

GPS 衛星定位原理

張嘉強

GPS 全球定位系統(Global Positioning System)在經歷過去二十多年的發展過程，目前在各項理論及應用之技術上已趨成熟，並已成為當前最重要之一項空間大地測量(Space Geodesy)定位技術。由於 GPS 具有相當高定位精度之工作能力，並能有效地將測量工作由地區性(local)延伸到區域性(regional)甚或全球性(global)之範圍，因此目前高精度之大地測量作業都已幾乎全面採用 GPS 之定位技術及作業方法。

對於許多需要高品質大地觀測量以求得點位高精度三維坐標資料之科學應用而言，GPS 定位可提供一個獲取、分析及建立此類大地觀測量之快速有效方法，這也就是為何近年來各國相繼建立地區性或區域性 GPS 衛星監測站之主要原因。

在台灣地區，內政部為配合公共工程建設之需要而展開基本三角網重新設置之「應用全球定位系統實施台閩地區基本控制點測量計畫」，於是自民國八十一年起歷經四年先完成八個 GPS 衛星追蹤站之設立，以期由此建立一組精密之基本大地控制網[李彥弘等, 1996]。當此一區域性 GPS 衛星追蹤網開始提供穩定可靠之觀測資料時，諸如大地測量網形之高等控制、衛星相關之坐標系統、區域性之衛星軌道、差分 GPS 導航定位之主控站、地殼運動及變形之監測、大氣科學研究及數值氣象預測等多項之應用，都可經由 GPS 衛星追蹤站之觀測資料進行處理。

此外，基於現況中的台灣地區三角點檢測成果沿用至今已近廿年，該傳統三角點之位址早已受到各種人為及天然因素的破壞，同時其坐標成果之精度亦已不敷當前各級控制測量上之所需，故配合國家整體發展之需要，內政部亦全面採用 GPS 衛星定位技術，建立了一個全新架構下，包含 105 個一等及 617 個二等衛星控制點之台灣地區基本控制點[曾清涼, 1997]。在此一基本控制網系建立後，後續於較小區域內所進行之各項大地及工程測量應用(如地層下陷之監測等)，即可次第推展。

為使 GPS 衛星定位技術之基本運用原理能有較清楚之說明，現即將其整理

闡明如以下各節，至於較為詳盡之內容請參閱諸如：*Wells et al (1986)*, *Seeber (1993)*, *Leick (1995)*及 *Hofmann-Wellenhof et al (1997)*等相關書籍。

§1 基本概論

GPS 為 NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite with Time and Ranging Global Positioning System)之英文縮寫，由此即可瞭解其在設計及運作上所欲從事之特性。基本上，GPS 是一個可以有效提供全球性三維空間位置並決定運動速度與時間訊息的太空定位系統，該系統係由美國國防部自 1973 年開始建立、發展、測試並提供全球進行使用。

由太空中已知軌道之衛星位置到地面或空中需要測定位置之點位間的距離量(range)是 GPS 所需之基本觀測量，若由衛星所傳送之訊號(signal)可以不間斷的由時間同步之接收儀加以記錄，則其間之距離量即可經由該訊號傳送之時間段乘上電磁波之速度而予以有效的決定。當足夠數量之衛星訊號被接收儀同時接收時，測站之三維位置即可利用後方交會法(resection method)求得，然而由於接收儀與衛星之時錶(clock)並無法保證能與正確之 GPS 時系相同步，因此時錶之錶差亦必須加以考量，以獲致較高之定位精度。對每一個位置之解算而言，其皆包含點位之三維地心坐標以及接收儀之時錶誤差等四個未知數，因此 GPS 定位便需要至少四顆衛星的觀測量來進行計算。

GPS 定位系統係由三個主要運作的單元加以組成，它們分別是太空單元(space segment)、控制單元(control segment)及使用者單元(user segment)。依據 GPS 衛星的軌道分佈，其由 24 顆衛星所組成，運行之高度約為 20,200 公里，分別分佈在六個傾角為 55°、每一恆星日二次週期之軌道面上。該系統並於 1995 年 4 月 27 日起正式宣佈其已達一特定水準之民用定位服務。在太空單元中，GPS 衛星已完成全球性之覆蓋率，並在 15°之高度角以上已達任何時刻皆有至少四顆衛星觀測量之標準。在 GPS 衛星所傳送之訊號中，包含二個 L 波段之載波(即 L1 與 L2)，其是由一個 10.23 MHz 之基本 L 波段頻率分別乘上 154 及 120 後所組成。因此，L1 及 L2 之頻率(L)與波長(λ)即為：

$$L1 = 1575.42 \text{ MHz} \quad \lambda = 19 \text{ cm}$$

$$L2 = 1227.60 \text{ MHz} \quad \lambda = 24 \text{ cm}$$

由於此一雙頻訊號係同步產生，故使用者可直接且同時接收其訊號，以進行電離層延遲量之率定並可對大氣折射效應施以適當之改正。

在二個頻道之載波中，亦有二種之 PRN 電碼(pseudo random noise code) 調制其上，其中 C/A (coarse acquisition)電碼之波長約為 300 m，僅調制在 L1 之載波上而以 1.023 MHz 之速率傳播，C/A 電碼通常以未加譯碼(unencrypted) 之方式傳播，因此成為主要之民用觀測訊號。另一型式之 P (precise)電碼則保留為美國軍方及其授權者使用，其波長約為 30 m，以 10.23 MHz 之速率傳播，但卻調制在 L1 與 L2 的二個頻道上。對於擁有較高調制頻寬之 P 電碼而言，其觀測訊號之精度較佳，但因其以施加譯碼(encrypted)而成為 Y 電碼之方式傳播，故無法為民間使用者所採用。有關基本 GPS 衛星訊號之結構，現以圖 1 加以顯示。

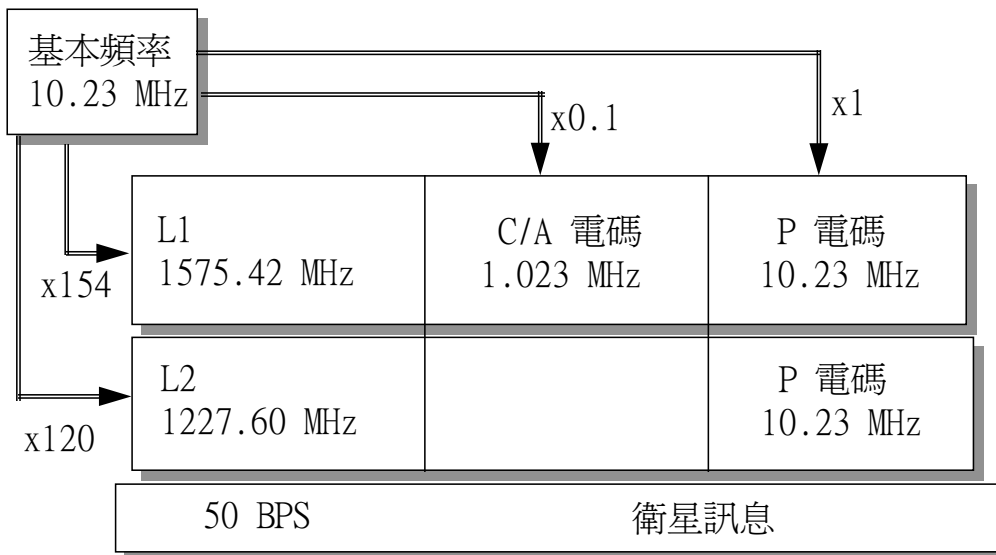


圖 1 基本之 GPS 衛星訊號

在 GPS 之控制單元中，其係由一個位於美國 Colorado Springs 之 Falcon 空軍基地的主控站，以及五個全球分佈於 Colorado Springs, Hawaii, Ascension Island, Diego Garcia 及 Kwajalein 之地面監視站所共同組成。這些控制站之主要任務在追蹤所有 GPS 之訊號，以進行衛星軌道監控、預估以及上送衛星更新資料之工作。上述有關控制單元與 GPS 衛星分佈之間可形成運作程序上之循環關

係[Shank et al, 1994]，其中的監視站收集每一顆衛星原始的 L 頻道訊號，同時將其平滑處理之觀測量傳送回主控站，進而在主控站採用 Kalman 濾波器以計算出衛星現況量之估算值(satellite-state estimates)。在主控站，這些估算值即可據以產生預估之導航資料，經由監視站之一的地面天線而將資料透過 S 頻道之聯繫上傳給衛星，進而在廣播星曆(broadcast ephemeris)中傳送新的預估導航資料給即時定位使用者。

所謂使用者單元，即指操作 GPS 接收儀以獲取衛星訊號者。由於 GPS 可廣泛應用於不同之領域(如導航、授時及測量)，因此使用者可視需要選擇不同型式之 GPS 接收儀，以滿足其各自之需求。一般而言，GPS 接收儀包含具有前置放大器之天線、訊號處理器、微處理機、精密振盪器、電源、資料儲存設備以及指令與顯示裝置。

§2 GPS 觀測量

GPS 是利用衛星無線電訊號來決定使用者三維位置之定位系統，由於美國國防部是此一系統之發展單位，故其軍方利用所謂之「虛擬距離」(pseudo-range)進行導航，便是其最初設計之目的之一，然而由於更高精度定位之需要，該系統亦可提供所謂「載波相位」(carrier phase)之觀測量。

虛擬距離是由接收儀本身之複製電碼與接收自衛星之電碼間進行相關處理，以獲得時間差移量進而乘上電磁波速度所求取的觀測量。其間由於接收儀之時錶並無法與衛星之時錶完全同步，二個時系之間的差異便因此導致觀測之偏差量(bias)出現，這也就說明了「虛擬」距離之由來。一般而言，虛擬距離觀測量之解析度是相鄰時刻電碼週期之 1%，因此具有 0.1 ms 週期之 P 電碼便隱含其 30 cm 之距離量精度，而 10 倍於 P 電碼週期之 C/A 電碼，則表示其距離觀測量之解析度為 3 m [Wells et al, 1986]。

GPS 訊號之載波相位可藉訊號中電碼之移除而予以重建，由於載波之波長較 C/A 電碼與 P 電碼都要短許多，因此載波相位觀測量之解析度也比虛擬距離要高許多。對大約為 19 cm 波長之 L1 載波相位而言，其顯示相位觀測之解析度即約為 2 mm。

§3 載波相位觀測量

由於衛星與接收儀之間相對運動的關係，衛星訊號的頻率便會因為 Doppler 效應而產生改變，然而衛星訊號的相位卻並不受影響，因此衛星所傳送出來的載波相位將會在一相應時刻與接收儀所接收之載波相位相一致，這也就是載波相位觀測理論中最重要的一點。

假設 $\phi^s(t)$ 為衛星 s 在 t 時刻所傳送訊號之相位值，而 $\phi_r(\tau)$ 是接收儀 r 在 τ 時刻之相位值，則進入接收儀之衛星載波訊號與接收儀本身所產生之常數參考頻率間的差值，即為載波相位觀測量 $\phi_r^s(\tau)$ 。此一載波相位觀測量之基本公式可表為

$$\phi_r^s(\tau) = \phi^s(t) - \phi_r(\tau) \quad (1)$$

當開啟 GPS 接收儀來收取衛星之載波相位資料時，相位的小數部份 即可立即正確的獲得，然而衛星與接收儀之間起始的整數週波並無法獲得。這個未知的週波數 N 通常稱為整數未定值(integer ambiguity)，只要衛星訊號的追蹤未曾中斷而無任何失鎖(loss of lock)產生，則在觀測時段內未知的整波數將會與接收儀鎖定訊號之初始值相同。僅存的問題便是如何決定這個整數未定值，以獲得衛星與接收儀間的精密距離觀測量。

一旦接收儀對於載波相位產生失鎖，則出現所謂的週波脫落(cycle slip)，其可視為載波相位之跳週，而通常發生在天線或是衛星與接收儀之間遮蔽物之快速移動。該現象導致的結果，將是接收儀失去了起始的整數未定值而重新攫取了另一個新的整數未定值，其間的差異即為一個需要從起始整數未定值中加減一個任意整數之週波脫落值。在 GPS 資料之先期處理階段，所有的週波脫落值都需要被加以偵測及編修，以獲得一組精密的定位結果。

對高精度之 GPS 相對定位而言，其需要二部或以上之大地型 GPS 接收儀，同步接收載波相位之觀測量，此外也必需採用適當之載波相位處理法則來進行資料處理的工作。現即將載波相位之觀測方程式說明如下：

基本之虛擬距離觀測量(PR)為衛星時系之訊號傳送時刻 t 與接收儀時系之訊號抵達時刻 τ 之時間差乘上電磁波在真空中之速度(c)而得，

$$PR_r^s = c (\tau_r - t^s) \quad (2)$$

註解 [CCC1]: Page: 8
3-1

註解 [CCC2]: Page: 8

現引入一 GPS 時系之 T 時，而衛星在其時系裡之錶差 dt 以及接收儀在衛星時系裡之錶差 dt^s 皆為已知，則在忽略大氣之效應後，衛星與接收儀之間的真實距離 ρ 即可求得，如

$$\begin{aligned}\rho_r^s &= c(T_r - T^s) \\ &= c[(\tau_r + d\tau_r) - (t^s + dt^s)] \\ &= c(\tau_r - t^s) + c(d\tau_r - dt^s)\end{aligned}\quad (3)$$

因此，基本之虛擬距離觀測方程式即可利用(2)及(3)予以獲得，如

$$PR_r^s(\tau) = \rho_r^s(T) - c(d\tau_r(\tau) - dt^s(t)) \quad (4)$$

現將虛擬距離以載波相位值(ϕ)與整數未定值(N)加以取代，而以週波數為單位加以表示，則基本之載波相位觀測量方程式亦可形成，如

$$\phi_r^s(\tau) = \frac{f}{c}\rho_r^s(T) - f(d\tau_r(\tau) - dt^s(t)) + N_r^s \quad (5)$$

當訊號傳播中以電離層與對流層延遲為主之大氣效應(d_{atm})被予以考量時，完整之載波相位觀測量方程式即為

$$\phi_r^s(\tau) = \frac{f}{c}\rho_r^s(T) - f(d\tau_r(\tau) - dt^s(t)) + N_r^s + d_{atm} \quad (6)$$

經由此一載波相位觀測量方程式，許多差分(differential)模式之觀測方程式可據以推導。

§4 系統誤差

系統誤差一向為高精度大地技術所主要討論之課題，而 GPS 觀測量不容諱言亦受到許多不同種類系統誤差之影響。一般而言，其誤差之來源可歸類為三種，亦即衛星相關之誤差、觀測相關之誤差以及接收儀相關之誤差。

衛星相關之誤差係由衛星之軌道(星曆)及錶差所組成；觀測相關之誤差係由訊號傳播之大氣效應及諸如載波相位整數未定值等觀測型態有關之誤差所組成；而接收儀相關之誤差則係由接收儀之錶差及相位中心變化等誤差所組成的。

系統誤差可予以模式化而在觀測方程式中形成附加項，亦可利用適當組合之觀測量予以消除。許多大地測量之研究工作即為貢獻其努力以精進 GPS 之定位精度。部份與 GPS 相關之系統誤差內容將略述如下。

4.1 衛星星曆

為求從 GPS 觀測量當中計算出點位之位置，衛星在每一個觀測時刻之三維坐標必須獲知。衛星之軌道資料通常是以星曆的方式來表達，因此星曆可用來決定衛星之坐標，進而透過 GPS 觀測量來獲得地表測站之坐標。然而衛星之星曆誤差是 GPS 定位中主要的誤差之一，卻也是最難處理的部份。

對單點定位(single point positioning)而言，衛星坐標之誤差將會直接影響定位之精度。但對相對定位(relative positioning)而言，衛星之軌道誤差將會與基線(baseline)之長度有一簡單之關係式[Wells et al, 1986]，亦即

$$\frac{dr}{\rho} \cong \frac{db}{B} \quad (7)$$

其中

- dr 是衛星之軌道誤差，
- db 是對應於 dr 之基線誤差，
- ρ 是衛星至接收儀之間的距離，
- B 是基線之長度。

經由(7)式之關係，由衛星軌道誤差所導致的基線誤差即可近似的加以推估。

就目前而言，可提供 GPS 資料處理之衛星軌道資訊，概可分為廣播星曆(broadcast ephemeris)及精密星曆(precise ephemeris)兩種。由於軌道預估之不定性，因此即時性廣播星曆所提供衛星位置之 2-3 m 精度，便往往較由 GPS 追蹤站觀測資料經後處理推算之精密星曆為差，這也就是高精度 GPS 定位不像導航定位一般可以使用廣播星曆而必須採用後處理精密星曆之原因。隨著 GPS 全球觀測網分佈與運作的愈來愈理想，以及衛星軌道計算模式的愈來愈成熟，導致其 GPS 精密星曆之衛星軌道精度已從 1992 年之 1-2m 到 1994 年之 10-20cm[Beutler et al, 1994]，乃至於目前 1997 年的 5-10cm 等級[Neilan et al, 1997]。對於一般之測量定位應用而言，精密星曆之精度已足數所需，惟對部份區域性尺度之高精度 GPS 定位應用而言，軌道精進(orbit improvement)之作法仍時有所用[張嘉強, 1996]。

4.2 傳播誤差之效應

由於 GPS 觀測儀器以及資料處理之模式在近年來皆有長足之進步與優異之表現，因此其定位精度之標準亦有相當程度之提昇。有鑒於 GPS 衛星傳送之訊號在穿透大氣層而被地表面上接收儀所接收到之過程中，該訊號都會受到大氣自然現象之影響而造成 GPS 訊號之折曲及延遲。因此，包括 GPS 定位在內的大多數太空大地測量技術為獲取較高精度之成果，皆需在其觀測量之處理上考量並解決這類之大氣折射誤差。

一般而言，電波訊號受到大氣現象延遲之影響，其位於太空中之電波源在傳播訊號至地面接收器時，大氣之延遲量會與真實傳播路徑上之折射率有關。該延遲量一般可用折射量(N)來加以表示，亦即

$$N = (n - 1) \times 10^6 \quad (8)$$

其中 n 是大氣中具有變化特性之折射率。

受到此一傳播延遲量之影響，電波訊號所衍生之路徑增長量(ΔS)即可表示為

$$\Delta S = 10^{-6} \times \int_s N ds \quad (9)$$

由式中可看出，如欲決定大氣當中的傳播延遲量，則需瞭解電波傳遞路徑上折射量之積分值。然而一般相信，折射量之估測過程並非十分容易，這是因為大氣中的壓力、溫度以及相對濕度等參數經常產生變化之緣故。

大氣傳播媒介對所有頻率的電波訊號都會有所影響，也都會造成該訊號於抵達地表面時出現時間延遲之折射效應。對 GPS 訊號而言，影響其傳播之大氣媒介主要可分為電離層(Ionosphere)與對流層(Troposphere)兩個部分。其中，電離層位於上層，其存在於離地表面大約 100 到 1000 公里之範圍，當中的分子組成包含許多之自由電子；對流層則存在於電離層之下方，涵蓋範圍是從地表面到高度大約 50 公里之地方，也就是一般經常產生氣象變化之區域。現即分別針對電離層與對流層兩個部分之誤差現象進行說明。

(1) 電離層

GPS 訊號受到電離層之非線性散射效應之影響，而會與其中的全電子含量(TEC , total electron content)成正比，該量在衛星至接收儀路徑上的變化一

般從夜晚之 0.5×10^{17} electrons/m² 到白日的 5.0×10^{17} electrons/m²。電離層之時間延遲量可用一階式來表示

$$\Delta t = \frac{40.3}{cf^2} TEC \quad (10)$$

其中的 c 表真空中的光速， f 表波之頻率， Δt 則為電離層以秒為單位之群體延遲量(group delay)。

對天頂向之觀測而言，電離層時間延遲量之大小以 P 電碼觀測量為例，在夜晚之中緯度地區約可達 10 ns (nano seconds)，但卻在白日的地磁赤道及極區約高達 100 ns，此一等級之效應相當於幾公尺到幾十公尺之路徑長度變化。該效應並會隨磁暴(magnetic storms)之發生以及太陽黑子 11 年的週期有所關連 [Dixon, 1991]。

由(3-10)式可知，電離層之時間延遲量會與頻率之平方成反比，而 L1 與 L2 之雙頻 GPS 訊號在抵達時之時間差 dt ，依理論會是僅由電離層所造成之現象，因此雙頻 GPS 訊號群體延遲量之差可表為

$$dt = \Delta t_{L1} - \Delta t_{L2} \quad (11)$$

也因此一個等於 $(40.3 \times TEC/c)$ 之常數 A 即可用來計算群體延遲量，亦即

$$A = dt \left(\frac{f_{L1}^2 f_{L2}^2}{f_{L2}^2 - f_{L1}^2} \right) \quad (12)$$

由以上之特性可知，在電離層之內，其散射特性所造成之一階電離層時間延遲會與電波訊號之頻率平方成反比，這也就是為何 GPS 衛星設計發射兩個不同頻率訊號之原因，由此將可經由其不同影響效應之模式化過程，予以估測電離層之折射量。對以大地測量為目的之 GPS 觀測而言，一般所慣用之雙頻接收儀便可針對所接收之雙頻 GPS 訊號，採用 L1/L2 無電離層效應之載波相位觀測線性組合量 (ionosphericly free observable) 來有效進行消除電離層延遲誤差之處理。

對較大範圍之區域網形而言，雙頻接收儀之使用方可使基線之誤差保持在 0.5 ppm 以下 [Dodson et al, 1993]，但單頻之接收儀由於經濟因素之考量，亦往往在短基線之某些應用上加以採用，因為此時基線兩端不同之電離層效應是可以忽略的。

(2) 對流層

對流層的狀況則與電離層有所不同，這是因為對流層對於頻率在 30GHz 以下的電波訊號並不會造成散射之現象，也因此對 GPS 的 L1 與 L2 雙頻訊號而言，其受對流層延遲效應之影響量將會相等，這也就導致類似電離層效應之誤差處理模式將無法用來有效消除 GPS 雙頻觀測量之對流層延遲誤差。在此條件下，對流層延遲量之估測便需依靠若干大氣模式的配合予以進行。

對流層延遲誤差之處理，當可藉由電波訊號路徑上大氣折射之模式化著手，其方式可以表示如下

$$N = 77.642(P/T) - 12.92(e/T) + 371900(e/T^2) \quad (13)$$

式中，P 是氣壓(mbar)，T 是絕對溫度(°K)，e 則是水蒸氣偏壓(mbar)。而此處之折射量 N 常可視為其乾量(N_d)與濕量(N_w)之總和，亦即： $N_d = 77.642(P/T)$ ， $N_w = -12.92(e/T) + 371900(e/T^2)$ 。

在對流層折射量當中，乾量之影響佔全部對流層折射量之 90%，其對海平面高度上所造成在天頂方向之延遲誤差一般可達 200-230 公分，該量在其它高度角(θ)之影響量則概略以 $\text{CSC}(\theta)$ 之函數下降。對溼量之影響而言，其量雖然較小，但由於水蒸氣偏壓(e)會沿電波訊號之路徑而改變，故對流層之溼量影響也就較難予以準確的估測。

對流層之延遲誤差主要會影響 GPS 高程分量之精度[Brunner and Welsh, 1993]，為求提昇其定位精度，通常可在 GPS 處理軟體中採用一個標準之大氣模式來估測測站天頂向之對流層延遲量，隨後並採用一投影函數(mapping function)將該量化算至衛星高度處，其後則可在最小二乘法之平差過程中引入一個尺度因子(scale factor)，並藉該參數之解算來吸收對流層延遲推估量之殘餘誤差。

4.3 SA 及 A-S 效應

有鑒於 GPS 特別在即時定位上的優異表現，美國國防部為避免非友善國家所研製武器系統之性能獲得提昇，於是採取了控制衛星訊號的動作[McNeff, 1989]，不巧的是，這類控制的動作也就同時降低了 GPS 民用者的定位精度。這

種所引入的人為誤差分為兩項，一為 SA (Selective Availability) 另一則為 A-S (Anti-Spoofing)。

(1) SA (Selective Availability)

SA 之運作係將廣播之衛星軌道參數的精度予以降低(ϵ -process)，同時抖動(dithering)衛星時錶的頻率(δ -process) [Georgiadou and Doucet, 1990]。由於 SA 效應已全面的運作，因此利用 C/A 電碼進行即時定位的精度，就會從原先平面坐標分量精度的設計值 20 m 大幅降至 100 m，而原先 30 m 之高程坐標分量的設計精度亦大幅降至 156 m。

由於相對定位是採用兩部接收儀在基線的兩端進行共同觀測，因此大部份的 SA 誤差即可加以消除，在此條件下，差分之載波相位資料以及精密星曆的使用，將可滿足高精度 GPS 大地定位之需求。

(2) A-S (Anti-Spoofing)

A-S 是另外一種避免 GPS 使用者獲取 L1 及 L2 上所調制 P 電碼資料之技術，當其效應開啟時，P 電碼會加上一個加譯之 W 碼而成為一個 Y 碼，在此情況下，僅有美軍、盟國部隊以及特別授權之民用者才能透過解碼裝置接收到 Y 電碼之資料。

A-S 效應對高精度 GPS 大地定位之影響甚巨，因為 P 電碼的限制使用將無法用來獲取 L2 之載波相位。然而對新一代的大地型 GPS 接收儀，其皆已採用四種基本技術中的一項，以克服 A-S 效應來重獲 L2 之載波相位，這四種基本技術可歸納為：平方法(squaring)、交互相關法(cross-correlation)、電碼相關平方法(code-correlation squaring)以及 P-W 電碼追蹤法(P-W code tracking) [Ashtech Inc, 1992]。

4.4 天線相位中心變化

所謂天線的相位中心是指無線電波信號於量測時所對應之一點。一般而言，GPS 天線之相位中心並不與天線之物理中心相一致，也可能與製造廠所提供之中心點不同。由天線相位中心所導致的兩個效應問題包括相位中心之平均偏移

(mean offset)及其變化量(variation)。對高精度 GPS 測量而言，一組定義良好的天線相位中心(包括平均偏移及仰角相關變化量之提供)是必備的資料。

由於天線相位中心之平均偏移量或許會與製造廠所提供之率定值有所不同，因此該偏移量亦可在實驗室之環境中，將天線予以旋轉並記錄其相位形式(pattern)之實驗法加以近似測定。由此類之測試已證實，任一天線相位中心與製造廠所公佈之值或可達到 8 mm 差異之可能[Braun et al, 1994]。

在天線相位中心之變化量方面，由於許多的測試已經證明，相位中心變化量的改正不當將會造成 2 到 10 cm 的高程值變化[Larson, 1994]，因此該項改正已成為影響高精度 GPS 測量(尤其在高程方向之成果上)的一個主要限制因素。

由於不同的 GPS 天線有其各自不同的相位中心效應，因此這些差異情形必須在進行高精度 GPS 測量時加以考慮。尤其當 GPS 觀測混合採用不同型式之天線時，此一效應之改正更須加以注意及採行[Schupler and Clark, 1991]。

對大多數的 GPS 資料處理軟體而言，天線相位中心變化之改正已針對較廣泛被採用之天線型式(如 Trimble, Rogue 及 Ashtech 之產品)內定有改正之模式。當某一測站之某種型式天線被告知時，其天線相位中心變化量之效應即可在處理軟體中加以決定並予以改正。

§5 GPS 相對定位

相對定位通常用來決定一待求點相應於一已知點之坐標，經由所謂基線兩端測站之共同觀測，兩點間之坐標差即可獲得。當採用相對定位之作法時，諸如衛星錶差、接收儀錶差、衛星軌道誤差以及大氣傳播誤差等 GPS 之誤差來源，即可在差分模式之運作下將誤差予以消除或降低，以精進相對位置之精度。此外，整數未定值亦可予以決定而週波脫落值也可明確的加以辨識。

5.1 大地型 GPS 接收儀

一般而言，所有較新型之大地型 GPS 接收儀皆可利用電碼相關技術 (code correlation technique)來獲取基本的 L1 虛擬距離，因為接收儀具有對每顆衛星產生複製 C/A 電碼之能力，其內部之電碼追蹤迴路隨後會針對接收到之電碼

與複製之電碼進行比對，進而獲得時間差量，當此量乘上真空中之光速時，L1 之虛擬距離即可決定。一旦 L1 之虛擬距離以這種方式決定，則 C/A 電碼會被從訊號中加以移除，以獲取接收儀之 L1 載波相位資料。同樣原理，如果接收儀具有直接辨識 P 電碼之能力，則處理過程可延續同一作法，進而針對 P 電碼以獲取 L1 及 L2 之載波相位資料。

對雙頻接收儀而言，當 A-S 關閉時，L2 的載波相位資料可以採用諸如電碼相關之技術來獲取 P 電碼之虛擬距離以及全波長之 L2 載波相位資料。當 A-S 開啟時，獲取 L2 載波相位資料之最簡單方法是所謂的「訊號平方法」，由於將 L2 的訊號予以平方處理而可獲得兩倍於原始訊號頻率但具一常數單位振幅之訊號，接收儀再將電碼移除而獲得平方後之 L2 載波相位資料。惟 L2 虛擬距離之無法接收，以及訊號雜訊比的降低，將會影響觀測量的品質，也會造成週波脫落值編修與整數未定值求解時之困難。

另一種由 Magnavox Company 發展之技術可稱之為「電碼相關平方法」，該法認為 Y 電碼是由 P 電碼所扮成，因此該型接收儀可獲得 P 電碼之虛擬距離，並藉 L2 訊號之平方法獲得半波長之 L2 載波相位資料。

第三種由 Allen Osborne Associates Inc 所發展之技術可稱為「交互相關法」，它是認定加譯之 W 電碼會像 P 電碼一樣以相同的方式存在於 L1 及 L2 中，此外接收訊號時，L1 之訊號會比 L2 之訊號較早抵達，因此其利用 L1 訊號來獲取 Y 電碼，然後與 L2 訊號進行相關處理，此時 $(Y_2 - Y_1)$ 之虛擬距離因而獲得，當再加上 C/A 電碼之虛擬距離後，即可得到 $C/A + (Y_2 - Y_1)$ 之 L2 虛擬距離。一旦接收之 Y1 及 Y2 經相關處理，便可將其移除以獲得全波長之 L2 載波相位資料。

第四種為 Ashtech Inc 所發展的「P-W 電碼追蹤技術」，該法所根據之理論是 P 電碼與 W 電碼在 L1 與 L2 頻道中是相同的，由於已經瞭解加譯 W 電碼具有較低速率之特性，該型接收儀可進行複製 P 電碼之相關處理，進而估算出加譯 W 電碼之現行值，而有效的將 W 電碼移除後保留 P 電碼。該技術所獲取之 GPS 觀測量將會有 L1 之 C/A 電碼與 Y1 電碼之虛擬距離，L2 之 Y2 電碼虛擬距離，以及波長之 L2 載波相位資料。

5.2 差分法觀測方程式

對二個點位之共同觀測而言，載波相位之觀測量之組合可形成一次差、二次差及三次差等差分方程式，大多數的 GPS 處理軟體皆利用這些差分式來進行計算，現即說明於下。

一次差分係針對兩部接收儀 a , b 以及一顆衛星 i 進行處理。根據(6)式， a 對 i 以及 b 對 i 之相位方程式分別為

$$\phi_a^i(\tau) = \frac{f}{c} \rho_a^i(T) - f(d\tau_a(\tau) - dt^i(t)) + N_a^i + d_{am} \quad (14)$$

$$\phi_b^i(\tau) = \frac{f}{c} \rho_b^i(T) - f(d\tau_b(\tau) - dt^i(t)) + N_b^i + d_{am} \quad (15)$$

因一次差分觀測方程式之定義為

$$\phi_{ab}^i(\tau) = \phi_b^i(\tau) - \phi_a^i(\tau) \quad (16)$$

故(14)及(15)式一同代入(16)式而組成

$$\phi_{ab}^i(\tau) = \frac{f}{c} \rho_{ab}^i(T) - f d\tau_{ab}(\tau) + N_{ab}^i + d_{am} \quad (17)$$

(17)式即為最後形式之一次差分方程式。與(14)之原始相位方程式相較可知，衛星的錶差 dt 已被消去，而軌道與大氣誤差則可被減量。

二次差分係由二部接收儀 a , b 以及二顆衛星 i , j 所組成，其方程式可用兩個一次差予以定義，亦即

$$\phi_{ab}^{ij}(\tau) = \frac{f}{c} \rho_{ab}^{ij}(T) + N_{ab}^{ij} + d_{am} \quad (18)$$

其中可見，接收儀之錶差 $d\tau$ 已被消除，而軌道與大氣誤差則再次被減量。

三次差分是針對兩個相鄰時刻(1及2)之二次差分所組成，即

$$\phi_{ab}^{ij}(\tau_{12}) = \frac{f}{c} \rho_{ab}^{ij}(T_{12}) + d_{am} \quad (19)$$

(19)式之三次差分方程式中，整數未定值已被消去而含最少之誤差項，但此一組合之觀測量亦會存有較大之雜訊，惟其在週波脫落值之編修上有其使用上之價值。

對小於 10 km 之基線而言，衛星訊號對兩部接收儀在傳遞路徑上的大氣狀況可假設為相等，因此大氣模式之誤差便可在二次差分中予以消除，在此情況下，單頻機的 L1 載波相位觀測量即可足夠作為基線解算之用。

對長於 10 km 之基線而言，雙頻機的 L1/L2 觀測量必須加以使用，以計算其基線解，這是因為此時基線兩端的大氣效應量不同，因此 L1 與 L2 載波相位之組

合便成為移除電離層效應的主要方法。

5.3 平差模式

一般而言，不只是 GPS 觀測，舉凡所有的測量技術，觀測量的數目一定要比未知數的數目來得多，這才可以推估出最佳的結果。最小平方法(the least squares adjustment)是最常被採用來利用觀測量推算出未知數之方法。以下即為利用最小平方之觀念，進行靜態 GPS 資料處理之簡要過程。

針對二部 GPS 接收儀(a 與 b)以及二顆衛星(i 與 j)，所形成之一個二次差分方程式可表為

$$\phi_{ab}^{ij} = \frac{f}{c} \rho_{ab}^{ij} + N_{ab}^{ij} \quad (20)$$

展開後可得

$$\phi_{ab}^{ij} = \frac{f}{c} (\rho_b^i - \rho_a^i - \rho_b^j + \rho_a^j) + N_{ab}^{ij} \quad (21)$$

由於 a 與 b 接收儀之三維坐標是解算之目的，而其可存在於幾何距離量當中，即

$$\rho_a^i = \left[(X^i - X_a)^2 + (Y^i - Y_a)^2 + (Z^i - Z_a)^2 \right]^{1/2} \quad (22)$$

其中 (X^i, Y^i, Z^i) 表衛星 i 的坐標， (X_a, Y_a, Z_a) 表接收儀 a 的坐標。

在實際應用時，衛星 i 與 j 的坐標可由廣播或精密星曆中獲得，接收儀 a 的坐標則視為基線中的基站而予以固定為一已知值，因此未知數便僅為接收儀 b 的坐標以及 a 與 b 測站相位觀測之整數未定值。當有 p 部接收儀以及 q 顆衛星數時，最小平方法所要解算的未知數便有 $(p - 1) \times 3 + (q - 1)$ 個。

最小平方法之觀測方程式可用矩陣形式表達，亦即

$$V = AX - L \quad (23)$$

式中的 A 是未知參數的係數矩陣， X 是包含所有欲求解參數的向量矩陣， L 是包含所有觀測值減去近似計算值的向量矩陣，而 V 則是改正數矩陣。

現假設某一時刻(t)之觀測包括兩部接收儀(a 與 b)以及兩顆衛星(i 與 j)，則解算坐標及整數未定值之觀測方程式以線性化後之方式表示，其為

$$\begin{aligned}
& \alpha_{X_a}^{ij}(t)\Delta X_a + \alpha_{Y_a}^{ij}(t)\Delta Y_a + \alpha_{Z_a}^{ij}(t)\Delta Z_a + \\
& \alpha_{X_b}^{ij}(t)\Delta X_b + \alpha_{Y_b}^{ij}(t)\Delta Y_b + \alpha_{Z_b}^{ij}(t)\Delta Z_b + \alpha_{N_{ab}}^{ij}(t)\Delta N_{ab}^{ij} \\
& = [\phi_{ab}^{ij}(t) - \phi_{ab}^{ij}(t)^0] + V_{\phi_{ab}^{ij}(t)}
\end{aligned} \tag{24a}$$

由於係數(α)是由未知數偏微分所組成，其可經由觀測量與近似值之相關量加以決定，亦即

$$\begin{aligned}
\alpha_{X_a}^{ij}(t) &= \frac{\partial \phi_{ab}^{ij}(t)}{\partial X_a} = \frac{f}{c} \left[-\frac{(X^j(t) - X_a^0)}{\rho_a^j(t)^0} + \frac{(X^i(t) - X_a^0)}{\rho_a^i(t)^0} \right] \\
\alpha_{Y_a}^{ij}(t) &= \frac{\partial \phi_{ab}^{ij}(t)}{\partial Y_a} = \frac{f}{c} \left[-\frac{(Y^j(t) - Y_a^0)}{\rho_a^j(t)^0} + \frac{(Y^i(t) - Y_a^0)}{\rho_a^i(t)^0} \right] \\
\alpha_{Z_a}^{ij}(t) &= \frac{\partial \phi_{ab}^{ij}(t)}{\partial Z_a} = \frac{f}{c} \left[-\frac{(Z^j(t) - Z_a^0)}{\rho_a^j(t)^0} + \frac{(Z^i(t) - Z_a^0)}{\rho_a^i(t)^0} \right]
\end{aligned} \tag{24b}$$

$$\begin{aligned}
\alpha_{X_b}^{ij}(t) &= \frac{\partial \phi_{ab}^{ij}(t)}{\partial X_b} = \frac{f}{c} \left[-\frac{(X^j(t) - X_b^0)}{\rho_b^j(t)^0} + \frac{(X^i(t) - X_b^0)}{\rho_b^i(t)^0} \right] \\
\alpha_{Y_b}^{ij}(t) &= \frac{\partial \phi_{ab}^{ij}(t)}{\partial Y_b} = \frac{f}{c} \left[-\frac{(Y^j(t) - Y_b^0)}{\rho_b^j(t)^0} + \frac{(Y^i(t) - Y_b^0)}{\rho_b^i(t)^0} \right] \\
\alpha_{Z_b}^{ij}(t) &= \frac{\partial \phi_{ab}^{ij}(t)}{\partial Z_b} = \frac{f}{c} \left[-\frac{(Z^j(t) - Z_b^0)}{\rho_b^j(t)^0} + \frac{(Z^i(t) - Z_b^0)}{\rho_b^i(t)^0} \right]
\end{aligned} \tag{24c}$$

$$\alpha_{N_{ab}}^{ij}(t) = \frac{\partial \phi_{ab}^{ij}(t)}{\partial N_{ab}^{ij}} = 1 \tag{24d}$$

以上是一條基線兩端測站之例子，由於其中一站(如接收儀 a)之坐標必須在相對定位中予以固定，因此未知數的數目即可減少，(24a)式之左側亦可予以簡化。

現假設基線解中包含四顆衛星(i, j, k, l)及二個觀測時刻(t_1, t_2)，則觀測方程式之矩陣式即為

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_{X_b}^{ij}(t_1) & \alpha_{Y_b}^{ij}(t_1) & \alpha_{Z_b}^{ij}(t_1) & 1 & 0 & 0 \\ \alpha_{X_b}^{ik}(t_1) & \alpha_{Y_b}^{ik}(t_1) & \alpha_{Z_b}^{ik}(t_1) & 0 & 1 & 0 \\ \alpha_{X_b}^{il}(t_1) & \alpha_{Y_b}^{il}(t_1) & \alpha_{Z_b}^{il}(t_1) & 0 & 0 & 1 \\ \alpha_{X_b}^{ij}(t_2) & \alpha_{Y_b}^{ij}(t_2) & \alpha_{Z_b}^{ij}(t_2) & 1 & 0 & 0 \\ \alpha_{X_b}^{ik}(t_2) & \alpha_{Y_b}^{ik}(t_2) & \alpha_{Z_b}^{ik}(t_2) & 0 & 1 & 0 \\ \alpha_{X_b}^{il}(t_2) & \alpha_{Y_b}^{il}(t_2) & \alpha_{Z_b}^{il}(t_2) & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{25a}$$

$$X = \begin{bmatrix} \Delta X_b \\ \Delta Y_b \\ \Delta Z_b \\ \Delta N_{ab}^{ij} \\ \Delta N_{ab}^{ik} \\ \Delta N_{ab}^{il} \end{bmatrix} \quad (25b)$$

$$L = \begin{bmatrix} \phi_{ab}^{ij}(t_1) - \phi_{ab}^{ij}(t_1)^0 \\ \phi_{ab}^{ik}(t_1) - \phi_{ab}^{ik}(t_1)^0 \\ \phi_{ab}^{il}(t_1) - \phi_{ab}^{il}(t_1)^0 \\ \phi_{ab}^{ij}(t_2) - \phi_{ab}^{ij}(t_2)^0 \\ \phi_{ab}^{ik}(t_2) - \phi_{ab}^{ik}(t_2)^0 \\ \phi_{ab}^{il}(t_2) - \phi_{ab}^{il}(t_2)^0 \end{bmatrix} \quad (25c)$$

這類二次差分之線性化觀測方程式即是計算 GPS 相對定位未知數的基本方式。

§6 基準面與高程

在大地測量的應用中，通常可考量三種的地球表面，它們分別是代標地表真實面之地形面(topography)、代表水準等位面之大地水準面(geoid)以及代表數學參考面之橢球體(ellipsoid)。

6.1 GPS 基準-WGS84

衛星測量之基準由於著重全球性大地參考系統之觀點，而與一般之區域性大地基準在定義上有所不同。一般而言，其提供之資訊包括地球之幾何形狀及基本參考框架、地球之重力場模式以及不同區域性大地系統對應至地心固定坐標系統之平均相應位置。對 GPS 之全球性應用而言，其作為基準所建立之地心系統稱為 WGS84 (World Geodetic System, 1984)。WGS84 坐標系統之原點位在地球質量中心，其 Z 軸與 BIH (Bureau International de l'Heure) 所定義之慣用地形北極 (Conventional Terrestrial Pole, CTP) 方向相平行，X 軸係與 BIH 所定義之零子午圈平面相平行之參考子午面在 CTP 赤道平面之交線方向，Y 軸則係與 X 軸垂直而在赤道面上所形成之右旋地球固定直角坐標系統[*Defense Mapping*

Agency, 1987]。

由於橢球體通常會配合一組坐標系統予以引用，以便將地球上之點位位置以慣用之地理或地心坐標之形式展現，因此WGS84所採用之橢球體相關幾何與物理常數現摘述於表1之中。其中之參數值除了第二階帶諧係數之外，大都與GRS80橢球體之相關係數相同。GRS80是IUGG所採用之最新地心橢球體[Moritz, 1980]，其與WGS84之間的微量差異僅在其幾何扁率上，這是因為WGS84所採用之第二階帶諧係數($C_{2,0}$) 在取用GRS80之地球動力因子(J_2)作數學聯繫時只截取到8位數字之結果。

表1 WGS84 參數及常數

參數及常數	符號	數值
長半徑	a	6378137±2 m
地球引力常數	GM	$(3986005±0.6) \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$
正規化之第二階帶諧 引力係數	$C_{2,0}$	$(-484.16685±0.00130) \times 10^{-6}$
地球自轉角速度	ω	$(7292115±0.1500) \times 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$
真空中之光速	C	299792458±1.2 m s^{-1}
扁率	f	1 / 298.257223563

6.2 全球地心參考框架-ITRF

近年來隨著空間定位技術的日益精進，諸如 VLBI(Very Long Baseline Interferometry)、SLR(Satellite Laser Ranging)及 GPS 等多項高精度定位之應用已需要一組定義良好之全球性坐標系統。假定不同空間定位技術所建立之各個資料組能予以綜合分析，並將各組之坐標成果資料合併形成單一之資料組，則此一包含測站坐標與地球定向參數之地形參考系統即可定義完成並視為一個大地應用所需之參考框架。目前最重要之一組參考框架係由 IERS (International Earth Rotation Service) 所提供之 ITRF (IERS Terrestrial Reference Frame)。

IERS 這個組織是由 IAU (International Astronomical Union) 與 IUGG 在 1987 年所聯合建立的，並在 1988 年初開始運作。在定義 ITRF 時是採用一組基

本測站所組成之全球網，該類測站之坐標值則必須採用最精確之空間定位技術予以良好之測定。在考慮點位會受地殼變動之影響而產生坐標改變之現象，ITRF 除透過一組地面測站坐標值之公佈外，測站坐標變化之速度場量亦會加以提供。

目前所使用之一組 ITRF 系列稱為 ITRF94，其中各測站分類成 A、B、C 三個等級分別提供其在 1993.00 時刻之坐標及其相應之速度場。定義 ITRF94 之全球測站則係分別採用 VLBI、SLR、DORIS 及 GPS 所進行觀測之坐標成果資料。ITRF94 所依據之基準則係採用下述之定義 [Boucher et al, 1996]：

- 其原點是 SLR 與 GPS 成果資料之加權平均；
- 其尺度是 VLBI、SLR 與 GPS 成果資料之加權平均；
- 其方位與 ITRF92 在 1988.0 之時刻相一致；
- 其隨時間之變量與 NNR-NUVEL1A 之地球物理模式相一致。

ITRF 與 GPS 之互動關係自 1992 年 IGS(International GPS Service for Geodynamics)開始運作後變得日益密切。透過互相之合作，ITRF 可以利用 IGS 公佈之全球 GPS 測站之連續追蹤資料，而 IGS 分析中心亦可採用 ITRF 所公佈之坐標進行 GPS 之軌道計算 [Boucher and Altamimi, 1996]。現階段在利用 GPS 進行高精度之定位應用時，由於 GPS 必須要能夠提供公分級之全球性測站坐標資料，因此 ITRF 坐標參考框架之採用便顯示出其優異性與必然性。

6.3 GPS 測高

高程的定義通常是由一參考面向上量測之線量距離，在傳統之大地測量中，代表高程之正高(orthometric height)係採用水準測量，從近似大地水準面之平均海面(mean sea level, MSL)起算而量得。以大地水準面為基準之正高，因其可由大地位數(geopotential number)加以定義而具有物理上的意義 [Heiskanen and Moritz, 1984]，即

$$C = W_0 - W = \int_0^H g dH \quad (26)$$

式中

- C 表大地位數，
- W 表地面點之重力位，
- W_0 表大地水準面之重力位，
- g 表觀測之重力值，
- dH 表各段之高差值。

而正高(H)之定義則為

$$H = \frac{C}{\bar{g}} \quad (27)$$

其中 \bar{g} 是大地水準面至地面點之間沿垂線(plumb line)上之重力平均值。

近年來隨著 GPS 之發展，以橢球面為基準之橢球高(ellipsoidal height)也常被加以應用，這是因為 GPS 定位所決定之地面點三維直角坐標，可以轉換為參考橢球體(如 WGS84)上大地坐標之緣故。橢球高是一種幾何高度，它表示從參考之橢球面沿法線(normal line)量至地面點之高度距離量。

橢球高(h)與正高(H)之差稱為大地水準面高(geoidal height)或是大地起伏(geoidal undulation)，通常以 N 表示(如圖 2)，兩者間之近似關係為

$$H = h - N \quad (28)$$

以全球觀點來看，相應於一個最密切參考橢球體上之大地起伏值約為 ± 100 m 之等級[Schwarz and Sideris, 1993]。

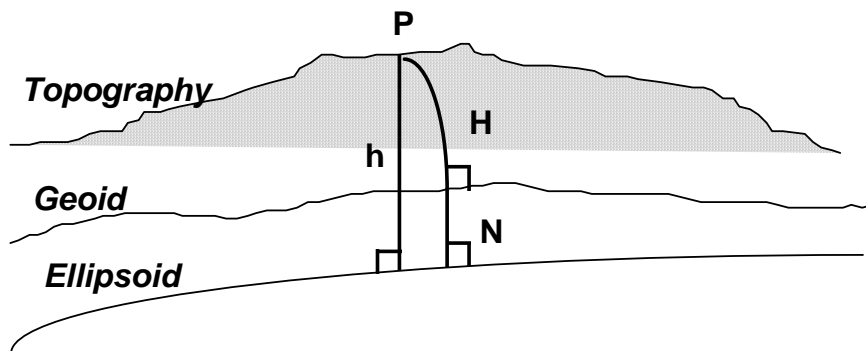


圖 2 大地起伏之定義

以 GPS 之觀點而言，一旦大地起伏值之決定可達足夠之精度，則 GPS 測高(GPS

heighting)之作法，將可輕易的透過 GPS 測定之橢球高轉換為正高的過程而予以達成。以長距離之高程測定而言，GPS 測高之優點除了 GPS 定位之野外作業較傳統水準測量便利外，GPS 所決定兩點間橢球高差之精度亦較水準測量所得之正高差為佳。惟一要解決的問題即為高程系統轉換所需之大地起伏值，其目前所能提供之精度與水準測高之誤差相比仍嫌過高，這是猶待努力之課題[Zilkoski et al, 1992]。

由於 GPS 定位與計算大地起伏值之精度受限之緣故，相對性的 GPS 測高模式即可加以考量，期望經由差分模式之運作，來決定短距離內二個測站間的精密高差值，其方法為

$$\Delta H = \Delta h - \Delta N \quad (29)$$

或者表為

$$H_2 - H_1 = (h_2 - h_1) - (N_2 - N_1) \quad (30)$$

事實上， Δh 可從 GPS 之差分模式中獲得， ΔN 則需靠重力法大地水準面模式加以計算獲得。此時由於零階項大地起伏值之主要誤差已不存在，而決定 N 之其它誤差亦可有效減小，因此對於短距離所決定之 ΔH 會有比較高的精度[Rapp and Balasubramania, 1992]。

當採用 GPS 來作地層垂直變動之監測時，所直接測定之高程為其橢球高，但同一點位利用不同時刻之 GPS 量測高程進行比較時，橢球高之變化量即可獲得，事實上，假定小區域內的大地水準面在監測時段內的本身變化為一常數，則橢球高之變化量即可視為正高之變化量。由此可知，高精度之 GPS 橢球高程在進行垂直變動之監測時，並不需要任何大地水準面資料之提供。

§7 GPS 之國際地球動力服務-IGS

過去幾年來，由於 GPS 在區域性及全球性的地球研究上扮演了成功且重要的角色，因此在各相關應用的領域上便有成立一個共同性服務組織的必要，其主要目的在於提昇 GPS 資料獲取及分析的國際標準，同時建立並運作一個全面性與多功能的全球追蹤網。

在歷經稱為 Epoch'92 的三個月觀測任務，以及 IGS (International GPS Service for Geodynamics)於 1992 年規劃的先導任務之試驗後，其結果證明 GPS

的確是一個進行大地測量與地球動力學持續性研究之極佳工具[Beutler, 1993]。也因此，由 IAG (International Association of Geodesy)所成立的國際 IGS 服務組織便自 1994 年 1 月 1 日起正式運作，以支持 GPS 技術所從事與大地測量及地球物理研究有關之各項科學活動

所有 IGS 組織之參與單位可依其功能之不同而分成不同類別，例如「資料獲取網站」(觀測站組成)、「資料中心」(擔任運作中心、區域中心、網系中心及資料管理之協調等工作)、「分析中心」(擔任處理中心、評估中心及分析中心之協調等工作)、「中央本部」(擔任活動規劃、成果評估及資訊分送等工作)[Mueller, 1991]。

目前組成 IGS 之觀測網站約有 150 個分佈於全球之 GPS 測站，分析中心則擔任例行性計算及公佈 IGS 成果之工作，其成果包括 GPS 精密衛星軌道精(精密星曆)、地球旋轉參數、IGS 追蹤站之坐標與位移速度、GPS 衛星及接收儀時錶資料以及電離層資料等。

IGS 成果之精度多年來日益提昇，以軌道精度為例，已從早期的 1-2 m 精度至目前的 5-10 cm 之精度。此外，IGS 每年解算各測站之坐標與位移速度場量本係架構在 ITRF 之上，而定義 ITRF 之組織 IERS 亦採用每年之 GPS 成果，經與其它太空定位技術之成果混合計算後，成為定義 ITRF 之資料來源。

§8 台灣地區新的國家級坐標系統

台灣地區原採行之虎子山大地基準係採用傳統之大地測量技術，其坐標則化算至 1967 年大地參考系統(Geodetic Reference System 1967, GRS67)之橢球體上，且並未適用於金門、馬祖等離島地區，使用及管理上都造成不便，如能採用 GPS 衛星定位技術當可克服此一問題，進而將台灣本島與離島地區納入統一之坐標系統之中。此外，由於 GPS 目前已廣泛被採用在各項測量工作中，當點位之坐標展現在其 WGS84 之坐標系統中時，便會造成同一點位在現行台灣虎子山坐標系統中有偏大之差異量出現，這對目前以 GPS 定位資料進行各項應用時，便會造成使用上之許多不便。

因此，台灣及離島地區利用 GPS 觀測量以重新定義一組惟一之全國性坐標參考系統實為趨勢。況且 IERS 在最近召開的一次研討會議中，亦鼓勵各國相關主

管單位在 ITRF 之架構上建立其精密之全國性大地基準，以利區域性與全球性各項國際研究之推動 [IERS, 1996]。相信在台灣地區大地基準重新定義完成後，其當可滿足在全球性觀點考量下所需之地心參考系統。當然，一個諸如 GRS80 之地心橢球體仍需加以選定，以使 GPS 所測定之 ITRF 直角坐標與大地測量應用所慣用之曲面大地坐標能夠互相聯繫。

綜言之，GPS 衛星定位技術在高度發展下，其應用已足敷高精度大地控制測量標準之要求。基於現況中的台灣地區三角點檢測成果沿用至今已近廿年，其三角點之位址及其坐標成果之精度早已受到各種人為及天然因素的影響，而造成當前各級控制測量上之不敷所需，故配合國家整體發展之需要，內政部已決定採用 GPS 衛星定位技術，以建立一個全新架構下，包含 105 個一等及 617 個二等衛星控制點之台灣地區基本控制點 [曾清涼, 1997]。在此一基本控制網系建立後，後續於較小區域內所進行之各項大地及工程測量應用，即可次第推展。

在考量採用 GPS 衛星定位技術以建立一個新的國家級坐標系統時，不論在研擬訂定之過程中，亦或在測量之觀測方法上、數據之處理上，成果之精度上、以及未來各項應用之配合上，GPS 皆具有顯著之特色表現。一般而言，GPS 在訂定新的坐標系統時，其所涵蓋之優點可歸納為以下幾點：

1. GPS 衛星定位測量具有高精度定位，野外作業便利，避免通視與天候影響，高度電腦化數據資料處理，高可靠度成果等作業上之特點；
2. GPS 定位可將控制點在平面及高程分量上之三維坐標，同時測定並定義在一個適當選取之參考系統中；
3. 控制網系中一組點位的三維坐標，已在涵義上隱含有特定之三軸定向、尺度大小以及原點位置等，在傳統上用來定義一個基準面所需建立各項參數之概念；
4. GPS 定位可將台灣本島與離島地區，共同納編到一個統一的坐標系統當中；
5. 不同應用所需之點位直角與曲面三維坐標，可經由簡單之數學轉換過程進行雙向之轉換；
6. GPS 定位成果可滿足在全球性觀點考量下所建立之地心參考系統，並可有利於全球性各類相關研究與應用之推動；
7. GPS 之作業方法與坐標成果可供後續由局部性、區域性到全球性等各個不

同規模之定位測量使用。

基於上述所顯示 GPS 衛星定位技術在建立坐標系統層面上之各個觀點與其優點，一個訂定台灣地區新的坐標系統之方法，將可採用以下所研擬之架構予以逐年進行完成：

1. 建立由 8 個 GPS 衛星追蹤站、105 個一等衛星控制點以及 617 個二等衛星控制點所組成之地心地固坐標參考框架；
2. 全面採行 GPS 載波相位靜態相對定位之網形觀測型態，以測定各級控制點位之高精度三維地心直角坐標值；
3. 控制網形平差計算之基準採用 ITRF94 (1994 年國際地形參考框架)，由此定義之台閩地區坐標系統稱為「1997 台灣大地基準」，簡稱 TWD97 (*Taiwan Datum 1997*)；
4. 三維直角坐標轉換至曲面大地坐標所引用之橢球體，採用 GRS80 (1980 年國際大地參考系統)；
5. 平面縱橫坐標採用「橫麥卡托圓柱投影」之 2°分帶方式，取中央經線 121°E 及 119°E 分別劃分台灣本島及澎湖群島、金門、馬祖等地區，而歸屬於各該 2°TM 投影帶內之衛星控制點，則分別計算得其 N、E 坐標值。