

出國報告（出國類別：考察）

## 考察「無線電波監測業務發展及現況」

服務機關：國家通訊傳播委員會

姓名職稱：曾文方科長

派赴國家：德國、法國

出國期間：99年10月14日至99年10月23日止

報告日期：100年1月3日

## 出國報告摘要

出國日期: 99 年 10 月 14 日至 99 年 10 月 23 日止

出國地點：德國、法國

內容摘要：

為汲取國際上無線電波監測技術與應用經驗，筆者於 99 年 10 月 14 日至 23 日期間，奉派赴德國及法國考察「無線電波監測業務之發展及現況」。此次考察主要係參訪電波監測設備製造商 Rohde & Schwarz（以下簡稱 R&S）及 Integral Systems Europe（以下簡稱 ISE），以了解電波監測最新作法及相關技術發展趨勢；並參訪德國聯邦網路機構 BNetzA (Bundesnetagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen)所屬之慕尼黑電波監測站，除了解德國目前監測站配置、使用之相關監測設備，並與監測站工程師就平時工作中所遇到的問題進行交流，以作為執行電波監測業務及規劃新世代電波監測系統之參考。

關鍵詞：電波監測、測向、定向、頻譜管理、干擾處理

# 目 錄

壹、考察目的.....	3
貳、 參訪行程.....	4
參、 德國電波監測業務簡介.....	6
一、 德國電波監測站之分布現況.....	6
二、 慕尼黑監測站人力配置.....	6
三、 慕尼黑監測站工作概況.....	7
四、 監測設備.....	9
肆、 R&S 參訪重點簡介.....	13
一、 電波監測新挑戰.....	13
二、 建置新一代電波監測系統之考量因素.....	14
三、 監測系統中接收機之選擇.....	19
四、 監測系統中測向機之選擇.....	22
伍、 ISE 參訪重點簡介.....	24
陸、 心得與建議.....	26

## 壹、 考察目的

為維持電波秩序，提升無線電通信品質，排除非法電波干擾，本會乃建置「全國無線電波監測網」，以執行臺灣地區頻率範圍為自 10 KHz 至 3GHz 無線電頻譜之監測任務，確實掌握電波使用狀況，適時處理電波干擾問題，並提升頻譜使用效率。然現有電波監測網自建置迄今已歷時十四年，相關系統設備逾使用年限，多數維修備用料已停產，系統維護不易，且監測功能亦無法滿足目前寬頻通訊傳播技術，實有必要進行系統之汰換及升級作業。為汲取國際上無線電波監測技術與應用經驗，筆者於 99 年 10 月 14 日至 23 日期間，奉派赴德國及法國考察「無線電波監測業務之發展及現況」。

此次考察主要係參訪電波監測設備製造商 Rohde & Schwarz(以下簡稱 R&S) 及 Integral Systems Europe (以下簡稱 ISE)，期能藉此了解之電波監測最新作法及相關技術發展趨勢；並與德國聯邦網路機構 BNetzA (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen)所屬之慕尼黑電波監測站工程師就平時工作中所遇到的問題進行交流，以作為執行電波監測業務及規劃新世代電波監測系統之參考。

## 貳、 參訪行程

日期	行程/參訪單位
10/14	搭乘華航班機由桃園機場前往德國慕尼黑（途中經由德國法蘭克福轉機）
10/15	參訪 R&S 公司 討論重點： 1. R&S 公司簡介 2. R&S 公司之頻譜監測軟體 ARGUS 簡介 3. ITU 頻譜監測手冊（edition 2010）重要內容
10/18	上午參訪德國慕尼黑監測站 討論重點： 1. BNetzA 組織架構 2. BNetzA 工作職掌 3. 採用之電波監測系統及設備 4. 干擾處理經驗分享
	下午參訪 Rohde & Schwarz 公司 討論重點： 1. 電波監測系統涵蓋率分析 2. 監測站接收機重要功能參數 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 靈敏度</li> </ul>
10/19	參訪 R & S 公司 1. R&S 測向（direction finding, DF）設備介紹 2. 最新 DF 技術

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 到達時間差定位法 (Time Difference of Arrival, 以下簡稱 TDoA)</li> <li>● 超解析度 (Super resolution)</li> </ul> <p>3. 測向機重要功能參數</p>
10/20	德國慕尼黑 → 法國土魯斯 (Toulouse)
10/21	<p>參訪 ISE 公司</p> <p>討論重點：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ISE 公司簡介</li> <li>2. 雙星定位技術</li> <li>3. ISE 頻譜管理及監測系統 (GeoMon) 簡介</li> </ol>
10/22	由法國土魯斯經德國法蘭克福返台

## 參、 德國電波監測業務簡介

### 一、 德國電波監測站之分布現況

德國的無線電管理及監測工作係由聯邦網路機構 BNetzA 負責，德國境內共有 7 個地區電波監測站，7 個地區監測站均具有 HF/VHF/UHF、衛星頻段的固定監測/定向與行動監測/定向功能，共有雇員約 150 人，其中 60%為工程師。除了本次參訪的慕尼黑監測站外，其他六個站分別位於 Krefeld、Konstanz、Berlin、Munich、Darmstadt 及 Leipzig，德國全國電波監測網除了 7 個地區監測站外，全國還有約 90 個遠端遙控監測站及 32 輛監測車。7 個地區監測站的任何一個都可以透過 ISDN 或 DSL 網路，即時控制全國電波監測網中的所有設備以取得量測及測向結果。

### 二、 慕尼黑監測站人力配置

目前慕尼黑監測站共有 23 名員工，具體分工如下：

人員	人數	負責工作
站長	1	統籌負責監測站事務
協調員	3	負責與總部及其他部門聯絡
調度員	1	負責安排並指派站內技術工作
監測技術人員	12	負責轄區內的監測及干擾處理工作
系統維護人員	4	負責監測系統、軟體及資料庫的維護工作
其他人員	2	車輛維護及秘書工作

表 1 慕尼黑監測站人員分工

### 三、 慕尼黑監測站工作概況

作為一個地區監測站，慕尼黑監測站主要負責的工作可分為三方面：

#### (一) HF 頻段監測

慕尼黑監測站之 HF 頻段監測任務係由位於 Mainz 之技術總部統一安排，主要工作內容係依據 ITU 要求對 HF 頻段信號進行普查。在德國，每個 HF 監測站會負責較窄的一個頻段，每天進行 24 小時不間斷的監測，監測結果會以整個頻段的瀑布圖（橫軸：頻率，縱軸：時間）方式呈現，當瀑布圖上出現信號時，值班工程人員就必須對該信號進行量測，量測內容包括：信號出現的時間（日期、開始時間、結束時間）、頻率、頻寬、場強、特性（連續/不連續）、調變方式，並須透過測向網對其進行測向及定位，以判斷其所屬國家地區、訊號位置。由於德國面積較小，即使同時利用國內所有的 HF 電波監測站進行交測，對於距離很遠的訊號源定位結果誤差仍可能相當大，因此大多時候會需要透過歐洲其他國家的 HF 監測站協助定位。

#### (二) 了解頻譜佔用（occupancy）情形

當頻率指配申請者向地區辦公室申請增配頻道，或是 BNetzA 要規劃新的頻率使用時，為了解頻譜使用現況，監測站會對於特定頻段進行 24 小時的頻譜佔用情形量測。

#### (三) 維持電波秩序

處理無線電干擾，協助查測非法電臺位置，以確保無線電波使用秩序係慕尼黑監測站最重要也是份量最重的一項工作，表 2 為德國在 2008 年內所處理的干擾案件數目。



電臺/業務類別	干擾案件數目
無線廣播、電視	2775
免執照無線電器材、 電子設備	287
其他無線電臺	4202
公務部門	718
航空服務	925
商用網路	636
業餘無線電	584
其他無線通信業務	1339

表 2 德國監測於 2008 年間處理之電波干擾案件數量

值得一提的是，雖然干擾源為電子設備的干擾案件數目在 2008 年僅有 287 件，隨著各種免執照的無線電器材種類及數量日益增加，電子設備所產生的干擾案件有逐年增加的趨勢，且由於電子設備大多位於建築物內，而且發射功率很小，也增加了干擾處理的困難度與所需時間。

此外，飛航干擾處理對於慕尼黑監測站的工程師而言也是較為棘手的問題，主要係因由於空中範圍遼闊，在天空中能收到的信號在地面上不一定收得到，舉例來說，在一個山谷中發射的無線電訊號，在山谷外很難偵測到，在天空中就很容易收得到，且飛機在天空中飛行幾秒鐘，對應到地面就可能覆蓋幾百平方公里的面積範圍。透過地面監測站或監測車監測，並不容易偵測干擾情況，為此，慕尼黑監測站除了在慕尼黑機場附近設有接收飛行器與塔台間雷達應答訊號之接

收機，藉此可以掌握所有飛行器在任何時間之確切位置及高度。此外，慕尼黑監測站也評估將頻譜監測設備放在無人飛行載具(Unmanned Aeronautical vehicle, UAV)中，期能有效解決飛航干擾問題。



圖 1 飛行器在慕尼黑機場之確切位置顯示圖

## 四、 監測設備

### (一) 監測系統

慕尼黑監測站共有兩套監測系統：

- OPAL 系統：負責 LF/MF/HF 頻段的監測與定向任務，透過 DSL 網路可遠端遙

控並同時接收各個德國境內 LF/MF/HF 監測站的即時監測及測向結果。

- Fumos 系統：負責 V/UHF 頻段的監測與定向任務，其中可監測頻率範圍為 10 KHz~3 GHz，定向頻率範圍為 20 MHz~3 GHz，透過 DSL 或 ISDN 網路可遠端遙控 90 個德國境內 V/U/SHF 監測站的即時監測及測向結果。

## (二) 監測車

慕尼黑監測站共有 4 輛監測車，其中 2 輛負責偵測 20 MHz~3 GHz 頻段的干擾源位置（圖 2(a)、2(b)），天線最高可以升高至 10 公尺；1 輛專門負責偵測 100 KHz~3GHz 頻段範圍內之非法電臺（圖 3(a)、3(b)），另外還有一輛工作頻段為 1 GHz~40 GHz 之微波頻段監測車（圖 4），車頂上並安裝可旋轉天線，可進行微波鏈路及衛星頻段之偵測。



圖 2(a) 行動監測車



圖 2(b) 行動監測車（頻段：20-30 MHz）



圖 3(a) 負責取締非法電臺之監測車



圖 3(b) 負責取締非法電臺之監測車



圖 4 負責微波頻段之監測車

## 肆、 R&S 參訪重點簡介

### 一、 電波監測新挑戰

各類無線通訊傳播新技術的蓬勃發展除了帶給大眾諸多便利的同時，也使的電波環境日益複雜。在複雜的電波環境中，既有的電波監測系統地遇上了下列瓶頸：

#### (一) 對於突發短信號的監測與定向

目前的電波監測系統對於長時間持續發射信號的掌握已不是太大的問題，但是突發性的、跳頻等短時間發射信號越來越多，如何快速掌握這些訊號，就有賴具有快速掃描和寬頻接收能力的監測接收機。

#### (二) 對於數位調變信號的掌握

傳統的電波監測系統僅可處理包括調頻(FM)、調幅(AM)等類比調變訊號，隨著無線通訊新技術的數位化與寬頻化之發展趨勢，包括分時多工接取 (Time Division Multiple Access, TDMA)、分碼多工接取 (Code Division Multiple Access, CDMA)及垂直分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)等無線調變技術不斷推陳出新，如何在快速截取該信號後，還能迅速識別這些信號？一切都有賴接收信號後的強大數位訊號處理 (Digital Signal Processing, DSP) 以提昇信號識別的能力。

#### (三) 對於微弱信號的監測與定向

隨著各種免執照的無線電器材種類及數量日益增加，電子設備所產生的干擾

案件有逐年增加的趨勢，且由於電子設備大多位於建築物內，而且發射功率很小，以超寬頻（Ultra Wide Band, UWB）為例，其發射功率頻譜就像噪音一樣，要如何偵測這類型態的弱信號，便有賴高靈敏度的接收機。

#### （四） 定向技術的瓶頸

傳統的定向系統係使用信號到達角度（Angle of Arrival, AOA）技術，主要係由特定架構排列的兩個以上相同天線接收信號的相位差，來獲得目標信號的方向角度。但傳統 AoA 技術對於寬頻訊號、多發射源（multiple sources）及多路徑傳播有下列問題：

- 對於寬頻訊號的測向誤差大
- 無法執行同時發射的多個同頻發射源之測向任務
- 多重路徑（multipath）的傳播環境中，會產生嚴重的測向誤差：在實際情況下，監測站台與偵測目標之間的除了直射路徑（Line of Sight, LOS）之外，電波還會透過反射和散射後到達接收端，此時測量到的數據，如到達時間、時間差、入射角度等，將不能正確反映發送端與接受端的真實距離，這種現象被稱為多重路徑衰落（multipath fading）。多重路徑衰落會造成定位演算法性能的顯著下降，並造成測向角誤差。因此，如何降低多重路徑傳播的影響是提升定位準確度的關鍵。

## 二、 建置新一代電波監測系統之考量因素

面臨前述的電波監測新挑戰，我們在規劃與建置新一代的電波監測系統時，應考量下列因素：

## (一) 階層式的監測網路架構

一個電波監測網一般應建設 1 個全國管理中心，若干個區域管理中心，數個固定監測/測向站（大多為無人員值班的遠端遙控站）、數個行動監測/測向車及數個攜帶式監測/測向站（如圖 5）。其中建設各類監測站臺之考量因素：

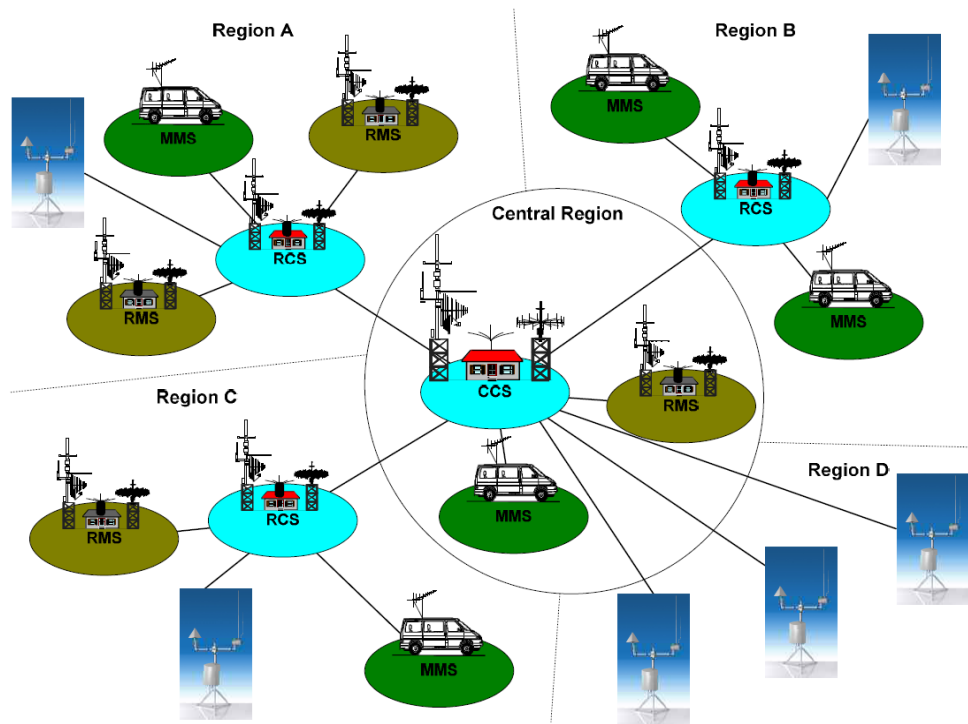


圖 5 階層式監測網路架構<sup>1</sup>

### 1. 固定監測/測向站

在規劃監測系統時，監測站的位置應慎重考慮，為了電波涵蓋區域的考量，通常會選擇在離城市較遠的區域、多個城市之間的制高點（如高山）設置固定監測站，這樣可以達到較大的電波涵蓋區域，減少監測站的數量，降低建設成本，

---

<sup>1</sup> 圖片來源:R&S 公司簡報資料



並降低城市發展對於監測站周圍電波環境的影響。

## 2. 行動監測/測向車

對於 V/UHF 頻段，受到經費上的限制無法建設過多的固定監測/測向站，來覆蓋無線電臺設置較少的區域，因此需要適度地搭配行動監測車設備，以解決固定式監測/測向站涵蓋不到的問題。且行動監測/測向車機動性強，特別是在處理突發事件或查測干擾源位置時，可以迅速接近目標。

行動監測車的選擇可以從機動性和功能性兩個方面考量，每家電波監測系統製造商在行動監測車方面，也都提供了不同類型的車體以應付不同的監測需求。一輛行動監測車的機動性除了受到車輛本身機動性影響外，也受到設備的重量及耗電所影響。如果整個監測系統重量輕、體積小、耗電省，則可以選擇高底盤、四輪驅動、越野性能強的 RV 或 SUV 車；反之，功能性較強的電波監測/定向車最好用載重性能較佳的卡車改裝機動性強的移動監測車。

## 3. 攜帶式

主要係用於固定站涵蓋不到、行動監測車也無法到達的地點執行監測/測向。

### (二) 高性能的監測/測向機

可主動、迅速地發現訊號，並可利用高解析度及高準確度的測向技術，識別出同頻訊號與微弱訊號。國際電信聯合會（International Telecommunications Union，以下簡稱 ITU）即將於 2010 年出版的頻譜監測手冊中，針對新的測向技術提供了以下的建議：

## 1. 高解析度測向技術

新的測向技術可充分利用天線陣列中每個天線所接收到的空間與時間的訊息，並結合現代數位訊號處理 (Digital Signal Processing, DSP) 與陣列訊號處理技術，和傳統的測向技術相比，具有下列特點：

- 可分辨多路徑訊號，減少傳統非視距傳播造成定位演算法性能的顯著下降，並造成嚴重測向誤差的影響。
- 可實現對同頻且同時發射的多個信號源的即時測向。
- 可實現短時間發射訊號（如突發信號、跳頻信號）的測向。

## 2. 到達時間差定位技術 (Time Difference of Arrival, 以下簡稱 TDoA)

目前最常用的定位技術主要有：AoA 技術、到達時間定位 (Time of Arrival, 以下簡稱 ToA) 和到達時間差定位 (Time Difference of Arrival, 以下簡稱 TDoA) 等。其中，TDOA 技術是目前最為流行的一種方案，除了用於 GSM 系統，在其他諸如 AMPS 和 CDMA 系統中也廣泛應用，UWB 定位採用的也是這種技術。

時間差定位法又稱為雙曲線定位法，它是測量同一發射源的信號到達三個或更多個已知位置觀測站的時間差，由這些時間差可以繪製兩組或多組可能之發射源位置的雙曲線，其交點就是發射源的座標位置。(如圖 6、7)

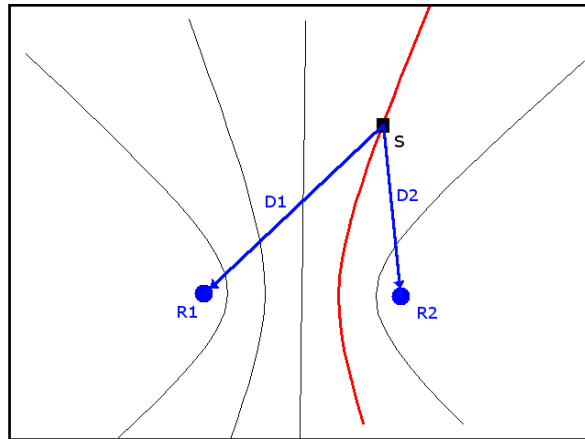


圖 6 接收時間差(Time Difference)示意圖<sup>1</sup>

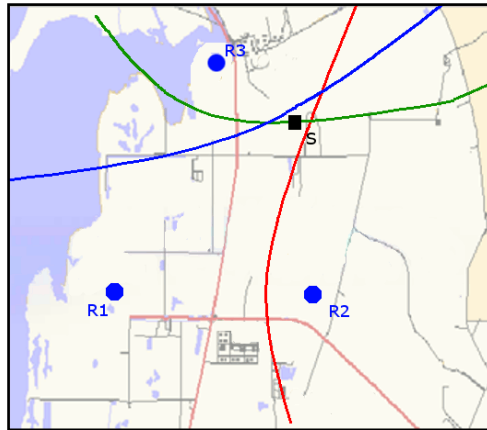


圖 7 TDoA 測向示意圖<sup>2</sup>

傳統的 AoA 測向技術較適合處理窄頻信號，而且當接收信號的強度太低時，也會造成測向誤差，隨著寬頻、低功率密度的無線電傳輸技術日益增加，如 CDMA、UWB 等技術，傳統的 AoA 測向技術已無法有效對其測向定位，但由於 TDOA 係採用信號相關性 (correlation) 的方法，特別適合寬頻信號之測向應用。由於 AoA 與 TDoA 技術各有其優缺點，及適合應用的範疇，因此在 ITU 即將出版的 2010

<sup>1</sup> 圖片來源：ITU 頻譜監測手冊

<sup>2</sup> 圖片來源：ITU 頻譜監測手冊

版頻譜監測手冊中，就建議未來測向設備可同時使用 AoA/TDoA 技術（如圖 8），以提高整體測向靈敏度與準確度。

採用 TDoA 測向技術應用時，對於系統的組成要求很簡單，首先天線系統可以採用普通的監測天線，其次，安裝環境要求也較低，接收設備可以採用既有監測站內的接收機即可，也可以增加站點，只需增加同步設備和相關運算處理軟體即可。

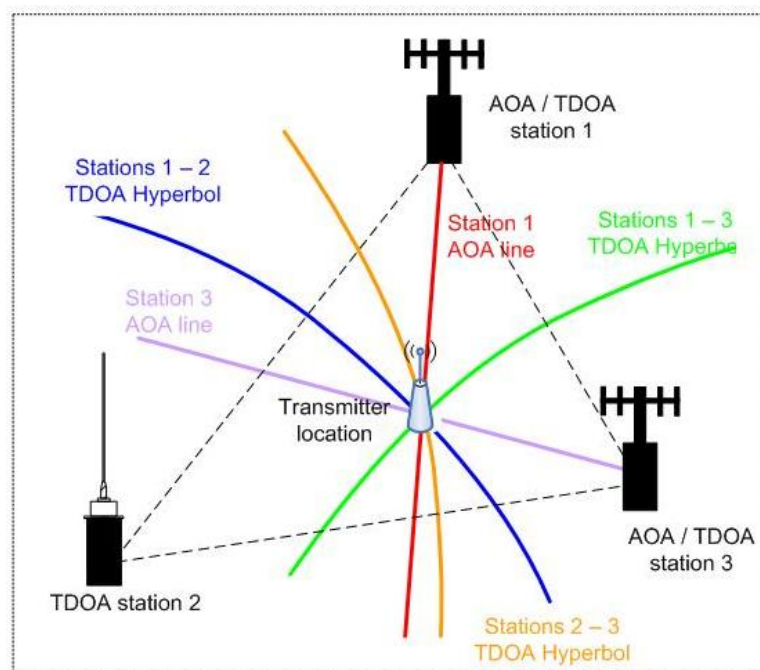


圖 8 同時採用 AoA/TDoA 測向技術之監測網<sup>1</sup>

### 三、 監測系統中接收機之選擇

無線電監測系統係由天線、接收機、測向機及軟體基本單元等組合而成，其中接收機是監測系統的核心，系統的性能主要是由接收機決定。

<sup>1</sup>圖片來源: ITU 頻譜監測手冊

### (一) 雜訊指數(Noise Figure)

雜訊指數通常用來衡量一個系統內部雜訊的指標，在選擇接收機時，雜訊指數越小越好。一個雙埠網路的雜訊因數  $F$  與雜訊指數 NF 之定義如下：

$$F = \frac{\text{Signal - to - noise power at input}}{\text{Signal - to - noise power at output}} = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o}$$
$$NF = 10 \log F$$

其中  $S_i/N_i$  及  $S_o/N_o$  分別表示輸入端及輸出端的訊雜比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR)。經過電路而變化的比例，由於接收機內部雜訊的加入，會使的輸出端的 SNR 降低，所以接收機的 NF 一定會大於 0dB。

### (二) 靈敏度 (Sensitivity)

靈敏度係可說是接收機所有性能中最重要的一項，係指接收機所能接收微弱電波的能力，或是在特定訊雜比的要求下，接收機所需要最小輸入電壓值，因此使監測站的能夠監測到遠距離外小功率電波發射源，接收機應具備有較高的靈敏度。一般接收機靈敏度可以由下式得到

$$P_{sen} = -174dBm / Hz + 10 \log BW + NF$$

其中  $P_{sen}$  為靈敏度，NF 為雜訊指數， $-174dBm/Hz+10 \log BW$  係指在溫度 290K 時，頻帶內的雜訊功率。

### (三) 二階及三階截斷點

依據 ITU 頻譜監測手冊的建議，監測站應設在地面平坦、附近無障礙物、遠離大功率電臺之區域，但近年來由於城鄉硬體建設及通訊傳播科技的快速發展，符合 ITU 建議之適合建置監測站站址已越來越少，特別是在都市區域，具有良好

電波涵蓋的高樓大多已被行動通信業者用來建置基地臺，而城市周圍的高山區域也大多被廣播或電視電臺捷足先登，而在這種日益惡化的電波監測環境下，監測接收機的整體性能也會受到某種程度的影響，其中主要係來自於互調變訊號產生。

由於接收機係由寬頻接收機及天線等非線性設備組合而成，當輸入訊號的強度過大導致接收機進入非線性工作範圍時，將產生包括二階互調變訊號（2<sup>nd</sup> order Intermodulation Product, IP2）、三階互調變訊號（3<sup>rd</sup> order Intermodulation Product, IP3）在內之互調變訊號，進而嚴重影響頻譜監測及測向之準確性。（如圖 9）

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

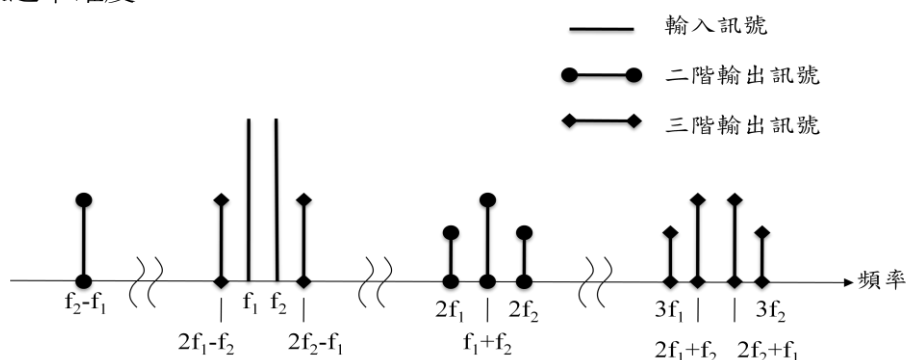


圖 9 交互調變頻譜示意圖

#### (四) 選擇性(Selectivity)

接收機的選擇性係用來衡量接收機抑制鄰近通道訊號的能力，在無線通訊的傳播環境中，除了接收機想要接收的頻道外，其他頻段的電波對於接收會造成一定程度的干擾，因此除去接收信號外的能力稱為選擇性，也就是對其他頻率的抑制能力。中頻濾波器對於臨近頻率的抑制程度係影響接收系統選擇性的一個重要因素。

### 四、 監測系統中測向機之選擇

#### (一) 測向靈敏度

基本上靈敏度越高，測向機的涵蓋範圍就越大，由於對於測向靈敏度並無一致性的測量方法，因此未來在訂定測向靈敏度規格時，亦須標明量測條件，（如在測向準確度在一定範圍的前提下，所須之最小訊號強度），此外由於測向準確度又與測向機的量測時間（或量測次數）有關，因此有些測向機廠商的靈敏度規格會特別指明係使用 1 秒內的平均量測結果。

#### (二) 測向準確度 (DF accuracy)

測向準確度為測向機最基本的要求，有高的測向準確度，才能準確的測知無線電波發射源的方位。測向準確度係指在一定的訊號強度下，測向機測出的方位角與測向目標方位角偏差量之統計值，通常以方均根（root mean-square, RMS）誤差 $\sigma_\phi$ 表示，目前一般商用定向系統的測向準確度為 1°至 3°之間。ITU-R 頻譜監測手冊並未規定 DF 準確度的測量程序。

### (三) DF 最小信號持續時間 (minimum signal duration)

測向處理時間為一個定向系統能夠成功測出一無線電發射源之測向線所需之時間，在以往類比通信的時代，因一般無線電通信、廣播及電視系統，大多以連續不間斷的方式傳送訊號，這項需求較顯得不重要。

隨著分時多工接取 (Time Division Multiple Access, TDMA)、跳頻 (frequency hopping)、脈衝傳輸 (burst transmission) 等數位通信技術的發展，未來的定向系統必須具備在很短的時間內計算出發射源來向的能力。以 GSM 系統為例，由於 GSM 係採用分頻分時多工接取 (FDMA/TDMA) 技術，簡單來說，每個載波 (carrier) 的頻寬為 200 KHz，每個載波又切割為多個長度為 4.615 毫秒 (ms) 的碼框 (TDMA frame)，而每個碼框係由 8 個時槽 (time slot) 組成，其中每個時槽可以用來傳送一個用戶的語音訊號，換言之每個時槽長度僅為 377 微秒 ( $\mu\text{s}$ ) 而已，換言之，若測向機的測向處理時間超過 377 $\mu\text{s}$ ，則有可能無法測出相關發射機之電波來向。因此。面對各類無線通信寬頻新技術的發展，對於測向處理時間的需求將會更為嚴苛。電波傳播由於受到車輛、人員移動等...環境的影響，會造成 DF 接收機除了收到直接波信號外，還收到多路徑波的干擾信號，這些干擾信號會造成測向機接收信號強度及向位的變化，進而使得每一次測向結果通常會在一定的範圍內擺動，如果能夠針對一段時間內多次量測結果加以處理分析，便可以有效降低這些因為多路徑波干擾所產生的量測誤差。

### (四) 對於多路徑傳播信號的排除能力

目前有關測向準確度的規格僅適用於空況無反射訊號的環境中，但在一般測向環境中，監測站台與偵測目標之間的除了直射路徑 (Line of Sight, LOS) 之外，電波還會透過反射和散射後到達接收端，此時測量到的數據，如到達時間、時間差、入射角度等，將不能正確反映發送端與接收端的真實距離，這種現象被稱



為多重路徑衰落（multipath fading）。多重路徑衰落會造成定位演算法性能的顯著下降，並造成測向角誤差。因此，業者採用何種訊號處理技術以降低多重路徑傳播的影響，是測向站或行動監測車定位準確度在實際使用環境中的關鍵。

#### （五） 測相機相關技術指標之量測標準

目前 ITU 對於定向系統相關之重要效能參數並無測試標準，以測向機靈敏度為例，由於在測向準確度在一定範圍的前提下，所須之最小訊號強度，有些測向機廠商的靈敏度規格會特別指明係多久時間內的平均量測結果，因此要如何公平比較各家廠商規格之優劣，是一個值得深思的問題。

## 伍、 ISE 參訪重點簡介

SAT 公司主要係製造衛星及陸地無線通訊的 RF 訊號監測系統公司，到目前為止該公司的監測系統已為約 50 個國家的衛星業者、地面無線通信業者及政府相關頻譜管理機構所採用。

採用雙星定位技術，雙星定位技術主要係利用當衛星地面站將天線的主波瓣（main lobe）朝向天空中衛星轉頻器（primary satellite）發射時，天線的旁波瓣（side lobe）所發射的訊號有可能被鄰近的其他使用相同頻段的衛星轉頻器接收（如圖 10）。

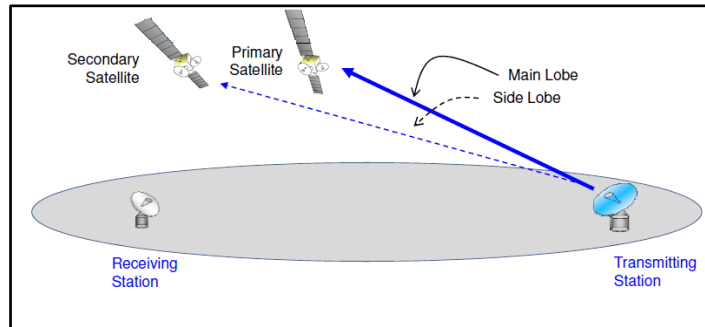


圖 10 衛星地面站發射訊號示意圖<sup>1</sup>

運用兩顆衛星接收正常信號與干擾信號，經過運算可得頻率偏差(Frequency Difference of Arrival, FDoA)與時間偏差(Time Difference of Arrival, TDoA)其代表之兩條線於電子地圖上交測點即為干擾源(圖 11)，其精確度約為交測點直徑 3 公里範圍，在業界算是很精確的技術。

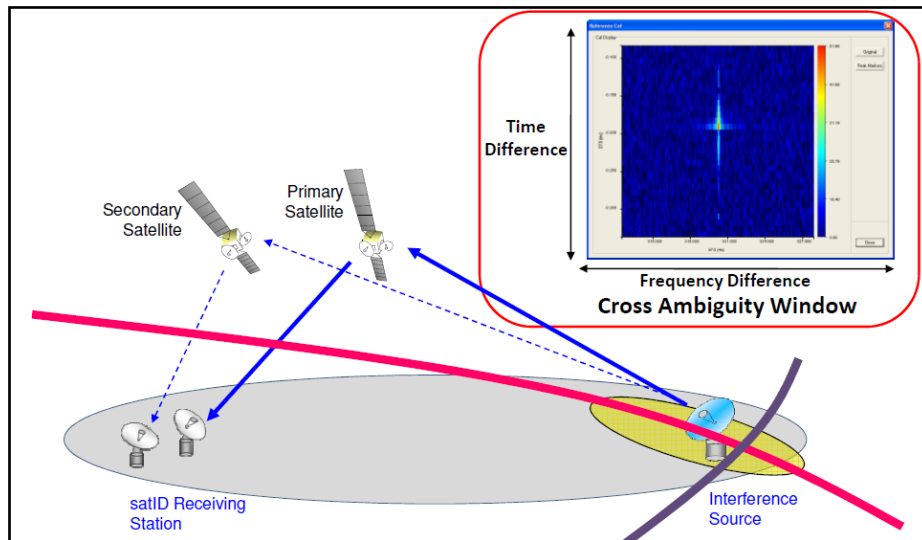


圖 11 雙星定位示意圖<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 圖片來源：ISE 簡報資料

<sup>2</sup> 圖片來源：ISE 簡報資料

## 陸、心得與建議

- 一、慕尼黑監測站很多設備看起來都有些陳舊，但也滿足了大部份日常監測的需求，他們這種加強設備維護、保養的作法，是值得我們學習與借鏡的。
- 二、慕尼黑監測站日常的監測與干擾處理工作劃分得非常清楚，所有日常監測及干擾處理紀錄非常完整，一方面便於日後追蹤干擾處理結果，二方面便於干擾統計與分析。此外，監測站內各項參考資料相當齊全，如 ITU 相關無線電管理規則 (Radio Regulations)、相關建議 (ITU-R Recommendations)、頻譜監測手冊 (Spectrum monitoring handbook)，方便人員在執行任務時查閱，另人見識到德國人一板一眼，非常嚴謹的行事風格。
- 三、在無線電干擾源測向定位過程中，常常需要處理預想不到的情況，尤其在重大的干擾事件中，干擾源通常具有訊號出現時間短、干擾源隱蔽性高等特點，一旦出現干擾，須仰賴具有豐富經驗及專業技能的工程人員加以處理。德國監測站工程人員經常參與 ITU 關於電波監測與定向之會議，對於提昇干擾處理能力及了解最新干擾處理技術有相當的助益。
- 四、隨著無線通信傳播技術的快速發展，各類新業務不斷拓展，使得查測干擾源的複雜度與難度也在增加，每個干擾都可能是一種新的情況，如何查測也是一個新課題，針對高速傳輸、新型態的干擾源，除了應提昇電波監測系統的性能外，亦應加強人員在電波監測與測向技術方面的訓練，方能在無線通訊傳播數位化、寬頻化的發展趨勢下，強化電波監測與偵測干擾源之能量，以達到對於新興通訊技術之各項電波監理挑戰。
- 五、新世代的電波監測系統主要係結合寬頻接收機與強大 DSP 技術之結合，而在選擇接收機時應考量接收機的射頻性能，更應注意其擴充性，把握未來無線電通信技術的發展趨勢，以降低更新汰換的成本。

六、由於定向系統之重要效能參數並無測試標準，建議未來在採購新世代電波監測系統之審標過程中納入實際場測項目，使未來能夠公平比較各業者之設備性能，並確保未來採購之監測設備能夠符合三區處實際任務需求。