

GPS精密單點定位在地籍測量之應用

林老生*

論文收件日期：97年7月29日

論文接受日期：97年10月3日

摘 要

利用IGS提供或自行計算的GPS衛星的精密星曆和時鐘差，使用者利用單一台的GPS雙頻接收機的觀測數據（含非差分的虛擬距離與載波相位觀測量），在全球任意位置都可以實現即時的或後級處理的高精度定位，此一定位方法稱為精密單點定位（precise point positioning，PPP）。在精密單點定位中，一般採用雙頻無電離層組合（L3）虛擬距離與載波相位觀測方程式，由於GPS衛星的精密星曆和時鐘差已知，因此，每一測站待估計的參數只剩：測站坐標（X，Y，Z）、接收機時鐘差、L3載波相位的週波未定值以及天頂方向的對流層延遲等。根據國內外研究結果顯示，PPP所求的點位精度似乎可與相對定位的點位精度相比擬，然而，為了未來能將此定位方式有效應用於地籍測量，那麼與PPP點位精度有關的課題，如精密星曆的種類、GPS資料蒐集時間長短等仍需進一步研究。因此，本文將以台灣地區5個衛星追蹤站約180天的GPS資料以及台灣西部地區24個GPS測站1天的資料，探討以PPP在地籍測量應用的有關課題。

關鍵詞：全球定位系統、精密單點定位、精密星曆

* 副教授，國立政治大學地政學系，TEL：(02)29393091#51555，E-mail：lslin@nccu.edu.tw

Application of GPS Precise Point Positioning to Cadastral Surveying

Lao-Sheng Lin*

Abstract

Precise point positioning (PPP), based on un-differenced dual frequency GPS carrier phase observations, is a relatively new data processing technique for high accuracy static/kinematic GPS applications. PPP is a method that performs precise position determination using a single GPS receiver. This position technique arose from the advent of widely available precise GPS orbit and clock data products with centimeter accuracy. Combining precise satellite positions and clocks with a dual frequency GPS receiver (to remove the first order effect of the ionosphere), PPP is able to provide position solutions at centimeter to decimeter level, which is appealing to many applications such as cadastral surveying.

In this paper, issues relating to the application of PPP to cadastral surveying on different cadastral regions are studied, such as the initialization time for kinematic PPP, the achieved accuracies using the varied IGS precise orbit and clock products, etc. In order to evaluate the accuracies of applying PPP to cadastral surveying, a suite of approximately 180 days data of 5 satellite tracking stations of Taiwan region, are treated as test data. The PPP algorithm and the detailed test results will be presented in this paper.

Keywords: Global Positioning System, Precise Point Positioning, Precise Orbit

* Associate Professor, Department of Land Economics, National Chengchi University.
TEL : (02)29393091#51555 , E-mail : lslin@nccu.edu.tw

一、前言

利用IGS (international GNSS (global navigation satellite system) service) 提供或自行計算的全球定位系統 (global positioning system, GPS) 衛星的精密軌道 (星曆) 和時鐘差, 使用者只需要利用1台的GPS雙頻接收機的觀測數據 (含非差分的虛擬距離與載波相位觀測量), 在全球任意位置都可以實現即時的或後級處理的高精度定位, 這種定位方法稱為精密單點定位 (precise point positioning, PPP) (如 Heroux and Kouba, 2001; Kouba and Heroux, 2001; 李征航、吳秀娟, 2002a; 李征航、吳秀娟, 2002b; 詹長根、彭琳、胡凱, 2005)。在精密單點定位中, 一般由非差分的虛擬距離與載波相位觀測量, 組成雙頻無電離層組合 (L3) 的虛擬距離與載波相位觀測方程式, 由於GPS衛星的精密軌道和時鐘差已知, 因此, 每一測站待估計的參數包含測站站標、接收機時鐘差、L3載波相位的週波未定值 (模糊度) 以及天頂方向的對流層延遲等。根據有關研究結果顯示, 靜態的PPP的點位精度達cm等級; 動態的PPP的點位精度達cm至dm等級。

有關對PPP的研究成果主要有: (1) 在靜態PPP的點位精度實驗方面: 有Gao and Chen (2004) 用IGS之ALGO站1天的GPS資料實驗, 得到靜態PPP的點位精度在縱坐標 (N)、橫坐標 (E)、橢球高 (h) 的偏差為0.8cm、0.3cm、0.0cm; 標準差為0.3cm、0.9cm、0.7cm。Heroux and Kouba (2001) 和Kouba and Heroux (2001) 利用IGS 40個追蹤站7天的GPS資料實驗, 得到如果利用連續2-3小時的GPS資料處理, 則靜態PPP的點位精度可達cm等級; 而且, 每日PPP點位坐標的變化量小於2cm。Ovstedal et al. (2006) 的靜態PPP實驗, 將GPS資料的觀測時間分為24小時、6小時、1小時處理, 則對應的平面精度分別為1cm、2cm、5cm; 高程精度分別為2cm、4cm、10cm。Satirapod and Homniam (2006) 利用6天的GPS資料實驗, 將時間段 (session) 設定為15分鐘, 總共有576 時間段的資料需處理, 得到靜態PPP的點位精度, 在平面與高程的標準差分別為0.95m、1.48m。(2) 在動態PPP的點位精度實驗方面: Ovstedal et al. (2006) 的動態PPP實驗, GPS資料的觀測時間分為24小時、6小時、1小時處理, 則平面精度分別為3cm、3cm、15cm; 高程精度分別為4cm、5cm、20cm。張小紅 (2006) 用約4小時的空載GPS資料作動態PPP實驗, 得到實驗結果為: (a) PPP的內符合精度分析, 三度空間的標準差值均小於2.5cm; (b) PPP與相對定位解 (外符合精度分析) 的比較: 平面與高程的平均偏差分別為5.03cm和-7.9cm; 平面與高程的標準差分別為5.03cm和7.2cm; (c) PPP與已知坐標的比較: 平面與高程的平均偏差分別為2.23cm和-1.3cm; 平

面與高程的標準差分別為1.72cm和2.9cm。(3)在PPP的定位模型研究方面：有吳江飛、黃城(2008)討論了PPP中的3種常用模型，含傳統模型、UofC(university of calgary)模型和無模糊度模型；實驗結果顯示，3種模型在精度和實時性方面各有優點，應用中應根據具體情況進行選擇。(4)在PPP的隨機模型研究方面：有Satirapod and Luansang(2008)研究3種PPP的隨機模型，含等權觀測、按照GPS衛星之高程角給權、用MINQUE(minimum norm quadratic unbiased estimation)給權。6天的GPS資料實驗，將時間段分為5分、10分、15分、30分，並分別用上述3種的隨機模型來實施PPP計算，實驗結果顯示以採用MINQUE給權的精度較好。

由以上文獻回顧，可見利用精密單點定位(PPP)所求的點位精度似乎可與相對定位的點位精度相比擬，然而，為了未來能將此定位方式有效應用於地籍測量，那麼與PPP點位精度有關的課題，如精密星曆的種類、GPS資料蒐集時間長短等仍需進一步研究。因此，本文將以台灣地區5個衛星追蹤站約180天的GPS資料以及台灣西部地區24個GPS測站1天的資料，探討以PPP在地籍測量應用的有關課題：

(1) PPP單日解精度的重複性，(2)以PPP求解的點位坐標與利用相對定位求解的點位坐標比較，(3)不同等級的IGS精密星曆對PPP求解點位坐標的影響，及(4)不同時間段的GPS資料對PPP求解點位坐標的影響。

二、精密單點定位原理

(一) 精密單點定位與相對定位

相對定位(relative positioning)，顧名思義就是最少需要兩部接收機，其中一部接收機，安置在參考站(reference，其坐標已知)；另外一部接收機，安置在活動站上(rover，其坐標待測)。兩部接收機，同時觀測4顆以上GPS衛星訊號，然後，透過二次差分的程序，將參考站與活動站之間共同系統誤差，如衛星時鐘差、接收機時鐘差、對流層誤差、電離層誤差等消除或減少，因此，可以獲得精確的三度空間的基線分量。由於，活動站的坐標，是相對於參考站(坐標已知)，這就是相對定位名稱的由來。

精密單點定位(PPP)與相對定位最大的區別，在於PPP必須處理衛星時鐘差與接收機時鐘差。在相對定位方面，則至少需要兩部接收機同時蒐集數顆GPS衛星觀測量，並採取二次差分方式，將衛星時鐘差與接收機時鐘差消除掉。在PPP方面，只需要一部接收機蒐集GPS衛星觀測量即可；然而，其無法利用二次差分方式

消除系統誤差。所以，為了處理衛星時鐘差，PPP採用IGS分佈全球的GPS觀測站資料求解的精密衛星時鐘差加以改正。至於接收機時鐘差方面，PPP則將其視為未知參數，以最小二乘平差法，在求解點位坐標時一併解算（有關PPP的原理將於精密單點定位的觀測方程式部分介紹）。因此，PPP只需要單一測站的GPS資料，就可以求得精密的測站點位坐標。

（二）精密單點定位與相對定位優缺點比較

PPP的優點剛好為相對定位的缺點，反之亦然。因此，兩者可為互補的角色。首先，以欲達到cm精度等級的近海石油平台監測工作為例，如果採用PPP技術，只需要單機即可獲得點位坐標（不需要參考站）。利用PPP點位坐標的時間系列分析，就可以監測石油平台。一旦發現有明顯位移現象，應可判定位移來自於石油平台。另一方面，如果使用相對定位技術，相對定位的精度隨著基線長度增加而下降；而PPP則沒有此問題，因為其不需要使用參考站的資訊。

PPP的主要缺點，在於其必須使用衛星的精密星曆和時鐘差，而這些資料無法即時獲得，大約有兩星期左右的時間延遲。當然，如果時間考量因素大於精度考量，則可以考慮採用所謂快速或超快速的衛星星曆和時鐘差。由於二次差分的作用，所以採用快速或超快速的衛星星曆和時鐘差，對於相對定位的精度影響量很小。

由於PPP定位的坐標導源於精密GPS衛星星曆，所以PPP所得的點位坐標基準與精密GPS衛星星曆基準一樣，如ITRF（international terrestrial reference frame，ITRF，國際地球參考框架）2000等。因此，如果測區之大地基準與GPS衛星星曆基準不一樣時，必須實施坐標轉換。至於相對定位的結果為相對於已知參考點的基線分量，如果已知參考點的坐標基準使用測區之大地基準，那麼，相對定位所得的活動站點位坐標基準，與參考點的坐標基準相同，所以不需要坐標轉換。

（三）精密單點定位與單點定位

精密單點定位（PPP）與單點定位（single point positioning，SPP）的區別有以下幾點。首先，SPP不使用精密衛星星曆與時鐘差，而且只使用虛擬距離觀測量。其次，PPP使用虛擬距離觀測量和精密的載波相位觀測量。在定位精度方面，SPP的定位精度在1-10m左右；而如果使用24小時的觀測量計算，PPP的定位精度可達0.01m左右。因此，PPP的定位精度可與相對定位精度相比擬。

(四) 精密單點定位的觀測方程式

GPS雙頻虛擬距離觀測量P與載波相位觀測量φ，經過無電離層線性組合後，則形成下列包含測站站標、時鐘差、對流層延遲與週波未定值等參數的觀測方程式 (Heroux and Kouba, 2001 ; Kouba and Heroux, 2001) :

$$\ell_p = \rho + c (dt - dT) + T_r + \varepsilon_p \dots\dots\dots (1)$$

$$\ell_\phi = \rho + c (dt - dT) + T_r + N\lambda + \varepsilon_\phi \dots\dots\dots (2)$$

式中， ℓ_p (m) 為L1與L2頻道之虛擬距離 P_1 與 P_2 無電離層的線性組合，即 $(2.55 P_1 - 1.55 P_2)$; ℓ_ϕ (m) 為L1與L2頻道之載波相位 ϕ_1 與 ϕ_2 無電離層的線性組合，即 $(2.55 \phi_1 - 1.55 \phi_2)$ (由於電離層效應與頻率成反比，因此，假設 $dion_1$ 與 $dion_2$ 分別代L1與L2頻道的電離層效應， f_1 與 f_2 分別代L1與L2頻道的頻率，則 $dion_2 = \frac{f_1^2}{f_2^2}dion_1$ 。由於 $f_1^2 \cdot P_1$ 與 $f_2^2 \cdot P_2$ 的電離層效應皆為 $f_1^2 \cdot Dion_1$ ，故透過觀測量的線性組合，可以將電離層效應 $f_1^2 \cdot Dion_1$ 消掉，此即為所謂的無電離層線性組合。

如方程式 (1) ，其中， $\ell_p = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}P_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}P_2 \approx 2.55P_1 - 1.55P_2$ 。同理，

$$\ell_\phi = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}\phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}\phi_2 \approx 2.55\phi_1 - 1.55\phi_2$$
 ; dt (s) 是測站時鐘差 ; dT (s) 是衛星時鐘差 ; c (m/s) 是光在真空的速度 ; T_r (m) 為中性大氣層對訊號造成的延遲 (主要是對流層延遲) ; λ (m/cycle) 為載波訊號的波長 ; N (cycle) 為載波相位無電離層的線性組合的週波未定值 (請注意 : N值已非整數) ; ε_p (m) 、 ε_ϕ (m) 分別為 P_{IF} 與 ϕ_{IF} 的量測噪聲 (含多路徑效應) 。

ρ (m) 代表測站與GPS衛星之間的幾何距離，若GPS衛星之坐標為 (X_s, Y_s, Z_s) ，測站之坐標為 (x, y, z) ，則 ρ 可按下式計算：

$$\rho = \sqrt{(X_s - x)^2 + (Y_s - y)^2 + (Z_s - z)^2} \dots\dots\dots (3)$$

假設將對流層延遲 T_r ，表示為天頂方向的延遲量zpd和映射函數 (mapping function) M的乘積。如果衛星時鐘差 (dT) 已知，那麼以下兩式則為精密單點定位 (PPP) 的簡化後的數學模式：

$$f (P) = \rho + c \cdot dt + M \cdot zpd + \varepsilon_p - \ell_p = 0 \dots\dots\dots (4)$$

$$f (\phi) = \rho + c \cdot dt + M \cdot zpd + N \cdot \lambda + \varepsilon_\phi - \ell_\phi = 0 \dots\dots\dots (5)$$

(五) 精密單點定位的平差模型

利用觀測量 l 與參數的近似值 X^0 ，將方程式(4)、(5)線性化之後，可得到下列矩陣的形式：

$$A \cdot \Delta + W - V = 0 \dots\dots\dots (6)$$

式中， A 為設計矩陣， Δ 為未知參數 X 的改正數向量， $W = f(X^0, l)$ 為閉合差向量， V 為剩餘誤差向量。

未知參數 X ，包含四種類型的未知數：測站站標 (x, y, z) 、測站時鐘差 dt 、天頂方向的對流層延遲量 zpd 和載波相位無電離層線性組合的週波未定值 N 。因此，觀測方程式對 X 偏微分後，得到下列設計矩陣 A ：

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(X, l_p)}{\partial x} & \frac{\partial f(X, l_p)}{\partial y} & \frac{\partial f(X, l_p)}{\partial z} & \frac{\partial f(X, l_p)}{\partial dt} & \frac{\partial f(X, l_p)}{\partial zpd} & \frac{\partial f(X, l_p)}{\partial N_{(j=1, nsat)}^j} \\ \frac{\partial f(X, l_\phi)}{\partial x} & \frac{\partial f(X, l_\phi)}{\partial y} & \frac{\partial f(X, l_\phi)}{\partial z} & \frac{\partial f(X, l_\phi)}{\partial dt} & \frac{\partial f(X, l_\phi)}{\partial zpd} & \frac{\partial f(X, l_\phi)}{\partial N_{(j=1, nsat)}^j} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

式中， X 向量為：

$$X^T = [x \ y \ z \ dt \ zpd \ N_{(j=1, nsat)}^j] \dots\dots\dots (8)$$

其中， $nsat$ 為觀測到的GPS衛星顆數。若觀測量 l 的權矩陣為 P_l ，參數的先驗權矩陣為 P_x ，則最小二乘法的解為：

$$\Delta = - (P_{x^0} + A^T P_l A)^{-1} (A^T P_l W) \dots\dots\dots (9)$$

所估計的參數為： $\hat{X} = X^0 + \Delta$ ，其協變方矩陣為：

$$C_{\hat{X}} = P_{\hat{X}}^{-1} = (P_{x^0} + A^T P_l A)^{-1} \dots\dots\dots (10)$$

PPP的平差模式，可採用靜態或動態平差模式。靜態平差模式，一般採用間接觀測平差方法。動態平差模式，則採用Kalman Filter等方法。

(六) 精密單點定位的改正模型

精密單點定位除了必須顧及模型中各項參數外，還需進行下列改正：天線相位中心偏差改正、地球自轉改正、固體潮改正、海潮改正等(Heroux and Kouba, 2001; Kouba and Heroux, 2001; 李征航、吳秀娟, 2002a; 李征航、吳秀娟, 2002b)。以下僅就有關改正模型概念介紹，詳細之數學方程式請參考上述文獻。

天線相位中心偏差改正：精密星曆所提供的是衛星質量中心在空間的位置，而測距時測定的是從衛星發射天線的相位中心到接收機天線相位中心之間的距離。因

此，必須對衛星質量中心與發射天線相位中心之間的偏差進行改正。同樣，接收機天線的相位中心與它的幾何中心一般也不一致。天線定心時是以幾何中心為依歸的，而定位時確定的是以天線相位中心的位置。所以定位時也必須顧及相位中心和幾何中心間的偏差。

地球自轉改正：在地心地固坐標系中進行數據處理時，還必須進行地球自轉改正。

固體潮改正：在月球和太陽的萬有引力作用下，彈性地球表面將產生週期性的變化。對精密單點定位的單日解而言，雖然週期性誤差基本上可以消除，但是殘差影響在水平方向可達5 cm，在垂直方向可達12 cm，因此必須加以改正。

海潮改正：海潮改正比固體潮要小一個等級。在精密單點定位的單日解中，其影響為mm級，當測站離海岸線大於1000 km時，其影響可略而不計。對單歷元解的影響則可達5 cm。

三、執行精密單點定位計算前的資料準備

Bernese GPS software (BSW，簡稱Bernese程式) versions 5.0 (Dach et al., 2007) 為瑞士伯恩大學的天文學院所發展的GPS處理程式，其同時具有處理相對定位與精密單點定位 (PPP) 的能力，現在就以Bernese程式執行PPP計算為例，說明執行PPP計算前所需準備的資料與資料下載網址。

接收機相位中心相位改正資料：進入Bernese程式Download BSWUSER50網頁 (Bernese Download BSWUSER50 Web Site)，在GEN目錄下載所需的大地基準DATUM、接收機型號檔RECEIVER、接收機相位中心相位改正檔案PHASE_IGSVEL等檔案。

接收機L1/L2差分延遲量：進入Bernese程式Download CODE網頁 (Bernese Download CODE Web Site)，選取年代目錄如2008年，下載所需的P1P20801.DCB (代表2008年一月份的P1P2之DCB) 與P1C10801.DCB (代表2008年一月份的P1C1之DCB) 等檔案。

精密衛星星曆、衛星時鐘差與地球自轉改正：進入IGS FTP網頁 (IGS FTP Web Site)，再根據所要下載日期計算對應的GPS週 (GPS week) 與週積日 (day of week)，然後進入GPS週目錄 (如2008年6月8日對應的GPS週為1483，週積日為0，則選擇1483目錄)，下載精密衛星星曆 (如igs14830.sp3)、衛星時鐘差 (如

igs14830.clk)與地球自轉改正(如igs14837.erp)等檔案。

請注意，IGS所提供的精密星曆資料依照其精度與提供時間的延遲量分成三等級：最終的精密星曆，以igswwwd.sp3檔名表示(其中，www表示GPS week，d表示day of week，例如2008年6月5日的GPS week為1482，day of week為4，所以該日的精密星曆檔名為 igs14824.sp3)，其精度約小於5 cm，延遲時間約為13天；快速精密星曆，以igrwwwd.sp3檔名表示(如igr14824.sp3)，其精度約為5 cm左右，延遲時間約為17小時；極快速精密星曆，以iguwwwd_hh.sp3檔名表示，(其中，hh為小時，一天分成4個時段，如00、06、12、18；如igu14824_00.sp3、igu14824_06.sp3、igu14824_12.sp3、igu14824_18.sp3)，其精度約為5 cm左右，延遲時間約為3小時。

海潮改正資料：進入Bernese程式Download BSWUSER50網頁(Bernese Download BSWUSER50 Web Site)，在STA目錄下載IGS網站的海潮改正檔案，如GOTO002.BLQ。如果測站不屬於IGS網站，則可利用OSO(Onsala space observatory)，海潮改正計算網頁(OSO Ocean Tide Loading Provider Web Site)，或是WEGENER's GEODAC(geodynamic data and analysis center)網頁(GEODAC Web Site)，輸入測站的點號與坐標，並留下個人的email地址，則經過幾分鐘之後，就可收到測站的海潮改正資料。

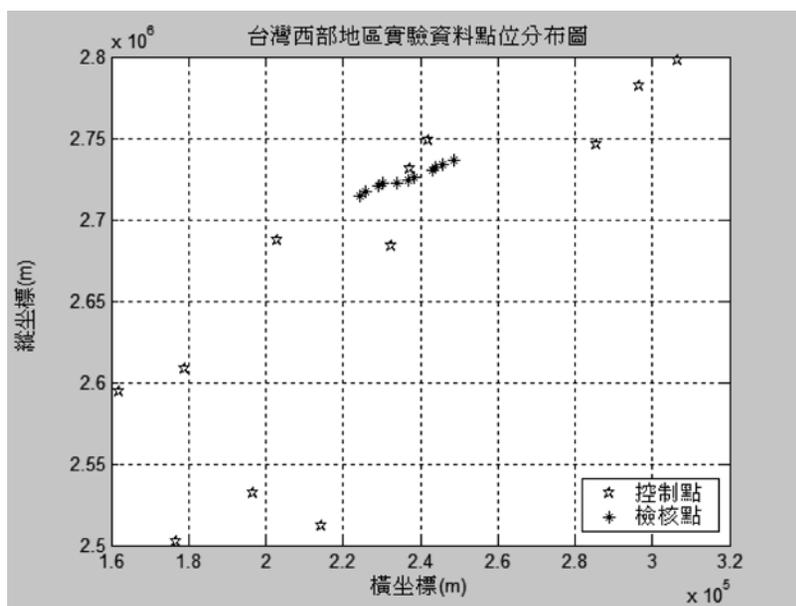
四、實驗結果與討論

(一) 實驗區資料

為了探討精密單點定位(PPP)在地籍測量上的應用，採用以下實驗區資料：1.內政部衛星測量中心所提供的台灣地區5個衛星追蹤站(分別為陽明山YMSM、北港PKGM、墾丁KDNM、太麻里TMAM與鳳林FLNM，其相關位置，如圖一所示)的GPS資料，每個追蹤站安裝一部雙頻接收機，採樣率為30秒，每天24小時觀測，資料涵蓋時間為2007年11月1日(年積日，day of year，DOY 305，2007)至2008/4/30(DOY 121，2008)，總共約180天的資料。2.台灣西部地區的24個GPS觀測站資料(其相關位置，如圖二所示)，每個觀測站皆安裝一部雙頻接收機。在這24個GPS觀測站當中的12個測站當作控制點(24小時觀測，採樣率為30秒：基線最長約250km，高程最高約502m，最低約23m)，另外12個測站當作檢核點(觀測約4小時，採樣率為5秒，基線最長約33km，高程最高約138m，最低約32m)，資料涵蓋時間為2008年2月23日(DOY 054，2008)。



圖一 台灣地區5個衛星追蹤站的位置圖



圖二 台灣西部地區的24個GPS觀測站的點位分布圖

(二) 實驗方法

本研究所使用的精密單點定位 (PPP) 軟體為Bernese GPS software (簡稱Bernese程式) versions 5.0 (Dach, et al., 2007)。除非特別說明，否則，所使用的精密星曆為IGS提供的最終的精密星曆。然後，根據第三章所介紹的方法下載每天資料處理所需要的精密星曆、衛星時鐘差等檔案，以Bernese程式計算每一測站每天或每一時間段的PPP點位坐標 (X, Y, Z)，其中，(X, Y, Z) 為ITRF2000框架下的地心地固 (earth centered earth fixed, ECEF) 直角坐標，經過七參數坐標轉換後，轉為TWD97 (Taiwan datum 1997) 框架下的直角坐標 (轉換參數可參考ITRF網頁 (ITRF Web Site) 資料)。再利用台灣地區大地基準及坐標系統轉換計算程式 (MTWDCON)，將TWD97框架下的直角坐標，轉換為台灣地區二度橫麥卡拖投影的縱橫線坐標 (N, E) 和橢球高 (h)。

在實驗資料方面，1.台灣地區5個衛星追蹤站，皆視為檢核點；2.台灣西部地區的24個GPS觀測站資料，其中的12個測站當作控制點，另外12個測站當作檢核點。檢核點的作用，是為了評估、分析PPP的點位精度。

為了評估、分析PPP的點位精度，有關參數如縱坐標差 (ΔN)、橫坐標差 (ΔE)、高程差 (Δh)、平面坐標差 (ΔP) 的定義如下：

$$\begin{aligned} \Delta N_i &= N_i^{\text{PPP}} - N_i^{\text{known}} \\ \Delta E_i &= E_i^{\text{PPP}} - E_i^{\text{known}} \\ \Delta h_i &= h_i^{\text{PPP}} - h_i^{\text{known}}, \quad i=1,2,\dots,n \quad \dots\dots\dots (11) \\ \Delta P_i &= \sqrt{\Delta E_i^2 + \Delta N_i^2} \end{aligned}$$

式中， $(N_i^{\text{known}}, E_i^{\text{known}}, h_i^{\text{known}})$ ，為檢核點*i*已知的TWD97坐標系之縱、橫線坐標與橢球高；就本研究而言，這些已知的坐標，有可能是利用相對定位方法所求的點位坐標，或是利用多日的PPP方法所求的點位坐標平均值，究竟代表何種坐標，在以下實驗結果中將會加以說明。 $(N_i^{\text{PPP}}, E_i^{\text{PPP}}, h_i^{\text{PPP}})$ ，為利用PPP方法所估計之檢核點*i*的TWD97坐標系之縱、橫線坐標與橢球高。

(三) 實驗結果與討論

1. PPP單日解精度的重複性

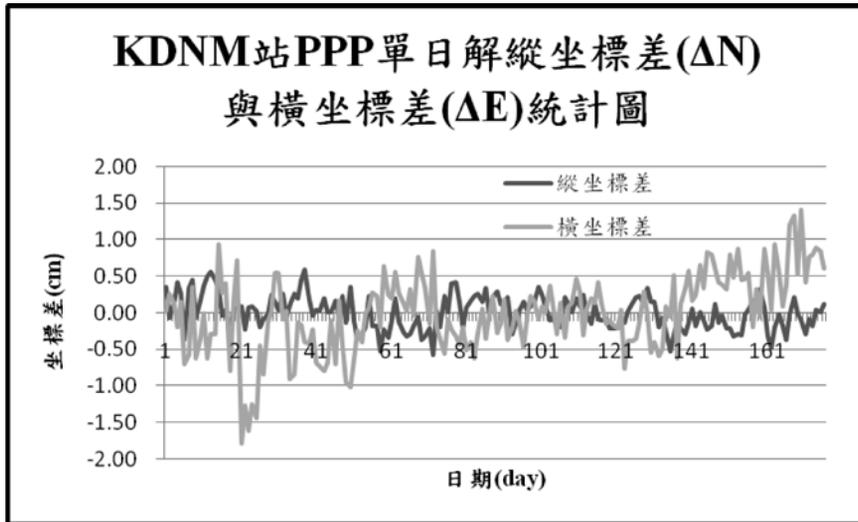
利用IGS最終的精密星曆與衛星時鐘差，以台灣地區5個衛星追蹤站180天的GPS資料，求得每一衛星追蹤站的PPP單日解 (N, E, h)。然後，計算每一衛星追蹤站180天PPP單日解的 (N, E, h) 平均值 (N_m, E_m, h_m) 。最後，以方程式

(11) 計算每一測站每天的 (N, E, h) 值與平均值 (N_m, E_m, h_m) 的差值 ($\Delta N, \Delta E, \Delta h, \Delta P$)。表一所示，為所求得PPP單日解的 ($\Delta N, \Delta E, \Delta h, \Delta P$) 統計資料；圖三與圖四所示，為 KDNM站180天的的GPS資料，求得PPP單日解 ($\Delta N, \Delta E, \Delta h, \Delta P$) 的統計圖。

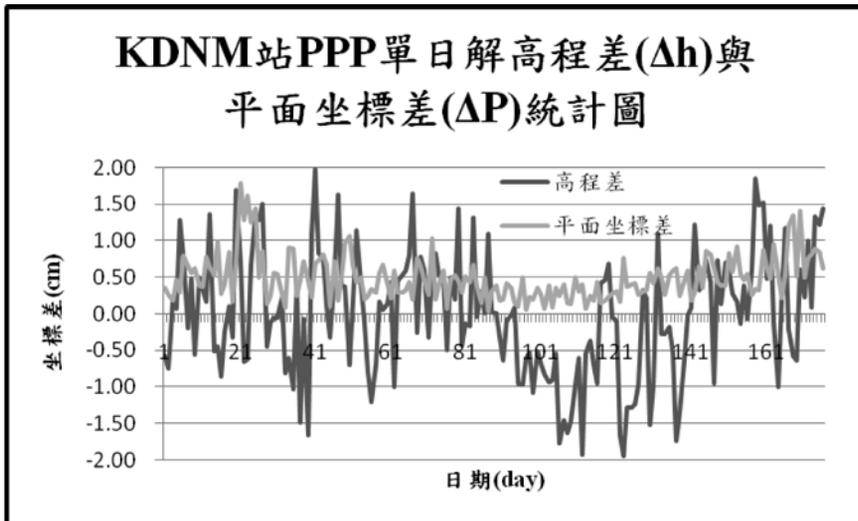
由表一與圖三、圖四的結果顯示：(1) 各站的 ΔN 、 ΔE 、 Δh 的平均值皆為0.00cm；各站的 ΔP 平均值均在1.00cm以內。(2) 利用IGS的精密星曆與衛星時鐘差，以PPP所求的點位坐標的穩定性很高， ΔP 與 Δh 的標準差範圍分別為0.31cm~0.67cm與0.82cm~1.17cm。

表一 台灣地區5個衛星追蹤站180天的GPS資料，求得每站PPP單日解的 ($\Delta N, \Delta E, \Delta h, \Delta P$) (單位：cm) 統計資料

點名	坐標差	平均值	極大值	極小值	標準差
FLNM	ΔN	0.00	0.78	-0.71	0.26
	ΔE	0.00	1.35	-1.35	0.57
	Δh	0.00	2.19	-1.88	0.82
	ΔP	0.54	1.42	0.04	0.31
KDNM	ΔN	0.00	0.59	-0.58	0.23
	ΔE	0.00	1.41	-1.79	0.54
	Δh	0.00	1.97	-1.94	0.85
	ΔP	0.50	1.79	0.04	0.31
PKGM	ΔN	0.00	0.51	-0.49	0.23
	ΔE	0.00	2.14	-2.04	1.09
	Δh	0.00	2.59	-2.16	1.17
	ΔP	0.95	2.14	0.01	0.58
TMAM	ΔN	0.00	0.56	-0.55	0.21
	ΔE	0.00	1.37	-1.51	0.55
	Δh	0.00	3.17	-1.60	0.84
	ΔP	0.49	1.55	0.03	0.31
YMSM	ΔN	0.00	2.04	-1.02	0.42
	ΔE	0.00	4.33	-3.52	1.06
	Δh	0.00	4.97	-3.00	1.02
	ΔP	0.93	4.45	0.02	0.67



圖三 KDNM站180天的GPS資料，求得PPP單日解 ΔN 與 ΔE 統計圖



圖四 KDNM站180天的GPS資料，求得PPP單日解 Δh 與 ΔP 統計圖

2. 以PPP求解的點位坐標與利用相對定位求解的點位坐標比較

上節所述為利用PPP方法所能獲得的點位坐標的內部精度，為了比較其與利用相對定位方法所求得的點位坐標的差異，以台灣地區5個衛星追蹤站2008年3月23日（DOY 083，2008）一天的GPS資料，分別利用Bernese程式、美國SOPAC（scripps orbit and permanent array center）SCOUT（scripps coordinate update tool）

之GAMIT程式 (SCOUT Web Site)、與澳洲AUSPOS之MicroCosm程式 (AUSPOS Web Site) 等相對定位程式，計算此5個衛星追蹤站的點位坐標。以上相對定位程式計算，皆採用屬於IGS網站內台灣地區的三個GPS測站，TCMS、TNML與TWTF當作參考站（其概略縱橫線坐標為：TCMS (2743402m, 248725m)、TNML (2743398m, 248720m)、TWTF (2760644m, 266611m)），進而求解5個衛星追蹤站的點位坐標 (X, Y, Z)。

由於所用的地球參考框架不同，Bernese程式與AUSPOS提供的是ITRF2000框架的坐標，SOPAC提供的是ITRF2005框架的坐標，而台灣地區所採用的是TWD97框架的坐標。因此，為了方便後續坐標比較起見，不管是以PPP方法或上述相對定位方法，所求得的所有5個追蹤站的點位坐標，皆透過坐標轉換方法轉換至TWD97參考框架（請參考第四章第二節說明），求得其對應的二度橫麥卡托投影的縱橫線坐標 (N, E) 和橢球高 (h)。然後，再計算PPP求得的坐標與利用相對定位方法求得的坐標之差異量，(ΔN , ΔE , Δh , ΔP)。表二所示，為以PPP及上述三種相對定位方法，求得5個測站的坐標差 (ΔN , ΔE , Δh , ΔP) 的統計資料。圖五所示，為PPP與GAMIT相對定位解的坐標差統計圖。

由表二與圖五的結果顯示：（1）即使皆使用相對定位方法，各程式所求得的點位坐標仍然約有2cm左右的差異（如在平面誤差 ΔP 的平均值方面，用GAMIT程式和MicroCosm程式分別為0.88cm和2.97cm）；（2）在所有坐標差的平均值方面，PPP與GAMIT程式計算結果的差異比較小，約在 ± 1.00 cm以內；PPP與Bernese程式、MicroCosm程式計算結果的差異約在 ± 3.00 cm以內；（3） ΔP 與 Δh 的標準差範圍分別為0.87cm~2.21cm與1.03cm~2.73cm。

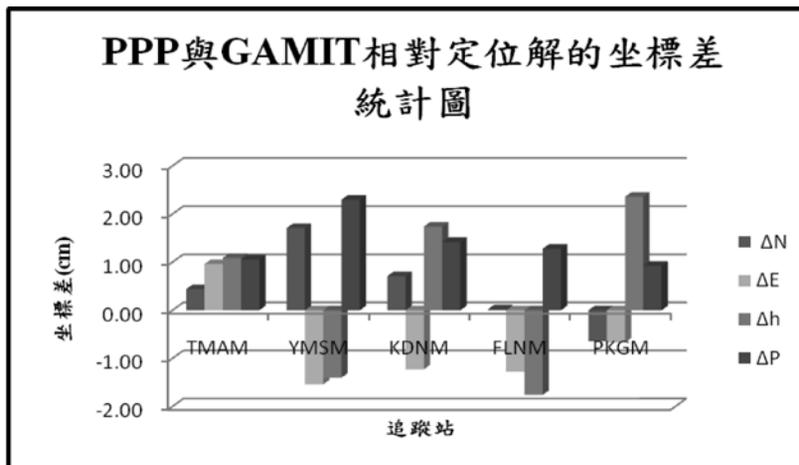
3. 不同等級的IGS精密星曆對PPP求解點位坐標的影響

為了探討不同等級的精密星曆對PPP求解的點位坐標之影響，以TMAM追蹤站的DOY 052至121，2008年共69天的資料，分別用最終的精密星曆 (IGS) 與快速精密星曆 (IGR) 資料以PPP方法求解TMAM站每日的點位坐標解 (N, E, h)，然後，計算其與利用相對定位程式求解的點位坐標之差異量 (ΔN , ΔE , Δh , ΔP)，其結果如表三與圖六至圖八所示；如果進一步將IGS的PPP結果減去IGR的PPP結果，得到其坐標差 (ΔN , ΔE , Δh , ΔP)，其結果如表四所示。

由表三至表四與圖六至圖八的結果顯示：（1）在坐標差的平均值方面，平面誤差 ΔP 的差異量不大，但是在高程差異量 Δh 則改變較大，使用IGS與IGR精密星曆之後對應的 Δh 平均值，分別為-0.94cm與-1.31cm；（2）在 ΔP 與 Δh 的標準差方面，

表二 2008/3/23台灣地區5個衛星追蹤站的GPS資料，以PPP及其他相對定位方法求得5個測站的 (ΔN , ΔE , Δh , ΔP) (單位：cm) 統計資料

與PPP比較的 相對定位程式	坐標差	平均值	極大值	極小值	標準差
Bernese	ΔN	2.45	2.65	2.09	0.23
	ΔE	0.27	0.95	-1.02	0.83
	Δh	-1.63	-0.04	-2.76	1.03
	ΔP	2.47	2.82	2.33	0.87
GAMIT	ΔN	0.45	1.71	-0.64	0.87
	ΔE	-0.75	0.96	-1.54	1.01
	Δh	0.41	2.36	-1.76	1.87
	ΔP	0.88	1.96	1.67	1.33
MicroCosm	ΔN	2.34	3.00	1.66	0.49
	ΔE	1.82	5.64	0.44	2.16
	Δh	-0.81	3.80	-3.10	2.73
	ΔP	2.97	6.39	1.72	2.21



圖五 PPP與GAMIT相對定位解的 (ΔN , ΔE , Δh , ΔP) 統計圖

表三 TMAM追蹤站69天的資料，分別用IGS與IGR精密星曆，以PPP方法單日解與相對定位程式求解的點位坐標的（ ΔN ， ΔE ， Δh ， ΔP ）（單位：cm）統計資料

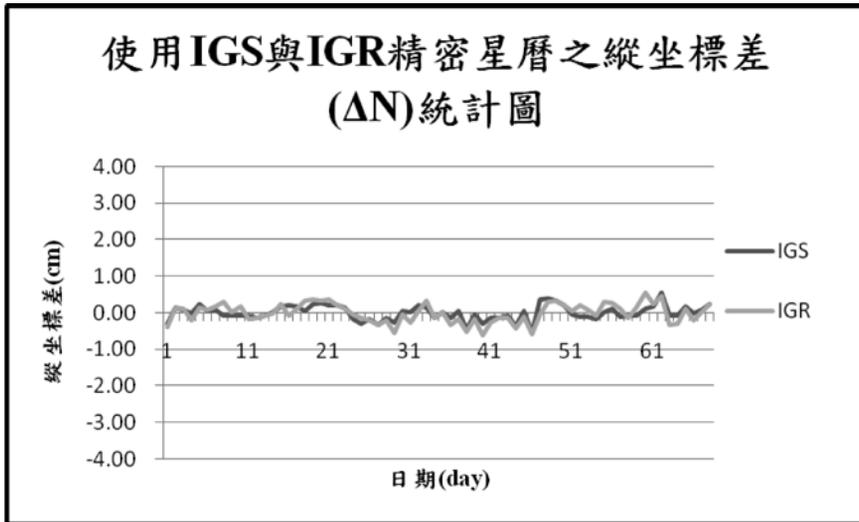
星曆種類	坐標差	平均值	極大值	極小值	標準差
IGS	ΔN	2.29	2.85	1.74	0.21
	ΔE	1.15	2.52	-0.36	0.55
	Δh	-0.94	2.23	-2.54	0.84
	ΔP	2.62	3.52	1.98	0.28
IGR	ΔN	1.94	2.50	1.34	0.26
	ΔE	1.15	2.78	-0.31	0.64
	Δh	-1.31	1.28	-4.48	0.93
	ΔP	2.33	3.53	1.53	0.35

表四 TMAM追蹤站69天的資料，IGS的PPP結果減去IGR的PPP結果，得到其坐標差（ ΔN ， ΔE ， Δh ， ΔP ）（單位：cm）統計資料

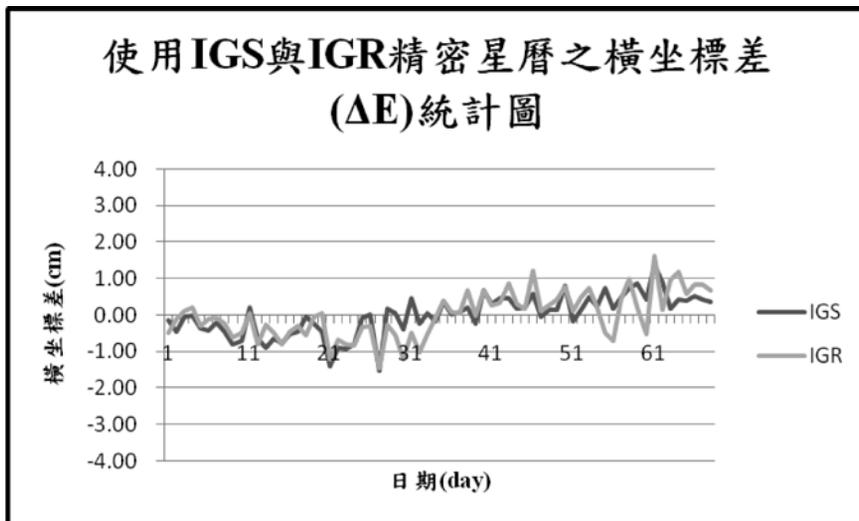
坐標差	平均值	極大值	極小值	標準差
ΔN	0.35	0.77	-0.08	0.17
ΔE	0.00	1.22	-0.79	0.43
Δh	0.38	2.04	-0.47	0.37
ΔP	0.53	1.22	0.13	0.23

如果以IGR取代IGS的話，則 ΔP 與 Δh 的標準差各增加約25%與11%。

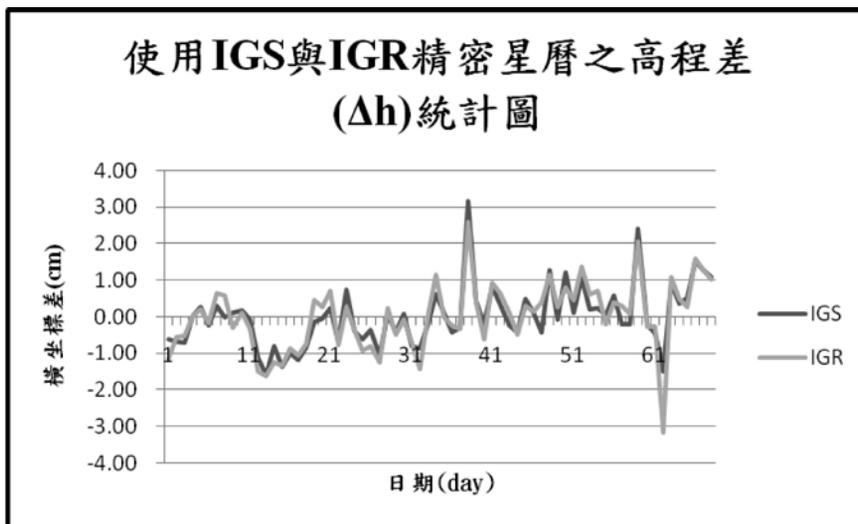
為了探討使用極快速精密星曆（IGU）對PPP點位坐標精度的影響，以TMAM追蹤站DOY 052，2008的GPS資料作實驗，分別使用igu14674_00.sp3、igu14674_06.sp3、igu14674_12.sp3、igu14674_18.sp3精密星曆，以PPP方法求解TMAM站DOY 052當日的點位坐標解，然後，計算其與利用相對定位程式求解的點位坐標之差異量，實驗結果如表五所示。由於IGS只提供iguwwwwd_hh.sp3等衛星軌道坐標，至於衛星時鐘差檔案則不提供，所以，只能由所提供的iguwwwwd_hh.sp3檔案萃取。從表五結果顯示：（1）利用極快速精密星曆（IGU），PPP的點位



圖六 TMAM追蹤站69天的GPS資料，分別用IGS與IGR精密星曆，以PPP方法單日解與平均值求得之縱坐標差 (ΔN) 統計圖



圖七 TMAM追蹤站的69天的GPS資料，分別用IGS與IGR精密星曆，以PPP方法單日解與平均值求得之橫坐標差 (ΔE) 統計圖



圖八 TMAM追蹤站69天的GPS資料，分別用IGS與IGR精密星曆，以PPP方法單日解與平均值求得之高程差(Δh)統計圖

表五 以TMAM追蹤站DOY 052，2008的GPS資料，使用極快速精密星曆，以PPP解與相對定位求解的點位坐標差(ΔN, ΔE, Δh, ΔP) (單位: cm) 統計資料

星曆種類	ΔN	ΔE	Δh	ΔP
igu14674_00.sp3	-8.68	27.07	-20.25	28.43
igu14674_06.sp3	-11.03	15.73	4.89	19.21
igu14674_12.sp3	-7.26	3.51	0.52	8.06
igu14674_18.sp3	-4.96	-1.60	17.62	5.21

坐標精度較使用最終的精密星曆(IGS)與快速精密星曆(IGR)差，然而，即使如此，其平面精度約在29cm以內，高程精度約在21cm以內。(2)不同時段的極快速精密星曆，對PPP的點位精度有不同的影響，如果就平面精度而言，以使用igu14674_18.sp3精密星曆的精度最好，精度約5.21cm。

4. 不同時間段的GPS資料對PPP求解點位坐標的影響

(1) TMAM 追蹤站資料

以上實驗都是針對追蹤站24小時GPS資料為研究對象。然而，在一般測量作

業中，如果要使用PPP定位方法，到底需要蒐集多久的GPS資料才能達到所需的精度？因此，以下實驗就以TMAM追蹤站DOY 053，2008的GPS資料為對象，使用精密星曆，將24小時的GPS資料分成不同的時間段（分別為24、12、8、6、4、3、2、1、0.5小時），然後以PPP方法求解TMAM站的點位坐標，然後，計算其與利用相對定位程式求解的點位坐標之差異量，實驗結果如表六至表九所示。

表六 TMAM站，不同時間段，PPP與相對定位解的 ΔN （單位：cm）統計資料

時間段（小時）	平均值	極大值	極小值	標準差
24	2.44	N/A	N/A	N/A
12	2.59	2.86	2.33	0.37
8	2.49	3.29	1.86	0.73
6	2.64	3.98	1.95	0.91
4	2.55	4.24	1.87	0.88
3	2.56	4.27	1.42	0.92
2	2.66	4.15	1.03	1.00
1	2.44	7.66	-1.04	1.96
0.5	1.47	5.69	-4.08	4.18

表七 TMAM站，不同時間段，PPP與相對定位解的 ΔE （單位：cm）統計資料

時間段（小時）	平均值	極大值	極小值	標準差
24	0.69	N/A	N/A	N/A
12	0.66	0.79	0.52	0.19
8	0.90	1.09	0.70	0.20
6	1.06	2.84	0.21	1.21
4	0.03	0.97	-1.55	0.92
3	0.11	3.55	-3.50	2.04
2	0.90	6.50	-4.24	2.86
1	-0.61	12.23	-16.23	6.40
0.5	7.91	14.73	0.64	6.63

表八 TMAM站，不同時間段，PPP與相對定位解的 Δh （單位：cm）統計資料

時間段（小時）	平均值	極大值	極小值	標準差
24	-1.63	N/A	N/A	N/A
12	-1.63	-1.35	-1.92	0.40
8	-2.12	-0.21	-5.50	2.94
6	-1.78	-0.54	-3.04	1.23
4	-1.77	1.42	-4.89	2.50
3	-1.27	2.14	-5.55	2.89
2	-1.70	4.55	-8.32	3.72
1	-1.17	16.21	-15.51	7.90
0.5	-16.33	-7.32	-34.36	12.53

表九 TMAM站，不同時間段，PPP與相對定位求解的 ΔP （單位：cm）統計資料

時間段（小時）	平均值	極大值	極小值	標準差
24	2.54	N/A	N/A	N/A
12	2.68	2.97	2.39	0.41
8	2.66	3.36	2.07	0.65
6	3.05	4.00	2.29	0.81
4	2.69	4.24	1.91	0.87
3	3.17	4.58	2.15	0.99
2	3.79	7.03	1.54	1.45
1	5.37	17.45	1.04	4.62
0.5	9.62	14.75	4.13	4.92

由表六至表九的結果顯示：（1）在坐標差的平均值方面，如果時間段由24小時減少到2小時，其坐標差的平均值與使用24小時者相當；（2）在坐標差的標準差方面，當時間段越短，則相對的標準差則越大。如時間段為12小時與2小時的 ΔP 標準差分別為0.41cm與1.45cm。

（2）台灣西部地區資料

台灣西部地區的資料，共有24個GPS觀測站資料，每個觀測站皆安裝一部雙頻接收機。在這24個GPS觀測站當中的12個測站當作控制點（24小時觀測，採樣率為30秒；基線最長約250公里），另外12個測站當作檢核點（觀測約4小時，採樣率為5秒，基線最長約33公里），資料涵蓋時間為2008年2月23日（DOY 054，2008）。

首先，利用相對定位方法，求得西部地區12個檢核點的點位坐標，再以PPP定位方法，求得每一檢核點的點位坐標。然後，計算每一檢核點以PPP與相對定位求得的點位坐標差（ ΔN ， ΔE ， Δh ， ΔP ）。最後計算12個檢核點的點位坐標差的統計資料，如表十所示。比較表十的結果與表六至表九的結果，顯示：（1）西部地區12個檢核點時間段4小時的點位坐標差（ ΔN ， ΔE ， Δh ， ΔP ）的標準差與TMAM追蹤站的結果相當，如 ΔP 標準差分別為0.94cm與0.87cm，而 Δh 標準差分別為2.55cm與2.50cm（請注意：西部地區實驗結果，只有一個時間段，但是利用12個檢核點計算；而TMAM追蹤站實驗結果，則有六個時間段，但是只用TMAM一個檢核點計算）。（2）在坐標差的平均值方面，兩者之 ΔP 平均值相當，分別為2.88cm與2.69cm；在 Δh 方面，兩者則大約有3cm之差。

時間段為2小時的實驗結果如表十一所示，比較表十一的結果與表六至表九的結果，顯示：（1）時間段為2小時，在坐標差的平均值方面，西部地區的PPP結果比較接近相對定位的結果，如在 ΔP 平均值方面，西部地區與TMAM所對應的值分別為3.38cm與3.79cm。（2）在坐標差的標準差方面，兩者在 ΔP 方面相當，分別為1.98cm與1.45cm。

表十 西部地區12個檢核點，DOY 054，2008，時間段為4小時，以PPP與相對定位程式求解的（ ΔN ， ΔE ， Δh ， ΔP ）（單位：cm）統計資料

坐標差	平均值	極大值	極小值	標準差
ΔN	-0.71	-0.02	-1.68	0.51
ΔE	2.77	4.04	1.12	0.87
Δh	-4.81	0.46	-7.99	2.55
ΔP	2.88	4.34	1.16	0.94

表十一 西部地區12個檢核點，DOY 054，2008，時間段為2小時，以PPP與相對定位程式求解的（ ΔN ， ΔE ， Δh ， ΔP ）（單位：cm）統計資料

坐標差	平均值	極大值	極小值	標準差
ΔN	-1.46	0.15	-2.72	0.80
ΔE	2.41	8.08	-1.46	2.63
Δh	-0.30	8.25	-8.74	5.37
ΔP	3.38	8.32	0.67	1.98

時間段為1小時的實驗結果如表十二所示，比較表十二的結果與表六至表九的結果，顯示：（1）時間段為1小時，在坐標差的平均值方面，兩者在 ΔP 平均值方面相當，分別為5.49cm與5.37cm；而在 Δh 方面，西部地區的PPP結果比較接近相對定位的結果，兩者在 Δh 平均值分別為-0.42cm與-1.17cm。（2）在坐標差的標準差方面，西部地區的PPP結果標準差比較小；如在 ΔP 標準差方面，西部地區與TMAM所對應的值分別為6.04cm與7.09cm。

由於檢核點的GPS資料取樣率為5秒，因此，為了探討縮短時間段而且同時縮短PPP資料處理時的取樣率，由原來內定的300秒逐次縮短為60秒、30秒、10秒，實驗結果如表十三所示。由表十三的實驗結果顯示：（1）取樣率300秒時，西部地區與TMAM實驗結果的精度相當。（2）縮短資料處理取樣率對PPP點位精度不但沒有幫助，而且使精度下降。

五、結 論

本文利用台灣地區5個衛星追蹤站180天的GPS資料與台灣西部地區24個測站一天的GPS資料，探討GPS精密單點定位在地籍測量應用有關主題：如（1）PPP單日解精度的重複性，（2）以PPP求解的點位坐標與利用相對定位求解的點位坐標比較，（3）不同等級的IGS精密星曆對PPP求解點位坐標的影響，（4）不同時間段的GPS資料對PPP求解點位坐標的影響等。實驗結果顯示：（1）利用IGS的精密星曆與衛星時鐘差，以PPP所求的點位坐標的穩定性很高， ΔP 與 Δh 的標準差約在1cm以內。（2）與相對定位結果比較，PPP的 ΔP 與 Δh 的標準差範圍分別為0.87cm～2.21cm與1.03cm～2.73cm。（3）不同等級的IGS精密星曆對PPP求解點位坐標會

表十二 西部地區12個檢核點，DOY 054，2008，時間段為1小時，以PPP與相對定位程式求解的（ ΔN ， ΔE ， Δh ， ΔP ）（單位：cm）統計資料

坐標差	平均值	極大值	極小值	標準差
ΔN	-1.06	6.37	-4.73	2.23
ΔE	3.53	10.50	-4.08	4.42
Δh	-0.42	13.68	-13.63	6.04
ΔP	5.49	11.50	1.45	2.70

表十三 西部地區12個檢核點，DOY 054, 2008，時間段為0.5小時，改變資料處理取樣間隔，以PPP與相對定位求解的（ ΔN ， ΔE ， Δh ， ΔP ）（單位：cm）統計資料

取樣間隔（秒）	坐標差	平均值	極大值	極小值	標準差
300秒	ΔN	0.37	8.74	-10.52	7.52
	ΔE	4.27	15.80	-5.32	8.26
	Δh	8.48	25.08	-13.16	16.38
	ΔP	10.43	17.05	5.57	4.38
60秒	ΔN	3.36	12.72	-8.09	6.76
	ΔE	4.76	12.56	-9.15	8.78
	Δh	-0.22	25.01	-19.40	18.33
	ΔP	10.91	17.23	2.19	4.87
30秒	ΔN	1.29	7.08	-4.95	4.87
	ΔE	7.32	16.68	6.33	7.78
	Δh	2.19	15.30	-14.24	10.35
	ΔP	10.29	17.89	2.01	5.03
10秒	ΔN	-2.88	8.38	-14.09	7.48
	ΔE	15.12	28.59	-3.69	8.36
	Δh	-4.23	21.79	-38.93	19.30
	ΔP	17.30	28.82	8.23	7.37

有不同的影響。(4) 使用不同時間段的GPS資料對PPP求解點位坐標會有不同的影響。因此，PPP在測量或其他領域具有很多應用的潛力，但是由以上實驗結果可知，PPP成功的關鍵在於精密星曆和衛星時鐘差、以及GPS資料蒐集的時間長短等因素。未來，將持續對這些問題研究，讓PPP成為可與相對定位相輔相成的高精度定位方法，廣泛的應用在地籍測量或其他測量定位的應用領域。

謝 誌

本文所用的台灣地區5個衛星追蹤站GPS資料及台灣地區大地基準及坐標系統轉換計算程式 (MTWDCON)，由內政部衛星測量中心所提供，特此致謝。

參考文獻

- 李征航、吳秀娟 (2002a), <全球定位系統 (GPS) 技術的最新發展, 第四講: 精密單點定位 (上)>, 《測繪信息與工程》, 第 27 卷, 第 5 期, 頁 34-36。
- 李征航、吳秀娟 (2002b), <全球定位系統 (GPS) 技術的最新發展, 第四講: 精密單點定位 (下)>, 《測繪信息與工程》, 第 27 卷, 第 6 期, 頁 31-35。
- 吳江飛、黃城 (2008), <GPS 精密單點定位模型及其應用分析>, 《大地測量與地球動力學》, 第 28 卷, 第 1 期, 頁 96-100。
- 張小紅 (2006), <動態精密單點定位 (PPP) 的精度分析>, 《全球定位系統》, 第 2006.1 期, 頁 7-11。
- 詹長根、彭琳、胡凱 (2005), <精密單點定位技術在地籍測繪中應用展望>, 《測繪信息與工程》, 第 30 卷, 第 2 期, 頁 40-41。
- AUSPOS Web Site (2008), <http://www.ga.gov.au/geodesy/sgc/wwwgps>
- Bernese Download BSWUSER50 Web Site (2008), <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSEUSER50/>
- Bernese Download CODE Web Site (2008), <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/>
- Dach, R., U. Hugentobler, P. Fridez and M. Meindl (2007), *User Manual of Bernese GPS Software Version 5.0*, Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland.
- Gao, Y. and K. Chen (2004), "Performance Analysis of Precise Point Positioning Using Real-Time Orbit and Clock Products," *Journal of Global Positioning Systems*, 3

(1-2) : 95-100.

GEODAC Web Site (2008) , <http://geodac.fc.up.pt/loading/index.html>

Heroux, P. and J. Kouba (2001) , “GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products,” *Physics and Chemistry of the Earth (A)*, 26 (6-8) : 573-578.

IGS FTP Web Site (2008) , <ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/product/>

ITRF Web Site (2008) , <ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/itrf/ITRF.TP>

Kouba, J. and P. Heroux (2001) , “Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products,” *GPS Solution*, 5 (2) : 12-28.

OSO Ocean Tide Loading Provider Web Site (2008) , <http://www.oso.chalmers.se/%7Eloading/>

Ovstedal, O., N. S. Kjorsvik, and J. G. O. Gjevestad (2006) , “Surveying using GPS Precise Point Positioning,” paper presented at XXIII FIG Congress, Germany: Munich, October 8-13.

Satirapod, C. and P. Homniam (2006) , “GPS Precise Point Positioning Software for Ground Control point Establishment in Remote Sensing Applications,” *Journal of Surveying Engineering*, 132 (1) : 11-14.

Satirapod, C. and M. Luansang (2008) , “Comparing Stochastic Models used in GPS Precise Point Positioning Technique,” *Survey Review*, 40 (308) : 188-194.

SCOUT Web Site (2008) , <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/scout.cgi>

