衛星監測及干擾源定位技術可行性之研究

期末報告

委託機關：交通部電信總局

受委託機關：國立交通大學

計畫期限：自 94 年 6 月 13 日起

至 94 年 12 月 29 日止

計畫主持人：唐震寰

協同主持人：林根煌、黃曉儒

中 華 民 國 九 十 四 年 十 二 月

目錄

圖目錄

表目錄

摘要

在衛星通訊中，干擾事件是國際間所重視的問題。大多數干擾事件並非是有意的，而是由於人為的操作錯誤與設備的故障所造成，但也有少部分來自有意的干擾，為了保障衛星廣播電視的資訊安全與通訊品質，可利用現有或未來規劃的監測站系統設備來對抗干擾事件的發生。當所使用的衛星受到不明干擾源侵襲時，則需要通過相關的定位與監測技術察明干擾源的準確位置。

對於處在同步軌道衛星的干擾，使用兩顆衛星所達成的干擾源**雙衛星定位技術**，為目前偵測未知干擾源的主要方法，利用結合干擾信號之到達時間差(Time Difference Of Arrival，TDOA)與到達頻率差(Frequency Difference Of Arrival，FDOA)達成。但在某些特殊情況下，只能得到 TDOA 或 FDOA 之值，就必須使用兩顆輔助衛星來達成 TDOA-only 或 FDOA-only 之定位技術。另外，亦有使用單一衛星所達成的**多波束天線(Multi-beam Antenna，MBA)定位技術**。本計畫已完成相關衛星監測及干擾源定位技術之介紹、分析，進一步撰寫數值模擬軟體，評估 TDOA-only 法、FDOA-only 法及 TDOA/FDOA 法（雙衛星法）之定位預估準確度及可信度；雖然 TDOA/FDOA 法具有較小之定位誤差，然而在一般 TDOA 與 FDOA 誤差範圍內，它所產生的可能干擾源之橢圓區域面積大到數十平方公里，甚至到數百平方公里。

此外由於台灣只有一顆自主性的衛星，對於採用雙星定位技術或許尚有其執行的瓶頸，本研究特別提出一種創新之**地面監測站衛星干擾源定位法**，此定位法係利用台灣地區衛星地面監測站(Earth satellite monitor station)的方式接收衛星上鏈天線信號的旁波瓣信號及以一個以上的監測站收到同一信號之到達角(AOAs, angle of arrivals)做衛星干擾源的定位技術可行性評估，根據初步分析結果地面監測站依接收信號載波雜訊比分析 Carrier to Noise Ratio (minimum acceptable C/N level)，若監測站位於干擾源發射天線中心波束 45°內，且偵測頻寬在 2MHz 以下，Ku 偵測有效距離達約 11 公里，理論上能夠提供較精準的定位結果；然而利用電信總局現有衛星地面站台作為干擾源定位監測站，仍有覆蓋區域似有不足的問題，Ku band 的有效偵測範

圍僅佔台灣面積的 3.8%，為了輔助現有衛星地面站台的不足，本研究議題出使用移動式地面衛星監測車輔助固定式地面監測站之解決方案。

根據本計畫相關研究成果，建議台灣使用**複合式定位法**，該方法結合雙衛星法及地面監測站定位法，以彌補雙衛星法定位不夠準確的缺點。地面監測站定位系統係在台灣地區設立地面固定監測站（可與電信總局現有之電波監測站結合）及行動式監測車，利用這些監測站／監測車接收衛星上鏈天線旁波瓣信號之到達角，做為地面干擾源的定位資訊，並進行定位評估。在衛星通信干擾處理作業流程方面，本研究提出一般性之作業流程規範作為未來研擬標準流程之參考，該流程主要參考國際現行之干擾源監控處理作業流程彙整而得，進一步之作業流程與細節可參考國際上相關標準與文件。

關鍵詞: 雙衛星定位、多波束天線定位、地面監測站衛星干擾源定位、複合式定位法

第一章　序論

1.1 干擾種類及干擾源定位技術文獻回顧

對於靜止軌道商業通信廣播衛星而言，可以將干擾分為兩種類型：無意的干擾與有意的干擾。其中，有意的干擾又可分成兩類，通道干擾與內容干擾。通道干擾是指干擾信號使得正常信號訊雜比降低，利用過大的干擾信號功率來淹沒正常信號；內容干擾是指破解通道信號後，加入干擾內容，進行通道信號內容的更換。

無意的干擾大致來自以下三種途徑：

（1）來自靜止軌道衛星通信網路的干擾。主要是因為靜止軌道中頻率重複使用率高，而造成相鄰軌道位置同頻率之同步衛星間的相互干擾。這種干擾可以透過衛星網路間的技術協調等措施來解決。

（2）來自非靜止軌道衛星網路的干擾。主要是因為各種非靜止軌道衛星網路與靜止軌道的衛星網路，在相同工作頻率下，同時運作而引起的干擾，通常這種干擾的解決方法是對非靜止軌道衛星系統參數進行約束或採用其他相關措施來解決。

（3）來自地面站台通訊網路間的干擾。主要是因為地面站台與靜止軌道衛星網路，在相同工作頻率下，同時運作而引起的干擾，通常這種干擾使用頻率與空間隔離及技術協調等相關措施來解決。

有意的干擾大致來自以下三種途徑：

（1）盜用轉發器與功率資源。干擾源利用站台天線，將波束指向選定的受干擾衛星，發射已調變干擾信號，盜用衛星轉發器頻率與功率資源，以進行非法信號的傳輸，通常會發生在閒置的轉發器。此種干擾事件較常見。

（2）破壞衛星轉發器正常信號傳輸。干擾源利用地面站台天線，將波束指向選定的受干擾衛星，發射大功率的干擾信號，阻礙衛星上轉發器的正常運作，使正常信號無法進行傳輸或傳輸品質下降。

（3）利用衛星轉發器傳送非法信號。干擾源利用地面站台天線，將波束指向選定的受干擾衛星，發射比正常信號大很多的已調變干擾信號，迫使衛星轉發器傳輸干擾信號，並在破解密碼後，使接收端收到非授權的干擾信號。

為了減少地面站台對同步衛星的干擾，針對地面站的大型天線，國際電信聯盟(International Telecommunication Union，ITU)曾推薦天線輻射的場型要維持在 $32-25\log\theta$ 的特性。但面對同步軌道上應用衛星急速的增加，導致衛星與地面站台間天線輻射場型的主波束 (main lobe) 與旁波瓣 (side lobe) 間互相的干擾日趨嚴重。所以美國聯邦通訊委員會(Federal Communications Commission， FCC)在 1983 年針對地面站台天線公佈更嚴格的標準，場型須維持在 $29-25\log\theta$ 的特性，以便對付在同步軌道壅塞的情況，但仍然無法完全有效的降低干擾的發生。

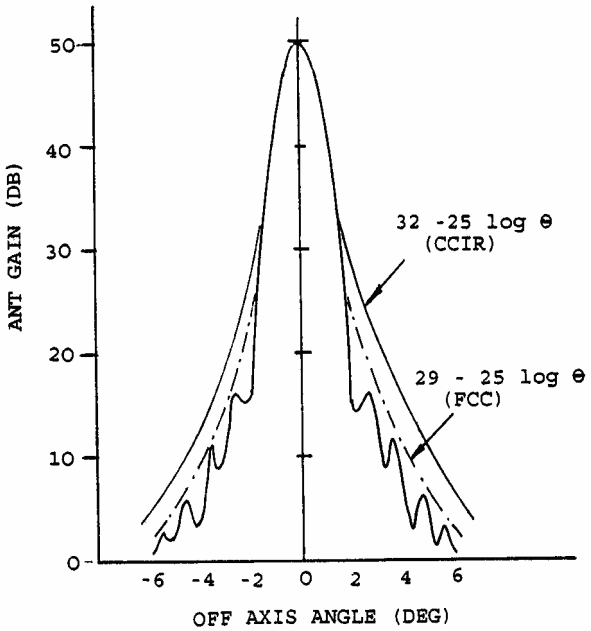


圖 1. 1　FCC 與 CCIR 地面站台天線場型的標準[1]

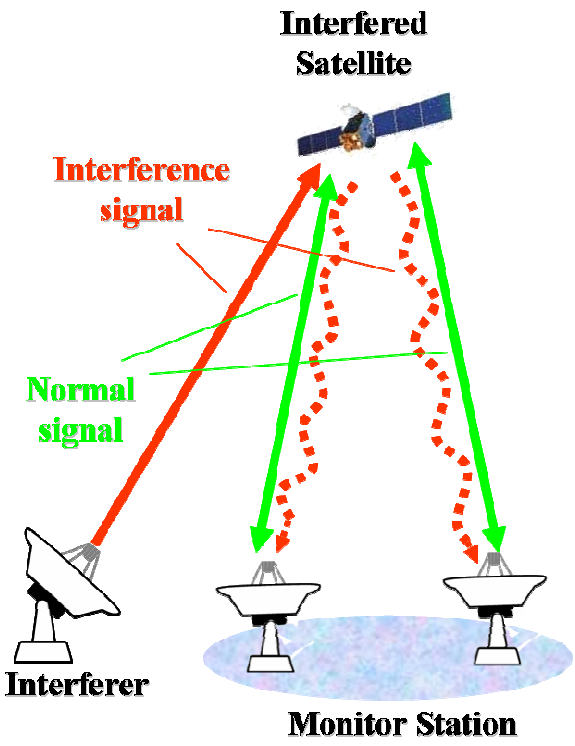


圖 1.2　衛星受干擾之示意圖

在近幾年所發生的重大衛星干擾事件，如 1986 年干擾信號“船長的午夜(Captain Midnight's)”擷取 HBO Galaxy II 的轉發器[2]、1995 年 12 月到 1997 年 7 月間，庫德族人的電視台，Med TV 所使用商業衛星的類比信號被有意的干擾[3]與 2002 年中共 SINOSAT 的干擾事件[4]，相關單位才漸漸察覺到干擾信號對衛星通訊的威脅，這些事件是因小型衛星地面站發生故障或人為所引起的干擾事件。

由於衛星地面站的激增與同步軌道的壅塞，而必須使用一些方法對未經許可的干擾源作監測與定位。在文獻[5]中介紹到，美國在 1982 年末期開始著手研究 UHF 手機通訊通道干擾的可能性[6-7]，在 1983 年與 1984 年初次的定位實驗使用連續信號(Continuous Wave，CW)的到達頻率差來達成定位，到 1985 年才使用已調變信號達成 TDOA 與 FDOA 的定位，在 1986 到 1990 年間，SHF 頻帶的定位研究才開始進行，在 1987 年，英國的國防評估與研究局(Defense Evaluation and Research Agency，DERA)與美國的海軍太空指揮部(US Naval Space Command)共同合作 UHF 頻段的衛星干擾源定位技術[7-10]。在 1993 年，EUTELSAT 對於英國的 DERA 所發展的發射機定位

系統 (Transmitter Location System，TLS)相當感興趣，隨後，DERA 即幫助 EUTELSAT 選定一套最合適的定位技術[12]，且評估此技術在 EUTELSAT 環境下的效能與實際的系統測試。在 2001 年，英國 DERA 成立 QinetiQ 公司並發展 satID 技術以解決衛星通信中的干擾問題，該技術可以對威脅衛星通信的發射源進行定位。多衛星定位技術是根據衛星在同一時刻的不同斜距差和斜距差率，依照已有的衛星位置和速度數據實現的。此定位系統係利用干擾信號到達兩衛星之時間差與頻率差對干擾源進行確認與定位。在微秒的時間估測值與毫赫芝的頻率估測值下，因此精準度約 10 至 20 公里，並且會通知政府與衛星相關業者注意未知的來源攻擊，目前美國國防部已向此家公司購買兩套完整的干擾源定位系統。美國 Interferometrics 公司的 TLS (Transmitter Location System) Model 2000 定位系統，此定位系統係利用干擾信號到達兩衛星之時間差與頻率差對干擾源進行確認與定位。結合準確的衛星軌道運行資訊，其精準度可達約數十幾公里。另外，日本在 1996 [29]年提出衛星上多波數天線 (Multi-Beam Antenna, MBA)定位法，此定位技術是使用一顆同步衛星達成到達角度的量測，評估干擾源入射到衛星的角度，衛星波束配置為東西南北各一個波束，干擾源落在四波束重疊的區域，因衛星上天線的增益為已知，指向東西方向的兩波束所量測到的功率比值，若等於衛星天線增益的比值，可得到一南北向之增益比等高線所對應的到達角度，而指向南北方向的兩波束所量測到的功率比值，若等於天線增益的比值，可得到一東西向之增益比等高線所對應的到達角度，兩條增益比等高線的交點即為干擾源可能落在的位置。此定位方法的優點為：(1)單一衛星即可達成、(2)與雙星定位技術相較，可提供更及時的定位、(3)與干擾信號的形式無關，故不需額外的信號處理與計算。但此方法不易得到高精準度的定位，主要是因為衛星距地表較遠，對於角度上的誤差相當敏感所導致。最後，中國大陸之鑫諾 2 號通信衛星將於 2005 或 2006 年升空，鑫諾 2 號在設計上採取了抗干擾措施。例如，在衛星天線波束的設計上，採用空間隔離的方法，針對來自上行的惡意干擾，衛星上行波束設計有幾個波束；同時，採用靈活的轉發器配置和轉發器與不同波束之間的靈活連接、切換方式，以達到有效避免惡意干擾的目的。SUIRG (Satellite Users Interference

Reduction Group)組織，該組織致力於降低衛星干擾事件的發生，使其對業界所造在經濟上的損害減少，並且每年會定期舉辦會議提供這方面相關的訊息，介紹可降低或排除干擾的方法與設備給各國衛星相關業者。SUIRG 針對干擾事件作一統計，發現約有 70%發生在大西洋地區，因為此地區衛星使用率相當高，使得大量的地面站台天線對衛星進行存取，以致干擾事件的激增。如圖 1.3 所示為干擾事件發生之各項因素統計。

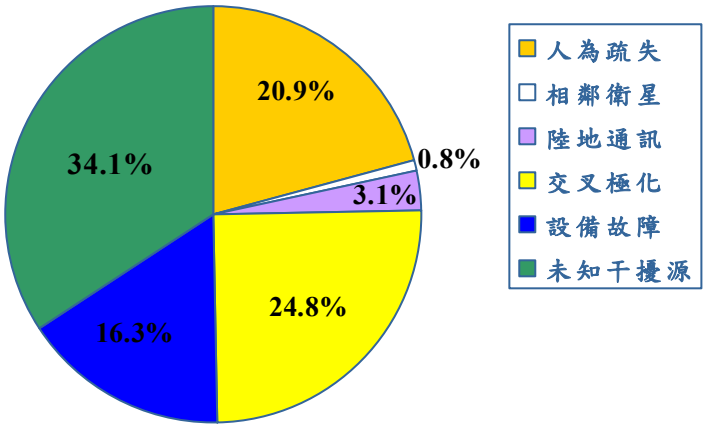


圖 1. 3　干擾事件發生之各項因素統計

在近年來的相關研究文獻[12]-[31]中提到，地面監測站所欲量測的干擾信號，可以是數位信號、連續信號或是電視訊號等，在一般的情況下，我們會比較希望採用結合 TDOA 與 FDOA 的定位技術，然而在某些情況下，我們只能量測到干擾信號的到達時間差或頻率差。例如，對於干擾信號是一個寬頻的電視訊號，它在某個較窄的頻帶中功率密度是很小的，或者是掃頻信號，上述情形就可以考慮使用 TDOA-only 的定位技術；另外，若干擾信號是一個未經調變的連續信號，我們就無法得知此信號時序的資訊，我們就可以考慮採用 FDOA-only 的定位技術。因為上述的方法都必須使用到受干擾衛星以外的衛星，來提供輔助定位的量測，但由於輔助衛星所接收到的是干擾源的旁波瓣，一般來說它的功率會比主波束小 30dB 到 40dB，使用一般的接收機較難去偵測到此干擾信號，所以在只有受干擾衛星可用的情況下，我們可以考慮採用受干擾衛星上的多波束天線來達成定位，其他混合式的定位技術有結合類神經網路與 MBA 的定位法，與結合 TDOA 與干擾信號相位差的定位法。

1.2 國內、外衛星通信規範說明

衛星通信具有傳輸距離遠、涵蓋面廣、不受地理條件限制、通信頻帶寬、容量大等優勢，在通信及廣播電視上已經廣泛應用，為傳輸的重要管道之一。尤其在亞洲，由於衛星大量發射升空，衛星與衛星間距離日益擁擠（目前為軌道 2 度間格）；加上 SNG 車、DBS 網際網路服務和小型衛星地球電台（VSAT）網路之大量使用，以及不適當的上鏈功率控制、追求安裝便宜卻品質不良的設備等。使得衛星干擾目前已經形成整個全球嚴重問題，一旦發生衛星干擾事件，衛星經營者往往需要花費相當多的金錢與人力資源來解決，動輒引起國際組織關心注意。若干擾來源引發是由本國人士造成，對於國家聲譽將造成嚴重影響。2002 年 6 月和 9 月，鑫諾衛星連續遭到非法信號攻擊，衛星轉頻器傳輸的廣播電視節目受到嚴重干擾，部分用戶無法正常收看電視節目。這種干擾廣播電視節目正常播出和衛星正常使用的嚴重違法活動，違反了有關國際公約和民用通信的基本準則，危及國家安全，侵犯公眾權益。

隨著資訊化社會的到來，國內外都很重視資訊安全問題。如何保障衛星通信、廣播業務的運行安全和資訊安全問題已引起社會的普遍關注。爲了確保衛星廣播電視節目的播出、傳輸和接收的安全，對現有系統的地面設備應進行安全改造，對未來衛星和地面設備的研製應有抗干擾能力和安全措施。有鑑於此國內電信總局已經制訂相關管理辦法和技術審驗規範，包括：衛星通信業務管理規則、衛星廣播電視工程技術管理辦法、衛星通信業務技術審驗作業要點、衛星固定通信網路技術審驗規範、衛星行定通信網路技術審驗規範、衛星固定地球電臺技術審驗規範、衛星廣播電視工程技術審驗規範。至於對於蓄意性非法干擾衛星通信、廣播國內人士則有以電信法為依據的法律加以嚴懲。

至於國外部分，首先，國際電聯會（ITU）則扮演全球衛星通信協調與仲裁協商的角色與地位。在 ITU Radio Regulation Article S5 中，ITU 定義衛星頻譜使用規範，在不干擾使用前提之下，各國均需依循國際頻率指配原則執行。ITU Radio Regulation Article S21 則對衛星波束發射至地球電台強度制訂其強度限制。而在地面衛星地球電

臺及其相關設施端視各國電信、廣播監理單位訂定其相關法規、罰則與工程技術審驗規範來避免干擾發生。近十年來越來越多國際組織、協會日益重視衛星干擾所造成的嚴重問題， 在他們不斷努力之下，對衛星上鏈業 8005 開發訓練課程與執照認證、協調衛星傳輸設備製造商加入信號認證以及聯合起來對衛星使用族群制訂共通載波上鏈進接程序(UCUP：Universal Carrier Uplink Procedures)。這個由 Satellite Users Interference Reduction Group(SUIRG:成員包含 Intelsat, PanAmSat, Inmarsat, New Skies Satellites, QinetiQ 和 Glowlink)和世界廣播協會（WBU：World Broadcasting Union）之分會 ISOG(Inter-Union Satellite Operations Group) 的 Rogue Carriers Working Group(RCWG)所合作開發的 UCUP 目前已經廣泛為其他組織包含 CASBAA (Cable & Satellite Broadcasting Association of Asia)、SIA (Satellite Industry Association)、WTA (World Teleport Association)等簽署認同。由於其進接至衛星轉頻器皆有一定標準程序，預期將可以大幅減少未來衛星通信、廣播上鏈業者因為粗心大意所造成的非蓄意性干擾。

本報告之其他章為：第二章評估與比較地面干擾源定位之優缺點、第三章 分析地面干擾源衛星定位技術(TDOA、FDOA、TDOA/FDOA)之數值模擬、準確度及可信度評估、第四章　　衛星監測與干擾源定位技術與系統之建議、第五章　衛星監測與干擾源定位之系統架構與規格分析、第六章　衛星監測與干擾源定位之作業流程建議及第七章 結論

第二章 評估與比較地面干擾源定位之優缺點

在衛星干擾源定位的技術中，我們會根據衛星在受干擾當時的地理位置、信號的形式與受干擾時間的不同，選擇合適的干擾源定位技術，目前所提出的定位技術有，TDOA-only 定位法、FDOA-only 定位法、結合 TDOA/FDOA 定位法、衛星上 MBA 定位法、結合 TDOA 與干涉技術定位法、結合輻向基底函數類神經法與 MBA 技術的定位法，接下來將簡述上面所提的定位法。

2.1 單一到達時間差(TDOA-Only)定位法

在文獻[1][2]提到在此定位技術中，我們將採用三顆同步衛星接收地面干擾信號，如圖 2.1 所示，干擾源天線的主波束對準中間的受干擾衛星，會得到一個上鏈路的傳播時間，而旁波瓣會被兩旁的輔助衛星所接收，亦會得到兩個上鏈路的傳播時間，經由時域的相關計算，如交互相關(Cross-Correlation)、循環交互相關 (Cyclic Cross Correlation，CCC) [3][4]與廣義交互相關 (Generalized Cross Correlation，GCC) [5]等，最後可得到兩個 TDOA，代入已知的地理資訊，會在空間中形成雙曲面，如圖 2.2 所示，而此雙曲面會與地表產生一條交線，兩條交線會在地表上交於一點，此交點即為干擾源可能落在的位置。此定位技術無法對未經調變的連續信號進行定位，因為沒有時序的資訊，除非經由兩路徑差所得到的 TDOA 值小於一個時間週期，否則無法明確的指出干擾源的位置。在某些情況下，只有一顆輔助衛星可以被用來達成定位，則需要做長時間且多次的定位，以確保地面站台與衛星間的地理位置有足夠大的改變，所產生的多組位置線亦會交於一點，但此方法的精準度不足且需要時間較長。

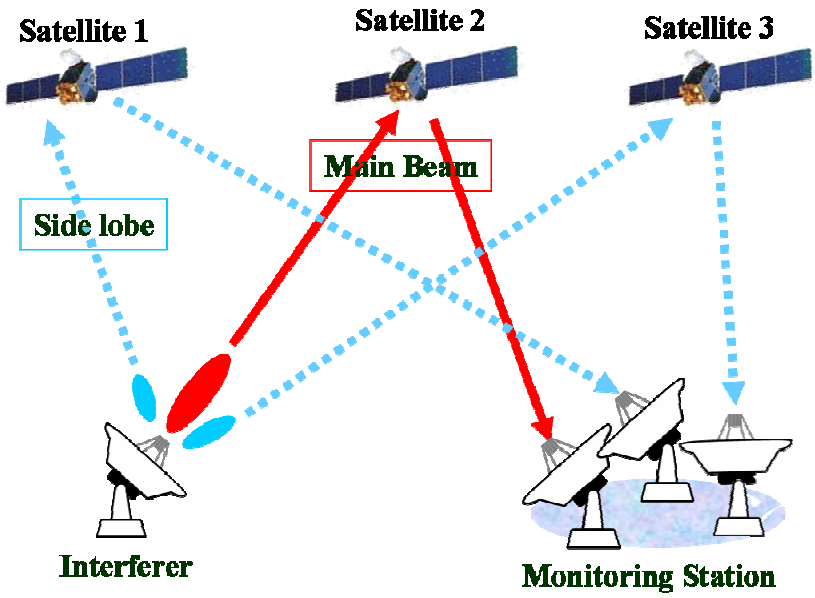


圖 2. 1　　TDOA-only 定位技術的配置

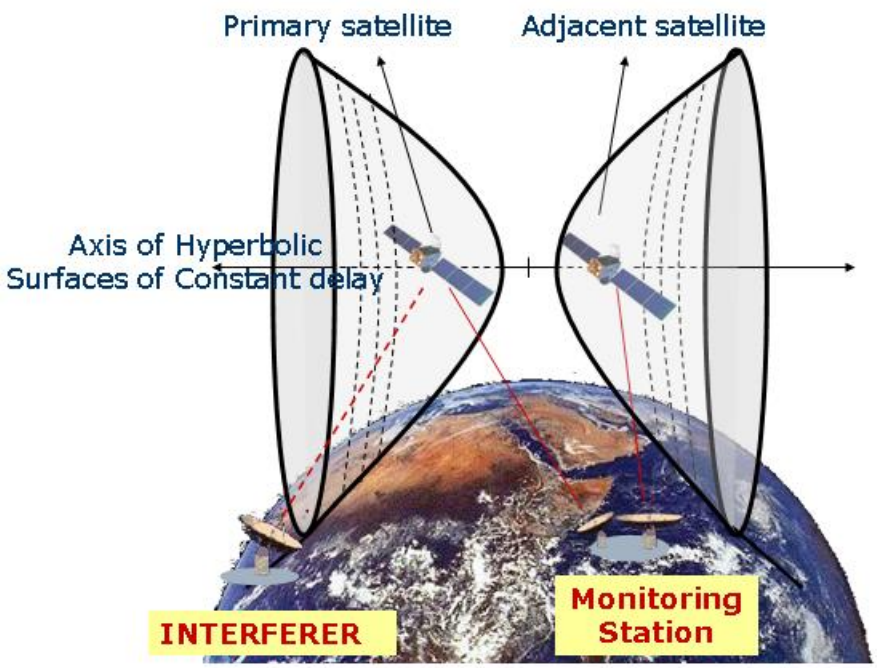


圖 2. 2　　TDOA 所產生之雙曲面

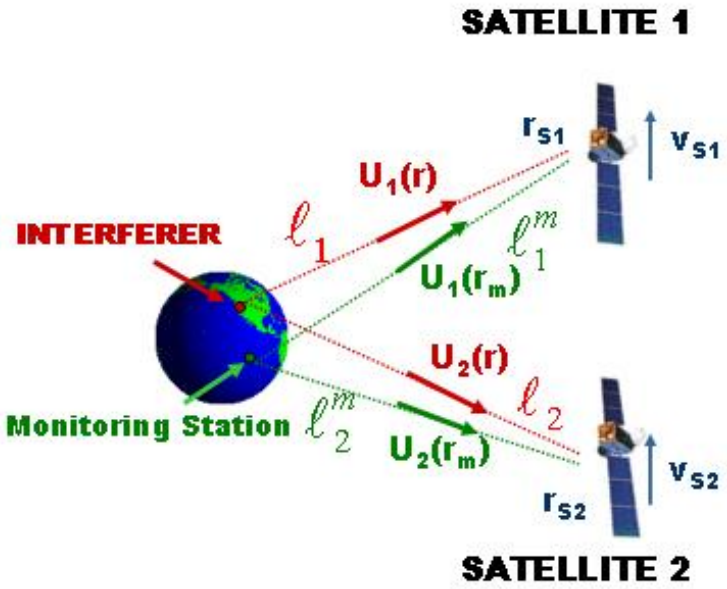


圖 2. 3　　雙星定位技術的幾何架構

2.1.1. DOA 定位誤差來源

TDOA 的定位誤差大部分主要來自星曆表的不準確所導致，因為不正確的衛星位置估測，使得與實際位置有大約數公里的誤差，換算成時間差後，會有幾微秒的誤差，其他的誤差來源，如衛星上轉發器的轉發延遲、地面監測站處理干擾信號所產生的時間延遲與因干擾信號傳播時經過大氣層所產生的傳播延遲。表 2.1 為 TDOA 的誤差項與其誤差值。

表 2. 1　　TDOA 的誤差項[6]

TDOA 誤差項	誤差值(s)
傳播延遲效應(ex. 大氣層…)	5×10^{-8}
衛星轉發器轉發延遲	1×10^{-8}
星曆表誤差	2×10^{-6}
地面監測站	1×10^{-7}

2.1.2. 斜距差(Differential Slant Range，DSR)位置線推導

因為 TDOA 是利用比較兩路徑的距離除以光速所得到，所以首先介紹地面站與衛星距離的計算方法，此距離稱為斜距(Slant Range)，

圖中 **I** :地面站台之位置
S :同步衛星在赤道上之副衛星點(sub-satellite point)
M :地面站台之經度與赤道之交點
θ :地面站台至副衛星點之弧長距離(arc length distance)

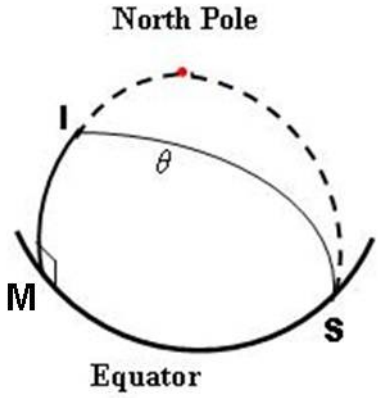


圖 2.4 計算斜距之相關球面三角形

圖 2.4 之球面三角形 **IMS** 與地面站台之經度(L_{OI})、緯度(L_{AI})及同步衛星之經度(L_{OS})、緯度(L_{AS})有下式之關係。

$$\cos\theta = \sin(L_{AI})\sin(L_{AS}) + \cos(L_{AI})\cos(L_{AS})\cos(L_{OS} - L_{OI}) \tag{2-1}$$

因為我們所熟知理想的同步衛星之緯度為零($L_{AS} = 0$)且無軌道傾斜度($i = 0$)，故(2-1)可簡化為

$$\cos\theta = \cos(L_{AI})\cos(L_{OS} - L_{OI}) \tag{2-2}$$

斜距定義如下：

$$\mathrm{r_e} = [(\mathrm{h}+\mathrm{R})^2 + \mathrm{R}^2 - 2\mathrm{R}(\mathrm{h}+\mathrm{R})\cos\theta]^{1/2} \tag{2-3}$$

其中，h=衛星距地面高度(35786 km)，R=地球半徑(6378 km)，r_e 為地面站台至衛星之斜距。

經由圖 2.3 的幾何架構，我們可以分別得到兩個 TDOA 的值為

$$\begin{aligned}\left(\mathrm{TDOA}\right)_{21} &= \frac{1}{c}[(l_2 + l_2^m) - (l_1 + l_1^m)] \\ &= \frac{1}{c}(\left|\mathbf{r}_{S2} - \mathbf{r}\right| + \left|\mathbf{r}_{S2} - \mathbf{r}_m\right| - \left|\mathbf{r}_{S1} - \mathbf{r}\right| - \left|\mathbf{r}_{S1} - \mathbf{r}_m\right|) \quad , \end{aligned} \tag{2-4}$$

$$\begin{aligned}\left(\mathrm{TDOA}\right)_{23} &= \frac{1}{c}[(l_2 + l_2^m) - (l_3 + l_3^m)] \\ &= \frac{1}{c}(\left|\mathbf{r}_{S2} - \mathbf{r}\right| + \left|\mathbf{r}_{S2} - \mathbf{r}_m\right| - \left|\mathbf{r}_{S3} - \mathbf{r}\right| - \left|\mathbf{r}_{S3} - \mathbf{r}_m\right|) \quad , \end{aligned} \tag{2-5}$$

其中，

$\mathbf{r}$ **:干擾源之位置向量,**

$\mathbf{r}_m$ **:監測站之位置向量,**

$\mathbf{r}_{Si}$ **:第**i**顆衛星之位置向量(**i**=1,2,3),**

c **:光速,**

在未特別說明的情況下，均假設地球球心為參考原點。而上面兩式包含了上鏈路與下鏈路的成分，但我們感興趣的只有在上鏈路的部分，經由干擾源至不同衛星的上鏈路路徑差稱為斜距差，所以若採用 TDOA-only 的定位方法，可得到兩組 DSR 值，分別為

$$\begin{aligned}\mathrm{DSR}_1 &= l_{21} = c \cdot \mathrm{TDOA}_{\mathrm{uplink1}} \\ &= \left|\mathbf{r}_{\mathbf{S2}} - \mathbf{r}\right| - \left|\mathbf{r}_{\mathbf{S1}} - \mathbf{r}\right| \ , \end{aligned} \tag{2-6}$$

$$\begin{aligned}\mathrm{DSR}_2 &= l_{23} = c \cdot \mathrm{TDOA}_{\mathrm{uplink2}} \\ &= \left|\mathbf{r}_{\mathbf{S2}} - \mathbf{r}\right| - \left|\mathbf{r}_{\mathbf{S3}} - \mathbf{r}\right| \ , \end{aligned} \tag{2-7}$$

而每個 DSR 值都可在地球表面上產生一條位置線。接下來就介紹 DSR 位置線經緯度的求解方法。

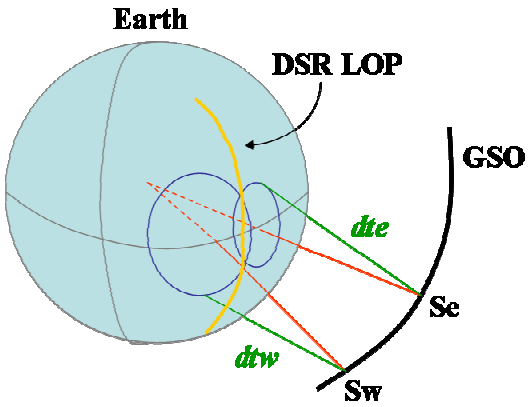


圖 2. 5　DSR 位置線求解的幾何示意圖

在圖 2.5 中，dte 為一範圍之變數，最小值為 35786 km，因為已知一常數 DSR，而 *dtw*=*dte*-DSR ，分別以同步衛星 Se 與 Sw 為圓心，dte 與 dtw 為軸半徑在地表上畫圓，而這兩個圓會在地表上產生兩個交點，即是干擾源可能落在的位置，在此我們假設干擾源位在北半球的交點，為了得知干擾源的經緯度，首先，將兩衛星之副衛星點與干擾源所形成的球面三角形區域放大，如圖 2.6 所示，

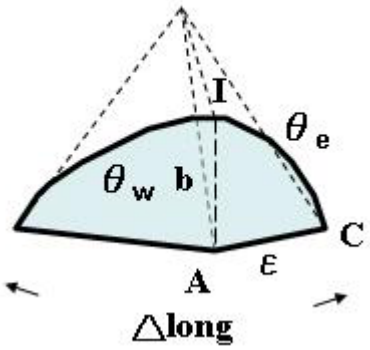


圖 2. 6　求解干擾源經度之球面三角形

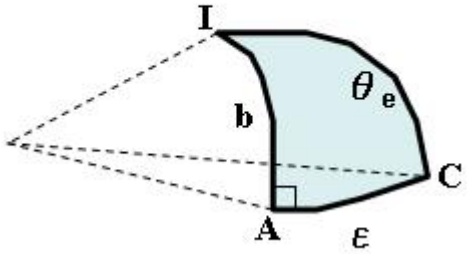


圖 2. 7　求解干擾源緯度之球面三角形

由圖 2.7，可利用一個共用的夾角 **C**，得到下面兩個等式

$$\cos C = \cot\theta_e \cdot \tan\varepsilon \quad , \tag{2-8}$$

$$\cos C = \cos\theta_w \cdot \csc(\Delta long) \cdot \csc\theta_e - \cot(\Delta long) \cdot \cot\theta_e \quad , \tag{2-9}$$

上式中，θ_e 與 θ_w 跟別是干擾源至兩衛星之副衛星點的弧長距離，ε 為 Se 副衛星點經度與干擾源經度的差，(2-8)、(2-9)經化簡可得

$$\tan\varepsilon = \frac{\dfrac{\cos\theta_w}{\cos\theta_e} - \cos(\Delta long)}{\sin(\Delta long)} \quad , \tag{2-10}$$

$$\varepsilon = \tan^{-1}\left(\frac{\dfrac{dtw^2\text{-}h^2\text{-}(h+R)^2}{dte^2\text{-}h^2\text{-}(h+R)^2} - \cos(\Delta long)}{\sin(\Delta long)}\right) \text{ (degree)} \quad , \tag{2-11}$$

干擾源經度=Se副衛星點經度- ε ， (2-12)

接下來再使用 *dte* 斜距公式與球面三角形 **IAC**，由圖 2.7 可得

$$dte^2 = h^2 + (h+R)^2 - 2 \cdot h \cdot (h+R) \cdot \cos\theta_e \quad , \tag{2-13}$$

$$\cos\theta_e = \cos b \cdot \cos\varepsilon \quad , \tag{2-14}$$

將(2-13)代入(2-14)中，可得干擾源緯度

$$b = \cos^{-1}\left(\frac{h^2 + (h+R)^2 - dte^2}{2 \cdot h \cdot (h+R) \cdot \cos\varepsilon}\right) \text{ (degree)} \quad , \tag{2-15}$$

利用上述的計算過程，給定一特定範圍的 dte 與一個 DSR 值，即可在地表上得到一條位置線，在這條位置線上的每一點所產生的 TDOA 為一個定值。

2.2 單一到達頻率差(FDOA-Only)定位法

在此定位技術中，它主要的配置與 TDOA-Only 相同，我們將採用三顆同步衛星接收地面干擾信號，干擾源天線的主波束對準中間的受干擾衛星，而旁波瓣會被兩旁的輔助衛星所接收，經頻譜的量測，可得到兩組 FDOA，代入已知的地理資訊，即可在地表上產生兩條相交且為東西向的位置線，交點即為干擾源可能落在的位置。FDOA 產生的原因為地面站台與同步衛星間相對移動產生干擾信號頻率的都普勒偏移(Doppler Shift)，兩個不同的路徑就會得到一個頻率差值。此方法可使用在，當干擾源信號形式為一未經調變的連續信號，或干擾信號為一窄頻信號，主要是因為執行時域相關運算時，所得到的時間差誤差較大。

2.2.1. FDOA 定位誤差來源

FDOA 的定位誤差大部分主要來自衛星上轉發器震盪器的頻率漂移與地面監測站執行干擾信號處理時所產生的誤差，也會因為星曆表的不準確，導致在估測衛星漂移速度上的誤差，另外，也會因干擾信號傳播時經過大氣層所產生的頻率漂移。表 2.2 為 FDOA 的誤差項與誤差值。

表 2. 2　FDOA 的誤差項[6]

FDOA 誤差項	誤差值(Hz)
傳播延遲效應(ex. 大氣層…)	$<1\times10^{-3}$
衛星轉發器轉發延遲	10
星曆表誤差	2
地面監測站	10

2.2.2. 斜距差率(Differential Slant Range Rate，DSRR)位置線推導

FDOA-only 所產生的兩組 FDOA 值，利用圖 2.3 可表示成

$$(\mathrm{FDOA})_{21} = -\frac{f}{c}\mathbf{v}_{S2}\cdot\mathbf{u}_2(\mathbf{r}) - \frac{1}{c}(f - f_2^T)\mathbf{v}_{S2}\cdot\mathbf{u}_2(\mathbf{r_m})$$

$$+\frac{f}{c}\mathbf{v}_{S1}\cdot\mathbf{u}_1(\mathbf{r}) - \frac{1}{c}(f - f_1^T)\mathbf{v}_{S1}\cdot\mathbf{u}_1(\mathbf{r_m}), \tag{2-16}$$

$$(\mathrm{FDOA})_{23} = -\frac{f}{c}\mathbf{v}_{S2}\cdot\mathbf{u}_2(\mathbf{r}) - \frac{1}{c}(f - f_2^T)\mathbf{v}_{S2}\cdot\mathbf{u}_2(\mathbf{r_m})$$

$$+\frac{f}{c}\mathbf{v}_{S3}\cdot\mathbf{u}_3(\mathbf{r}) - \frac{1}{c}(f - f_3^T)\mathbf{v}_{S3}\cdot\mathbf{u}_3(\mathbf{r_m}), \tag{2-17}$$

其中，

f :干擾信號頻率，

f_i^T:第i顆衛星之轉發震盪頻率$(i = 1,2,3)$，

$\mathbf{u}_i$:干擾源到第i顆衛星之單位向量，

$\mathbf{v}_{Si}$:第i顆衛星之速度向量，

而上面兩式包含了上鏈路與下鏈路的成分，但我們感興趣的只有在上鏈路的部分，經由上鏈路所形成之衛星攝動速度差稱為斜距差率，所以若採用 FDOA-only 的定位方法，可得到兩組 DSRR 值，分別為

$$\mathrm{DSRR}_1 = v_{21} = -\frac{c}{f}\mathrm{FDOA}_{\mathrm{uplink1}}$$

$$= \mathbf{v_{S2}}\cdot\mathbf{u_2} - \mathbf{v_{S1}}\cdot\mathbf{u_1}, \tag{2-18}$$

$$\mathrm{DSRR}_2 = v_{23} = -\frac{c}{f}\mathrm{FDOA}_{\mathrm{uplink2}}$$

$$= \mathbf{v_{S2}}\cdot\mathbf{u_2} - \mathbf{v_{S3}}\cdot\mathbf{u_3}, \tag{2-19}$$

利用上面的 DSRR 等式，將經緯度轉成直角座標後，即可在地表上計算得到 DSRR 的位置線。

2.3 TDOA 與 FDOA 之雙衛星定位法

此定位方法在文獻[6]-[13]中提到，其配置如圖 2.8 所示，是使用當干擾源經由兩個不同路徑到達兩顆不同的衛星，在針對這些信號做分析與比較，其中被干擾的衛星稱受干擾衛星，而它的下鏈路會被地面的監測站台所接收，干擾衛星的原因之一是地面站台發射天線的旁波瓣，因此干擾信號也會被傳送到其他同步軌道上的通訊衛星，儘管是很低功率的信號，監測站也會接收到受干擾衛星鄰近之輔助衛星所傳回的干擾信號，此輔助衛星必須有與受干擾衛星相同頻率的轉發器與波束涵蓋區域，典型的輔助衛星副衛星點會與受干擾衛星相隔些許的角度。因此干擾信號會經由兩個不同的路徑所接收，會產生兩組相對的時間延遲，而它們的差值就稱為 TDOA。另外，也會產生兩組不同的都普率頻率偏移(由衛星與地面監測站彼此的相對移動所產生)，而它們的差值就稱為 FDOA，經由兩路徑已知幾何參數所量測得到的每一個 TDOA 或 FDOA，就可在地球表面上計算出一條位置線(Line of Position, LOP)，由 TDOA 所產生的位置線稱為斜距差，而由 FDOA 所產生的位置線稱為斜距差率，兩條位置線的交點即可定義出一個干擾源的位置，再由多次的定位得到一誤差橢圓[12][13](error ellipse)，用來表示干擾源可能落在橢圓內的機率。

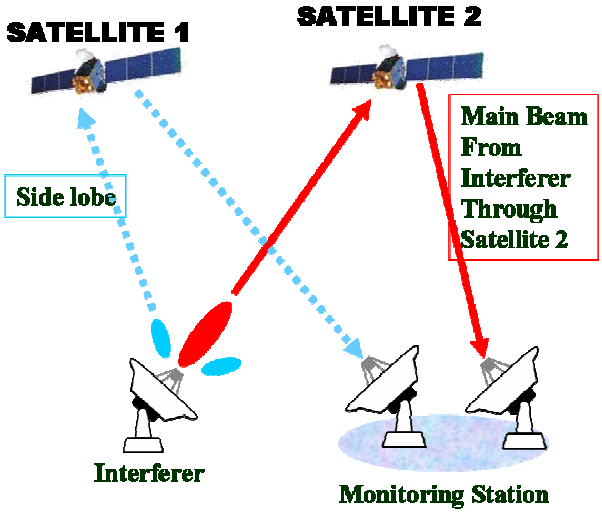


圖 2. 8　雙星定位技術的配置

2.3.1. 交互模糊函數(Cross Ambiguity Function)

在執行 TDOA/FDOA 雙星定位時，為了可以對受干擾衛星和輔助衛星的干擾信號同時做偵測，達成對衛星干擾源快速且及時的定位，但由於干擾信號透過干擾源發射天線的旁波瓣發射到輔助衛星，而輔助衛星接收到的信號經路徑損失後，信號功率微弱許多，所以我們可以採用一種稱為交叉模糊函數(Cross Ambiguity Function，CAF)[14][15]的相關處理技術，對此微弱的干擾信號在雜訊中進行擷取，以得到較精確之到達時間差與頻率差。如圖 2.9 所示。

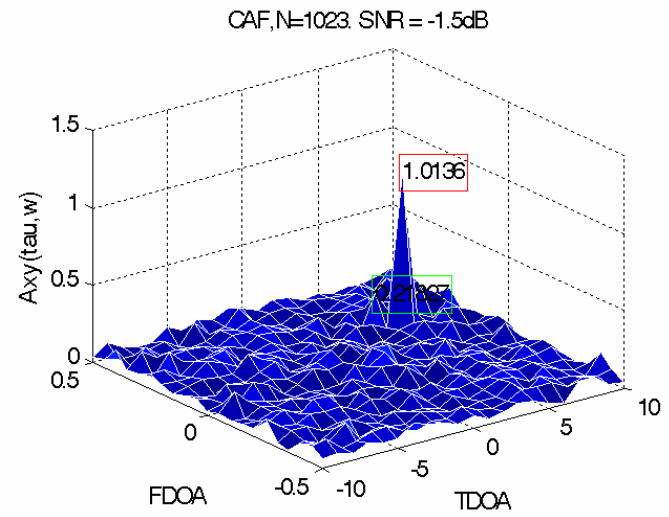


圖 2. 9　　經 CAF 運算所得的結果

針對監測站接收的信號特性，在干擾源定位技術中，採用時間和頻率的相關處理技術來偵測微弱信號，信號經相關運算後，微弱的信號能夠從雜訊分量中分離出來。相關計算時，不斷地變更時間與頻率偏移就可產生一相關曲面，曲面最大峰值發生的時間偏移與頻率偏移即為所對應的 TDOA 與 FDOA。在文獻中[15]提到，CAF 的技術可對來自不同路徑的兩干擾信號做偵測，定義如下：

$$A(\tau,v)=\int_{-T/2}^{T/2} S_1(t)S_2(t+\tau)e^{-i2\pi vt}dt \quad , \qquad (2\text{-}20)$$

其中，S_1 , S_2 為在時域的兩信號(複數形式)

τ = 時間偏移　　t = 時間

v = 頻率偏移　　T = 相關性運算所持續的時間

同時對時間偏移與頻率偏移做搜尋的動作，使得$|A(\tau,\nu)|$達到最大值。而相關計算後的訊雜比(post-correlation SNR)定義為：

$$\mathrm{SNR} = \frac{2BT\,\mathrm{snr}^2}{k[1+\mathrm{snr}(1+1/k)]}\ , \tag{2-21}$$

snr 為受干擾衛星下鏈路通道的 SNR(即接收站所量測到的)，B 是通道的雜訊頻寬(假設兩通道相同)，k 為外溢因子(overspill factor)，被定義為：

$$k = \mathrm{snr}(\text{受干擾通道})/\mathrm{snr}(\text{外溢通道})\ , \tag{2-22}$$

2BT 稱為處理增益(processing gain，PG)，即為在時間 T 內對信號所取樣的點數，所以當取樣點數愈多，經 CAF 運算後，相關的峰值可以被提升，進而提高相關處理後的 SNR，但會使 CAF 運算的時間增加。所以我們在初步的相關信號處理時，經由接收信號功率大小的判定，評估所需使用的取樣點，以提高求解 TDOA 與 FDOA 的精確度，如圖 2.10 所示。另外，圖 2.11(a)(b)為利用兩種不同的設定所得到 CAF 的模擬結果，可看出 CAF 計算後所得到的 SNR 較小時，對於 TDOA 與 FDOA 值的判別相當困難，造成定位誤差的增加，一般會將 CAF 的 post-correlation SNR 設定在 20dB 以上，以得到較準確的 TDOA 與 FDOA 值。

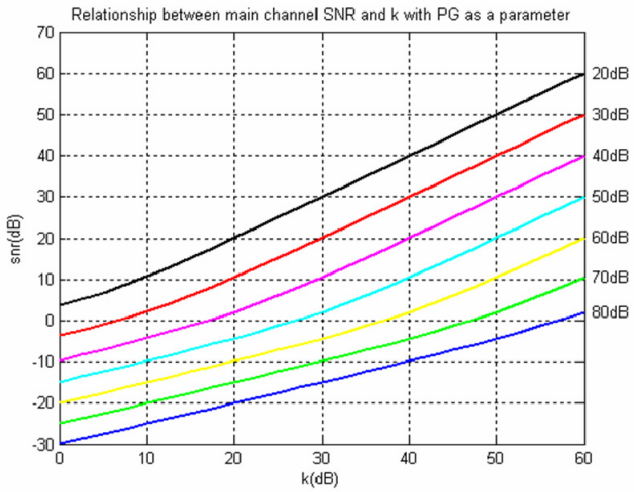
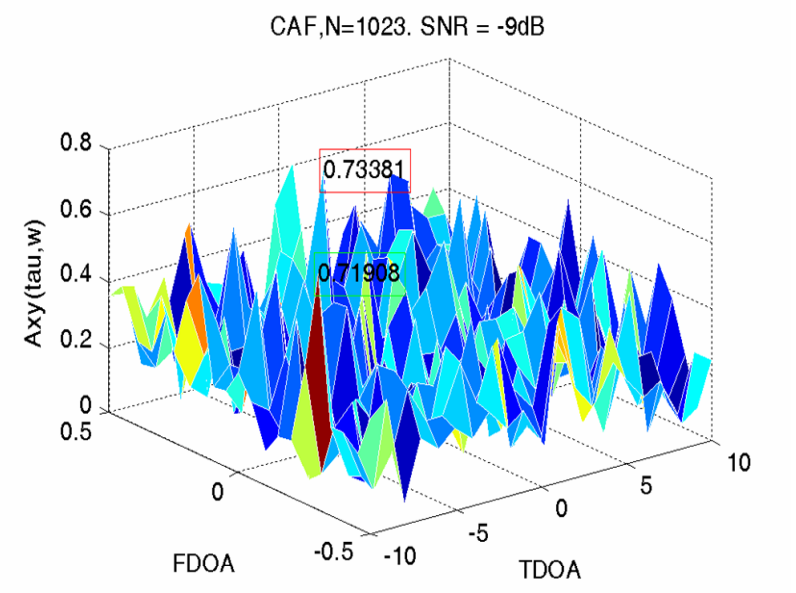
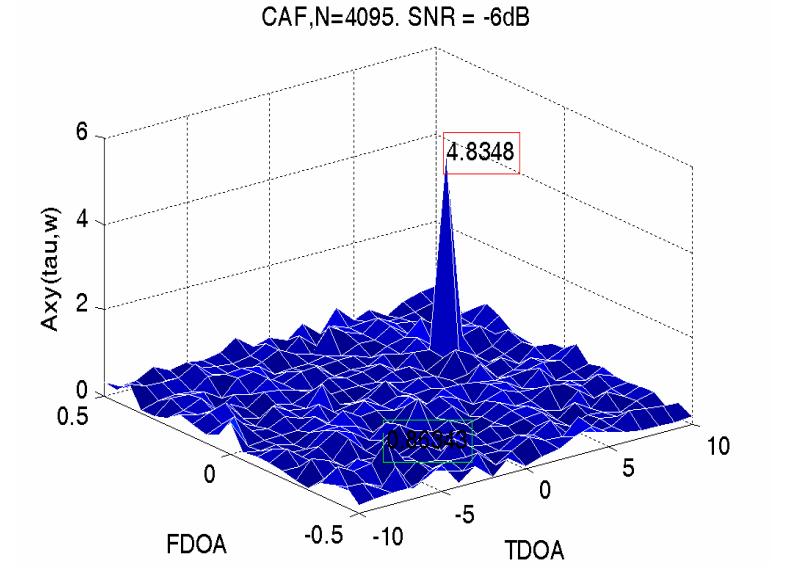


圖 2.10　受干擾通道 SNR(snr)、外溢因子(k)與處理增益(PG)之關係 (設定相關處理後之 SNR 為 20 dB)



(a)



(b)

圖 2.11　CAF 模擬結果之 post-correlation SNR 為 (a) 11.128 dB (b) 22.356 dB

利用一些已知的環境資訊，如天線特性與監測站台接收信號 SNR 之關係，在兩衛星間隔固定的情況下，可以經由輔助衛星所接收到的信號品質來斷定干擾源天線的尺寸，相反地，在給定干擾源天線尺寸的情況下，可得知最大可能的衛星間隔，使輔助衛星亦可以偵測到干擾信號。圖 2.12 為 Ku 頻段下 ITU 對於天線場形旁波瓣的建議。舉例來說，當系統將 PG 設定為 60dB，且監測站所收到受干擾衛星之干擾

信號 SNR 為 10dB，由圖 2.10 可看出，在此情況下 k 為 50dB 仍可得到相當精確的 CAF 計算，所以當干擾源天線的尺寸為 11 公尺時，最大可選用的輔助衛星間隔角度為 4 度左右，而當干擾源天線的尺寸為 3 公尺時，最大可選用的輔助衛星間隔角度提高為 10 度左右，進而改善因衛星間隔過小所產生的定位誤差。

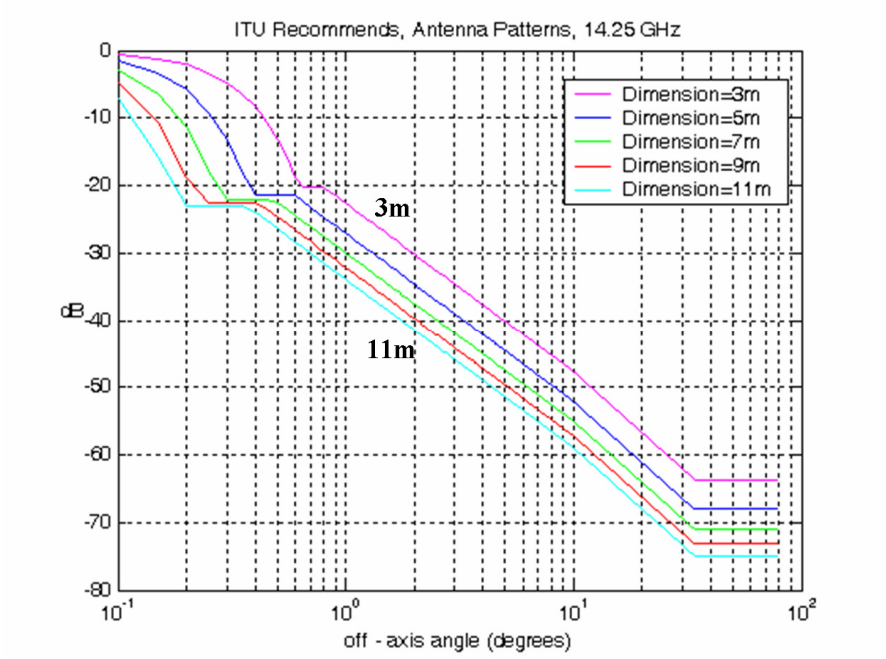


圖 2.12　ITU 天線場形旁波瓣之建議(14.25 GHz)

利用 CAF 處理後的 SNR 與干擾信號的均方根頻寬與運算時間，即可得到時間差與頻率差的均方根誤差值，如(2-23)式所示。

$$\sigma_\tau = \frac{1}{B_u\sqrt{\mathrm{SNR}}};\sigma_\nu = \frac{1}{T_u\sqrt{\mathrm{SNR}}} \quad , \tag{2-23}$$

上式中，B_u 與 T_u 分別是信號的均方根頻寬與持續時間，定義如下：

$$T_u = 2\pi\sqrt{\frac{\int_{-T/2}^{T/2} t^2 |u(t)|^2 dt}{\int_{-T/2}^{T/2} |u(t)|^2 dt}} \; ; \; B_u = 2\pi\sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} f^2 G_u(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} G_u(f) df}} \quad , \tag{2-24}$$

其中，$u(t)$ 與 $G_u(f)$ 分別是時域的信號與信號的功率頻譜密度，假設在已知相關計算後訊雜比的情況下，評估到達時間差的精確度會與信號的均方根頻寬有直接的關係，而在評估到達頻率差的精確度會與信號的均方根持續時間有直接的關係。

2.3.2. 誤差橢圓

在執行多次的干擾源定位後，可以在地表上得到多個評估干擾源的定位點，我們可以使用一誤差橢圓來描述干擾源落在橢圓內的機率，首先將每次使用雙星定位所得到的位置表示成 $\mathbf{x}=[lon, lat]$，經多次定位所得到的值可用一個向量來表示 $\mathbf{X}=[Lon, Lat]^{\mathrm{T}}$，X 被假設成為一常態分布，它的機率密度函數(probability density function ，簡稱 pdf)可以被表示成：

$$p(\mathbf{x}) = (2\pi)^{-1}(\det \mathbf{\Sigma})^{-1/2} \exp[-(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^{\mathrm{T}} \Sigma^{-1} (\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})/2] \ , \tag{2-25}$$

其中 $\boldsymbol{\mu}$ 為期望值向量，$\mathbf{\Sigma}$ 為 $\mathbf{X}$ 的共變異矩陣(covariance matrix)，

$$\mathbf{\Sigma} = [\sigma_{jl}],$$
$$\sigma_{jl} = \begin{cases} \sigma_j & for \quad j = l \\ \rho\sigma_j\sigma_l & for \quad j \neq l \end{cases}, \quad j,l = 1,2 \tag{2-26}$$

，σ_1與σ_2 分別是 *Lon* 與 *Lat* 向量的標準差(standard deviation)，ρ 為 *Lon* 與 *Lat* 的相關指數，若我們希望向量 **x** 落在橢圓內的機率為 *P*，而用一個方程式來描述：

$$(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^{\mathrm{T}} \mathbf{\Sigma}^{-1} (\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu}) = c^2 \ , \tag{2-27}$$

，再用一般機率的表示法為

$$\begin{aligned} P &= P\{(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^{\mathrm{T}} \Sigma^{-1} (\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu}) \leq c^2\} \\ &= \frac{2}{2^{p/2}\Gamma(p/2)} \int_0^c t^{p-1} e^{-t^2/2} dt \quad , \end{aligned} \tag{2-28}$$

其中 *c* 為常數，*p* 是向量 **x** 的維度，Γ(・)為伽瑪函數(Gamma function)。當參數 $\boldsymbol{\mu}$ 與 $\mathbf{\Sigma}$ 為已知的情況下，我們可以得到一個橢圓區域，它的中心點定義為 μ，定位點若在橢圓內的機率為 *P*，在維度 *p*=2，上式中的 *c* 可寫成 $c = \sqrt{-2\ln(1-P)}$，再依據我們所

想要的涵蓋率 P，推出一常數 c，如表 2.3 所示，代入下式

$$\frac{1}{1-\rho^2}\left[\frac{(lon-\mu_1)^2}{\sigma_1^2}-2\rho\frac{(lon-\mu_1)(lat-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2}+\frac{(lat-\mu_2)^2}{\sigma_2^2}\right]=c^2 \quad , \qquad (2\text{-}29)$$

，即可在地圖上描繪出一設定涵蓋率的誤差橢圓。

表 2. 3　估測點落在橢圓內的機率(Q 為一常數)

Q	Prob.($c^2 < Q$)
1	39.35
2	63.21
3	77.69
4	86.47
5	91.79
6	95.02

2.3.3. 利用參考站台消除系統誤差

監測站接收的兩路信號之間的傳輸時間延遲差和頻率差，除了與傳輸路徑有關外，還與星曆表誤差、衛星的轉發時延、監測站設備時間延遲等因素有關。為了有效降低或消除上述的誤差，我們可以建立參考站[12]，如圖 2.13 所示，採用差分法來減小這些誤差因素的影響。與干擾源相同，參考站向兩顆衛星發射參考信號(此信號為一地理位置已知的合法信號)，經兩顆衛星的轉發器向地面監測站進行轉發，監測站的兩個接收天線收到參考信號後，進行與干擾信號同樣的相關處理，測量出兩路信號間的傳輸時間延遲差和頻率差，計算出參考站的地理位置。將此地理位置值與已知的參考站的準確地理位置值比較，其差別就是由上述各種誤差因素引起。根據已知的參考站的準確地理位置，以及測量的信號傳輸時間延遲差和頻率差，通過數學處理，可以消除衛星星曆表(ephemeris)、衛星轉發器、地面接收站處理系統、大氣層和電離層等的誤差對定位測量的影響，如表 2.4 所示。一般情況下，參考站與干擾源的位置愈接近，則誤差影響愈相似，誤差消除的效果就越好。

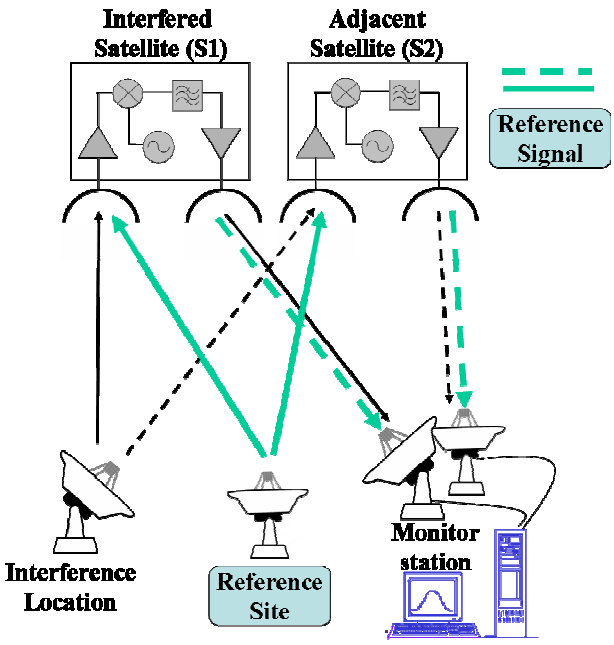


圖 2. 13　加入參考站台的雙星定位技術

表 2. 4　參考信號對於 TDOA 與 FDOA 誤差的修正(干擾源與參考站相距 1000 公里)[12]

TDOA error term	**Value without reference**	**Value with reference**
Propagation	5×10^{-8} s / 0.26 km	2×10^{-8} s / 0.1 km
Satellite delay	1×10^{-8} s / 0.05 km	0 s / 0 km
Satellite position	2×10^{-6} s / 10.4 km	1×10^{-7} s / 0.52 km
Monitoring station	1×10^{-7} s / 0.52 km	5×10^{-9} s / 0.026 km
FDOA error term	**Value without reference**	**Value with reference**
Propagation	$<1\times10^{-3}$ Hz / <1.2 km	$<1\times10^{-3}$ Hz / <1.2 km
Satellite turnround oscillators	10 Hz / 11,700 km	0 Hz / 0 km
Satellite velocity	2 Hz / 2340km	1.4×10^{-2} Hz / 16.4 km
Monitoring station	10 Hz / 11,700 km	0 Hz / 0 km

2.4 衛星上多波數天線(Multi-Beam Antenna)定位法

此定位技術[16]，是使用一顆同步衛星達成到達角度的量測，評估干擾源入射到衛星的角度，典型的衛星波束配置為東西南北各一個波束，如圖 2.14 所示，干擾源落在四波束重疊的區域，因衛星上天線的增益為已知，指向東西方向的兩波束所量測到的功率比值，若等於衛星天線增益的比值，可得到一南北向之增益比等高線所對應的到達角度，而指向南北方向的兩波束所量測到的功率比值，若等於天線增益的比值，可得到一東西向之增益比等高線所對應的到達角度，兩條增益比等高線的交點即為干擾源可能落在的位置。此定位方法的優點為:(1)單一衛星即可達成、(2)跟雙星定位技術比較，可提供更及時的定位、(3)與干擾信號的形式無關，故不需額外的信號處理與計算。但此方法不易得到高精準度的定位，主要是因為衛星距地表較遠，對於角度上的誤差相當敏感所導致。

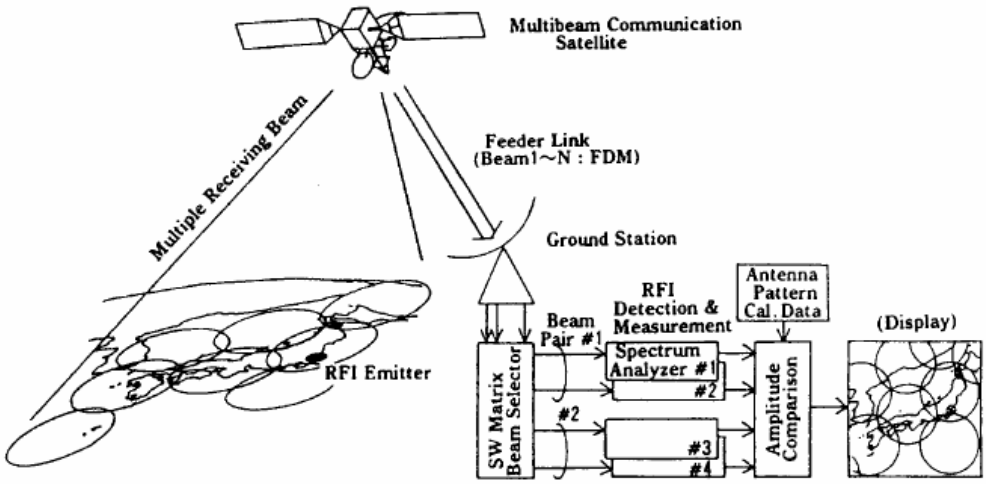


圖 2.14 使用於干擾源定位技術之多波束天線配置[16]

2.5 結合 TDOA 與干涉(Interferometry)技術定位法

在衛星通訊中，我們會使用正交的線性極化(Polarization)波來使系統在給定的頻帶下達到兩倍的頻寬，為了配合這項要求，所以在衛星反射天線的焦點上會有一對交叉極化的波束形成饋入，而這兩個饋入會間隔幾英吋的距離。因為發射站台天線的不完美，使得在受干擾衛星上可量測到一些交叉極化的成分，所以可使用此雙極化饋入來量測干擾信號的相位差[17]，而這些被交叉極化的信號會經由下鏈路傳送到地面監測站，此方法得到的相位差會圍繞著天線饋入產生的基線(Baseline)形成一個圓錐面，而此圓錐面會跟地表產生一條位置線，再搭配 TDOA 所產生的位置線，即可評估干擾源的位置。

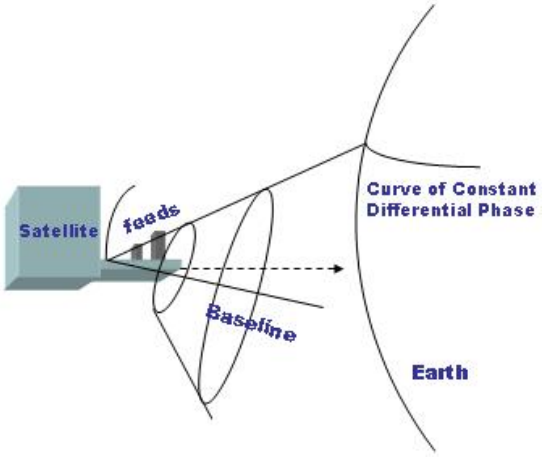


圖 2. 15　干涉技術定位法示意圖[18]

2.6 結合輻向基底函數(Radial Basis Function)類神經法與 MBA 技術的定位法

此定位技術[18]，是利用 MBA 多次量測干擾源到達的方向，來建立類神經網路與學習的程序，以估測干擾源的位置，它的定位精準度會與衛星所接收信號的訊雜比、取樣間隔與個數有關，要得到較高的定位精準度所需要的訓練時間也相對較長，而定位區域的差異也同樣會影響定位的精準度。一般而言，類神經網路定位法之定位精準度是與定位區域大小成反比，因此應用於寬廣區域之定位時，需要較龐大的資料庫及較複雜之訓練及估測運算。

2.7 小結

本章中我們已經廣為探討不同衛星干擾源定位技術，最重要的是，因衛星在受干擾當時的地理位置、信號的形式與受干擾時間的不同，會加諸不同的需求條件在定位技術。經評估與比較現有定位技術之部分特性，我們可得到以下的結果：

(1) TDOA-Only 定位法須採用三顆同步衛星接收地面干擾信號,且對干擾源信號形式為一未經調變的連續信號無法進行定位。此定位法可對移動式干擾源進行定位。

(2) FDOA-Only 定位法須採用三顆同步衛星接收地面干擾信號,可使用在當干擾源信號形式為一未經調變的連續信號，或干擾信號為一窄頻信號，主要是因為執行時域相關運算時，所得到的時間差誤差較大。此定位法無法對移動式干擾源進行定位。

(3) TDOA/FDOA 定位法採用二顆同步衛星接收地面干擾信號，同樣地，對干擾源信號形式為一未經調變的連續信號無法進行定位。另外，此定位法也無法對移動式干擾源進行定位。相較於 TDOA- Only 與 FDOA-Only 方法，這兩種方法因為幾何條件的限制，使得它們所產生的位置線較小，在相同環境的誤差條件下，定位精準度比 TDOA/FDOA 定位法來的差。

(4) MBA 定位法採用一顆同步衛星達成地面干擾信號定位，相較於 TDOA/FDOA 定位法，可提供更及時的定位。另外，因與干擾信號的形式無關，故不需額外的信號處理與計算。其缺點為因衛星距地表較遠，故不易得到高精準度的定位。

第三章 分析地面干擾源衛星定位技術(TDOA、FDOA、TDOA/FDOA)之數值模擬、準確度及可信度評估

我們分別針對 TDOA-only、FDOA-only、TDOA/FDOA 三種定位法，探討它們在不同幾何配置與時變的情況下，定位精準度變化情形，並且評估各個定位法的適用情況，以得到最佳的定位精準度。另外，在衛星信號傳播的路徑中，我們必須將一些會影響定位精準度的傳播效應納入考慮，如都普勒偏移、電離層效應與衛星攝動現象等，都會對我們在執行干擾源定位時造成或多或少的影響，針對這些現象的介紹，請參閱附錄 A。

3.1 TDOA-only 定位法

此定位技術主要可使用在一些特殊情況下，當干擾信號為一掃頻信號，因為信號頻率持續變動，使得 FDOA 的定位技術無法使用。另一種情況為干擾信號為一移動式的干擾源，若使用 FDOA 的定位技術，它的貢獻包含了衛星攝動與干擾源移動所產生的 Doppler shift，但干擾源移動的速度未知，所產生的定位誤差會相當的大，所以在上述的情況下，我們可以考慮使用 TDOA-only 來達成定位的目標。接下來會對此技術作定位精準度的分析與探討。

3.1.1 定位精準度分析

在預期成果(2)中提到如何由已知的 DSR 值，推導出它在地表上所相對應的位置線，接下來我們為了去了解 DSR 誤差對定位精準度所產生的影響程度，而使用一個矩陣方程式來描述 DSR 誤差與定位點的相對關係。

$$\begin{bmatrix} dl_{21} \\ dl_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dE \\ dN \end{bmatrix} \equiv d\underline{\mathbf{l}} = \underline{\mathbf{A}} \cdot \underline{\mathbf{d}} \text{，}$$

$$\text{得} \qquad \underline{\mathbf{d}} = \underline{\mathbf{A}}^{-1} \cdot d\underline{\mathbf{l}} \tag{3-1}$$

其中，

$$a_{11} = \underline{\nabla} l_{21} \cdot \mathbf{e}_E \quad , \quad a_{12} = \underline{\nabla} l_{21} \cdot \mathbf{e}_N \quad ,$$
$$a_{21} = \underline{\nabla} l_{23} \cdot \mathbf{e}_E \quad , \quad a_{22} = \underline{\nabla} l_{23} \cdot \mathbf{e}_N \quad , \tag{3-2}$$

在上式中，$\mathbf{e}_E$ 與 $\mathbf{e}_N$ 分別是定位點所在地東方與北方的單位向量，l_{21}與l_{23}為受干擾衛星與鄰近兩輔助衛星之 DSR，dE與dN 分別為定位所在點東方與北方的微量變化。為了探討隨機的模擬誤差，使用一個共變異矩陣(covariance matrix)$\underline{\mathbf{C}}$ 來表示

$$\underline{\mathbf{C}} = \left\langle \underline{\mathbf{d}}\underline{\mathbf{d}}^T \right\rangle = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix},$$

$$\underline{\mathbf{d}}\underline{\mathbf{d}}^T = \frac{1}{(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21})} \begin{bmatrix} a_{12}^2 dl_{23}^2 + a_{22}^2 dl_{21}^2 & -a_{21}a_{22}dl_{21}^2 - a_{11}a_{12}dl_{23}^2 \\ -a_{21}a_{22}dl_{21}^2 - a_{11}a_{12}dl_{23}^2 & a_{11}^2 dl_{23}^2 + a_{21}^2 dl_{21}^2 \end{bmatrix},$$

$$c_{11} = \sigma_E^2 = \frac{1}{D^2}\left[a_{12}^2 \sigma_{23}^2 + a_{22}^2 \sigma_{21}^2 \right]$$

$$c_{12} = \rho_{EN}^2 = -\frac{1}{D^2}\left[a_{21}a_{22}\sigma_{21}^2 - a_{11}a_{12}\sigma_{23}^2 \right]$$

$$c_{21} = c_{12}$$

$$c_{22} = \sigma_N^2 = \frac{1}{D^2}\left[a_{11}^2 \sigma_{23}^2 + a_{21}^2 \sigma_{21}^2 \right] \tag{3-3}$$

dl_{21} 與 dl_{23} 是 DSR 的微量變化值，σ_{21} 與 σ_{23} 分別是兩組衛星所產生的 DSR 均方根誤差，σ_E 與 σ_N 分別是東西方向與南北方向的均方根誤差，ρ_{EN} 為 σ_E 與 σ_N 的相關值，

$$D = \left| a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} \right| = (\underline{\nabla} l_{21} \wedge \underline{\nabla} l_{23}) \cdot \mathbf{e}_r$$
$$= \left| L_{t1} \right| \left| L_{t2} \right| \left| \sin\varphi \right| \quad , \mathbf{e}_r = \frac{\mathbf{r}}{r} \quad , \tag{3-4}$$

L_t 為 DSR 值的梯度在干擾源方位平面(Azimuth plane)的分量，φ 為 TDOA 所產生的

DSR 位置線夾角。利用共變異矩陣內的元素可以得到一個整體的均方根定位誤差，

$$\begin{aligned}\sigma_T &= \sqrt{\sigma_E^2+\sigma_N^2} \\ &= \frac{1}{D}\sqrt{\sigma_{21}^2\left(a_{22}^2+a_{21}^2\right)+\sigma_{23}^2\left(a_{12}^2+a_{11}^2\right)} \quad ,\end{aligned} \tag{3-5}$$

最後，我們可以將(3-4)式代入(3-5)式中，得到均方根誤差、DSR 誤差與 TDOA 誤差之間的關係，如下式所示，

$$\sigma_T = \frac{1}{|\sin\varphi|}\sqrt{\frac{\sigma_{21}^2}{L_{t1}^2}+\frac{\sigma_{23}^2}{L_{t2}^2}} \quad , \tag{3-6}$$

根據上式所導出的等式，我們可以看出 TDOA 定位均方根誤差值與 DSR 位置線夾角、TDOA 誤差與 DSR 梯度在方位平面分量間的關係，在下一節中會模擬分析這些參數在空間變化與時間變化時，對於定位均方根誤差的影響。

3.1.2 數值模擬

在對 TDOA-Only 定位方法作分析前，先利用文獻[19]上所做的定位量測來驗證定位演算法的正確性，此量測是使用三顆同步衛星來達成，其中受干擾衛星為 EUTELSAT IIF2，位在 10°E 的位置，另外兩顆輔助衛星是 EUTELSAT IIF1 與 IIF4，分別位在 13°E 與 7°E，可以得到兩組 TDOA 的值為-0.5393 μs 與-0.5857 μs，但在圖 3.1 中所得到的實測結果是包含些許的誤差，而在我們的模擬中並未加入誤差，但仍舊可以觀察到模擬所得到的兩條 DSR 位置線與實測結果的趨勢相當一致，如圖 3.2 所示，如此即可驗證我們定位演算法的正確性，接下來作相關的定位分析時，可以提高其可信度。

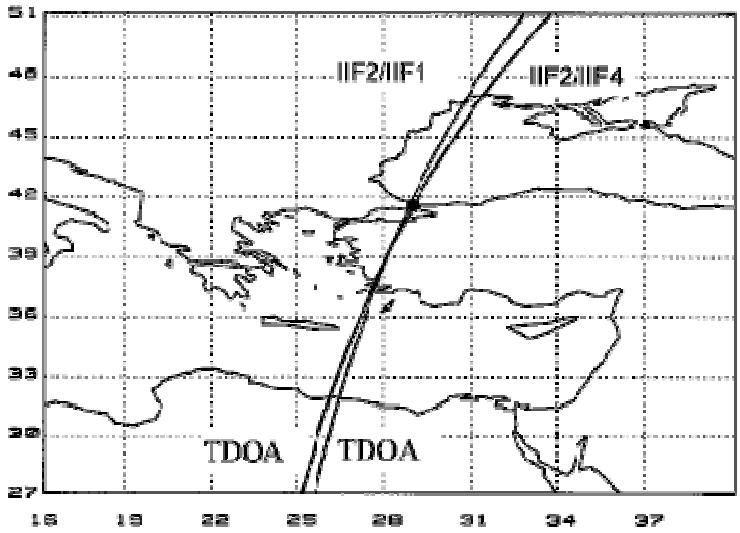


圖 3. 1　TDOA/TDOA 實測結果(伊斯坦堡)[19]

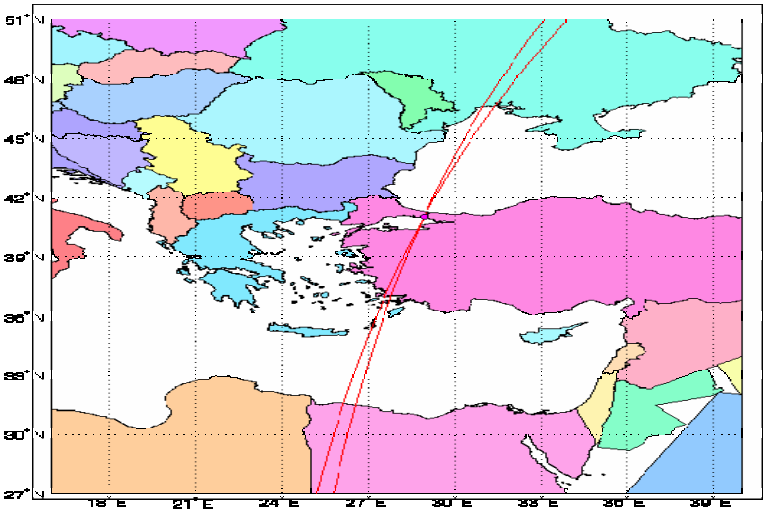


圖 3. 2　TDOA/TDOA 模擬結果(伊斯坦堡)

另外，我們藉由表 2.4 所提供的 TDOA 誤差範圍(經參考站修除系統誤差後)，瞭解 TDOA 誤差對其定位精準度的影響，下面是我們所設定的定位幾何配置：

干擾源: 22.62422^{o}N　120.26589^{o}E
受干擾衛星(S2): 110.5^{o}E
輔助衛星: (S1) 107.5^{o}E ， (S3) 113.5^{o}E
干擾源與 S1 之斜距:36528.0438 km
干擾源與 S2 之斜距:36458.4729 km
干擾源與 S3 之斜距:36407.1908 km

圖 3.3 是利用上述的三顆衛星所達成的定位結果，在未加入誤差的情況下，得

到兩組 TDOA 值，分別為-231.903 μs 與-170.94 μs，由圖中可觀察到 DSR 位置線的夾角相當小，當某個 TDOA 產生些許誤差時，可能導致評估的干擾源定位點，大幅度地往 DSR 位置線的方向移動，而產生嚴重的定位誤差，之後會評估在不同 TDOA 誤差條件下，其對定位精準度的影響程度。

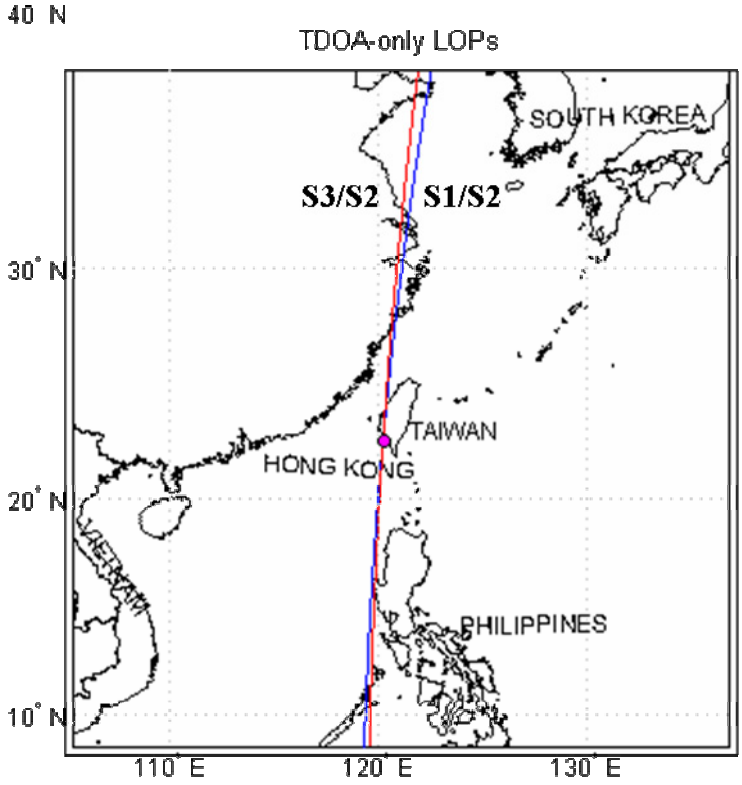


圖 3. 3　TDOA-only LOPs

由圖 3.4 可觀察到，當設定 TDOA 的誤差範圍在 0.1μs ~0.4μs 之間，可得到的定位誤差為 41.3km、80.4km、121.6km 與 159.6km，以台灣的環境來看，這些誤差都顯得相當的大，可以發現主要原因是 TDOA 所產生的位置線夾角相當的小，對於誤差相當敏感，所以只要在 TDOA 值有些許的誤差，對定位的結果就會產生很大的影響。

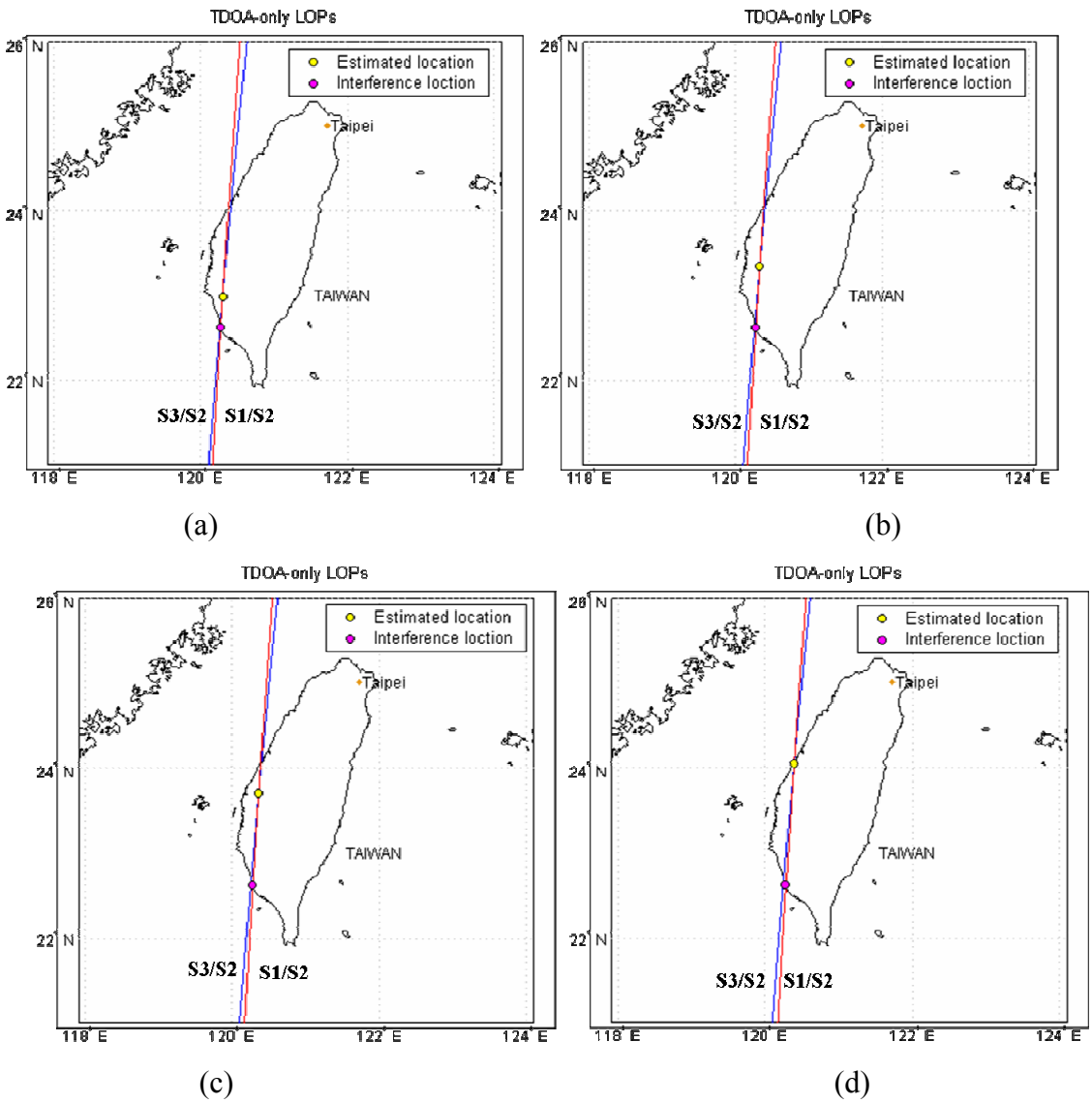
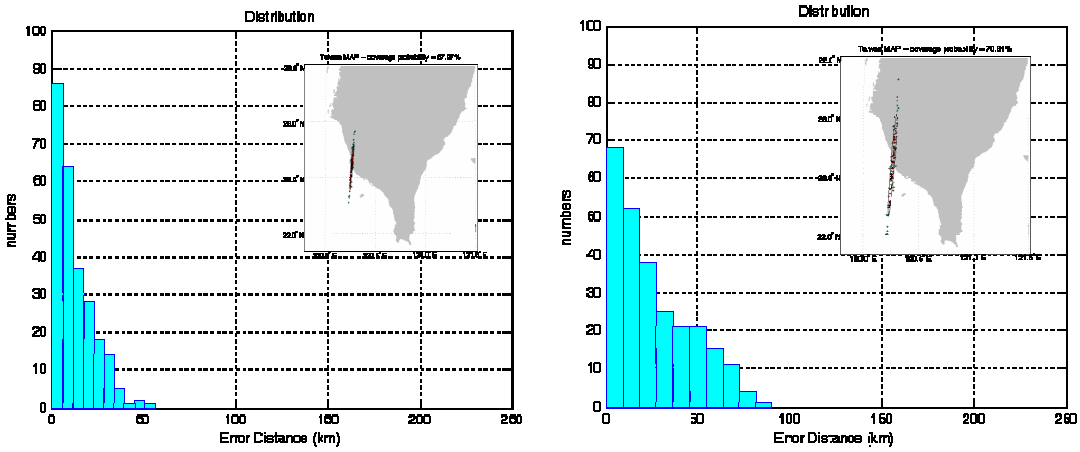


圖 3.4　TDOA-only 加入誤差後的定位結果 (a) $TDOA_{error}$ = 0.1μs (b) $TDOA_{error}$ = 0.2μs (c) $TDOA_{error}$ = 0.3μs (d) $TDOA_{error}$ = 0.4μs

接下來我們使用相同的環境配置，給定不同的 TDOA 均方根誤差值，來觀察定位誤差的統計分布圖與誤差橢圓在地表上的分布情形，如圖 3.5 所示，分別針對兩個 TDOA 均方根誤差進行 256 點的定位模擬，當 TDOA 之均方根誤差為 $\sigma_{TDOA1} = \sigma_{TDOA2} = 0.1\mu s$，所得到的均方根誤差為 27.117 公里，誤差橢圓搜尋面積 59.35km^2，而當 $\sigma_{TDOA1} = \sigma_{TDOA2} = 0.2\mu s$，所得到的均方根誤差為 31.381 公里，誤差橢圓搜尋面積 265.51km^2，另外也可觀察到，當 TDOA 的均方根誤差較大時，誤差橢圓的分布會沿著 TDOA 位置線，形成誤差橢圓長軸更長的分布。表 3.1 為 TDOA-only 定位法之均方根誤差與誤差橢圓之長短軸與面積，可看出 TDOA 誤差對於誤差橢圓長軸的影響相當地大。



(a) (b)

圖 3. 5 TDOA-only 加入誤差後的定位誤差統計圖與誤差橢圓的分布 (a) $\sigma_{TDOA} = 0.1\mu s$ (b) $\sigma_{TDOA} = 0.2\mu s$

表 3. 1 TDOA-only 均方根誤差與誤差橢圓之長短軸與面積

	$\sigma_{TDOA1}=\sigma_{TDOA2}$			
	0.1μs	0.2μs	0.3μs	0.4μs
橢圓長軸	23.811 km	46.24 km	75.947 km	92.424 km
橢圓短軸	0.734 km	1.5873 km	2.4372 km	3.1515 km
橢圓面積	59.35 km^2	265.51 km^2	591.83 km^2	915.07 km^2
均方根誤差	27.117 km	31.381 km	48.723 km	68.021 km

由圖 3.6 可觀察到 TDOA-only 的定位技術，在不同衛星間隔下，對定位精準度的影響，所設定模擬的 TDOA 均方根誤差為 0.1μs 到 0.5μs，受干擾衛星在 110.5°E，第一顆輔助衛星固定在 107.5°E，在此若要使用與受干擾衛星有較大間隔的輔助衛星，因為干擾源天線旁波瓣增益較小的關係，會增加輔助衛星偵測微弱干擾信號的困難度，而另一顆輔助衛星設定在 112.5 °E 到 118.5 °E，由圖中的模擬結果可看出，不論 TDOA 所產生的誤差為多少，輔助衛星與受干擾衛星的間隔小於 3 度時，所產生的定位誤差都相當的大，而衛星間隔在 3 度以上，所產生的定位誤差變化並不會太大，故我們在選用輔助衛星時，可以考慮使用間隔 3 度以上的衛星。由圖 3.7 可看出衛星間隔與 TDOA 位置線夾角的關係，衛星間隔愈大，所得到的位置線夾角也就愈大，定位精準度也就愈高。另外，衛星間隔較大時，所產生的 TDOA 值也會比較

大，使得在相同 TDOA 誤差條件下，衛星間隔愈大，對於誤差的影響也愈不敏感。但衛星間隔並非愈大愈好，因為我們必須考慮到當衛星間隔加大時，輔助衛星所接收到的干擾信號功率會比受干擾衛星所收到的小上許多，而兩通道 SNR 的差值會與干擾源天線的場形有關，圖 3.8 為模擬不同輔助衛星通道 SNR 對其定位誤差的影響，可看出輔助衛星通道 SNR 較小時，定位誤差會有明顯增大的趨勢。

圖 3.9 為模擬不同干擾信號頻寬對其定位誤差的影響，可看出當干擾信號頻寬為 20kHz 時，會得到較大的定位誤差，主要是因為將較小的信號頻寬利用 CAF 計算到達時間差時，所得到的 TDOA 值誤差較大所導致。圖 3.10 為模擬不同 PG 值對其定位誤差的影響，可看出當 PG 值為 40～60dB 時，所得到的誤差值大略相同，而當 PG 值降為 30dB 時，定位誤差會明顯增大約 100 公里左右。

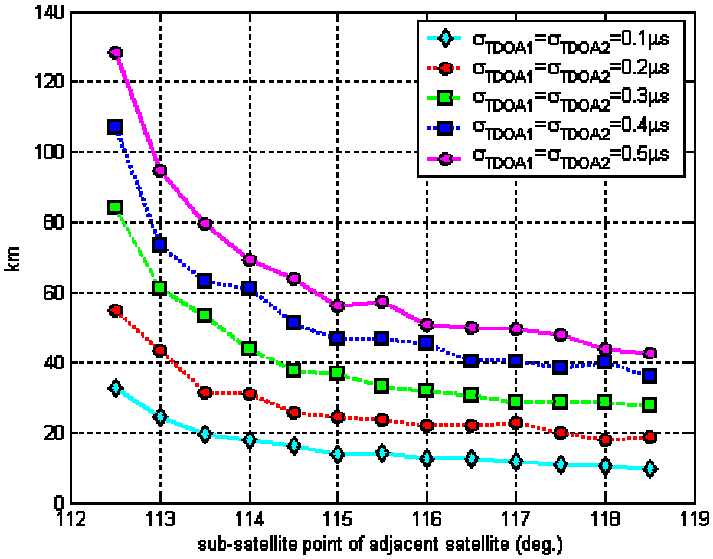


圖 3. 6　TDOA-only 定位法衛星間隔與定位誤差的關係

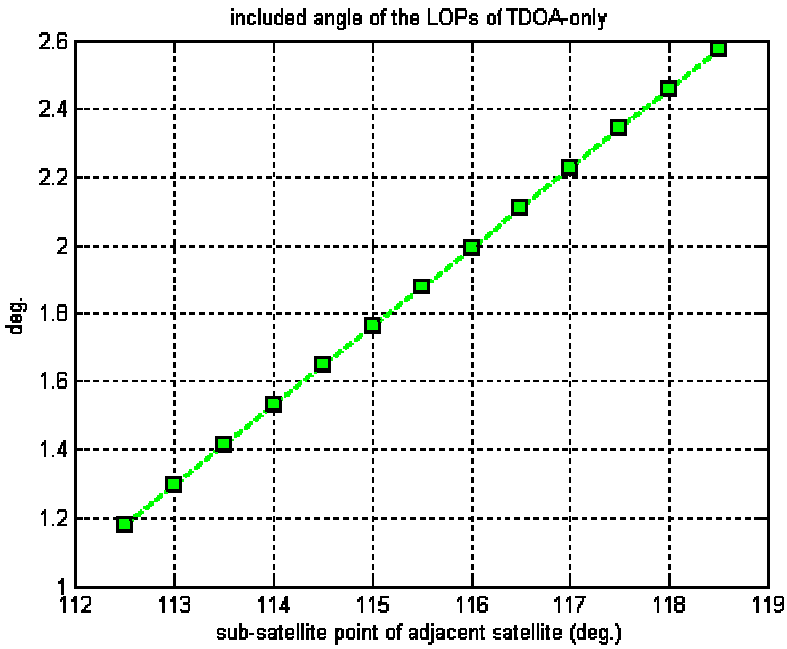


圖 3. 7　衛星間隔與 DSR 位置線夾角的關係

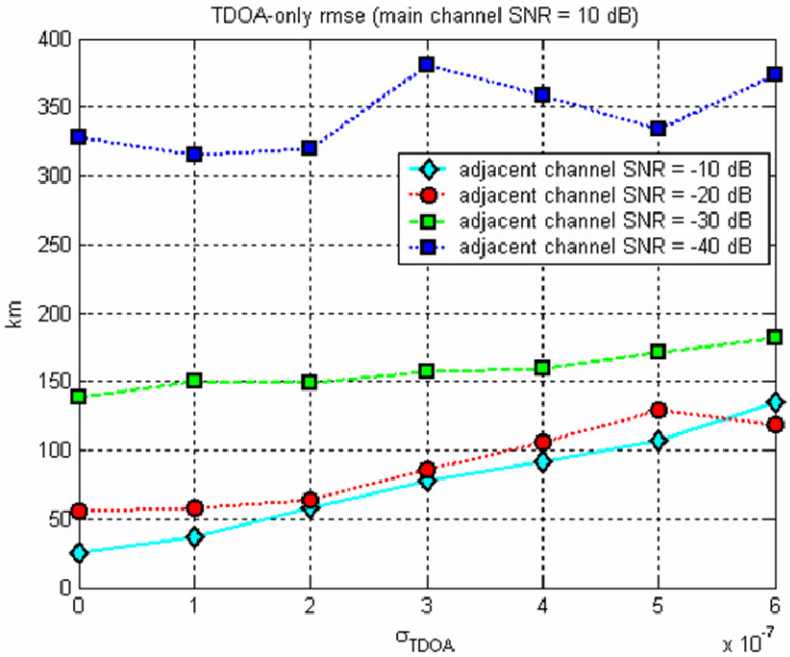


圖 3. 8　輔助衛星通道 SNR 與 TDOA-only 定位誤差之關係(受干擾衛星通道 SNR 為 10dB)

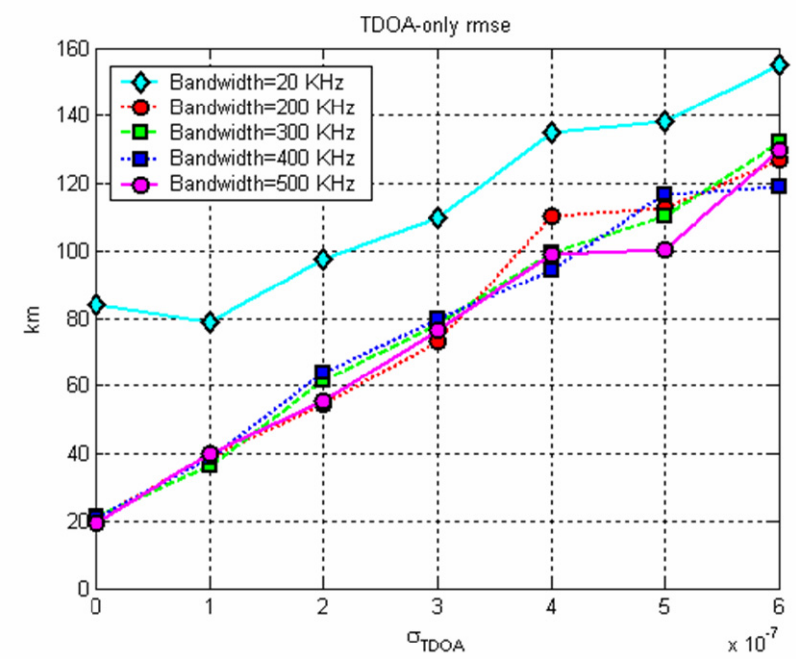


圖 3. 9　干擾信號頻寬與 TDOA-only 定位誤差之關係

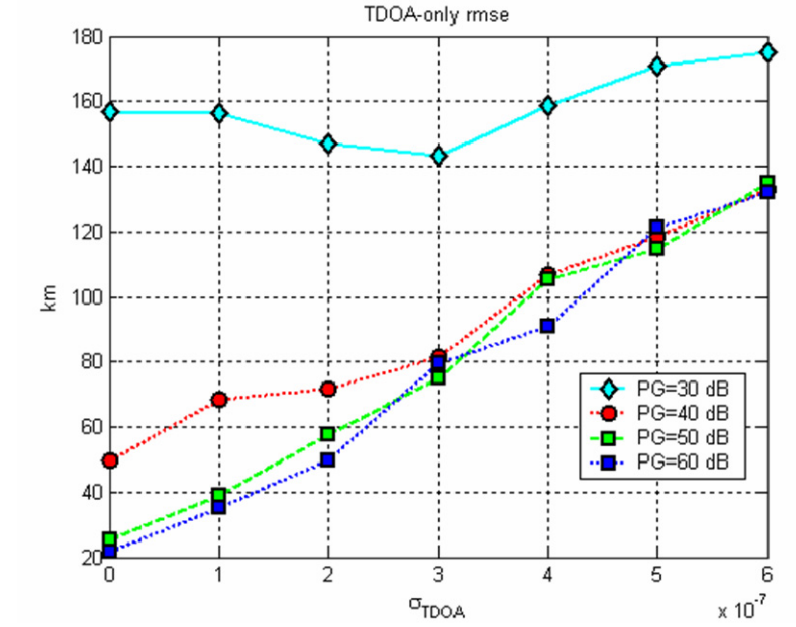


圖 3. 10　PG 值與 TDOA-only 定位誤差之關係

接著探討當衛星軌道存在傾斜度時，衛星位置因攝動與所在軌道位置隨時間改變時，對其定位精準度的影響，可將(3-6)式改寫成

$$\sigma_T = \frac{\mathbf{1}}{|\sin\varphi(t)|}\sqrt{\frac{\sigma_{21}^2(t)}{L_{t1}^2(t)} + \frac{\sigma_{23}^2(t)}{L_{t2}^2(t)}}\ , \tag{3-7}$$

由(3-7)式可看出，TDOA-only 的定位精準度跟時變的 L_{t1} 、 L_{t2} (DSR 梯度在干擾源方位平面上的分量)與 φ (DSR 位置線的夾角)有關，而 L_{t1} 與 L_{t2} 會直接受衛星間隔角度的影響。

模擬的設定為，干擾源在22.62422°N　120.26589°E，受干擾衛星在110.5°E，輔助衛星分別在113.5°E與107.5°E，首先假設113.5°E的衛星軌道傾斜度0.01度，$\sigma_{TDOA1}=\sigma_{TDOA2}=0.1\mu s$，相對時間為0小時或24小時，衛星在最高點(apogee) ，而相對時間為12h，衛星在最低點(perigee)，得到如圖3.11的結果，可觀察到在此軌道傾斜度之下，一天時間內的定位誤差並不會有太大的變化，但仍可看出定位誤差最小值發生在相對時間為0h與24h時，此時衛星處在apogee，DSR位置線夾角較大，可由圖3.12看出，所以定位誤差較小，在相對時間為12小時，衛星處在perigee，DSR位置線夾角較小，所得到的定位誤差也會比較大。

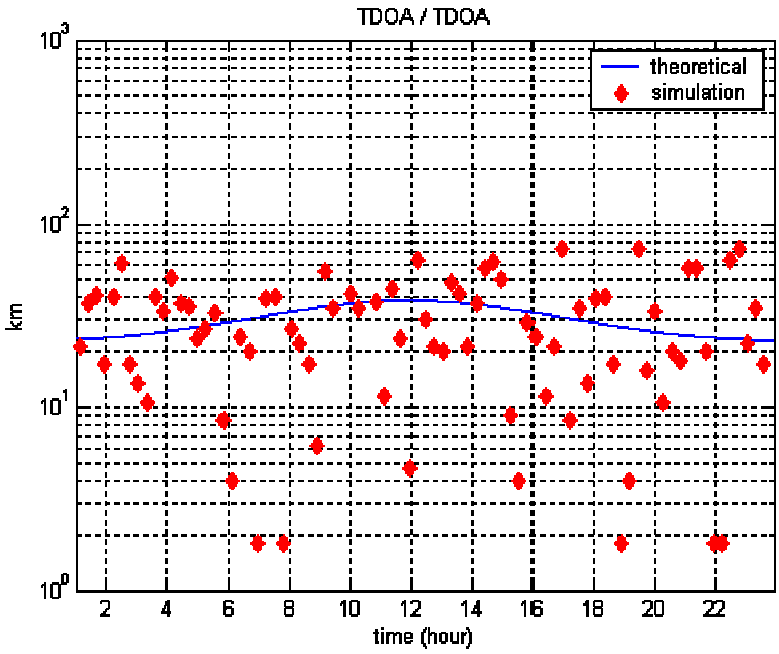


圖 3. 11　時間變化之 TDOA-only 均方根定位誤差(軌道傾斜度 0.01 度)

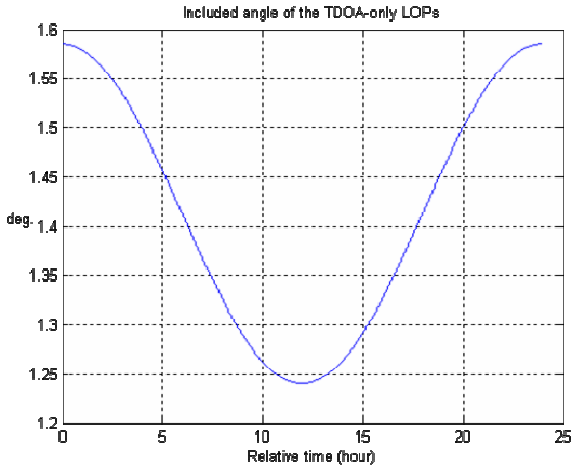


圖 3. 12　時間變化之 DSR 位置線夾角(軌道傾斜度 0.01 度)

圖 3.13 設定 113.5°E 之輔助衛星的軌道傾斜度為 0.5 度，而 $\sigma_{TDOA1}=\sigma_{TDOA2}=0.1\mu s$，得到在相對時間為 6 小時 17 分 31 秒與 17 小時 38 分 35 秒左右，定位誤差會趨近於無窮大，由圖 3.14 可看出在這兩個時間點，DSR 位置線的夾角會趨近於 0，也就是近似於平行的情況，使得定位誤差無窮大，可由圖 3.15 來解釋，圖中橢圓為 DSR 梯度投影在干擾源方位平面的向量，在一天時間內的變化軌跡，當軌道傾斜度較大時，此橢圓軌跡會越過另一個固定不變的 DSR 梯度在干擾源方位平面之向量，在橢圓軌跡上產生兩個交點，而在這兩個交點的時間點 t_1 與 t_2，兩條 DSR 位置線的夾角會趨近於零，當軌道傾斜度愈大時，此橢圓軌跡也較會跟著變大，使得夾角趨近於零的時間點會愈來愈接近相對時間 6 小時與 18 小時。

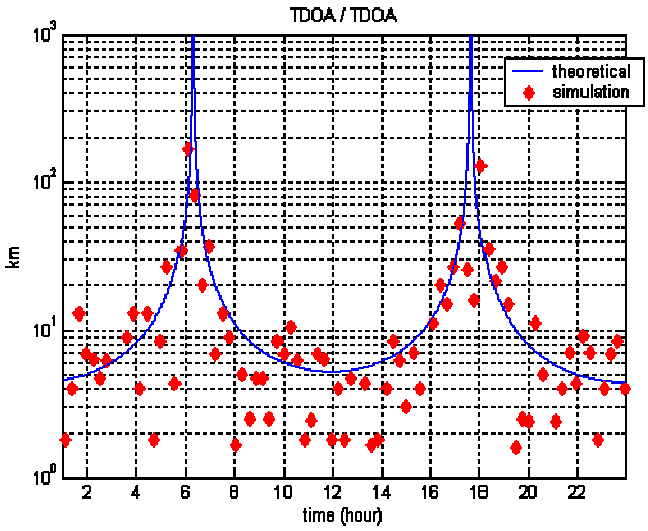


圖 3. 13　時間變化之 TDOA-only 均方根定位誤差(軌道傾斜度 0.5 度)

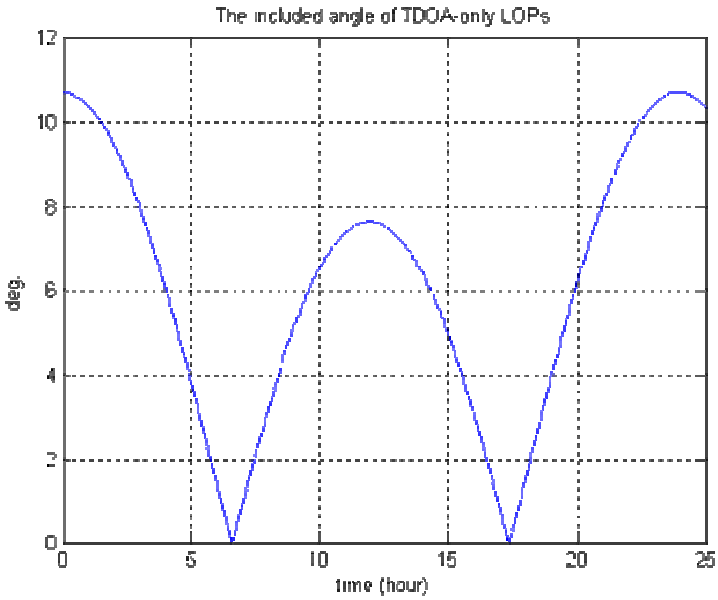


圖 3. 14　時間變化之 DSR 位置線夾角(軌道傾斜度 0.5 度)

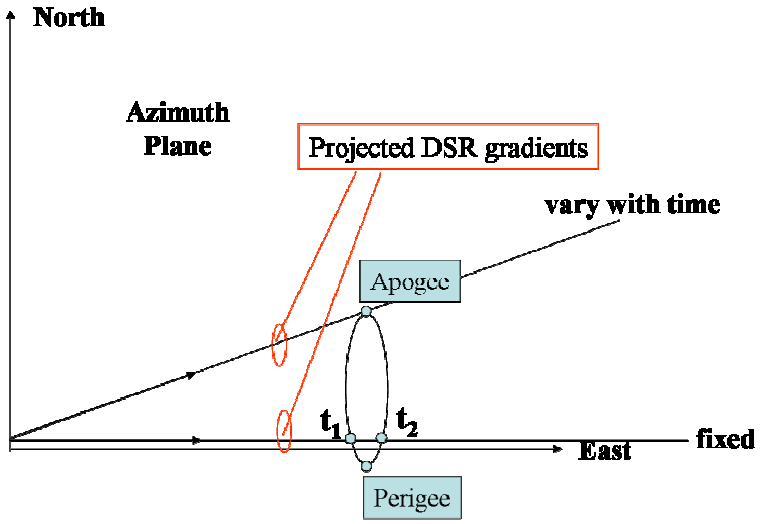


圖 3. 15　DSR 梯度在干擾源方位平面之時間變化示意圖

3.1.3　準確度分析

由模擬結果可看出，TDOA-only 定位法的位置線夾角相當的小，對於誤差的影響相當敏感，當 TDOA 誤差在 0.1μs ~ 0.5μs，均方根誤差會在 20km~200km 的誤差範圍內，而其所產生的誤差橢圓主要是沿著位置線的方向呈現長短軸差距非常大的橢圓分布。而考慮衛星間隔對定位精準度的影響時，可發現當受干擾衛星與靠近干擾源的輔助衛星間隔愈大，使得它們副衛星點的中點與干擾源經度的差距變小，而

DSR 梯度投影在干擾源方位平面的分量(L_t)變大，根據(3-6)式，可得到較小的均方根定位誤差，所以當我們在執行 TDOA-only 的定位時，可以選用與受干擾衛星間隔較大的輔助衛星，但另一方面需要考慮到輔助衛星接收機的靈敏度，因為間隔較大的輔助衛星所接收到的干擾信號功率會比受干擾衛星所接收到的微弱許多，會增加信號偵測的困難度。由模擬結果可看出，在干擾源信號頻寬較小的情況下，因為時域相關計算的不精確，會使得定位誤差有明顯的增加。而此定位技術對於較小的 PG 值，仍可維持其原有的定位精準度。

另外，當衛星軌道存在傾斜度，使得衛星位置為時變的情況下，當傾斜度較小時(~0.01 度)，衛星間隔的時間變化趨近是一個常數，所以對於定位精準度的影響並不大，但是當衛星軌道的傾斜度較大時(~0.5 度)，由圖 3.13 看出定位誤差有較大的變化，DSR 位置線的夾角會因為軌道傾斜度的增大，使得夾角為零的相對時間點，會朝衛星在緯度為零的時間點移動，所以若我們在軌道存在傾斜度的情況執行 TDOA-only 的定位時，要依當時的軌道傾斜度來選擇最佳的時間點執行定位，以提高其定位精準度。

3.2 FDOA-only 定位法

此定位技術主要可使用在一些特殊情況下，當干擾信號為一窄頻信號，若我們使用 TDOA 的定位技術時，在利用時域相關運算求解兩路徑到達的時間差時，信號頻寬較窄，會使所得到的 TDOA 值誤差較大。另一種情況為干擾信號為一未經調變的連續信號，若使用 TDOA 的定位技術，在執行兩路徑干擾信號的相關(correlation)運算時，會產生多個相關運算後的峰值，但我們並無法判別哪個峰值所對應的時間差才是信號到達的時間差，除非我們可以確定兩路徑的時間差小於 1/f(f 為干擾信號的頻率)，否則我們無法使用 TDOA 的定位技術對連續信號做定位，所以在上述的情況下，我們可以考慮使用 FDOA-only 來達成定位的目標。接下來會對此技術作定位精準度的分析與探討。

3.2.1 定位精準度分析

在預期結果(2)中已提到 FDOA 所產生的 DSRR 位置線計算方法，使用與 3.1 所推導 TDOA-only 相同的定位精準度方法，來導出 DSRR 誤差對定位精準度所產生的影響程度。為了探討隨機的模擬誤差值，同樣使用一個共變異矩陣$\underline{\mathbf{C}}$來表示：

$$\underline{\mathbf{C}} = \left\langle \underline{\mathbf{d}}\underline{\mathbf{d}}^T \right\rangle = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix},$$

$$\underline{\mathbf{d}}\underline{\mathbf{d}}^T = \frac{1}{(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21})} \begin{bmatrix} a_{12}^2 dv_{23}^2 + a_{22}^2 dv_{21}^2 & -a_{21}a_{22}dv_{21}^2 - a_{11}a_{12}dv_{23}^2 \\ -a_{21}a_{22}dv_{21}^2 - a_{11}a_{12}dv_{23}^2 & a_{11}^2 dv_{23}^2 + a_{21}^2 dv_{21}^2 \end{bmatrix},$$

$$c_{11} = \sigma_E^2 = \frac{1}{D^2}\left[a_{12}^2\sigma_{23}^2 + a_{22}^2\sigma_{21}^2\right]$$

$$c_{12} = \rho_{EN}^2 = -\frac{1}{D^2}\left[a_{21}a_{22}\sigma_{21}^2 - a_{11}a_{12}\sigma_{23}^2\right]$$

$$c_{21} = c_{12}$$

$$c_{22} = \sigma_N^2 = \frac{1}{D^2}\left[a_{11}^2\sigma_{23}^2 + a_{21}^2\sigma_{21}^2\right] \tag{3-8}$$

dv_{21} 與 dv_{23} 是 DSRR 的微量變化值，σ_{21} 與 σ_{23} 分別是兩個 DSRR 的均方根誤差值，σ_E 與 σ_N 分別是東西方向與南北方向的均方根誤差，ρ_{EN} 為 σ_E 與 σ_N 的相關值，

$$\begin{aligned} D &= \left|a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}\right| = (\underline{\nabla} v_{21} \wedge \underline{\nabla} v_{23}) \cdot \mathbf{e}_r \\ &= \left|V_{t1}\right|\left|V_{t2}\right|\left|\sin\varphi\right| \quad , \mathbf{e}_r = \frac{\mathbf{r}}{r} \quad , \end{aligned} \tag{3-9}$$

V_t 為 DSRR 值的梯度在干擾源方位平面(Azimuth plane)上的分量，φ 為 FDOA 所產生的 DSRR 位置線夾角。利用共變異矩陣內的元素可以得到一個整體的均方根定位誤差，

$$\begin{aligned} \sigma_F &= \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2} \\ &= \frac{1}{D}\sqrt{\sigma_{21}^2\left(a_{22}^2 + a_{21}^2\right) + \sigma_{23}^2\left(a_{12}^2 + a_{11}^2\right)} \end{aligned} \tag{3-10}$$

最後，我們可以將(3-9)式代入(3-10)式中，得到均方根誤差、DSRR 誤差與 FDOA 誤差之間的關係，如下式所示，

$$\sigma_F = \frac{1}{|\sin\varphi|}\sqrt{\frac{\sigma_{21}^2}{V_{t1}^2}+\frac{\sigma_{23}^2}{V_{t2}^2}} \tag{3-11}$$

根據上式所導出的等式，我們可以看出 FDOA 定位均方根誤差值與 DSRR 位置線夾角、FDOA 誤差與 DSRR 梯度在方位平面分量間的關係，在下一節中會模擬分析這些參數在空間變化與時間變化時，對於定位均方根誤差的影響。

3.2.2 數值模擬

接下來我們藉由表 3.2 所提供的 FDOA 誤差範圍(經參考站修除系統誤差後)，來了解 FDOA 誤差對其定位精準度的影響，圖 3.16 為 FDOA-only 的模擬結果，下面是我們所設定的定位幾何配置:

干擾源: 22.62422°N 120.26589°E，
受干擾衛星(S2): 110.5°E，
輔助衛星: (S1) 107.5°E ， (S3) 113.5°E，

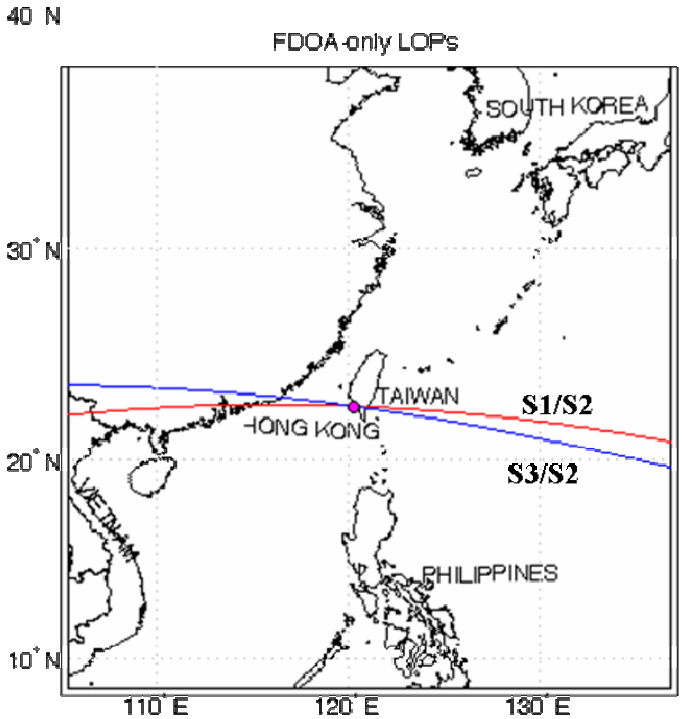
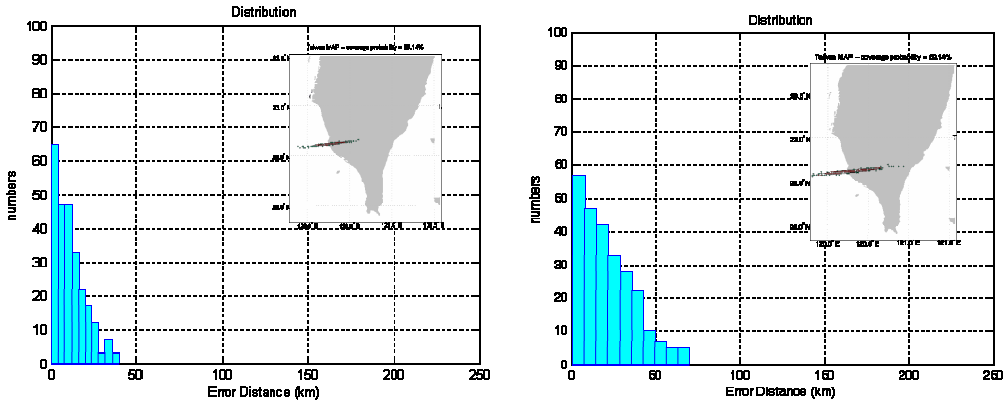


圖 3.16 FDOA-only LOPs

由圖 3.17 可觀察到兩種情況下，FDOA-only 定位法的誤差的統計分布與誤差橢

圓的大小，(a) FDOA 均方根誤差為 $\sigma_{FDOA1}=\sigma_{FDOA2}=10$ mHz ，所得到的均方根定位誤差為 14.04 km，(b) $\sigma_{FDOA1}=\sigma_{FDOA2}=20$ mHz，所得到的均方根誤差為 26.432 km。可由兩圖所產生的誤差橢圓做比較，當 FDOA 均方根誤差提高時，誤差橢圓會沿著 DSRR 的位置線形成更長的分布。表 3.2 為 FDOA-only 定位技術在不同 FDOA 誤差情況下，所產生的誤差橢圓長短軸、面積與定位均方根誤差。



(a) (b)

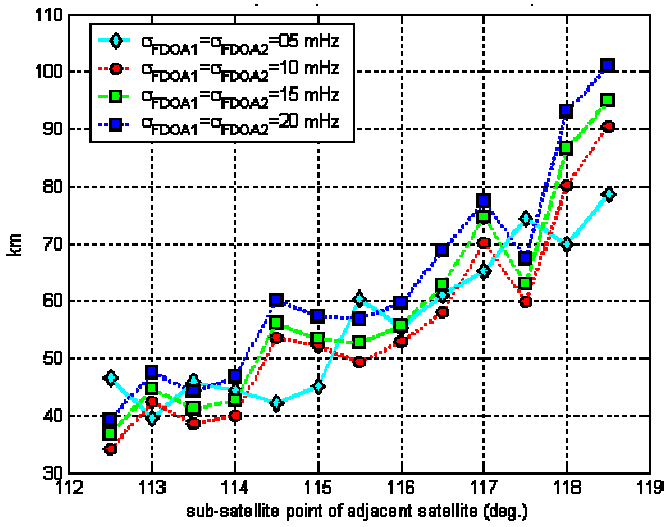
圖 3.17 FDOA-only 誤差統計圖與定位點分佈情形 (a) $\sigma_{FDOA1}=\sigma_{FDOA2}=10$ mHz (b) $\sigma_{FDOA1}=\sigma_{FDOA2}=20$ mHz

表 3. 2 FDOA-only 均方根誤差與誤差橢圓之長短軸與面積

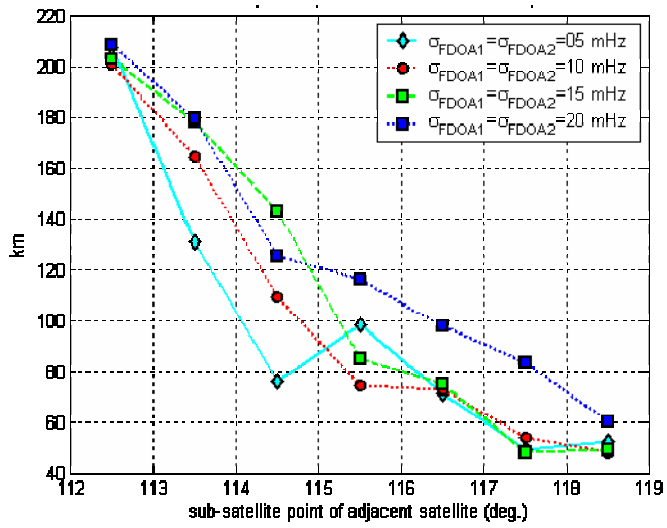
	$\sigma_{FDOA1}=\sigma_{FDOA2}$			
	10mHz	20mHz	30mHz	40mHz
橢圓長軸	21.713 km	44.455 km	66.203 km	86.947 km
橢圓短軸	1.109 km	1.811 km	2.514 km	3.591 km
橢圓面積	75.663 km^2	252.92 km^2	522.84km^2	981 km^2
均方根誤差	12.923 km	26.44 km	39.397 km	51.734 km

由圖 3.18(a)(b) 可以看出，FDOA-only 的定位技術，其定位誤差會在不同的情況下，隨著衛星間隔變大而增加或降低，主要的影響與我們所選用輔助衛星的速度方向有關，舉例來說，假設干擾源落在 22.62422°N 120.26589°E，而受干擾衛星在 110.5°E，而其速度方向設為干擾源到受干擾衛星的直線方向上，當輔助衛星選用在 113.5°E，同樣將其速度方向設為干擾源到輔助衛星的直線方向上，依(2-18)式所示，在此情況下，會得到一個 DSRR 值，此時我們若將輔助衛星換成 115.5 °E，而其衛星

速度方向保持不變，故此輔助衛星速度的投影量勢必會降低，使得 DSRR 變大，而在相同誤差條件下，對於誤差的敏感度降低，定位精準度也就跟著提高，如圖 3.18(b)所示。另一情況則是當原本所使用的輔助衛星，與干擾源到輔助衛星的單位向量夾角較大時，加大衛星間隔，故輔助衛星速度的投影量增大，使得 DSRR 變小，而在相同誤差條件下，對於誤差的敏感度提高了，定位精準度也就跟著降低，如圖 3.19(a)所示。在一般情況下，我們可考慮選用與受干擾衛星間隔較大之輔助衛星，來避免兩衛星因相距太近，受到相同的外在引力，而得到相近的衛星攝動速度方向，使得 DSRR 變小，進而導致定位誤差的增加。



(a)



(b)

圖 3.19　FDOA-only 定位法衛星間隔與定位誤差的關係 (a) 定位誤差隨衛星間隔變大而增加 (b) 定位誤差隨衛星間隔變大而增加

圖 3.20 與圖 3.21 分別為輔助衛星通道 SNR、PG 值與其定位誤差之關係，可看出輔助衛星通道 SNR 值每降低 10dB，會增加約 80 公里的定位誤差，另外，可看出當 PG 值不足時，對其定位精準度的影響相當的大，主要是因為在使用 CAF 計算到達頻率差時，是利用 fft 的計算求得，其精確度會與對信號的取樣個數有關，當取樣個數不足，使得 FDOA 不夠精確，導致定位誤差增大。

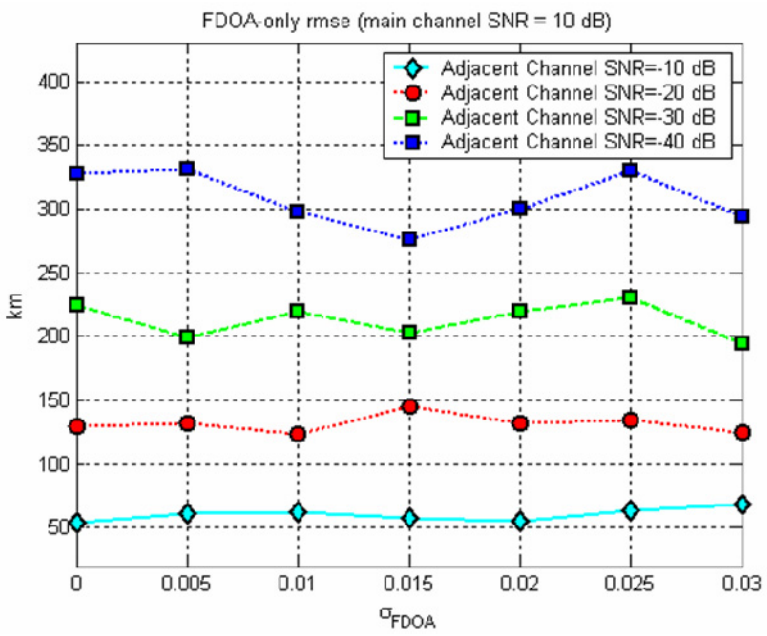


圖 3.20　輔助衛星通道 SNR 與 FDOA-only 定位誤差之關係

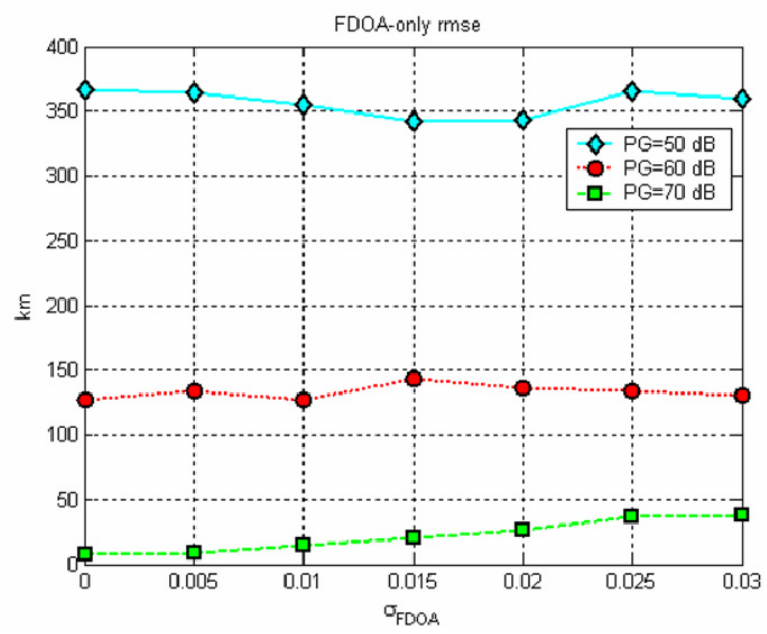


圖 3.21　PG 值與 FDOA-only 定位誤差之關係

接著探討衛星軌道攝動與傾斜度隨時間改變時，對定位精準度的影響，可將(3-11)式改寫成

$$\sigma_F = \frac{\mathbf{1}}{|\sin\varphi(t)|}\sqrt{\frac{\sigma_{21}^2(t)}{V_{t1}^2(t)} + \frac{\sigma_{23}^2(t)}{V_{t2}^2(t)}} \quad , \tag{3-12}$$

FDOA-only 的定位精準度會跟時變的V_{t1}、V_{t2}(DSRR 梯度在干擾源方位平面上的分量)與φ(DSRR 位置線的夾角)有關，而V_{t1}與V_{t2}會直接受衛星間隔角度的影響，接下來我們就探討當衛星軌道存在傾斜度時，其對 FDOA-only 定位誤差的影響。

模擬的設定為，干擾源在 22.62422 ^{o}N　120.26589 ^{o}E，受干擾衛星在 110.5^{o}E，輔助衛星分別在 113.5 ^{o}E 與 107.5 ^{o}E，首先假設 113.5 ^{o}E 的衛星軌道傾斜度 0.025 度，$\sigma_{FDOA1}=\sigma_{FDOA2}=20$mHz，由圖 3.21 可看出定位誤差最小值發生在相對時間為 6 小時與 18 小時，而定位誤差最大值發生在相對時間為 0 小時、12 小時與 24 小時，可由圖 3.22 與圖 3.23 看出，定位誤差最大值所發生的主要原因為，在這些時間點 DSRR 梯度在干擾源方位平面上的分量非常小，利用(3-12)式可看出此時會使得定位均方根誤差變的非常的大，而其定位誤差與 DSRR 位置線的夾角並沒有太大的關係，可由圖 3.25 來解釋，由先前的公式我們可以得知，因 DSRR 為 DSR 之時間變化率，所以當軌道存在傾斜度時，會產生 DSR 梯度在干擾源方位平面向量的橢圓變化軌跡，在相對時間點為 0 小時與 12 小時，DSR 時間變化率最小，即 DSRR 最小，所以會有最大定位誤差的產生。

圖 3.24 (a)(b)為模擬當衛星軌道的傾斜度與 FDOA 誤差設定為相同的情況下，探討在不同的衛星攝動高度對定位精準度的影響，可觀察到當衛星攝動高度為±100km/day 時，其所得到的定位誤差會比攝動高度為±10km/day 來的小，主要是由於當衛星攝動的變化較大時，可以得到較大的衛星速度投影量，故在相同誤差條件下，定位精準度會比衛星攝動變化較小時來的好。所以當我們在執行 FDOA-only 的

定位時，可使用衛星攝動變化較大的輔助衛星，可在大部分的時間內，得到較佳的定位精準度。

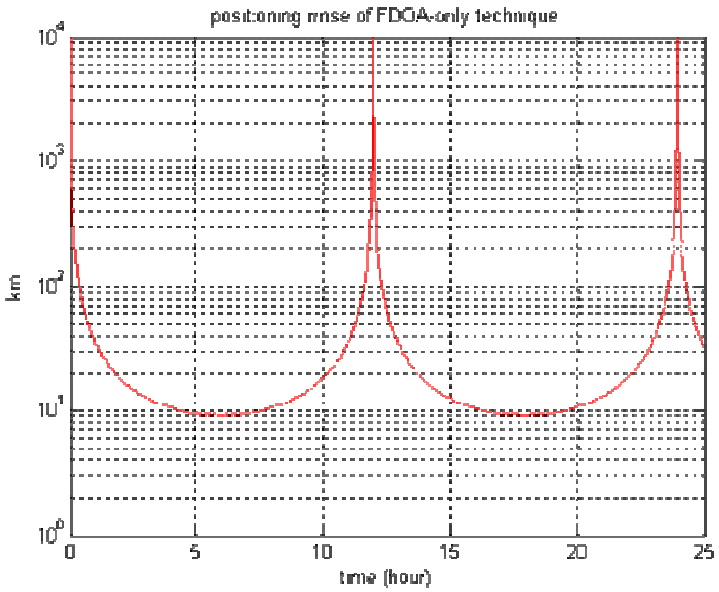


圖 3.21　時間變化之 FDOA-only 均方根定位誤差(軌道傾斜度 0.5 度)

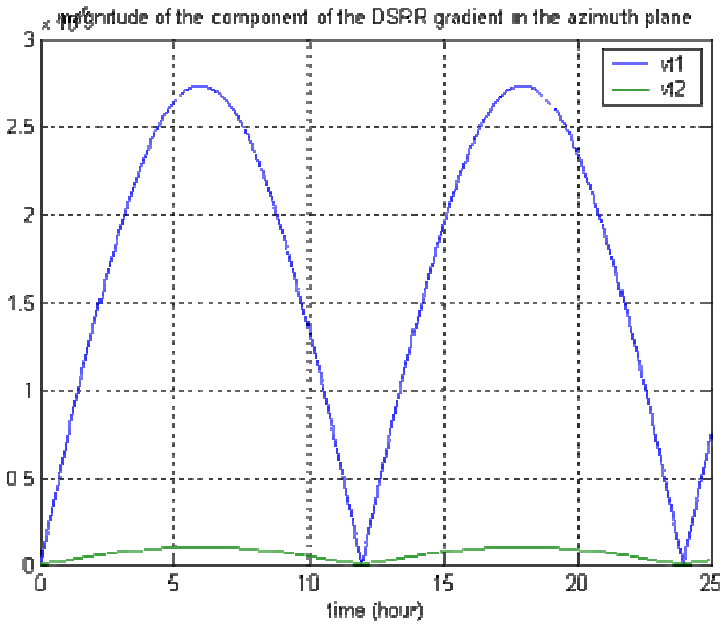


圖 3.22　DSRR 梯度在干擾源方位平面上之分量

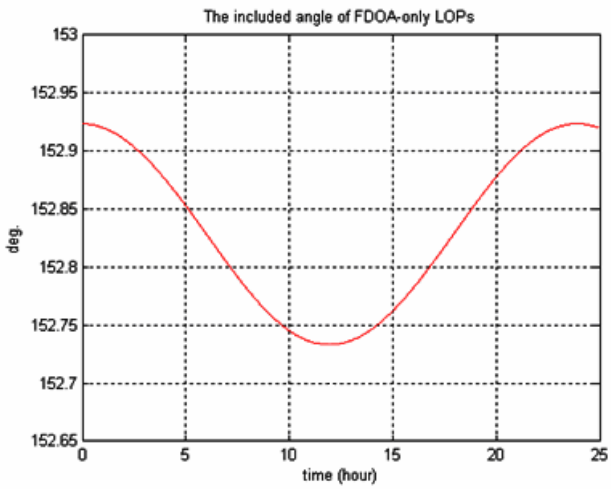
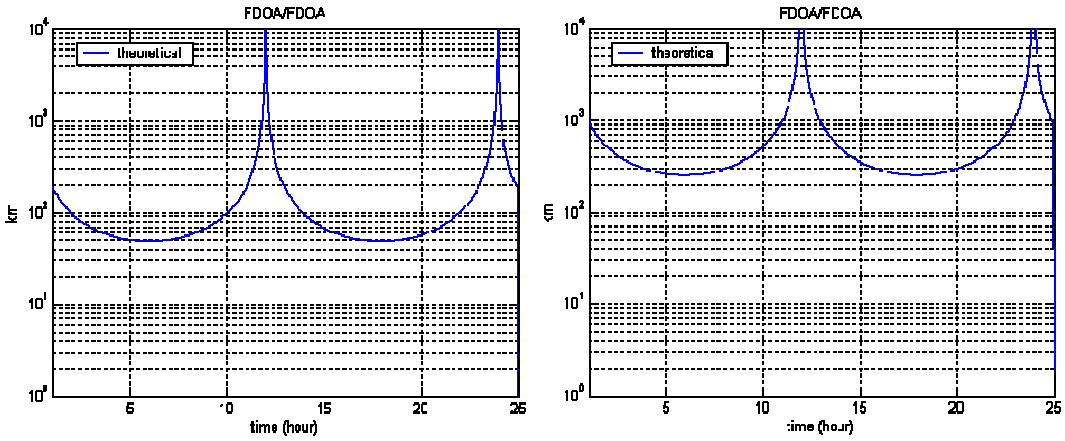


圖 3.23　時間變化之 DSRR 位置線夾角



(a)　　(b)

圖 3.24　時間變化之 FDOA-only 均方根定位誤差 (a) 輔助衛星攝動高度 ±100km/day (b) 輔助衛星攝動高度 ±10km/day

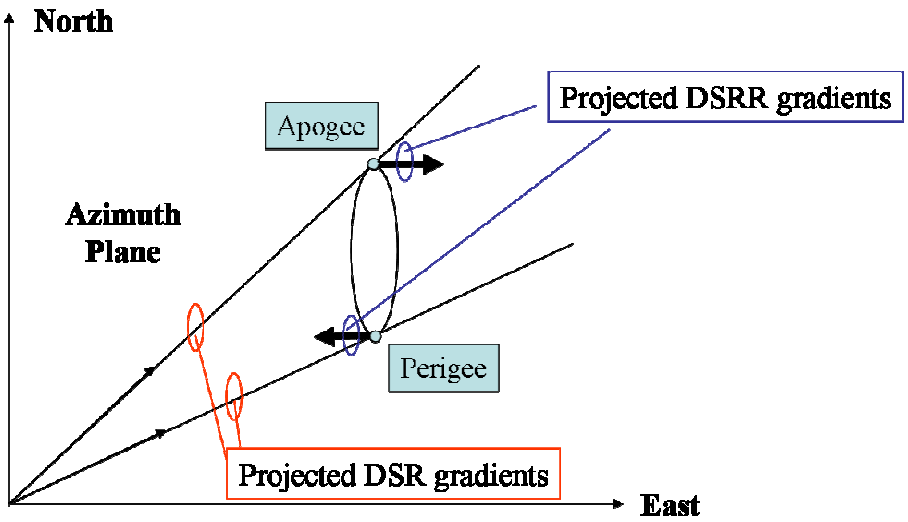


圖 3.25　DSRR 梯度在干擾源方位平面之時間變化示意圖

3.2.3 準確度分析

由模擬結果可看出，FDOA-only 定位法的位置線夾角與 TDOA-only 的定位法類似，都相當地小，所以對於頻率誤差的影響相當敏感，當設定 FDOA 誤差在 5mHz ~ 25mHz，均方根誤差會在 30km~70km 的誤差範圍內，而其所產生的誤差橢圓主要是沿著位置線的方向呈現長軸趨近於東西走向的橢圓分布，由表 3.2 可得知長短軸的差距相當地大。在考慮衛星間隔對定位精準度的影響時，可發現衛星間隔對定位精準度的影響，主要由受干擾衛星與輔助衛星攝動速度投影量之差值所決定，一般情況下，我們可選用與受干擾衛星間隔較大之輔助衛星，來避免兩衛星因相距太近，受到相同的外在引力，而得到相近的攝動方向，使得 DSRR 變小，進而導致定位誤差的增加。另外，在相同 FDOA 誤差的情況下，不足的 PG 值，會使得定位誤差產生大幅度的增加。在我們所給定的環境下，輔助衛星通道的 SNR 每降低 10dB 會使得其所產生的定位誤差增加 80 公里左右。

另外，當衛星軌道存在傾斜度，使得衛星位置為時變的情況下，FDOA-only 的定位精準度主要受到 DSRR 梯度投影在干擾源方位平面的分量(V_t)所影響，當衛星位置在 apogee 與 perigee 時，使得V_t非常小，可由(3-12)式得知，此時的定位誤差會非常地大。

3.3 結合 TDOA/FDOA 定位法

在分別瞭解使用三顆衛星所達成的 TDOA-only 與 FDOA-only 定位法後，我們可以由其模擬結果得知，這兩種定位法之定位誤差較大的主要原因是其所產生的位置線夾角較大所導致，所以若我們結合此兩種方法來達成定位，可以得到較大的位置線夾角，也可減少所需使用的輔助衛星數，接下來就針對此定位法的定位精準度進行分析與探討。

3.3.1 定位精準度分析

在預期結果(2)中提到如何由已知的 DSR 值與 DSRR 值，推導出它們在地表上所相對應的位置線，接下來我們為了瞭解由 TDOA 與 FDOA 誤差所對應的 DSR 誤差與 DSRR 誤差對定位精準度所產生的影響程度，我們使用同 3.1.1 節的分析方法，使用一個矩陣方程式來描述 DSR 與 DSRR 誤差與定位點的相對關係。為了探討隨機的模擬誤差值，同樣使用一個共變異矩陣 $\underline{\mathbf{C}}$ 來表示

$$
\begin{aligned}
&\underline{\mathbf{C}} = \left\langle \underline{\mathbf{d}}\underline{\mathbf{d}}^T \right\rangle = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix}, \\
&\underline{\mathbf{d}}\underline{\mathbf{d}}^T = \frac{1}{(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21})} \begin{bmatrix} a_{12}^2 dv_{21}^2 + a_{22}^2 dl_{21}^2 & -a_{21}a_{22}dl_{21}^2 - a_{11}a_{12}dv_{21}^2 \\ -a_{21}a_{22}dl_{21}^2 - a_{11}a_{12}dv_{21}^2 & a_{11}^2 dv_{21}^2 + a_{21}^2 dl_{21}^2 \end{bmatrix}, \\
&c_{11} = \sigma_E^2 = \frac{1}{D^2}\left[a_{12}^2\sigma_v^2 + a_{22}^2\sigma_l^2 \right] \\
&c_{12} = \rho_{EN}^2 = -\frac{1}{D^2}\left[a_{21}a_{22}\sigma_l^2 - a_{11}a_{12}\sigma_v^2 \right] \\
&c_{21} = c_{12} \\
&c_{22} = \sigma_N^2 = \frac{1}{D^2}\left[a_{11}^2\sigma_v^2 + a_{21}^2\sigma_l^2 \right]
\end{aligned}
\tag{3-13}
$$

dl_{21} 與 dv_{21} 分別是 DSR 與 DSRR 的微量變化值，σ_l 與 σ_v 分別是 DSR 與 DSRR 均方根誤差，σ_E 與 σ_N 分別是東西方向與南北方向的均方根誤差，ρ_{EN} 為 σ_E 與 σ_N 的相關值，

$$D=\left|a_{11}a_{22}-a_{12}a_{21}\right|=(\underline{\nabla}l_{21}\wedge\underline{\nabla}v_{21})\cdot\mathbf{e}_r$$
$$=\left|L_t\right|\left|V_t\right|\left|\sin\varphi\right| \quad ,\mathbf{e}_r=\frac{\mathbf{r}}{r} \quad , \tag{3-14}$$

L_t 與 V_t 分別為 DSR 值與 DSRR 值的梯度在干擾源方位平面上的分量，φ 為 FDOA 所產生的 DSRR 位置線與 TDOA 所產生的 DSR 位置線夾角。利用共變異矩陣內的元素可以得到一個整體的均方根定位誤差，

$$\sigma=\sqrt{\sigma_E^2+\sigma_N^2}$$
$$=\frac{1}{D}\sqrt{\sigma_l^2\left(a_{22}^2+a_{21}^2\right)+\sigma_v^2\left(a_{12}^2+a_{11}^2\right)} \quad , \tag{3-15}$$

最後，我們可以將(3-9)式代入(3-10)式中，得到均方根誤差、DSR 誤差、DSRR 誤差與 L_t 與 V_t 之間的關係，如下式所示，

$$\sigma=\frac{1}{\left|\sin\varphi\right|}\sqrt{\frac{\sigma_l^2}{L_t^2}+\frac{\sigma_v^2}{V_t^2}} \quad , \tag{3-16}$$

根據上式所導出的等式，我們可以看出當位置線夾角愈大，或 DSR 與 DSRR 梯度在干擾源方位平面分量愈大，所得到的均方根定位誤差也就愈小。在下一節中會模擬分析這些參數在空間變化與時間變化時，對於定位均方根誤差的影響。

3.3.2 數值模擬

在對 TDOA/FDOA 定位方法作分析前，同樣先利用文獻[19]上所做的定位量測來驗證定位演算法的正確性，此量測是使用兩顆同步衛星來達成，衛星干擾源在 1.783°E 48.594°N，其中受干擾衛星為 EUTELSAT IIF2，位在 10°E 的位置，另外一顆輔助衛星是 EUTELSAT IIF4 ，位在 7°E 的位置，可以分別得到 TDOA 值為 95.569 μs，FDOA 值為 27.016 Hz，實測結果與模擬結果分別如圖 3.26 與 4.27 所示，由模擬所

得到的 DSR 位置線與實測結果相當一致，而在 DSRR 位置線方面，因為我們無法得知實測當時衛星的速度與位置，所以模擬所得到的 DSRR 位置線經由調整衛星速度後，才得到與實測結果趨勢相同的位置線，如此即可驗證我們定位演算法的正確性，接下來作相關的定位分析時，可以提高其可信度。

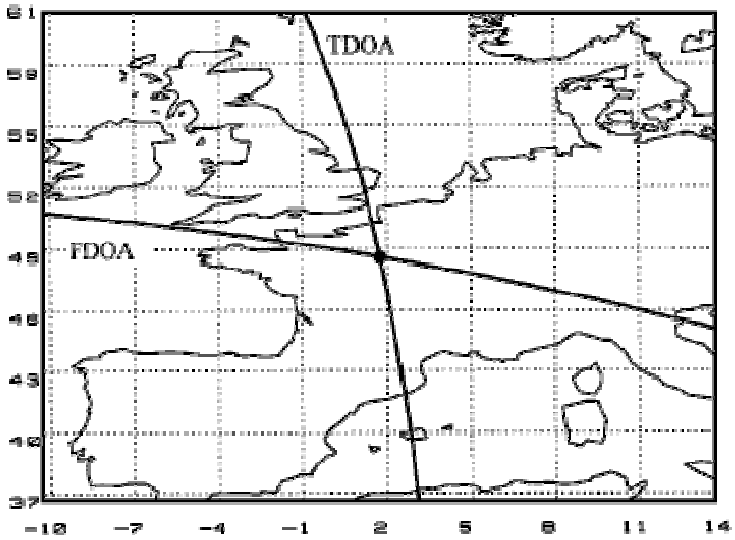


圖 3.26　利用 IIF2 與 IIF4 所得到的 TDOA/FDOA 實測結果[19]

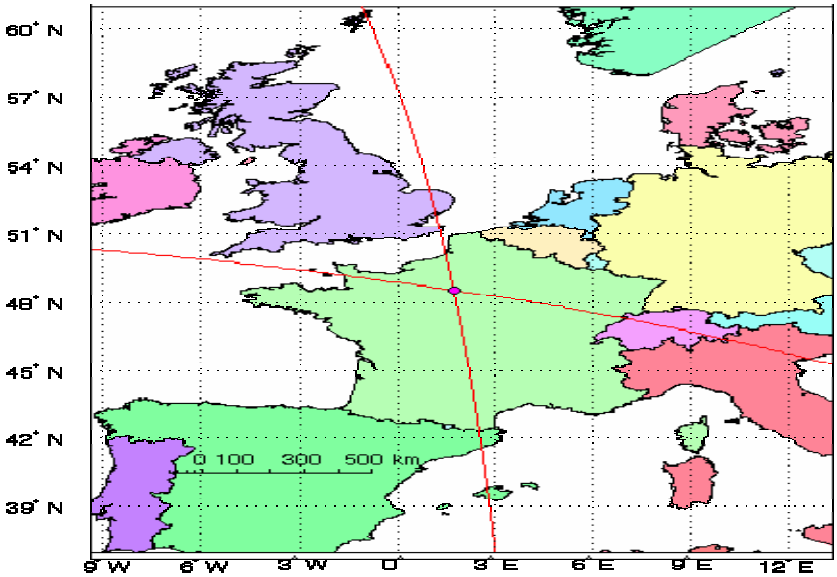


圖 3.27　TDOA/FDOA 模擬結果

為了能夠瞭解 TDOA/FDOA 所產生的 DSR 與 DSRR 位置線在地球上的分布情形，接下來就利用兩顆衛星分別在 113.5°E 與 110.5°E 來完成雙星 TDOA/FDOA 的定

位，設定干擾源落在 112° E　0°N，可得到如圖 3.28 的結果，由圖中可看出 DSR 與 DSRR 所產生的位置線在地表上所產生的夾角接近 90 度，所以可預知此定位方法的定位精準度在一般的情況下，會比 TDOA-only 與 FDOA-only 定位法來的好，隨後就會探討此定位法在不同環境與時間下，對定位精準度的影響。

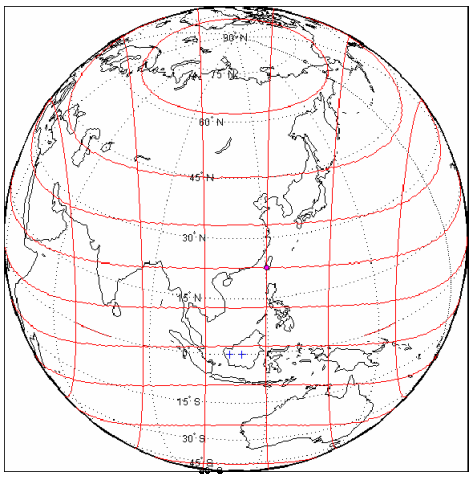
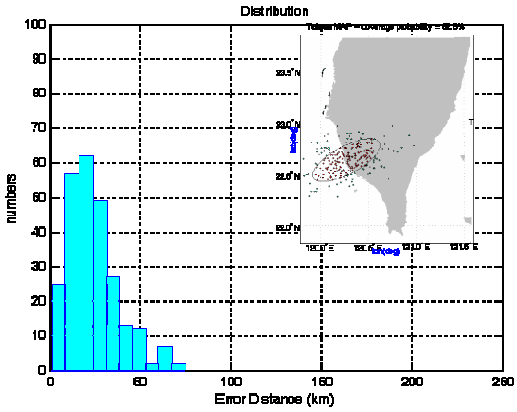
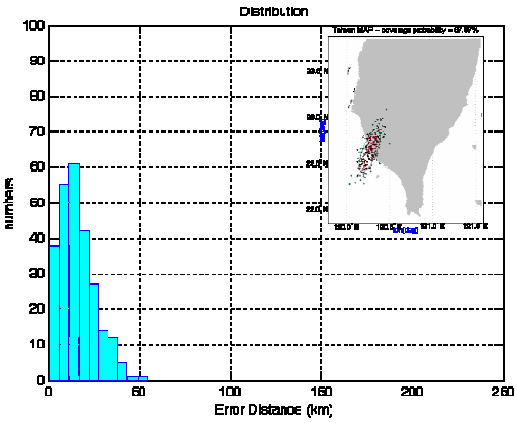


圖 3.28　TDOA/FDOA 位置線分布情形 (觀測點:E112°　N37°)

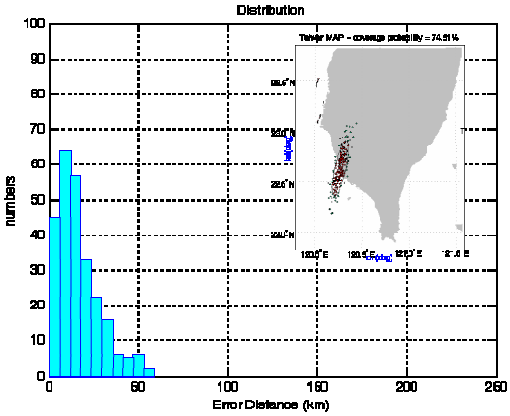
接下來探討在相同的誤差條件下，利用與受干擾衛星不同間隔的輔助衛星，觀察其對定位誤差的統計分布與誤差橢圓大小的影響，在此所設定的受干擾衛星為 110.5°E，輔助衛星為 112.5°E、113.5°E、115.5°E 與 117.5°E，TDOA 的均方根誤差為 1.5μs，FDOA 的均方根誤差為 10mHz，所得到的結果如圖 3.29 所示。

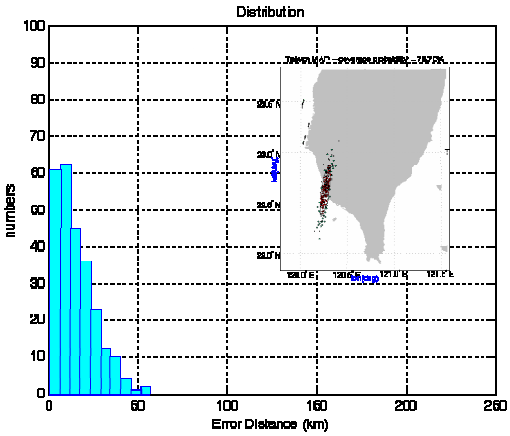


(a)



(b)





(c) (d)

圖 3.29 TDOA/FDOA 誤差統計圖與定位點分佈情形 (a) 輔助衛星 112.5°E，均方根誤差 27.631km (b) 輔助衛星 113.5°E，均方根誤差 18.583km (c) 輔助衛星 115.5°E，均方根誤差 18.234km (d) 輔助衛星 117.5°E，均方根誤差 18.165km

由模擬結果可觀察到，在相同的誤差條件下，受干擾衛星與輔助衛星間隔的夾角大小確實會對我們的定位精準度產生一些影響，間隔 2 度與間隔 3 度所產生的均方根誤差相差了大約 9 公里，而相隔 3 度與相隔 5 度或 7 度，所產生的均方根誤差的差距都在 0.5 公里內，如此可以得知我們在選擇輔助衛星作雙星定位時，若要得到較精確的定位精準度，可以優先考慮與受干擾衛星間隔 3 度以上的衛星，但由於一般衛星地面站台的天線波束相當集中，而波束寬也會與地面站台所使用的頻段有關，一般來說，若操作的頻率愈高，天線所形成的波束寬也就愈窄，所以使用間隔太大的輔助衛星，它的天線所接收到的干擾信號功率，會比干擾源天線的主波束所發出的干擾信號小上許多，在這個情況下，會增加輔助衛星在偵測干擾信號的困難度，而此項限制會與衛星上接收機的靈敏度有關。

由圖 3.30 可以看到 σ_{TDOA} 從 0.1μs 到 0.5μs，σ_{FDOA} 從 0Hz 到 0.04Hz，所對應的均方根定位誤差。另外，由圖 3.3.6 可看出 4 種 σ_{TDOA} 與 σ_{FDOA} 的配置，(a) $\sigma_{TDOA}=0.4\mu s$ ， $\sigma_{FDOA}=20mHz$ ； (b) $\sigma_{TDOA}=0.4\mu s$ ， $\sigma_{FDOA}=40mHz$ ； (c) $\sigma_{TDOA}=0.2\mu s$，$\sigma_{FDOA}=40mHz$；(d) $\sigma_{TDOA}=0.2\mu s$，$\sigma_{FDOA}=20mHz$，在不同的衛星間隔下所得到的均方根定位誤差，可看出藉由較大的衛星間隔，可以得到較好的定

位精準度，由圖 3.32 可以了解到，當衛星間隔角度愈大，DSR 與 DSRR 位置線的夾角也就愈大，對於時間與頻率的誤差也會較不敏感，另外，在我們所設定的環境下，當衛星間隔大約在 8 度時，所產生的位置線夾角正好越過 90 度，所以在此時若我們在執行干擾源定位時，選擇衛星間隔角度為 8 度，可以提高定位精準度，但同時仍需考量此時輔助衛星通道之 SNR 所造成之定位誤差。也可看出(b)與(c)所產生的定位誤差較相近，而(a)與(d)的定位誤差較相近，這兩組它們的的σ_{FDOA}都是相同的，所以可以知道在這些時間與頻率的誤差範圍內，定位精準度會被 FDOA 的誤差所主宰，如此也可瞭解為什麼在一般的誤差情況下，TDOA/FDOA 定位法所產生的誤差橢圓會呈現長短軸的分布了。

表 3.3 為在不同 TDOA 與 FDOA 誤差配置下，所得到誤差橢圓長短軸、面積與定位之均方根誤差，可看出此定位方法所產生之誤差橢圓面積比 TDOA-only 與 FDOA-only 小上許多，如此可大幅降低在誤差橢圓內的搜尋時間。

表 3.3　TDOA/FDOA 均方根誤差與誤差橢圓之長短軸與面積

	$(\sigma_{\mathrm{TDOA}},\sigma_{\mathrm{FDOA}})$			
	(0.4μs,20mHz)	(0.4μs,40mHz)	(0.2μs,40mHz)	(0.2μs,20mHz)
橢圓長軸	13.383 km	19.169 km	16.9 km	12.742 km
橢圓短軸	2.969 km	2.809 km	1.373 km	1.601 km
橢圓面積	124.84km^2	169.16 km^2	72.873 km^2	64.109 km^2
均方根誤差	9.026 km	31.381 km	10.862 km	8.284 km

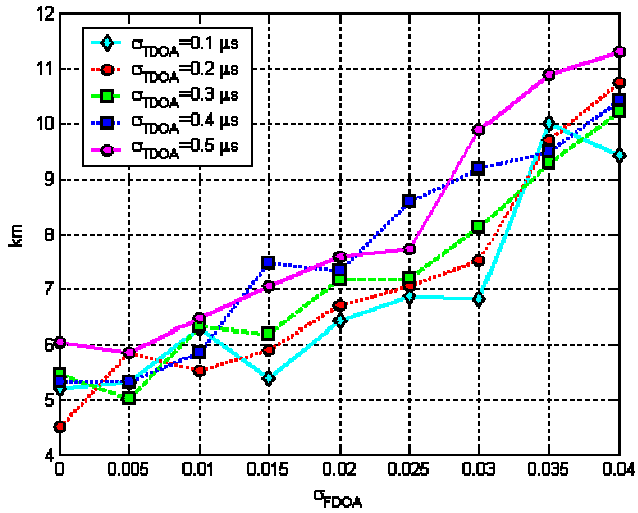


圖 3.30　TDOA/FDOA 均方根誤差與均方根定位誤差之關係

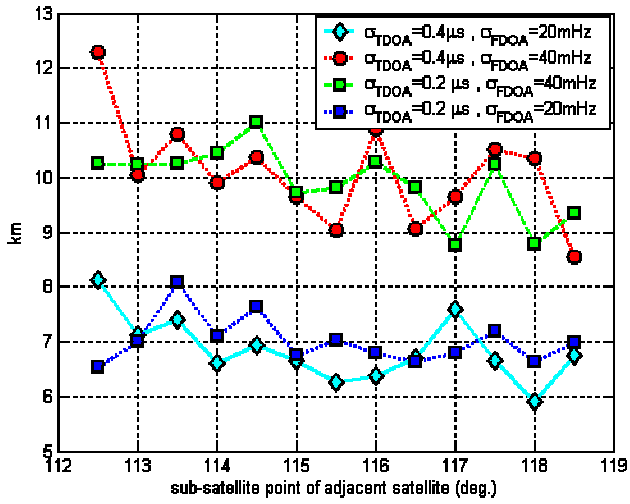


圖 3.31　TDOA/FDOA 定位法衛星間隔與定位誤差的關係

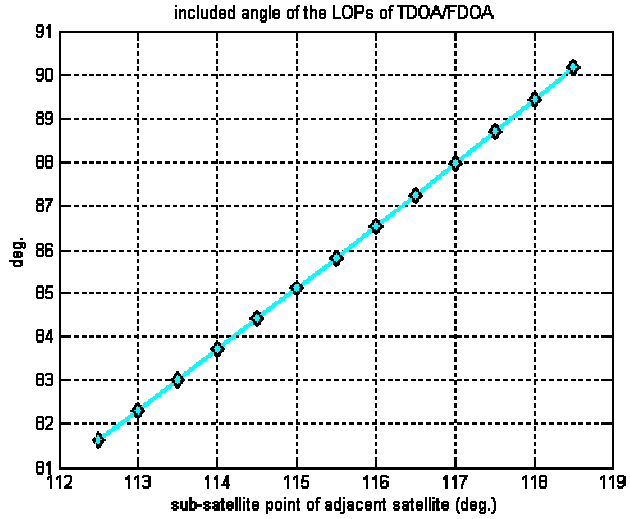


圖 3.32　衛星間隔與 DSR、DSRR 位置線夾角的關係

TDOA/FDOA 與 TDOA-only 的定位技術相同，當衛星間隔愈大，可得到較好的定位精準度，但同樣須考慮到輔助衛星通道 SNR 的大小，由圖 3.33 可看出其對於定位誤差的影響。圖 3.34 可看出不同干擾源信號頻寬，對其定位誤差的影響，雖然信號頻寬較小時，CAF 計算 TDOA 值的誤差會較大，但因為 TDOA/FDOA 定位技術所產生的位置線夾角比 TDOA-only 的大上許多，所以它對於較小的信號頻寬，也有不錯的定位精準度。圖 3.35 可看出 TDOA/FDOA 對於 PG 值的要求相當嚴格，當 PG 值從 60dB 下降至 50dB 時，定位誤差增加約 300 公里！

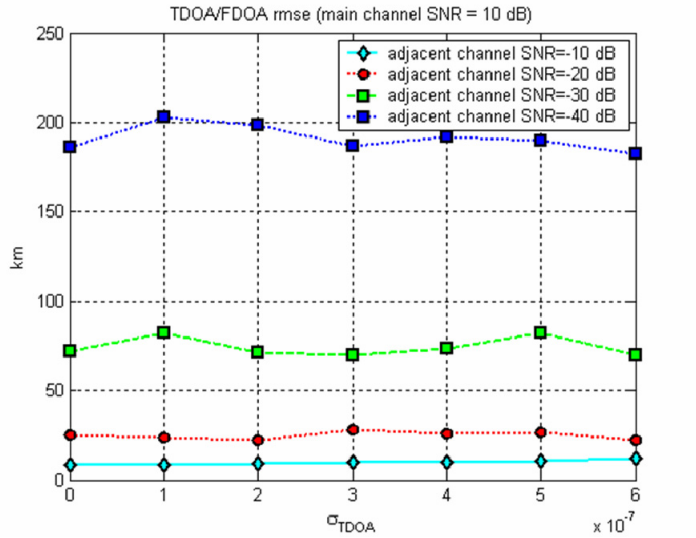


圖 3.33　輔助衛星通道 SNR 與 TDOA/FDOA 定位誤差之關係

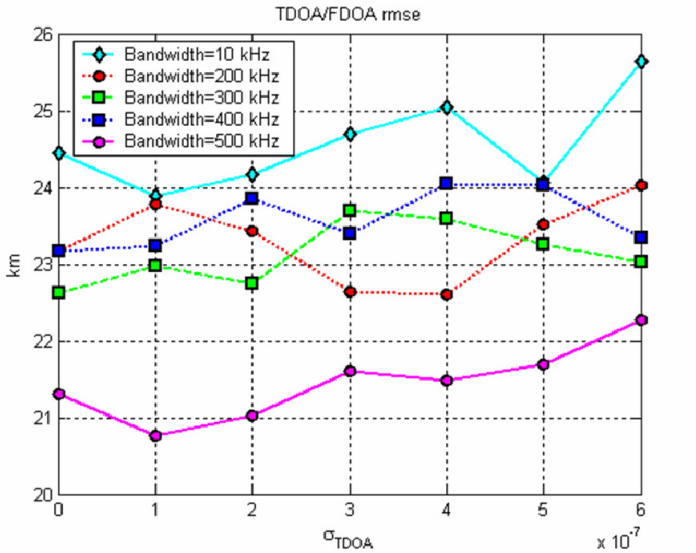


圖 3.34　干擾信號頻寬與 TDOA/FDOA 定位誤差之關係

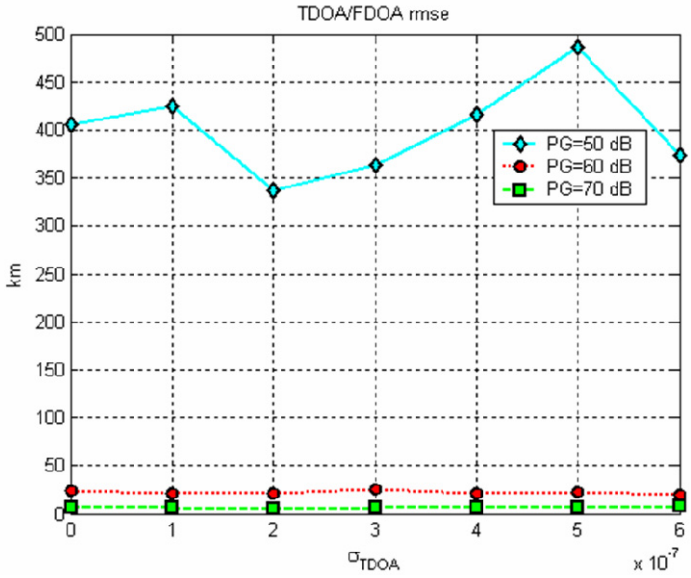
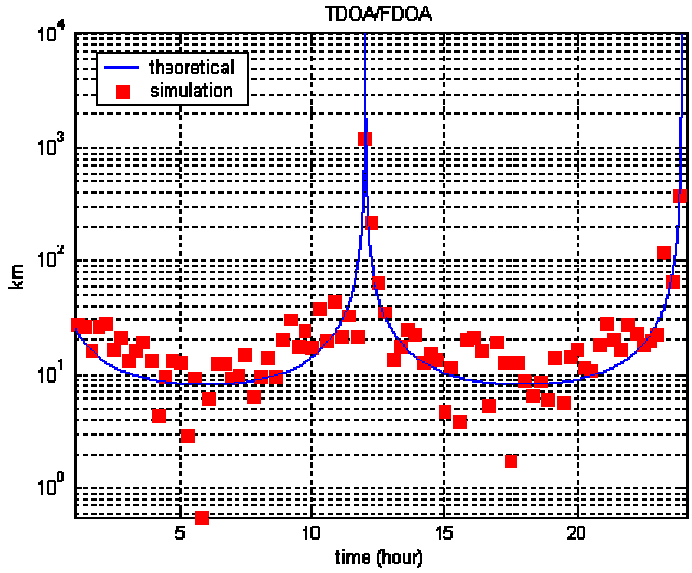


圖 3.35　PG 值與 TDOA/FDOA 定位誤差之關係

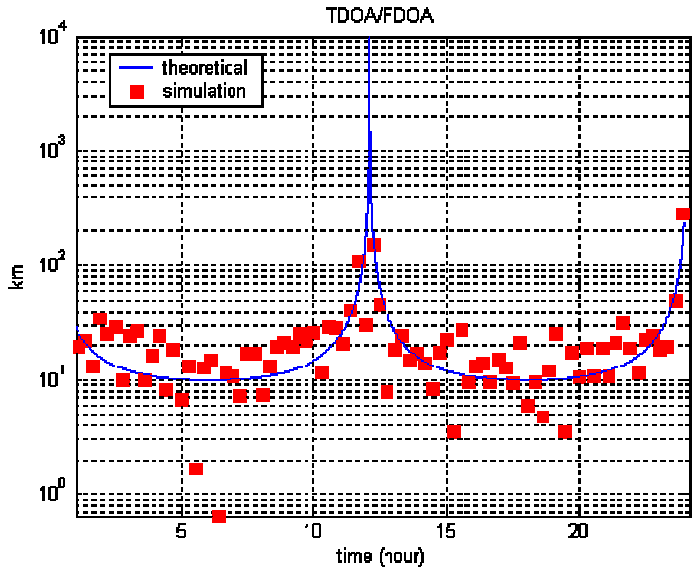
接著探討衛星軌道攝動與傾斜度隨時間改變時，對定位精準度的影響，可將(3-16)式改寫成

$$\sigma=\frac{\mathbf{1}}{|\sin\varphi(t)|}\sqrt{\frac{\sigma_l^2(t)}{L_t^2(t)}+\frac{\sigma_v^2(t)}{V_t^2(t)}} \quad , \tag{3-17}$$

由(3-17)式可看出此定位法的整體定位誤差，會直接受σ_l與σ_v所影響，這些誤差的產生主要來自表 2.4 所提供的項目，當環境隨時間變化時，這些誤差的大小也會因此跟著改變，所得到的定位誤差也就會有所不同。另外，L_t、V_t與位置線夾角φ，也會隨著環境的改變而產生變化，隨後我們將探討當衛星軌道存在傾斜度時，受干擾衛星、輔助衛星與干擾源間的相對位置隨著時間改變，對定位精準度的影響。由圖 3.36 我們可以看出當衛星處在 apogee 相對時間在 0 小時與 24 小時附近，與衛星處在 perigee 相對時間在 12 小時附近，會得到較大的定位誤差，從圖 3.37 得知主要是在這些時間點 DSR 與 DSRR 位置線的夾角趨近於 0 度與 180 度所導致。此現象可由圖 3.38 來解釋，可看出當相對時間接近 0 小時與 12 小時，會使得 DSR 與 DSRR 梯度在干擾源方位平面之夾角趨近於零，而導致定位誤差非常大。



(a)



(b)

圖 3.36　時間變化之 TDOA/FDOA 均方根定位誤差(a) 軌道傾斜度 0.025 度，衛星攝動高度範圍 ±50km/day， (b) 軌道傾斜度 0.025 度，衛星攝動高度範圍 ±100km/day

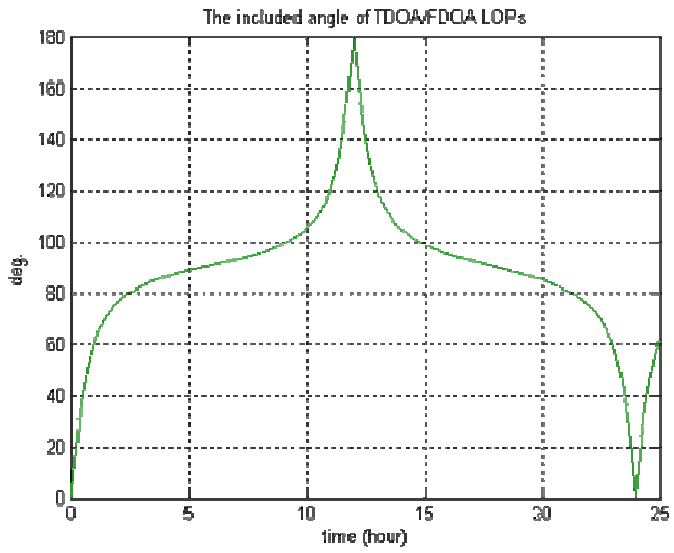


圖 3.37　時間變化之 DSR 與 DSRR 位置線夾角

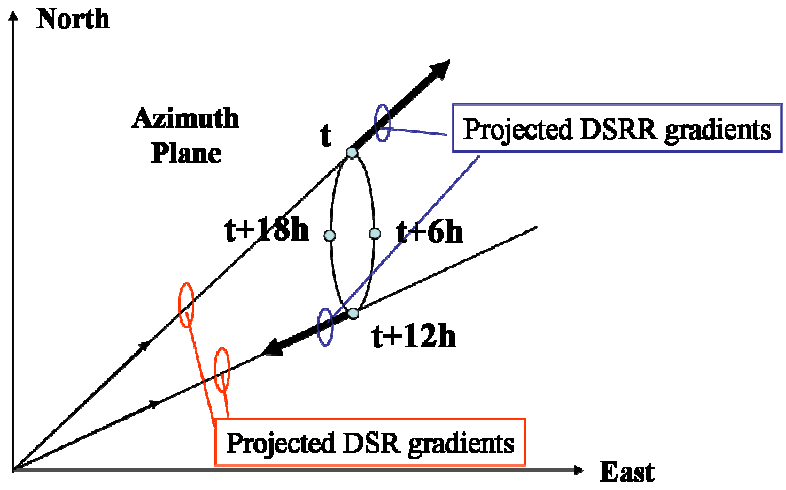


圖 3.38　DSR 與 DSRR 梯度在干擾源方位平面之時間變化示意圖

3.3.3　準確度分析

由模擬結果可以觀察到，結合 TDOA 與 FDOA 定位法所產生的 DSR 與 DSRR 位置線夾角會比 TDOA-only 與 FDOA-only 位置線夾角更接近於 90 度，設定 TDOA 誤差在 0.1μs ~ 0.5μs 範圍內，而 FDOA 誤差在 5mHz ~ 40mHz 範圍內，所得到的均方根定位誤差均落在 10 公里以下，比 TDOA-only 與 FDOA-only 的定位精準度來的好，且可得到的較小的誤差橢圓面積，以減少在橢圓內的搜尋時間，另外，也可得知衛星間隔愈大，定位均方根誤差愈小，主要是因為較大的衛星間隔，位置線的夾角也

會比較大，在相同誤差條件下，對誤差的影響較不敏感，但仍需考量到過大的衛星間隔，會使得輔助衛星之 SNR 下降許多，由模擬果得知，在此情況下亦會得到相當大的定位誤差，所以在不同的環境下，我們必須評估合適的衛星間隔，以得到最佳的定位精準度。而在不同 PG 值對定位誤差的影響方面，因為此定位技術有使用到 FDOA 定位法，所以其對於 PG 值的要求相當嚴格，由我們模擬所得到的結果可看出，當 PG 值為 60~70dB 時，其定位誤差可維持在 50 公里以下，但當 PG 值將低到 50dB 時，定位誤差會增加約 300 公里左右，所以在執行此定位技術前，須先評估當時環境所需的 PG 值，以得到較佳的定位精準度。在干擾信號頻寬的影響方面，雖然較小的信號頻寬會使得時域相關計算較不精確，但此定位技術的位置線夾角較 TDOA-only 大，所以可大幅降低頻寬過小所造成的定位誤差。

另外，當衛星軌道存在傾斜度，使得衛星位置為時變的情況下，此定位方法的定位精準度主要受到位置線夾角所影響，由模擬結果得知，當衛星位置在 apogee 與 perigee 附近，會使得 DSR 與 DSRR 位置線的夾角 ϕ 趨近於 0 度與 180 度，可由(3-17)式得知，此時會產生非常地大的定位誤差。

3.4 建議我國可採行之衛星地面干擾源定位系統、技術及演算法

在各國所提出的干擾源定位技術中，主要使用的方法為結合 TDOA 與 FDOA 之雙星定位技術，對於此項技術的衛星干擾源定位系統，目前全球只有兩家公司擁有成熟的研發與生產能力，首先是英國 DERA 在 2001 年成立的 QinetiQ 公司的 satID 系統，目前這套系統提供給歐洲、亞洲與美國的商業通信衛星公司，另外一家為美國 INTERFEROMETRICS 的 TLS Model 2000 系統，目前同樣提供世界各國多家衛星通信業者使用。而目前台灣對於衛星干擾事件的處理，僅能使用單一衛星執行頻譜與視訊的監測，無法主動地對干擾源進行定位，也因為如此，仍舊無法有效減少干擾事件的發生，故為了確保衛星傳輸品質與安全，勢必需要一準確且可靠性高的干

擾源定位系統。由於台灣只有一顆自主性的衛星，對於採用雙星定位技術或許尚有其執行的瓶頸，但可考慮借用國外通信衛星作為相鄰輔助衛星的可行性，故以技術上的基礎進行可行性評估建議，TDOA/FDOA 雙衛星干擾源定位技術仍是一個可參考使用的方法。

就其 TDOA/FDOA 雙衛星干擾源定位技術及演算法，如預期成果(2)之 2.3 所述。經由上述的雙星定位技術，所得到的誤差橢圓涵蓋面積可能達到數十以上平方公里，若我們直接在這個涵蓋的橢圓區域內做搜尋的動作，勢必會花費相當多的時間，以及人力物力，有鑑於此，我們可利用 TDOA/FDOA 結合 MBA 的定位方法，此方法是藉由評估誤差橢圓的大小，利用一架直升機滯留在適當的高度，在誤差橢圓上的特定高度執行多波束的定位技術。藉由模擬，我們可發現利用單一波束沿誤差橢圓長軸進行最大功率搜尋，可有效地找出執行多波束定位的適當區域，進而減少在橢圓內搜尋的時間與縮小干擾源可能落在的範圍，且利用直升機達成多波束天線的定位，可大幅降低因衛星距離地表過遠所產生的誤差，經由模擬得知，其亦可大幅改善雙星定位技術的定位誤差。另外，使用直升機輔助定位，可即時且準確的找出干擾源的位置。缺點是使用直升機輔助定位導致成本上的增加。詳細的技術說明與模擬請參閱附錄 B。

3.5 小結

經由數值模擬的分析與探討，可得知在大部分的形況下，結合 TDOA 與 FDOA 的雙星定位技術可得到較佳的定位精準度。如下表所示：

	TDOA/FDOA	TDOA-only	FDOA-only
窄頻信號 (ex. 20 kHz)	good	bad	medium
PG 值 (< 50 dB)	medium	good	bad
輔助通道之 SNR (< -30 dB)	good	medium	bad
連續信號	✕	✕	○

在雙星定位技術之分析模擬中，我們可得到以下的認知:

- 干擾源天線波束寬足夠大的情況下，可考慮使用較大的衛星間隔，改善其定位精準度。
- 當輔助通道之 SNR 較小時，可提高 PG 值來改善，但會使得系統做信號處理的時間增長。
- 當所使用的輔助衛星存在傾斜度時，在兩個相對時間點會有最大的定位誤差產生，在實際執行定位時，可盡量避開此時間點，以提高定位的準確度。

第四章 衛星監測與干擾源定位技術與系統之建議

在各國所提出的干擾源定位技術中，主要使用的方法為結合 TDOA 與 FDOA 之雙星定位技術，對於此項技術的衛星干擾源定位系統，目前全球只有兩家公司擁有成熟的研發與生產能力，首先是英國 DERA 在 2001 年成立的 QinetiQ 公司的 satID 系統，目前這套系統提供給歐洲、亞洲與美國的商業通信衛星公司，另外一家為美國 INTERFEROMETRICS 的 TLS Model 2000 系統，目前同樣提供世界各國多家衛星通信業者使用。而目前台灣對於衛星干擾事件的處理，僅能使用單一衛星執行頻譜與視訊的監測，無法主動地對干擾源進行定位，也因為如此，仍舊無法有效減少干擾事件的發生，故為了確保衛星傳輸品質與安全，勢必需要一準確且可靠性高的干擾源定位系統。由於台灣只有一顆自主性的衛星，對於採用雙星定位技術或許尚有其執行的瓶頸，但可考慮借用國外通信衛星作為相鄰輔助衛星的可行性，故以技術上的基礎進行可行性評估建議，TDOA/FDOA 雙衛星干擾源定位技術仍是一個可參考使用的方法。

經由相關數值模擬的分析與探討，可得知在大部分的形況下，結合 TDOA 與 FDOA 的雙星定位技術可得到較佳的定位精準度。然而由於雙星定位技術仍可能產生平均從十平方公里到數百平方公里的誤差，此外台灣目前只有一顆自主性的衛星，僅能夠考慮借用國外通信衛星作為相鄰輔助衛星，因此對於採用雙星定位技術還有其執行上的困難。

本研究思考解決我國進行雙星定位技術之缺點與執行難題，進一步探討地面監測站衛星干擾源定位法，此定位法係以在台灣地區設立地面監測站(Earth satellite monitor station)的方式接收衛星上鏈天線信號的旁波瓣信號及以一個以上的監測站收到同一信號之到達角(AOAs, angle of arrivals)做衛星干擾源的定位技術可行性評估；其中包含分析台灣地區對於位於同步軌道上衛星的上鏈信號傳播特性及限制、監測系統之效能模擬與分析、監測系統架構設計、監測系統經費評估、並評估利用其仰角與方位角的限制使監測上鏈信號的天線溢波可行性。

根據本計畫相關研究成果，建議台灣使用複合式定位法，該方法結合雙衛星法及地面監測站定位法，以彌補雙衛星法定位不夠準確的缺點。地面監測站定位系統係在台灣地區設立地面固定監測站（可與電信總局現有之電波監測站結合）及行動式監測車，利用這些監測站／監測車接收衛星上鏈天線旁波瓣信號之到達角，做為地面干擾源的定位資訊，並進行定位評估。以下將針對地面監測站定位法之相關技術、演算法、與可行性評估於下：

4.1 台灣地區上空同步軌道衛星上鏈信號之角度範圍

一般而言，在地面監測同步衛星上鏈的信號是不實際的做法，尤其在天線仰角接近 90°時，幾乎沒有地面制高點可以偵測到上鏈信號。但因台灣地理位置特殊，台灣地區可上鏈的同步衛星仰角及方位角均在一定的範圍之內，使得利用地面監測站接收這些上鏈天線信號的旁波瓣信號，並進一步定位的可行性大為提高。以地理位置而言，台灣地區仰角超過 10°以上視線內(LOS, line of sight)的同步衛星在北部(台北: 25.08N, 121.53E)有 111 個，南部(高雄: 22.36N, 120.17E)則有 113 個，由地球表面對衛星的方位角(Az)及仰角(El)計算公式如下(地面電台對同步軌道衛星之方位角關係圖可見下圖):

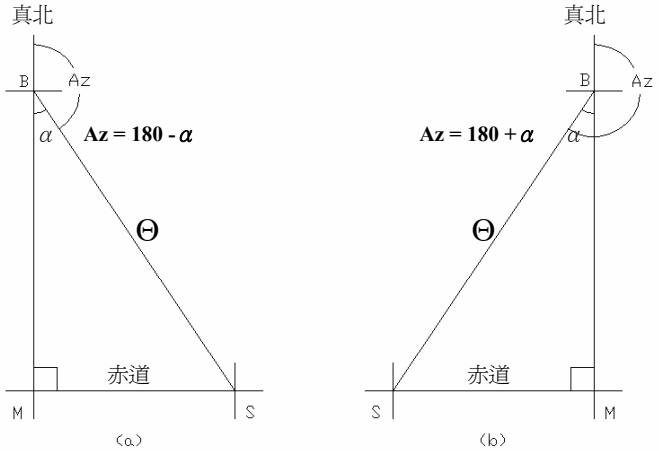


圖 4.1 地面電台對同步衛星方位角 Az 關係圖

$$Az = 180^{\circ} \pm \alpha,$$

$$\alpha = \left(2\tan^{-1} \sqrt{\frac{\sin(\sigma - \Theta) \bullet \sin(\sigma - |L_{AG}|)}{\sin\sigma \bullet \sin(\sigma - |\phi|)}} \right)$$

其中，Θ = B 點至 M 點弧長距離(Arc length distance)，L_{AG} = 地面電台緯度，ϕ = 衛星經度-地面電台經度，B 點為地面電台，M 點為地面電台經度，S 點為衛星之地面投映點，且

$$\sigma = \frac{1}{2}(\phi + \Theta + L_{AG})$$

當地面電台如位於北半球，若衛星之地面投映點位於地面電台之東南方則取負號，反之則取正號。地面電台對同步軌道衛星之仰角關係圖可見下圖：

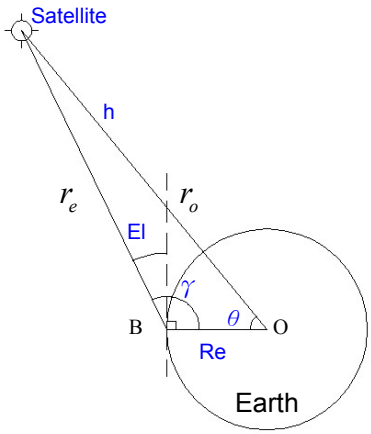


圖 4.2 地面電台對同步衛星仰角 El 關係圖

$$\cos\theta = \sin(L_{AG})\cos(\phi)$$

$$\cos El = \frac{\sin\theta}{\left[1 + \left(\frac{R_e}{r_o}\right)^2 - 2\left(\frac{R_e}{r_o}\right)\cos\theta\right]^{\frac{1}{2}}}$$

其中，B 點為地面電台，O 點為地心，r_o 為地心至衛星之距離，Re 則為地心至地面電台之距離。

表 4.1 及表 4.2 分別顯示若地面電台位於台北市及高雄市時，其仰角 10 度以上之可視衛星(包含 C 及 Ku 頻段衛星：C 頻段頻率 ~6.4GHz、Ku 頻段頻率 ~14GHz)。同時顯示各個衛星之方位角及仰角。

表 4.1 台北市仰角 10 度以上可視衛星表列(C, Ku Band)

地面電台地點		台北市		
地面電台緯度(度)		25.08N		
地面電台經度(度)		121.53E		
本地面電台地點仰角 10 度以上可視衛星共 111 個				
衛星名稱	衛星經度	方位角(度)	仰角(度)	可用頻段
NSS 5	177.00W	103	17.4	C,Ku
TDRS 8	174.00W	101.4	14.6	Ku
TDRS 5	171.00W	100	11.9	Ku
EXPRESS AM 22/SESAT	53.00E	260.5	10.9	Ku
INTELSAT 702	54.85E	259.6	12.6	C,Ku
INSAT 3E	55.00E	259.6	12.7	C
BONUM 1	56.00E	259.1	13.6	Ku
NSS 8	57.00E	258.6	14.6	C,Ku
NSS 703	57.00E	258.6	14.6	C,Ku
INTELSAT 904	60.00E	257.1	17.3	C,Ku
INTELSAT 902	62.00E	256	19.2	C,Ku
INTELSAT 906	64.00E	254.9	21	C,Ku
INMARSAT 3-F1	64.00E	254.9	21	C
INTELSAT 601	64.00E	254.9	21	C,Ku
INTELSAT 704	66.00E	253.8	22.9	C,Ku
PANAMSAT 10	68.50E	252.3	25.2	C,Ku
PANAMSAT 7	68.50E	252.3	25.2	C,Ku
EUTELSAT W5	70.50E	251.1	27	Ku
PANAMSAT 4	72.00E	250.1	28.4	C,Ku
EDUSAT 1 (aka GSAT-	74.00E	248.8	30.2	C,Ku
INSAT 3C	74.00E	248.8	30.2	C
LMI 1	75.00E	248.1	31.1	C,Ku
APSTAR 2R	76.50E	247.1	32.5	C,Ku
TELSTAR 10	76.50E	247.1	32.5	C,Ku
THAICOM 2	78.50E	245.6	34.3	C,Ku
THAICOM 3	78.50E	245.6	34.3	C,Ku
THAICOM 5	78.50E	245.6	34.3	C,Ku
EXPRESS 6A	80.00E	244.4	35.6	C,Ku
INSAT 3B	83.00E	242	38.3	C,Ku
INSAT 2E	83.00E	242	38.3	C

INTELSAT APR-1	83.00E	242	38.3	C
CHINASAT 6	85.50E	239.8	40.5	C
CHINASTAR 1	87.50E	237.9	42.2	C,Ku
ST-1	88.00E	237.4	42.6	C,Ku
ZERKALO	88.10E	237.3	42.7	Ku
YAMAL 100	90.00E	235.4	44.3	C
YAMAL 201	90.00E	235.4	44.3	C, Ku
MEASAT 1	91.50E	233.7	45.6	C,Ku
MEASAT 3	91.50E	233.7	45.6	C,Ku
SINOSAT 2	92.20E	233	46.1	Ku
INSAT 3A	93.50E	231.5	47.2	C,Ku
NSS 6	95.00E	229.7	48.4	Ku
EXPRESS AM 11	96.50E	227.8	49.5	C,Ku
GORIZONT 40	96.50E	227.8	49.5	C,Ku
CHINASAT 22	98.00E	225.8	50.6	C
THURAYA 1	98.50E	225.1	51	C
ASIASAT 2	100.50E	222.2	52.4	C,Ku
EXPRESS AM 2	103.00E	218.3	54.1	C,Ku
CHINASAT 20	103.00E	218.3	54.1	C
ASIASAT 3S	105.50E	214.1	55.6	C,Ku
TELKOM 1	108.00E	209.6	57	C
AAP-1	108.20E	209.2	57.1	Ku
INMARSAT 2-F4	109.00E	207.7	57.5	C
JCSAT-110	110.00E	205.7	58	Ku
BSAT-1A	110.00E	205.7	58	Ku
BSAT-1B	110.00E	205.7	58	Ku
BSAT-3A	110.00E	205.7	58	Ku
BSAT-2C	110.00E	205.7	58	Ku
BSAT-2A	110.00E	205.7	58	Ku
INTELSAT APR-2	110.50E	204.7	58.2	C,Ku
PALAPA C2	113.00E	199.5	59.2	C,Ku
KOREASAT 2	113.00E	199.5	59.2	Ku
KOREASAT 5	113.00E	199.5	59.2	Ku
KOREASAT 3	116.00E	192.9	60	Ku
TELKOM 2	118.00E	188.3	60.4	C
MULTIMEDIA ASIA - M	118.00E	188.3	60.4	C

PALAPA B4	118.00E	188.3	60.4	C
IPSTAR 1	120.00E	183.6	60.6	Ku
THAICOM 1A	120.00E	183.6	60.6	C
ASIASAT 4	122.00E	178.9	60.7	C,Ku
GARUDA 1 - ACES	123.00E	176.5	60.6	C
JCSAT-06	124.00E	174.2	60.5	Ku
JCSAT-R	127.00E	167.3	60	Ku
JCSAT-3	128.00E	165	59.8	C,Ku
JCSAT 10	128.00E	165	59.8	Ku
INTELSAT IA-9	129.00E	162.8	59.5	Ku
N-STARa	132.00E	156.4	58.4	Ku
APSTAR 6	134.00E	152.4	57.5	C,Ku
APSTAR 1A	134.00E	152.4	57.5	C
N-STARc	136.00E	148.7	56.5	C
N-STARb	136.00E	148.7	56.5	Ku
TELSTAR 18	138.00E	145.1	55.4	C,Ku
EXPRESS AM 3	140.00E	141.8	54.1	C,Ku
GORIZONT 43	140.00E	141.8	54.1	C,Ku
GORIZONT 36	140.00E	141.8	54.1	C,Ku
INMARSAT 2-F1	143.50E	136.4	51.8	C
MBSAT	144.00E	135.7	51.4	Ku
SUPERBIRD C	144.00E	135.7	51.4	Ku
GORIZONT 33	145.00E	134.3	50.7	C
AGILA 2	146.00E	133	49.9	C,Ku
MEASAT 2	148.00E	130.4	48.4	C,Ku
JCSAT-1B	150.00E	128	46.8	Ku
OPTUS B3	152.00E	125.8	45.2	Ku
JCSAT-2A	154.00E	123.7	43.5	Ku
OPTUS D2	156.00E	121.7	41.8	Ku
OPTUS C1	156.00E	121.7	41.8	Ku
INTELSAT 604	157.00E	120.7	41	C,Ku
SUPERBIRD A2	158.00E	119.8	40.1	Ku
SUPERBIRD 2	158.00E	119.8	40.1	Ku
OPTUS B1	160.00E	118.1	38.4	Ku
OPTUS D1	160.00E	118.1	38.4	Ku
SUPERBIRD B2	162.00E	116.4	36.6	Ku

EASTSAT	164.00E	114.8	34.8	C,Ku
OPTUS A3	164.00E	114.8	34.8	Ku
PANAMSAT 8	166.00E	113.4	33	C,Ku
PANAMSAT 2	169.00E	111.2	30.3	C,Ku
AMC 23	172.00E	109.3	27.5	C
SPACENET 4	172.00E	109.3	27.5	C,Ku
INTELSAT 605	174.00E	108	25.7	C,Ku
INMARSAT 3-F3	178.00E	105.7	22	C
INTELSAT 701	180.00E	104.6	20.1	C,Ku

*本表僅以地理位置計算，衛星信號覆蓋範圍需另外計算。

表 4.2 高雄市仰角 10 度以上可視衛星表列(C, Ku Band)

地面電台地點		高雄市		
地面電台緯度(度)		22.60N		
地面電台經度(度)		120.28E		
本地點仰角 10 度以上可視衛星共 113 個				
衛星名稱	衛星經度	方位角(度)	仰角(度)	可用頻段
NSS 5	177.00W	101.2	16.7	C,Ku
TDRS 8	174.00W	99.8	13.9	Ku
TDRS 5	171.00W	98.5	11.1	Ku
INTELSAT 602	50.50E	261.9	10.1	C,Ku
AGRANI-2	52.00E	261.3	11.5	C,Ku
EXPRESS AM 22/SESAT	53.00E	260.9	12.5	Ku
INTELSAT 702	54.85E	260	14.2	C,Ku
INSAT 3E	55.00E	260	14.3	C
BONUM 1	56.00E	259.5	15.3	Ku
NSS 8	57.00E	259.1	16.2	C,Ku
NSS 703	57.00E	259.1	16.2	C,Ku
INTELSAT 904	60.00E	257.6	19.1	C,Ku
INTELSAT 902	62.00E	256.6	20.9	C,Ku
INTELSAT 906	64.00E	255.6	22.8	C,Ku
INMARSAT 3-F1	64.00E	255.6	22.8	C
INTELSAT 601	64.00E	255.6	22.8	C,Ku
INTELSAT 704	66.00E	254.6	24.7	C,Ku
PANAMSAT 10	68.50E	253.2	27.1	C,Ku
PANAMSAT 7	68.50E	253.2	27.1	C,Ku

EUTELSAT W5	70.50E	252	29	Ku
PANAMSAT 4	72.00E	251.1	30.4	C,Ku
EDUSAT 1 (aka GSAT-	74.00E	249.8	32.3	C,Ku
INSAT 3C	74.00E	249.8	32.3	C
LMI 1	75.00E	249.2	33.3	C,Ku
APSTAR 2R	76.50E	248.1	34.7	C,Ku
TELSTAR 10	76.50E	248.1	34.7	C,Ku
THAICOM 2	78.50E	246.7	36.5	C,Ku
THAICOM 3	78.50E	246.7	36.5	C,Ku
THAICOM 5	78.50E	246.7	36.5	C,Ku
EXPRESS 6A	80.00E	245.6	37.9	C,Ku
INSAT 3B	83.00E	243.2	40.7	C,Ku
INSAT 2E	83.00E	243.2	40.7	C
INTELSAT APR-1	83.00E	243.2	40.7	C
CHINASAT 6	85.50E	241	43	C
CHINASTAR 1	87.50E	239.2	44.8	C,Ku
ST-1	88.00E	238.7	45.2	C,Ku
ZERKALO	88.10E	238.6	45.3	Ku
YAMAL 100	90.00E	236.6	46.9	C
YAMAL 201	90.00E	236.6	46.9	C, Ku
MEASAT 1	91.50E	235	48.2	C,Ku
MEASAT 3	91.50E	235	48.2	C,Ku
SINOSAT 2	92.20E	234.2	48.8	Ku
INSAT 3A	93.50E	232.7	49.9	C,Ku
NSS 6	95.00E	230.9	51.2	Ku
EXPRESS AM 11	96.50E	228.9	52.4	C,Ku
GORIZONT 40	96.50E	228.9	52.4	C,Ku
CHINASAT 22	98.00E	226.8	53.5	C
THURAYA 1	98.50E	226.1	53.9	C
ASIASAT 2	100.50E	223.1	55.4	C,Ku
EXPRESS AM 2	103.00E	219	57.1	C,Ku
CHINASAT 20	103.00E	219	57.1	C
ASIASAT 3S	105.50E	214.5	58.7	C,Ku
TELKOM 1	108.00E	209.5	60.1	C
AAP-1	108.20E	209.1	60.2	Ku
INMARSAT 2-F4	109.00E	207.4	60.6	C

JCSAT-110	110.00E	205.3	61.1	Ku
BSAT-1A	110.00E	205.3	61.1	Ku
BSAT-1B	110.00E	205.3	61.1	Ku
BSAT-3A	110.00E	205.3	61.1	Ku
BSAT-2C	110.00E	205.3	61.1	Ku
BSAT-2A	110.00E	205.3	61.1	Ku
INTELSAT APR-2	110.50E	204.2	61.3	C,Ku
PALAPA C2	113.00E	198.4	62.3	C,Ku
KOREASAT 2	113.00E	198.4	62.3	Ku
KOREASAT 5	113.00E	198.4	62.3	Ku
KOREASAT 3	116.00E	191	63.1	Ku
TELKOM 2	118.00E	185.9	63.4	C
MULTIMEDIA ASIA - M	118.00E	185.9	63.4	C
PALAPA B4	118.00E	185.9	63.4	C
IPSTAR 1	120.00E	180.7	63.5	Ku
THAICOM 1A	120.00E	180.7	63.5	C
ASIASAT 4	122.00E	175.5	63.5	C,Ku
GARUDA 1 - ACES	123.00E	173	63.4	C
JCSAT-06	124.00E	170.4	63.2	Ku
JCSAT-R	127.00E	163	62.5	Ku
JCSAT-3	128.00E	160.6	62.1	C,Ku
JCSAT 10	128.00E	160.6	62.1	Ku
INTELSAT IA-9	129.00E	158.2	61.8	Ku
N-STARa	132.00E	151.6	60.4	Ku
APSTAR 6	134.00E	147.6	59.3	C,Ku
APSTAR 1A	134.00E	147.6	59.3	C
N-STARc	136.00E	143.8	58.1	C
N-STARb	136.00E	143.8	58.1	Ku
TELSTAR 18	138.00E	140.3	56.8	C,Ku
EXPRESS AM 3	140.00E	137	55.4	C,Ku
GORIZONT 43	140.00E	137	55.4	C,Ku
GORIZONT 36	140.00E	137	55.4	C,Ku
INMARSAT 2-F1	143.50E	131.9	52.8	C
MBSAT	144.00E	131.2	52.4	Ku
SUPERBIRD C	144.00E	131.2	52.4	Ku
GORIZONT 33	145.00E	129.9	51.6	C

AGILA 2	146.00E	128.6	50.8	C,Ku
MEASAT 2	148.00E	126.2	49.1	C,Ku
JCSAT-1B	150.00E	123.9	47.4	Ku
OPTUS B3	152.00E	121.9	45.7	Ku
JCSAT-2A	154.00E	119.9	43.9	Ku
OPTUS D2	156.00E	118.1	42.1	Ku
OPTUS C1	156.00E	118.1	42.1	Ku
INTELSAT 604	157.00E	117.3	41.2	C,Ku
SUPERBIRD A2	158.00E	116.4	40.3	Ku
SUPERBIRD 2	158.00E	116.4	40.3	Ku
OPTUS B1	160.00E	114.8	38.5	Ku
OPTUS D1	160.00E	114.8	38.5	Ku
SUPERBIRD B2	162.00E	113.3	36.6	Ku
EASTSAT	164.00E	111.9	34.7	C,Ku
OPTUS A3	164.00E	111.9	34.7	Ku
PANAMSAT 8	166.00E	110.5	32.8	C,Ku
PANAMSAT 2	169.00E	108.6	30	C,Ku
AMC 23	172.00E	106.9	27.2	C
SPACENET 4	172.00E	106.9	27.2	C,Ku
INTELSAT 605	174.00E	105.8	25.3	C,Ku
INMARSAT 3-F3	178.00E	103.6	21.5	C
INTELSAT 701	180.00E	102.6	19.6	C,Ku

*本表僅以地理位置計算，衛星信號覆蓋範圍需另外計算。

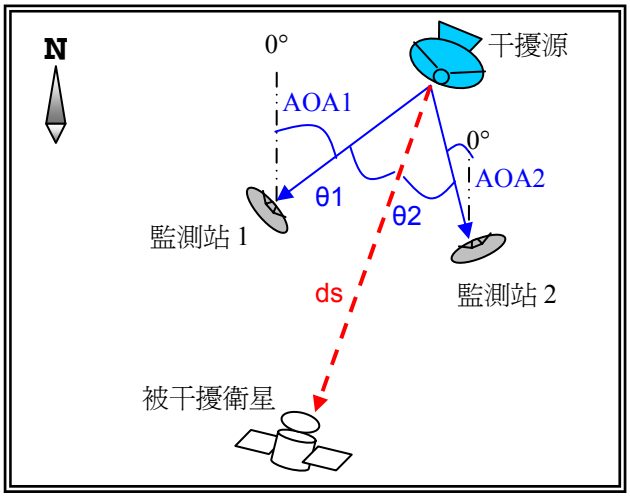
受限於直線傳播、地面干擾、及接收信號微弱等因素，並利用上述公式之計算，台北及高雄地區可接收衛星信號的仰角與方位角範圍如下(見表 4.3)。該角度之範圍可代表可能被干擾衛星之角度限制。

表 4.3 台北及高雄地區可接收衛星信號的仰角與方位角範圍

地點	仰角範圍		衛星名稱
台北	最低	14.6°	INTELSAT 703 at 57°E
	最高	60.6°	THAICOM-1A at 120°E
高雄	最低	16.2°	INTELSAT 703 at 57°E
	最高	63.5°	THAICOM-1A at 120°E
	方位角範圍		
台北	最西	258.6°	INTELSAT 703 at 57°E
	最東	104.6°	INTELSAT 701 at 180°E
高雄	最西	259.1°	INTELSAT 703 at 57°E
	最東	102.6°	INTELSAT 701 at 180°E

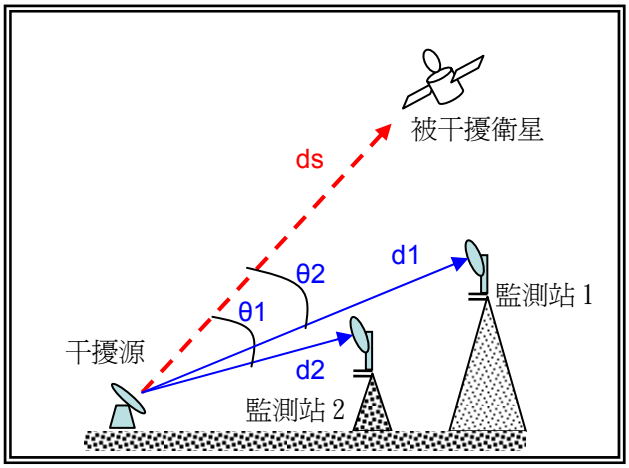
4.2 地面監測干擾源定位技術之評估與計算

若某上鏈信號為干擾信號，則可以以各監測站收到同一信號之到達角做衛星干擾源的定位如圖 4.3 所示。同時，若有意干擾信號要能達到干擾的效果，勢必以大功率發射以求接近或甚至於超過欲干擾目標信號的強度，使得干擾信號的接收可能性更高。圖 3 & 4 中 θ1 與 θ2 即為由干擾源天線旁波瓣溢波至監測站天線的角度，由 θ1 與 θ2 對照一般 SNG 或 FLYAWAY 拋物面天線的 radiation pattern 可得知該角度大概的旁波瓣信號損失，加上 d1 與 d2(干擾源至監測站 1 與 2 間的直線距離)的空間損失，其計算方式在下一節將詳細討論。



ds:干擾源至被干擾衛星直線距離
θ1:干擾源天線旁波瓣溢波至監測站 1 角度
θ2: 干擾源天線旁波瓣溢波至監測站 2 角度
AOA1:干擾源水平面溢波信號至監測站 1 到達角羅經角度(compass degree)
AOA2:干擾源水平面溢波信號至監測站 2 到達角羅經角度

圖 4.3 利用到達角(AOAs)做衛星干擾源定位之水平剖面示意圖



ds:干擾源至被干擾衛星直線距離
d1:干擾源至監測站 1 直線距離
d2:干擾源至監測站 2 直線距離
θ1:干擾源天線旁波瓣溢波至監測站 1 角度
θ2: 干擾源天線旁波瓣溢波至監測站 2 角度

圖 4.4 利用到達角(AOAs)做衛星干擾源定位之垂直剖面示意圖

4.3 地面衛星監測站有效偵測範圍之計算

在評估以地面監測站的方式接收衛星上鏈天線信號的旁波瓣信號時，較需注意的有兩點：溢波信號傳送至監測站時，信號強度與雜訊強度的比例是否仍舊能讓監測站的接收系統有效的分離出來正確的信號。

A.監測站有效偵測範圍計算

計算監測站有效偵測範圍時，必須先確認所接收到的信號是否能辨識，亦即監測站 LNB 輸出端的載波訊雜比(C/N)須大於可辨認的門檻值，由於干擾信號僅需辨認其接收到信號的頻率特徵與到達角角度，並不需要把干擾信號還原(解調制)，所以可將一般衛星接收機所要求的 6dB 門檻值降至 2~3 dB。所以可辨認最低載波信號強度(Carrier Level)，$CL_{\min}$，可利用載波訊雜比門檻值及下列公式求得：

C/N threshold = 2dB = $10\log\left(\frac{CL_{\min}G_rG_L}{N_rG_rG_L}\right)=10\log\left(\frac{CL_{miin}}{N_r}\right)$

G_t = Transmitter antenna gain　　G_r = Receiver antenna gain

G_L = LNB Gain

In decibel

2dB = $CL_{\min}$ (dBm) - N_r (dBm)

N_r 為接收到的背景雜訊：

N_r = Thermal Noise × Antenna Noise factor × LNB noise factor

In decibel

N_r (dB)= Thermal Noise (dB)+Antenna Noise figure (dB)+LNB noise figure (dB)

其中熱雜訊(Thermal Noise)之計算公式為：

$P_n = kTB$ ：Noise power

k (Boltzman's constant) $= 1.38\times10^{-23}\ joule/k$

T：Operation temperature in Kelvin

B：接受機工作頻寬(Hz)

當 T = 290°K，在不同的接受機工作頻寬下熱雜訊(Thermal Noise)功率如下：

B	36MHz	6MHz	2MHz	1MHz
$P_n(W)=$	1.44×10^{-13}	2.4×10^{-14}	8×10^{-15}	4×10^{-15}
$P_n(dBm)=$	-98.41	-106.2	-110.97	-113.98

因監測站天線指向地平線以下，Antenna Noise Figure 之計算公式為：

$NF_a = \log((T \div 290)+1)\times 10$

例如，在 290°K 時，NF_a = 3.01dB。

LNB Noise Figure 可設定為 0.8 dB

由以上公式及假設可得在不同的工作頻寬時接收到的背景雜訊如下：

B	36MHz	6MHz	2MHz	1MHz
Noise Floor(dBm) =	-94.6	-102.39	-107.16	-110.17

若載波訊雜比門檻值為 2dB，則在不同的工作頻寬時之 $CL_{\min}$ 可見下表：

B	36MHz	6MHz	2MHz	1MHz
$CL_{\min}$ (dBm) =	-92.6	-100.39	-105.16	-108.17

由於可允許之最大傳播損失 $PL_{\max} = P_t + G_{tsl} - CL_{\min}$ ，其中 P_t =信號源的發射功率，G_{tsl} =天線旁波辨增益，所以可利用 Friis 自由真空傳播公式(free space equation)計算有效偵測距離，d_{eff}：

$$d_{eff} = \sqrt{\frac{\lambda^2}{PL_{\max}}} \div 4\pi$$

其中 λ ：波長(wavelength in meters)

$CL_{\min}$ 已定，傳輸路徑損失容許度取決於信號源的發射功率及天線旁波辨增益，現假設發射功率為 Ku band 400W(56dBm)，發射天線為 96cm 拋物面天線，旁波辨損失為-25dB (偏離中心波束 45°，見附錄 D)，則可評估不同的工作頻寬時 Ku band 有效偵測距離

B	36MHz	6MHz	2MHz	1MHz
$PL_{\max}$ (dB)	123.60	131.39	136.16	139.17
Ku band 有效距離 d_{eff}	2.58km	6.32km	**10.96km**	**15.49km**

B.現有電信總局電波監測站有效監測範圍之評估

如利用現有的電波監測站為衛星信號監測站，依電信總局提供的現有電監站資訊，台灣本島共有 36 個運作中的電監站，離島 4 個；電波監測詳細資料站見附錄 E。取 2MHz 工作頻寬為有效偵測範圍的計算基準，因監測站相對於台灣地區對同步衛星上鏈的方位角，僅需偵測正北向羅經方位 0±90°，故單一固定式監測站的有效偵測範圍為以有效距離為半徑的正北向半圓形，Ku band 單一固定式監測站有效偵測範圍 $=2\pi r\div 2=10.96km\times\pi=34.43km^2$ ，台灣有效管轄面積 36,220 平方公里，由上述計算結果可得 40 個固定式監測站的有效偵測範圍能覆蓋全台的百分比為，40 個固定式監測站在 Ku band 的有效偵測範圍約佔台灣面積的 34.43 × 40 ÷ 36220 = 3.8%

上述之固定式監測站有效偵測範圍係以無遮蔽之自由真空傳播模型為基礎，然而有鑑於台灣地區多山之地理特性，需考慮無線電波受實際地形之阻擋限制，才能夠推估具備參考價值之固定式監測站有效偵測範圍；本研究利用自行開發之無線電波傳播預估軟體，該軟體利用適當之無線電傳播模型，輔以台灣全省地形資料進行各個固定式地面監測站之訊號監控範圍模擬與預估，對於評估台灣本島各個固定式地面監測站用之有效偵測範圍，具備參考價值；相關模擬結果已列示於附錄 F。

4.4 監測定位準確度之評估

由於各天線波束之寬度(antenna beamwidth)，將產生到達角定位法誤差，可見圖4.6，吾人利用簡單之幾何

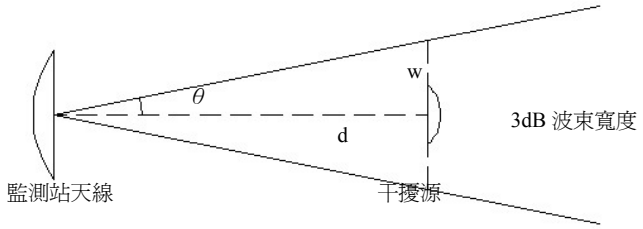


圖 4.5 地面監測站與干擾源距離與截面積寬度相關圖

地面監測定位法準確性評估

- 假設監測站天線 3dB 波束寬度為 2°
- 則 θ=(2°÷2)=1°
- 直線距離(d) × Tanθ × 2 =波束至干擾源定位點之截面積寬度(w)
- 在干擾源對監測站直線距離(d)為 11km 時

  11000m × Tan1°× 2 = 384m，　目標定位大約在 384 平方米範圍之內
- 若監測站最大設定覆蓋距離設定為 15km 時

  15000m × Tan1°× 2 = 524m，　目標定位大約在 524 平方米範圍之內

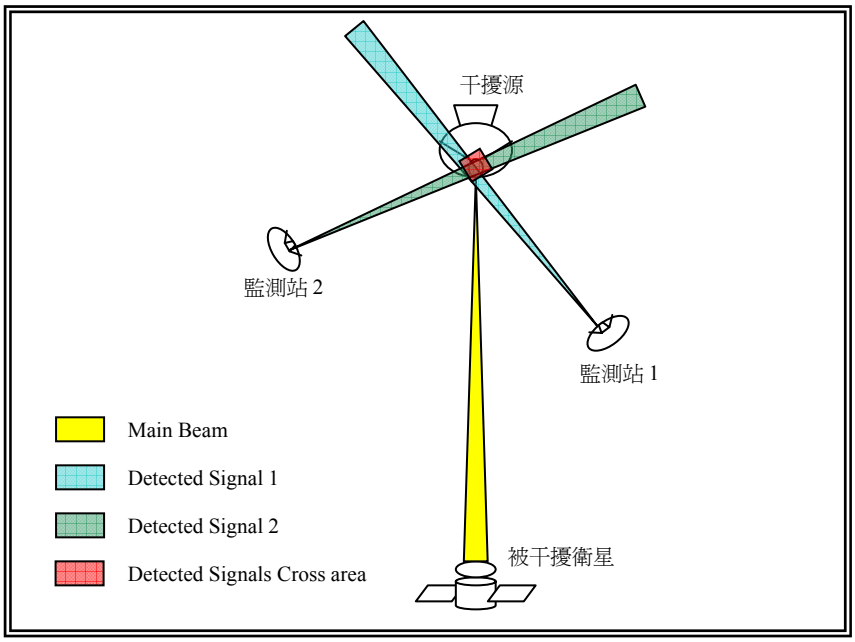


圖 4.6 地面監測定位法準確性評估示意圖

4.5 行動式監測車最佳監測位置點模擬評估

整體而言，除了台中彰化地區與高雄屏東地區外，台灣地區現有之地面監測站數目稍嫌不足，雖能夠大致偵測與監控干擾信號的發生，但可能無法實際有效進行衛星干擾信號的發射源定位，除了適當調整若干受地形限制之山區地面監測站位置，如台北縣次格山、新竹縣尖筆窩山、台中縣大肚山、嘉義縣尖凍山、屏東縣笠頂山等，輔以移動式地面監測站將是有效的解決方案之一；結合固定監測與移動監測之進行步驟主要包括：

(1) 固定式地面監測站採 24 小時制全時監控干擾訊號之發生，當偵測到干擾訊號時，根據各個地面監測站的監測結果，推估干擾發射源所在之大範圍區域。

(2) 根據固定監測所推估之干擾發射區域，指派移動式監測站沿該地區適當路徑蒐集干擾信號之接收強度資料，同時紀錄移動式監測站之位置與移動座標，以利後續之定位與資料分析工作。

(3) 在移動式監測站蒐集足夠之監測資料後，於衛星干擾監測中心(可能位於地面監測站中)進行資料分析與模擬，可同時參考固定監測與移動監測之資料，進而推估干擾信號發射源的地理座標。

(4) 根據推估之干擾信號發射源地理座標，進行各地區固定監測站之干擾信號接收強度模擬，並與實際固定監測站之干擾信號接收強度值進行交叉比對，以驗證該推估結果之可靠度。

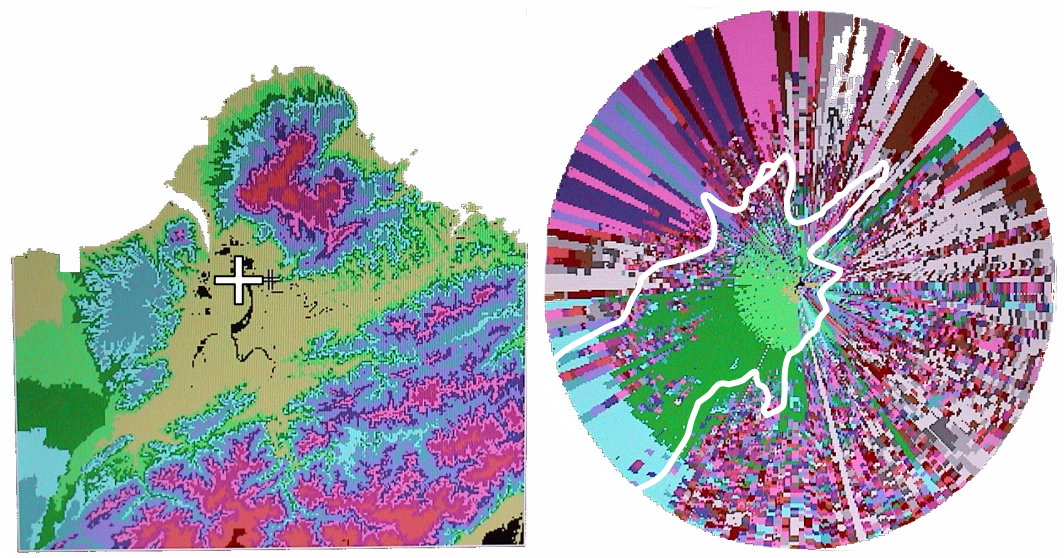
為協助將來可能之移動監測工作進行，以下利用無線電信號傳播範圍預估軟體，針對全台各區可能之衛星信號干擾源之訊息涵蓋範圍進行模擬，並輔以我國國道、快速道路、與省道公路網，進而推估移動式地面監測站能夠有效進行信號監控之可行移動路徑，這些路徑將考量較佳的無線電信號接收強度與效能，並盡可能採用移動較為便利之國道、快速道路、以及省道等，以加速移動式監測工作的進行。茲將台灣各地區模擬之干擾源發射座標、干擾源訊息涵蓋範圍、以及建議之移動監測路徑列述於下：

大台北地區之干擾源模擬與移動監測路徑建議

A.干擾源電波涵蓋之模擬

假設干擾源位置之座標為 E 121 31’ 20” N 25 5’ 30” (台北市中心)

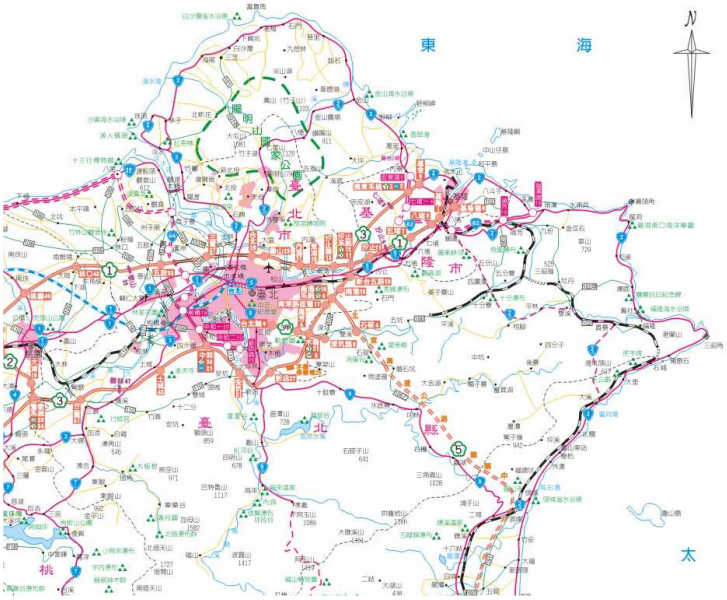
涵蓋範圍：根據電波涵蓋範圍與接收強度之預測與模擬，位於台北市中心的干擾源偏向西南方，台北與桃園之間的平地有較高之接收強度，另外包括東南方通往宜蘭的狹長山谷地帶亦有若干區域電波涵蓋較遠；其他部分由於山脈阻擋接收強度較低。



(a) (b)

圖 4.7 台灣省北區模擬干擾源與訊息接收強度預測：(a)模擬干擾源座標：E 121 31’ 20” N 25 5’ 30” (台北市中心)；(b)電波涵蓋範圍預測

B.建議路徑



(a)

(b)

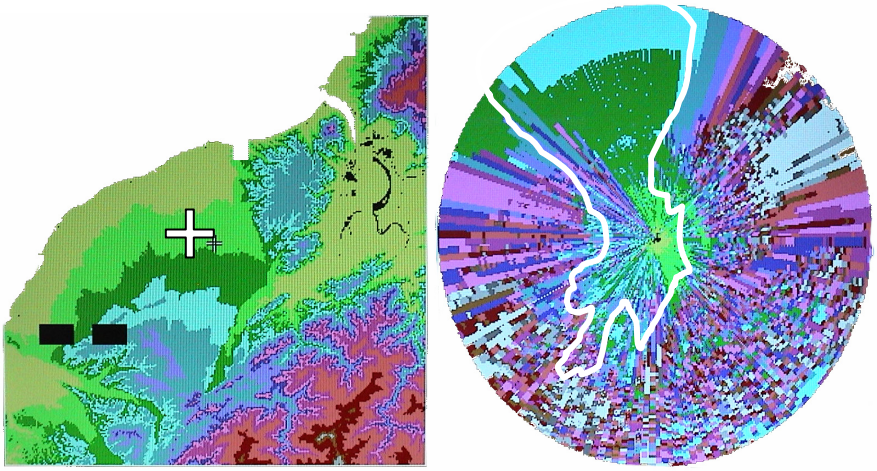
圖 4.8 台灣省北區公路路網與衛星地形空照圖：(a)北區公路地圖；(b)建議量測路徑：東自省道 9 號西行至新店上第二高速公路安坑交流道再西行至三峽

<u>桃園地區之干擾源模擬與移動監測路徑建議</u>

A.干擾源電波涵蓋之模擬

假設干擾源位置之座標為 E 121 15’ 0” N 25 0’ 0” (中壢市附近)

涵蓋範圍：從地形圖推測得知，中壢市以北較為空曠有較佳之接收強度，然而預估之干擾源發射角度偏向 103.6 度~258 度之間，位於中壢市附近的干擾源，在靠近東部的山腳沿線與新竹丘陵以北有較高之接收強度，其他部分由於丘陵地形阻擋接收強度較低。



(a) (b)

圖 4.9 台灣省桃園地區模擬干擾源與訊息接收強度預測：(a)模擬干擾源座標：E 121 15’ 0” N 25 0’ 0” (中壢市附近)；(b)電波涵蓋範圍預測

B.建議路徑

(a)

(b)

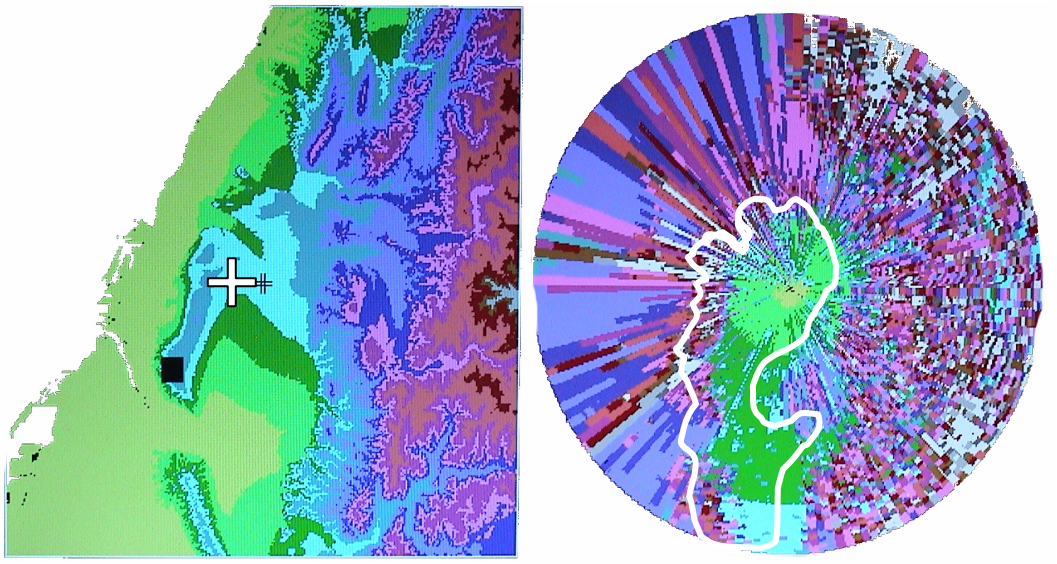
圖 4.10 台灣省桃園地區公路路網與衛星地形空照圖：(a)桃園地區公路地圖；(b)建議量測路徑：東自 66 號快速道路西行平鎮系統交流道上第一高速公路再西行至湖口

台中地區之干擾源模擬與移動監測路徑建議

A.干擾源電波涵蓋之模擬

假設干擾源位置之座標為 E 120 40’ 0” N 24 15’ 0” (台中市附近)

涵蓋範圍：根據電波涵蓋範圍與接收強度之預測與模擬，台中市以南以及中央山脈以西有較佳之接收強度，由於台中地勢較高，訊息可達的範圍較遠，可考慮沿著東側的山區與南側的盆地地形進行量測。

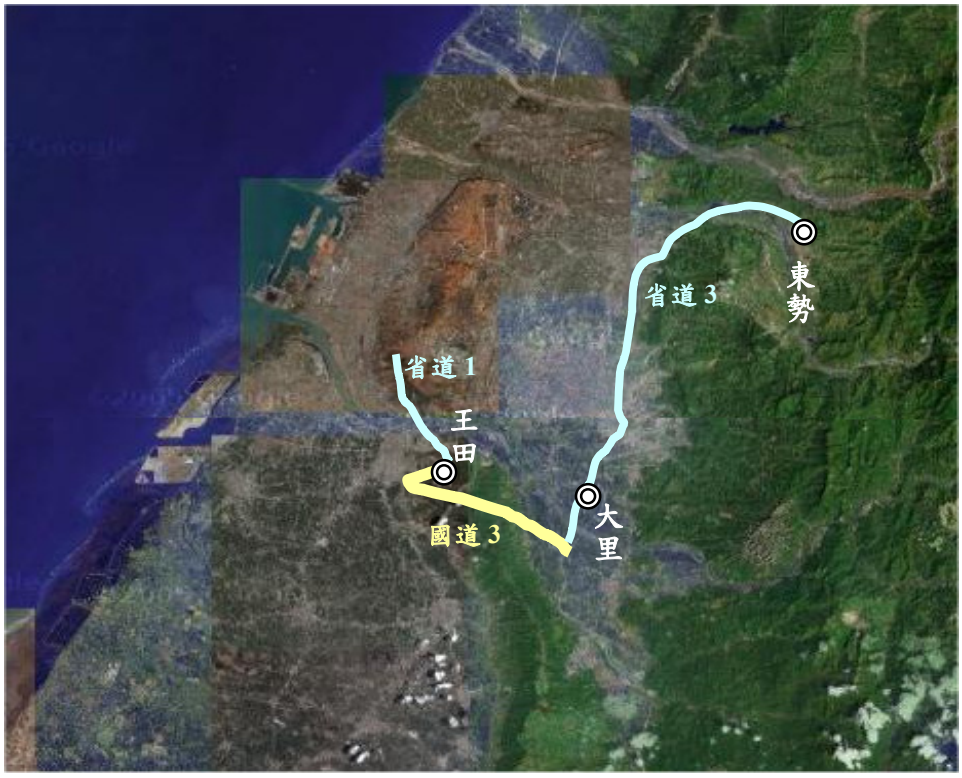


(a) (b)

圖 4.11 台灣省台中地區模擬干擾源與訊息接收強度預測：(a)模擬干擾源座標：E 120 40’ 0” N 24 15’ 0” (台中市附近)；(b)電波涵蓋範圍預測

B.建議路徑

(a)



(b)

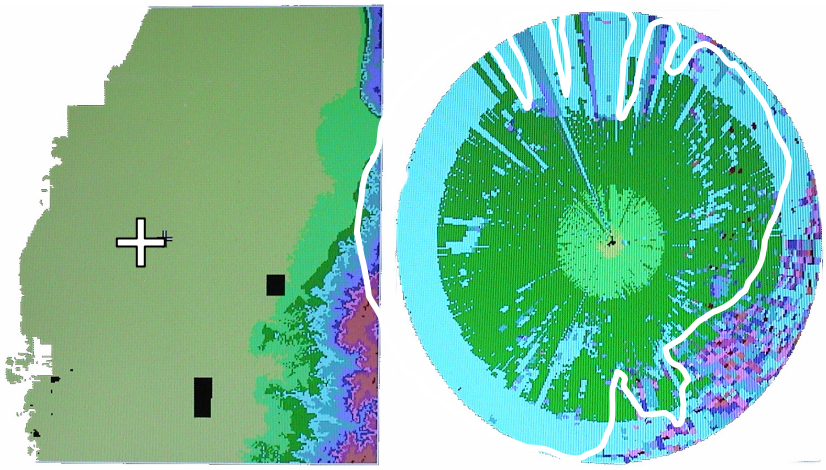
圖 4.12 台灣省台中地區公路路網與衛星地形空照圖：(a)台中地區公路地圖；(b)建議量測路徑：自東勢經省道 3 號西行至豐原南下，至台中大里轉行 63 快速道路後上第二高速公路北上，持續西行至彰化系統轉第一高速公路北上，王田交流道下沿省道 1 號西行

<u>嘉南地區之干擾源模擬與移動監測路徑建議</u>

A.干擾源電波涵蓋之模擬

假設干擾源位置之座標為 E 120 25’ 0” N 23 40’ 0” (雲林縣境內)

涵蓋範圍：雲嘉南地區主要地形以平原為主，除了東南側受中央山脈阻擋外，其他方向皆有良好的訊號涵蓋。

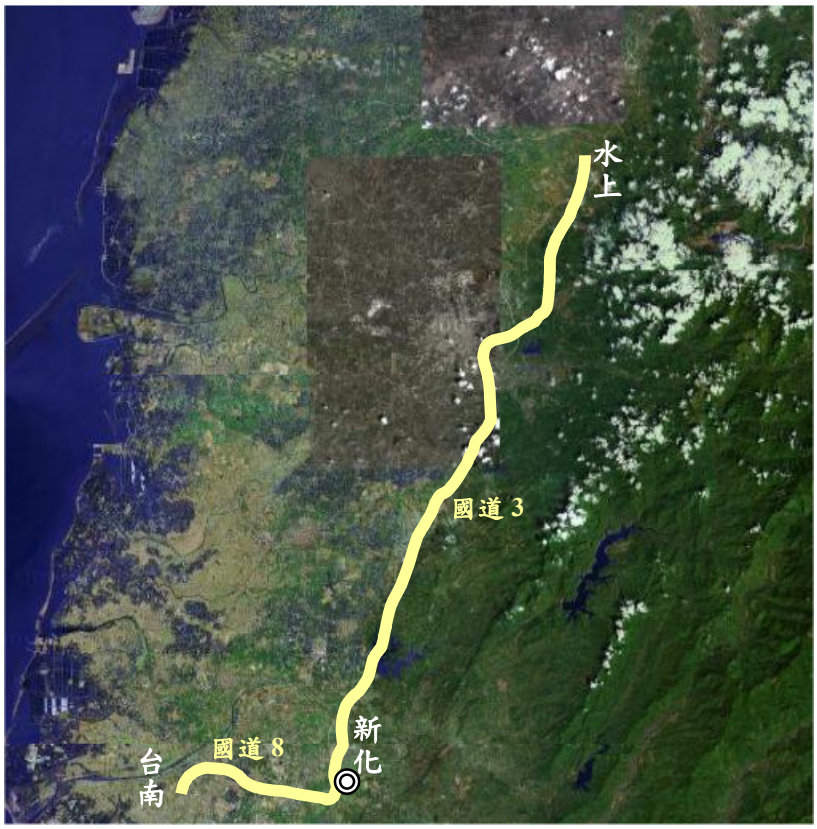


(a) (b)

圖 4.13 台灣省嘉南地區模擬干擾源與訊息接收強度預測：(a)模擬干擾源座標：E 120 25’ 0” N 23 40’ 0” (雲林縣境內)；(b)電波涵蓋範圍預測

B.建議路徑

(a)



(b)

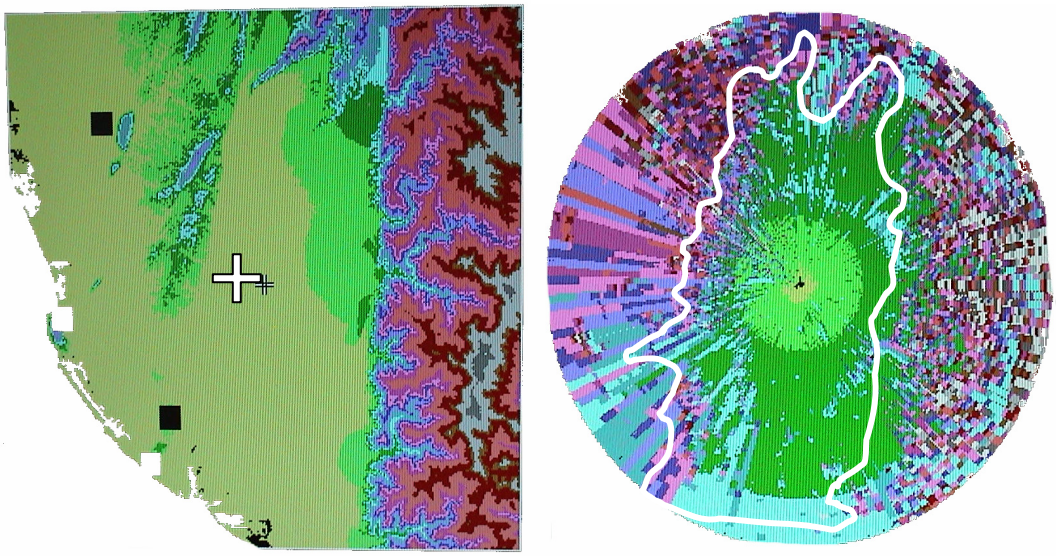
圖 4.14 台灣省嘉南地區公路路網與衛星地形空照圖：(a)嘉南地區公路地圖；(b)建議量測路徑：北從國道 3 號水上系統南下新化系統再沿國道 8 號西行至台南

高屏地區之干擾源模擬與移動監測路徑建議

A.干擾源電波涵蓋之模擬

假設干擾源位置之座標為 E 120 30’ 0” N 22 42’ 0” (高雄縣九如附近)

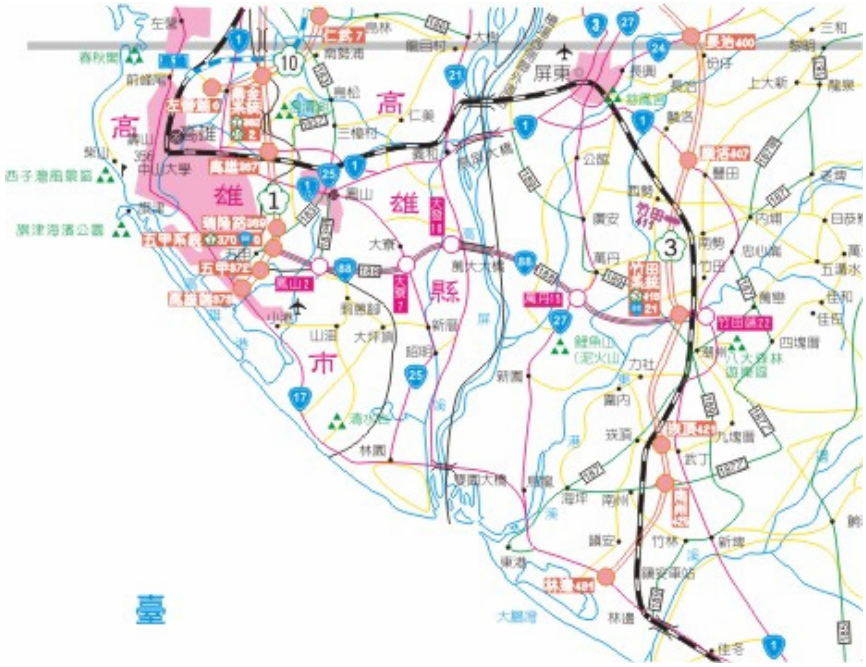
涵蓋範圍：根據電波涵蓋範圍與接收強度之預測與模擬，高屏地區雖然北部受若干山脈阻擋，尤其九如一帶會同時受東西兩側之丘陵阻擋，然而由於預期之干擾源輻射方向以朝向南方為主，因此預估量測時訊號受到阻擋的情況不嚴重。



(a) (b)

圖 4.15 台灣省高屏地區模擬干擾源與訊息接收強度預測：(a)模擬干擾源座標：E 120 30’ 0” N 22 42’ 0” (高雄縣九如附近)；(b)電波涵蓋範圍預測

B.建議路徑



(a)

(b)

圖 4.16 台灣省高屏地區公路路網與衛星地形空照圖：(a)高屏地區公路地圖；(b)建議量測路徑：沿 88 號快速道路東自竹田西行高雄市

整體而言，台灣主要城鎮所在之西部各地區由於台灣地勢的特色以中央山脈呈南北走向為主，因此適當之移動監測路徑大多沿著特定平原區域之南側與東側沿著山脈的道路較佳，理論上若干擾發射源位於這些平地之中，各地區的移動量測路徑皆可有效蒐集干擾源的訊號強度與時間資訊，進而輔助固定監測站進行干擾發射源的定位推估工作。

4.6 使用地面監測站進行干擾源定位之假設案例

假設中新衛星 ST-1 受到干擾

1. 電信總局發現中新衛星 ST-1 Ku 頻段受到干擾，總局立刻啟動主動式偵測模式
2. 電信總局將干擾狀況傳至全省各固定式地面監測站
3. 全省各固定式地面監測站開始執行主動式掃瞄
4. 監測站各電腦程式由數據庫取得中新衛星參數
5. 各監測站依本身地理位置開始做特定頻段與特定方向快速搜尋干擾信號
6. 大棟山監測站在角度 33°方向檢測到一符合頻率特徵的信號
7. 電腦程式檢查數據庫以判定該信號平日是否存在?
8. 是，則本次記錄存檔，列為次優先記錄
9. 該信號平日如果不存在，則立即將該信號偵測數據以高速網路傳送至總局
10. 總局電腦程式檢視發現僅有一個監測站傳回有效資料，立即加派移動式監測站至相關位置開始執行主動式掃瞄(在此處定為台北縣樹林的壽山岩公園)
11. 移動式監測站在壽山岩公園在角度 63°方向檢測到一符合頻率特徵的信號，即刻將將該信號偵測數據傳送至總局
12. 總局電腦程式收到第二筆資料後，立即判定干擾信號發射地點應在龍華技術學院附近，立即通知電信警察將干擾源排除

假設案例參數推算 - 方位角、仰角、及監測站接收信號強度

表 4.4 中新衛星 ST-1 台灣省北中南區仰角及方位角

ST-1 台灣省北中南區方位角及仰角				
城市	緯度	經度	方位角	仰角
台北	25.08°N	121.53°E	237.4°	42.6°
台中	24.15°N	120.67°E	237.5°	43.9°
高雄	22.60°N	120.28°E	238.7°	45.2°

並由附錄 E 得知

表 4.5 大棟山監測站基本資料

站名	東經(WGS-84)			北緯(WGS-84)			天線高度(m)
	度	分	秒	度	分	秒	合計
大棟山	121	23	3.3	24	59	44.3	317

假設案例方位角計算

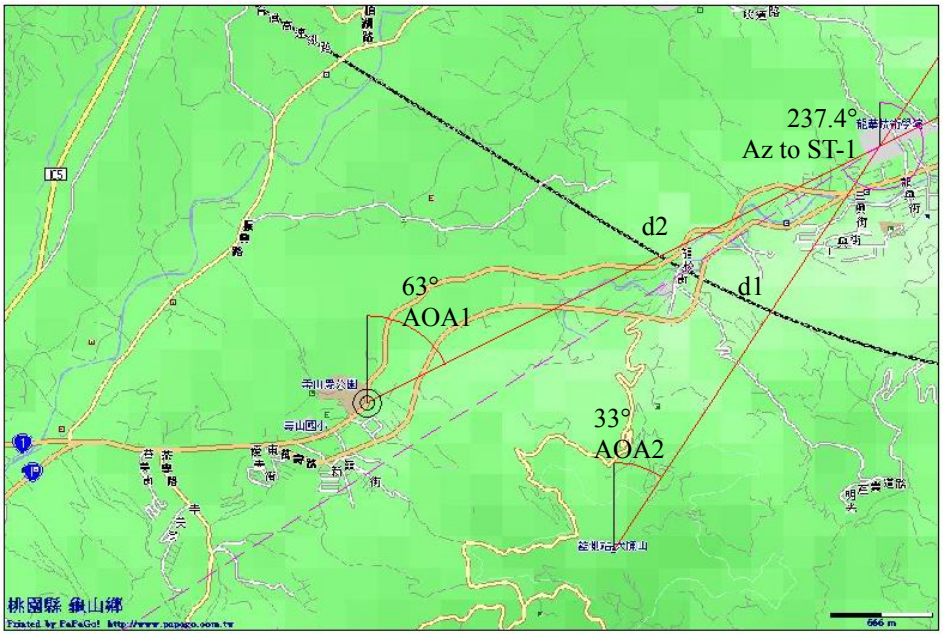


圖 4.17 模擬以 AOAs 定位干擾源

AOA1: 63°, 模擬干擾源至壽山岩公園到達角

AOA2: 33°, 模擬干擾源至大棟山監測站到達角

方位角 Az 為 237.4°

由圖 3 可以求得干擾源水平面溢波信號至監測站 θ1 及 θ2，

θ1= 63°+180°-237.4°=5.6°

θ2= 33°+180°-237.4°=-24.4°

由附錄 D 得知當發射天線為 96cm 拋物面天線時，

θ1= 5.6°，旁波瓣增益約為-7.5dB

θ2= -24.4°，旁波瓣增益約為-21dB

假設案例仰角計算

干擾源(龍華技術學院)距大棟山監測站直線距離約 3.1 公里，假設其海跋高度為 0 公尺，

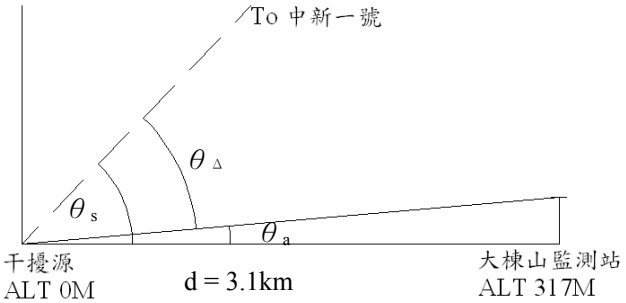


圖 4.18 模擬干擾源至大棟山監測站仰角相關圖

其中，

$\theta_s = 42.6°$ (台北市對中新衛星仰角)

$\theta_a = \tan^{-1}\dfrac{alt}{d} = 5.8°$ (模擬干擾源至大棟山監測站仰角)

$\theta_\Delta = 42.6° - 5.8° = 36.8°$ (天線旁波瓣溢波至監測站角度)

並由附錄 D 得知當發射天線為 96cm 拋物面天線時，在-36.8°(向下偏離中心波束)垂直天線旁波瓣增益約為-23dB，

假設案例監測站接收信號強度計算

依前述方位角與仰角天線旁波瓣增益計算結果，取最差狀況仰角之-23dB 增益為監測站接收信號強度計算參數，並以 6.2.1 節中公式與可得，

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 10\log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$$

假設

P_t:干擾源發射功率 400W = 56dBm

G_t:干擾源天線旁波瓣增益 = -23dB

G_r:監測站接收天線增益 = 42dB (1.2 meter disk antenna)

P_r = 56dBm + -23dB + 42dB + -125.19dB(14GHz path loss on 3.1km)

P_r = -50.9 dBm (LNB 放大前載波信號強度)

C/N = C/(Nr + Gr)

= -50.9dBm- (-107.6dBm(表–3, with 2MHz Bandwidth) + 42dB)

= -50.9dBm – (-65.6dBm)

= 14.7dB

案例中大棟山監測站接收信號 C/N = 14.7dB

4.7 地面監測站干擾源定位法可行性評估

本方法之優勢

相對於其他監測方式定位干擾源，地面監測站定位法對台灣來說可行性較高，原因如下

- 不需借重國外力量，如衛星訊號及控制權的取得
- 花費較低，不需租用衛星頻頻
- 系統簡單且易於操作
- 依接收信號載波雜訊比分析 Carrier to Noise Ratio (minimum acceptable C/N level)，若監測站位於干擾源發射天線中心波束 45°內，且偵測頻寬在 2MHz 以下，Ku 偵測有效距離可達約 11 公里

本方法之劣勢

- 因現有固定式監測站站數較少且多分佈於都會區附近，有效覆蓋區域似有不足，Ku band 的有效偵測範圍僅佔台灣面積的 3.8%，建議需搭配移動式監測站實施監測
- 監測站需架設於區域內之制高點方可儘量避免溢射信號被其他地形地物遮擋，但若干擾源發射點位於高海拔之山區，則只有空中移動式監測站(以直昇機為載台)方可檢測該類信號
- 由於監測站天線指向低於水平線，天線收到的熱雜訊較高，收到其他一般性干擾信號可能性也較高

由前述計算範例可得知在台灣以地面監測站接收天線旁波瓣溢波信號以達到衛星上鏈信號的監測與定位在一定的範圍之內是可行的。

第五章　衛星監測與干擾源定位之系統架構與規格分析

本章分別針對 TDOA/FDOA 雙衛星干擾源定位技術與地面監測站干擾源定位技術之系統架構與規格進行規劃與分析。

5.1 TDOA/FDOA 雙衛星干擾源定位系統架構

5.1.1 TDOA/FDOA 雙衛星定位系統架構

在此所提之定位系統架構係參考 DERA (Defense Evaluation & Research Agency) 所成立的 QinetiQ 公司的 satID 系統對 PCT(Patent Cooperation Treaty) 所提之文獻 (No. WO 97/11383)。不同之處為在整體系統架構中，關於參考監測站(即參考信號來源)暫時不列入考慮。其系統架構如圖 5.1 所示。

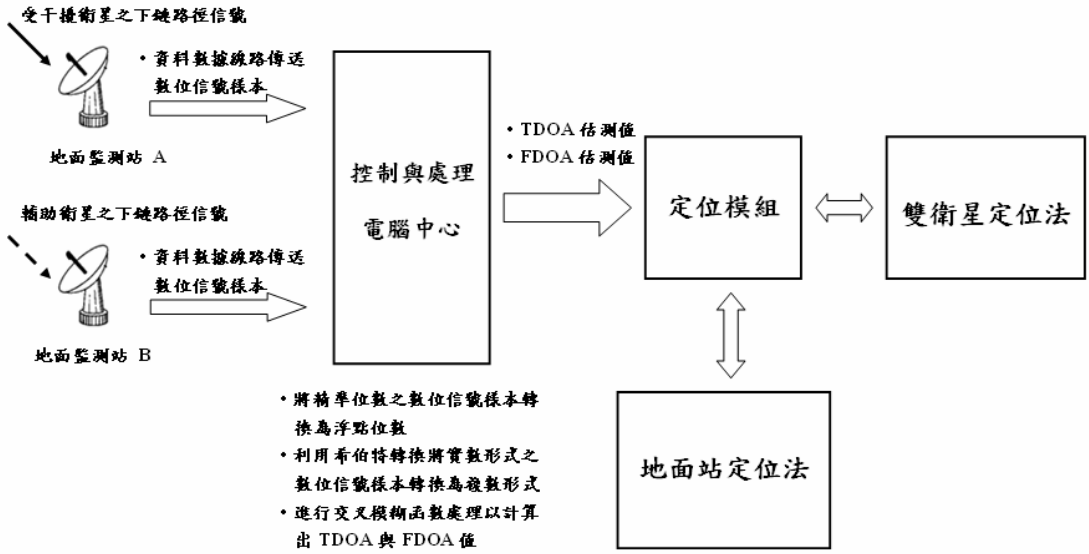


圖 5.1 TDOA/FDOA 雙衛星干擾源定位技術之系統架構示意圖

針對圖 5.1，我們進一步概略性的說明整個干擾源定位系統之運作。地面監測站 A 和 B 分別接收受干擾衛星與輔助衛星之下鏈路徑干擾信號。之後，藉由架構在地面監測站內之信號擷取系統 (Acquisition System) ，如圖 5.2 所示，將干擾信號頻率轉換至中頻 (Intermediate Frequency, IF)、低中頻 (Low Intermediate Frequency, LIF) 並進行數位化等相關處理，以獲得干擾信號數位樣本。接著，將此一處理過之干擾信號，利用資料數據線路傳送至控制與處理電腦中心，進行交叉模糊函數處理以計算出 TDOA 與 FDOA 值。之後，利用所估算之 TDOA 與 FDOA 值透過定位模組計算出 DSR 與 DSRR 值，最後，估算出干擾源位置。

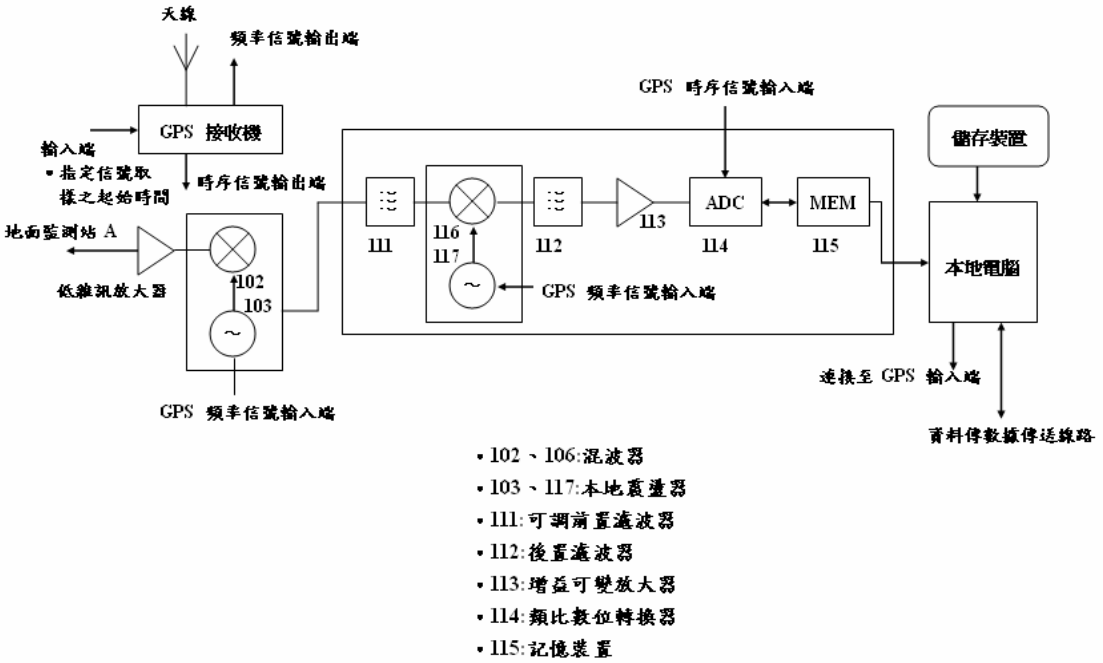


圖 5.2 地面監測站內之信號擷取系統 (Acquisition System)示意圖

現在，我們也針對信號擷取系統 (Acquisition System)做一概略性說明。每一個信號擷取系統包含一個全球定位系統 (GPS) 接收機與天線，該接收機聯繫多個 GPS 衛星以提供時序信號。GPS 接收機有一指定信號取樣之起始時間輸入埠和兩個輸出埠，輸出埠分別提供時序信號 t 與頻率信號 f_r。實際上，兩個擷取系統(地面監測站 A 和地面監測站 B)，每一個系統均有各自獨立的通道，故對 GPS 接收機之輸出埠而言，每一個輸出埠各自連接至信號擷取系統。每個通道有不同的啟始時間以利初始化信號取樣。GPS 接收機之控制輸入埠與本地電腦主機相連接以使 GPS 接收

機獲得信號取樣之起始時間。在決定干擾源位置的程序中，信號取樣是由時序信號 t 來控制。當干擾事件發生時，本地電腦主機傳送一個命令至 GPS 接收機之輸入埠以指定啟始時間，當該時間已觸發，則 GPS 接收機將初始時序信號，這一時序信號是一系列性脈波且脈波間相鄰的時間差為 Δt，這一時間差對兩個地面監測站 A 和 B 是相同的。此時，地面監測站 A 所接收之干擾信號通過一個低雜訊放大器 101，之後到達混波器 102。混波器 102 接收一個由本地震盪器 103 產生的震盪輸入信號，進行信號混波，其目的為讓干擾信號頻率低轉換 (downconversion) 至近似於預先訂定之中頻頻率 (intermediate frequency, IF)。本地震盪器 103 連接至 GPS 接收機之頻率信號輸出埠且其信號相位鎖定在頻率信號 f_r。之後，混波器 102 所輸出之中頻頻率干擾信號通過獨立的通道。由於一個通道可視為一個元件且其內部架構相同，故我們也將以其中一個進行說明。

混波器 102 所輸出之中頻頻率干擾信號通過一個可調前置濾波器 111，之後到達混波器 116，進行信號混波，其目的為讓中頻頻率干擾信號低轉換至低中頻 (lower intermediate frequency, LIF) 信號。混波器 116 接收一個由本地震盪器 117 產生的震盪輸入信號。本地震盪器 117 連接至 GPS 接收機之頻率信號輸出埠且其信號相位鎖定在頻率信號 f_r。前置濾波器 111 之中心頻率與頻寬和本地震盪器 117 之頻率在本地電腦主機的控制下是具有可調性的。其中前置濾波器 111 是調整為帶頻，其中心頻率為干擾信號之中頻頻率。接著，混波器 116 所輸出之固定低中頻信號通過一個後置濾波器 112，後置濾波器 112 有一個固定的中心頻率，但其頻寬在本地電腦主機 120 的控制下也是具有可調性的，通常設定為低轉信號 (down-converted signal) 的頻寬。之後，低中頻信號的幅度調整可藉由增益可變放大器 113 來完成，並視為一個輸入信號傳送至類比－數位轉換器 114。類比－數位轉換器 114 是一個高速、高穩定性的 8 位元裝置。類比－數位轉換器 114 的時序輸入埠連接至 GPS 接收機之時序信號輸出埠，此時，類比－數位轉換器 114 接收一個時序信號。在時序信號每一個接收脈波，類比－數位轉換器 114 對增益可變放大器 113 之輸出信號進行數位化取樣程序。在本地電腦主機的控制下，最小的取樣速率為輸出信號的兩倍頻寬。之後，

類比－數位轉換器 114 的輸出信號傳送至一個記憶裝置 115。記憶裝置 115 再連結至本地電腦主機，本地電腦主機將資料分別傳送至資料儲存裝置和控制與處理電腦中心(經由資料數據線路)。

5.1.2 TDOA/FDOA 雙衛星定位系統之經費預估

由於目前全球只有兩家公司擁有成熟的研發與生產能力，故其建構整個定位系統之經費應由委外評估。我們針對這兩家公司資料提供如下：

1. 英國 DERA 在 2001 年成立的 QinetiQ 公司的 satID 系統，目前這套系統提供給歐洲、亞洲與美國的商業通信衛星公司。http://www.qinetiq.com/
2. 美國 INTERFEROMETRICS 的 TLS Model 2000 系統，目前同樣提供世界各國多家衛星通信業者使用。http://www.tls2000.com/

China State Radio Monitoring Center

5.2 地面監測站衛星干擾源定位系統架構

5.2.1 地面監測站干擾源定位系統架構

本系統組成包括監測站總部、固定式監測站、移動式監測站、及其間之通訊網路。在各地區適當之制高點設立衛星上鏈信號監測站，使各監測站能在有效距離內偵測到上鏈衛星天線之旁波瓣信號，若無法同時有一個以上之固定式監測站收到同一信號則利用移動式監測站移動至相關位置以補其不足。

A. 固定式監測站架構及運作方式

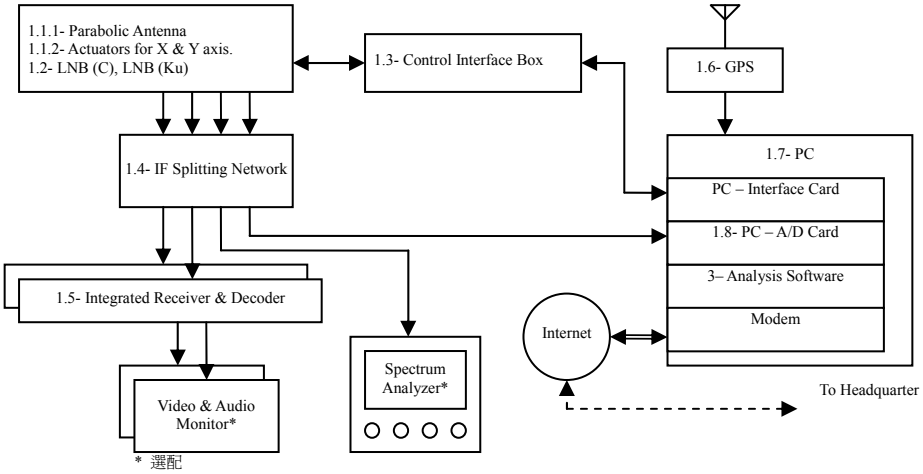


圖 5.3 地面監測站干擾源定位法之固定式監測站方塊圖

表 5.1 地面監測站干擾源定位法之固定式地面監測站規劃配備

Item	Description	
1	Receiving equipments - Fixed Station	固定式地面監測站配備
1.1	Receiving Antenna with necessary accessories	接收天線組
1.1.1	Parabolic antenna (4ft)	拋物面天線
1.1.2	Actuators - AZ and EL	天線驅動螺桿 (X 軸與 Y 軸)
1.2	Low Noise Amplifier PLL Block Down Converter (PLL-LNB)	相鎖迴路低雜訊降頻放大器組
1.2.1	Ku Band	PLL-LNB C/Ku band 及附件
1.2.2	C Band	
1.2.3	Accessories	
1.3	Antenna controller interfaces	天線控制介面
1.4	IF splitting network	中頻放大器及分路器組
1.5	Professional IRD for decoding satellite programs	衛星接收解碼機及監視器
1.6	GPS and accessories	GPS 及附件
1.7	Computer and accessories – Industrial grade	工業級個人電腦

1.8	A/D converter for IF signals	寬頻 A/D 轉換器
		頻譜分析程式
		高速數據網路(專線或網際網路)

監測方式可分為例行式偵測：掃瞄方式為天線全方位、全頻段、全時段或定時掃瞄；及主動式偵測：在干擾已發生時針對衛星相關方向快速搜尋被干擾之特定頻段。

天線掃瞄運動方式

- 全向掃瞄包括 4 次不同俯角之全方位角掃瞄，全向掃瞄一次約需 12 分 45 秒。
- 方位角: 以正北為 0°, 水平掃瞄 ±90°為全方位角掃瞄，以每秒一度為原則，可視實際測量結果增減掃瞄方位及速度。
- 俯角: 以水平為 0°,自-30°至-75°以 15°遞減做全方位角掃瞄，可視實際測量結果增減俯角及遞減度數。

信號檢測分析方式

- 收到中頻信號為 950~2450MHz (無論 C/Ku Band 的水平或垂直波)
- 將收到之中頻信號以頻譜分析的方式用 A/D 轉換器轉換成 PC 可讀取之數位信號。
- 利用專用頻譜分析程式建立正常衛星上鏈信號數據庫並以此隔離出異常信號。
- 在執行例行式掃瞄時，遇異常信號則程式自動報警。
- 定時或即時將檢測信號數據回傳至總部，內容需包括方位角、俯角、頻譜、掃瞄時間等等。
- 在執行主動式掃瞄時，則針對特定頻段做全向快速掃瞄，鎖定干擾信號即將該信號數據立刻回傳至總部至狀況解除或被要求重置。

B.移動式監測站架構及運作方式

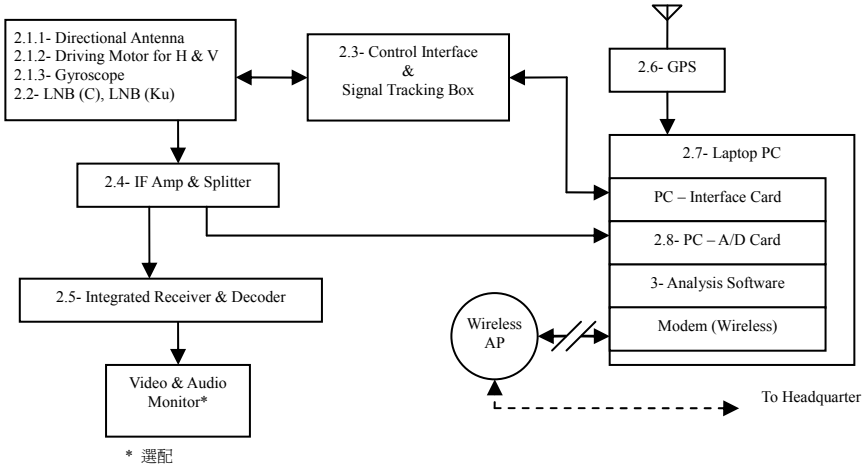


圖 5.4 地面監測站干擾源定位法之移動式監測站方塊圖

表 5.2 地面監測站干擾源定位法之移動式地面監測站規劃配備

Item	Descripton	
2	Receiving equipments - Mobile Station	移動式地面監測站配備
2.1	Receiving Antenna with necessary accessories	接收天線組
2.1.1	Directional Antenna	拋物面天線或高指向性天線
2.1.2	Motor - H and V	天線驅動馬達(X 軸與 Y 軸)
2.1.3	Gyroscope	陀螺儀
2.2	Low Noise Amplifier PLL Block Down Converter (PLL-LNB)	相鎖迴路低雜訊降頻放大器組
2.2.1	Ku Band	PLL-LNB C/Ku band 及附件
2.2.2	C Band	
2.2.3	Accessories	
2.3	Antenna controller interfaces & Signal Tracking	天線控制與信號鎖定 (以持續控制天線鎖定干擾源)
2.4	IF amplifier and splitter	中頻放大器及分路器
2.5	Professional IRD for decoding satellite programs	衛星接收解碼機及監視器
2.6	GPS and accessories	GPS 定位系統及時鐘
2.7	Laptop computer and accessories - Industrial grade	工業級可攜式個人電腦
2.8	A/D converter for IF signals	寬頻 A/D 轉換器
		頻譜分析程式
		無線網路(如利用 3G 行動電話)

移動式地面監測站運作流程如下所述：

天線掃瞄運動方式

- 方位角: 以正北為 0°, 水平掃瞄 ±90°為全方位角掃瞄，線性運動方式，可視實際測量結果增減掃瞄速度。
- 俯角: 以水平為 0°, 自-30°至-90°，線性運動方式，可視實際測量結果增減掃瞄速度。

信號檢測分析方式與固定式地面監測站相同但

- 無例行式掃瞄，僅依需求執行主動式掃瞄。
- 在執行主動式掃瞄時，僅針對特定頻段做衛星相關方向快速掃瞄，鎖定干擾信號即將該信號數據及本身之位置立刻回傳至總部以供系統定位。

C.監測系統通訊網路

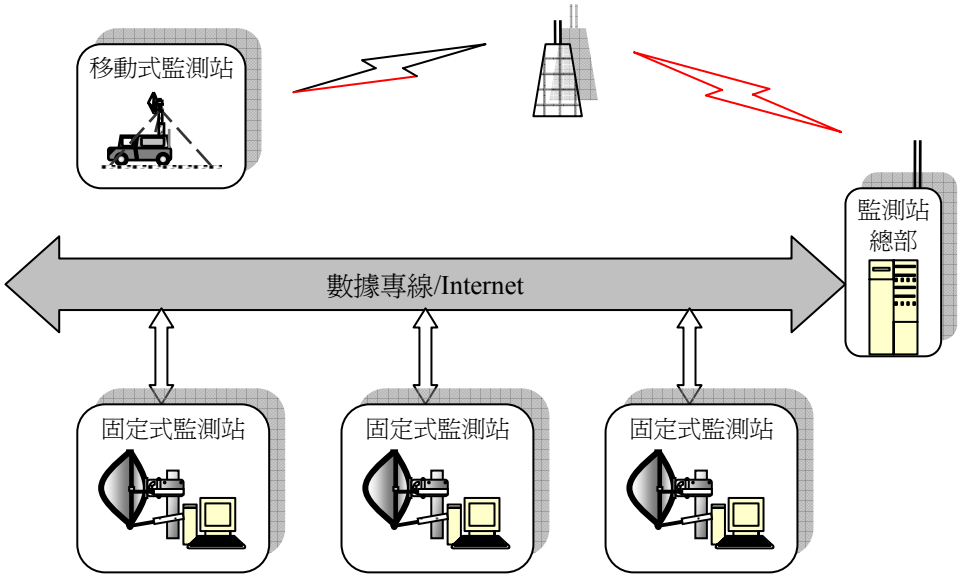


圖 5.5 地面監測站干擾源定位法之監測系統通訊網路示意圖

通訊網路架構

- 由於單一監測站僅能辨認出可能之干擾信號之頻率及方向，故各監測站需將其所測得之數據回傳至總局，由總局電腦依各站數據的頻率、方向、時間(GPS clock)及信號強度等分析判斷干擾信號發射區域。
- 各固定式地面監測站可由各式高速網路(數據專線或網際網路)回傳數據至總局，移動式監測站則可經由無線網路聯連結高速網路再回傳數據至總局(如圖4-5 所示)。
- 各監測站數據均已經過初步分析，僅需回傳必要資料，可降低資訊流量，避免網路擁塞。

電腦程式概述

- 建立數據庫

  針對各監測站地理位置及無線電波環境建立數據庫

  可針對各監測站地理位置對各可視衛星參數做不同的篩選
- 各監測站電腦程式需有初步分析能力，僅需回傳必要資料，可降低資訊流量，避免網路擁塞。

5.2.2 地面監測站干擾源定位系統之興建經費分析

茲將地面監測站干擾源定位系統之組成單元建置經費初估於下表，包括監測站總部、固定式監測站、移動式監測站、及其間之通訊網路等。

表 5.3 地面監測站干擾源定位法之建置經費預估

Item	Description	Q'ty		Comp total	sub-item total	Item Total
1	Receiving equipments - Fixed Station					NT$797,000
1.1	Receiving Antenna with necessary accessories	1			NT$180,000	
1.1.1	Parabolic antenna (4ft)		1	NT$80,000		
1.1.2	Actuators - AZ and EL		2	NT$50,000		
1.2	Low Noise Amplifier/Block Down Converter	1			NT$22,000	
1.2.1	Ku Band		1	NT$10,000		
1.2.2	C Band		1	NT$7,000		
1.2.3	Accessories		2	NT$2,500		
1.3	Antenna controller interfaces	1			NT$20,000	
1.4	IF splitting network	1			NT$10,000	
1.5	Professional IRD for decoding satellite programs	2			NT$30,000	
1.6	GPS and accessories	1			NT$15,000	
1.7	Computer and accessories - Industrial grade	1			NT$90,000	
1.8	A/D converter for IF signals	2			NT$200,000	
2	Receiving equipments - Mobile Station					NT$1,122,000
2.1	Receiving Antenna with necessary accessories	1			NT$290,000	
2.1.1	Directional Antenna		2	NT$60,000	*Smart antenna	
2.1.2	Motor - H and V		2	NT$35,000		
2.1.3	Gyroscope		1	NT$100,000		
2.2	Low Noise Amplifier/Block Down Converter	1			NT$27,000	
2.2.1	Ku Band		1	NT$10,000		
2.2.2	C Band		1	NT$7,000		
2.2.3	Accessories		2	NT$5,000		
2.3	Antenna controller interfaces & Signal Tracking	1			NT$70,000	
2.4	IF amplifier and splitter	1			NT$5,000	
2.5	Professional IRD for decoding satellite programs	2			NT$30,000	
2.6	GPS and accessories	1			NT$50,000	
2.7	Laptop Computer and accessories - Industrial grade	1			NT$120,000	
2.8	A/D converter for IF signals	2			NT$250,000	
3	Software for direction finding algorithm, calculation, simulation, data storage, etc…	1				NT$4,500,000
		Qty				
固定式地面監測站		40		NT$31,880,000		
移動式地面監測站		1		NT$1,122,000		
總部及各站頻譜分析程式		1		NT$4,500,000		
經費預估				**NT$37,502,000**		

第六章　衛星監測與干擾源定位之作業流程建議

衛星通信具有傳輸距離遠、涵蓋面廣、不受地理條件限制、通信頻帶寬、容量大等優勢，在通信及廣播電視上已經廣泛應用，為傳輸的重要管道之一。但衛星通信受自身特點的限制和環境的影響，不可避免地存在各種干擾，尤其是使用透通(Transparent)轉頻器，更容易受到一些不可預見的惡意干擾。以下介紹主要的幾種衛星干擾及其相關處理措施，並針對現行 TDOA/FDOA 雙衛星干擾源定位技術之作業程序進行探討。

6.1 一般性衛星通信干擾及處理措施

一般衛星通信干擾分為非蓄意性干擾及蓄意性干擾：

6.1.1 非蓄意性干擾之類型

衛星通信干擾主要來源可以區分為非蓄意性干擾和蓄意干擾兩大類，其中非蓄意性干擾包括以下八種類型:

(1) 鄰星干擾
(2) 交叉極化干擾
(3) 互調干擾
(4) 相鄰載波干擾
(5) 地面站電磁環境干擾
(6) 地面站設備雜波干擾
(7) 未按規範操作誤發干擾
(8) 自然界干擾

以下就其分類說明個別干擾發生來源及相關處理方法

(一)、鄰星干擾

隨著衛星通信的高速發展，同步軌道衛星越來越多，為增加衛星容量，衛星間隔逐漸降低到，因此鄰星干擾也會逐步增多。

1、主要干擾信號來源：

(1)、上行干擾

I、鄰星系統個別用戶天線口徑小，上行功率過高，功率譜密度超出協調指標

II、鄰星個別用戶天線偏向或其旁波瓣指向被干擾衛星。

(2)、下行干擾

干擾衛星和被干擾衛星具有重疊涵蓋區，在此區域內，被干擾衛星地面站在接收正常信號的同時，其旁瓣接收到鄰星信號。這種干擾與干擾衛星的下行信號功率密度和被干擾地面站天線尺寸有關，隨被干擾站天線的尺寸的增加而減少。

(3)、鄰星個別用戶載波下行功率過高

(4)、我們的用戶天線未對準

(5)、個別用戶追求小口徑天線

2、處理方法：

(1)、衛星發射前與鄰星系統進行充分的軌道位置和頻率協調，使之符合 ITU 有關規定，避免對我衛星的有害干擾

(2)、衛星網路控管中心每年進行 2--3 次例行鄰星干擾測試，發現干擾隨時測試，存在干擾及時協調，促使其儘快解決。定期檢查與相鄰衛星雙邊協定的執行情況

(3)、協助本系統用戶合理設計網路，消除鄰星下行干擾。

(二)、交叉極化(Cross-Polarization)干擾

1、干擾信號來源：

(1)、反極化轉頻器用戶地面站天線系統的發射交叉極化隔離度沒有調整好，導致上行交叉極化分量過大

(2)、天線饋波器薄膜受損未能及時更換，有其他物質掉進饋波器也會導致交叉極化干擾。

(3)、用戶天線接收極化未調整好，造成下行干擾

2、處理方法：

(1)、凡是進接衛星網路的地面站，都必須進行在上行發射信號時預先和相關衛星測控部門天線極化的調整和測試

(2)、經常檢查天線饋波器的狀態，在接收時耐心調整好天線極化，確保所需的接收信號最強時另一極化信號最弱。

(3)、嚴格執行入網驗證測試和開通測試規範，採取正確的測試方法，確保所有用戶天線系統的發射交叉極化隔離度滿足主軸方向 30dB 的要求

(4)、發現干擾立即聯繫反極化用戶排除

(三)、互調干擾

1、干擾信號來源：

(1)、上行用戶站處於多載波工作狀態，但高功率放大器容量儲備不足，回退(back-off)不夠，三階互調分量超過規定

(2)、用戶發射功率超過規定，下行時衛星轉頻器被推至非線性工作區，導致下行時互調特性惡化

處理方法：嚴格配合衛星入網驗證測試，確保上行時三階互調抑制比滿足要求（TWTA：＜-24 dBc，回退約 7 dB; SSPA：＜- 27dBc，回退約 6 dB）；

2、處理方法：

(1)、嚴格入網驗證測試，確保用戶地面站三階互調抑制比滿足要求；(TWTA：<-24dBc、HPA 回退 7dB；SSPA：<-27dBc、HPA 回退 6dB)

(2)、加強上行載波監視，確保各載波在調變器、升頻器輸出、高功率放大器輸入功率嚴格相等並在高功率放大器的線性工作區，不允許用戶超過規定發射

(四)、相鄰載波干擾

1、干擾信號來源：

(1)、用戶載波頻率分配與相鄰信號的頻帶出現重疊，沒有足夠的保護頻寬

(2)、用戶載波頻譜特性不符合要求，噪底過高或出現副瓣

2、處理方法：

(1)、在用戶載波之間預留適當保護頻寬

(2)、用戶入網驗證測試嚴格執行，確保用戶上行載波頻譜在分配頻帶範圍之內

(3)、入網驗證和開通測試時，必須確保載波的調變特性符合衛星公司的技術要求

(4)、發現干擾協同用戶排除。

(五)、地面站電磁環境干擾

1、干擾信號來源：

(1)、地面微波、雷達、無線電視、調頻廣播、尋呼業務、工業電雜訊等竄入用戶站，經過下行鏈路串入用戶站造成接收干擾，或串入上行鏈路發射成為上行干擾

(2)、用戶站選址不當，電磁環境惡劣

(3)、用戶站設備接地不良，接地電阻過高

(4)、電纜遮蔽性能差，電纜插頭接地不良

(5)、鏈路電功率配置不合理

2、處理方法：

(1)、選擇站址前必須先進行電磁環境特性測試以符合建站要求

(2)、經常檢查所有設備接地是否可靠，機房總接地電阻滿足設備要求

(3)、用戶站內連接室內外設備的電纜必須具有良好的遮蔽性能，採用雙遮蔽電纜，接頭連接良好

(4)、發現干擾，及時分析判斷，查出干擾來源地區，來源系統，縮小查找範圍

(5)、採取簡易可行、不影響用戶業務的測試方法和排除措施，進站查找排除

(六)、地面站設備的雜波干擾

1、干擾信號來源：

(1)、用戶地面站設備雜散指標不合格，工作載波中帶有雜波或諧波

(2)、用戶調變器、升頻器輸出功率超高，或高功率放大器工作非線性，出現頻譜擴散

(3)、地面站設備的工作點設置不當，造成載波雜訊增加

2、處理方法：

(1)、嚴格執行用戶入網驗證測試規範，確保雜波功率限制在規定的範圍之內

(2)、依照設備的使用操作說明，正確設置地面站設備的工作點，調整或更換設備，對設備進行合理匹配組合，消除超標雜波

(3)、嚴格按照入網測試時標定的電功率工作，定期進行各環節測試。

(七)、未按規範操作誤發信號

1、干擾信號來源：

(1)、入網操作時誤操作，頻率、速率、FEC、調變設定有誤

(2)、新用戶沒有按照程式嚴格測試即上星

(3)、新裝站急於調試，誤操作

(4)、個別用戶未按協定終止規定載波

(5)、與公司無協定，私自上載波。

2、處理方法：

(1)、加強管理，規範入網，規範作業

(2)、用戶自覺遵守操作規範

(3)、加強監測，發現上述干擾及時通知衛星測控中心以迅速進行排除

(八)、自然界干擾

1、日淩(sun transit)：

每年春分和秋分前後，在衛星地面站所在地的每天中午時分，衛星將處在太陽與地球之間的直線上，這時衛星地面站天線在對準衛星的同時也對準太陽，使太陽產生的強大的電磁波直接投射在地面站天線上，由於太陽產生的電磁波頻譜很寬，對地面站來說，該電磁波是一個巨大的噪音源，導致天線背景雜訊急劇增高，載波雜訊比(C/N)下降，對其所接收的衛星信號造成干擾從而使接收鏈路嚴重惡化，甚至中斷，這種現象即稱為衛星通信的“日淩現象”。日淩只影響衛星的下行鏈路，發生時間和接收點的地理位置有關，持續時間和天線的工作頻率及口徑有關，一般為幾分鐘到十幾分鐘。天線越小，工作頻段越低，持續時間越長。

2、雨衰：

當電波在傳輸過程中穿過降雨區域時，雨滴會對電波產生吸收和散射造成衰減。衰減的大小與雨滴半徑和波長的比值有關，由於 C 頻段波長一般大於雨滴半徑而 Ku 頻段波長與雨滴大小相近，所以降雨對 C 頻段影響比較小而對 Ku 頻段就非常嚴重。為降低雨衰的影響，在進行衛星通信時盡可能選擇使用天線處於高仰角的衛星，這樣可以減少降雨時電波穿越的雨區距離。但在

降雨量大的地區，處於高仰角天線的主反射面會因暴雨而形成積水對電波造成很大的吸收損耗，特別是上行，即使 C 頻段也會超出正常的控制範圍，解決的辦法唯有在天線主反射面底部鑽孔加快積水排放。

3、電離層閃爍：

當電波穿越電離層時，由於電離層結構的不均勻性和隨機時變性，造成信號的振幅、相位、到達角等特性短週期變化，形成電離層閃爍。電離層閃爍與工作頻率、地理位置和太陽活動情況有關。3 GHz 頻率以下，電離層閃爍是最為嚴重的電離層現象。通常，電離層閃爍最嚴重時發生在春分前後，較為嚴重在秋分前後。電離層閃爍現象通常持續 30 min 到數小時，發生的時間通常在日落後(18:00)至深夜(24:00)結束。雖然電離層閃爍主要發生在 3 GHz 頻率以下，但在 4 GHz 也有明顯的影響。據統計，在 4 GHz，電離層閃爍可能造成超過 10 dB 的峰-峰值變化。

4、處理方法：

這幾種自然干擾是天文自然現象，無法避免，但可以採取一定的措施減少對衛星通信的影響，例如，每年日淩發生前一個月，將向用戶發佈日淩預報，並通知用戶應保持地面站設備的工作狀態，不要隨意提高上行功率或改動其他工作參數，等到日淩結束後，衛星通信會自動恢復正常運作

6.1.2 蓄意性干擾之類型

由於現階段大部分使用中的衛星都是採用透通(Transparent)轉頻器，對地面傳來的信號只是變頻轉發而不加以任何處理，衛星上其主要組件之一是高功率放大器，一般為行波管放大器（TWTA）或固態功率放大器（SSPA），這兩種器件最主要的特點是當輸入功率小於飽和點時，可以近似地認為工作在線性區，而當輸入功率進一步增大超過該電功率水準時，功率放大器就進入飽和區或過飽和區。在過飽和區，不僅輸出功率大大降低，而且出現大信號壓縮小信號，即所謂的“功率掠奪”現象或“功率佔用”，同時由於非線性的因素，還會出現大量寄生互調分量。蓄意性干擾一般包括以下幾種類型：

1、盜用轉頻器頻率／功率資源：

干擾方利用上行地面站天線，對準選定的某顆靜止衛星，發射已調變的射頻信號，盜用該衛星轉頻器的頻率／功率資源，以進行非法信號的傳輸。這種情形一般發生在空閒轉頻器頻帶上。此種干擾較為常見。

2、破壞衛星轉頻器正常信號傳輸：

干擾方利用上行地面站天線，對準選定的某顆靜止衛星，發射已調變或未調變的大功率射頻信號，阻塞該衛星的轉頻器，以使正常的信號傳輸不能進行或傳輸品質下降，甚至使通過該轉頻器的電視廣播或通信業務全部癱瘓。

3、強行衛星轉頻器傳輸非法信號：

干擾方利用上行地面站天線，對準選定的某顆靜止衛星，發射比正常信號功率大得多的已調變的射頻信號，強行衛星轉頻器傳輸非法信號，並在破譯密碼基礎上使用戶接收機收到非授權的非法信號所含的影像等資訊。

4、干擾地面站正常信號接收：

干擾方利用大功率無線電發射設備，對某顆靜止衛星的下行信號直接進行干擾，使對準該衛星的相關地面站不能收到正常信號或接收品質下降。

為避免將衛星上功率放大器推入飽和區或過飽和區，在使用中一般要實行嚴格的上行功率控制，或在高功率放大器前加限幅器，盡可能使轉頻器可以避免工作在過飽和區。但是如果存在惡意的大功率上行干擾，轉頻器仍然有可能工作在非線性區，依然存在“功率掠奪”現象，致使正常通信業務信號或廣播電視信號被壓縮。從已發生的案例來看，這些惡意干擾的技術成分並不高，使用的也不過是衛星通信的常規設備，這暴露了目前我們衛星通信的弱點，對衛星營運商和製造商提出了新的更高的要求。

因此，爲做好衛星通信廣播安全工作，可從衛星、上行地面站和節目發送和接收的鎖碼裝置三方面採取改進措施。這些措施技術成熟，亦行之有效，現分述如下：

(1)、衛星：

適當減小衛星全國波束接收天線覆蓋區；增設可移動單聚點波束接收天線；增設固定多聚點波束接收天線；合理設計轉頻器接收機增益變化範圍和最小值。可在下一代衛星設計中研究使用。

(2)、上行地面站：

使用大功率發射機和高增益發射天線及使用大功率 MCPC 上行信號推至轉頻器飽和點，若與調節衛星轉頻器增益相結合，正是現有衛星通信廣播系統抑制干擾採用的主要方法。

(3)、鎖碼裝置：

對電視信號加擾和加密以及對電視信號的節目源增設加密認證。這 2 項改進措施對現有的和未來的衛星電視節目的發送和接收系統都可採用。

作為衛星使用者，在現階段，對這些非法干擾實施反干擾就要以其人之道還治其人之身，一旦發現有惡意干擾就要立即加大上行功率壓制非法信號並通知衛星測控中心和相關部門採取措施，共同打擊不法分子的囂張氣焰。同時，結合衛星營運商制訂應急處理方案，堵截非法信號的傳輸管道，保證衛星通信業務正常進行以及確保廣大觀眾正常收聽和收看衛星廣播電視節目的權益。

6.1.3 一般性衛星干擾管理程序

衛星干擾問題需要以一個較有系統的方式去處理，此問題包含改善操作管理、加強衛星使用者訓練及主動積極介入的技術，以便能迅速找出並移除干擾源。大多數之大規模衛星操作中心其干擾管理程式係依照下列主要步驟，以便能迅速找出干擾訊號之發射位置。

(1) 衛星使用者聯絡衛星操作中心，報告有不明之干擾影響其通信。

(2) 衛星操作中心收集該衛星使用者(顧客)受干擾之相關資料，例如：衛星名稱、轉頻器中心頻率、頻寬及載波通信形式以便釐清干擾源相關資料。

(3) 衛星操作中心之操控員利用干擾定位程式及工具：例如：頻譜儀去檢測訊號以便進一步對干擾訊號作確認。

(4) 交叉比對衛星資料、衛星頻率及相關之衛星轉頻器，檢查其中心頻率，發射極性是否正確，及鄰近載波干擾或是否有其他地面站正在作上鏈測試。

(5) 檢視過去曾發生之相關干擾頻譜圖，是否有可能再次發生。

(6) 若上述干擾定位動作仍宣告失敗，則操作中心之操控員傳送已收集之干擾資料給有能力發射區域、半球或全球波束的地面站協助處理。

(7) 上述資料發送之內容係要求地面站確認其設備並無發射干擾訊號，並將其發射訊號畫成頻譜圖後再傳送給衛星操作中心，以證實該地面站之高功率放大器(HPA)確實未發干擾訊號。

(8) 當所有地面站已將上述相關資料如頻譜圖等傳送給衛星操作中心，而仍無法找出干擾源發射位置時，操作中心得採用 point-off 程式，以便找出干擾發射的地理位置。

(9) point-off 程式係要求受干擾衛星波束涵蓋範圍內之上鏈地面站移動發射主波束，直到衛星操作中心以頻譜儀觀測其接收信號強度減少了百分之五十，此程式應執行至每個地面站都已被通知並執行完畢為止。

茲將一般衛星干擾處理程序之作業流程示意於下圖：

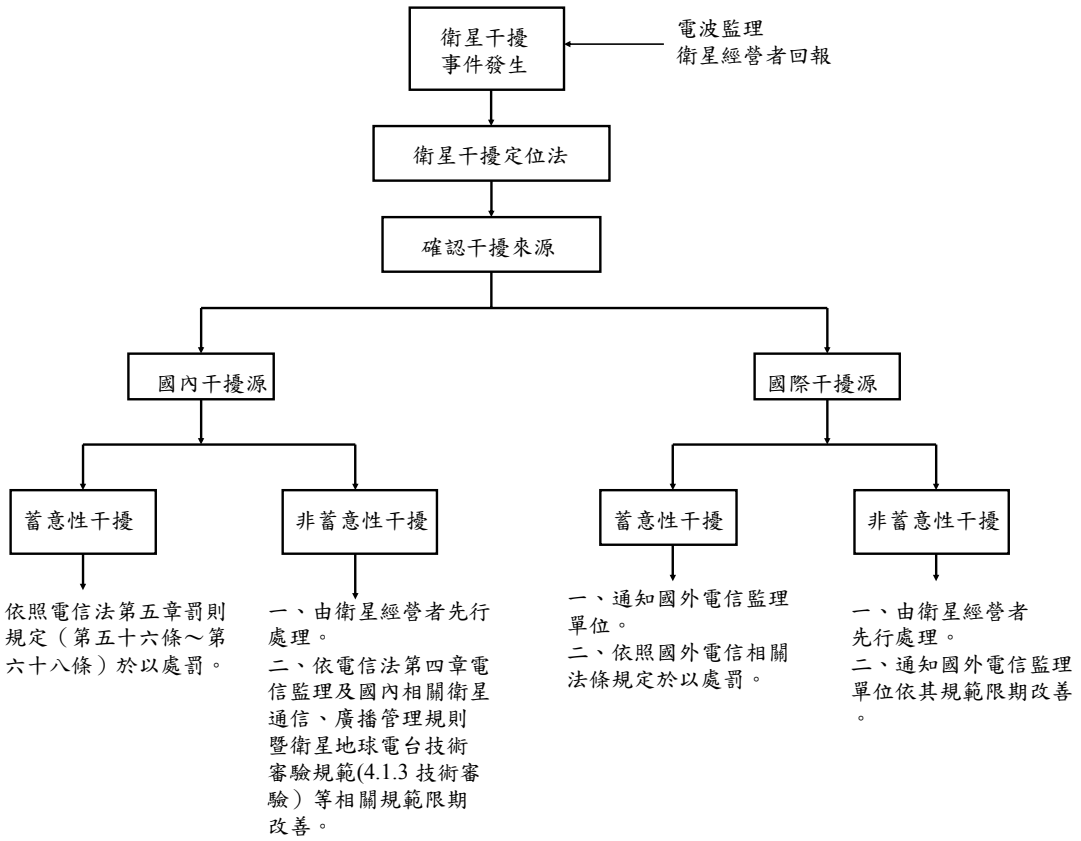


圖 6.1 一般衛星干擾處理程序作業流程圖

總而言之，衛星干擾監測與定位是相當困難與繁複，唯有靠用戶與衛星營運商共同合作才可能有機會減少發生頻率，並需共同打擊不法之蓄意性干擾者，以下是雙方必須遵守的基本要求，以防範未來。以下針對用戶與衛星營運商對於衛星干擾處理程序之基本操作要求說明於下：

A.對用戶基本操作要求

(1) 用戶站發現載波受到干擾，立即與衛星網路控管中心聯繫，共同分析、查找、排除干擾

(2) 所有入網用戶站必須進行並通過入網測試認證

(3) 所有用戶站進行遷移、設備更換、參數變更都必須重新測試認證

(4) 用戶應建立完善、規範的作業管理制度，特別是有關載波發射功率、頻率的操作，必須嚴格管理

(5) 遵守有關地面站發射信號的技術規範

(6) 開通測試完成後，用戶應保持測試時的設備工作狀態，尤其是發射路由從調變器

到天線之間的所有設備和工作點不得任意改動，若需更換設備或調整工作點，必須經 NCC 同意。

B.衛星網路控管中心的措施

(1) 加強規範化、標準化管理

(2) 訂定完善的規章制度；做好通信管理體系

(3) 裝置完善通信監測設施，加強載波監測，及時發現干擾，排除干擾

(4) 加強 24 小時值班，改善服務態度

(5) 加強對技術人員的培訓，提高分析處理問題能力

(6) 加強與用戶的聯繫溝通，作好服務和支援，協助用戶解決各種技術問題

(7) 接到用戶申告後，迅速協助用戶檢測、查找、排除。

6.2 TDOA/FDOA 雙衛星干擾源定位之系統作業流程

承襲前面章節之描述，TDOA/FDOA 雙衛星干擾源定位技術仍是一個可參考使用的方法。本節將進一步闡述 TDOA/FDOA 雙衛星干擾源定位技術之作業程序。當干擾事件發生時，依據定位系統的運作，可窺知決定出干擾源位置之作業模式。在此一章節，我們將以定位系統的運作為基礎，規範整個干擾源定位處理之作業流程。當干擾事件發生時，衛星處理中心依其干擾管理程式，實行主要步驟確認干擾信號為非蓄意性干擾或蓄意性干擾。假如其為蓄意性干擾，則其處理作業流程圖如 6.2 所示。

6.3 地面監測站干擾源定位之系統作業流程

由於地面監測站干擾源定位法屬於創新之衛星干擾源定位法，現階段並無適當之現行系統供規劃作業流程之參考；本研究因此初步規劃地面監測站干擾源定位法之系統作業流程如下：本系統組成包括監測站總部、固定式監測站、移動式監測站、及其間之通訊網路。在各地區適當之制高點設立衛星上鏈信號監測站，使各監測站

能在有效距離內偵測到上鏈衛星天線之旁波瓣信號，若無法同時有一個以上之固定式監測站收到同一信號則利用移動式監測站移動至相關位置以補其不足。在定位干擾源時的操作程序：

1. 固定式監測站開始例行式偵測或主動式偵測。
2. 固定式監測站在接收到的信號中以電腦程式判定，移除已知之合法衛星上鏈頻率及位置以隔離並確認干擾信號的存在。
3. 固定式監測站將收集的資訊(如方向、頻率、信號強度、時間等等)以通訊網路傳送至總部彙集。
4. 總部再用電腦程式分析相鄰監測站相關信號以判定干擾信號發射位置。
5. 如各監測站將收集資訊不足以判定干擾信號發射位置，則總部再加派移動式監測站至適當地點執行主動式偵測，取得更多資訊再判定干擾信號發射位置

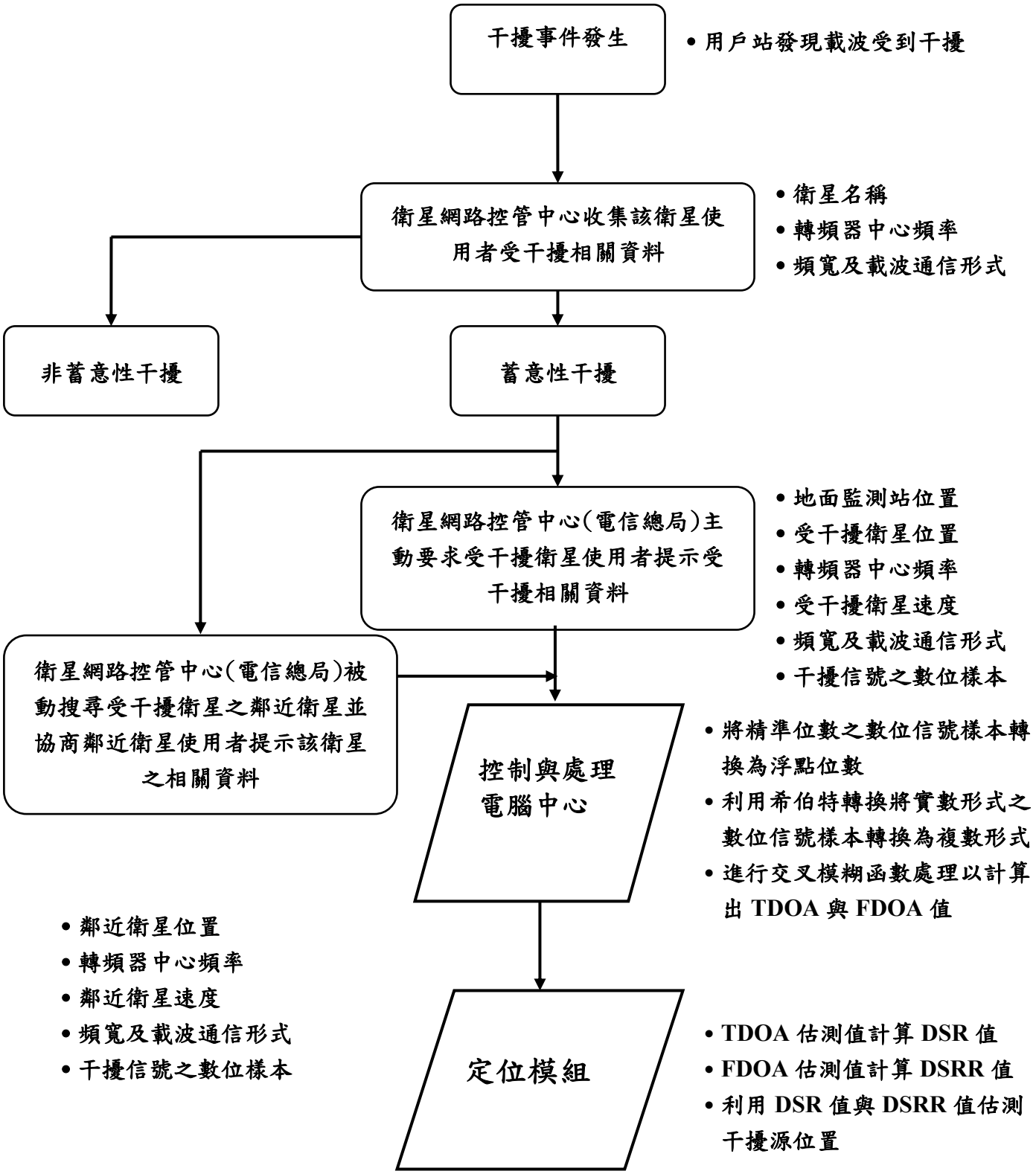


圖 6.2 TDOA/FDOA 雙衛星定位系統之蓄意干擾監測作業流程圖

第七章 結論

本計畫分別完成：

(1) 衛星監測及干擾源定位技術之介紹、分析，進一步撰寫數值模擬軟體，評估 TDOA-only 法、FDOA-only 法及 TDOA/FDOA 法（雙衛星法）之定位預估準確度及可信度。

(2) 探討適於國內之相關監測技術與系統項目上，本計畫提出複合式定位法，該方法結合雙衛星法及地面監測站定位法，以彌補雙衛星法定位不夠準確的缺點。地面監站定位系統係在台灣地區設立地面固定監測站（可與電信總局現有之電波監測站結合）及行動式監測車，利用這些監測站／監測車接收衛星上鏈天線旁波瓣信號之到達角，做為地面干擾源的定位資訊，並進行定位評估。本計畫中亦評估該方法之定位準確度，及初步建議行動監測車在台灣各地區之適當移動路徑。此外，並研擬固定站及移動站之系統架構及概估所需之經費。

(3) 研擬衛星通信干擾，處理作業流程及參考規範或可適用之規範。

整體而言，本研究主要探討了包括雙星定位技術與地面監測站定位技術之衛星干擾源定位法；在雙星定位技術之分析模擬，干擾源天線波束寬足夠大的情況下，可考慮使用較大的衛星間隔，改善其定位精準度。當輔助通道之 SNR 較小時，可提高 PG 值來改善，但會使得系統做信號處理的時間增長。當所使用的輔助衛星存在傾斜度時，在兩個相對時間點會有最大的定位誤差產生，在實際執行定位時，可盡量避開此時間點，以提高定位的準確度。使用雙星定位技術，最後可得到一個可能包含干擾源之橢圓區域，稱誤差橢圓，在一般 TDOA 與 FDOA 誤差範圍內，它所產生的面積大到數十平方公里，甚至到數百平方公里。

在地面監測站定位技術之分析與評估方面，相對於雙星定位監測方式定位干擾源，地面監測站定位法對台灣來說可行性較高，除了不需借重國外力量，如衛星訊

號及控制權的取得外，花費較低、系統簡單且易於操作為其主要優點；根據初步分析結果地面監測站依接收信號載波雜訊比分析 Carrier to Noise Ratio (minimum acceptable C/N level)，若監測站位於干擾源發射天線中心波束 45°內，且偵測頻寬在 2MHz 以下，Ku 偵測有效距離達約 11 公里，理論上能夠提供較精準的定位結果。然而利用電信總局現有衛星地面站台作為干擾源定位監測站，仍有若干劣勢，包括現有固定式監測站站數較少且多分佈於都會區附近，有效覆蓋區域似有不足，Ku band 的有效偵測範圍僅佔台灣面積的 3.8%，以及若干監測站由於地形地物遮擋，無法有效進行監測工作；是故本研究建議需搭配移動式監測站實施輔助監測。

在衛星通信干擾處理作業流程方面，本研究提出一般性之作業流程規範作為未來研擬標準流程之參考，該流程主要參考國際現行之干擾源監控處理作業流程彙整而得，進一步之作業流程與細節可參考國際上相關標準與文件。

附錄 A 衛星通道傳播特性

A.1　都普勒效應(Doppler Effect)

此現象在 1842 年由都普勒(J.C. Doppler, 1803-1853)所提出，故稱為都普勒效應。這個效應主要用來說明信號來源、接收端與傳播波動在發生相對運動時，接收端所接收到的信號頻率會有所不同，接下來利用下圖導出它的原理。

(1)　信號源向接收端移動，但接收端不動

如圖 A.1 所示，d 為接收端所移動的距離，信號源頻率為 f_s、速度 v_s、波長 λ、經壓縮後的波長為 λ'，則接收端所收到頻率為

$$f_r = \frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{\lambda - d} = \frac{c}{\lambda - \frac{v_s}{f_s}} = \frac{cf_s}{f_s\lambda - v_s} \tag{A-1}$$

$$= f_s \cdot \frac{c}{c - v_s} \quad ,$$

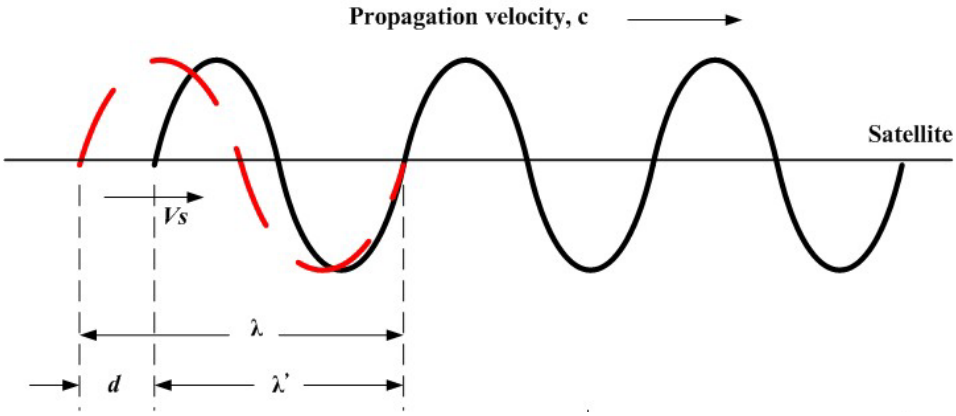


圖 A. 1　信號源向接收端移動的示意圖

(2)　接收端遠離信號源，但信號源不動

如圖 A.2 所示，接收端移動速度為 v_r，同(A-1)的推導方式可得到接收端所收到的信號頻率為

$$f_r = f_s(1 - \frac{v_r}{c}) = f_s - f_s \frac{v_r}{c}$$
$$= f_s \frac{c - v_r}{c} \quad , \qquad \text{(A-2)}$$

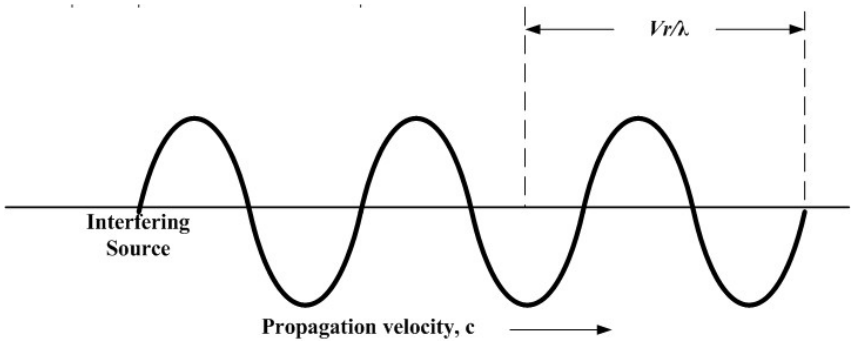


圖 A. 2　衛星離開干擾源的示意圖

最後，若信號源與接收端兩者同時有相對運動，則我們必須將式子修改成

$$f_r = f_s \times \frac{c}{c - v_s} \times \frac{c + v_r}{c}$$
$$= f_s \times \frac{c + v_r}{c - v_s} \quad , \qquad \text{(A-3)}$$

在後續的章節中所提到的 FDOA 定位技術，就是使用(A-2)所推導出的公式所得到的。

A.2　電離層之時間延遲現象

電離層位在距離地表上方 50 到 300 公里的距離間，由大部份已離子化的粒子所組成。電離層中的離子濃度在白天或夜晚都會有所不同，也會因季節的不同而不斷的變化。電離層中對於信號的時間延遲，會跟信號的頻率成反比，若信號操作在 C 頻段 6GHz，所產生的時間延遲大約是 0.07μs(總電子濃度 TEC=10^{19} electrons/m^2)，對 TDOA 定位所造成的誤差相當小，而當信號操作在 ku 頻段 14GHz 時，產生的時間延遲幾乎可忽略不計。

A.3　衛星軌道之攝動現象

一般來說，同步衛星停留在赤道上空 35786 公里處，且以 23 小時 56 分 4.09 秒在環繞地球，當同步衛星處在無重力的太空中運行時，常會因其他的引力如太陽、月球等，或因地球表面地形起伏不定所造成地球本身重力場的不平均，與地球大氣層的影響，而呈現 8 字形飄離預定軌道的情形，我們稱為攝動(Perturbation)現象。在 FDOA 的定位方法中，衛星攝動的經緯度與高度估測的正確性，對於利用此定位技術的精準度會有很大的影響。

附錄 B 複合式衛星干擾源定位技術之效能評估與模擬

經由上述的雙星定位技術，所得到的誤差橢圓涵蓋面積可能大到數十甚至數百平方公里，若我們直接在這個涵蓋的橢圓區域內做搜尋的動作，勢必會花費相當多的時間，以及人力物力，有鑑於此，我們提出一種結合 TDOA/FDOA 與 MBA 的定位方法，此方法是藉由評估誤差橢圓的大小，利用一架直升機滯留在適當的高度，在誤差橢圓上的特定高度執行多波束的定位技術，如圖 B.1 所示。但由於地面干擾源天線具方向性，且波束較集中，為了使直升機上的天線能夠接收到干擾信號，我們可以將直升機的初始位置設定在誤差橢圓內干擾源估測值觀測衛星的方位角與仰角上，以提高直升機上天線所接收到的干擾源信號強度。

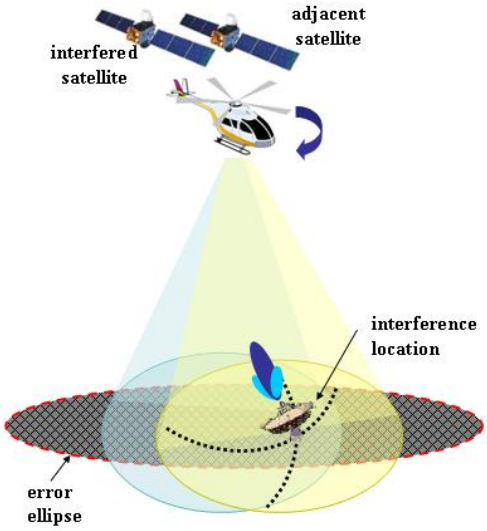


圖 B. 1　TDOA/FDOA 搭配直升機執行 MBA 之定位技術

這個定位方法初步評估的主要優點是，可大幅縮小搜尋面積與縮短搜尋時間，且在直升機上執行 MBA 的定位會比在干擾衛星上來的精準，因為衛星距離地面較遠，所以對於角度上的量測誤差會相當的敏感。缺點是使用直升機輔助定位導致成本上的增加。

圖 B.2 為此複合式定位技術之流程圖，首先利用 TDOA/FDOA 雙星定位技術會在地表上得到一誤差橢圓，再評估適當的直升機滯留高度與天線波束寬，可將誤差橢圓短軸做完全的涵蓋，使用此天線波束從誤差橢圓長軸的一端點，沿著長軸作搜尋至另一端點，若天線的波束涵蓋到干擾源，則所接收到的信號功率必定會比未涵蓋時大，所以最後可得到一最大功率的估測點，而干擾源落在此波束涵蓋範圍內的機率相當高，我們就利用此點作為多波束的中心點，執行多波束的定位，即可得知干擾源的正確位置。圖 B.3(a)(b) 所示，為利用單一波束在誤差橢圓內搜尋執行 MBB 最佳區域的例子，得到在(a)所得的結果，其波束中心點與干擾源的距離較(b)所得到的結果遠，但在此例子中我們設定受干擾衛星為 110.5^{o}E，所以需考慮直升機落在干擾源天線場形的離軸角(off-Bxis Bngle)位置，由模擬得到，在(a)的結果中，直升機在干擾源天線場形離軸角 5.2 度的方向，而在(b)的結果中，直升機在干擾源天線場形離軸角 7.41 度的方向，但我們使用(a)的結果所得到的最大功率估測點執行 MBA 的定位，仍可將干擾源涵蓋在天線波束內，達成定位的目標。

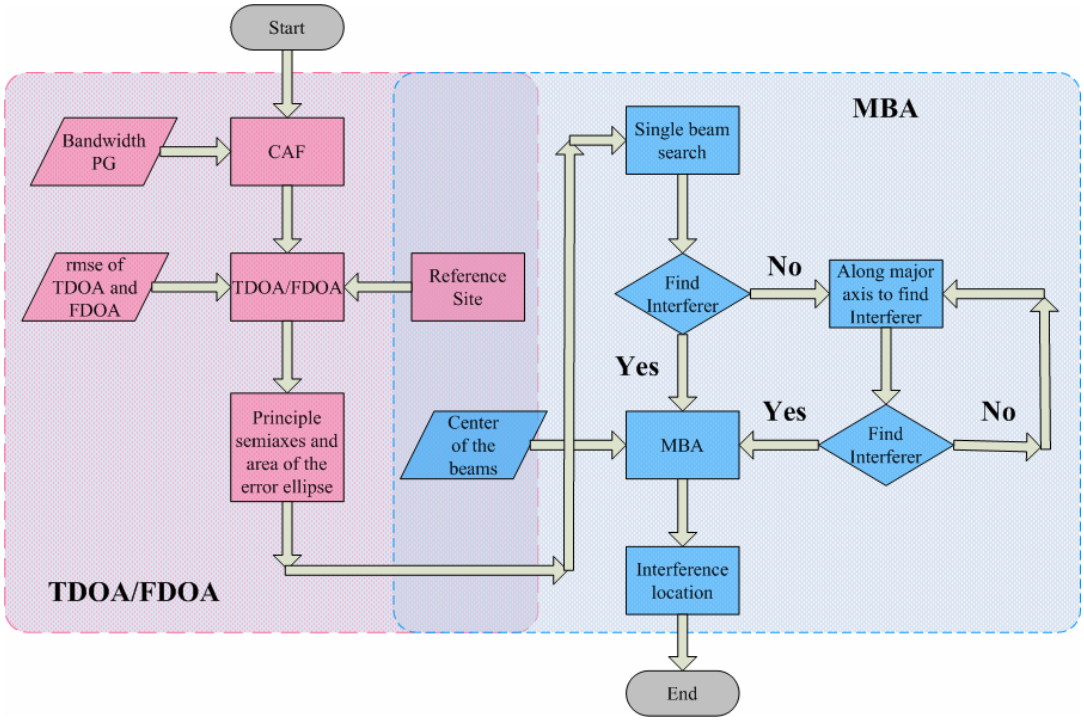
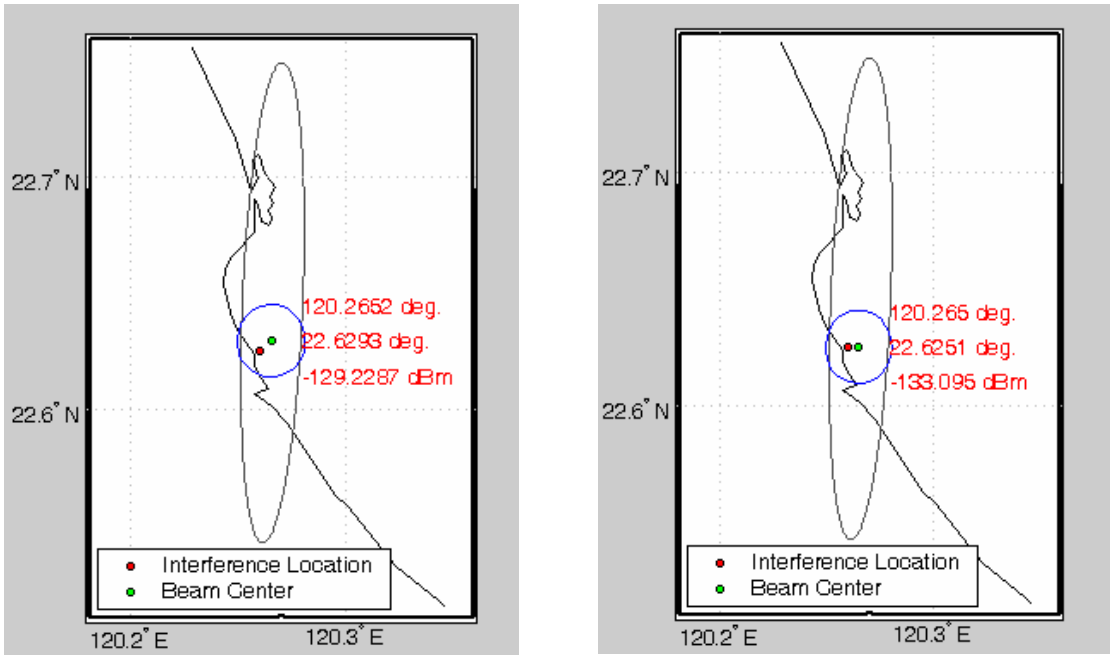


圖 B. 2　複合式定位法之流程圖



(a) (b)

圖 B. 3　使用單一波束在誤差橢圓內之搜尋結果 (a) 最大功率之波束位置 (b) 次大功率之波束位置

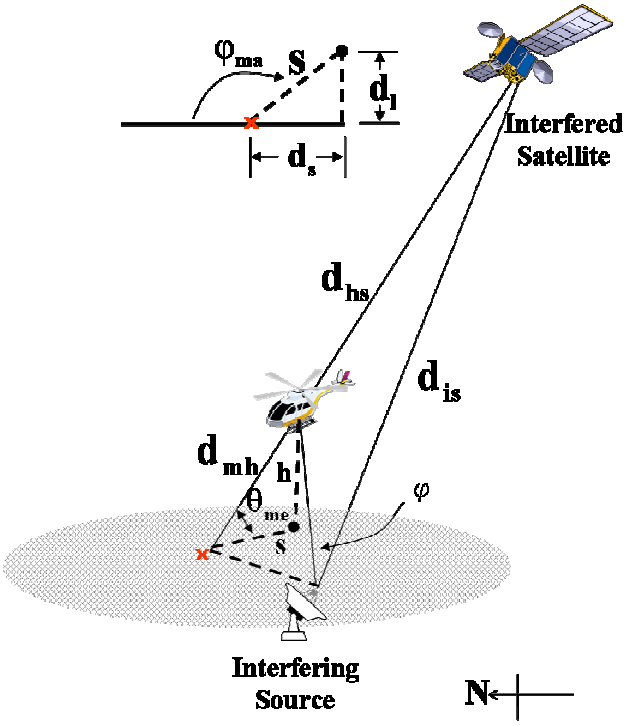


圖 B. 4　求解直升機、干擾源與衛星間夾角之幾何配置

在先前提到，我們將設定直升機落在長軸上量測點觀測衛星的方位角與仰角上，經過如圖 B.4 的幾何運算後，即可得到直升機的經緯度與直升機在干擾源天線的離軸角(off-axis)φ，如此即可算出直升機上天線所接收到的功率進行 MBA 的定位。相關的計算方法，如下列式子所示：

已知參數：

θ_{ma}: 量測點觀測衛星之方位角 (Azimuth angle)
θ_{me}: 量測點觀測衛星之仰角 (Elevation angle) ，
h : 直升機飛行高度

$$s=\frac{h}{\tan\theta_{me}} \quad , \qquad \text{(B-1)}$$

$$d_l=s\cdot\sin(180-\varphi_{ma}) \quad , \qquad \text{(B-2)}$$

$$d_s=s\cdot\cos(180-\varphi_{ma}) \quad , \qquad \text{(B-3)}$$

再將 d_l 與 d_s 轉換成地表上的經緯度單位，如此可得到直昇機所在位置的經緯度分別為，

直升機經度=估測干擾源經度+d_l(deg.)
直升機緯度=估測干擾源緯度+d_s(deg.) , (B-4)

再利用上式所得到的參數，來求得 φ 角，

$$d_{mh}=\frac{h}{\sin\theta_{me}} \quad , \qquad \text{(B-5)}$$

$$d_{hs}=d_{ms}-d_{mh} \quad , \qquad \text{(B-6)}$$

$$d_{hs}^2=d_{ih}^2+d_{is}^2-2\cdot d_{ih}\cdot d_{is}\cdot\cos\varphi$$

$$\varphi=\cos^{-1}\frac{d_{ih}^2+d_{is}^2-d_{hs}^2}{2\cdot d_{ih}\cdot d_{is}} \quad , \qquad \text{(B-7)}$$

利用一個例子來加以說明，假設有一個干擾源落在，E120°15’44.6”，N22°37’30”，估測點為 E120°15’44.6”，N22°37’37.2”，直升機高度為 2000 公尺，即可計算出直升機所在位置的經緯度為 E120°15’43.2”，N22°36’36”，若干擾源天線為一直徑為 3 公尺的碟形天線，且最大增益為 40dB，如圖 B.5 所示，即可得到直升機在干擾源天線離

軸角 5.371 度，增益為 5.957dB。

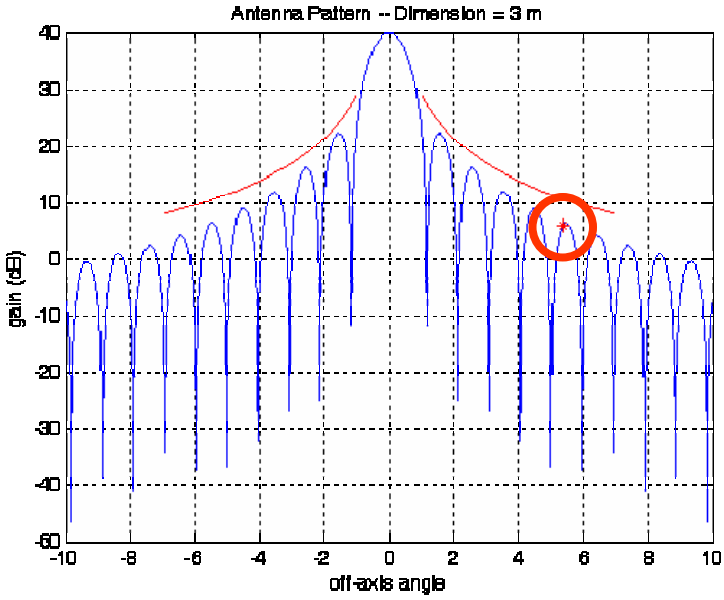


圖 B. 5　直徑為三公尺之天線場型圖

圖 B.6 為複合式定位技術之模擬結果，可看出當干擾源落在四波束重的區域時，即可利用兩條增益比等高線之交點，得到干擾源的正確位置，而適當的直升機滯留高度可由誤差橢圓短軸來決定，當橢圓短軸較小時，可利用滯留高度較低的直升機即可將橢圓短軸完全涵蓋。

TDOA/FDOA 雙星定位設定如下:

干擾源: 120.2705^{o}E　22.634^{o}N

受干擾衛星:110.5^{o}E

輔助衛星:113.5^{o}E

誤差橢圓面積:77.95 平方公里　長軸:15.909 公里　短軸:1.5597 公里

直升機 MBA 定位設定如下:

高度:2000 公尺

天線波束寬:100 度

波束間隔:50 度

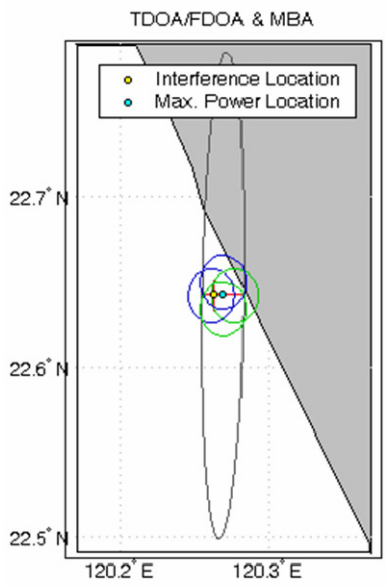
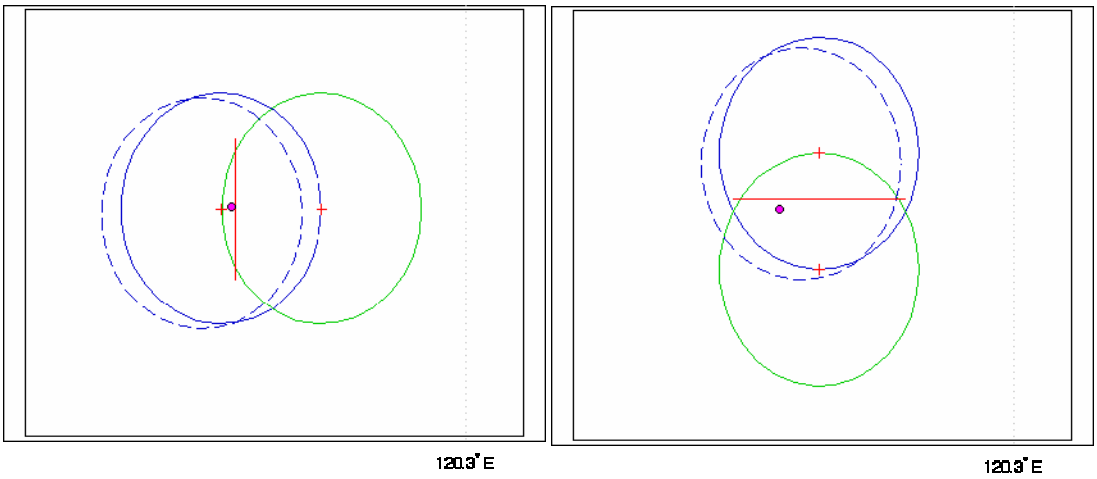


圖 B. 6　複合式定位技術之模擬結果

為了可以瞭解直升機上天線指向誤差與增益量測誤差對定位精準度的影響，我們利用天線波束間隔為 50 度，且波束寬為 100 度的天線(-20dB contour)進行模擬，得到表 B.1 的模擬結果，設定天線指向誤差為 5 度且方向為 360 度發生機率均等的情況下，所得到的定位誤差約為 0.1 公里，圖 B.7 為模擬結果。表 B.2 為模擬不同增益比誤差所對應的定位誤差。上述提到的誤差來源所產生的定位誤差，會因為所選用天線的種類而有所不同，但仍可看出其所產生的定位誤差比雙星或三星定位動輒數十公里定位誤差小上許多。

表 B. 1　直升機上天線指向誤差 5 度所得到的定位結果

beam pair	N-S (N:plus)	E-W (E:plus)
beam direction (deg.)	±25	±25
received power ratio (dB)	5.073	12.294
interference location (deg.)	22.6422^{o}N	120.2633^{o}E
estimated location (deg.)	22.6426^{o}N	120.2636^{o}E
error (km)	0.1	



(a) (b)

圖 B. 7　直升機上天線指向誤差 5 度 (實線:規劃波束位置，虛線:誤差波束位置) (a) 東西兩波束之配置 (b) 南北兩波束之配置

表 B. 2　直升機上天線增益比量測誤差所對應之定位誤差值

增益比誤差	1dB	3dB	5dB	7dB	9dB	11dB
定位誤差(公里)	0.1	0.2	0.4	0.55	0.65	0.8

附錄 C　Universal Access Procedures

World Broadcasting Unions
PROPOSAL FOR A NEW RECOMMENDATION ITU-R SNG.uap
SNG Carriers Universal Access Procedures

During their last meeting, Study Group 4B drafted a new Question dealing with unintentional SNG interference (Document4B/TEMP/67V2-E).

The ISOG (International Satellite Operations Group) from the WBU (World Broadcasting Unions) has already started to work on this subject, and has drafted a document called Universal Access Procedures. It institutes guidelines for satellite access as recommended by carriers and broadcasters. These are not meant to apply to the commissioning of new Earth stations, but mainly for activation of uplinks from existing earth stations, in order to avoid unintentional access.

This proposal has been unanimously approved during the last ISOG meeting in October 2003.

Similarly, these procedures have been endorsed by the WBU members and also by:

- CASBAA (Cable & Satellite Broadcasting Association of Asia)
- SIA (Satellite Industry Association)
- SUIRG (Satellite Users Interference Reduction Group)
- WTA (World Teleport Association)

Furthermore, the Mutual Recognition Arrangement Working Group of the Global VSAT Forum recognized the WBU-ISOG Universal Access Procedures as consistent with the goals of responsible transponder utilization and minimization of interference, provided it is used in conjunction with the individual satellite operator's access/lineup procedures and equipment approval processes, whenever applicable. To give to these procedures a universal acceptance, the WBU proposes to include these in an ITU Recommendation as suggested in Annex.

ANNEX
PRELIMINARY DRAFT NEW RECOMMENDATION ITU R SNG.uap
SNG Carriers Universal Access Procedures

The ITU Radiocommunication Assembly,
considering

a. that Satellite News Gathering (SNG) services are offered on several communication satellites;

b. that the use of SNG is expanding in all parts of the world;

c. that the proliferation of the use of SNG stations has caused an increase in unintentional interference to other satellite users;

d. that all SNG operators do not apply the same procedures to access the satellite;

recommends

1. that the SNG operators in the field should follow the universal access procedures described in Annex 1

ANNEX 1
UNIVERSAL ACCESS PROCEDURES
FDMA Services

1. **Definitions**

FDMA = Frequency-Division Multiple Access - the mode of operation where several carriers with different frequencies are loaded onto a single transponder ?differentiated from TDMA services which follow their own access procedures.
ESO = Earth Station Operator
LOC = space segment Lessee Operating or control Center (either a Broadcasting organization, a Union or Consortium or Broadcasters, a Telecom Operator or any other third party)
SOOC = Satellite Operator's management/Operations Center
TES = Transportable Earth Station (a fixed earth station that is not permanently dedicated to an orbital slot, should be treated the same way)
FES = Fixed Earth Station that is dedicated to an orbital slot (and most of the time with fixed settings for specific carriers).

2. **Purpose**

This document defines the procedures all ESO must follow in order to access satellites. This document also describes the criteria for obtaining line-up exemptions in specific cases.

2.1 Customer Access Requirements

All ESO who receive authorization (either directly from the satellite provider or through a third party LOC) to transmit to a satellite must contact the Satellite Operator's Operations Center (SOOC) of that satellite provider prior to access so that the initial uplink can be verified, monitored, and documented by an SOOC controller. However, before calling the SOOC, the ESO should always first call the LOC to verify authorization and check for schedule changes.

English is the universally accepted language. All uplink ESO should be able to communicate and follow instructions given to them in English. Other languages may be used at the discretion of the satellite operator but must be agreed upon with the LOC as a matter of principle.

NOTE: The LOC and the SOOC can be reached by dialing any of the following telephone numbers: [Space Segment Lessee Control Center's Telephone number here] [Satellite Provider's Telephone Number here]

2.1.1 Before the satellite access, the ESO must call the LOC in order to check the following:

- Exchange of earth station identification/registration code and telephone numbers for emergency contacts;
- Confirmation of expected transmission time (due to possible overruns of previous transmissions);

- Satellite, transponder, uplink/downlink frequency, and bandwid

2.1.2 During the satellite access, the SOOC controller must check the following:

- Earth station registration code;
- Confirmation of correct transmission time (to be in line with the LOC check above);
- Satellite, transponder, and frequency slot allocations;
- Uplink polarization;
- Cross-polarization isolation
- Carrier power level, signal quality, etc.

2.1.3 During the access procedure, the ESO will be required to:

- Transmit signals of differing power levels (both modulated and unmodulated);
- Peak the transmit antenna;
- Rotate/adjust the transmit antenna polarizers
- The ESO must call the SOOC with enough time to allow the controller to complete the entire access procedure, including cross-pol verification. Failure to do this may result in access delays.

2.1.4 The ESO must also inform the SOOC before making any online equipment modifications in real time or before ending a transmission on occasional use capacities (i.e., a goodnight).

Copies of the Uplink Operator's Checklist and Uplink Operator's Procedure are attached to this policy document.

3. **Access Line-up Verification Exemption**
The SOOC may grant access line-up verification exemption, by way of example,

- When one or several FES for full or part-time access to a satellite is used.
- Between successive uplinks from a TES from the same site, for part-time access to a satellite, provided the TES had not been depointed (i.e. event lasting several days).
This exemption enables the LOC controller to manage third-party accesses without performing cross-pol measurements or adjustments.

4. **Guidelines for Exemptions and Special Authorizations**
All exemptions and special authorizations are granted, and remain in effect, at the sole discretion of the SOOC. When an exemption or authorization is granted, the SOOC shall send written confirmation to the LOC confirming the exemption or authorization and detailing any specific conditions. A copy of all such confirmations shall be kept on file in the SOOC. An exemption or authorization may be revoked at any time if interference or other problems occur that can be linked to an ESO antenna, service, or space segment management. Although confirmed in writing, all revocations are effective as soon as the customer is notified by phone, fax, e-mail, or other means. A copy of all revocation letters shall be kept on file in the SOOC.

Attachment 1: Uplink Operator's Checklist

1. **BEFORE** calling the satellite operator (SOOC), make sure the following table has been completed by cross-checking the space segment allocations with the LOC:

Contact Information:
Earth station registration code for Operator concerned: Your name: _____ The uplink company: _____ Uplink phone number: _____ Dedicated to technical conversations: _____ Your assigned satellite/transponder/slot: _____ **Type of Call:** __Access __Interference report __Goodnight **Special Cases:** __New Full-time Service __Cross-pol exempt antenna **Assigned Frequencies:** Uplink: _____ Downlink:_____ Bandwidth:_____ **Type of Ad Hoc Customer:** __Third-party resale __ Ad hoc
Access Information: Actual Downlink EIRP:_____ Target Downlink EIRP:_____ Transmit EIRP:_____
Cross-pol isolation _____(Leave blank; use this space to record the controller's reading): Scheduled access time (UTC): _____ To _____ Actual access time (Leave blank; use to record actual access time): _____ UTC **Signal Quality (Leave blank; use to record the controller's readings as applicable):** C/N:_____ FEC: _____ Symb/s: _____ BER: _____ CER:

2. When you are ready with this information, **BEFORE** calling the satellite provider, make sure your equipment is ready.

   1. The transmitter is in standby mode at maximum attenuation. For earth stations performing multiple uplinks through a single uplink chain, please ensure that the modulator is at maximum attenuation.
   2. All uplink equipment is warmed, stable, and tuned to the correct frequency with proper sub-carriers, if applicable.

3. The antenna is properly pointed, optimized, and set for the correct polarization. For optimum performance, antenna pointing should be performed during the center of box period for the spacecraft (this information can be provided by the SOOC/LOC).
4. The waveguide switches are configured properly.
5. ATIS is enabled (US domestic analog transmissions only).

3. Follow the Uplink Procedure (Attachment 2).

Attachment 2: Uplink Operator's Procedure

1. Before making the call to the SOOC, use the Uplink Checklist (see Attachment 1) to check transmission equipment and to gather necessary information for the access, by crosschecking with the LOC about 10 minutes before the scheduled access time. If necessary, the LOC will then direct you to the SOOC as per 2 hereunder.

2. Contact the SOOC at least 5 minutes before the scheduled access time and provide the SOOC with the information you gathered on the Uplink Checklist (see Attachment 1).

3. When directed, provide the lowest possible power, unmodulated carrier. Tell the controller you have done this as you throw the switch.

   IMPORTANT: During the access procedure, **DO NOT** change power, frequency, polarization, or antenna aiming without specific direction to do so from the SOOC controller, or the LOC by delegation. If you are instructed to cease transmission, you must comply **IMMEDIATELY** without discussion.
4. Wait for further instruction while the controller checks the cross-pol and frequency of the carrier.

5. At the direction and discretion of the SOOC, modulate and increase power to nominal levels, which will be confirmed by the SOOC. After power levels have been set, verify downlink.

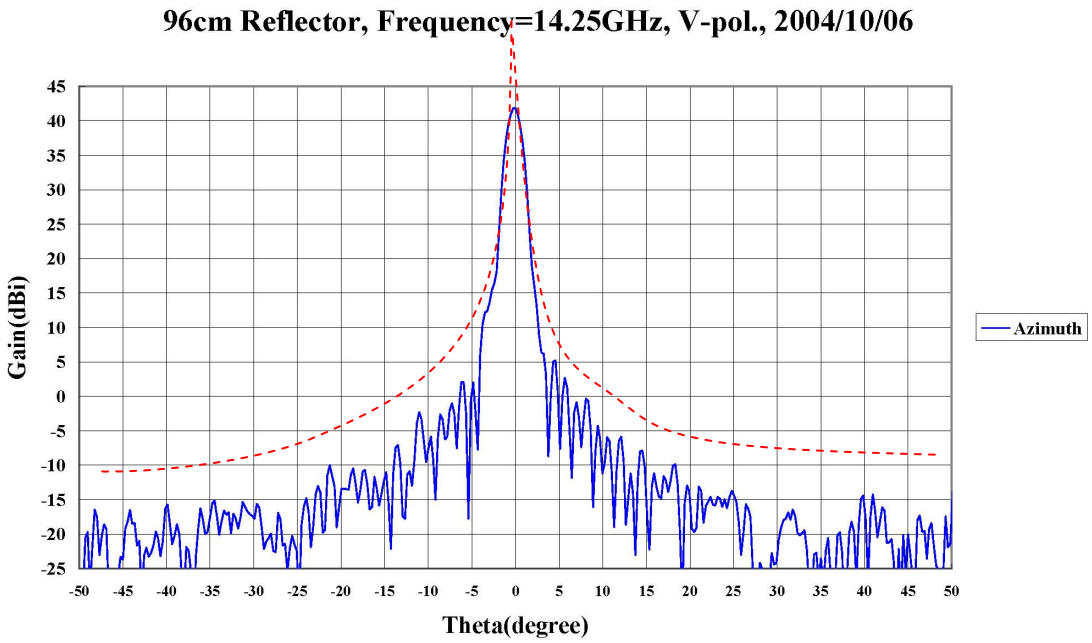
6. Wait for further instructions while your transmission is checked.

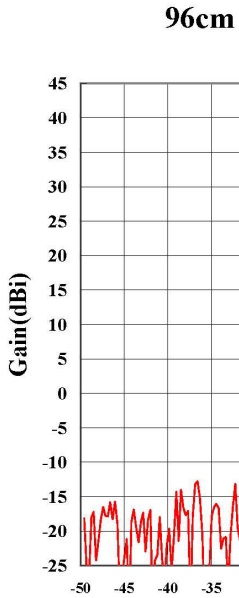
7. The transmission should commence only when the SOOC has given confirmation the carrier specifications are correct.

8. The controller will verify your phone number that should be available throughout the transmission/event in case a problem in relation with your uplink has to be solved. The controller will remind you to call the SOOC again just before the end of the transmission (goodnight call for occasional use space segments).

9. It is mandatory to contact the LOC for good-nighting in all circumstances.

附錄 D


96cm Reflector, Frequency=14.25GHz, V-pol., 2004/10/06
Gain(dBi)
Theta(degree)
Azimuth


96cm
Gain(dBi)

附錄 E 交通部電信總局電波監測站位置一覽表

項次	縣市別	站名	東經(WGS-84)			北緯(WGS-84)			天線高度(m)				備　註
			度	分	秒	度	分	秒	海拔	建物	鐵塔	合計	
1	台北市	大直	121	32	49.2	25	4	40.7					已遷移
2	台北市	士林	121	31	24.8	25	4	51.7	5	42	9	56	
3	台北縣	次格山	121	36	17.7	24	57	46.7	372	32.5	9	413.5	
4	台北縣	大棟山	121	23	3.3	24	59	44.3	317	7	18	342	
5	桃園縣	高原	121	12	24.8	24	50	22.3	286	14.9	12	312.9	
6	桃園縣	崙坪	121	9	50.6	24	59	51.8	86			86	HF
7	宜蘭縣	美城	121	47	22.5	24	46	43.5	2	10.5	9	21.5	
8	宜蘭縣	冬山	121	47	41.67	24	37	54	5	28.8	12	45.8	
9	新竹縣	豐田	120	57	24.2	24	50	29.9					已遷移
10	新竹縣	六家	121	1	51.6	24	49	7.1	45	28.5	15	88.5	
11	新竹縣	尖筆窩山	121	8	55.2	24	40	12.3	1008	11.3	12	1031.3	
12	花蓮縣	吉安	121	34	39	23	58	31	18	20.95	12	50.95	
13	花蓮縣	廣東街	121	36	36.6	23	58	22.1					已遷移
14	花蓮縣	月眉山	121	32	21	23	49	10.5	562	9.5	15	586.5	
15	台中市	東海	120	35	58	24	10	8	113	26.13	12	151.13	
16	苗栗縣	大埔	120	53	20	24	43	13	0	19.35	12	31.35	
17	苗栗縣	頭屋	120	51	1	24	34	25	86			86	
18	苗栗縣	銅鑼	120	45	19	24	26	53.6	325			325	
19	台中縣	豐原	120	42	16	24	15	2	209	21	9	239	
20	台中縣	梧棲	120	31	17	24	15	39					已遷移
21	台中縣	大肚山	120	36	6	24	12	55.8	193	13.8	15	221.8	
22	彰化縣	溪湖	120	28	13	23	57	29		15.9	12	27.9	
23	彰化縣	彰新	120	31	59.8	24	6	22.9	14			14	
24	南投縣	松嶺	120	37	37	23	50	9					已遷移
25	南投縣	鳳鳴	120	38	48.3	23	49	6.4	391	14	15	420	
26	雲林縣	莿桐	120	29	45	23	45	48	41	19.75	9	69.75	
27	嘉義市	嘉義	120	28	15.3	23	28	43.5					已遷移
28	嘉義縣	六腳	120	14	42	23	30	32	4			4	

29	嘉義縣	灣橋	120	31	8	23	29	38				0	
30	嘉義縣	尖凍山	120	36	40	23	28	39	766	8.5	15	789.5	
31	台南縣	嘉民	120	23	0	23	23	1	31	13.5	12	56.5	
32	台南市	台南	120	10	14.6	22	59	49.7					已遷移
33	高雄縣	茄萣	120	11	5	22	54	34	1	11.1	12	24.1	
34	高雄縣	東照山	120	23	42	22	41	21	100	13.7	24.1	137.8	
35	高雄縣	高雄(1)	120	31	45	23	5	57				0	
36	高雄縣	七爺	120	21	11	22	36	2	11	25	20	56	
37	高雄市	高雄	120	18	9	22	40	19	8			8	
38	屏東縣	泰山	120	36	32	22	47	7	69	17.7	12	98.7	
39	屏東縣	南州	120	30	38.3	22	29	37.1	8	10.65	12	30.65	
40	屏東縣	後村	120	27	38	22	34	37.1	10	15.15	12	37.15	
41	屏東縣	屏東	120	28	38.49	22	40	51					已遷移
42	屏東縣	南州糖廠	120	35	23	22	31	35	53			53	HF
43	屏東縣	笠頂山	120	38	41	22	39	8	382	13.7	19.1	414.8	
44	台東縣	馬蘭	121	7	50	22	46	27	22	22.65	12	56.65	
45	台東縣	台東	121	8	35.9	22	44	35.49					已遷移
46	台東縣	利嘉山	121	3	15	22	47	23	392	9.5	15	416.5	
47	澎湖縣	澎南	119	35	39	23	31	33		9.5	15	24.5	
48	澎湖縣	馬公港	119	33	52.59	23	33	46.79		49	9	58	
49	澎湖縣	西嶼	119	30	42.2	23	35	59				0	
50	金門	金湖	118	25	1.7	24	26	27.6		20	9	29	
51	金門	金沙	118	24	33	24	29	22.7					已遷移
52	台南縣	枕頭山								8.5	20	28.5	
53	苗栗縣	九華山								9.5	15	24.5	

項次	縣市別	站名	東經(WGS-84)			北緯(WGS-84)			天線高度(m)				備　註
			度	分	秒	度	分	秒	海拔	建物	鐵塔	合計	
替代機房													
1	台南市	台南(1)	120	9	51	22	59	52					改列替代機房
暫不使用													
1	宜蘭縣	新寮山	121	45	7.5	24	35	19.9					改列不使用機房
2	台中市	南門	120	40	59.5	24	7	29.2					改列不使用機房
3	台南縣	仁德	120	15	36	22	58	14					改列不使用機房
4	屏東縣	民生 分局	120	30	2	22	39	54					改列不使用機房
5	屏東縣	中央 大樓	120	29	20	22	40	17					改列不使用機房
6	桃園縣	壽山岩	121	21	52.5	25	0	21					改列不使用機房

附錄 E 交通部電信總局現有電波固定式監測站之有效電波涵蓋範圍初步評估

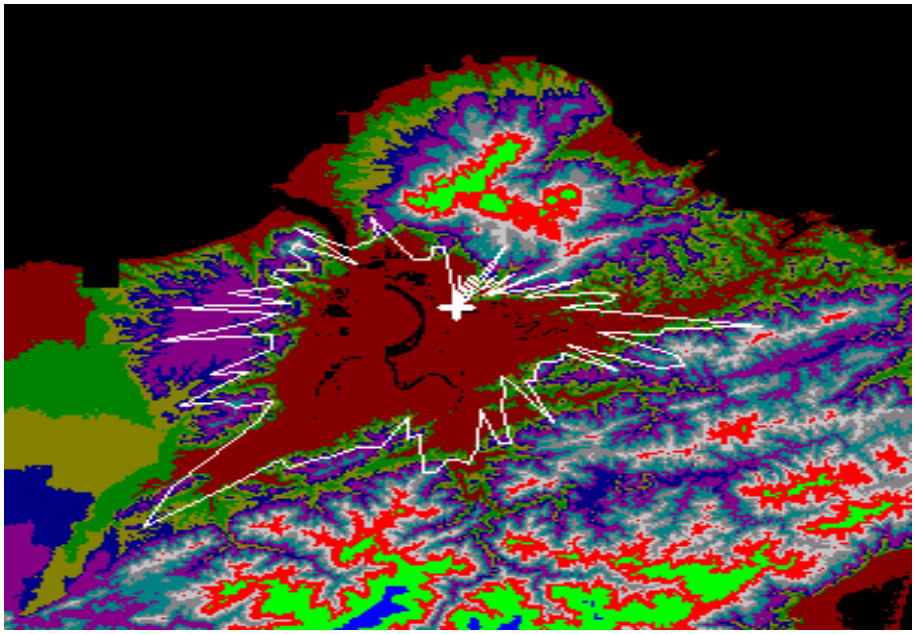
以下針對全台現有之固定式地面監測站位置，利用適當之無線電傳播模型，輔以台灣全省地形資料進行各個固定式地面監測站之訊號監控範圍模擬與預估；根據預估之結果以及前述台灣對同步衛星的方位角，可進而評估各個固定式地面監測站用以監控衛星干擾信號發射源之有效性。本研究所使用之電波涵蓋模擬之相關參數包括：頻率 189 MHz、發射功率 1000 瓦(天線無指向性)、臨界場強 56 dB uv/m、涵蓋率 95%(在電波涵蓋範圍內 95%點，場強大於 56 dB uv/m)、接受天線高度 21 米，無指向性。

這裡所考慮之參數較適用於無線電視之涵蓋，但其預估結果仍可作為電波固定式監測站有效電波涵蓋範圍之參考。

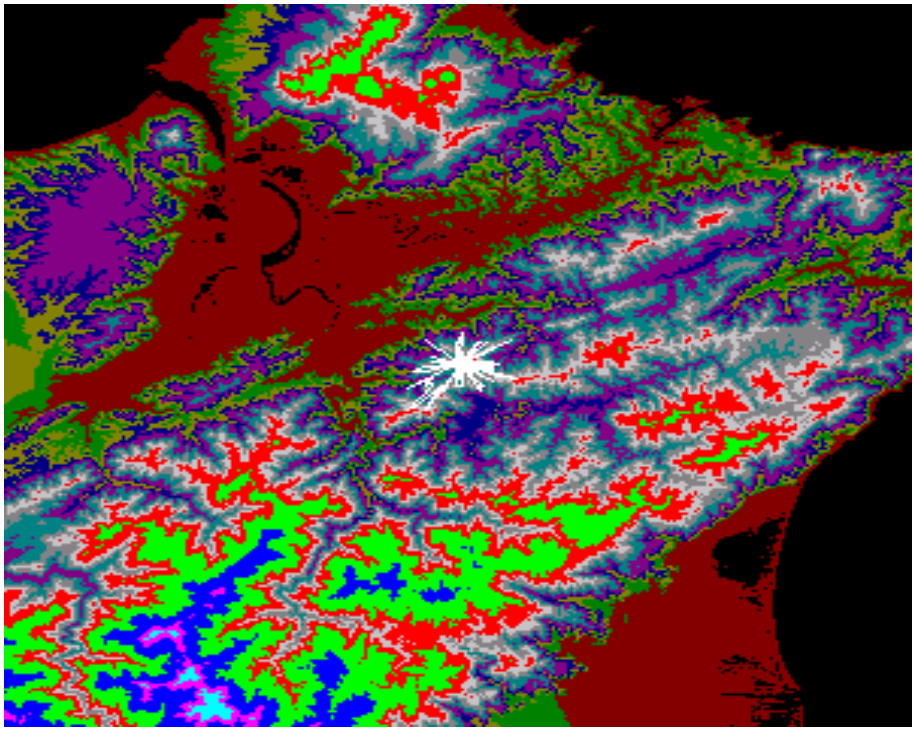
本研究之模擬與預估結果指出，電波涵蓋範圍大小主要受地形影響，而接受天線高度對涵蓋範圍影響不大。茲將各地區固定式地面監測站之有效電波涵蓋範圍模擬結果圖示於下：

台北地區

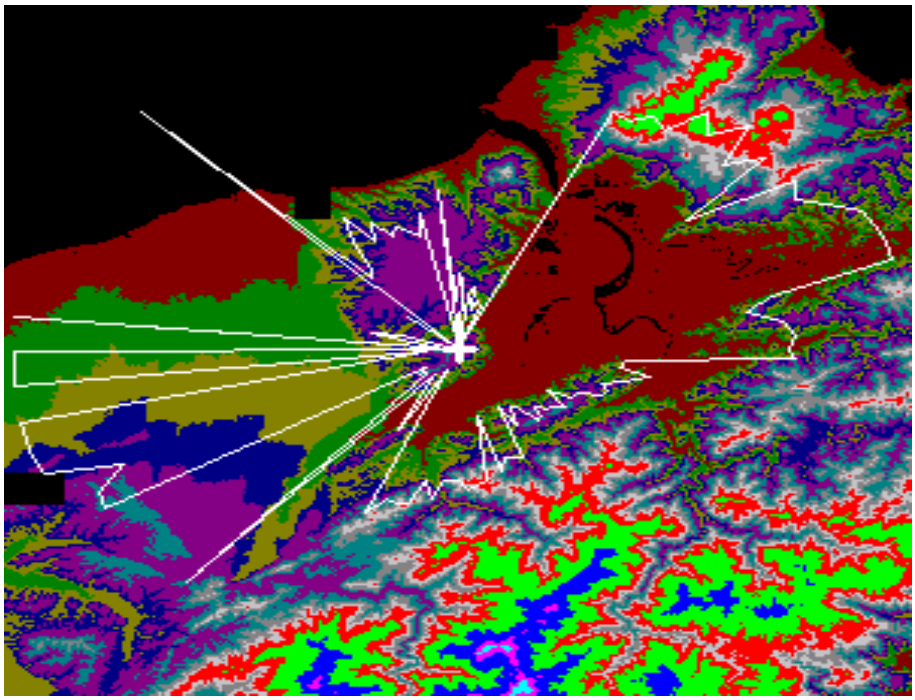
台北市周邊僅有 3 個固定式地面監測站，包括士林、次格山、與大棟山。



台北市**士林**監測站電波涵蓋圖



台北縣**次格山**監測站電波涵蓋圖

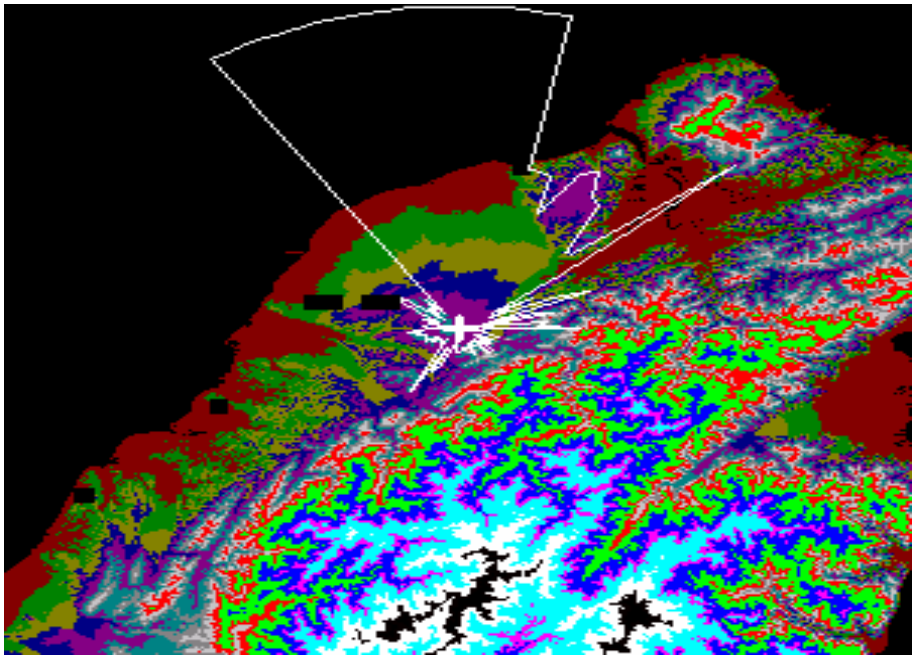


台北縣**大棟山**監測站電波涵蓋圖

根據台北地區固定式地面監測站之電波涵蓋模擬結果顯示，次格山監測站受限於地形遮蔽，無法有效進行干擾源的監控，而士林監測站由於位置偏向台北盆地北方，僅對於方位角偏向北方的干擾信號有較佳之監控效能，與預期之干擾信號方位角(主要朝向南方)不同，因此整體看來僅有大棟山監測站對於衛星干擾信號的監控有較佳的效能，而若要有效定位干擾發射源，台北地區之固定式地面監測站數目明顯不足。

桃園地區

桃園地區現存僅有 1 個固定式地面監測站為高原監測站。

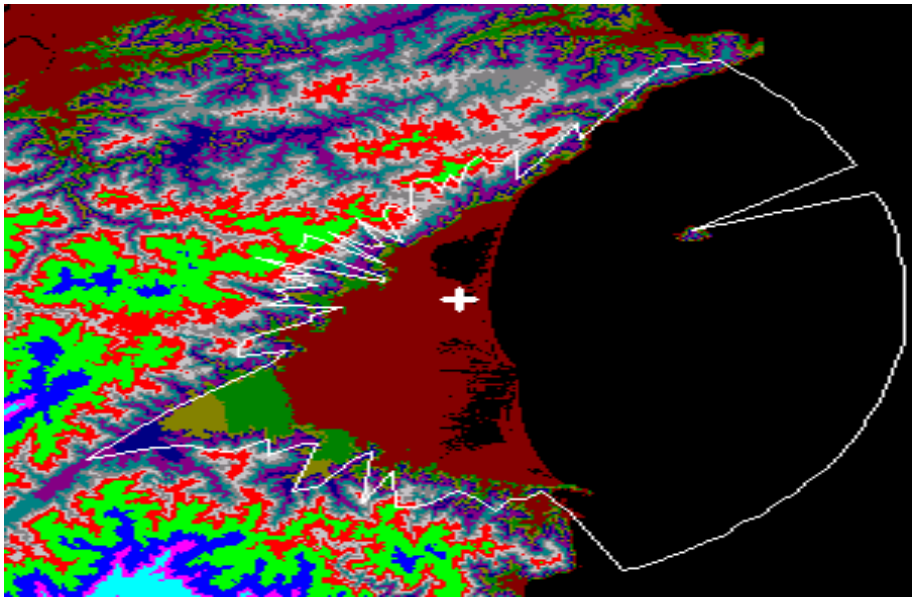


桃園縣**高原**監測站電波涵蓋圖

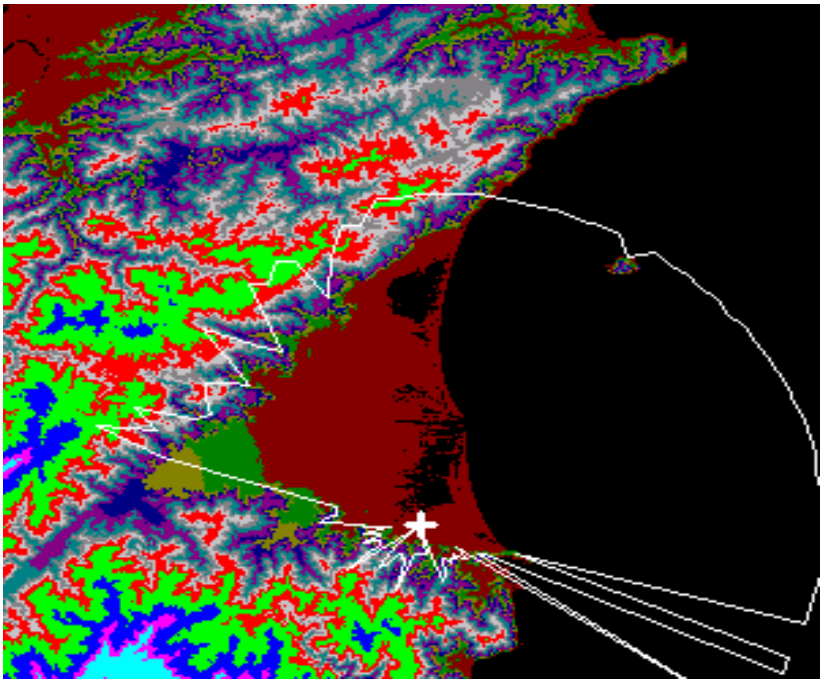
根據桃園地區之高原固定式地面監測站之電波涵蓋模擬結果顯示，除了東北方受高地的遮蔽影響外，對於預期之干擾信號監控有良好之效能，然而受限於監測站數目的限制，若要有效定位干擾發射源，桃園地區之固定式地面監測站數目明顯不足。

宜蘭地區

宜蘭地區現存有 2 個固定式地面監測站，包括美城與冬山。



宜蘭縣**美城**監測站電波涵蓋圖

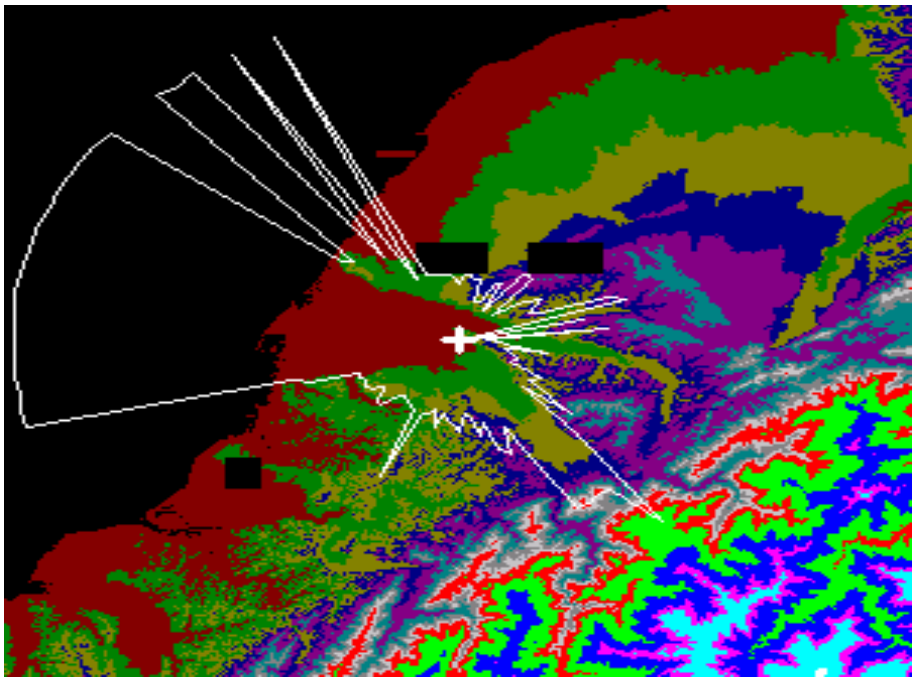


宜蘭縣**冬山**監測站電波涵蓋圖

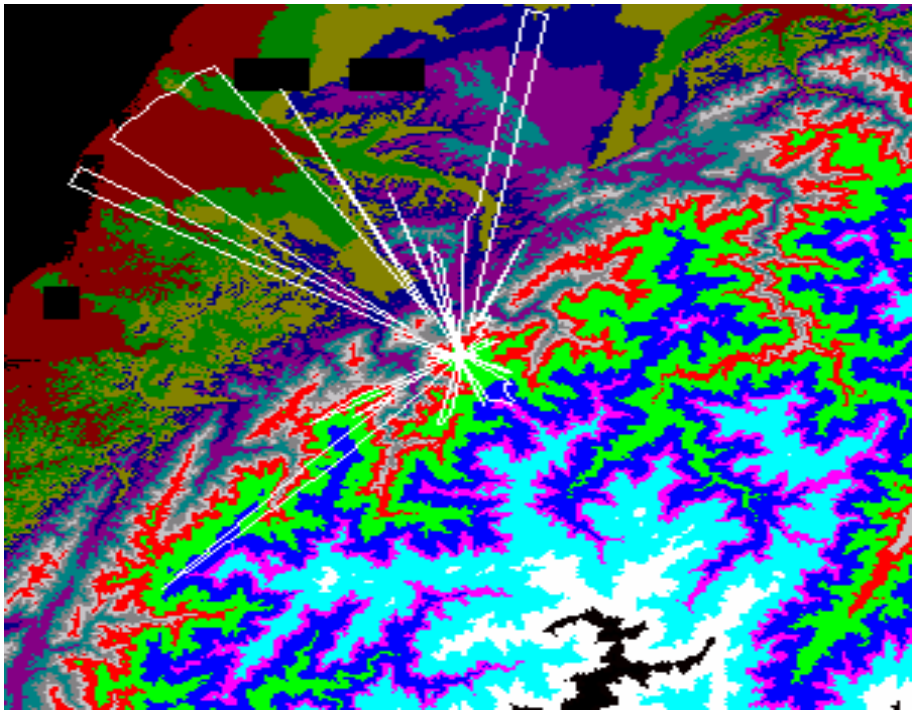
根據宜蘭地區固定式地面監測站之電波涵蓋模擬結果顯示，由於宜蘭屬於平原地形，無論美城或冬山監測站對於預期之干擾信號監控有良好之效能；若要有效定位干擾發射源，宜蘭地區除了監測站數目稍嫌不足外，美城監測站地理位置偏向平原北部，考量與預期之干擾信號方位角，因此美城監測站對於宜蘭平原中央以南的干擾信號監控可能效能降低。

新竹苗栗地區

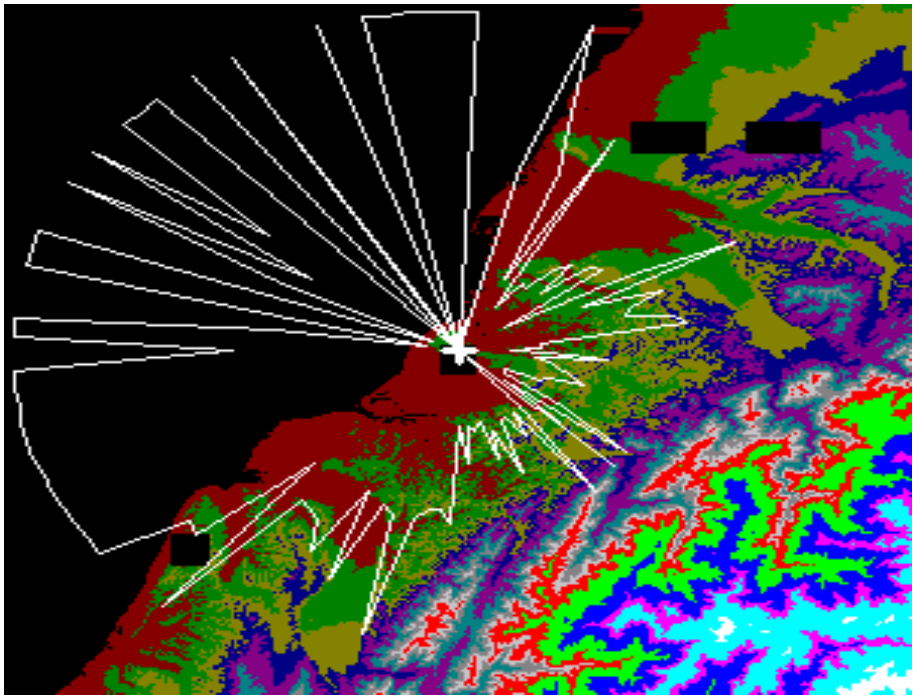
新竹苗栗地區共有 3 個固定式地面監測站，包括六家、尖筆窩山、與大埔。



新竹縣**六家**監測站電波涵蓋圖



新竹縣**尖筆窩山**監測站電波涵蓋圖

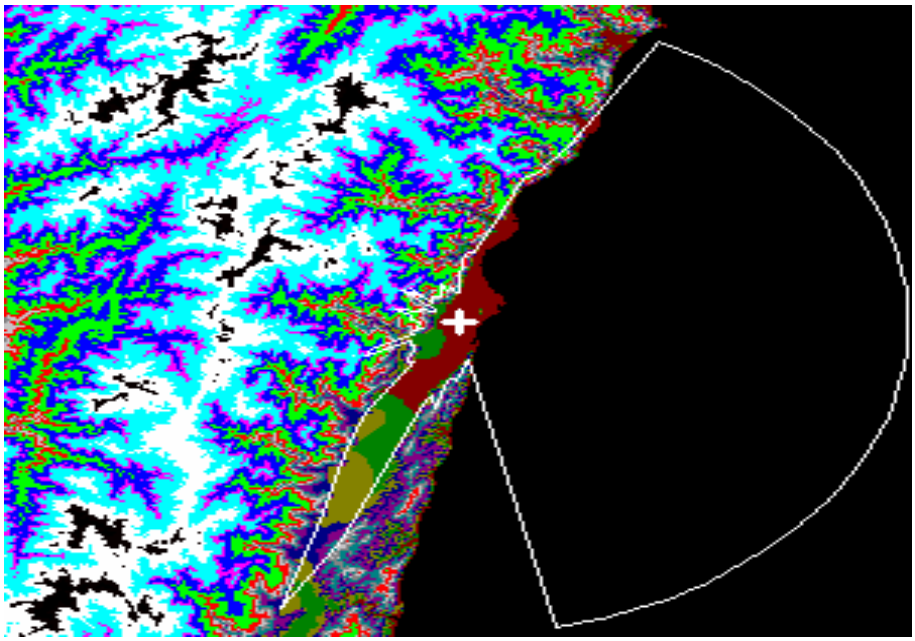


苗栗縣**大埔**監測站電波涵蓋圖

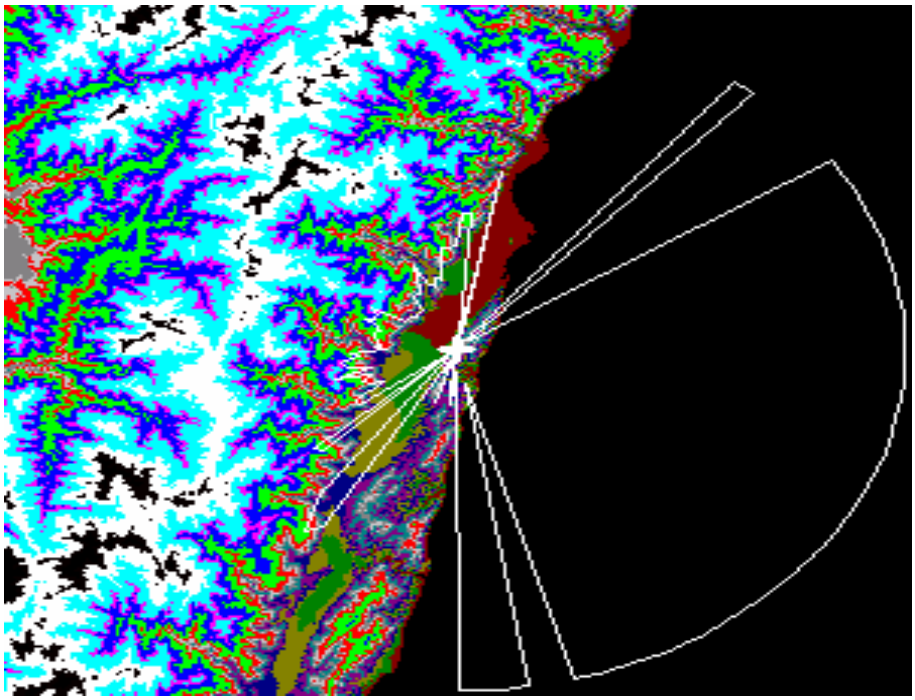
根據新竹苗栗地區固定式地面監測站之電波涵蓋模擬結果顯示，由於受丘陵地形限制，新竹縣監測站對於干擾信號接收強度受影響，而苗栗大埔監測站之效能尚佳；原則上可有效監控新竹市一帶至西部沿海之干擾源。

花蓮地區

花蓮地區現存有 2 個固定式地面監測站，包括吉安與月眉山。



花蓮縣**吉安**監測站電波涵蓋圖

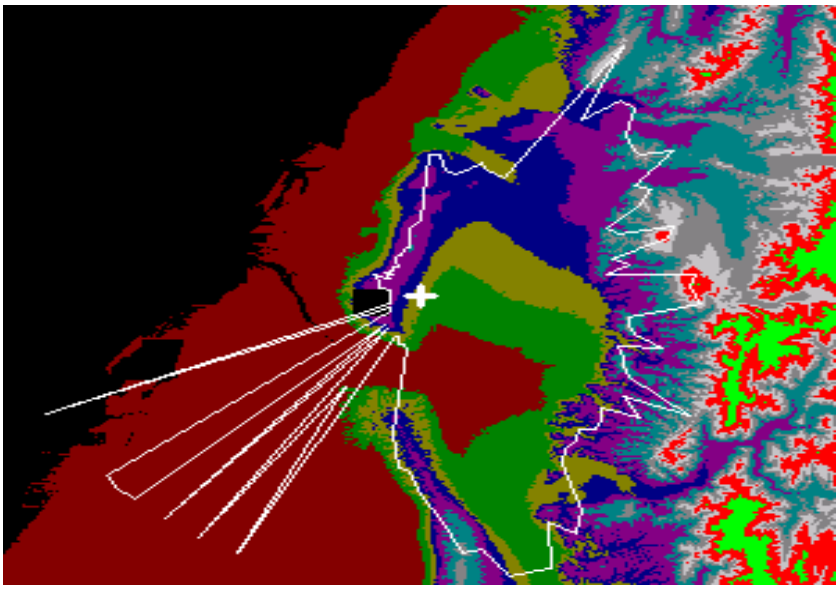


花蓮縣**月眉山**監測站電波涵蓋圖

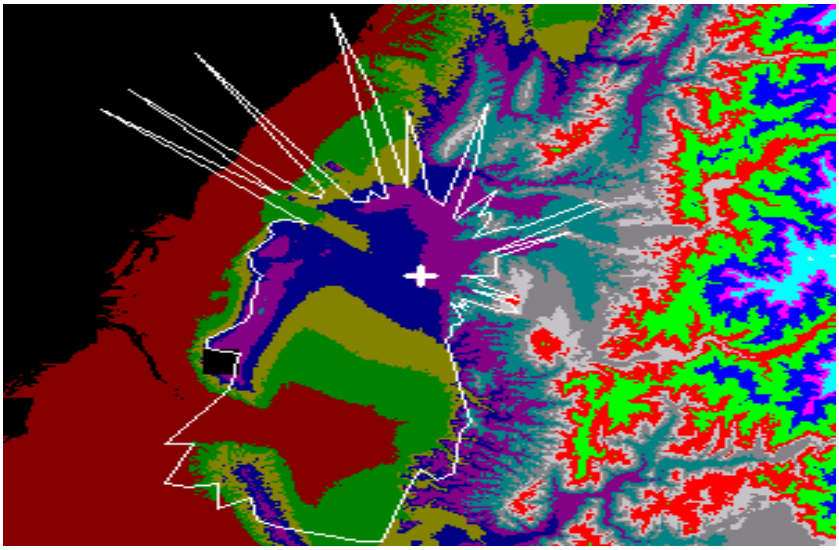
根據花蓮地區固定式地面監測站之電波涵蓋模擬結果顯示，主要的有效監控區域以陸地沿東部外海為主，由於花蓮地區平地較為狹長，現有監測站受中央山脈遮蔽對於來自山區的干擾源監控效能較差，但對於來自平地之干擾源監控效能足夠。

台中彰化地區

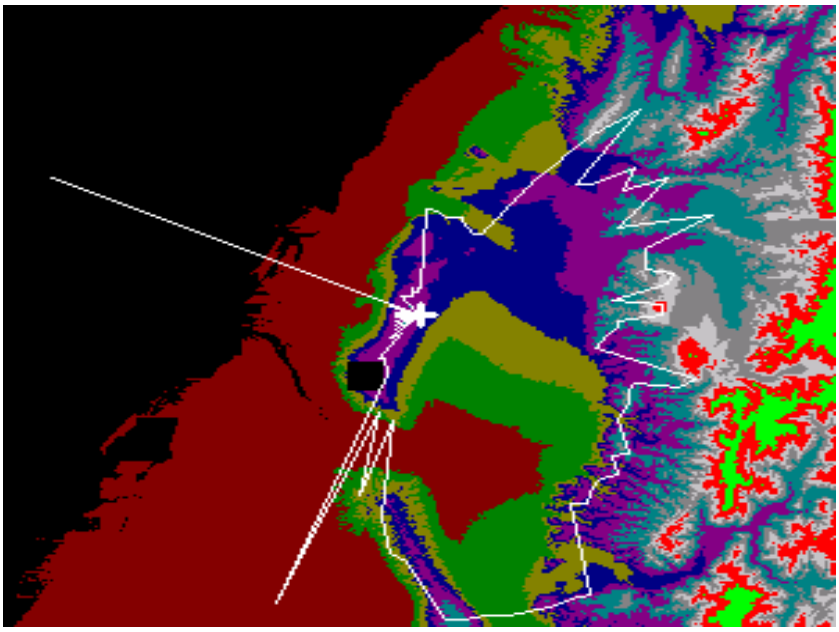
台中彰化地區之 4 座固定式地面監測站包括東海、豐原、大肚山、與溪湖。



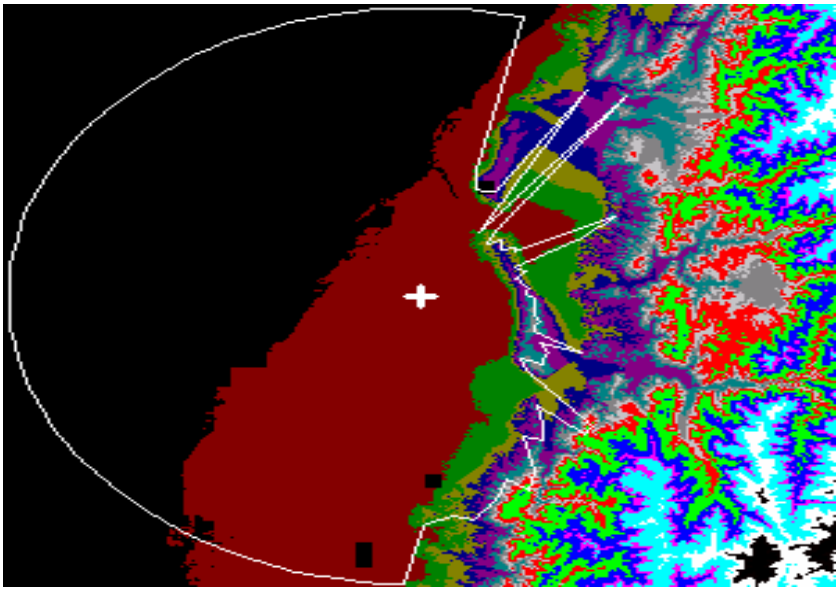
台中市**東海**監測站電波涵蓋圖



台中縣**豐原**監測站電波涵蓋圖



台中縣**大肚山**監測站電波涵蓋圖

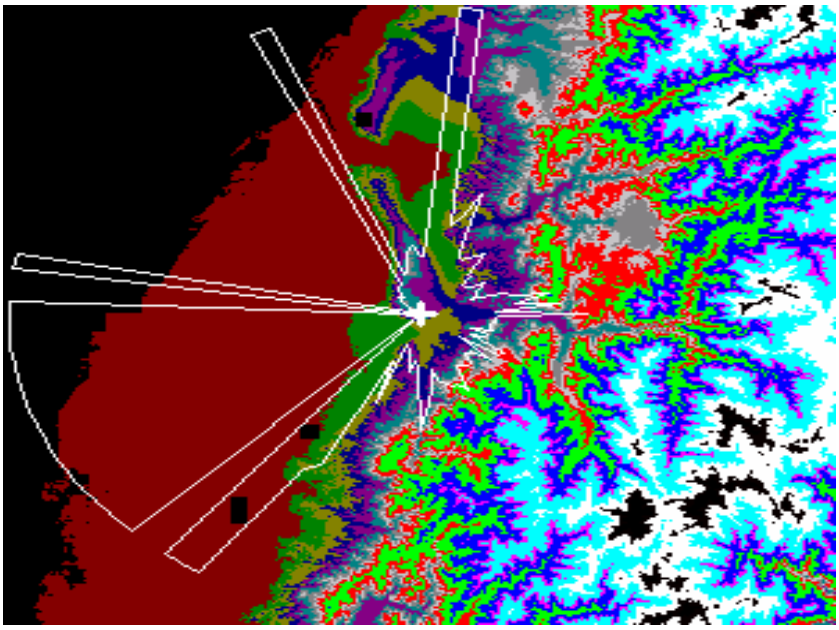


彰化縣**溪湖**監測站電波涵蓋圖

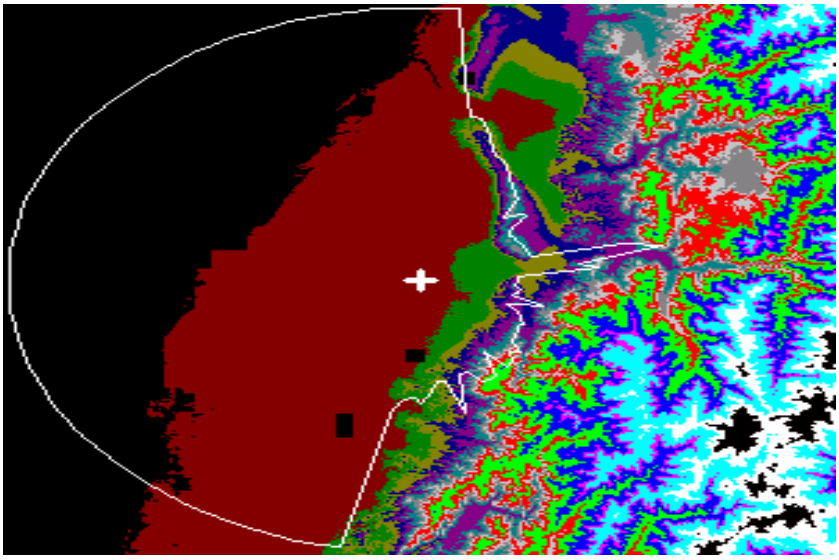
根據台中彰化地區固定式地面監測站之電波涵蓋模擬結果顯示，各監測站均能夠有效監控包括台中盆地與西部沿海一帶之平原地區，加上台中彰化地區之監測站數目多達 4 個，整體而言對於該地區的干擾源監控有不錯的效能，唯獨大肚山監測站受地形影響導致無法有效輔助西部沿海一帶的監控工作，建議該監測站能夠適當調整架設位置與高度，理論上能夠使得台中彰化地區之固定式干擾源監控與定位工作更佳完善。

嘉南平原地區

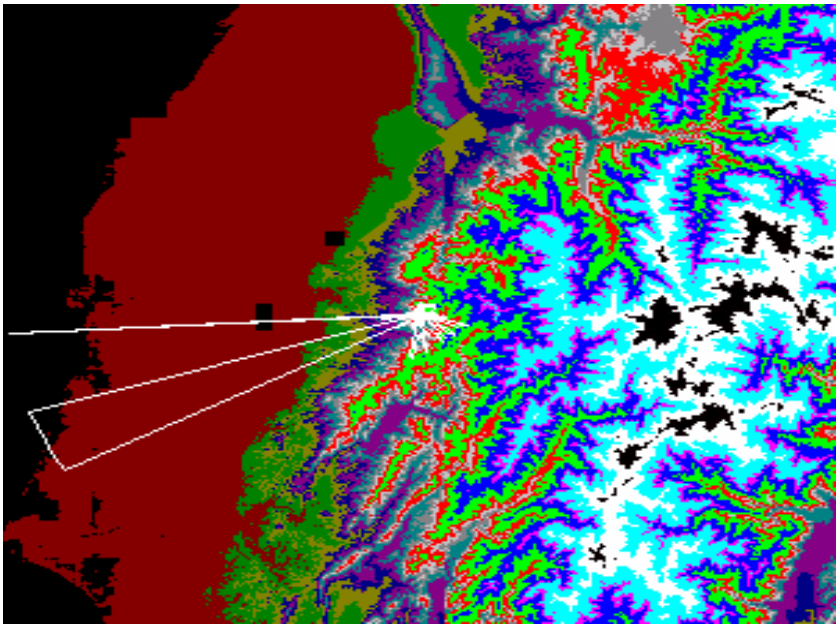
嘉南平原地區之 4 座固定式地面監測站包括鳳鳴、蘇桐、尖凍山、與嘉民。



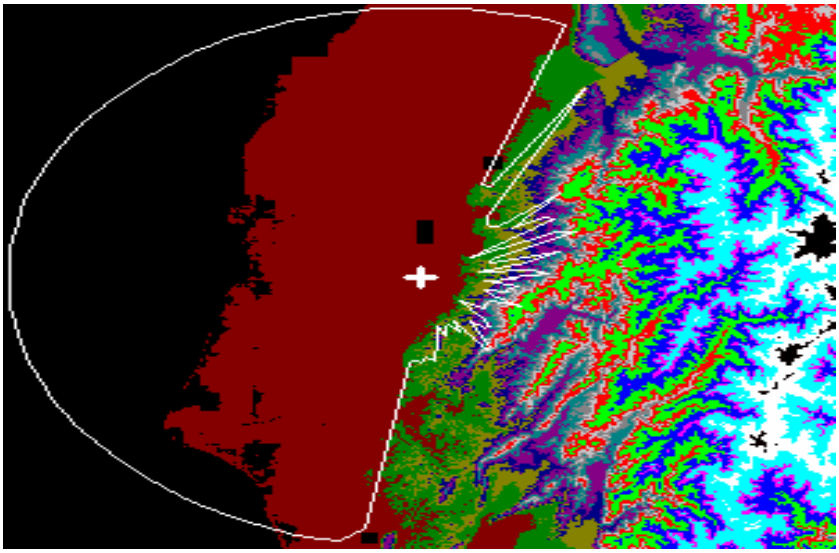
南投縣**鳳鳴**監測站電波涵蓋圖



雲林縣**蘇桐**監測站電波涵蓋圖



嘉義縣**尖凍山**監測站電波涵蓋圖

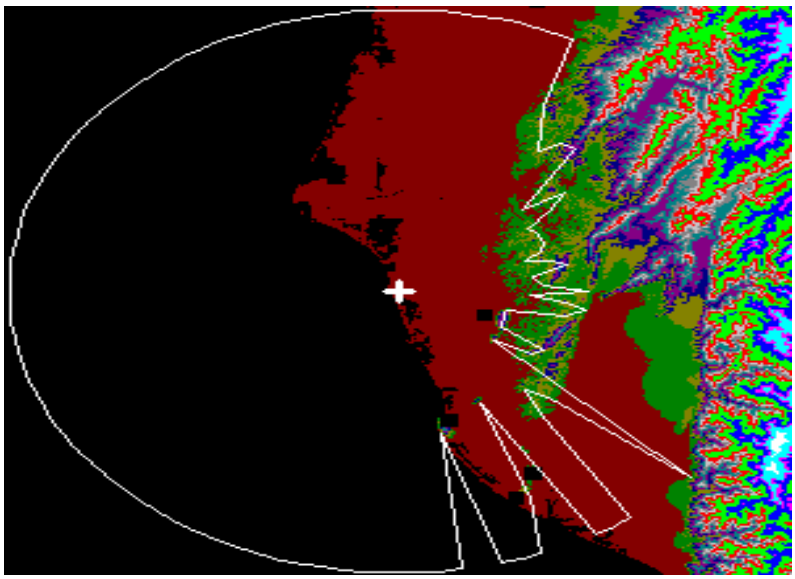


台南縣**嘉民**監測站電波涵蓋圖

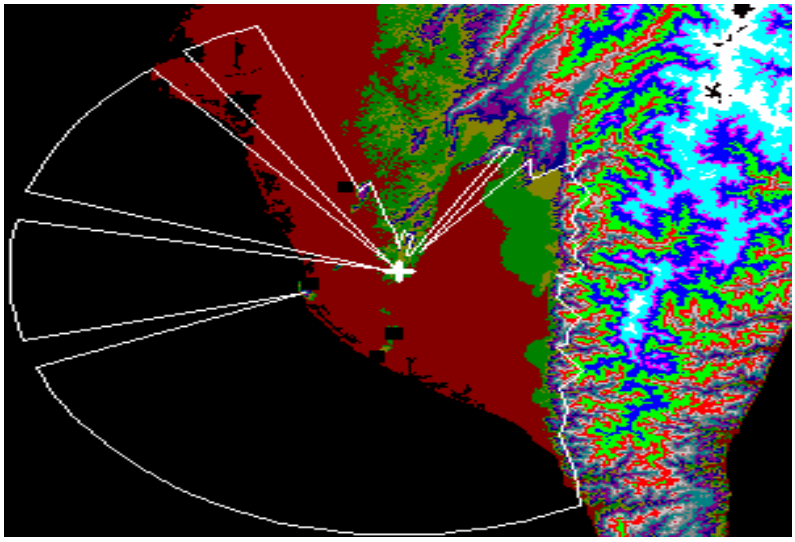
根據嘉南地區固定式地面監測站之電波涵蓋模擬結果顯示，除了尖凍山地面監測站受山區地形影響外，其餘各監測站均能夠有效監控嘉南平原中央至西部沿海一帶之平原地區，整體而言有效之監測站數目多達 3 個，對於該地區的干擾源監控有不錯的效能。

高雄地區

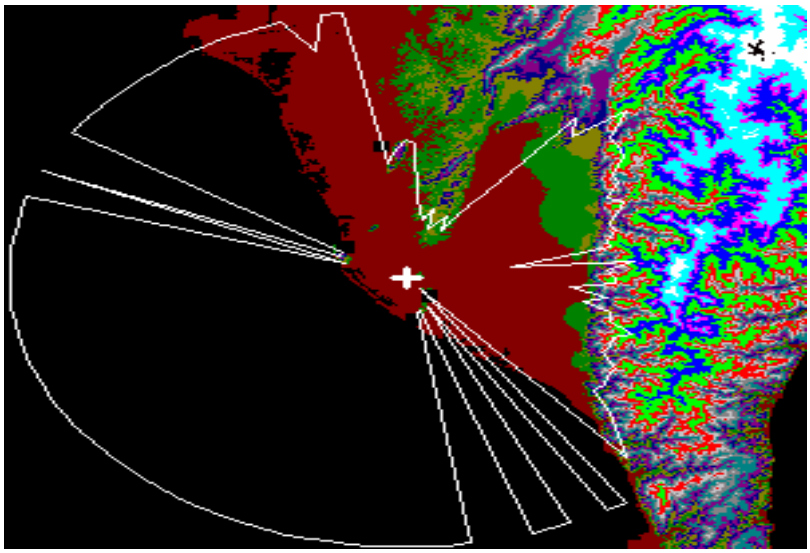
高雄地區共有 3 座固定式地面監測站，包括茄萣、東照山、與七爺。



高雄縣**茄萣**監測站電波涵蓋圖



高雄縣**東照山**監測站電波涵蓋圖

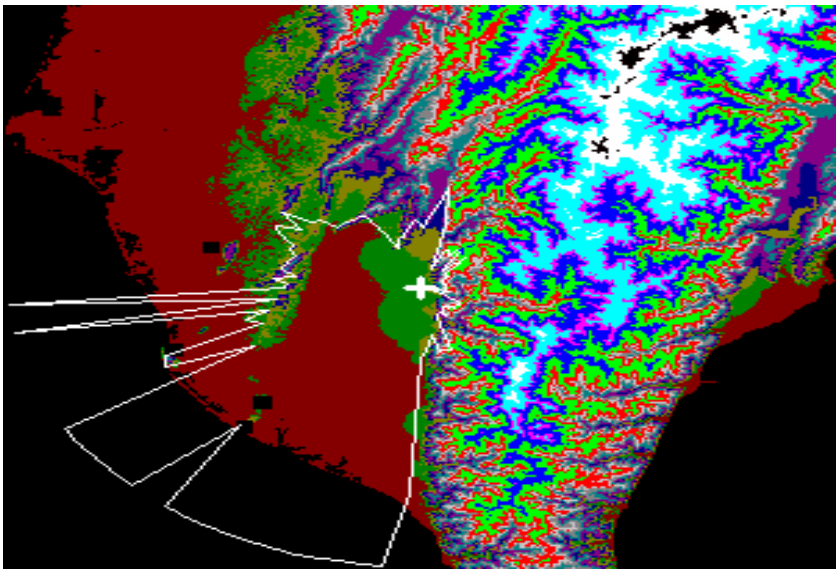


高雄縣**七爺**監測站電波涵蓋圖

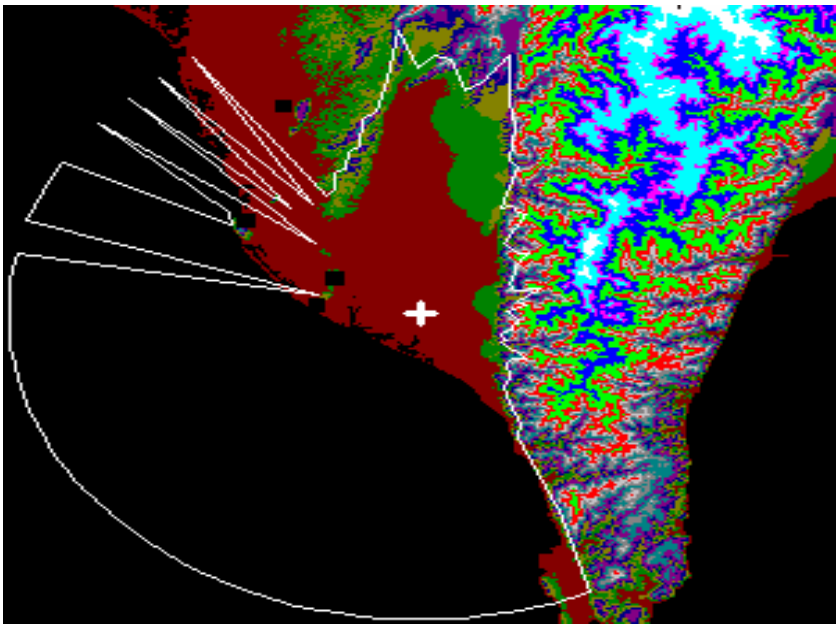
根據高雄地區固定式地面監測站之電波涵蓋模擬結果顯示，同樣基於平原地形之優勢，各監測站均能夠有效監控高雄縣市一帶之干擾訊號，雖然這 3 座監測站對於高雄九如一帶之監控效能較差，然而若與後續所述之屏東地區監測站合作，將能夠有效監控高雄九如一帶之干擾訊號；整體而言高雄地區有效之監測站數目將多達 3 個以上，對於該地區的干擾源監控有不錯的效能；

屏東地區

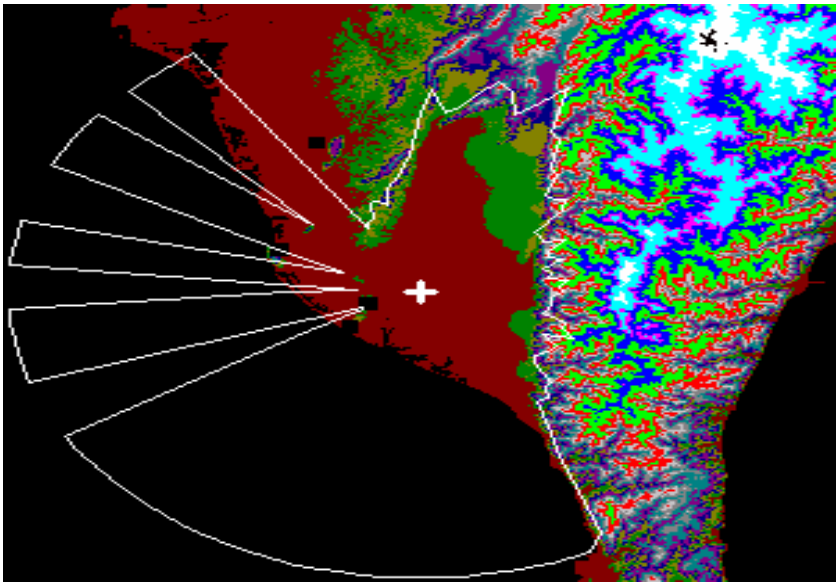
屏東地區共有 4 座固定式地面監測站，包括泰山、南州、後村、與笠頂山。



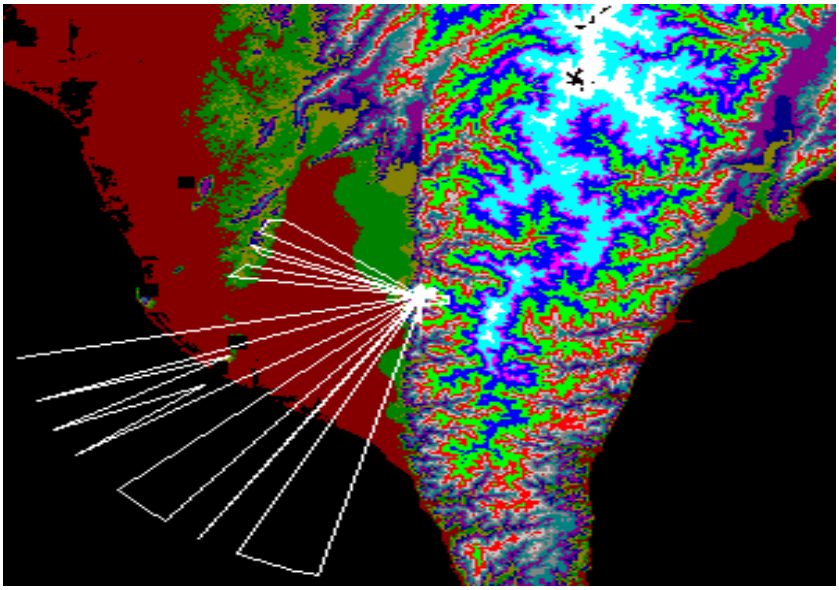
屏東縣**泰山**監測站電波涵蓋圖



屏東縣**南州**監測站電波涵蓋圖



屏東縣**後村**監測站電波涵蓋圖

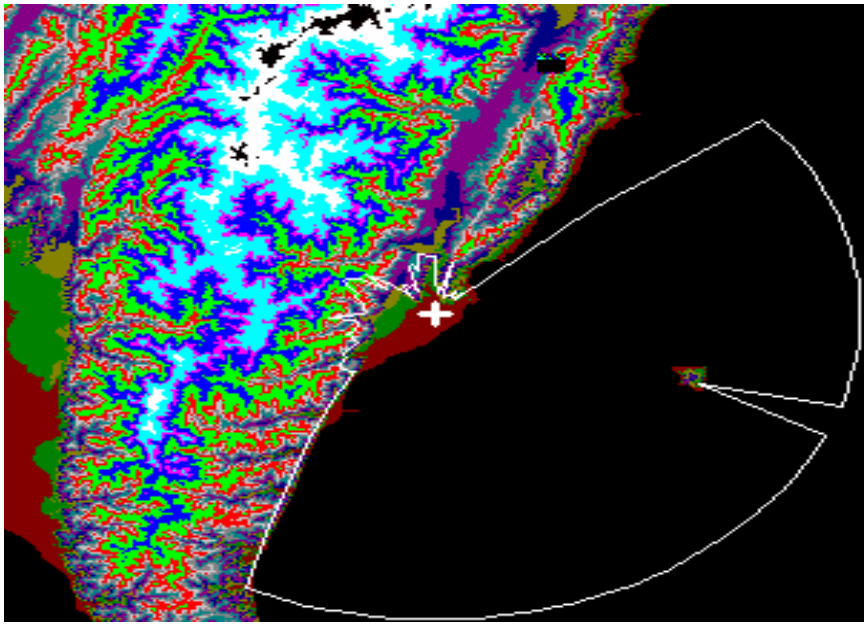


屏東縣**笠頂山**監測站電波涵蓋圖

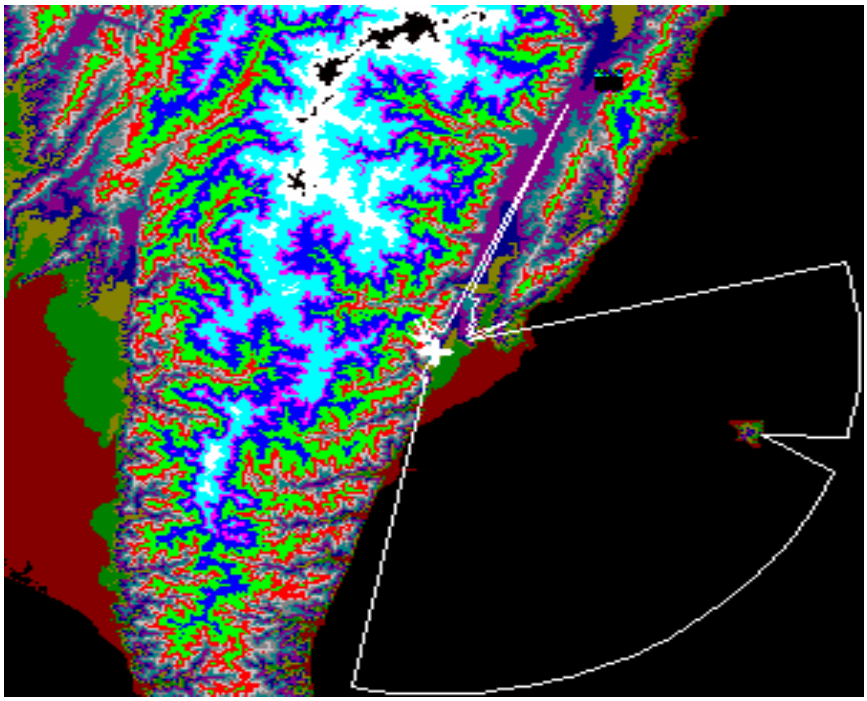
根據屏東地區固定式地面監測站之電波涵蓋模擬結果顯示，除了笠頂山地面監測站受山區地形影響外，基於平原地形之優勢，其餘各監測站均能夠有效監控高屏一帶之干擾訊號，但由於台灣南端並無其他的監測站，因此對於台灣本島南端的干擾源監控效能較差。整體而言屏東地區有效之監測站數目將多達 3 個，對於該地區的干擾源監控有不錯的效能；

台東地區

台東地區共有 2 座固定式地面監測站，包括馬蘭與利嘉山。



台東縣馬蘭監測站電波涵蓋圖



台東縣利嘉山監測站電波涵蓋圖

根據台東地區固定式地面監測站之電波涵蓋模擬結果顯示，基於台東地區的狹長平地，現有監測站僅能監控來自花東縱谷與台東縣境內之小範圍地區，對於中央山脈之監控效能不佳；由於監測站數目不足，對於進行干擾源定位的監控能力也受到影響。

參考文獻

[1] W. W. Smith and P. G. Steffes, "Time delay techniques for satellite interference location system," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, AES-25, No. 2, pp. 224-231, Mar. 1989.

[2] K. C. Ho and Y. T. Chan, "Solution and performance analysis of geolocation by TDOA," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol. 29, No. 4, Oct. 1993.

[3] W. A. Gardner and Chih-Kang Chen, "Signal selective time difference of arrival estimation for passive location of man made signal source in highly corruptive environments, part I: theory and method," *IEEE Transaction on Signal Processing*, vol. 40, no 5, pp. 1168-1184, May 1992.

[4] Chih-Kang Chen and W. A. Gardner, "Signal selective time difference of arrival estimation for passive location of man made signal source in highly corruptive environments, part II: algorithms and performance," *IEEE Transaction on Signal Processing*, vol. 40, No. 5, pp.1185-1197, May 1992.

[5] C. H. Knapp and G. C. Carter, "The generalized correlation method for estimation of time delay," *IEEE Transaction on Acoustic, Speech and Signal Processing*, vol. ASSP-24, No. 4, pp. 320-327, August 1976.

[6] R. Bardelli, D. Haworth and N. Smith, "Interference localization for the EUTELSAT satellite system," *IEEE Globecom'95*, 13-17 November 1995.

[7] C. Griffin and S. Duck, "Interferometric radio-frequency emitter location," *IEE Proc.-Radar Sonar Navig.*, vol. 149, No. 3, pp.153-160, June 2002.

[8] P. C. Chestnut, "Emitter location accuracy using TDOA and differential Doppler," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-18, No. 2, pp.214-218, Mar. 1982.

[9] J. M. Gipson, J. E. Effland and G. Rosell, "A transmitter location system for the INTELSAT satellite system," *9th International Conference on Digital Satellite Communication*, Copenhagen, 1992.

[10] D. P. Haworth, S. Boyer, C. W. Martin, "Position location for access policing of satellite systems for mobile communications," *5th International Conference on Satellite Systems for Mobile Communications and Navigation*, pp.199-202, 13-15 May 1996.

[11] J. C. Webber, C. A. Knight, "Method and system for locating an unknown transmitter using calibrated oscillator phases," U.S. Patent 5 594 452, Jan. 14, 1997.

[12] R. M. Rideout, P. R. Edmonds, S. R. Duck, D. P. Haworth and C. Griffin, "Method and apparatus for locating the source of unknown signal," U.S. Patent 2003 0117319A1, Jun. 26, 2003.

[13] R. Rideout, "DERA transmitter location service(TLS)," *IEE Military Satellite Communication Symposium*, 06 Jun., 2000.

[14] G. P. Yost and S. Panchapakesan, "Comments on circular vs. elliptical errors in automatic location identification," *48th IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 673-678, 18-21 May 1998.

[15] S. Stein, "Algorithms for ambiguity function processing," *IEEE Transaction On Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-29, No. 3, pp. 588-599, Jun. 1981.

[16] Y. Matsumoto, M. Tanaka, H. Okazawa and T. Takahashi, "Satellite interference location system using on-board multibeam antenna," *Electronics and Communications in Japan*, Part I, vol. 80, No. 11, pp. 22-33, 1997.

[17] W. W. Smith, P. G. Steffes, "A satellite interference location system using differential time and phase measurement techniques," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 6, pp. 3-7, Mar. 1991.

[18] Tong xinhai, Wang huali, Gan zbongmin, "Satellite interference location based on RBF neural network method," *Signal Processing Proceeding*, vol. 1, pp.445-449, Aug. 2000.

[19] D. P. Haworth, N. G. Smith, R. Bardelli, T. Clement, "Interference localization for EUTELSAT satellite - the first European transmitter location system," *Int. J. Satell. Commun.*, 15 ,pp.155-183 September 1997.