

無線電測向及交叉定位技術研析（上）

◎廖建興/曾孝忠

1. 前言

有鑑於911事件，1996年美國政府曾要求美國的電信業者，提供911緊急救援電話定位能力，並且要求美國電信業者在對行動電話用戶，且對於911緊急電話的定位精準度為必須達到一定的定位成功率[1-2]。所謂無線電定位技術乃是一種運用無線通訊建構之系統及技術來得知行動台(輻射源)當時所在位置資訊的技術，因此其伴隨的商業價值巨大[3]。其中，GPS全球定位系統(Global Position System)及蜂巢式基地台無線系統為經常被利用來達成定位目的之系統。GPS系統之定位方法係利用多顆衛星發射之訊號來計算出行動台的位置[4]，而在實際的應用上，須在行動台(Mobile Station)中加裝GPS晶片與接收器，以提供良好的定位效果；而蜂巢式基地台無線定位系統則利用現有的行動電話系統設備，雖毋需額外增加基地台系統設備，但至少需要透過軟體以及韌體的升級以增加定位功能及需求之定位精度。而在現代軍事運用中，為使指揮系統具有正確、快速的反應能力，必須具備無線電測向及定位敵方訊號發射源的能力，如ELINT電子情報(Electronic Intelligence)和ESM電子支援(Electronic Support Measure)系統皆是，其係一種無源探測系統，本身不發射無線電磁波，可隱蔽地確定發射源位置，並具有距離遠及抗干擾能力強的優勢。

所謂無線電測向及定位技術的主要應用原理係藉由電磁波的傳播，獨立且無源地確定目標輻射源的位置，因為每種電磁輻射無論以何種方式出現都帶有方向的資訊，所以位於不同位置的測向站對同一輻射源進行測向，根據入射電磁波在測向天線系統中感應產生的振幅、相位及頻率上的差別來判定被測目標的方向，經由多站測向結果進行交會定位計算，以確定被測目標的地理位置。一般可採用測向定位法

(AOA)、時差定位法(TDOA)及頻差定位法(FDOA)等三種基本定位方法[5]。

本文主要目的係有系統地探討一般無線電測向及定位相關技術及原理，文章架構共分為六個部分，第一部分為前言；第二及第三部分分別針對無線電各種測向技術原理及各種定位技術原理進行分析說明；第四及第五部分則特針對廣泛應用的無線電測向交叉定位法進行深入探討及分析；第六部分為結論；第七部分為參考文獻。

2. 無線電測向原理

無線電測向的目的是測量無線電波輻射的方向，在實際測向陣列天線的天線單元間距不可能很大，所以各天線單元可以將它們接收到的電場強度認為是相同的，僅相位不同而已。因此，無線電波的方位信息就存在電場強度的相位中，當利用一定架構的陣列天線進行測向時，所產生的感應電動勢之相位就與輻射的來波方向有關。從不同架構的陣列天線所產生的感應電動勢中，按照獲取來波入射方位信息的方式，可分為來波方位是接收信號振幅的函數或是信號相位的函數。目前較為廣泛實現測向的方法有：振幅測向技術、相位測向技術、時差測向技術、都普勒測向技術[6-9]。各種測向技術說明如下：

2.1 振幅測向技術

振幅測向技術是利用測向天線感應的電壓幅度具有的方向特性，當天線旋轉時，輸出電壓幅度按極座標方向圖改變而變化的原理進行測向，因此振幅測向又稱為極座標方向圖測向。振幅測向還可以進一步分為最大振幅測向、最小振幅測向及比較振幅測向三種，分別敘述如下：

(1) 最大振幅測向

最大振幅測向是利用天線極座標方向圖的最大接收點確定信號方向的一種測向方法。此種測向技術要求天線具有尖銳的方向特性且極座標方向圖能夠旋轉，根據接收機輸出感應電壓最大值所對應之天線主瓣軸心線位置來確定目標信號方向。

最大振幅測向的主要優點是測向距離遠，在接收機靈敏度及環境雜訊一定的情况下，能比其他的測向方法探測更遠的信號發射源。而主要的缺點是測向精確度低，因為天線方向圖於最大值區域的變化率小，當信號方向偏離時，接收機輸出信號幅度變化不明顯，導致將已偏離天線方向圖最大值的方向誤判為信號方向。

(2) 最小振幅測向

最小振幅測向是利用天線極座標方向圖的零接收點確定信號方向的一種測向方法。此種測向技術藉由轉動天線使接收機輸出的感應電壓為零，此時天線方向圖的零接收點方向即為信號方向。最小振幅測向主要優點是測向精確度和角度分辨率比最大振幅測向高，測向方法比較簡單，可以採用8字形方向特性的天線，但在測向過程中會使測向機出現兩個信號振幅為零的情況，此時需要進一步採取「定邊」方式，最常使用的方法是將8字形方向天線增加一個無方向性的垂直天線，就可以“惟一”確定目標信號方位。

(3) 比較振幅測向

比較振幅測向是利用方向圖特性完全相同的兩個天線接收輻射信號，根據接收機輸出的電壓幅度之比來確定信號方向的一種測向方法。此種測向技術是由兩天線接收信號經放大及檢波後得到電壓振幅分別為 U_1 及 U_2 ，如圖2-1所示：

$$U_1 = K_1 E_1 F_1(\theta_0 - \theta) \quad (2-1)$$

$$U_2 = K_2 E_2 F_2(\theta_0 + \theta) \quad (2-2)$$

其中 K_1 及 K_2 為兩天線接收系統的放大檢波等傳輸系數， E_1 及 E_2 為兩天線最大方向感應電壓幅度， $F_1(\theta_0 - \theta)$ 及 $F_2(\theta_0 + \theta)$ 為兩天線方向圖函數。

因兩天線特性完全相同，所以 $K_1=K_2$ ， $E_1=E_2$ ，則

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{K_1 E_1 F_1(\theta_0 - \theta)}{K_2 E_2 F_2(\theta_0 + \theta)} = \frac{F_1(\theta_0 - \theta)}{F_2(\theta_0 + \theta)} \quad (2-3)$$

由於兩天線的方向特性 F_1 及 F_2 可以事先測定，所以入射角 θ 可以由兩天線量測的電壓振幅比值求得。

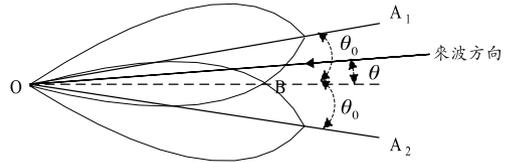


圖2.1 比較振幅測向原理圖

比較振幅測向的優點是在一定方向角內實現瞬時測向，因為在兩天線方向圖區域內，測向時不需轉動天線而節省時間，接收到信號時就能測出目標信號方位。而缺點是設備較為複雜且技術要求較高，雖然原則上兩天線特性不一定要一致，只要事先各別測定方向特性就可以進行測向，但為了提高測向精確度及減低設備複雜性，仍儘量要求兩天線方向特性可以一致。

2.2 相位測向技術

相位測向技術是由一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。如圖2-2所示，兩天線A和B接收來自遠處 θ 方向的發射源信號，當發射源至接收天線的距離遠大於兩天線的間距 d 時，發射源信號可以近似平行射線，因此兩天線所接收的信號，由於行程差產生相位差 Φ 如下表示：

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta \quad (2-4)$$

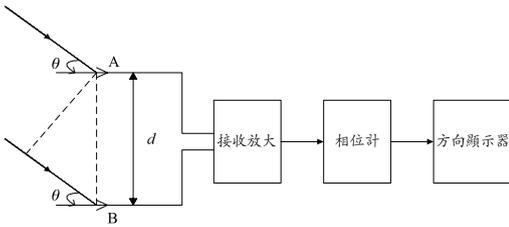


圖2.2 相位測向原理圖

干涉儀測向技術及Watson-Watt測向技術均屬利用相位測向技術原理來測定信號方位，此兩種測向技術分別敘述如下：

(1) 干涉儀測向技術

干涉儀測向技術是同時測量測向陣列天線上各天線單元的感應電壓，利用各感應電壓間的相位差及相關係數來計算信號入射測向天線的相對方向，在信號處理過程中，各天線單位間感應電壓之相位差必須保持不變，必要時將以補償電路或軟體程式校正。干涉儀測向可以分為一維相位干涉儀測向及二維相位干涉儀測向，其中“一維”是指測向天線為線型陣列，即所有測向天線單元都位於同一條直線上，而“二維”是指測向天線為面型陣列，即所有測向天線單元都位於同一個平面上。如圖2-3所示，一維相位干涉儀測向公式為：

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} D \sin \theta \quad (2-5)$$

其中， Φ 為A-B基線的相位差， D 為基線長度， θ 為信號入射方向角， λ 為信號波長。

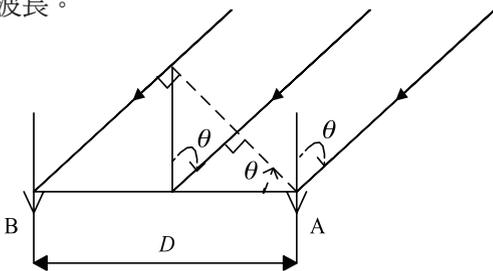


圖2.3 一維相位干涉儀測向原理圖

由於干涉儀量測的相位差只能在 180° 範圍內，所以當基線長度 $D < \lambda/2$ 時，對於任一方向信號的相位差在 $\pm 180^\circ$ 以內，此時量測值為真實信號入射方向角。當 $D > \lambda/2$ 時，對某一方向信號的相位差可能超過 $\pm 180^\circ$ 的範圍，此時從量測值推算真實信號入射方向角就存在若干個可能，即產生“相位模糊”的情形。所以基線長度 D 必須小於 $\lambda/2$ ，否則會引起多個入射角度的情形。然而，基線的長度限制將影響測向精確度，可以採用結合長短基線的方式解決這個問題，雖然長基線會產生多個入射角度的情形，但利用短基線的單一特性，就可以計算出長基線的實際方向角精確值，如此便可解決“相位模糊”的問題。二維相位干涉儀測向是以等長的直角三角形各頂點佈置測向天線單元為例，如圖2-4所示，二維相位干涉儀測向公式為：

$$\Phi_1 = \left(\frac{2\pi}{\lambda} D \sin \alpha \right) \cos \beta \quad (2-6)$$

$$\Phi_2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda} D \cos \alpha \right) \cos \beta \quad (2-7)$$

其中 Φ_1 為A-B基線的相位差， Φ_2 為A-C基線的相位差， D 為基線長度， α 為信號入射方向角， β 為信號入射仰角， λ 為信號波長。

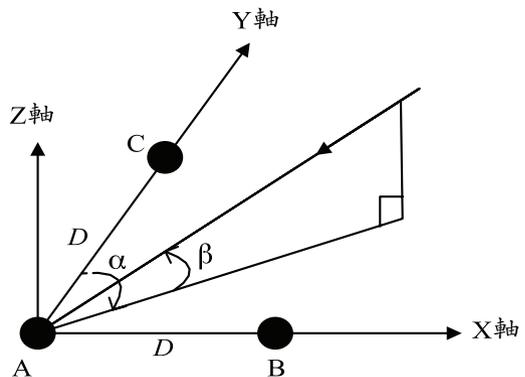


圖2.4 二維相位干涉儀測向原理圖

從式(2-6)和(2-7)可以求出信號入射角 α 及仰角 β 為：

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\Phi_1}{\Phi_2} \right) \quad (2-8)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{\sqrt{\Phi_1^2 + \Phi_2^2}}{\frac{2\pi}{\lambda} D} \right) \quad (2-9)$$

二維相位干涉儀與一維比較，具有下列優點：

- [1]一維相位干涉儀測向僅能 180° 測向，而二維相位干涉儀則可以 360° 全方位測向。
- [2]與一維相位干涉儀相同，當測向天線間距 $D < \lambda/2$ 時，對於任一方向信號的相位差在 $\pm 180^\circ$ 以內，無多個信號入射方向角。當 $D > \lambda/2$ 時，對某一方向信號的相位差可能超過 $\pm 180^\circ$ 的範圍，存在多個信號入射方向角，造成相位模糊的情形。
- [3]一維相位干涉儀測向僅能測方位，且存在因仰角引起的相位模糊，而二維相位干涉儀可以同時測量方向角及仰角，所以沒有因仰角引起的相位模糊的情形。
- [4]在基線長度 $D < \lambda/2$ 條件下，當基線長度愈長，測向精確度則愈高。

(2) Watson-Watt測向技術

Watson-Watt測向技術是利用測向陣列天線各天線單元間的相位差轉換為信號振幅來測得信號入射方向。如圖2-5所示，設測向陣列天線中，以中心點O且半徑R的圓周上，朝東、南、西、北的方向放置四幅測向天線，相對的兩個天線（簡稱天線對）的感應電壓通常以兩個相反的符號相加，東、西天線對產生的信號感應電壓為

U_{WE} ，南、北天線對產生的信號感應電壓為 U_{NS} ，只要天線系統的 $2R/\lambda$ 足夠小時，就可以得到信號方向角 θ 為：

$$\theta = \tan^{-1} (U_{WE}/U_{NS}) \quad (2-10)$$

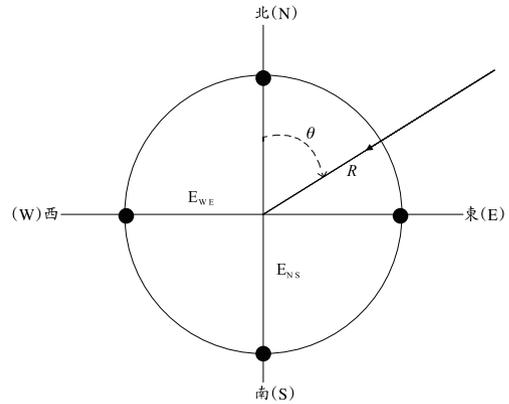


圖2.5 Watson-Watt測向原理圖

來自 θ 與 $180^\circ + \theta$ 角的信號會在兩組天線對上產生同樣的感應電壓，為了排除這個不確定的模糊性，可以加入一個全向天線當成判定天線，將兩組天線對之輸出與判定天線之輸出做比較，即可判定出正確的信號入射方向。

2.3 時差測向技術

時差測向技術與相位測向技術相似，是利用兩個以上分離的天線測量發射源之輻射信號，由於存在信號傳播的行程差產生接收時間的差異，而到達時間差是信號方向角的函數，經過計算便可求得信號方向。如圖2-6所示，兩分離天線A和B為垂直架設，基線長度為 d ，信號方向角為 α ，信號仰角為 β ，信號到達兩天線的波程差引起的時間延遲 τ 為：

$$\tau = \frac{d \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta}{c} \quad (2-11)$$

其中 c 為信號傳播速度，所以信號入射角 α 為：

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{c \cdot \tau}{d \cdot \cos \beta} \right) \quad (2-12)$$

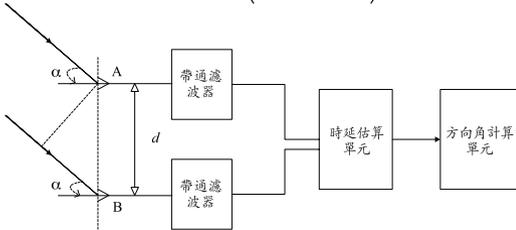


圖2.6 時差測向原理圖

如果信號入射傾角 β 無法得知，就必須確定一個入射傾角的平均值來計算 α ，如此， α 值將隨著假定的 β 值而變化，造成多值的問題。為避免因 β 所造成的多值問題，可以使用兩組正交的分離天線，第一組分離天線的時間延遲為 $\tau_1 = \frac{d \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta}{c}$ ，第二組分離天線的時間延遲為 $\tau_2 = \frac{d \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{c}$ ，所以信號入射方向角 α 為：

$$\tan \alpha = \frac{\tau_1}{\tau_2} \quad \alpha = \tan^{-1} \frac{\tau_1}{\tau_2} \quad (2-13)$$

因此入射方向角 α 僅與延遲時間及 d/c 比值有關。時差測向的優點是與頻率無關，靈敏度高、反應時間快及測向準確度高，而缺點是抗干擾性能較差。

2.4 都普勒測向技術

在都普勒測向系統中，都普勒效應的產生是測向陣列天線與輻射源之間的相對運動，導致測向天線接收信號的相位改變，使實際接收的信號頻率不同於發射源輻射信號的頻率。當測向天線向發射源天線移動時，多普勒效應使接收信號頻率明顯上升，反之則使頻率降低。實際的都普勒測向不是測向天線的移動，而是由旋轉測向陣列天線來仿效測向天線和輻射源的相對運動。如圖2-7所示，設測向天線位於

發射源產生的頻率為 ω 的電磁場中，它在水平面上以半徑為 R ，角頻率為 ω_0 ，繞中心 O 旋轉，因此，天線A接收來波所產生的信號頻率為 $f(t)$ ，由於都普勒效應，使 $f(t)$ 偏離發射源的發射頻率 $f_0 = \omega / 2\pi$ ，產生的頻率變化量的大小及符號將取決於天線A的旋轉角速度和方向。若天線運動方向垂直於來波方向時，頻率則不變化，相位增量為零。因此，位於圓心 O 的天線C產生的感應電動勢之相位作為參考相位 φ_0 。

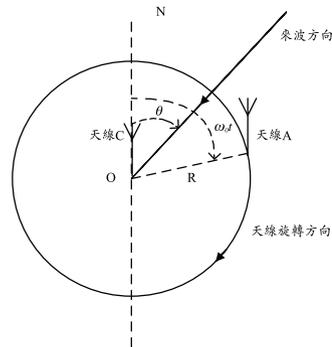


圖2.7 都普勒測向原理圖

設來波方向角為 θ ，傾角為 β ，當天線A以角頻率 ω_0 旋轉時，所產生的感應電動勢之瞬時相位即都普勒相移的瞬時值為：

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} R \cos \beta \cos(\omega_0 t - \theta) = \Delta \varphi_m \cos(\omega_0 t - \theta) \quad (2-14)$$

其中 $\Delta \varphi_m = \frac{2\pi}{\lambda} R \cos \beta$ 為相位調制係數，其大小表示天線A旋轉時產生的相位偏移之最大值。根據 $\Delta \omega = \frac{d\varphi}{dt}$ ，由式(2-14)不難求出天線A旋轉產生的都普勒頻移的瞬時值為：

$$\Delta f = -\Delta f_m \sin(\omega_0 t - \theta) \quad (2-15)$$

其中 $\Delta f_m = \frac{2\pi R}{\lambda} F \cos \beta$ 為頻率調制係數，其大小表示天線A旋轉時產生的頻率偏移之最大值， $F = \frac{\omega_0}{2\pi}$ 為旋轉頻率。因此，

當測向天線A沿圓周旋轉時，接收信號的實際瞬時頻率是發射源的發射頻率 f_0 與都普勒頻移的瞬時值 Δf 之和，即：

$$f(t) = f_0 + \Delta f = f_0 - \Delta f_m \sin(\omega_0 t - \theta) \quad (2-16)$$

由式(2-14)和(2-15)可以得知，都普勒相移 $\Delta \varphi$ 和都普勒頻移 Δf 均為入射角 θ 的函數，據此便可計算出入射角 θ 。實際上利用機械方式旋轉測向天線來產生都普勒效應是很難實現的，因為此種測向系統需要高速率地旋轉測向天線，並且旋轉的圓周直徑要很大。因此，在實際應用中，採用在圓周上均勻地佈置固定天線單元來模擬旋轉情形，以角頻率 ω_0 依次輪流接通每個天線單元來模擬天線的旋轉，這種利用模擬天線旋轉的測向技術，常被稱為準都普勒測向技術。都普勒測向的優點是靈敏度高、準確度高、沒有間距誤差、極化誤差小、可測仰角及有一定的抗波前失真能力。而缺點是抗干擾能力較差。

3.無線電定位原理

通信測向的重要目的之一是確定發射源的地理位置，而要對發射源定位一定需先對其發射之信號加以擷取，一般測向站的分佈可分為分散式多個固定站或是移動式測向站獲取資料。而所獲取的資料大致有下列幾種：1、接收信號之功率；2、相位偏移；3、接收信號之角度(Angle of Arrival, AOA)；4、接收信號的時間延遲(Time Difference of Arrival, TDOA)；5、接收信號之頻率差(Frequency Difference of Arrival, FDOA) [5, 21-23]。要達到定位的目的不外乎由彼此幾何關係推導出所需要的位置資訊，因此以上各量測的參數與發射源相對於測向站之幾何參數相關，其幾何相關參數如下：

(一) 發射源信號到達測向站的角度

(二) 發射源信號到達兩個測向站之距離差
由上述幾何參數可推導出次要觀測參數(Secondary Parameter)來確定發射源的位置，其次要觀測參數如下：

- (一) 在二維平面上可獲得發射源所在位置線(Line of Position, LOP)
- (二) 在三維空間中可獲得發射源所在位置平面(Surface of Position, SOP)

以上參數在無量測誤差存在下，由多個測向站決定的兩條位置線或三個位置平面的交點，即為發射源的正確位置，然而在實際狀況中，誤差總是不可避免的存在。

次要觀測參數之特性取決於以下三個因素：

- (一) 量測發射源參數的種類
- (二) 量測發射源參數的方法
- (三) 資料收集的流程

以上參數之特性便決定所使用之定位技術，如圖3.1所示。

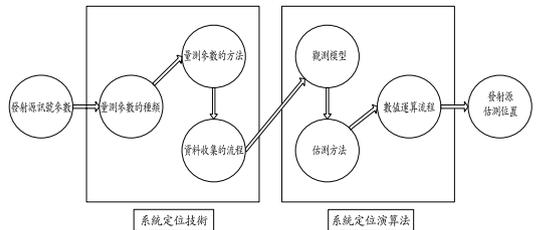


圖3.1 決定定位方法之要素

在決定定位技術後，便可以決定使用何種定位法，而定位法取決於以下三個因素：

- (一) 假設的觀測模型：觀測模型是描述量測誤差的種類，並決定次要觀測參數、發射源位置及量測誤差之間的函數關係。
- (二) 估測方法：所需要的量測品質決定採用何種估測方法，俟決定估測方法後，即可產生量測發射源的估計位置。

(三) 數值運算流程：此因素影響測量所需的時間及距離，然而若需考量計算流程之穩定度，則需於兩個因素間做一折衷。

由上述之說明可以得知，不同的定位方法可以視為由不同的定位技術配合適當的定位法之結合。前面已說明每一種定位技術由量測參數之種類、方法及資料收集之流程等因素而異，我們可以將定位方法分為測向定位法、時差定位法及頻差定位法等三種[10-17]。各種定位法說明如下：

3.1 測向定位法

測向定位法是由方向性天線（Sector Antenna）或陣列天線（Antenna Array）對目標進行測量信號到達角度（來波方向），利用發射源在某一時刻的座標與測向站的相對位置關係，建立測量來波角度的數學式。一般而言，測向定位法往往需要以幾個配置在不同位置的測向站組網對發射源進行測向，然後再用各測向站量測的方向角進行交會計算。當信號持續時間較長時，可以用單一測向站（如將測向設備安裝於飛機或車輛上）移動，位於不同位置分別測向，並將各量測方向角進行交叉定位計算。若信號為短波時，使用單站定位則必須在測向的同時測定信號仰角，以仰角計算發射源與測向站的距離，再利用方向角和距離判定目標的位置。測向定位法又可分為交叉定位法、方位-仰角定位法及圓形定位法。

(1) 交叉定位法

交叉定位法採用圖解定位技術，是測向定位最基本的方法，又稱為三角定位法。它利用已知基線上配置的兩個（或兩個以上）測向站，對發射源實施測向後得到的方向角為 Φ_1 與 Φ_2 ，則兩條方向線的交會點（如圖3.2）便是發射源所處的地理位置，此定位法適用於對固定發射源的定位，當目標在移動時，就無法使用定

位移動中的發射源。理論上，利用兩個測向站即可決定出發射源的位置，但是為了增加其準確度，通常使用兩個以上的測向站來定位發射源的位置。也可利用移動的單一測向站在不同位置測得的來波訊號方向角，運用交叉定位原理計算出發射源位置。此法優點是只需要各測向站測量方向角數據和測向站之位置座標，數據量小所以數據計算過程相對簡單，並能靈活運用於發射連續波或脈波信號之發射源定位上，缺點是非常容易受到測向站系統誤差之影響，導致測向定位結果的偏差。有關多站交叉定位模型之估計誤差分析，將於第4部分詳細說明探討。

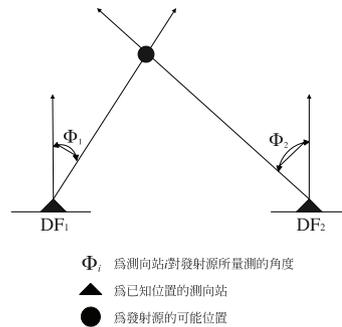


圖3.2 交叉定位法示意圖

(2) 方位-仰角定位法

方位-仰角定位法是利用飛行載機同時測量信號到達之方位和仰角及相對發射源之高度，經計算判定地面發射源的位置。此法優點是用單一飛行載機就能即時定位，並能靈活運用於發射連續波或脈波信號之發射源定位上，缺點則是測量精確度為高度的函數，當仰角固定時，位於低空定位之測量經度會迅速下降。

(3) 圓形定位法

由於交叉定位法非常容易受到測向站系統誤差之影響，導致測向定位結果的偏

差，然而，圓形定位法可使系統誤差減到最小，此法是利用飛機對發射源進行定位。如圖3.3所示，如果飛機的飛行方向為H1時，當飛機位於A (x₁₁, y₁₁) 測量發射源E (x_e, y_e)，相對於H1的方向角為RB1，若飛行方向由H1改變角度ΔH為H2時，當飛機位於C (x₂₁, y₂₁) 測量發射源E (x_e, y_e)，相對於H2的方向角為RB2，因無系統誤差的存在，所以兩條方向線相交於發射源位置。

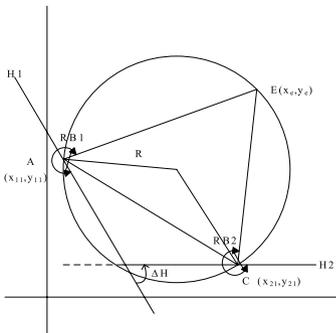


圖3.3 圓形定位法示意圖（無系統誤差）

圖3.4顯示系統誤差α存在時，飛機位於座標A及C測量發射源的兩條方向線將不會相交於發射源的真實位置，但是經由下面的計算結果，證明使用圓形定位法可以消除系統誤差所造成的定位偏差。

$$\angle EAD + \angle ECD = 180^\circ \quad (2-17)$$

$$\angle AEC + \angle ADC = 180^\circ \quad (2-18)$$

$$\angle ADC + \angle CDF = 180^\circ \quad (2-19)$$

由(2-18)及(2-19)解得：

$$\angle AEC = \angle CDF = \Delta H \quad (2-20)$$

由於 $\angle ECE' = \angle EAE'$ ，所以

$$\angle E'AD + \angle E'CD = 180^\circ \quad (2-21)$$

$$\angle AE'C + \angle ADC = 180^\circ \quad (2-22)$$

$$\angle ADC + \angle CDF = 180^\circ \quad (2-23)$$

由(2-22)及(2-23)解得：

$$\angle AE'C = \angle CDF = \Delta H \quad (2-24)$$

由(2-20)及(2-24)可以看出 $\angle AE'C = \angle AEC$ ，因此，即使系統誤差存在，圓形仍會通過發射源的真實位置。

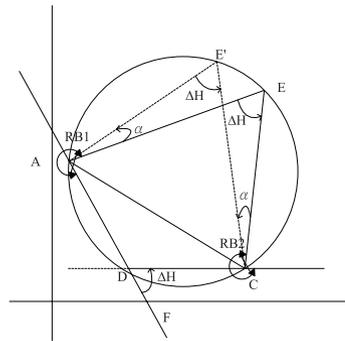


圖3.4 圓形定位法示意圖（有系統誤差）

由上面的推算結果，若要定位發射源真實位置，已不再需要兩條方向線，僅需要飛行方向的變化量ΔH及飛行方向與圓形的交點 (x₁₁, y₁₁) 和 (x₂₁, y₂₁)，但是為了得到適當的數學式，還必須要有圓形的中心點 (h, k) 及半徑R。參考圖3.5並根據圓形的原理可得聯立方程組：

$$\begin{cases} R = \overline{AC} / (2 \sin \Delta H) \\ h = \frac{1}{2} [x_{21} + x_{11} \pm \cot \Delta H (y_{11} - y_{21})] \\ k = \frac{1}{2} [y_{21} + y_{11} \pm \cot \Delta H (x_{21} - x_{11})] \end{cases} \quad (2-25)$$

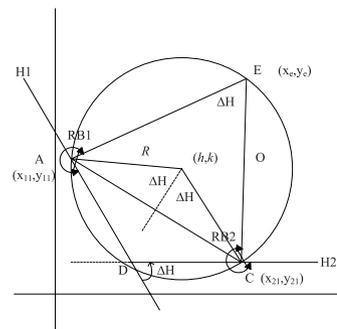


圖3.5 圓形定位法示意圖

由聯立方程組得知有兩個半徑為R的圓形通過 (x₁₁, y₁₁) 及 (x₂₁, y₂₁)。因此當使用此定位法來定位發射源位置時，實際上由系統誤差所造成的定位偏差可以被消除。

3.2 時間差定位法

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。設三個觀測站座標為I (X_i, Y_i)、J (X_j, Y_j) 與K (X_k, Y_k)，測量信號到達時間差分別為 $t_{i,j}$ 與 $t_{i,k}$ ，則

$$\begin{cases} R_{i,j} = ct_{i,j} = c(t_i - t_j) = R_i - R_j \\ R_{i,k} = ct_{i,k} = c(t_i - t_k) = R_i - R_k \end{cases} \quad (2-26)$$

其中 $R_{i,j}$ 為觀測站I與測向站J測量信號傳播距離差， c 為光速， t_i 為觀測站I測量信號到達時間， R_i 為觀測站I測量信號傳播距離；根據雙曲線的原理可得聯立方程組：

$$\begin{cases} R_{i,j} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2} \\ R_{i,k} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_k - x)^2 + (Y_k - y)^2} \end{cases} \quad (2-27)$$

解出(x, y)即為目標位置的座標(如圖3.6)。

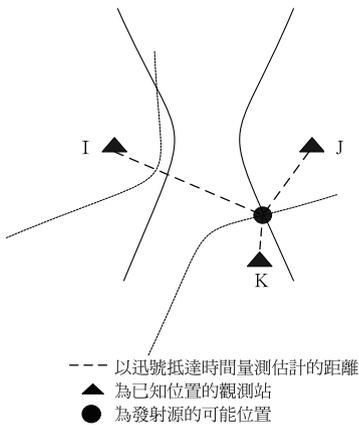


圖3.6 時間差定位法示意圖

由此可知，時間差定位法可分為兩個步驟：第一步是利用各種Time Delay Estimation的技術，由三個觀測站測量信號到達時間差，再將之轉換成距離，並代入雙曲線的方程式中，形成一組聯立雙曲線

方程式；第二步則是利用高效率的運算法則求得此聯立方程組的解，此解即為發射源的座標位置。其中各信號到達時間差之量測準確性取決於測量通道頻寬及多重路徑效應，因此觀測站量測頻寬愈大且多重路徑效應愈小，則所得到的測量精確度就愈高。而精確度也因可得到之量測數量而有所影響，所以量測數量愈多精確度較高。

若要使用這項定位技術，一般需要觀測站間距較長的定位系統，對於較短觀測站間距的定位系統而言，需要更高的定位精確度及更快的定位速度，才能及時處理近程的定位計算。系統中各觀測站需能達到非常精確且可靠的時間同步（Time Synchronize），所以當觀測站同步的品質降低，造成雙曲線變得模糊，相對的所計算出位置的誤差就增加，定位能力將變得愈來愈不準確。

3.3 頻率差定位法

頻率差定位法又稱為多普勒頻移定位法，它是利用兩個觀測站所接收到同一發射源產生的訊號頻率差來計算發射源的位置，與時間差定位法計算發射源位置的方法相似。

都普勒頻移定位法是在一段時間內求平均值的方法，利用由兩個位置不同的移動觀測站所獲得的都普勒頻率，透過多次測量得到一組都普勒頻差的量測值，根據一組量測值可以解得目標的真實位置。由此可知，都普勒頻移是目標位置、觀測站位置及運動狀態的函數關係，當觀測站已知時，可以確定目標所在的等頻率曲線(iso-Doppler curve)，並透過多個曲線的交會得到目標的位置。

此定位法必須應用於具移動性之觀測站且能獲得發射源信號頻率，否則必須使用輔助系統來協助目標定位。因為觀測站量測同一信號產生的頻率差，所以不受信號形式的限制，可以運用於發射連續波或脈波信號之發射源定位上。