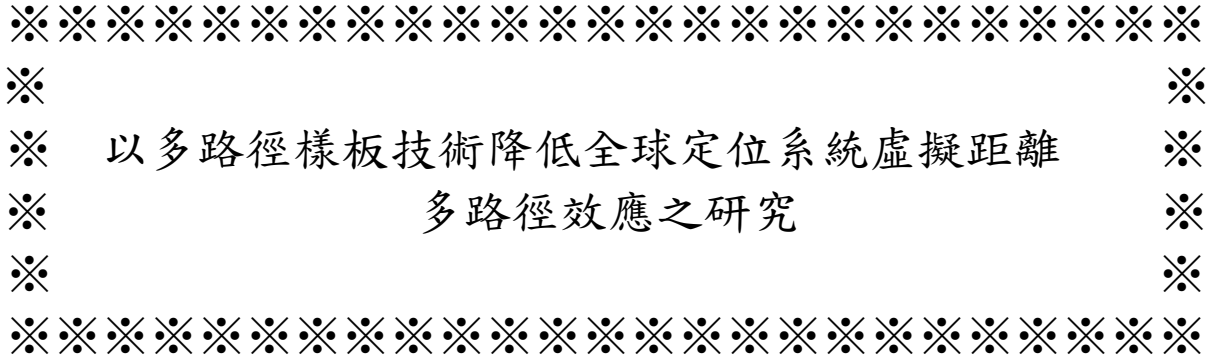


行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告



※

※

※ 以多路徑樣板技術降低全球定位系統虛擬距離 ※

※ 多路徑效應之研究 ※

※

※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2211-E-004-001

執行期間：90年8月1日至91年7月31日

計畫主持人：林老生

共同主持人：

計畫參與人員：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立政治大學地政學系

中華民國九十一年八月六日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以多路徑樣板技術降低全球定位系統虛擬距離多路徑效應之研究

Study of multi-path template technique for mitigating GPS pseudo-range multi-path effects

計畫編號：NSC 90-2211-E-004-001

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：林老生 國立政治大學地政學系 (lslin@nccu.edu.tw)

計畫參與人員：林雅悅 國立政治大學地政學系

一、中文摘要

多路徑 (multi-path) 效應，為精密全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 定位及導航的主要誤差來源之一。多路徑對 GPS 觀測量之影響，與測站周圍的物理環境、接收機與 GPS 人造衛星間之幾何關係有關。由於 GPS 人造衛星位於距地球 20,200 公里上空之軌道上，其每隔一個恆星日都出現在地球上的同一位置。因此，相對於太陽日，接收機與人造衛星間之幾何關係，除了必須平移 4 分鐘外，幾乎每天相同。所以，如果測站之物理環境保持不變，則多路徑對 GPS 觀測量的效應將保持常數。根據此假設，本研究試圖以測站前幾日已觀測之雙頻 GPS 觀測量產生【多路徑樣板】。然後，在即時 GPS 應用上，如即時電離層延遲估算、即時地層變形監測等，可使用所產生之多路徑樣板即時估計任何一顆 GPS 人造衛星之虛擬距離所受到之多路徑干擾量，並加以消除之。本研究將以政治大學綜合院館樓頂上之兩個 GPS 測站所蒐集之資料，測試所謂的多路徑樣板技術。本研究將從幾個方面來探討多路徑樣板的效能，例如利用單日及多日 GPS 觀測量所產生的多路徑樣板的效能比較、使用與不使用多路徑樣板對提高即時電離層延遲估計精度的效能比較等。

關鍵詞：全球定位系統、多路徑、多路徑樣板、虛擬距離

Abstract

The multi-path signal disturbance is one of the main sources of errors in precise

Global Positioning System (GPS) positioning and navigation. The Multi-path effects on GPS measurements depends on the physical environment and receiver-satellite geometry. As the GPS satellites are in nearly circular orbits, at an approximately altitude of 20200 km, they will again be over the same position on the surface of the earth at the end of a sidereal day (approximately 23 hrs 56 mins in length). Thus, the viewing geometry is the same each day, but with a shift of about four minutes per day. When the physical environment about a GPS receiver remains unchanged from day to day, then the multi-path effect will mostly be constant. Based on this assumption, the “multi-path template technique” using GPS dual-frequency measurements was proposed to mitigate GPS pseudo-range multi-path at static GPS reference stations. The algorithm permits the pseudo-range multi-path errors for a specific day to be corrected using multi-path template. Data from the two permanent GPS stations on top of building of College of Social Sciences, National Cheng-chi University, Taiwan, will be used to test the proposed technique. The performance of the multi-path template will be examined in various ways, such as single-day vs. multi-day, performance comparisons between with and without applying multi-path template on improving the accuracy of real-time ionospheric delay estimation etc.

Keywords: GPS, Multi-path, Multi-path Template, Pseudo-range

二、緣由與目的

隨著科技的進步，全球定位系統（Global Positioning System, GPS）測量技術也隨之更新許多。新的 GPS 硬體與軟體的發展，使得 GPS 觀測量的品質提昇不少。例如使用差分的方法，可以將大部分的 GPS 系統誤差（如人造衛星時鐘差、測站時鐘差、人造衛星軌道差等）消除掉。然而，有些誤差如電離層延遲、多路徑干擾等主要跟測站所在位置有關，無法以差分方式消除之；因此，在精密 GPS 定位及導航應用上，如何降低或消除這些與測站有關的誤差，成為重要的研究課題之一。其中，如何以一種有效的方法來降低多路徑對 GPS 虛擬距離觀測量的效應為本研究計畫的主題。

所謂【多路徑】（multi-path）是指一個訊號經由兩個或兩個以上的不同路徑到達一個天線而言。產生多路徑的原因，是因為在天線的周圍有反射平面的物體存在，例如金屬物體、平坦之地面或者水面等。多路徑所產生的效應有：對觀測量造成較大的噪聲（noise）、使得接收儀的追蹤電路（tracking electronics）產生偏移（biased）觀測量。

基本上，多路徑對於 GPS 的載波及距離碼觀測量都會產生影響。載波的多路徑效應約在 0.25 波長內，然而，如果 GDOP 很差的情況下，可能會造成很大之位置誤差。根據研究結果顯示，使用 TI4100 接收儀在一個高多路徑效應環境下的靜態測站上，C/A 碼虛擬距離的多路徑效應則可能達到 20 公尺，而且持續數分鐘之久。對於動態的測站，多路徑效應則具有隨意（random）的特性。

多路徑效應不但會影響 GPS 的定位精度，同時會延長測站觀測的時間以便求解載波的模糊整數。因此，如何避免或降低多路徑效應，就顯得很重要。降低多路徑的可行方法有以下幾種：

（一）提高接收儀的效能

如 NovAtel GPSCard 接收儀就使用所謂的（narrow Early-Late correlation spacing）技術來降低虛擬距離的多路徑效應，然而，卻無法降低載波觀測量的多路徑效應。Meehan & Young (1992)則介紹幾種在 Jet Propulsion laboratory (JPL)所發展的技

術來降低虛擬距離與載波多路徑。Townsend & Fenton (1994)介紹另一種追蹤迴路來降低虛擬距離的多路徑效應。

（二）利用數學模式來降低虛擬距離與載波多路徑

Cohen & Parkinson (1991)用一種以人造衛星的方位角及高度為引數的球諧函數來代表多路徑誤差。他們成功的應用此技術於以兩個天線的態勢決定上，可是無法以此技術用在定位上。Kee & Parkinson (1994)則提出另一種球諧函數法來降低靜態測站的虛擬距離多路徑效應。

（三）利用所計算的多路徑樣板來降低多路徑效應

多路徑對 GPS 觀測量之影響，與測站周圍的物理環境、接收機與 GPS 人造衛星間之幾何關係有關。由於 GPS 人造衛星位於距地球 20,200 公里上空之軌道上，其每隔一個恆星日都出現在地球上的同一位置。因此，相對於太陽日，接收機與人造衛星間之幾何關係，除了必須平移 4 分鐘外，幾乎每天相同。所以，如果測站之物理環境保持不變，則多路徑對 GPS 觀測量的效應將保持常數。根據此假設，則可以測站前幾日已觀測之雙頻 GPS 觀測量產生【多路徑樣板】。Coco et al. (1993)及 Bishop et al. (1994)則利用上述原理以單日的 GPS 觀測量計算固定測站的多路徑樣板，再以多路徑樣板即時的消除虛擬距離的多路徑效應，根據他們的報告，利用此技術於電離層延遲監測上可以有效的降低虛擬距離的多路徑效應，進而提高電離層延遲的估計精度。

綜上所述，採用多路徑樣板技術為降低固定地面測站觀測量多路徑效應有效方法之一，況且，目前國內已有許多固定測站存在，而且現成已有許多觀測量可以利用。此外，Coco 及 Bishop 等人之研究僅利用【單日】之觀測量產生多路徑樣板『在此定義為【單日多路徑樣板】』。就多路徑的特性而言，單日多路徑樣板仍隱含觀測量之偶然誤差（噪聲），因此，引發作者提出所謂【多日多路徑樣板】的觀念：將數個單日多路徑樣板轉換到共同的時間段，然後加以平均。所以理論上，多日多路徑樣板的效能應該比單日多路徑佳。

因此，本研究計畫之目的有：(1) 利用固定地面測站之每天的 GPS 雙頻觀測量（含載波及虛擬距離觀測量）計算每一曆元每一顆人造衛星之 L1/L2 虛擬距離的多路徑干擾量，進而產生單日多路徑樣板。(2) 將單日多路徑樣板做時間平移後，轉換到共同的時間段。將轉換到共同時間段的數個單日多路徑樣板加以處理後，產生多日多路徑樣板。(3) 利用單日多路徑樣板及多日多路徑樣板，即時預估 L1/L2 虛擬距離的多路徑干擾量，並加以消除之。(4) 先以後級處理(post-processing)的方式驗證單日多路徑樣板及多日多路徑樣板的效能，以評估多路徑樣板技術的功能。進而，將本技術應用於即時 GPS 測量上，如即時地殼變形監測、DGPS、即時電離層延遲估算、即時性動態測量等，以降低固定測站受到多路徑的干擾。

三、結果與討論

(一) 多路徑樣板生產步驟

偵測 GPS L1/L2 虛擬距離多路徑的方程式為(林老生, 2002; Rizos, 1997; Rocken et al., 1994)：

$$MP1 = P_1 - 4.0915 \times \Phi_1 + 3.0915 \times \Phi_2 - K_1$$

$$MP2 = P_2 - 5.0915 \times \Phi_1 + 4.0915 \times \Phi_2 - K_2$$

式中， P_1 及 P_2 為 L1/L2 虛擬距離觀測量； Φ_1, Φ_2 為 L1/L2 載波相位觀測量；MP1 及 MP2 為 L1/L2 的虛擬距離多路徑； K_1 及 K_2 為常數。

多路徑對 GPS 觀測量的影響，與 GPS 測站周圍的物理環境、接收機（天線）與 GPS 人造衛星之間的幾何關係有關。由於 GPS 人造衛星位於距地球 20,200 公里上空之圓形軌道上，其每隔一個恆星日（約 23 時 56 分）就出現在地球上的同一位置。因此，相對於太陽日，接收機與人造衛星之幾何關係，除了每天必須平移約 4 分鐘外，每天幾乎相同。故理論上，當 GPS 測站之物理環境保持不變，則多路徑對觀測量的干擾將保持常數。

根據上述假設，可以下述步驟，產生一種適用於固定 GPS 測站的【多路徑樣板】。請注意：為了方便說明，下列的多路徑樣板生產步驟，僅就對應於單一的

GPS 人造衛星之 MP1 為例（註：MP2 多路徑樣板的產生步驟與 MP1 相同）。而且假設：（1）接收機的採樣速率為 30 秒，換言之，24 小時的觀測期就有 2,880 曆元(epoch)的資料；（2）已完成載波相位之週波脫落檢查與修復；（3）使用雙頻接收機。有關多路徑樣板產生的步驟說明如後：

(1) 求每一曆元、每一顆人造衛星的多路徑 MP1：

$$MPI(i, j, k)$$

式中， i ($=1, 2, \dots, 365$) 代表天數， j ($=1, 2, \dots, 2880$) 表示曆元數， k ($=1, 2, \dots, 31$) 代表 GPS 人造衛星的 PRN 編號。完成此步驟後，檔案內應有 2880 曆元的多路徑估值。

(2) 將對應於太陽日的 2880 曆元資料檔轉換為對應於恆星日的 2872 曆元資料檔：

$$MPA'(i, j, k) = 0.5 \cdot [MPI(i, j, k) + MPI(i, j + 2872, k)] \quad \text{when } j \leq 8$$

$$MPA'(i, j, k) = MPI(i, j, k) \quad \text{when } 9 \leq j \leq 2872$$

(3) 將每天 2872 曆元的資料檔轉換為對應於某一參考天 i_0 的 2872 曆元資料檔：以下列方程式，將天數為 i 之 MPA' 檔案，轉換至對應參考天數為 i_0 的 MPA'' 檔案：

$$MPA''(i, j, k) = MPA'(i, temp, k)$$

式中：如果 i_0 比 i 早，則 $temp = (j + (i - i_0) \cdot 8)$ ；其中，如果 $temp \geq 2873$ 則 $temp = temp - 2872$ 。 i_0 ，代表參考天數，通常 i_0 比 i 早幾天。

(4) 產生對應於某一參考天 i_0 的單天或是多天之多路徑樣板（含 2872 曆元的資料檔）：對於固定的 GPS 測站，則可以下式產生多天或單天的【多路徑樣板】：

$$MPA'''(j, k) = \sum_{i=1}^n MPA''(i, j, k) / n$$

式中：

若 $n = 1$ ，則 $MPA'''(j, k)$ 為對應於某一參考天 i_0 的【單天多路徑樣板】(single-day multipath template)。若 $n > 1$ ，則 $MPA'''(j, k)$ 稱為對應於某一參考天 i_0 的【多天多路徑樣板】(multiple-day multipath template)。

(二) 由多路徑樣板預估虛擬距離的多路徑效應

用前述方法所產生的單天與多天多路

徑，預估 $d(1)$ 由多路徑樣板估計天數為 i 的多路徑效應 (2872 曆元)：

$$\overline{MPI}(i, j, k) = MPI^m(temp1, k)$$

式中， $\overline{MPI}(i, j, k)$ 為預估的多路徑效應， $temp1 = (j + (i - i_0) \cdot 8)$

若 $temp1 > 2872$ 則 $temp1 = temp1 - 2872$ 。

(2) 將對應於對應於恆星日的 2872 曆元資料檔 \overline{MPI} 轉換為太陽日的 2880 曆元資料檔 \overline{MPI} ：

$$\overline{MPI}(i, j, k) = \overline{MPI}(i, temp2, k) \text{ when } j \leq 2872$$

$$\overline{MPI}(i, j, k) = \overline{MPI}(i, temp3, k) \text{ when } j \geq 2873$$

式中：

$$1 \leq j \leq 2880, 1 \leq temp2 \leq 2872, temp3 = j - 2872.$$

(三) 實驗資料

由國立政治大學社會科學院館樓頂上的固定 GPS 測站 CUA2，所收集的連續 18 天 (day 54, 2002 到 day 71, 2002) 資料試驗本計畫所提出的方法。CUA2 測站裝設 Ashtech Z-12 雙頻接收機，高程截止角為 10 度，採樣率為每 30 秒接收一筆資料。

(四) 應用程式開發

根據本計畫所提出的多路徑樣板生產程序，開發一系列應用程式 "MULTIPAT"；此外，為了處理即時電離層延遲估計問題，開發應用程式 "KALMION"。

(五) 實驗結果與討論

首先，以 day 71 的 GPS 資料所計算的虛擬距離多路徑當作檢驗值；其次，ay 71 的虛擬距離多路徑。圖 1 至圖 6 為部分實驗結果 (Lin, 2002)，從實驗結果顯示：只要測站周圍的物理環境不變，則利用所產生的單天和多天多路徑樣板都可以有效的預估虛擬距離多路徑。

在多天 VS. 單天多路徑模板的能效分析比較方面，(1) 就多路徑殘差量分析比較，幾乎所有多天多路徑樣板的的能效比單天多路徑樣板的的能效好，圖 7 到圖 10 為部分實驗結果 (Ibid, 2002)；(2) 就應用在即時電離層延遲估計的能效比較，先以後級處理方式估計 day 071 的電離層延遲，然後以 KALMION 程式模擬即時估計電離層延遲，不同的單天與多天多路徑樣板被用以估計 day 071 的多路徑效應，並以

其消除多路徑對電離層延遲估計的影響，實驗結果顯示 (Ibid, 2002)，如果不使用任何多路徑樣板估計多路徑以改正虛擬距離多路徑對 TEC 的影響，則約有 1.95 TECU 的平均誤差，若使用 5 天前資料所產生的多天多路徑樣板估計多路徑以改正虛擬距離多路徑，則平均誤差下降至約 0.44 TECU，表一至表二為所有的即時電離層延遲估計實驗結果統計表。

四、計畫成果自評

基本上，本研究內容與原計畫大致相符，部分的研究結果已發表於：(1) 國立政治大學地政學報第二期 (林老生，2002)，第 1 至 29 頁。或將於下列研討會發表：(1) ION GPS-2002 (Lin, 2002) 及 (2) 國立政治大學第三屆地政學術研討會 (2002 年 11 月)。

五、參考文獻

- [1] 林老生(1998)：提高 GPS 即時估計電離層延遲精度之研究，測量工程，第四十卷，第一期，第 25-46 頁。
- [2] 林老生(2002)：利用多路徑模板技術提高即時電離層延遲估計精度，政大地政學報，第二期，第 1-29 頁。
- [3] Axelrad, P., Comp, C. & Macdoran, P. (1994): Use of signal-to-noise ratio for multipath error correction in GPS differential phase measurements: methodology and experimental results. Proceedings of ION GPS-94, Seventh International Technical Meeting of The Satellite Division of The Institute of Navigation, Salt Lake, Utah, 20-23 September, 655-666.
- [4] Bishop, G.J., Coco, D.S., Kappler, P.H. & Holland, E.A. (1994a): Studies and performance of a new technique for mitigation of pseudo-range multipath effects in GPS ground stations. Proceedings of 1994 National Technical Meeting, The Institute of Navigation, Washington, D.C., January, 231-242.
- [5] Coco, D.S., Coker, C. & Bishop, G.J. (1993): A real-time GPS ionospheric monitor system. Proceedings of 1993 Ionospheric Effects Symposium, J.H. Goodman, ed., Springfield VA, May, 1993, 219- 227.
- [6] Cohen, C.E. & Parkinson, B.W. (1991): Mitigating multipath error in GPS based attitude determination. *Advances in the Astronautical Sciences, Guidance and Control*, Vol. 74, 53-68.
- [7] Georgiadou, Y. & Kleusberg, A. (1989): Multipath effects in static and kinematic GPS surveying. International Association of Geodesy Symposium,

- Global Positioning System: An Overview, Symposium No. 102, Edinburgh, Scotland, 7-8 August, 82-89.
- [8] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. (1994): *Global Positioning System: Theory and Practice*. Third edition, Springer-Verlag Wien, New York, 355 pp.
- [9] Kee, C. & Parkinson, B.W. (1994): Calibration of multipath errors on GPS pseudo-range measurements. Proceedings of ION GPS-94, Seventh International Technical Meeting of The Satellite Division of The Institute of Navigation, Salt Lake City, Utah, 20-23 September, 353-362.
- [10] Lachapelle, G., Falkenberg, W. & Neufeldt, D. (1989): Marine DGPS using code and carrier in a multipath environment. Proceedings of ION GPS-89, Second International Technical Meeting of The Satellite Division of The Institute of Navigation, Colorado Springs, Colorado, 27-29 September, 343-347.
- [11] Lachapelle, G. (1990): GPS observables and error sources for kinematic positioning. International Association of Geodesy Symposia, Kinematic Systems in Geodesy, Surveying, and Remote Sensing, Symposium No. 107, 17-26.
- [12] Langley, R.B. (1993): The GPS Observables, *GPS World*, April, 4(4), 52-59.
- [13] Lin, L.S. (1995b): Mitigating multipath effects on GPS measurements. Paper presented at the Annual Research Seminars, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 6-7 November (abstract *Geomatics Research Australasia*, No. 63, December, 1995, page 105).
- [14] Lin, L.S. & Rizos, C. (1997b): Use of multipath template technique for mitigating GPS pseudo-range multipath: methodology and test results. Proceedings of the First Trans Surveyors Conference, Newcastle, Australia, 12-18 April, 22.1-22.9.
- [15] Lin, L.S. (1997): A novel approach to improving the accuracy of real-time ionospheric delay using GPS. Proceedings of ION GPS-97, Tenth International Technical Meeting of The Satellite Division of The Institute of Navigation, Kansas City, Missouri, 16-19 September, 169-178.
- [16] Lin, L.S. (1998): Real-time estimation of ionospheric delay GPS measurements. *UNISURV 5-51*, Reports from School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, Australia, 218pp.
- [17] Lin, L.S. (2002): Applying multipath template technique to improve the real-time ionospheric delay estimation accuracy. To be presented at ION GPS-2002, Portland, Oregon, USA, 24-27, September, 2002.
- [18] Meehan, T.K. & Young, L.E. (1992): On-receiver signal processing for GPS multipath reduction. Proceedings of Sixth International Geodetic Symposium on Satellite Position, Columbus, Ohio, 17-20 March, 200-208.
- [19] Qiu, W. (1993): *An analysis of some critical error sources in static GPS surveying*. UCGE Reports No. 20054, The University of Calgary, Calgary, Canada, 102pp.
- [20] Rizos, C. (1997): *Principles and Practice of GPS Surveying*. Monograph 17, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 560 pp.
- [21] Rocken, C., Johnson, J., Braun, J., Meertens, C. & Perry, S. (1994): *UNAVCO facility GPS receiver tests*. Draft 7/2/94, 63 pp.
- [22] Seeber, G. (1993): *Satellite Geodesy*. Walter de Gruyter, Berlin. New York, 531 pp.
- [23] Townsend, B. & Fenton, P. (1994): A practical approach to the reduction of pseudo-range multipath errors in a L1 GPS receiver. Proceedings of ION GPS-94, Seventh International Technical Meeting of The Satellite Division of The Institute of Navigation, Salt Lake City, Utah, 20-23 September, 143-148.
- [24] Tranquilla, J.M. (1986): Multipath and imaging problems in GPS receiver antennas. Proceedings of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Austin, Texas, 28 April - 2 May, 557-571.
- [25] Tranquilla, J.M., Colpitis, B.G. & Carr, J.P. (1989): Measurement of low-multipath antennas for TOPEX. Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Position, Las Cruces, New Mexico, 13-17 March, 356-361.
- [26] Van Nee, R.D.J., Sierveld, J., Fenton, P.C. & Townsend, B.R. (1994): The multipath estimating delay look loop: approaching theoretical accuracy limits. 1994 IEEE Position Location and Navigation Symposium, Las Vegas, Nevada, 11-15 April, 246-251.
- [27] Wells, D., et al. (1986): *Guide to GPS Positioning*. Canadian GPS Associates.

六、圖表

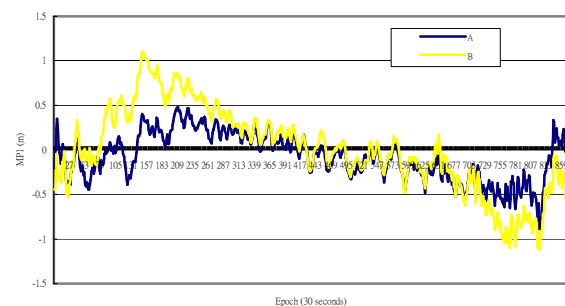


Figure 1. The MP1 multipath values of day 71, 2002 and the predicted MP1 multipath values from single-day multipath template of day 70, 2002, for PRN 4 at site CUA2.

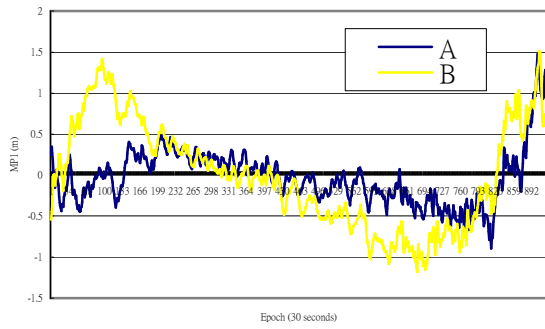


Figure 2. The MP1 multipath values of day 71 , 2002 and the predicted MP1 multipath values from single-day multipath template of day 55, 2002, for PRN 4 at site CUA2.

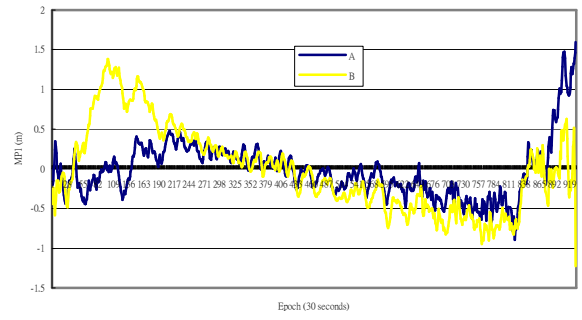


Figure 5. the MP1 multipath values of day 71 , 2002 and the predicted MP1 multipath values from multi-day multipath template from data of day 55 to day 70, 2002, for PRN 4 at site CUA2.

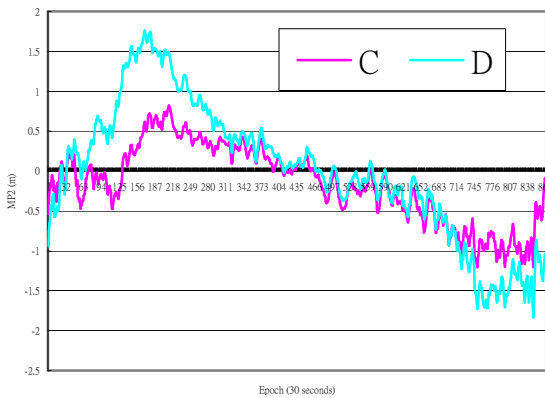


Figure 3. The MP2 multipath values of day 71 , 2002 and the predicted MP2 multipath values from single-day multipath template of day 70, 2002, for PRN 4 at site CUA2.

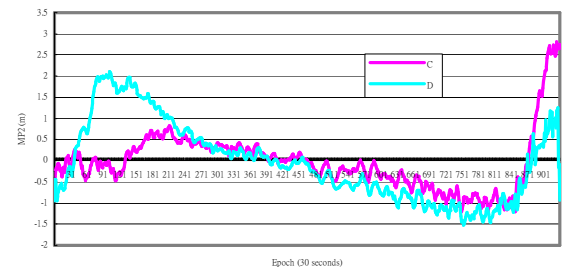


Figure 6. the MP2 multipath values of day 71 , 2002 and the predicted MP2 multipath values from multi-day multipath template from data of day 55 to day 70, 2002, for PRN 4 at site CUA2.

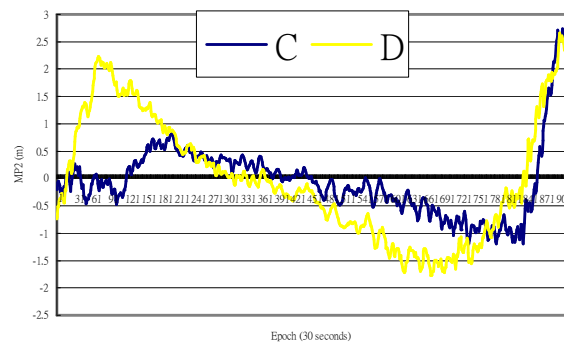


Figure 4. The MP2 multipath values of day 71 , 2002 and the predicted MP2 multipath values from single-day multipath template of day 55, 2002, for PRN 4 at site CUA2.

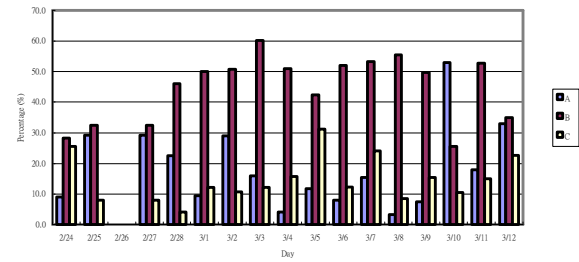


Figure 7. MP1 Statistics of the 16 single-day multipath templates.

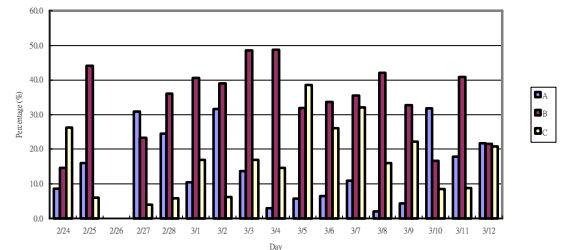


Figure 8. MP2 Statistics of the 16 single-day multipath templates.

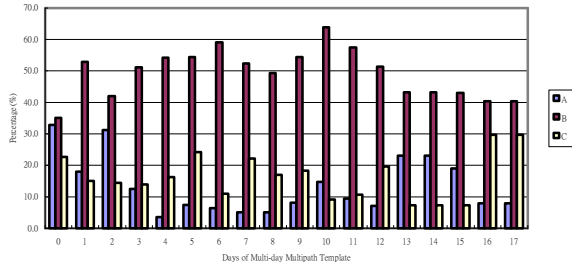


Figure 9. MP1 Statistics of the 17 multi-day multipath templates.

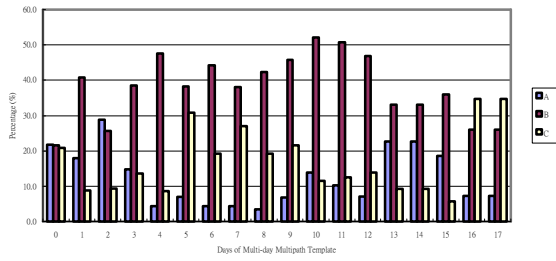


Figure 10. MP2 Statistics of the 17 multi-day multipath templates.

Table 2. Real-time TEC estimate difference statistics, comparison of applying different multi-day multipath template, for PRN 4 at site CUA2, from day 55 to 71, 2002.

Multi-day multipath template	Mean (TECU)	Standard Deviation (TECU)	Maximum (TECU)	Minimum (TECU)
1m	0.33	0.09	0.39	0.10
2m	0.21	0.08	0.29	0.02
3m	-0.40	0.09	-0.33	-0.67
5m	0.44	0.08	0.54	0.31
7m	0.69	0.09	0.83	0.53
8m	0.96	0.11	1.12	0.72
9m	0.30	0.06	0.39	0.17
10m	-0.70	0.10	-0.56	-0.95
11m	-0.24	0.08	-0.19	-0.51
12m	-0.30	0.11	-0.21	-0.60
13m	-1.23	0.20	-1.03	-1.73
15m	-1.57	0.22	-1.35	-2.15
16m	-0.83	0.12	-0.75	-1.21

Table 1. Real-time TEC estimate difference statistics, comparison of applying different single-day multipath template, for PRN 4 at site CUA2, from day 54 to 71, 2002.

Day of Year	Mean (TECU)	Standard Deviation (TECU)	Maximum (TECU)	Minimum (TECU)
71	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.33	0.09	0.39	0.10
69	0.41	0.09	0.51	0.12
68	-0.68	0.09	-0.60	-0.96
67	2.15	0.30	2.69	1.47
66	1.62	0.19	1.90	1.35
65	1.89	0.26	2.36	1.28
64	1.43	0.16	1.64	1.14
63	1.79	0.19	2.06	1.36
62	0.02	0.04	0.06	-0.12
61	-1.11	0.18	-0.66	-1.43
60	0.79	0.11	0.94	0.44
59	0.22	0.11	0.30	-0.03
58	-1.33	0.23	-1.11	-1.89
57 (N/A)	1.95	0.18	2.36	1.71
56	-1.21	0.19	-1.02	-1.75
55	0.69	0.16	0.92	0.45
54 (N/A)	1.95	0.18	2.36	1.71
No MP	1.95	0.18	2.36	1.71

