

第參章 估計參考站 GPS 接收儀 L1/L2 差分延遲

由第二章介紹以雙頻 GPS 觀測量估算 TEC 值，因含有 GPS 衛星差分延遲 (BS) 與接收儀差分延遲 (BR) 等系統誤差，所以必須事先估算各 GPS 衛星差分延遲 (BS) 與接收儀差分延遲 (BR)，並從 TEC 估值中減掉，以改正 TEC 估值的系統誤差。

本章先以 91 年 4 月 5 日至 4 月 14 日共 10 天，台南縣白河鎮 S804、R096、PH19 三個測站之 GPS 觀測資料，來介紹以修正的單站演算法估計參考站 GPS 接收儀 L1/L2 差分延遲之步驟。然後以 91 年 4 月 5 日至 14 日計 10 日，內政部 GPS 衛星追蹤站 YMSM、PKGM、KDNM、TMAM、FLNM、KMNM、MZUM 之觀測資料，估計該七個衛星追蹤站之 GPS 接收儀 L1/L2 差分延遲。最後，針對實驗結果加以探討。

第一節 以修正的單站演算法估計參考站接收儀差分延遲

一、實驗資料

本實驗以台南縣白河鎮之 S804 (內政部二等 GPS 控制點)、R096 (內政部土地測量局三等 GPS 控制點)、PH19 三個測站作實驗區，各測站間平面距離約 10 公里，皆裝設 Ashtech Z-Xtreme 接收儀，每 30 秒採樣一次，24 小時觀測，截止角為 10° 。

因 PH19 坐標未知，先以 91 年 4 月 6 日清晨 2 時至中午 14 時計 12 小時之 S804、R096、PH19 觀測資料，採用 GPSurvey 2.35 軟體，S804、R096 之坐標視為已知 (採內政部公布之 TWD97 經緯度大地坐標)，計算出 PH19 之 TWD97 坐標。

然後，以 91 年 4 月 5 日至 4 月 14 日 (共 10 天) 之 S804、R096、PH19 之二十四小時 GPS 觀測資料，估計該三個測站 GPS 接收儀 L1/L2 差分延遲。有關 S804、R096、PH19 測站資料如下：

表 3-1 S804、R096、PH19 測站資料

站名	緯度	經度	基線距離	地點
S804	23°21'10.63277"	120°24'45.99710"	S804-R096 : 10321.377m	台南縣白河鎮 白河地政事務所
R096	23°15'53.96507"	120°26'45.98440"	R096-PH19 : 10204.818m	台南縣白河鎮 東原消防隊
PH19	23°20'12.38000"	120°30'16.90800"	PH19-S804 : 9518.926m	台南縣白河鎮 關子嶺派出所

二、資料處理

本研究觀測資料之處理，採用澳洲新南威爾斯大學(UNSW)發展之「網格式電離層模型」套裝軟體(POSTEC)(Lin, 1998;林老生, 民國八十八年)及修正的單站演算法(林老生, 民國九十一年)，來估計參考站 GPS 接收儀 L1/L2 差分延遲及構建網格式電離層模型，該套軟體係利用後級處理模式來模擬即時的區域性電離層模型之構建。有關 POSTEC 軟體之主要特性及功能說明如下：

(一) POSTEC 軟體之主要特性 (林老生, 民國八十八年)

- 1、在每個參考站，用載波相位水準技術，來估計每一曆元(Epoch)每個 IPP 之斜向 TEC 值 (STEC)。
- 2、使用單站法估計 GPS 衛星和接收儀的 L1/L2 差分延遲，來校準載波相位水準後之斜向 TEC 值，產生正確的沒有偏差的斜向 TEC 值。然後，每一 IPP 之斜向 TEC 值，再被轉換為垂直的 TEC 值(VTEC)。
- 3、以網格式演算法，構建區域電離層模型。網格式間距，在緯度和經度方向，兩者均是 5 度。
- 4、以權函數方法，來計算任意位置的使用者所對應 IPP 之垂直 TEC 值。

(二) POSTEC 軟體之主要功能

POSTEC 軟體之主要功能敘述如表 3-2，其中執行程序一至三之目

的，在估計參考站GPS接收儀L1/L2差分延遲，為第參章實驗所需執行的程序；執行程序四至九之目的，在構建網格式電離層模型，為第肆章實驗所需執行的程式，茲說明如下：

表3-2 POSTEC軟體的主要功能

執行程序	程式功能	輸入資料	輸出資料	說明
一	Program 1 (Slant TEC Estimation)	1、GPS 觀測檔 2、GPS 星曆檔	File 1 (含STEC、Azimuth、Elevation Angle等資料)	逐曆元利用相位水準技術估算STEC值(方程式2-14、2-15、2-16)，並計算出被觀測GPS衛星之方位角(Azimuth)、高程角(Elevation Angle)。
二	Program 2 (GPS Satellite and Receiver L1/L2 Differential Delay Estimation)	1、File 1 2、測站坐標	File 2 (含每個時段每一GPS衛星 SPR^K 等資料)	將每一測站的 24 小時觀測資料，分成 8 個時段(session)，每個時段為 3 小時。每個時段，由GPS觀測資料及方程式2-19、2-20計算並組成觀測方程式，再用最小二乘法平差分別估計每一追蹤到的GPS衛星之 BS^K 與接收機之BR總和 ($SPR^K = BR + BS^K$)。
三	Program 3 (GPS Satellite and Receiver L1/L2 Differential Delay Computation)	File 2	File 3 (含每日每一GPS衛星的 SPR^K 平均值等資料)	將各時段所估算之 SPR^K 加權平均後，求得當天觀測到的每一顆GPS衛星的 SPR^K 平均值。
四	Program 4 (Vertical TEC Estimation)	1、File 1 2、 SPR^K 3、測站坐標	File 4 (含IPP的經緯度及VTEC等資料)	逐曆元計算IPP的緯度、經度(方程式2-22、2-23)及VTEC(方程式2-19)
五	Program 5 (Read TEC Files from Reference)	各參考站之File 1	File 5	逐曆元將各參考站之File 1，組成單一檔案，以供主站計算。

	Sations)			
六	Program 6 (Convention Grid-Based Ionosphere Modelling)	File 5	File 6 (含各網格式節 點VTEC等資 料)	逐曆元依方程式2-30，計算出各 網格式節點之VTEC值。 使用UNSW網格式演算法來構 建區域電離層模型，第一天應先 使用傳統的網格式演算法。 Program 6須配合網格式大小改變 作修正。
七	Program 7 (UNSW Grid-Based Ionosphere Modelling)	File 5 File 6	File 7 (含各網格式節 點VTEC等資 料)	逐曆元依方程式2-32，計算出各 網格式節點之VTEC值。 使用UNSW網格式演算法來構 建區域電離層模型，第二天開始 應使用UNSW的網格式演算 法，將第一天所構建的網格式電 離層模型 (File 6)，取代廣播星 曆中之電離層模型。 Program 7須配合網格式大小改變 作修正。
八	Program 8 (Grid-Based User TEC Estimation)	File 4(使用 者測站) File 7	File 8 (含 1.使用者測站 之每一 IPP 的 VTEC 值， 2.TEC預估值 殘差)	由方程式2-33，內插出使用者測 站之每一IPP的VTEC值(估計 值)。 將 File 4之 VTEC值(實測值)減 此內插得到之VTEC值(估計 值)，即為TEC預估值殘差。
九	Program 9 (Grid-Based TEC Prediction Residual Sorting)	File 8	File 9 (含 1.TEC預估值 殘差之平均 值及標準差 2.TEC預估值 殘差之各級 距的出現次 數)	計算TEC預估值殘差之平均值及 標準差。 計算TEC預估值殘差之各級距的 出現次數。

三、估計步驟

利用修正的單站演算法（林老生，民國九十一年），估計參考站接收儀差分延遲步驟如下：

【步驟一】：以單站法估計每日所有觀測到的 GPS 衛星與接收儀差分延遲總和 SPR^K ($SPR^K = BR + BS^K$)。

表 3-3 為 S804 測站於 91 年 4 月 11 日，觀測到的 GPS 衛星 SPR^K ，由此可知，每一測站對每一 GPS 衛星都有不同的 SPR 差分延遲，並證實第二章所介紹的理論：每一顆 GPS 衛星有其個別之 GPS 衛星差分延遲，而且每一部 GPS 接收儀也有其單獨的接收儀差分延遲。

表 3-3 91 年 4 月 11 日 S804 測站觀測到的 GPS 衛星 SPR^K （單位：ns）

PRN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
SPR^K	-27.61	-23.78	-24.81	-28.62	-22.99	-22.95	-22.68	-24.66	-19.77	-20.74	
PRN	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
SPR^K	-29.20	N/A	-32.54	-30.60	N/A	N/A	N/A	-24.96	N/A	-27.19	
PRN	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
SPR^K	-23.69	-24.83	-17.84	-22.83	-29.80	-19.97	-23.85	-26.89	-23.11	-28.27	-26.03

（註）：N/A：代表當日 PRN 編號之 GPS 衛星無 SPR 資料。

【步驟二】：計算每日所有觀測到的 GPS 衛星之標準化 GPS 衛星差分延遲

估值 \hat{t}_{gd}^K 。

首先確定那些 GPS 衛星同時出現在本研究與美國 JPL 機構的成果中（Yinger, et al., 1999），接著計算這些 GPS 衛星差分延遲估值的算術平均值（Sat-Mean）（Coco et al., 1991; Bishop et al., 1994），再將本研究計算出之 GPS 衛星差分延遲估值減掉其對應之 Sat-Mean，即可得到「標準化 GPS 衛星差分延遲 \hat{t}_{gd}^K 」（Bishop et al., 1994）。

由表 3-3, 91 年 4 月 11 日 S804 測站無 PRN12、15、16、17、19 之 SPR^K 資料；由表 3-4, JPL 無 PRN11、12、20、28 之 T_{gd}^K 資料。因此, 有 23 顆 GPS 衛星資料同時出現在本研究與美國 JPL 機構的成果中。

然後, 每一天針對那些同時出現的 GPS 衛星, 計算其 SPR^K 估值與其平均值 \overline{SPR} 之差值, 可得到標準化 GPS 衛星差分延遲 \hat{t}_{gd}^K 。如表 3-5, $\hat{t}_{gd}^K = SPR^K - (-24.65\text{ns})$ (4 月 11 日 SPR^K 平均值 \overline{SPR}); 美國 JPL 機構估算的標準化 GPS 衛星差分延遲 $\hat{T}_{gd}^K = T_{gd}^K - (-4.73\text{ns})$ (4 月 11 日 T_{gd}^K 平均值)。

此外, Yinger, et al. (1999) 所發表的 JPL 估算的 GPS 衛星差分延遲 T_{gd}^K 成果如表 3-4:

表 3-4 JPL 估算的 GPS 衛星差分延遲 T_{gd}^K (單位: ns)

PRN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13	14	15	16
T_{gd}^K	-3.21	-1.60	-4.41	-6.22	-4.17	-4.96	-1.71	-4.64	-5.54	-1.73	-12.51	-2.61	-2.21	-0.61
\hat{T}_{gd}^K	1.1	2.71	-0.10	-1.91	0.14	-0.65	2.60	-0.33	-1.23	2.58	-8.20	1.70	2.10	3.70
PRN	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	29	30	31	
T_{gd}^K	-1.51	-5.24	-3.12	-2.47	-3.85	-2.79	-0.73	-7.60	-6.83	-4.37	-7.71	-7.76	-6.14	
\hat{T}_{gd}^K	2.80	-0.93	1.19	1.84	0.46	1.52	3.58	-3.29	-2.52	-0.06	-3.40	-3.45	-1.83	

【步驟三】: 計算由美國 JPL 機構估算的標準化 GPS 衛星差分延遲 \hat{T}_{gd}^K 與本

研究估算的標準化 GPS 衛星差分延遲估值 \hat{t}_{gd}^K 之差值 Δ^K 。

如表 3-5, Δ^K 欄位係計算每一顆 GPS 衛星之「由 JPL 估算的標準化 GPS 衛星差分延遲 \hat{T}_{gd}^K 」與「本實驗所估算的標準化 GPS 衛星差分延遲估值 \hat{t}_{gd}^K 」的差值 (即 $\Delta^K = \hat{T}_{gd}^K - \hat{t}_{gd}^K$)。

【步驟四】：計算接收儀差分延遲 \overline{BR} 。

如果某一顆 GPS 衛星之 \hat{T}_{gd}^K 與 \hat{t}_{gd}^K 差值 Δ^K 的絕對值小於某一設定值 (如 2 ns), 那麼其 SPR^K 值與 JPL 所估算的 GPS 衛星差分延遲 T_{gd}^K 的差值, 即為利用 K 號 GPS 衛星資料, 求得之接收儀差分延遲估值 (BR^K)。再計算所有合乎上述條件之 BR^K 的平均值, 可求得該測站 GPS 接收儀差分延遲的估值 (\overline{BR})。

本研究係以 $|\Delta^K| < 2$ ns 的條件, 來估計 GPS 接收儀差分延遲 \overline{BR} 。如表 3-5, 計算所有符合 $|\Delta^K| < 2$ ns 之 BR^K 的平均值, 即得到測站接收儀差分延遲 \overline{BR} 。

表 3-5 91 年 4 月 11 日估算 S804 測站 \overline{BR} 之程序 (單位: ns)

PRN	SPR^K	\hat{t}_{gd}^K	T_{gd}^K	\hat{T}_{gd}^K	Δ^K	BR^K
1	-27.61	-2.96	-3.21	1.52	4.48	
2	-23.78	0.87	-1.60	3.13	2.26	
3	-24.81	-0.16	-4.41	0.32	0.48	-20.40
4	-28.62	-3.97	-6.22	-1.49	2.48	
5	-22.99	1.66	-4.17	0.56	-1.10	-18.82
6	-22.95	1.70	-4.96	-0.23	-1.93	-17.99
7	-22.68	1.97	-1.71	3.02	1.05	-20.97
8	-24.66	-0.01	-4.64	0.09	0.10	-20.02

9	-19.77	4.88	-5.54	-0.81	-5.69	
10	-20.74	3.91	-1.73	3.00	-0.91	-19.01
13	-32.54	-7.89	-12.51	-7.78	0.11	-20.03
14	-30.60	-5.95	-2.61	2.12	8.07	
18	-24.96	-0.31	-5.24	-0.51	-0.20	-19.72
21	-23.69	0.96	-2.47	2.26	1.30	-21.22
22	-24.83	-0.18	-3.85	0.88	1.06	-20.98
23	-17.84	6.81	-2.79	1.94	-4.87	
24	-22.83	1.82	-0.73	4.00	2.18	
25	-29.80	-5.15	-7.60	-2.87	2.28	
26	-19.97	4.68	-6.83	-2.10	-6.78	
27	-23.85	0.80	-4.37	0.36	-0.44	-19.48
29	-23.11	1.54	-7.71	-2.98	-4.52	
30	-28.27	-3.62	-7.76	-3.03	0.59	-20.51
31	-26.03	-1.38	-6.14	-1.41	-0.03	-19.89
平均值	-24.65 (\overline{SPR})	0.00	-4.73	0.00		-21.16 (\overline{BR})

(註)： BR^K 欄中空白處表示其 Δ^K 值，不符合 $|\Delta^K| < 2 \text{ ns}$ 之條件。

【步驟五】：將上述方法求得的接收儀差分延遲 \overline{BR} ，加上由美國 JPL 機構估算的 GPS 衛星差分延遲 T_{gd}^K ，就可以求得該測站對每一顆 GPS 衛星與接收儀差分延遲的總和， \overline{SPR}^K ，並從 TEC 估值中減掉，以改正 TEC 估值的系統誤差。

第二節 實驗結果與討論

本實驗以 91 年 4 月 5 日至 14 日計 10 日，台南縣白河鎮 S804、R096、PH19 測站，及內政部 GPS 衛星追蹤站 YMSM、PKGM、KDNM、TMAM、FLNM、KMNM、MZUM 之 GPS 觀測資料，估計各測站 GPS 接收儀 L1/L2 差分延遲，其實驗結果如表 3-6、3-7。可知每一部接收儀差分延遲 \overline{BR} 皆不同。

一、台南縣白河鎮 S804、R096、PH19 測站接收儀 \overline{BR} 值

表 3-6 91 年 4 月 5 日至 14 日 S804、R096、PH19 測站 \overline{BR} 值

測站 日期	S804	R096	PH19
91 年 4 月 5 日至 14 日	-22.64 ns	-18.18 ns	-23.32 ns

二、內政部 GPS 衛星追蹤站接收儀 \overline{BR} 值

表 3-7 91 年 4 月 5 日至 14 日內政部 GPS 衛星追蹤站 \overline{BR} 值

測站 日期	YMSM	PKGM	KDNM	TMAM	FLNM	KMNM	MZUM
91 年 4 月 5 日至 14 日	-0.33 ns	0.29ns	2.15ns	2.89ns	0.25ns	3.98 ns	-4.04ns

三、以 GPS 衛星與接收儀差分延遲總和 \overline{SPR}^K 改正 TEC 系統誤差

如果 GPS 衛星與接收儀差分延遲皆已知，則可由方程式(2-19)，求得改正後之斜向 STEC；再由 GPS 衛星的垂直角，計算映射函數 S(E)；然後由方程式(3-1)計算 VTEC，式中下標 j 及上標 K 分別代表接收儀與 GPS 衛星的 PRN 編號。

$$VTEC_j^K = \frac{\left(STEC_j^K - \overline{SPR}_j^K \right)}{S_j^K(E)} \quad (3-1)$$

圖 3-1、3-2 為 91 年 4 月 11 日內政部 KDNM (墾丁) 追蹤站，對 PRN

23 之 GPS 衛星之垂直角時間系列及利用程式(3-1)實施 \overline{SPR} 改正前後 VTEC 時間系列之比較圖。

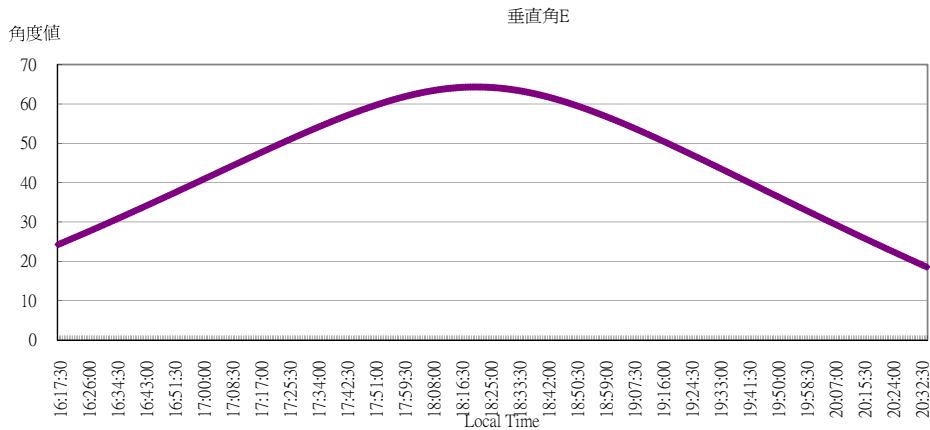


圖 3-1 91 年 4 月 11 日 KDNM 追蹤站對 PRN 23 GPS 衛星
實施 \overline{SPR} 改正前後之垂直角時間系列比較圖

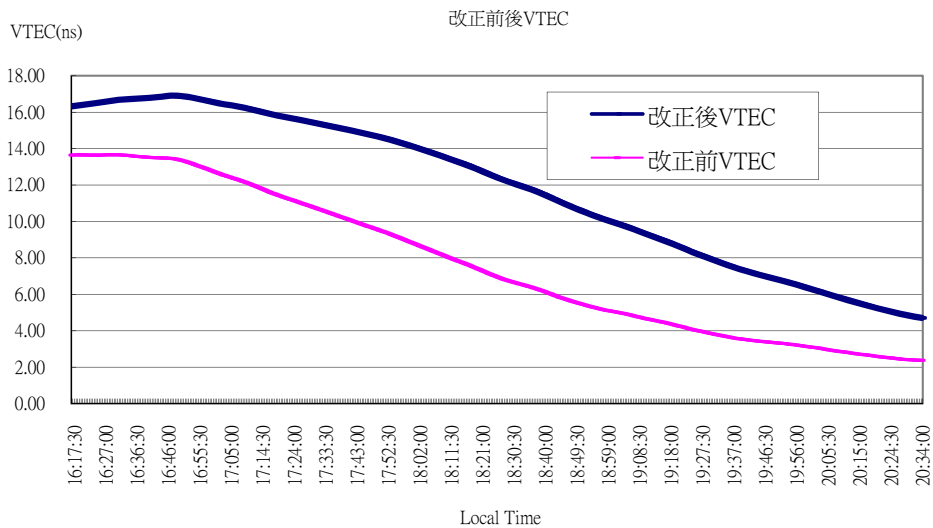


圖 3-2 91 年 4 月 11 日 KDNM 追蹤站對 PRN 23 GPS 衛星
實施 \overline{SPR} 改正前後之 VTEC 時間系列比較圖

四、實驗結論

(一)由表 3-6、3-7 可知，每一測站之接收儀差分延遲 \overline{BR} 皆不同，因此，

欲以 GPS 觀測量求得無偏差之電離層 TEC 估值，必須事先估算測站接收儀差分延遲 (\overline{BR}) 與 GPS 衛星差分延遲。

- (二)由圖 3-1、3-2，以 \overline{SPR} 改正前後 VTEC 曲線的差異量，與衛星的垂直角大小成正比，換句話說，垂直角越大，差異量越大。
- (三)由圖 3-2，改正後的 VTEC 值大小，除了與緯度有關外，基本上與 IPP 處的地方時有高度相關，通常在晚上時間 VTEC 較小；而在午後的 VTEC 較大。
- (四)由圖 3-2，改正後的 VTEC 值與電離層延遲的特性相符，即 VTEC 應為正值，夜晚時的 VTEC 值約為 5ns 左右。