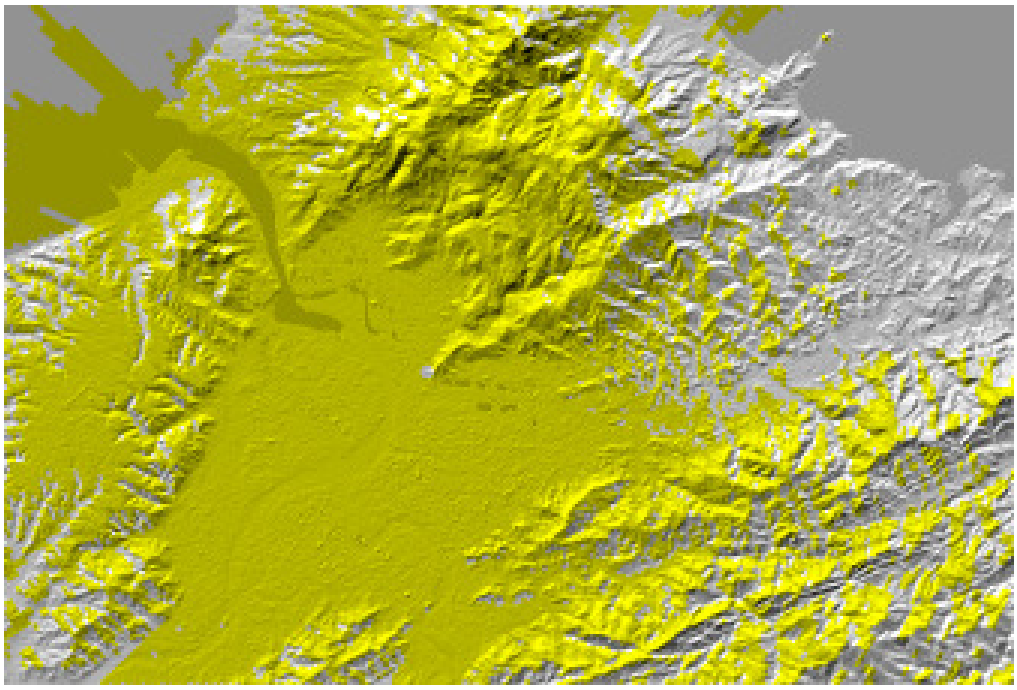
- 定位技術：採用 AOA 或 TDOA 定位技術
- 電波監測設備：包括接收機性能、天線。
- 站點位置：監測站點與被偵測區域的範圍。
- 電波傳播模式：地形與訊號衰弱之影響。

台北市面積約為 271.8 平方公里如圖 7-13 所示。大屯火山群位於市區北邊，市區東邊的內湖、南港與南邊的木柵多為丘陵地形；地形上台北市可以劃分成 3 個主要的地形區，分別是北邊大屯火山區、東邊丘陵區及西邊平原地區。

資料來源：Google earth

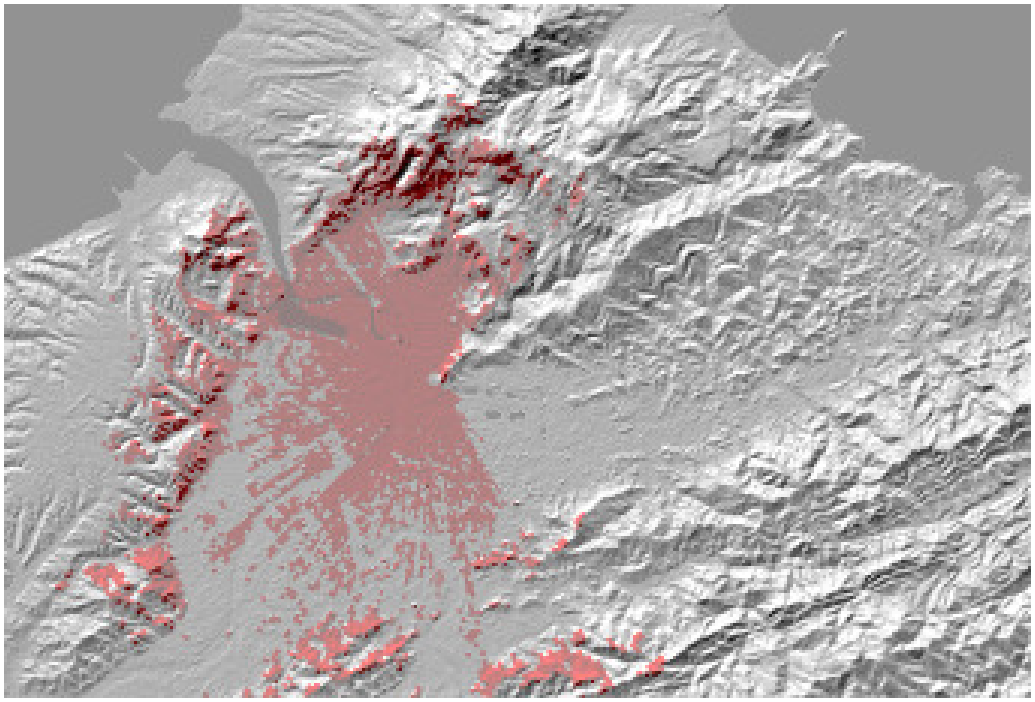
圖 7-13 模擬 TDOA 服務涵蓋區域的台北市地圖資訊

以台北為例，仿照之表 4-5 所採用之參數設計模擬，偵測站點依據台北市地形，於中間丘陵阻隔北邊士林、北投與南邊其他行政區，若依照前述 ITU 電波監測手冊之建議，偵測站點若選擇士林，則其偵測範圍將涵蓋大部分的台北市區。模擬 30MHz、300MHz、1GHz、3GHz 所得結果如下圖 7-14 至 7-17 所示。



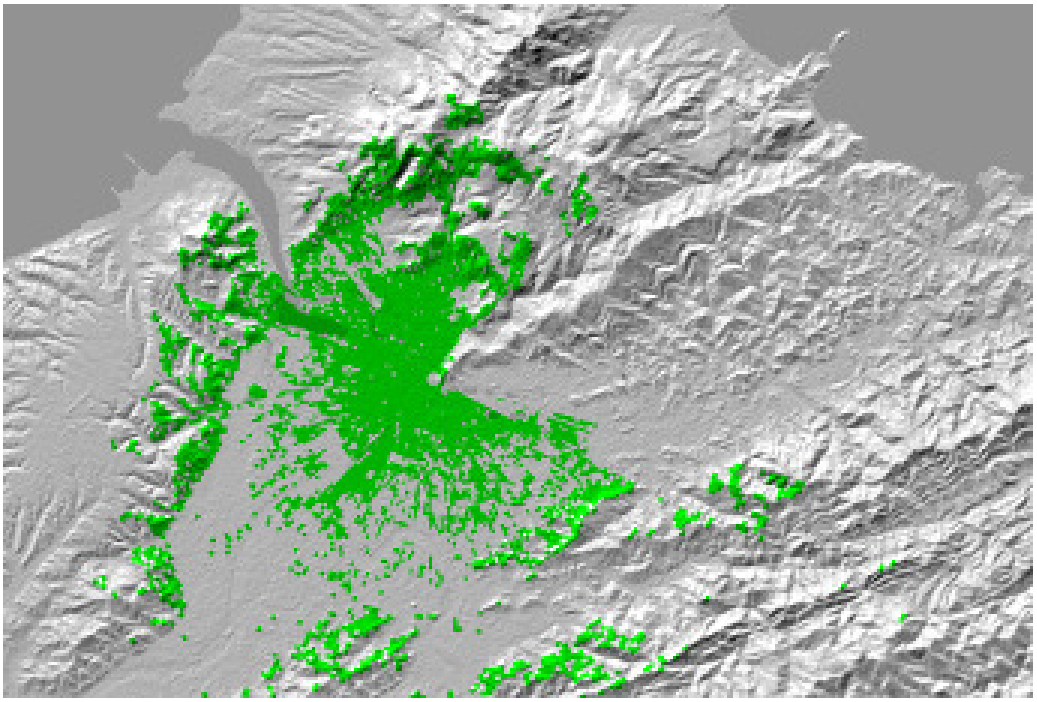
資料來源：本研究整理

圖 7-14 模擬士林偵測點 30MHz 頻段涵蓋資訊



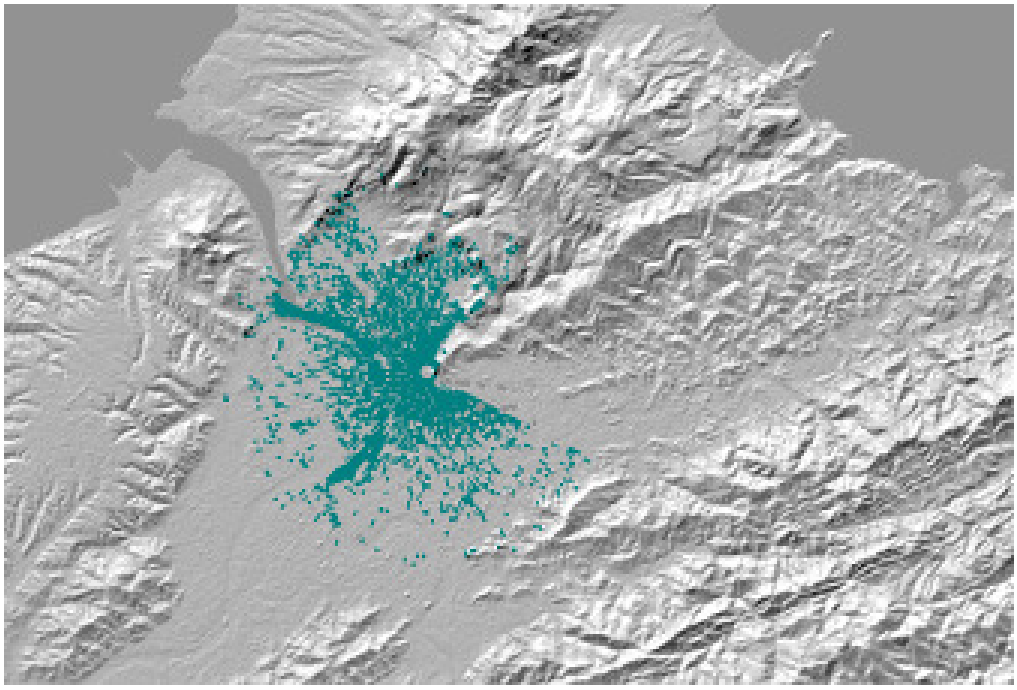
資料來源：本研究整理

圖 7-15 模擬士林偵測點 300MHz 頻段涵蓋資訊



資料來源：本研究整理

圖 7-16 模擬士林偵測點 1GHz 頻段涵蓋資訊



資料來源：本研究整理

圖 7-17 模擬士林偵測點 3GHz 頻段涵蓋資訊

模擬士林偵測站點 30MHz 頻段涵蓋，偵測範圍幾乎涵蓋全部台北市。300MHz 與 1GHz 頻段涵蓋相當接近，偵測範圍主要受到地形因素影響，在內湖區訊號偵測狀況較差，偵測距離約是 15 公里的範圍。在 3GHz 頻段，偵測距離縮減到大約 8 公里。

台北市面積約 271.8 平方公里，以中山區為中心至鄰近縣市交界線平均約 8～9 公里。初步估計以 TDOA 為佈置方式，摒除雜訊干擾約需要 5 個偵測站點，但以 AOA 在相同的偵測範圍約需要 2～3 個偵測站點。其佈置方式如下圖 7-18 所示。

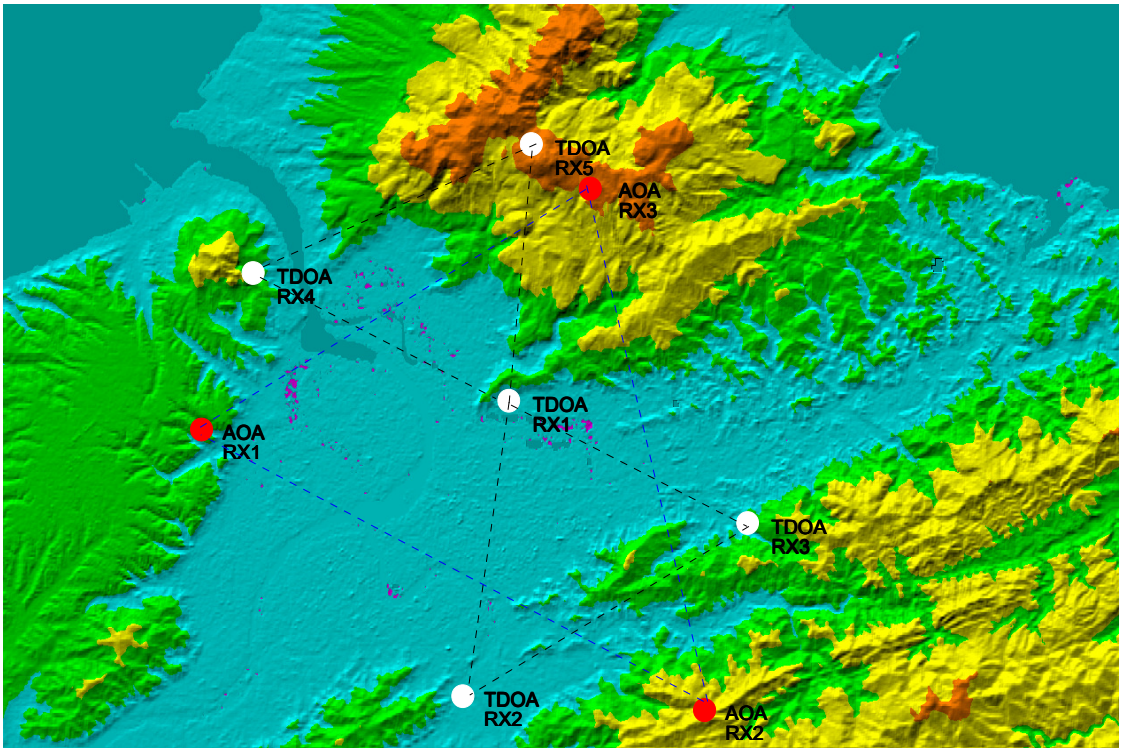


圖 7-18 AOA 與 TDOA 正三角形配置站點估算

由以上敘述可知，偵測站點數量與位置的評估，應考量監測區域之地形，並盡量減少阻隔障礙物及雜訊源等因素，在配置之數量上應考慮地形因素、接收機性能及偵測的精準度。上圖所示地點，僅依據正三角配置初步的規劃涵蓋範圍，在實際配置上則可以用測試車更精確的模擬評估。圖 7-18 所示的模擬 TDOA 定位系統的詳細資訊如下表所示：

表 7-7 TDOA-based 定位系統的概略區域位置

TDOA-based 定位系統的概略區域位置 (模擬評估)	TDOA-based 定位站台	經度(度分秒)	建站條件建議
		緯度(度分秒)	
士林區域	AOA/TDOA RX1	121 度 32 分 22.56 秒	1. 視野廣闊無遮蔽且高度 20m 以上。

TDOA-based 定位系統的概略區域位置 (模擬評估)	TDOA-based 定位站台	經度(度分秒)	建站條件建議
		緯度(度分秒)	
		25 度 05 分 18.24 秒	2. 各站台相距 15km~20km。 3. 可建置於都會區內 4. 若使用 TDOA-based 固定站可使用有線傳輸的光纖網路實現。或採用機動性較高的 3G 行動通訊網路上以克服網路壅塞受阻，無法進行即時 TDOA 定位。因此，TDOA 定位系統其電波監測接收機，亦應具備訊號錄製與回放功能，由遠端下達錄製指令(其網路連線要求僅需小於 10Kbps)，將訊號資訊由各地電波監測接收機蒐集完畢後，再由網路回傳資料或藉儲存裝置攜回控制中心，避免因網路壅塞受阻無法進行 TDOA 定位。
新店區域	TDOA RX2	121 度 29 分 21.12 秒	
		24 度 56 分 13.92 秒	
南港區域	TDOA RX3	121 度 35 分 49.92 秒	
		25 度 01.50 分 88 秒	
八里站區域	TDOA RX4	121 度 25 分 27.84 秒	
		25 度 07 分 27.84 秒	
陽明山區域	TDOA RX5	121 度 32 分 22.56 秒	
		25 度 10 分 3.36 秒	

依據「ITU 頻譜監測手冊」所提及有關「電波監測站選址」之重要原則分別為：

- 適合地點：首選地理環境單純、地勢高並可鳥瞰人口密集的區域。
- 防止幅射：因輻射會影響定向之精確度，建置監測站時，應遠高壓電、金屬及易產生反射波之海面與湖面。

- 避開障礙物：選擇監測站位址時，應避免四周環境建物相對高度高於監測站。
- 電波環境因素：監測站址四周若存在大功率的發射源，將使得雜訊位準過高，影響監測與定向的精確度。

由於台灣人口密集、地形繁雜，在電信自由化之後各種無線通訊業務蓬勃發展，以 TDOA 為基礎的定位系統應多方考量四周服務人口增長的速度、防止監測站四周高層建築物的興建及避免大功率電台在附近等。為了建置高效能之「TDOA 定位系統」應特別注意(1) 地理環境 (2) 電波背景環境 (3) 鐵塔建置成本 (4) 營運永續性 (5) 涵蓋範圍 (6) 站點附近之干擾源。以上模擬之參數設定與結論如下表 7-8 所示

表 7-8 模擬之參數設定與結論 (依據台北市地形的監測站台)

模擬地點(偵測站)	測試頻率(f)	天線因子(AF)	範圍距離(KM)	接收機靈敏度	天線高度(發射端)	天線高度(接收端)	地形與偵測範圍考量(TDOA)	地形與偵測範圍考量(AOA)
士林	30 MHz	-4.2 dB	涵蓋全台北市	-100 dBm 以下	2m	20m	約需要 5 個偵測站點	約需要 2～3 個偵測站點
	300 MHz	15.8 dB	15					
	1GHz	26.3 dB	15					
	3GHz	35.8 dB	8					
備註: 傳播模式 F(50,50)								

資料來源：本研究整理

本研究於第四章第三節已充分說明 TDOA 與 AOA 定位範圍評估方式，在考量上述影響，進行偵測範圍參數設計，如表 4-5，模擬結果顯示：300MHz 與 1GHz 頻段涵蓋相當接近，偵測範圍主要受到地形因素影響，在內湖區訊號偵測狀況較差，偵測距離約是 15 公里的範圍。在 3GHz 頻段，偵測距離縮減到大約 8 公里。

由台北市面積約 271.8 平方公里，以中山區為中心至鄰近縣市交界線平均約 8～9 公里，中間地形隆起被切割南北，為減少阻隔障礙，由台北市區域依三角配置進行評估 TDOA 定位，因此，初步估計以 TDOA 為佈置需要 5 個偵測站點。

TDOA 偵測技術之限制:

- 定位幾何受限：較 AOA 定位範圍限縮。（圖 4-18）
- 訊號類型受限：無法定位連續載波，對每種訊號取樣需要進行最佳化。
- 監測站同步限制：需進行各監測站網路連線同步，無法單獨離線測向。

第五節 小結

對於 AOA 與 TDOA 定位技術的優缺點與適用情境進行分析比較總結如下

✧ TDOA 監測定位系統優缺點分析：

- 優點：成本較低、容易架設、天線小、設備簡單、可處理寬頻、跳頻等新興數位通訊訊號。TDOA 監測定位站成本約為 AOA 監測定位站成本的 10%~20%。
- 缺點：三角形幾何範圍外定位誤差大、相較 AOA 可定位範圍限縮。定位相關演算法需依據不同調變信號的特性，進行相異的取樣最佳化。相對地，AOA 的優點卻可使用單站呈現定位線、靈敏度較高、並可以定位連續信號（CW）。

✧ TDOA 結合 AOA 監測定位技術優缺點分析：

- 優點:可結合上述 TDOA 與 AOA 優點,當兩個站同時具有 TDOA 與 AOA，可增加定位準確性，並且克服解決 TDOA 幾何範圍外的定位問題,以增加服務涵蓋面。如圖 7-1 所示。整合 AOA/TDOA 的監測定位系統更加適合佈建於台灣南北狹長走向的地理環境。
- 缺點：TDOA/AOA 監測站成本將提高 AOA 監測定位站成本的 10%~20%。

本研究的 TDOA 站台雛型架構,可克服 AOA－based 定位技術多路徑傳輸下定位效能不彰的瓶頸，完成都會區干擾辨識、定位功能之基本需求。藉由 TDOA-based 定位系統在站台選址與天線架設的簡易性，其站台建置的成本約為 AOA-based 站台建置的 10%~20%，當選擇各站台最佳效能的 15km~20km 服務涵蓋面非常適合導入都會區的干擾防制。

尤其因應未來低功率與突短信號的干擾辨識、定位與防制上，在使用相同於 AOA 監測定位接收機性能與成本下,可透多點佈放 TDOA 固定監測定位站的架構，暨靈活隨機佈放運載式監測定位站，全天候自動化收集並辨識干擾源的地理位置資訊，以執行低功率與突短信號干擾辨識、分析(定位)與防制。

經由 TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統導入與連結現行通傳會(NCC)AOA 監測定位系統，可有效率地實現(A).頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。(B).干擾源之辨識、定位系統之建置與運用的兩個層面上的應用。

在本研究實現 TDOA 站台雛型架構下，研提 AOA/TDOA-based 定位系統的可行性的階層管理組織、網路、軟體架構與系統設備規格，以建構更多元的電波監測定位技術，以補償現有電波偵測網的死角，以作為通傳會(NCC)未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之參據。

最後，依據「TDOA-based」定位系統服務涵蓋(20km~30km)台北市所需架設之 3~5 個站台數目的模擬評估與規劃與具體建置地點、設備規格需求與應用的方案。其具體可行的地理位置整理如下：

- 士林區域- AOA/TDOA RX1 (經緯度: 121 度 32 分 22.56 秒,25 度 05 分 18.24 秒)
- 新店區域-TDOA RX2 (經緯度: 121 度 29 分 21.12 秒，24 度 56 分 13.92 秒)
- 南港區域- TDOA RX3 (經緯度: 121 度 35 分 49.92 秒，25 度 01.50 分 88 秒)
- 八里站域- TDOA RX4 (經緯度: 121 度 25 分 27.84 秒，25 度 07 分 27.84 秒)
- 陽明山區域- TDOA RX5 (經緯度: 121 度 32 分 22.56 秒,25 度 10 分 3.36 秒)

第捌章 結論與建議

一、結論

本次期末報告已完成事項為

(1) 首先完成各種同頻、鄰頻與互調變特殊干擾問題的蒐集及研析，如飛航、突短微弱、低功率無線電設備與都會區干擾，與 3 GHz 至 6 GHz 陸地通信技術發展情況。再者，依據既有與未來預期的特殊干擾而歸結出干擾源之辨識、分析(定位)與防制的解決方法需從兩個層面著手包括：(A).頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。(B).干擾源之辨識、定位系統之建置與運用。更進一步，分析並探討 TDOA、 AOA/TDOA 監測定位系統之技術原理與特殊干擾防制的干擾之技術原理與應用方式。

(2) 經由文獻分析與收集各製造商、整合商的設備規格型錄，並整合「TDOA-based 定位技術研討會」提供的重要技術規範與商轉現狀，完成「TDOA-based」監測系統的評估。暨運用獲取的設備規格完成「TDOA-based」定位系統服務涵蓋(20km~30km)台北市所需架設之 3~5 個站台數目的模擬評估與規劃。更進一步，研提 AOA-based 與 TDOA-based 定位監測的互補應用的未來發展趨勢。

(3) 研析先進的通訊技術將朝增加頻譜使用效率的發展，使得頻譜配置更加密集與壅塞而易於衍生同頻、諧波、鄰頻與互調變干擾。再者，發生於都會區的干擾更因多路徑的傳輸效應，導致都會區的干擾源更加難以辨識與定位。NCC 既有 AOA-based 固定監測定位站多數位處山區、郊區與偏鄉，勢必對於都會區干擾構成威脅與挑戰。本計畫選擇台南都會區完成「TDOA-based」的實測模擬驗證情境。其中選擇建置的三角形偵測點，站台位置分別為：高雄科學園區、台南健康定向站與台南高鐵站(交大南校區)。待測點選擇靠近正三角形中心部分的 FM 88.3MHz 長榮之聲、FM 91.5MHz 自由之聲電臺、FM 89.1MHz 南都廣播與 FM 91.9 MHz 嘉南廣播。更進一步，完成 TDOA-based 定位精確度

分析。實測結果顯示：在都會區多路徑的傳輸效應下，TDOA-based 定位在三角形內距離誤差約 500 公尺內（CEP=50%）。在協同整合都會區的 TDOA-based 定位站的應用下，可提昇 NCC 既有 AOA-based 固定(行動)監測定位站的 2 倍服務涵蓋面與 6 度偏角的定位精確度。

(4) 探討並分析 AOA/TDOA 監測定位系統導入特殊干擾防制之應用情境，尤其經由 TDOA、AOA/TDOA 監測定位系統導入與連結現行通傳會(NCC)AOA 監測定位系統，以實現(A).頻段核配之評估(發射機、接收機性能、設置保護帶寬、隔離度)。(B).干擾源之辨識、定位系統之建置與運用的兩個層面上的應用。再者，分析與探討 TDOA、AOA/TDOA 在特殊干擾(飛航、低功率無線電設備、突短微弱與都會區等干擾)辨識、分析(定位)與防制的解決方法。

(5) 研提 AOA/TDOA-based 定位系統的可行性的階層管理組織、網路、軟體架構與系統設備規格，以建構更多元的電波監測定位技術，以補償現有電波偵測網的死角，以作為通傳會(NCC)未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之目標。最後，「TDOA-based」定位系統服務涵蓋(20km~30km)台北市所需架設之 3~5 個站台數目的模擬評估與規劃與具體建置地點、設備規格需求與應用的方案。

二、建議

本計畫藉由監測定位系統的製造商、設備商與整合商提供系統架構、軟硬體規格暨舉辦研討會的方式，進行資料蒐集。更進一步，經由建置 TDOA-based 的最低定位運作站台(三個監測站台)，以進行實際驗證 TDOA-based 定位系統的可行性評估。並期望 NCC 可立即就以下建議，深入思考我國電波監測的未來發展：

立即可行的建議：

(1) 更新 AOA 監測定位站與探討 TDOA 定位系統並重

無線電頻譜是一個日益重要的國家資產，有效與良好的頻譜管理攸關資通訊的產業興盛與增進民生。本計畫觀察各先進國家的經驗中，為因應未來寬頻、高速通訊技術的發展趨勢，面對各式飛航、低功率、突發與都會區干擾的發生，電波干擾偵測與防制上極需在地狹人稠的都會區建置自動監測站，進行無線電信號干擾源的辨識和定位。

AOA-based 監測定位系統在擴增監測涵蓋面、增加接收機干擾的免疫力、天線陣列的龐雜體積與重量的因素考量下，導致 AOA-based 監測站有極為嚴苛的地理與電波環境要求，才能提昇 AOA-based 監測定位系統的效能，也造成監測站覓地選址的困難。因此 NCC 既有 AOA-based 固定監測定位站多數位處山區、郊區與偏鄉以構成嚴密的電波監測網。由於 AOA-based 固定(行動)監測定位站建置使用已達十五年以上，也瀕臨汰換與升級的使用年限。

本計畫經過研討會與洽詢廠商在 TDOA 定位系統的研發意願與成果，發現除了 Ofcom 曾自行委託業者建置自用 TDOA 定位系統，運用於 2012 年倫敦奧運會進行 CDMA 調變方式的監測定位外，眾多 AOA 監測定位的知名製造商、設備商與整合商均表示硬體備妥與尚在研發階段。在探討 TDOA 定位系統應用方面，較為可行的方法為：引用「軟體無線電」的技術，縮短 AOA 與 TDOA 的技術門檻與技術落差，提高廠商更積極投入 TDOA 技術的研發與加速 TDOA 監測定位系統的線上商轉之步伐。

基於本計畫實測 TDOA-based 定位的基礎下，TDOA-based 監測站台的天線結構簡易與快速架設、接收機輕便易於移動的特性。TDOA-based 監測站台非常適合進行「簡易式與運載式」監測定位系統的建置，以解決監測站台在諸多的嚴苛需求條件下站台選址的困境。若有成熟的線上商轉設備問世，NCC 可優先考量於都會區、重要設施(機場、高鐵、政府機構)建置 TDOA-based 定位系統，以優先解決都會區與飛航干擾的問題。

(2) 台北市試行建置 TDOA 監測系統以解決都會區干擾

本研究在實現 AOA/TDOA-based 定位系統的設計與實測驗證定位精確度下，結果顯示在 TDOA 監測定位三角形範圍內誤差可達 100m 內。本研究的 TDOA 站台雛型架構可克服 AOA – based 定位技術多路徑傳輸下定位效能不彰的瓶頸，完成都會區干擾辨識、定位功能之基本需求。

再者，本研究 TDOA 站台雛型架構可協同通傳會(NCC)現行 AOA 監測定位系統完成 AOA/TDOA 升級的整合應用情境。

TDOA 台北市站台建置之地點建議如下：

- 士林區域- AOA/TDOA RX1 (經緯度: 121 度 32 分 22.56 秒,25 度 05 分 18.24 秒)
- 新店區域-TDOA RX2 (經緯度: 121 度 29 分 21.12 秒，24 度 56 分 13.92 秒)
- 南港區域- TDOA RX3 (經緯度: 121 度 35 分 49.92 秒，25 度 01.50 分 88 秒)
- 八里站域- TDOA RX4 (經緯度: 121 度 25 分 27.84 秒，25 度 07 分 27.84 秒)
- 陽明山區域- TDOA RX5 (經緯度: 121 度 32 分 22.56 秒,25 度 10 分 3.36 秒)

中長期建議

(1) AOA 與 TDOA-based 定位系統的協同運作

基於本計畫實測 TDOA-based 定位的基礎下，可進一步探討整合 NCC 既有 AOA-based 固定(行動)監測定位站的作業，以提昇 AOA-based 固定(行動)監測定位站的服務涵蓋面與定位精確度。其中，TDOA-based 技術在三個站台連線的軸承基線上，所產生的巨大定位誤差，可倚靠 AOA-based 技術的補償。更進一步，未來全面佈建 TDOA-based 監測定位站，需要更為細緻的階層管理組織、網路、軟體架構與系統設備規格，以作為 NCC 主管機關未來處理相關干擾案件及優化電波監測網之參考。

(2) 賡續探討 TDOA 定位系統在特殊干擾防制的應用

探討 TDOA-based 定位系統定位性能的可行性評估，本計畫與美商 NI 合作開發 TDOA 定位系統，眾多執行 ITU 電波監測定位設備商宣稱目前硬體備妥，但實際卻無法展示針對各種調變訊號（例如：調頻、調幅等）進行 TDOA 定位，各廠商設備型錄也未對 TDOA 定位與地圖顯示功能進行上層軟體設計開發，本次研究與 NI 實際開發調頻 TDOA 定位並結合地圖顯示功能，在地圖上直接顯示信號發射源定位資訊，此外，還結合 3G 行動通訊網路，進行監測站即時連線作業，達到監測站即時連線完成定位。

通傳會(NCC)未來可以依照本研究方式，進一步對各種調變訊號種類進行 TDOA 定位技術開發。本研究選擇台南都會區完成「TDOA-based」的實測模擬驗證情境。其中選擇建置的三角形偵測點，站台位置分別為：高雄科學園區、台南健康定向站與台南高鐵站(交大南校區)。在監測站相互距離 10 至 20 公里下，監測連接的三角形內，定位距離誤差約 500 公尺

內（CEP=50%)。在靠近連接的三角形外，定位距離誤差也尚在 1 公里內（CEP=50%)，顯示 TDOA 技術實際可執行電波監測定位功能。

(3) 持續關注與探討電波監測定位技術之最新發展趨勢

電波監測定位技術，未來除 AOA、TDOA 定位技術以外，干擾處理案例其他偵測技術，主要趨勢包括：(1).「信號位置擷取與蒐集系統」(Signal Location, Intercept and Collection System, SLIC)。主要功能將即時定位結果進行儲存，以利日後追蹤與資料搜尋。傳統電波監測定位技術因儲存設備容量的侷限，導致無法將即時定位結果儲存記錄，以進行後續的測向信號分析與解調、解碼。。(2). AOA 與 TDOA 混合定位技術。利用 AOA 與 TDOA 資訊互補方式，結合相互優點進行電波監測定位，但目前蒐集各國電信監理機構等相關資料，尚未將兩種先進技術實際納入電波監測管理，故應持續關注與探討電波監測定位技術之最新發展趨勢。

參考文獻

[1] 電波偵測能量計畫，交通部電信總局。

[2] 張耀堂、劉昭育、王建春、梁溫馨，“赴法國實習「無線電頻譜監測系統」報告書”，國家圖書館，冊號 C880877，1999。

[3] C. Oestges et al., “Experimental characterization and modeling of outdoor-to-indoor and indoor-to-indoor distributed channels,” IEEE Tr. Vehicular Tech., vol. 59, no. 5, pp. 2253-2265, June 2010.

[4] Report ITU-R SM.2211, “Comparison of Time-Difference-of-Arrival and Angle-of –Arrival Method of Signal Geolocation”, 2011.

[5] ITU- Spectrum Monitoring Handbook, 2011.

[6] ITU-R Spectrum Management Series

[7] QinetiQ, ARUP and TRL, “Ofcom AMS Final report”, July, 2006.

[8] 主編 李耀、副主編 邱致和，中國國防工業出版社，導航與定位-信息化戰爭的北斗星，2008

[9] 國立成功大學電信管理研究所碩士論文，郭家惠, 陳文字，第二代與第三代行動電話系統共站問題,2004

[10] A. Kumar et al., “Analysis of QoS provisioning in cognitive radio networks: a case study,”, Wireless Pers. Commun., April 2010.

[11] http://www.intomobile.com/2011/01/10/picochip-usb-femtocell/

[12] J. Boccuzzi and M. Ruggiero, Femtocells design & application, McGraw Hill, 2010.

[13] J. Gambini et al., “Wireless over cable in femtocell systems: a case study from indoor channel measurements,” WCNC 2012 Workshop on Broadband Femtocell Technologies, pp. 137-141, 1-4 April, 2012.

[14] 謝 俊 南、陳 世 志「設計 5.7GHz 低雜訊放大器應用於 802.11a 之研究」，國立雲林科技大學電子與資訊工程研究所民國 92 年碩士論文

[15] 漳杰銘、許正欣「於蜂巢式網路中巨細胞與毫微微細胞共存下之同頻干擾管理的研究」，國立雲林科技大學資訊工程系民國 99 年碩士論文

[16] 張致維、安仲芳「前置展頻時空塊狀碼分歧傳送系統在多路徑同頻干擾之效益分析」，立台灣海洋大學導航與通訊系系民國 93 年碩士論文

[17] 陳信文、黃一泓「IEEE 802.11p/1609 效能分析模式之探討」，國立臺中教育大學數學教育學系民國 100 年碩士論文

[18] “Hybrid TDOA/AOA Mobile User Location for Wideband CDMA Cellular Systems”， IEEE Transactions on Wireless Communications, VOL. 1, NO. 3, JULY 2002, Li Cong, Weihua

[19] NCC 民國 100 年委託研究案「新世代電波監測系統之建置規劃與優化分析研究_期末報告」MIC 研究報告：全球數位有線電視服務市場發展暨機上盒商機探索, 2009.11

[20] 新世代電波監測系統之建置規劃與優化分析研究_出國報告書, 2011。

[21] 無線電測向及交叉定位技術研析(上)，IECQ 報導第 52 期，2008。

[22] 無線電測向及交叉定位技術研析(下)，IECQ 報導第 53 期，2009。

[23] http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&rlink=rhome&lang=en

[24] HR-VISN-NI Fixed DF Monitoring Sysrem

[25] Y. C. Liang, A.R. Leyman and B. H. Song, “Multipath time delay estimation using higher order statistics” Higher-Order Statistics, Proceedings of the IEEE Signal Processing, 1997.

[26] Nikias, C.L, R. Pan, “Time delay estimation in unknown Gaussian spatially estimation for large BT signals”, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.39, No.4, Apr.1991.

[27] Azaria, M. Rafael Israel, Haifa, Israel Hertz, D. ,“Time delay estimation by generalized cross correlation methods”, IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Apr 1984,Vol.32 , Issue. 2 ,PP.280 – 285.

[28] http://scholar.ilib.cn/A-QCode~dianxjs200503031.html

[29] http://www.docin.com/p-206065306.html

[30] Reported by Newsbytes.com, http://www.newsbytes.com

[31] http://www.dielectric.com/broadcast/news_story.asp?ID=63

[32] FCC ”TRANSMITTING ANTENNA HEIGHT IN METERES FIGURE 4.15-6 FCC F(50,50) propagation chart”

[33] 林根煌、謝奇軒「台灣地區 FM 頻帶場強預測曲線與電臺設立規範之研究」，國立中山大學民國 86 年碩士論文

[34] A. B. Nuttall, “Pre-filtering to enhance clipper correlator performance,” Naval Underwater Systems Center, New London Lab., New London,CT,Tech. Memo TC-11-73, July 10,1973. 4

[35] “Hybrid TDOA/AOA Mobile User Location for Wideband CDMA Cellular Systems”， IEEE Transactions on Wireless Communications, VOL. 1, NO. 3, JULY 2002, Li Cong, Weihua

[36] K.C. Chen and R. Prasad, Cognitive radio networks, Wiley, 2009.

[37] NCC :http://freqdbo.ncc.gov.tw/upload/FILESAVE/100709084746.pdf

[38] http://www.ncc.gov.tw/chinese/content.aspx?site_content_sn=582&is_history=0

中英文對照

英文縮寫	英文全名	中文
AOA	Angle of Arrival	信號到達角度
ATSC	Advanced Television Systems Committee	美國高級電視制式委員會
ACMA	Australian Communications and Media Authority	澳大利亞通信與媒體管理局
ACI	Adjacent Channel Interference	鄰近頻道的干擾
AMSC	American Mobile Satellite Corporation	美國行動衛星公司
AT	Aglient Technologies	安捷倫
AM	Amplitude Modulation	調幅
AMS	Automatic Monitoring System	自動電波監測系統
AF	Antenna Factor	天線因子
AGA	adaptive geo-location algorithm	智慧型的適應性演算法
AA	Angular Accuracy	角度精確度
AGC	Automatic Gain Control	自動控制增益
BPSK	Binary Phase Shift Keying	雙相位鍵移
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing	編碼正交分頻多工
CAA	Civil Aviation Authority	民航管理局

英文縮寫	英文全名	中文
CCH	Control Channel	控制頻道
CW	Continuous Wave	等幅電波
CI	Correlative Interferometry	相關干涉術
CEP	Circular Error Probability	圓機率誤差
CB	Cross Bearing	交錯軸線
CP	Correlation Peak	互相關峰值
CR	Cognitive Radio	感知無線電
CDMA	Code Division Multiple Access	分碼多重存取式
TDOA	Time Difference Of Arriva	訊號到達時間差
DFLS	Direction Finding Location System	無線電定向系統
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	直接序列展頻
DL	Downlink	下行鏈路
DTV	Digital Television	數位電視
DS	Digital Switchover	數位轉換
DTT	Digital Terrestrial Television	數位地面電視系統
DSRC	Dedicated Short Range Communication	車載專用短距離通訊
DTH	Direct to Home	衛星電視直播到家

英文縮寫	英文全名	中文
DVB-T2	Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial	第二代數位行動電視標準
DF	Direction-Finding	測向
dBm	decibels milliwatt	分貝毫瓦
dB	decibel	分貝
DA	Dipole Antenna	偶極天線
ETC	Electronic Toll Collection	電子收費系統
EPS	Electronic Payment Service	電子付費服務
FHSS	Frequency-Hopping Spread Spectrum	跳頻技術
FDD	frequency division duplex	頻分雙工
FS	Frequency separation	分頻頻譜
FCC	Federal Communications Commission	美國聯邦傳播委員會
FSS	Fixed -Satellite Service	衛星固定業務
FSFC	frequency selective fading channel	選擇性頻道衰落
FDoA	Frequency Difference of Arrival	頻率偏差
FM	Frequency Modulation	調頻
FSK	Frequency-Shift Keying	頻率偏移調變
FFT	Fast Fourier Transform	快速傅立葉變換
FS	Frequency Shift	移頻

英文縮寫	英文全名	中文
GCC	Generalized Cross-correlation function	廣義互相關函數
GDOP	Geometric Dilution of Precision	幾何精度稀釋因子
GMDSS	global maritime distress and safety system	海上遇險與安全系統
GPS	Global Positioning System	全球定位系統
GSM	Global System for Mobile Communications	全球行動通訊系統
GHz	Giga-Hz	吉赫
HI	Harmonic Interference	諧波干擾
ITU	International Telecommunications Union	國際電信聯盟
IMT	International Mobile Telecommunications	國際移動通信
IMD	Intermodulation Distortion at the Receiver	接收型的互調變失真
ITS	Intelligent Transportation Systems	智慧型運輸系統
IP	Internet Protocol	網際協定
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	電機電子工程師學會
ISM	Industrial Scientific Medical	工醫科
KM	kilometer	公里
LTE	Long Term Evolution	長期演進技術

英文縮寫	英文全名	中文
LSB	lower sideband	下旁波帶
LAN	local area network	區域網路
LA	Large Antennas	大型天線
LOS	Line of Sight	視距
LSPM	Large Scale Propagation Model	大尺度傳播模型
LMMSE	linear minimum mean-square-error	線性最小平均平方差
MAC	Medium Access Control Layer	介質訪問控制
MHz	Mega Hertz	兆赫
MPE	Multi-path effect	多重路徑傳輸效應
MS	minimum samplerate	最低取樣率
MCL	Minimum Coupling Loss	最小耦合損耗
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output	多重輸入與多重輸出
NCC	National Communications Commission	國家通訊傳播委員會
NI	National Instruments	美國國家儀器
NLOS	None Line of Sight	非視距
NS	Narrowband Signal	窄頻訊號
NOF	Number of Receivers	定位站台的基本數量

英文縮寫	英文全名	中文
NC	Network Considerations	網路的需求考量
NF	Noise Figure	雜訊指數
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing	正交分頻多工
OCRs	On-Channel Repeaters	通道中繼器
OBU	Onboard Unit	車載單元
Ofcom	Office of Communications	英國通訊局
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	多重接取 OFDM
ps	picosecond	皮秒
PM	Phase Modulation	相位調變
PPLM	Propagation Path Loss Model	傳播路徑損耗模型
PXI	PCI eXtensions for Instrumentation	量測與自動化系統
QPSK	Offset Phase Shift Keying	四位元相位偏移調變
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交振幅調幅
RFMN	Radio Frequency Monitoring Netwok	電波監測網
RSMS	Radio Spectrum Monitoring System	無線電頻譜監測系統
RSU	Roadside Unit	路側單元
R&S	Rohde&Schwarz	羅德史瓦茲

英文縮寫	英文全名	中文
RF	Radio Frequency	無線電頻率
RMDF	Remote Monitoring and Direction Finding System	固定監測站
RMSE	root-mean-square error	均方根誤差
RCAG	Remote Control air Ground Communication Network	無線電遠端遙控
RSS	Received Signal Strength	接收訊號強度
SMS	Spectrum Management System	無線電頻譜管理系統
SMH	Spectrum Monitoring Handbook	頻譜監測手冊
SM	Spectrum Management	頻譜管理
SINR	Signal to Interference and Noise Ratio	訊號對干擾及雜訊比
SNG	Satellite News Gathering	衛星新聞轉播
SSB	Single Sideband	單旁波帶調變
SCPI	Standard Commands for Programmable Instruments	可編程儀器的標準命令
SNR	Signal-to-noise ratio	訊雜比
SMA	Spectrum Management Agency	頻譜管理委員會
SSPM	Small Scale Propagation Model	小尺度傳播模型
SS	sample signal	取樣信號
SPOT	System Planning and Optimization Tool	系統規劃與優化工具

英文縮寫	英文全名	中文
SHF	Super High Frequency	超高頻
SSL	Single Site Locatin	單站量測技術
TDOA	Time Difference of Arriva	訊號到達時間差
TVWS	Television White Space	電視空白頻譜
TxIMD	Transmission Intermodulation Distortion	傳送型的互調變失真
TCP	Transmission Control Protocol	傳輸控制協定
TOA	Time of Arrival	到達時間定位
TA	Timing Accuracy	計時精確度
UHF	Ultra High Frequency	特高頻
UL	Uplink	上行鏈路
UWB	Ultra-Wide Band	超寬頻
UMS	Unattended Monitoring System	無人值守監控系統
VHF	Very High Frequency	超高頻
V2V	Vehicle to Vehicle	車輛互相溝通
V2R	Vehicle to Roadside	車載對路側單元間之溝通
VPS	Vehicle Positioning System	微波:結合衛星定位與無線通訊技術的車輛定位
VPN	Virtual Public Network	虛擬專用網

英文縮寫	英文全名	中文
VSWR	Voltage Standing Wave Radio	電壓駐波比
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	微波存取全球互通
WPAN	Wireless Personal Area Network	無線個人區域網絡
WLAN	Wireless Local Area Network	無線區域網路
WMAN	Wireless Metro Area Network	無線都會網路
WWAN	Wireless Wide Area Network	無線廣域網路
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments	車用環境無線存取
WS	Wideband Signal	寬頻信號
Wi-Fi	Wireless Fidelity	無線相容性認證
16-QAM	16-Quadrature Amplitude Modulation	16 正交振幅調變
3G	3rd-Generation	第三代行動通訊
4G	4rd Generation	第四代行動通訊
64-QAM	64-Quadrature Amplitude Modulation	64 正交振幅調變
8VSB	8 Vestigial Side Band	八階殘邊帶

附件一 AOA/TDOA 實測展示會議

「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位系統交測定位實際驗證」

展示會議記錄

一、研討會議程:

- 舉辦日期：中華民國 101 年 11 月 14 日(週三)
- 時間: 上午 10:00～下午 15:00
- 舉辦地點：高雄科學園區(財團法人電信技術中心)、台南健康定向站、國立交通大學台南校區(高鐵台南站)
- 指導單位：國家通訊傳播委員會
- 主持人： 張耀堂博士(計畫主持人)
- 出席人員：國家通訊傳播委員會

單位	姓名
國家通訊傳播委員會資源技術處	陳福良
國家通訊傳播委員會北區監理處	陳敏雄
國家通訊傳播委員會北區監理處	江書緯
國家通訊傳播委員會中區監理處	張榮光
國家通訊傳播委員會中區監理處	顏標原
國家通訊傳播委員會南區監理處	洪英釋
國家通訊傳播委員會南區監理處	蔡鎮安
國家通訊傳播委員會南區監理處	林瓊華
國家通訊傳播委員會南區監理處	祝淑蘭
國家通訊傳播委員會南區監理處	魏倉景

單位	姓名
國家通訊傳播委員會南區監理處	賴厚充
國家通訊傳播委員會南區監理處	曾銘雄
國家通訊傳播委員會南區監理處	李顯昌

■ 出席人員：「特殊干擾處理技術與方法」研究團隊

單位	姓名
高苑科技大學	張耀堂博士
高苑科技大學	王春清博士
國立彰化師範大學	王維謙
高苑科技大學	劉家維

■ 出席人員：專家

單位	姓名
財團法人電信技術中心	蘇俊吉
美商國家儀器股份有限公司(NI)	蔡鎮宇
美商國家儀器股份有限公司(NI)	黃翔鉎

■ 實測驗證展示會議海報

高苑科技大學
KAO YUAN UNIVERSITY
指導單位 國家通訊傳播委員會

「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位系統交測定位實際驗證」展示會議

主辦單位：高苑科技大學
日期：101 年 11 月 14 日(星期三)
時間：上午 10:00 至下午 15:00
地點：高雄科學園區(財團法人電信技術中心)

議程表：

起迄時間	行程與主題	主持(講)人
09:50 – 10:00	來賓報到	
10:00– 11:00 (含車程)	TDOA– based 遠端(Remote Station)時間差測定站展示 (台南高鐵鄰近的交通大學台南校區) ● TDOA– based 定位系統遠端站台實機展示	國家通訊傳播委員會(NCC) 特殊干擾處理技術與方法研究團隊—(高苑科技大學、彰化師範大學、虎尾科技大學) 計畫主持人-張耀堂博士 與會專家: 財團法人電信技術中心 蘇俊吉博士 美商國家儀器股份有限公司(NI)公司
11:00-12:00 (含車程)	TDOA– based 遠端(Remote Station)時間差測定站展示 (台南健康路) 此站原為 NCC 所屬 AOA-based 測向站 ● TDOA– based 定位系統遠端站台實機展示	同上
12:00-13:00 (含車程)	午餐時間(交流與互動)	
13:00-14:00	TDOA– based 中心控制(Central Control Station) 時間差測定站展示 (財團法人電信技術中心實驗室) ● TDOA– based 定位系統中心控制站建置的實機展示	同上
14:00– 15:00	交流與討論	同上

二、展示會議現場照片

說明: 解說 TDOA-based 定位系統的建置(國立交通大學台南校區-高鐵台南站)

說明: 解說 TDOA-based 定位系統的網路頻寬需求(國立交通大學台南校區-高鐵台南站)

說明: 解說 TDOA-based 定位系統的天線形式(台南健康定向站)

說明: 討論 TDOA-based 定位系統的建置機房條件 (台南健康定向站)

說明: 解說 AOA/TDOA 整合應用的天線配置

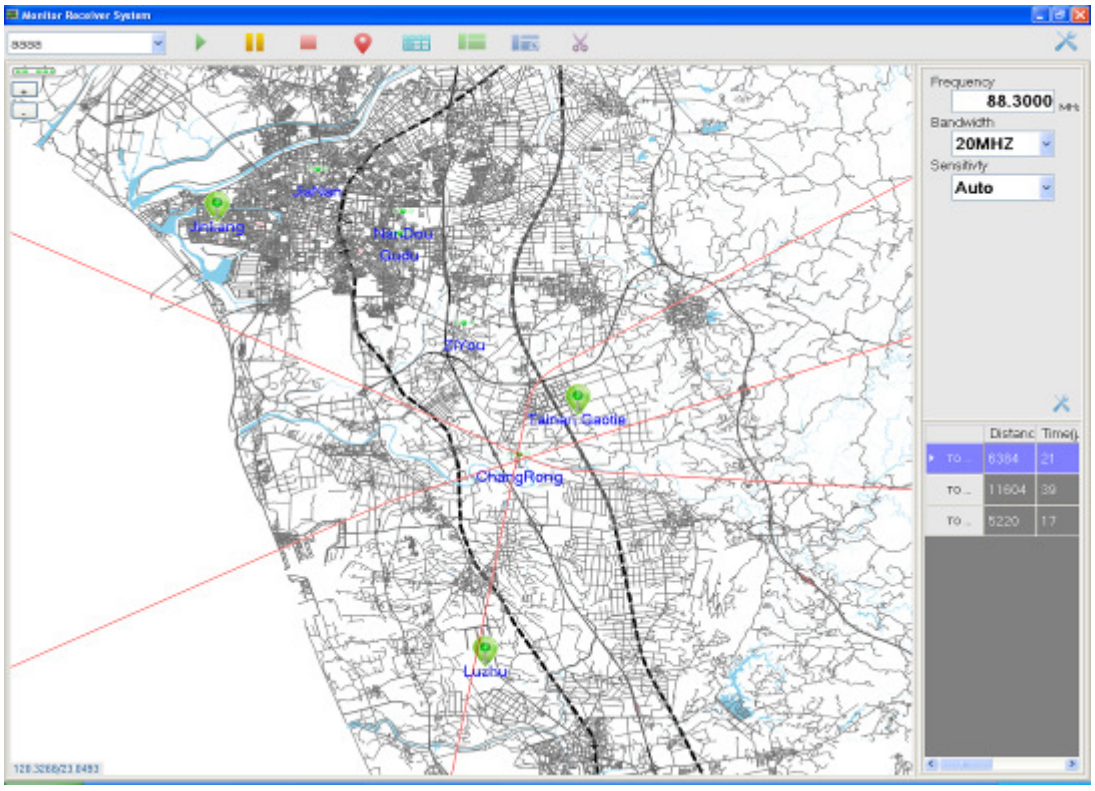
(中心控制站-高雄科學園區)

說明: 研討辨識 TDOA-based 雙曲線定位誤差以提高定向精確度的方法

(中心控制站-高雄科學園區)

說明: 解說 AOA/TDOA-based 定位系統選定監測站台的作業程序

(中心控制站-高雄科學園區)



說明: 展示 TDOA-based 定位系統的雙曲線定位機制

(控制中心站-高雄科學園區)

三、問題討論

1. TDOA-based 定位系統的「最小誤差距離」

在初期實測驗證過程中，使用 40 公尺傳輸線下，當兩個(壹組)監測站臺利用同一 GPS 定位信號，在接收相同訊號時顯示最小誤差距離約±4 公尺。

2. TDOA-based 定位系統的「最大涵蓋面」

在本次的北高雄與南台南定位區域的實測驗證展示中，三個監測站台分別建置於高雄科學園區、台南健康定向站與交通大學台南校區(高鐵台南站)。其中相距的最小距離為 9.94 公里，相距的最大距離為 20.05 公里。在 TDOA-based 定位過程中均能實現即時性的定位任務。驗證結果顯示：對於不同發射電台的相對地理位置，顯示出不同的定位精確度。

3. TDOA-based 定位系統上傳網路頻寬的需求

本次展示會議分別使用 3G 網卡(中華電信、遠傳與台灣大哥大電信公司)。實測過程中出現網路壅塞而中斷傳輸的情況，導致無法進行即時性的定位。然而，當使用者流量較低時(中午十二點到一點、下午五點過後)，實測過程中即可非常順暢地完成 TDOA-based 即時性定位。本研究的通訊協定封包設計中，上傳頻寬的需求約為 100Kbps(byte per second)。因應未來需要傳送更多的訊息。TDOA-based 定位系統的的上傳頻寬(up-link bandwidth)需滿足大於 1Mbps(byte per second)。若使用 TDOA-based 固定站可使用有線傳輸的光纖網路實現，即可克服頻寬不足的疑慮。在無線通訊上，待 4G 建置完成，更能確保 TDOA 定位系統網路上傳頻寬的穩定度與可靠性。若因 4G 建置時程無法超越 TDOA 定位系統的建置，本研究的規劃仍然可採用如下的解決方式:

原 TDOA 實驗設計欲利用 3G 行動通訊網路，進行即時 TDOA 定位。但由於實際在三個監測站點的 3G 網路即時頻寬，上傳網路一直無法達到穩定 100kbps 的傳輸資料量，因此實驗進行遭受困難。由於本實測 TDOA 監測定位系統雛型的電波監測接收機具有訊號錄製與回放功能。利用三個監測站點

在同一時間進行訊號錄製，再將各站資料攜回控制中心後回放。本實測過程中模擬三個站台即時同步狀況以進行 TDOA 定位量測。

為克服網路壅塞受阻，導致無法進行即時 TDOA 定位。因此，TDOA 定位系統其電波監測接收機，亦應具備訊號錄製與回放功能。首先由遠端下達錄製指令(其網路連線要求僅需小於 10Kbps)，並將訊號資訊由各地電波監測接收機蒐集完畢後，再由網路回傳資料或藉由儲存裝置攜回控制中心，即可避免因網路壅塞受阻而無法進行 TDOA 定位的任務。

4. TDOA-based 即時定位與離線解算作業程序

本研究主要實現了 TDOA-based 即時定位與離線雙曲線解算定位作業。在即時定位作業上，首先選定監測定位的站台(三個監測站台)並運用 3G 網路將所監測收錄到的發射電台訊號以數位封包協定傳送到中心控制站台(Central control station)，接著使用相關演算法(correlation algorithm)解算出 3 個時間差。最後，將 3 條雙曲線時間差線結合至地圖(MAP)上，即可取得發射電台的定位區域(經緯度資訊)，以完成 TDOA-based 即時性定位。

在離線定位作業上，可應用於通訊網路異常(例如：封包傳輸擁塞中斷)，或者需進一步分析發射電台信號的特性(例如：調變形式、頻寬)。本研究展示：可將測錄的訊號以重放檢視(Replay)的方式輸入相關演算法(correlation algorithm)中，以解算出 3 條雙曲線時間差定位線，並結合至地圖(MAP)上以完成離線方式的解算定位。

此研究計畫採用模組化方式進行 TDOA-based 定位系統的設計開發，並使用分段解構式的測試以驗證 TDOA-based 相關演算法(correlation algorithm)定位的正確性。其中在 TDOA-based 技術的校驗(calibration)的過程中，主要模擬同一個發射訊號同時經由不一樣時間延遲的傳輸線(同一信號經過信號分離器進入不同長度的裝置)之後，輸入 TODA 運算模組以驗證 TDOA-based 相關演算法(correlation algorithm) 的精確性。例如：比較直接傳輸與經過已知距離的傳輸線，可驗證不同路徑的時間延遲以驗證相關演算法(correlation algorithm)的時間差與距離差的精確性。更進一步，相較於 AOA-based 需進行繁複的方向線(Bearing)對應頻率的干涉術校驗 (Interferometry calibration)程序，TDOA-based 定位系統可提供較為簡易的校驗程序與站台建置。

5. 辨識 TDOA-based 定位系統交測雙曲線的信賴度以提高定位精確度

本研究案中，三個監測站台分別建置於高雄科學園區、台南健康定向站與交通大學台南校區(高鐵台南站)。TDOA-based 定位系統需選定三個監測站台以交測出三條雙曲線的經緯度。由於三條雙曲線的時間差均存在誤差，使得 TDOA-based 定位的結果會呈現出可信賴的區域範圍。因此，若僅有三個監測站台必然無法辨識出那些雙曲線的時間差定位線較為精確(錯誤機率較低)。

當三個監測站台對於所偵測的同一發射電台進行功率的量測過程中，若出現某監測站台所量測的功率呈現偏低的情況，有經驗的監測人員應該意識到該發射電台可能發生電波阻隔、衰減等障礙。此現象可能因為多路徑(Multi-path)、非直視性(non line of sight)的傳輸干擾而導致 TDOA-based 定位產生極大的誤差。相同於 AOA-based 定位系統，可由應用軟體的設定來決定「定位結果」信賴度的取捨準則(定位結果的採用或廢棄)。

在 TDOA-based 定位系統的實務應用上，必須建置多個(3 個以上) TDOA-based 監測站以涵蓋偵測區域。實務上更可依據上述電波功率與定位精確度相關性的辨識法則，在頻譜量測作業中選定電波功率強度較高(接近發射電台)的三個 TDOA-based 監測站台以取得較為精確的定位區域範圍(因其具有較低干擾，可獲得較為正確的雙曲線時間差定位線)。

6. 行動 TDOA-based 站在行進中同時執行都會區干擾處理的方法

先由不同的 TDOA-based 監測站量取信號的強度以決定接近發射干擾電台的地理位置的監測站。選定三個適當位置的監測站以執行 TDOA 定位量測。本研究所舉辦的 AOA/TDOA 定位技術研討會中，TCI/利傑科技公司宣稱其 TDOA-based 技術可搭載在飛機上且具有行動追蹤的定位能力，因其屬於軍事國防的規格，價格非常昂貴，不適用於民用商轉的需求。一般而言，TDOA-based 監測站尚無法在行進中同時執行 TDOA-based 監測站定位作業。

本研究採取的解決方案中，首先需將 TDOA-based 監測站或 TDOA 運載式設備固定在監測地點後，才能繼續進行較為精確的 TDOA-based 定位任務。在都會區出現微小的突短、寬頻訊號的干擾時，可運用建置更為密佈的

多個 TDOA-based 監測固定站，並搭配簡易定向設備(獵狐槍)以進行都會區的干擾處理。

7. AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用

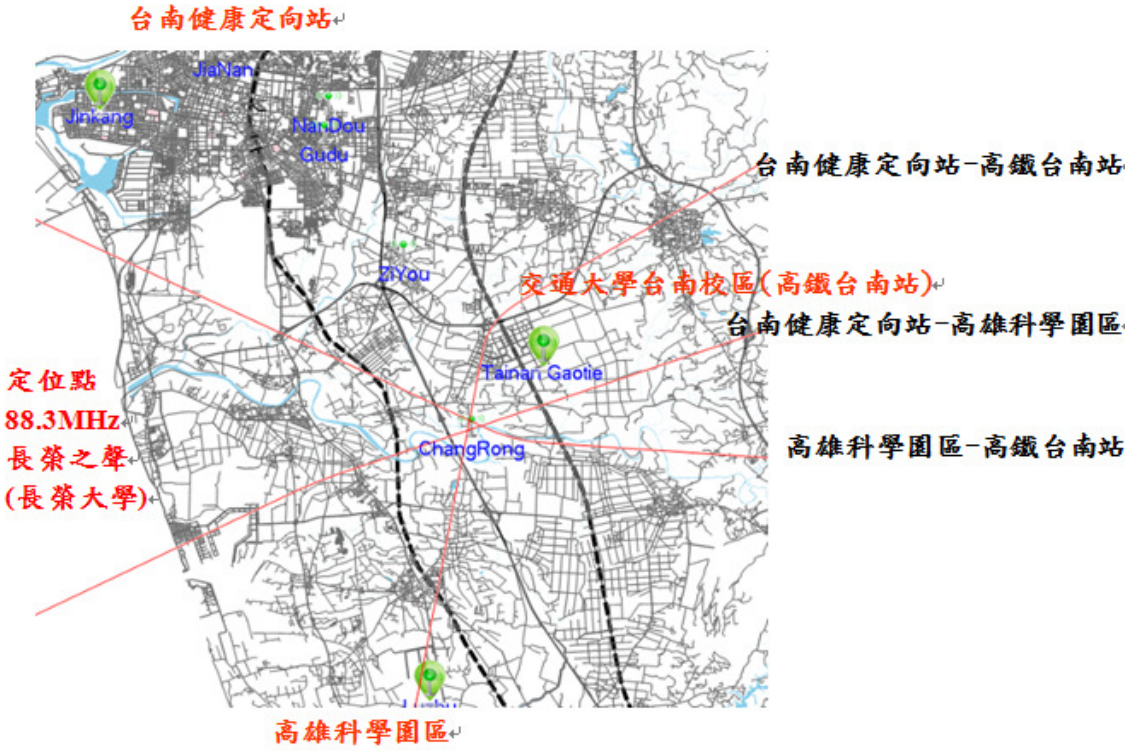
本研究分別於高雄科學園區，交通大學台南校區(高鐵台南站)與台南健康定向站建置三個 TDOA-based 監測站。為了實現 AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用，更進一步，在相同的高雄科學園區位置上建置 AOA-based 定向系統。本研究中 AOA-based 與 TDOA-based 技術相同與相異之處如下表所示：

定位技術 項目	AOA-based 技術	TDOA-based 技術
天線型式	繁複的天線陣列	簡易的天線
接收機數量	需要二套運算模組 (振盪器模組、Down converter 、Digitizer)	需要二套運算模組 (振盪器模組、Down converter 、Digitizer)規格與性能相同於 AOA-based 技術
定位演算法	量測發射電台的訊號(主要定位要素為訊號相位與功率)，並在監測站解算出角度後，上傳至到中心控制站台(Central control station)	量測發射電台的訊號(主要定位要素為訊號到達監測站的時間與功率)，上傳至到中心控制站台(Central control station)後，使用相關演算法(correlation algorithm)解算出 3 個時間差。

本實測驗證展示會議中顯示：基於 AOA-based 與 TDOA-based 技術的最大的差異性為軟體定位演算法的不同。在高雄科學園區的監測站的建置上，本研究係採用「無線電軟體」的設計開發。當經由高雄科學園區，交通大學台南校區(高鐵台南站)與台南健康定向站的三個監測站取得 TDOA-based 定位區域(Allocation area)，更進一步，為了提昇 TDOA-based 定位精確度，本研究經由高雄科學園區監測站，運用 AOA-based 單站測向技術，以解算發射電台的定向線(Bearing)，實現 AOA/TDOA-based 定位系統的整合應用。本研究顯示：在「無線電軟體」設計開發的原則下，可進行最小成本與最少

時間的改進與更新。更進一步，可整合 AOA-based 與 TDOA-based 協同定位的技術，實現 AOA/TDOA-based 監測站的建置。

四、實驗結果(摘錄於發射電臺為 88.3MHz)



附件二 期中審查意見回覆

1. 本案除蒐集現行可能干擾情形外，並應研析未來行動寬頻開放後可能之干擾狀況。

通傳會(NCC)為建立無間隙行動通訊網路環境，讓國人能享有高速、優質及多樣化的電信服務，規劃釋出 700MHz、900MHz 及 1800MHz 等計 3 組頻段，在不指定技術提供行動寬頻服務。未來行動寬頻開放後可能之干擾狀況分析如下：

- 鄰頻干擾：不同電信業者或不同設備在鄰近頻率相互干擾情形，基地台與手機設備應通過認證，確認射頻頻譜遮罩應符合相關技術規範。
- 射頻設備干擾：各國在 700MHz 頻譜因電信與廣播電視頻段相互交錯下較易產生干擾問題。例如 Ofcom 規範 LTE n±9 頻道發射限制上，我國屬清空型頻譜。因此電信與廣播電視頻段應無相互交錯之情形。但我國屬 ITU 頻譜第三區域，在 900MHz 未設置科工醫頻段，個人或業者將國外射頻器材攜入，將可能影響 900MHz 頻譜的行動寬頻服務。
- 特殊干擾設備：當 RFID 讀取器距離與行動裝置極為靠近時，將可能造成干擾影響。例如：高速公路 ETC 電子收費系統。另外部分監獄、教堂或學校使用的行動電話射頻干擾設備，也是造成干擾行動寬頻服務的因素。

已更正，感謝評審委員指正。

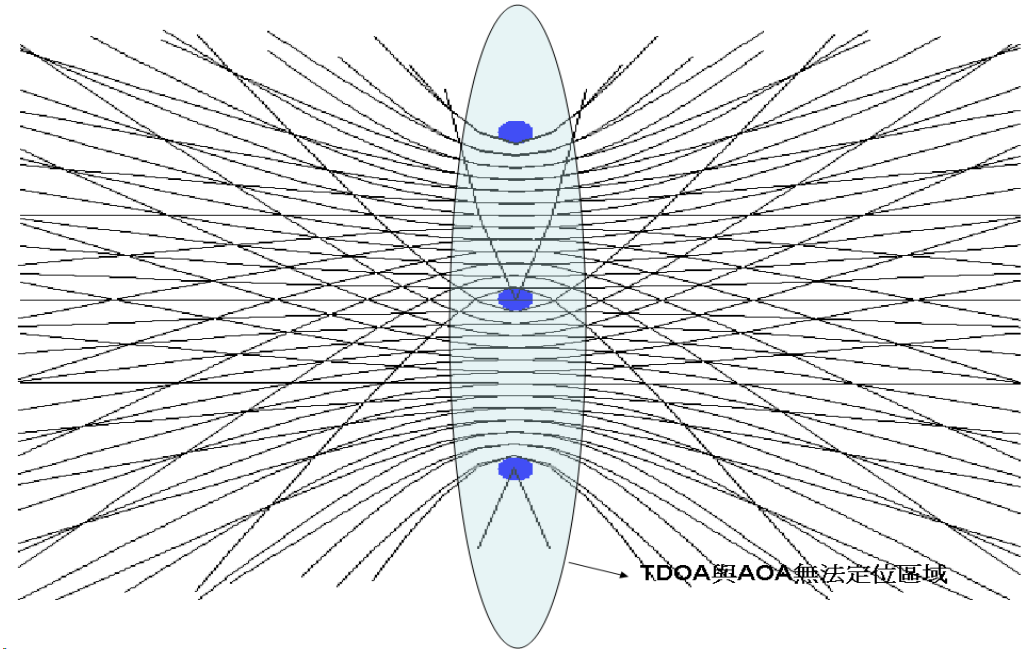
2. 有關國外干擾之處置方式應參酌我國國情，研提相關建議事項。

已更正，感謝評審委員指正。

(ETC 與 LTE 之間可能產生的干擾分析)

3. 應再加強研析 TDOA 結合 AOA 監測定位系統之優缺點。

- TDOA 監測定位系統優缺點分析如下：
  - 優點：成本較低、容易架設、天線小、設備簡單、可處理寬頻、跳頻等新興數位通訊訊號。
  - 缺點：三角形幾何外定位誤差大、相較 AOA 可定位範圍限縮、需對信號取樣最佳化。
- AOA 優點主要為單站即可呈現定位線、靈敏度較高、可定位連續信號（CW）。
- TDOA 結合 AOA 監測定位系統優缺點分析：
  - 優點:可結合上數 TDOA 與 AOA 優點,當兩個站同時具有 TDOA 與 AOA，可增加定位準確性，並且解決定位的幾何問題。如下圖所示，克服 TDOA 幾何問題，定增加定位範圍。
  - 缺點：監測站成本將提高約 1~2 成。



已更正，感謝評審委員指正。

4. 應增加廠商近年有否 TDOA 及 AOA 商用產品及其更新功能之相關資訊。

各國資料蒐集顯示，TDOA 定位技術還沒有被廣泛使用在頻譜監測，但由於價格低廉、設備緊湊與計算能力強大等優點，加上電信服務普及能隨時提供數據網路。因此，TDOA 的定向偵測越來越被頻譜監測所接受。TDOA 定位技術在射頻信號到達的時間，並比較每個接收器之間的時間差。TDOA 定位並不是新的技術，在國防軍事用途的無線電任務早已被廣泛應用。最新在一些特定的應用，如 GSM 的位置、緊急通訊（消防，救護等）也相繼導入 TDOA 定位技術之應用。世界各地不同國家已有多個設備供應商(製造商或整合商)宣稱投入 TDOA 監測定位系統的研發，但在電波監測與定向能力上，仍須針對各種訊號類型與各項所要達到功能目的，進行系統的設計。本研究藉由文獻蒐集及無線電定位實驗，設計選擇監測站位置及訊號源。

已更正，感謝評審委員指正。

5. 報告中常用專有名詞及術語中譯應力求前後一致，部分難以中譯者可以原文表達，以增加可讀性。

已更正，感謝評審委員指正。(中英文對照)

6. 干擾案件之綜整應依干擾類型分類，而非依國家別分類。

已更正，感謝評審委員指正。(已重新整理第二章)

7. 4 家設備商之資訊應包含性能比較及其商用實蹟。

已更正，感謝評審委員指正。

8. 期中報告有關美國電信機構應提供911緊急救援電話定位能力乙項，應屬電信業者之需求而與本案需求略有差異。

已更正，感謝評審委員指正。(已刪除)

9. 本案受託單位於研究期間應與本會適時討論，以利研究成果更符本會所需；模擬偵測測向範圍參數設計應符合設備規格。實測時應請本會人員參與。

✧ 本研究舉辦：「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位系統實際驗證程序」專案會議，邀請各 NCC 長官蒞臨指教

✧ 本研究舉辦:「TDOA 暨 AOA/TDOA 定位系統交測定位實際驗證」展示會議，邀請各 NCC 長官蒞臨指教(參閱附件一)

10. 期中報告資料請加強可讀性及論述之正確性（如現行商用 LTE 頻段並未包含 579~595MHz、英國尚未釋出 LTE 頻段、國外干擾之處理過程及方式究係其主管機關或研究團隊之建議等項？），應於期末報告中加以釐清。

此論文為模擬干擾狀況，假設分配頻道 34 給數位電視。而 LTE 使用頻分雙工(FDD)，然後假定分配給 LTE 的上行鏈路(UL)在頻道 32 和頻道 33，分配給下行鏈路(DL)在頻道 35 和頻道 36。模擬在此情況下 LTE 和數位電視接收器的干擾影響。

已更正，感謝評審委員指正。

附件三 期末審查意見回覆

1. 相關干擾處理案例應敘明可否以 TDOA 偵側？或有否其他偵測技術？案例涉及敏感部分宜加以過濾。

目前傳統電波監測定位技術，主要以 AOA 定位技術為主，AOA 定位技術所遇到之限制，與未來遭遇特殊干擾時，可導入 TDOA 監測定位系統協同 AOA 監測定位系統執行干擾防制的應用，其主要動機與原因敘述如下：

- 對新興通訊的信號類型，如 TDMA、CDMA、FHSS 等信號分析能力有限：以跳頻展頻技術 (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)而言，是將頻道劃分為若干個小頻道，傳輸訊號在這些小頻道之間跳躍發送，對 AOA 定位技術而言，無法追蹤進行測向的載波頻率，因此無法進行偵測定位。TDOA 對於新興通訊的信號類型，可以利用時域分析，將不同監測站所接收信號進行相關比對，所獲得時間差資訊，即可作為定位資訊使用。
- AOA 在多重路徑環境下表現不佳，無法在城市或大都市地區使用：早期 AOA 電波監測站臺通常建議在地形至高點，由於城市變遷，原本建置點可能因為周遭大型建築物興建下，使得變成非所在地形的至高點，因此在多重路徑環境下表現不佳。TDOA 雖然也有多重路徑環境下表現不佳的問題，但相較於 AOA 影響程度較小。
- 無法應付同頻在密集信號環境做監測：AOA 定位技術無法應付同頻號信號監測，尤其在同頻訊號密集的環境，TDOA 則可對同頻的信號類型，利用時域分析，將不同監測站所接收信號進行相關比對，比較是否接收到為同一發射源所發射之訊號類型。
- 不支持快速掃描：AOA 定位技術是由兩個接收機對同一訊號進行相位比較，再藉由陣列天線切換不同的天線進行運算，無法進行快速掃瞄工作。TDOA 僅需單一組接收機，可對不同頻率的信號類型，進行頻率切換，就可整合接收訊號與 GPS 接收到時間資訊。
- 需要大的天線陣列，且需要校准，使定位系統成本提高：AOA 定位技術需要陣列天線切換不同的天線進行運算，為配合需要較寬的頻率響應，因此天線體積較大，並且在安裝時需要對正北方進

行校准作業。TDOA 僅需單一全向性天線，也無須進行校準，利用 GPS 接收到的經緯度資訊，即可開始進行作業。

電波監測定位技術，未來除 AOA、TDOA 定位技術以外，干擾處理案例其他偵測技術，主要趨勢包括：(1).「信號位置擷取與蒐集系統」(Signal Location, Intercept and Collection System, SLIC)。主要功能將即時定位結果進行儲存，以利日後追蹤與資料搜尋。傳統電波監測定位技術因儲存設備容量的侷限，導致無法將即時定位結果儲存記錄，以進行後續的測向信號分析與解調、解碼。(2). AOA 與 TDOA 混合定位技術。利用 AOA 與 TDOA 資訊互補方式，結合相互優點進行電波監測定位，但目前蒐集各國電信監理機構等相關資料，尚未將兩種先進技術實際納入電波監測管理，故本研究著重於分析並探討 TDOA 技術的發展與實現。

已更正，感謝評審委員指正。

2. 國外監理機關雖較缺乏定位系統應用實例，惟部分實驗或規劃中之案例亦具參考價值，應再增加例舉。

➢ 美國

在 2010 年 8 月美國聯邦通信委員會（FCC）的公共安全和國土安全局（PSHSB），發出公告（RFQ100000PS5）預先採購 TDOA 之設備以進行設計和開發一個自動化 TDOA 的射頻信號發現系統。其操作在 VHF 和 UHF 頻段，並且可直接呈現地理位置資訊。該合約的預算約為 700 萬美元。FCC 將在評估過程中，確認廠商過往相關經驗和設備性能。該採購分為三階段，執行如下：

- 第一階段：承包商提供 TDOA 系統，包括：購買與使用所有設備的完整清單。製造商、型號、序列號的列表。並提供系統的原理和裝配圖，或提供現場測試前的裝配手冊。
- 第二階段：在哥倫比亞特區，馬里蘭州和華盛頓特區的現場進行系統測試。
- 第三階段：在安裝時間內，承包商應完成 TDOA 系統在美國大陸的永久部署。

已更正，感謝評審委員指正。

3. 規格建議部分，除參酌 ITU 建議外，應加入現行設備商可符合之最佳規格，並提出研究團隊之建議，且應具體明確而非抽象說明。

- TDOA 監測定位設備規格之建議

已更正，感謝評審委員指正。

4. 有關 TDOA 定位系統網路頻寬需求易因網路壅塞受阻無法達到，研究團隊宜提出可行之替代建議方案。

- TDOA-based 定位系統上傳網路頻寬的需求

原 TDOA 實驗設計欲利用 3G 行動通訊網路，進行即時 TDOA 定位。但由於實際在三個監測站點的 3G 網路即時頻寬，上傳網路一直無法達到穩定 100kbps 的傳輸資料量，因此實驗進行遭受困難。由於本實測 TDOA 監測定位系統雛型的電波監測接收機具有訊號錄製與回放功能。利用三個監測站點在同一時間進行訊號錄製，再將各站資料攜回控制中心後回放。本實測過程中模擬三個站台即時同步狀況以進行 TDOA 定位量測。

為克服網路壅塞受阻，導致無法進行即時 TDOA 定位。因此，TDOA 定位系統其電波監測接收機，亦應具備訊號錄製與回放功能。首先由遠端下達錄製指令(其網路連線要求僅需小於 10Kbps)，並將訊號資訊由各地電波監測接收機蒐集完畢後，再由網路回傳資料或藉由儲存裝置攜回控制中心，即可避免因網路壅塞受阻而無法進行 TDOA 定位的任務。

已更正，感謝評審委員指正。

5. 台北都會區監測站選址及站台數建議應有評估說明，並說明 TDOA 偵測技術之限制。

- 為了 AOA/TDOA 導入特殊干擾防制的應用，台北都會區監測站選址及站台數建置的原則與具體可行方案說明如下:

定位範圍評估，主要考量如下：

- 定位技術：採用 AOA 或 TDOA 定位技術

- 電波監測設備：包括接收機性能、天線。
- 站點位置：監測站點與被偵測區域的範圍。
- 電波傳播模式：地形與訊號衰弱之影響。

台北市面積約為 271.8 平方公里如圖 7-13 所示。大屯火山群位於市區北邊，市區東邊的內湖、南港與南邊的木柵多為丘陵地形；地形上台北市可以劃分成 3 個主要的地形區，分別是北邊大屯火山區、東邊丘陵區及西邊平原地區。

已更正，感謝評審委員指正。

- TDOA 監測定位站導入干擾辨識、分析(定位)與防制的應用

已更正，感謝評審委員指正。

6. 研究報告撰寫格式、章節段落規範應一致化，請再加以檢視修正。

已完成格式與篇幅之修正，感謝評審委員指正。

7. 本案受託單位依限繳交期末報告初稿，符合契約規定期程，經審查會討論後，初步認定尚符計畫需求，惟請受託單位依審查會委員意見修正期末報告，先提供電子檔供委員審查後再送本會確認。

於 2013-1-31 送出修正檔