

## 結合低價單頻 GPS 接收儀與虛擬基準站定位精度之研究

陳鶴欽<sup>1、2\*</sup> 饒瑞鈞<sup>1</sup> 王敏雄<sup>2</sup> 劉正倫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立成功大學地球科學系

<sup>2</sup>內政部國土測繪中心

### 摘 要

本研究使用低價單頻 L1 衛星接收儀，搭配虛擬參考站技術，從事加密控制測量作業之可行性研究。成果顯示，在零基線測試中，約 96% 成果小於 1 mm，與雙頻儀器測試相當。在靜態基線測試，7 km 內，72% 基線可得固定解。結合 e-GPS 系統虛擬參考站靜態測試，在 10 km 測試，75% 基線可得固定解，最大較差約在 3 cm，推估可提升基線距離效益約 30%。使用單頻結合虛擬參考站觀測資料，在 15m 動態成果，可達 90% 解算成功率，水平定位標準偏差約在 1cm。

**關鍵詞：**低價單頻 L1 接收儀，零基線，虛擬參考站

## The Study of Precision of Combining Low-Cost L1 GPS Receiver and Virtual Reference Station

He-Chin Chen<sup>1、2\*</sup>, Ruey-Juin Rau<sup>1</sup>, Min-Shiung Wang<sup>2</sup>, and Jeng-Lun Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Science, National Cheng-Kung University

<sup>2</sup>National Land Survey and mapping Center, Ministry Of the Interior

### ABSTRACT

In this study, a low-cost GPS receiver that combines single-frequency carrier phase was used with the virtual reference stations technique in testing the feasibility study on densified control survey possible. The results of zero baseline test shows that there are approximately 96% achievement less than 1 mm for the baseline length. It is similar to the obtained test results of general dual frequency GPS receiver. The result reveals the stable and reliable quality of observation achievement. During the 1 hour static baseline test, within 7 km range, 72% of baseline reached fixed solutions, which conform to general densified control point survey demand. When collocate with e-GPS system producing Virtual Reference Station (VRS) data under static baseline test, 75% baselines are able to calculate fixed solutions in 10 km range and the maximum error is less than 3 cm. The results of combining VRS improve the baseline distance benefit of about 30%. When integrate the Single Frequency GPS with VRS observation data in 15m dynamic calculation, the obtained result can reach 90% success rate, horizontal positioning standard error of around 1cm.

**Keyword:** low-cost L1 GPS receiver, zero baseline, virtual reference station.

文稿收件日期 98.1.13; 文稿修正後接受日期 98.9.1.;\*通訊作者

Manuscript received Jan. 13, 2009; revised September 1, 2009;\* Corresponding author

## 一、前言

### 1.1 研究背景與目的

GPS 從 1978 年發射以來，由於 GPS 技術發展快速，已普遍被應用於控制測量、地殼變位監測、汽車導航...等等各方面。GPS 衛星靜態 (Static) 定位應用在控制測量方面，已漸趨普遍，並已證實可達到公分級之精度。在實際作業方面，除要求適當點位透空度外，具有選取點位不需考慮相互通視及網形強度之特性、外業測量不受天候限制及測量時間縮短等優點，故目前臺灣地區控制測量部份已全面採用 GPS 衛星定位測量，並建置 TWD97 (Taiwan Datum 1997) 坐標系統供各項建設使用，並於 2000 年正式公告 TWD97 作為國家測量基準[1]。

自 2000 年 5 月美國國防部解除 SA 效應後 (Selective Availability) [2]，GPS 於民生導航的應用更為普及，且因價格相對便宜甚多已廣泛被各行各業使用，導航型 GPS 通常僅接收 C1 電碼觀測資料，缺乏相位資料，無法從事公分級高精度測量作業。而大地測量所用均為雙頻接收儀，除電碼觀測資料外，尚具有 L1 及 L2 的雙頻載波觀測資料，經長時間觀測可達公分級甚至公釐級精度，在臺灣地區並已被應用於高精度板塊變形監測作業[3]，此類測量型儀器成本通常較為昂貴。

目前所使用於測量型儀器衛星接收儀多為雙頻之衛星接收儀，除可收電碼 (包含 C/A、P1、P2) 外，尚有接收 L1 及 L2 兩種相位觀測資料，部分儀器尚有 D1、D2、S1、S2 等訊號，價格較為昂貴約 1.5-2 萬美金，而導航型衛星接收儀通常應用於一般定位調查，通常觀測量僅 C/A 電碼觀測量，價格約在 500 美元，相對便宜很多。部分導航型接收儀除可輸出電碼觀測量，也可輸出單頻相位觀測量 (L1)，本研究嘗試使用低成本導航型單頻衛星接收儀作為辦理加密控制測量作業的另一種解決方案，以期應用於短距離基線觀測等加密控制測量作業。未來在均使用碼分多址 (Code Division Multiple Access, CDMA) 技術的歐盟伽利略定位系統 (Galileo) 及中國北斗定位系統 (Beidou/Compass) 的快速發展及降低成本觀念下，僅有 L1 相位成果與 C/A 電碼的 GNSS (Global Navigation Satellite System)

衛星接收儀，將是低成本單頻多系統 GNSS 衛星接收儀的另一種選擇，期可應用於火山口、邊坡及地滑監測作業，可有效掌握監測環境變化情形。

內政部國土測繪中心主要負責國內基本控制點測量作業，每年使用 GPS 接收儀辦理新測設及檢測各級控制點作業約超過 3000 點，其中多數點位為三、四等控制點，以地籍圖重測業務而言，2003-2007 年間平均每年約新設及檢測四等控制點計 2264 點，檢測三等控制點約 600 點，上開點位間距約為 1-3 公里，且視點位等級不同，觀測時間約 1-3 小時，由於 GPS 接收儀使用頻繁，儀器耗損高。依據國土測繪中心近年來採購儀器花費成本經驗顯示，每部 GPS 雙頻全波長儀器約為新台幣 50-55 萬元，且近 3 年來平均每年 GPS 儀器維修費用約超過新台幣 70 萬元，其中 2007 年度更超過台幣 100 萬元，且部分儀器更換核心主機板之單價更超過新台幣 15 萬元，但因 GPS 接收儀主機雖然故障，但天線盤仍是正常運作，若能搭配低價接收儀將可節省成本。

國土測繪中心已於 2007 年在臺灣地區 (包含金門、馬祖及澎湖) 建置 e-GPS 即時動態定位系統，透過設置於各地共 76 個 GPS 連續站及網路通訊傳輸，每一秒鐘將各地觀測資料傳回設置於該中心計算機房，並解算區域改正參數，再依客戶需要及時傳送一虛擬參考觀測檔，提供客戶進行短基線解算。GPS 關閉 SA 效應後，電離層延遲效應變成單頻誤差的最大誤差來源，如能將電離層的影響量消除，則能提升定位精度[4]。單頻儀器無法如雙頻接收儀可利用雙頻資料所產生之線性組合來消除電離層誤差，但本研究將嘗試利用虛擬參考站 (Virtual Reference Station, VRS) 技術產生虛擬參考站來計算基線，可避免單頻接收面臨電離層誤差無法處理的問題，藉以發揮其各項應用。

### 1.2 文獻回顧

Talbot 及吳敏達曾使用單頻 L1 測量型儀器並結合序貫演算法 (Sequential Resolution Approach) 來提升單頻儀器的精度，基線較差約在 2cm[5][6]，蘇宣翰利用測量型單頻觀測資料配合 Bernese 4.0 處理軟體，計算得到的基線長重複性為 8.4mm±0.4ppm[7]，已可達到美

國 FGCC 所提出之 GPS 相對定位測量等級中的 2-I 級，證實單頻儀器可行。但近年來隨著儀器的發展，目前多數測量儀器廠商已不出產單頻的測量型儀器。澳洲新南威爾斯大學曾使用低成本單頻接收儀（內網監測點）並搭配雙頻儀器（框架網點）來測試辦理加密測量，其精度可與雙頻儀器成果相當[8]，Janssen 等更應用雙頻 GPS 結合低成本單頻 L1 GPS 接收儀來監測印尼 Mt. Papandayan 火山活動情形，得出平面方向較差約 1.4—3.7cm[9]，標準偏差約 1.1—1.8cm，Roberts 等人對單頻 L1 接收儀發展出 sfStatic 軟體，使用 4 小時以上單頻觀測在 1.2 及 11 公里基線可達 2-3ppm[10]。黃文祥使用鼎天 REV2000 導航型 L1 GPS 模組（內部為 SiRF 晶片組）作靜態測試，約 45 分鐘靜態定位成果達公分級[11]。

在 GPS 衛星接收儀精度檢驗中，零基線（Zero Baseline）測試是相當重要的一環，且是用來檢測接收儀內部雜訊的主要方法之一。作業原理為使用分流器（Splitter）讓 2 部接收儀接收來自同一天線訊號，因來自同一天線盤訊號且環境組件相同，相關誤差在差分時將被消除，惟各接收儀因通道時間、儀器老化...等等，使得基線長之解算成果將不為零，藉此可用來檢驗儀器的標準精度。Rocken 等人曾使用 Bernese 軟體解算，得出之零基線成果優於 1 mm[12]。中國已將零基線測試納入「全球定位系統 GPS 測量型接收儀檢定規程」，要求觀測時間 1.5 小時，基線長度解應在 1mm 以內[13][14]。劉美利使用瑞士 Bern 大學發展之 Bernese GPS 軟體及 Trimble 發展之 GPSurvey 軟體分別對雙頻儀器進行零基線評估，發現同型號儀器所組成之零基線長度解約 0-0.3mm，不同型號所組成之基線長度解約 0.6-1.7mm[15]。

## 二、e-GPS 即時動態定位系統

### 2.1 系統作業原理

VRS RTK（Virtual Reference Station Real Time Kinematic）定位技術的基本觀念是由多個 GPS 基準站全天候連續地接收衛星資料，並經由網路或其他通訊設備與控制及計算中心連接，彙整計算產生區域改正參數資料庫，藉以計算出任一移動站附近之虛擬參考站

（VRS）的相關資料。所以在基準站所構成的基線網範圍內，RTK 使用者只需在移動站上擺設衛星定位接收儀，並將相關定位資訊，透過以全球行動通訊系統（Global System for Mobile Communication, GSM）為基礎的整合封包無線電服務技術（General Packet Radio Service, GPRS）等無線數據通訊傳輸技術及美國國家海洋電子學會（National Marine Electronics Association, NMEA）專為 GPS 接收儀輸出資料所訂定之標準傳輸格式傳送至控制及計算中心。在計算虛擬參考站之模擬觀測量後，再以「國際海運系統無線電技術委員會」（Radio Technical Commission for Maritime, RTCM）所制定之差分 GPS 標準格式回傳至移動站衛星定位接收儀，進行“超短距離”之 RTK 定位解算，即可即時求得公分級精度定位坐標[16][17]。

綜上所述，採用 VRS RTK 定位技術進行即時性動態定位實際運作之步驟如下：（1）基準站區域網資料前級處理：包含建立基準網觀測資料庫，並同時進行基準站之網形平差計算；（2）基準站區域網解算：控制及計算中心彙整計算各基準站連續觀測資料及精確坐標，建立區域性誤差修正資料庫；（3）建立虛擬基準站觀測數據：移動站利用無線數據通訊傳輸技術將衛星定位接收儀 NMEA 格式之位置資訊（通常為單點定位坐標）登錄於控制及計算中心後，由控制及計算中心依移動站位置坐標進行系統誤差內插計算，並結合最近的基準站實際觀測資料組成 VRS 虛擬觀測資料後，以 RTCM 格式回傳至移動站；（4）移動站坐標解算：移動站接收儀進行“超短基線”RTK 定位解算[18]。

### 2.2 系統組成

在 e-GPS 衛星基準站實地建置部分，2004 年度迄今共建置之 76 處基準站，係整合包含內政部、中央氣象局、花蓮及彰化縣政府、部分大學院校原建置固定站及國土測繪中心新設置固定站，透過網際網路傳輸觀測資料至計算中心[19]。e-GPS 衛星定位基準站即時動態定位系統之網路架構，在基於系統資料傳輸之即時性需求及不影響國土測繪中心現有資訊作業之正常運作等情況下，係採用獨立架構方式建置。控制及計算中心與各基準站網路線路

之申裝，則採用政府網際服務網虛擬專用網路 (Virtual Private Network, VPN) 架構。目前國土測繪中心 e-GPS 控制及計算中心已申裝架設固接式 T1 專線 2 組、E1 專線 1 組及 ADSL (2M/512K) 專線 1 組，並採 VPN 架構模式連接本中心及內政部所建置之各衛星基準站。考量實務作業及區域特性，臺灣地區計分 10 區域服務網來進行定位服務作業[20]。

e-GPS 系統採用美國 Trimble 公司所研發之 GPSNet 定位系統軟體[21]，其區分為 Basic Package、DGPSNet 及 RTKNet 等三大模組，可做為衛星定位基準站遠端控制、資料下載、進行單頻 200 公里內 DGPS 差分定位解算及公分級 VRS-RTK 即時動態定位解算之用。主要功能包含：(1) 執行控制及計算中心與各基準站接收儀間連線，自動傳輸觀測資料；(2) 自動下載觀測資料並轉換為 RINEX 格式，並可自動儲存及壓縮；(3) 即時監控遠端基準站衛星接收儀狀態及設定衛星接收儀運作參數，如有效觀測截角、接收訊號取樣間隔等；(4) 可產生虛擬位置之 RTCM 觀測數據及 SAPOS FKP 廣播改正資料，並自動傳送至移動站；(5) 藉由軟體分析碼及載波相位觀測量，可連續計算多路徑誤差、電離層誤差、對流層誤差、星曆誤差及 L1、L2 載波相位整數週波未定值。

### 2.3 系統精度

e-GPS 即時動態定位系統需有高精度的坐標來維持各基準站間相對關係之正確性，經

考量臺灣地區地殼變形快速及 TWD97 座標系統更新頻率等問題，先由資料計算分析後，在臺灣本島地區係選定建置於竹南地政事務所基準站 (JUNA) 為固定站，其坐標系統基本定義之相關資訊如表 1。福建省金門及馬祖 2 處之區域性分區定位服務網中，考量其地緣及因地殼變動所產生之位移量甚小等因素，分別就近選取內政部金門 (KMNM) 及馬祖 (MZUM) 衛星追蹤站，做為其他基準站精密坐標之起算點。澎湖地區因境內並無衛星追蹤站，故權宜之方式則係採用內政部北港衛星追蹤站 (PKGM) 為該地區各基準站精密坐標起算點。

VRS RTK 定位成果標準偏差測試，係以架設於國土測繪中心樓頂之 LSBA 測站每日 1Hz 連續定位成果平均值所統計之均方根值 (Root Mean Square, RMS)，做為統計分析之基礎資料；解算成功率之分析基礎則為統計 LSBA 測站每日連續定位成果可以解算至固定解 (Fix Solution) 之比率。本次測試作業期間進行 157 整天之 VRS RTK 定位結果，其解算成功率之總平均值為 98.38%，其本質著重於 VRS-RTK 定位成果之內在精度。本測試作業計蒐集 2005 年 5 月至 12 月間之 157 天資料，VRS-RTK 定位成果精度在 N 方向 RMS 平均值為 1.44cm，在 E 方向 RMS 平均值為 1.48cm，在高程方向 RMS 平均值為 3.87cm。(各月份統計資料如表 2)。

表 1. 臺灣本島地區 e-GPS 衛星定位坐標系統基本定義表

| 國際坐標基準框架 | ITRF                         |
|----------|------------------------------|
| 坐標定義起始時刻 | 2005 年 2 月 15 日 12:00:00     |
| 固定站點名    | 竹南(JUNA)                     |
| X-COORDS | -2975764.7118 (0.0083 mm/yr) |
| Y-COORDS | 4976994.8411 (-0.0006 mm/yr) |
| Z-COORDS | 2647324.2334 (-0.0129 mm/yr) |

\* 各軸坐標內表示年速度量

表 2. LSBA 測站 2005 年 4-12 月份 VRS RTK 定位精度平均值統計表

| 月            | 05 | 06   | 07   | 08   | 09   | 10   | 11   | 12   | 合計   |                                    |
|--------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------------------|
| 取樣日數(天)      | 26 | 23   | 16   | 12   | 21   | 23   | 15   | 21   | 157  |                                    |
| 定位精度<br>(公分) | N  | 1.37 | 1.42 | 2.52 | 2.29 | 1.17 | 0.98 | 1.12 | 1.23 | 平均<br>(公分)<br>1.44<br>1.48<br>3.87 |
|              | E  | 1.28 | 1.58 | 2.33 | 2.36 | 1.33 | 1.06 | 1.33 | 1.21 |                                    |
|              | h  | 3.60 | 4.17 | 5.45 | 5.62 | 3.41 | 3.13 | 3.60 | 3.16 |                                    |

### 三、測試資料蒐集

#### 3.1 硬體

目前市面上多數導航用單頻接收儀多採用 SiRF 及 U-blox 晶片，為考量 GPS 模組的靈敏度 (Sensitivity)、低電功率、衛星搜尋至鎖定時間 (Time-To-First-Fix, TTFF)、輸出 L1 相位觀測量及星曆等因素，本研究選擇使用 U-blox 晶片模組 (LEA-4T) 之單頻 L1 GPS 接收儀[22]。該款儀器使用 U-blox 之 GPS 晶片模組，內建 GPS 天線模組，可接收及輸出 C/A 電碼及 L1 載波觀測資料。該 GPS 模組為原設計於導航作業使用，內建天線因缺乏正確相位中心資料，不利於定心對點及重複觀測等

測量作業程序，將會影響觀測成果，故本研究重新將其設計為可外接分離式天線盤，如此將可滿足一般測量作業定心定平的基本要求。在電源管理的設計上亦將輸入電壓定為 8V~28V，另矽晶震盪將衛星訊號放大之低雜訊放大器 (Low Noise Amplifier, LNA) 前置率波分組設計來減低雜訊[23]。另在設計上遇到電源升降壓轉換、靜電及其他模組電路驅動干擾，則是利用部分反值元件抵銷因電源產生之干擾，另在高頻干擾部份也設計金屬反制干擾產生。初步估算單頻 GPS 接收儀本身價格約在美金 500 元之下，而天線盤則可使用市面上已具有相位中心率定資料之天線盤。(各單元組成詳如圖 1)。

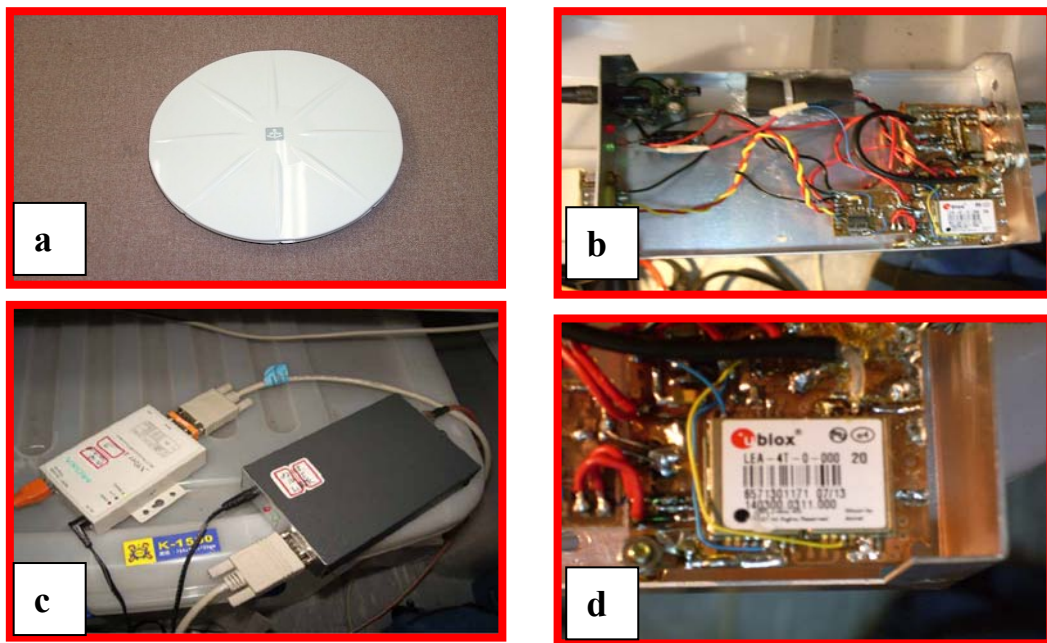


圖 1. 本研究使用單頻 GPS L1 接收儀之各組成單元 (a:TRM41249.00 天線盤, b: 本研究使用接收儀主機, c: 主機與 N-port, d: U-blox 晶片)。

#### 3.2 資料蒐集

為了解使用分離式天線盤之單頻 L1 衛星接收儀之穩定性及成果品質，本研究將原設於內政部測繪中心樓頂 (LSBA) 之 GPS 雙頻衛星接收儀 (Trimble 4000SSE) 及大地測量型天線盤 (Trm41249.00)，使用訊號分流器，將 L1 GPS 與其連結以接收相同衛星訊號。另透過網路傳輸及自行開發介面程式，將原始 u-blox BINARY L1 觀測資料直接轉換存成 RINEX 格式之 O 檔，接收資料間隔為 5 秒一

筆，蒐集期間為 2007 年 11 月 7 日至 2007 年 11 月 9 日計 3 天觀測資料 (DOY:311-313)，每一小時觀測資料分為一組觀測檔共計 72 組，以進行零基線測試。又因目前辦理各級控制測量作業，一二等衛星控制點點位間距約 10-30 km，三等控制 2-8 公里，加密控制點約在 2km 以內，由從目前從國土測繪中心 e-GPS 即時動態定位系統中，觀測檔內獲取近似坐標與產生虛擬參考站差值約在 20m 以內，並考量係有雙頻資料等因素後，分別蒐集該點與相距 15 m (LSB0, 測繪中心)、3km (FCU1, 逢甲大學)、7km (TC12, 台中焚化廠)、18km

(TACH, 台中港) 等不同測站 (雙頻接收儀) 所組成之基線觀測資料, 距離資料進行計算比對, 並使用 TRIMBLE 公司提供之 Trimble Total Control (TTC) V2.73 GPS 計算軟體進行資料靜態解算作業 (作業流程定義及設備詳如圖 2)。

另外並使用國土測繪中心已建置完成之 e-GPS 即時動態基準站觀測網資料, 使用

Trimble Gpsnet 軟體, 以 Gpserver 模組及 Gpsnet RTK 模組觀測當時之虛擬參考站修正資料檔 (副檔名 \*.vrs), 並配合單頻觀測日期及時間, 以 LSB0 及 FCU1 坐標為依據, 後處理產生 ELSB 及 EFCU 二個虛擬參考觀測資料, 以辦理後續資料之分析作業。

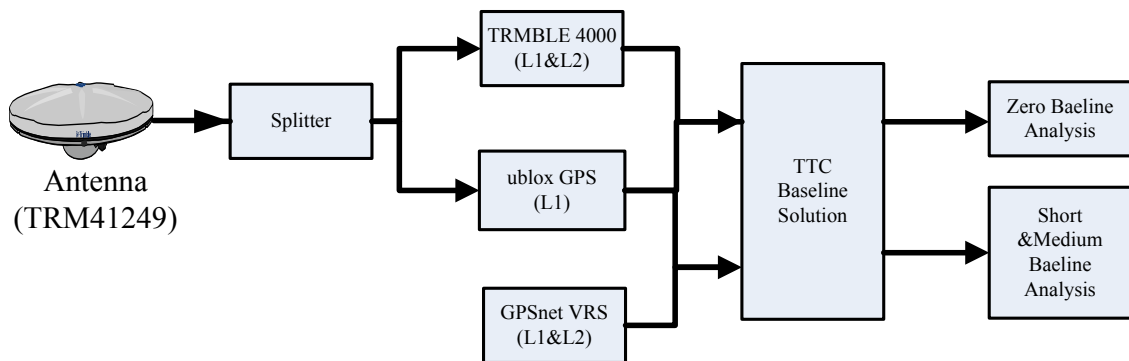


圖 2. L1 GPS 作業資料產製處理流程示意圖。

## 四、資料處理與分析

### 4.1 零基線測試

依據零基線原理, 測試基線解之理論值應為「0」mm, 但實務上考量儀器雜訊等等因素後多數以 1mm 為檢測標準。使用 TTC 計算軟體及廣播星曆資料計算 3 天 72 組零基線資料, 結果顯示僅有 3 組基線長度解大於 1mm, 最大值約 1.4mm, 其餘 68 筆觀測資料 (約 95%) 均小於 1mm, 整體成果在 0.1-1.4mm 間 (如表 3 及圖 3), 與過靜君[14]、劉美利[15]等人

實驗成果相符。發現 3 天之各組資料出現誤差較大者皆在中午時刻, 與一般認為中午時刻較不適宜辦理外業觀測作業相符, 且在臺灣地區通常中午時刻因 GPS 衛星顆數較少致使 GDOP 值較差, 其次則因使用單頻資料, 無法像雙頻接收儀可組成無電離層線性組成消去一階項電離層效應之影響量, 且可反映蘇宣翰 [7] 所提影響單頻定位精度最大之因素乃電離層折射效應, 若此誤差沒有妥善清除, 則應用對流層附加參數法將會不當地吸收殘餘誤差, 而造成負面效果。

表 3. 單頻零基線測試成果 單位:mm

| DOY      | MAX | MIN | MEAN | STD |
|----------|-----|-----|------|-----|
| 2007-311 | 1.0 | 0.1 | 0.5  | 0.2 |
| 2007-312 | 1.4 | 0.2 | 0.6  | 0.3 |
| 2007-313 | 1.2 | 0.2 | 0.5  | 0.3 |

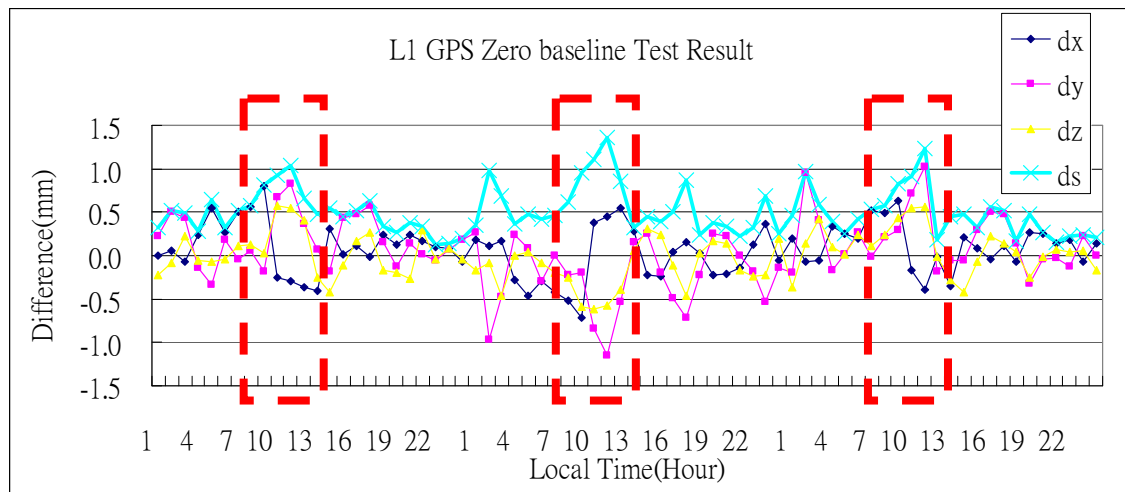


圖 3. L1 GPS 零基線成果時間序列 (橫軸代表每天每小時時間)。

#### 4.2 短中距離靜態基線測試

為測試單頻資料運用在不同距離之基線成果精度，另使用 TTC 軟體分別求解 LSBA (L1) - LSB0 約 15m、LSBA (L1) - FCU1 約 3km、LSBA (L1) - TC12 約 7km 及 LSBA (L1) - TACH 約 18km 等距離，並以目前四等控制測量作業規範要求 1 小時觀測時間段，同樣針對 3 天共計 72 組觀測資料，進行 L1 觀測資料在上述四種短、中距離基線之測試，並使用 LSBA (雙頻) 與 LSB0、FCU1、TC12、TACH 四者 (皆雙頻) 之 3 天 72 小時資料之靜態基線求解，並將此雙頻成果視為參考值來比對 L1 基線成果，評判標準則以一般加密控制測量之 30mm+6ppm 為準，成果顯示如下：

(1) 超短基線測試：使用 3 天雙頻資料計算基線長為 15.465m (LSBA-LSB0)，另使用 L1 GPS 觀測成果求解 72 組基線全數求得固定解 (FIXED，成功率 100%)，基線平均值為 15.464m，基線長介於 15.463 - 15.466m 間，成果穩定可靠 (如圖 4)。

(2) 短距離 (FCU1，約 3km) 測試，使用 3 天雙頻資料計算基線長為 3185.447m (LSBA-FCU1)，另使用 L1 GPS 觀測成果求解 72 組基線，其中 72 組求得固定解 (FIXED，成功率 100%)，基線平均值為 3185.446m，基線長介於 3185.423 - 3185.459m 間，成果屬穩定可靠 (圖 4)。

(3) 短距離 (TC12，約 7 km) 測試，

使用 3 天雙頻資料計算基線長為 7043.056 m (TC12-FCU1)，另使用 L1 GPS 觀測成果求解 72 組基線，其中 66 組求得固定解 (FIXED，成功率 92%)，為基線平均值為 7043.446m，惟部份基線較差超過 3cm，經剔除基線大於 3cm 者，共剔出 20 組基線，合格率約 72%。

(4) 中距離測試 (TACH，約 18km)，使用 3 天雙頻資料計算基線長為 18252.195m (LSBA-TACH)，另使用 L1 GPS 觀測成果求解 71 組基線 (TACH 約缺少 1hr 資料)，其中僅 28 組基線較差在 3cm 以內，其餘成果度不佳，較差最大者甚達 1.2m，成果無法使用。

彙整單頻儀器觀測量與其他 4 個測量資料解算成果如表 4。成果顯示 GPS 解算基線距離受電離差誤差影響，一般測量型雙頻接收儀可藉由雙頻觀測量線性組合來消除電離層誤差，提升解算基線距離，惟單頻儀器無法藉此來消除電離層誤差，故在實務上使用時機與距離受到限制。

#### 4.3 短時段短距離靜態基線測試

一般而言，辦理加密測量多數會在 3km 甚至更短距離內施行，以目前內政部國土測繪中心辦理之三等控制測量平地間距約 2-6km，四等控制點距離要求約在 0.5-1.5km，故本研究另選擇二個測試距離，即 LSBA(L1) - LSB0 距離約 15m，LSBA(L1) - FCU1 距離約 3km，選擇 2008 年 2 月 6 日一天觀測資料，使用 UNAVCO 發展之 GPS 觀測資料處理編輯工具軟體 TEQC，將原本每小時一個的觀測

資料檔分割成每 10 分鐘一個檔案，總計分割成 144 組觀測，並求解靜態基線，成果顯示如下：

(1) 15m(L1-LSB0)短基線共計 144 組基線，全數求得固定解 (L1 FIXED)，平均值為 15.462m，另由雙頻資料求得 (LSBA-LSB0) 基線長為 15.464m，兩者差值約 2mm。144 組基線中最大較差絕對值為 6.3mm，最小者為 0.4mm，標準偏差為 1.0mm，基線成果差

值如圖 5。

(2) 3km(L1-FCU1)短基線共計 144 組基線，其中 136 組基線求得固定解 (L1 FIXED)，平均值為 3185.446m，另由雙頻資料求得 (LSBA-LSB0) 基線長為 3185.447m，兩者差值約 1mm。另部分基線雖為固定解，但將較差大於 3cm 者其刪除後，計 129 組基線符合規定，成功率約 90%，基線成果差值如圖 6。

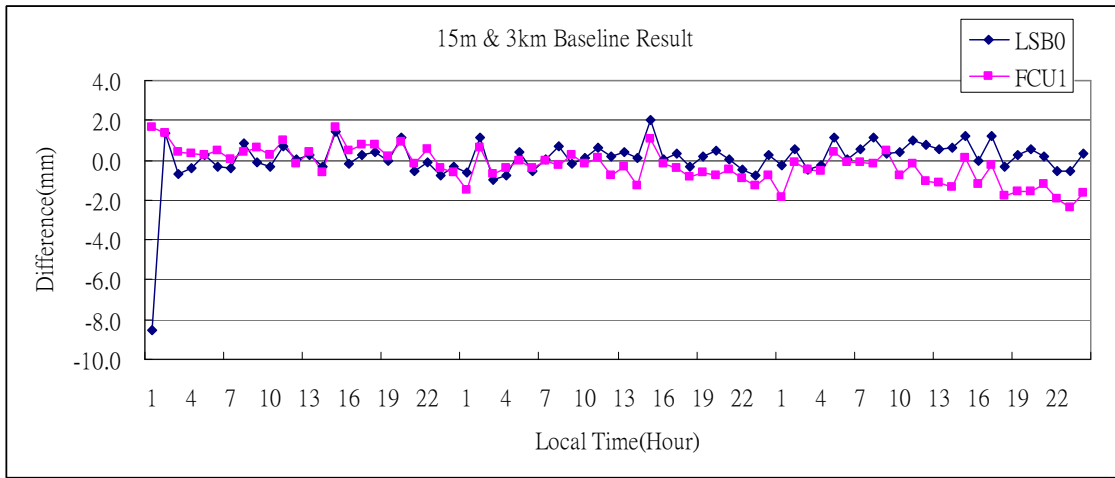


圖 4. 單頻 L1 GPS 在 15 m 及 3 km 基線計算較差。

表 4. 單頻觀測量與不同距離實際測站(雙頻)基線解算成果彙整表

| 站名   | 基線長       | 求解成功率 | 較差 3cm 成功率 | 最大較差     |
|------|-----------|-------|------------|----------|
| LSB0 | 0.015 km  | 100%  | 100%       | 0.2 cm   |
| FCU1 | 3.185 km  | 100%  | 100%       | 2.4 cm   |
| TC12 | 7.043 km  | 92%   | 72%        | 9.0 cm   |
| TACH | 18.252 km | 86%   | 38%        | 129.7 cm |

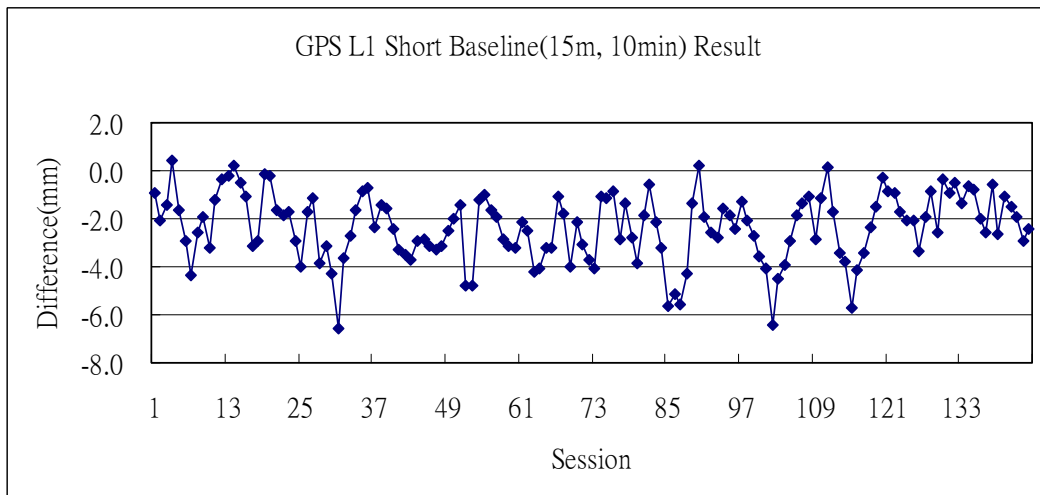


圖 5. 單頻 L1 GPS 10 分鐘觀測量計算 15 m 基線之成果。



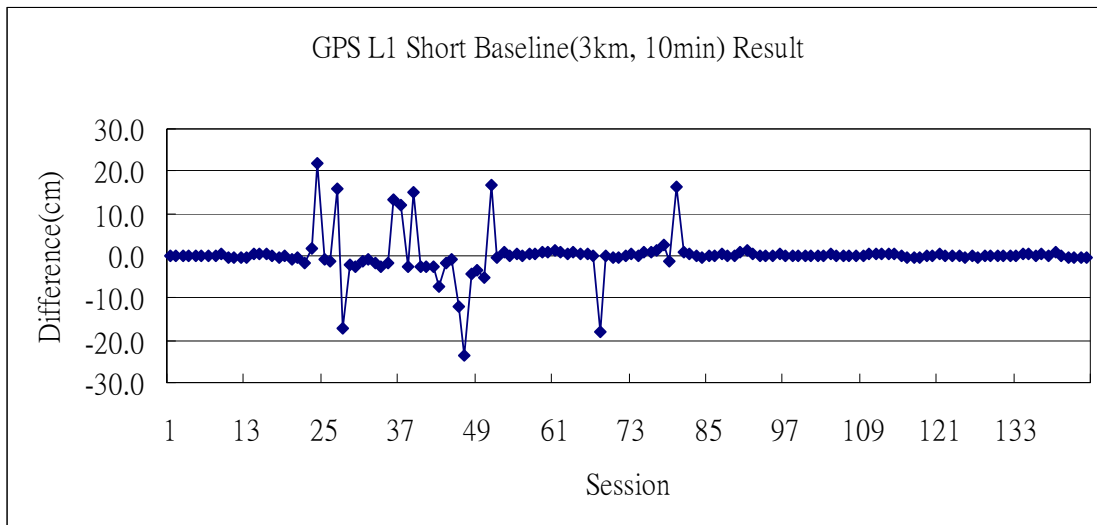


圖 6. 單頻 L1 GPS 10 分鐘觀測量計算 3 km 基線之成果。

#### 4.4 結合 VRS 之不同距離靜態基線測試

從前述成果顯示，使用真實觀測資料與單頻資料組成之基線，3km 成果可達 98.5%，在基線長度 7km 且較差在 3cm 範圍內，基線解算成功率下降至 72%，且成果精度不佳。為了解經由 VRS 所產生的虛擬參考站內，其對電離層、對流層等相關誤差之處理，對於單頻觀測量之解算是否有所改變，可對不同距離之基線進行測試，並以每小時一組資料共計 24 組之基線成果作一比較，我們選擇距單頻測站 4-15 公里範圍內且產生虛擬參考站，計有 ET21、ET12、ET907、E395 及 E453 等 5 個虛擬參考站，參考站近似坐標係直接引用附近原各級控制點 TWD97 成果。

(1) 4km: 依據 ET21 使用 Trimble Gpsnet 之 Gpsserver 模組產生虛擬觀測量，並與單頻觀測成果使用計算，成果顯示 24 組基線全數求得固定解 (L1 Fixed)，平均值為 4450.454m，中誤差 0.003m，最大觀測值 4450.461m，最小觀測值 4450.449m，成果良好。

(2) 7km: ET12 使用 Gpsserver 模組產生虛擬觀測量，並與單頻觀測成果使用計算，成果顯示 24 組基線全數求得固定解 (L1 Fixed)，平均值為 7043.084m，中誤差 0.016m，最大觀測值 7043.107m，最小觀測值 7043.063m，成果良好。

(3) 9km: ET907 使用 Gpsserver 模組產生虛擬觀測量，並與單頻觀測成果使用計算，

成果顯示 24 組基線全數求得固定解 (L1 Fixed)，平均值為 9483.328m，中誤差 0.035m，最大觀測值 9483.447m，最小觀測值 9483.296m，經分析 9483.467m 應為誤判應於剔除，成功率 98.5%，經重新計算平均值為 9483.323m，中誤差 0.024m，最大觀測值 9483.363m，最小觀測值 9483.296m。

(4) 10km: E395 使用 Gpsserver 模組產生虛擬觀測量，並與單頻觀測成果使用計算，成果顯示 24 組基線全數求得固定解 (L1 Fixed)，平均值為 10145.303m，中誤差 0.029m，最大觀測值 10145.346m，最小觀測值 10145.227m，經分析大於 3 公分者應為較不可信賴成果，應予剔除，共計剔除 6 組基線，成功率 75%(18/24)，經重新計算平均值為 10145.302m，中誤差 0.028m，最大觀測值 10145.331m，最小觀測值 10145.278m。

(5) 15km: E453 使用 Gpsserver 模組產生虛擬觀測量，並與單頻觀測成果使用計算，成果顯示 24 組基線中僅 23 組求得固定解 (L1 Fixed)，剔除浮動解者後 (時間為 2008 年 2 月 6 日 12:00-13:00)，平均值為 15314.358m，中誤差 0.031m，最大觀測值 15314.393m，最小觀測值 15314.302m，經分析大於 3cm 者應為較不可信賴成果，應予剔除，共計剔除 13 組基線，成功率僅 46%(11/24)，不足一半，顯示單頻 15km 已不能使用。

彙整單頻儀器觀測量與其他 5 個虛擬參考站測量資料解算成果如表 5。與真實雙頻觀測資料比較，使用虛擬參考站技術與單頻資料

聯合解算，在成功率為 75% 的條件下，所獲得的基線解算距離約為 10km，與真實雙頻資

料之成功率 72% 條件下解算距離約為 7km，有明顯改善。

表 5. 單頻觀測量與不同距離虛擬參考站（雙頻）基線解算成果彙整表

| 站名    | 基線長       | 求解成功率 | 較差 3cm 成功率 | 最大較差   |
|-------|-----------|-------|------------|--------|
| ET21  | 4.450 km  | 100%  | 100%       | 0.7 cm |
| ET12  | 7.043 km  | 100%  | 100%       | 2.3 cm |
| ET907 | 9.483 km  | 100%  | 99%        | 4.0 cm |
| E395  | 10.145 km | 100%  | 75%        | 2.9 cm |
| E453  | 15.314 km | 96%   | 46%        | 5.6 cm |

#### 4.5 結合 VRS 與低價單頻(L1)短距離動態測試

為了解單頻 L1 在動態方面成果，我們使用 2008 年 2 月 6 日 (DOY:37) 1 天觀測資料進行分析 (每 5 秒一筆觀測量)，使用 TTC 軟體動態計算模組 (雙頻資料內定值為 OTF 方式)，但因為單頻資料，故 TTC 內定使用增強動態解 (Enhance float solution) 及時間最佳化搜尋技術[24]，約需 5-10 分鐘的觀測資料方可解算。將資料分為每小時一個時段，以 LSB0 坐標產生一個約距單頻接收儀約 15m 之虛擬參考站 (ELSB) 並固定此點座標，計算單頻每個時段每筆觀測量(epoch)成果坐標，並將每

個時段計算每筆觀測量之平面坐標和高程平均值、計算筆數、中誤差及成功率等資訊彙整如表 6。

結果顯示，以成功率而言，除時段 C 外，其他時段成功率均超過 90%。但以各時段每筆觀測量平均值而言，時段 Q 與 X 雖然求解成功率超過 90%，但是明顯該時段平均值與其它時段差值較差過大，若以 A 時段為參考值，Q 時段較差在水平方向達 47.4cm，高程方向達 45.5cm，X 時段較差在水平方向達 74.5cm，高程方向達 33.3cm，另再檢視各組中誤差發現，除 Q、X 時段外，其餘各時段的水平中誤差 ( $\sigma_{NE}$ ) 均在 1cm 以下，高程方向中誤差 ( $\sigma_h$ ) 均在 3cm 以下。

表 6. 虛擬參考站與 1 小時單頻 (L1) 觀測量動態定位成果彙整表 單位:m

| 時段 | N(平均值)      | E(平均值)     | h(平均值)  | 計算筆數 | $\sigma_{NE}$ (cm) | $\sigma_h$ (cm) | 成功率(%) |
|----|-------------|------------|---------|------|--------------------|-----------------|--------|
| A  | 2672050.067 | 212816.558 | 118.948 | 717  | 0.4                | 1.7             | 99.6   |
| B  | 2672050.071 | 212816.561 | 118.937 | 720  | 0.5                | 1.1             | 100.0  |
| C  | 2672050.075 | 212816.559 | 118.950 | 387  | 0.7                | 0.9             | 53.8   |
| D  | 2672050.068 | 212816.559 | 118.946 | 720  | 0.6                | 1.3             | 100.0  |
| E  | 2672050.068 | 212816.557 | 118.957 | 653  | 0.5                | 1.2             | 90.7   |
| F  | 2672050.070 | 212816.558 | 118.963 | 715  | 0.6                | 1.4             | 99.3   |
| G  | 2672050.067 | 212816.561 | 118.952 | 651  | 1.0                | 1.2             | 90.4   |
| H  | 2672050.068 | 212816.559 | 118.953 | 709  | 0.6                | 1.4             | 98.5   |
| I  | 2672050.073 | 212816.561 | 118.951 | 720  | 0.5                | 0.9             | 100.0  |
| J  | 2672050.068 | 212816.560 | 118.942 | 718  | 0.5                | 0.6             | 99.7   |
| K  | 2672050.073 | 212816.561 | 118.945 | 720  | 0.5                | 0.8             | 100.0  |

|   |             |            |         |     |     |      |       |
|---|-------------|------------|---------|-----|-----|------|-------|
| L | 2672050.071 | 212816.556 | 118.941 | 720 | 0.6 | 0.9  | 100.0 |
| M | 2672050.071 | 212816.562 | 118.943 | 707 | 0.5 | 0.9  | 98.2  |
| N | 2672050.072 | 212816.562 | 118.940 | 717 | 0.4 | 1.0  | 99.6  |
| O | 2672050.070 | 212816.560 | 118.940 | 715 | 0.7 | 2.3  | 99.3  |
| P | 2672050.071 | 212816.560 | 118.942 | 657 | 0.6 | 1.2  | 91.3  |
| Q | 2672050.132 | 212816.088 | 118.493 | 674 | 7.1 | 12.4 | 93.6  |
| R | 2672050.072 | 212816.562 | 118.945 | 694 | 0.6 | 0.8  | 96.4  |
| S | 2672050.070 | 212816.561 | 118.944 | 720 | 0.5 | 1.1  | 100.0 |
| T | 2672050.070 | 212816.561 | 118.944 | 707 | 0.5 | 0.9  | 98.2  |
| U | 2672050.069 | 212816.559 | 118.936 | 720 | 0.6 | 0.8  | 100.0 |
| V | 2672050.071 | 212816.558 | 118.941 | 720 | 0.5 | 0.9  | 100.0 |
| W | 2672050.073 | 212816.562 | 118.948 | 720 | 0.6 | 1.4  | 100.0 |
| X | 2672050.243 | 212815.834 | 118.614 | 720 | 1.7 | 8.3  | 100.0 |

## 五、結論與建議

1、零基線測試成果顯示，低價單頻 GPS 接收儀在 72 組零基線成果顯示僅 3 組大於 1mm，其中最大者為 1.4mm，成功率約 96%，與一般實驗雙頻接收儀成果相當，顯示該接收儀訊號成果品質應屬穩定可靠。

2、靜態基線比對中發現，使用 1 小時觀測量單頻資料，在 3km 以內基線成果 100% 均可求解出固定解且成果可靠，符合一般加密應用測量使用者，以價格而言，低價 GPS L1 接收儀具有競爭優勢。

3、使用 VRS 技術產生虛擬參考站與低價單頻 L1 GPS 接收儀資料，靜態基線計算成果顯示，VRS 資料可改善基線計算距離，原真實觀測資料在 7km 處成功率約 72%，而 VRS 技術下在 7km 處解算成功率為 100%，在 10km 處成功率約 75%，推估可提升距離效益約 30% (3km/10km)。

4、結合 VRS 與低價單頻 15m 短距離動態測試解果顯示，在 24 個時段中有 22 個時段解算成功率超過 90%，且在此 22 個時段中，水平中誤差 ( $\sigma_{NE}$ ) 均在 1cm 以內，高程方向中誤差 ( $\sigma_h$ ) 均在 3cm 以內。

5、本研究使用低成本導航型衛星接收儀經實驗分析顯示觀測資料品質與成果良好，與其它使用測量型單頻略有不同，可大幅降低設置作業成本，對於臺灣部分敏感地區，如易地滑之山坡地或土石流等地區，可於安全穩固地

區設置雙頻接收儀固定站，搭配災害敏感地區之單頻接收儀來辦理短基線求解，進行即時監測作業，達到防災預警之功效並降低成本。

## 致謝

本研究使用改良分離式 L1 GPS 接收儀係由中國航測工程顧問有限公司洪焜生先生協助製作，並由內政部國土測繪中心提供相關資料，特此致謝。

## 參考文獻

- [1] 內政部，內政部 90 年 5 月 2 日台內地字第 9060856 號令，臺灣台北，2001。
- [2] Satirpod C, Rizos C, Wang J, "GPS single point positioning with SA off: how accurate can we get?," Survey Review, Vol. 36, No. 282, pp.255-262, 2001.
- [3] Yu, S.B., Chen, H.Y., Kuo, L.C., "Velocity field of GPS stations in the Taiwan area," Tectonophysics, Vol. 274, pp. 41-59, 1997.
- [4] Gao, Y., and Liu, Z.Z., "Precise Ionosphere Modeling Using Regional GPS Network Data," Journal of Global Positioning Systems, Vol. 1, No. 1, pp.18-24., 2002.
- [5] Talbot N.C., "High-precision real-time GPS positioning concepts : modeling and results," Journal of The Institute of Navigation, Vol. 38 No. 2, pp.147-161, 1991.

- [6] 吳敏達，GPS 單頻載波相位以序貫演算法進行即時靜態定位之研究，國立成功大學碩士論文，台南，1995。
- [7] 蘇宣翰，提昇單頻 GPS 接收儀觀測量定位精度之研究，國立交通大學碩士論文，新竹，1996。
- [8] Chen, H.Y., Rizos, C., Han, S., “From simulation to implementation: low-cost densification of permanent GPS networks in support of geodetic applications,” *Journal of Geodesy*, Vol. 75, pp.515-526, 2001.
- [9] Janssen, V., Roberts, C., Rizos, C., Abidin, H.Z., “Low-Cost GPS-based Volcano Deformation Monitoring at Mt. Papandayan Indonesia,” *Journal of Volcano and Geothermal Research*, Vol. 115, pp.139-151, 2002.
- [10] Roberts, C., Seynat, C., Rizoz, C., Hooper, G., “Low-cost deformation measurement system for volcano monitoring,” 3<sup>rd</sup> FIG Regional Conference, Jakarta, Indonesia, October 3-7, 2004
- [11] 黃文祥，REV-2000 GPS 單頻模組相對定位精度分析，國立成功大學碩士論文，台南，2004。
- [12] Rocken, C., Meertens, C., Stephens, B., Braun, J., VanHove, T., Perry, S., Ruud, O., McCallum, M., Richardson, J., UNAVCO Academic Research Infrastructure Receiver and Antenna Test Report, 1996.
- [13] 中華人民共和國國家測繪局，全球定位系統 (GPS) 測量型接收機檢定規程，中華人民共和國測繪行業標準，1995。
- [14] 過靜君、季如進、商瑞斌、張遠智，GPS 天線相位中心偏移影響及接收儀零基線的測試，*測繪通報* 1993 第 1 期，第 19-20 頁，1993。
- [15] 劉美利，應用零基線原理檢驗接收儀內部雜訊之研究，國立交通大學碩士論文，新竹，2003。
- [16] Lachapelle, G., Alves, P., Fortes, L. P., Cannon, M. E., “DGPS RTK Positioning Using a Reference Network,” *Proceedings of ION GPS 2000*, Salt Lake City, Utah, pp1165-1171, 2000.
- [17] Vollath, U., Landau, H., Pagels, C., Wagner, B., “Multi-Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations,” *Proceedings of ION GPS 2000*, Salt Lake City, Utah, pp123-131, 2000.
- [18] Landau, H., Vollath, U., Chen, X., “Virtual Reference Station System,” *Journal of Global Positioning Systems*,” Vol. 1, No. 2, pp.137-143, 2002.
- [19] 王敏雄，e-GPS 定位系統應用於基本控制測量作業之研究，內政部國土測繪中心自行研究報告，台中，2007。
- [20] 內政部國土測繪中心 eGPS 入口網頁：<http://www.egps.nlsc.gov.tw/>
- [21] Trimble VRS homepage: <http://www.trimble.com/vrs.html>.
- [22] u-Blox homepage: <http://www.u-blox.com/>
- [23] 高洪民、費元春，GPS 接收機射頻前端電路原理與設計，*電子技術用*，2005 年第 2 期，第 55-58 頁，2005。
- [24] Trimble TTC homepage: [http://www.trimble.com/totalcontrol\\_ts.asp](http://www.trimble.com/totalcontrol_ts.asp)