

應用 e-GPS 即時動態定位系統 辦理三等控制點檢測作業可行性之探討

林世賢¹

劉至忠²

劉正倫³

摘要

控制測量為各項測量作業之基礎，而控制點之檢測則為控制點引測前所必須進行的程序，內政部國土測繪中心為我國三等控制點管理維護機關，長期以來均訂定中長程施政計畫逐年辦理三等控制點檢測作業，以確保控制點之精度。鑑於臺灣地區位處歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊劇烈碰撞地帶，對於地殼變動造成基本控制點位移及坐標系統扭曲變形嚴重，如何提升控制點檢測效率，並建立各級基本控制點位速度場模型，以分析坐標系統受地殼變動之影響程度，為本中心當務之急。

本文探討以 e-GPS 即時動態定位測量技術辦理三等控制點檢測作業之精度，並以後處理產製虛擬衛星觀測資料的方式模擬 e-GPS 即時動態定位測量方式，由本實驗數據顯示，每次接收 120 筆資料，1 天 24 小時內總計觀測 720 次，其所得之測點坐標較差，其 N、E 坐標較差約 88% 的信心區間可達 2 公分、99.9% 的信心區間為 4.9 公分、h 坐標 99.9% 的信心區間為 9.8 公分；基線長度較差最大者為 1.3 公分、最小者為 -2.8 公分，均小於 3 公分+6ppm；另分析不同觀測時間間隔之精度，隨著觀測時間增長，精度逐漸提高，高程精度提升的幅度遠大於平面精度，平面精度約高程精度的 2~3 倍，依基本控制點管理維護作業要點所訂檢測標準，e-GPS 即時動態定位測量精度足敷用於三等控制點檢測作業。

關鍵詞：GPS、控制點檢測、虛擬基準站。

¹ 內政部國土測繪中心 測量員

² 內政部國土測繪中心 課長

³ 內政部國土測繪中心 副主任

一、前言

鑑於臺灣地區位處歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊劇烈碰撞地帶，對於地殼變動造成基本控制點位移及坐標系統扭曲變形嚴重，內政部國土測繪中心(以下簡稱本中心)為維護完整且高精度之國家坐標系統，乃配合內政部於「國家基本測量發展計畫」中研訂臺閩地區三等控制點管理維護作業，規劃自 93 年度起至 96 年度止，分 4 年逐年編列預算，採用 GPS 衛星定位測量技術，統籌辦理臺閩地區三等控制點清理檢測及管理維護工作，並藉由基本控制點資料庫更新及定期性管理維護作業，提供維護國家坐標系統、輔助訂定高精度測量基準及其他加值定位服務等多功能使用。

本中心於 96 年建立的一套全天候、高精度、高效率、低成本的 e-GPS 即時動態定位系統，該系統平面位置已可達到優於 2 公分之精度，本文藉由 VBS-RTK 後處理技術來驗證 e-GPS 即時動態定位技術辦理可應用於三等控制點檢測作業。

二、e-GPS 即時動態定位系統

2.1 系統介紹

e-GPS 為本中心建構之全國電子化全球衛星即時動態定位系統名稱，基本定義為架構於網際網路通訊及無線數據傳輸技術之 GPS 即時動態定位系統，其中字母“e”係具有「電子化」及「網路化」之含意。

依本中心 92 年度委託財團法人成大研究發展基金會辦理「臺灣 e-GPS 電子基準站規劃設計及測試分析」研究結果，建議在臺灣本島地區布設衛星定位基準站之最佳間距，以不超過 50 公里為原則（內政部國土測繪中心，2006），故本中心自 93 年度起編列經費展辦全國性 e - GPS 衛星定位基準站建置工作，截至目前已順利連線運作者已達 76 處基準站，並將將全國劃分為北區（基隆市、臺北市縣、桃園縣、新竹縣市）、中區（苗栗縣、臺中縣市、南投縣）、西區（彰化縣、雲林縣、嘉義縣市）、南區（臺南縣市、高雄市縣、屏東縣）、宜蘭（宜蘭縣）、花蓮（花蓮縣）、臺東（臺東縣）、澎湖（澎湖縣）、金門（福建省金門縣）、馬祖（福建省連江縣）等 10 個區域性定位服務網及 1 個全區性 DGPS 定位服務網（不含外島地區）等（王敏雄、梁朝億、劉至忠、劉正倫、林燕山，2007）。

2.2 VBS-RTK 原理

VBS-RTK(Virtual Base Station ,Real Time Kinematic)技術是 e-GPS 即時動態定位系統之核心定位技術，其定位技術的基本觀念既是由多個 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，彙整並計算區域改正參數資料庫，藉以算出任一移動站之虛擬基準站的相關資料，所以在基準站所構成的基線網範圍內，使用者只需在移動站上擺設衛星定位接收儀，並將位置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，並計算虛擬基準站之模擬觀測量後，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 (內政部國土測繪中心，2006)。

2.3 e-GPS 坐標系統

本中心 e-GPS 即時動態定位系統因須即時計算並處理各基準站涵蓋範圍內之定位誤差修正資料，並依每個使用者單點定位坐標產出虛擬衛星觀測資料，回傳給使用進行超短基線之 RTK 即時動態定位解算，故需有高精度的坐標來維持各基準站間相對關係之正確性，因此本中心自行定義 1 套以時間為函數之 e-GPS 動態坐標系統，來做為進行即時動態定位之坐標基準平臺。

在臺灣本島地區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如表 1。福建省金門及馬祖 2 處區域性分區定位服務網，則考量地緣及因地殼變動所產生位移量甚小等因素，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；至澎湖地區因境內並無衛星追蹤站，故權宜採用北港衛星追蹤站 (PKGM) 為該地區各基準站精密坐標之起算點 (王敏雄、梁朝億、劉至忠、劉正倫、林燕山，2007)。

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 94	
坐標定義起始時刻		2005 年 02 月 15 日 12:00:00	
固定站點名	X-COORDS	Y-COORDS	Z-COORDS
JUNA	-2975764.7118	4976994.8411	2647324.2334
速度量	0.0083m/yr	-0.0006 m/yr	-0.0129 m/yr

2.4 虛擬衛星觀測資料輔助動態定位

e-GPS 即時動態定位為提供使用者直接於測點現場接收由本系統工作伺服器主機所提供之虛擬基準站衛星觀測資料，進行測點即時性動態定位成果解算，惟測點現場可能因無線通訊設備完全無訊號或訊號中斷，導致無法於測點現場立即獲得公分級定位精度，為解決這類問題，本中心採用後處理方式產生虛擬衛星觀測量，再與實體衛星接收觀測量進行解算，得到點位定位成果。

目前本中心 e-GPS 即時動態定位系統取得虛擬基準站衛星觀測資料之機制，係使用 Trimble 公司所研發之 GPSever 軟體，該軟體具有虛擬參考站檔案產生器功能模組，使用者只要輸入待產製之虛擬觀測資料日期、時間間隔、待測點位單點定位 3D 直角坐標及輸出檔案名稱等資訊，該軟體即會產出該點位於定位誤差模型中之內插量，並與最近真實基準站衛星觀測資料結合後，最後產出 RINEX 標準資料格式之虛擬基準站衛星觀測資料。

最後再採用 Trimble 公司研發之 Trimble Total Control (TTC) 商用基線計算軟體，聯合 GPS 實測衛星觀測資料及 GPSNet 定位系統軟體所產製之各級基本控制點 VBS 虛擬衛星觀測資料，以 On-The-Fly (OTF) 整數週波未定值求解技術，進行 RTK 後處理動態定位坐標解算。

三、控制點檢測作業

本中心目前辦理各級控制點位檢測標準，係依據本中心委託社團法人中華民國國防科技學術研究學會所擬定之「基本控制點檢測作業規範」辦理（內政部國土測繪中心，2001），相關檢測規範如表 2，例如以 GPS 衛星定位測量辦理三等控制點檢測，基線長度較差量為 3cm+6ppm、點位坐標分量較差之檢核標準為 9.8cm，檢測結果已知基本控制點坐標變動量符合標準者，視為無變動點位並維持原公布坐標，未達標準者，將其視為變動點位，重新解算坐標。

表 2、控制點檢核項目及規範表

檢測方法	項目\等級	一等	二等	三等	四等
GPS 衛星定位測量	基線長度較差量	1cm+2ppm	2cm+4ppm	3cm+6ppm	3cm+6ppm
	坐標分量較差值	2.4cm	5.0cm	9.8cm	9.8cm

因控制點之 TWD97 坐標乃內政部正式公佈之國家坐標成果，為國家所有測繪工程及土地地籍之基準依據，具有法定地位，坐標變動勢必影響人民權益，故為瞭解其受地殼板塊影響情形，長期監測各級基本控制點之位移量，因此本文將探討 e-GPS 即時動態定位系統之精度，分析該技術是否可應用於辦理基本控制點之檢測作業。

四、實驗成果

4.1 實驗說明

依本中心 96 年度「e-GPS 定位系統應用於基本控制測量作業之研究」（王敏雄、梁朝億、劉至忠、劉正倫、林燕山，2007）之綜合建議，略以「實施較高精度之基本控制點檢測作業之野外觀測時，除採用固定式三角架施測，並完整記錄至少 120 筆以上解算至 RTK-FIX 定位成果外，且為有效提升 e-GPS 即時動態定位系統之可用性，建議無法於現場施測 VBS-RTK 即時動態定位或無法完成 RTK-FIX 定位解算之點位，可同步採用靜態測量模式，至少接收 15 至 20 分鐘衛星觀測資料，俾提供內業進行 VBS-RTK 虛擬觀測資料後處理定位解算使用……」，故實驗採用上開研究之建議，以後處理方法分析 2 分鐘、10 分鐘、20 分鐘、1 小時、2 小時、3 小時等不同時間間隔觀測資料之定位精度。

本實驗採後處理方式以模擬實際即時動態定位測量之作業方式，使用 GPSTServer 計算出每個點位同時段的虛擬衛星觀測資料，將實際接收的衛星觀測資料與虛擬衛星觀測資料，利用 Trimble TTC 軟體以 OTF 模式解算點位每一時刻之坐標，剔除浮動解及大於 3 倍中誤差等之時刻坐標後再取平均，其作業流程圖如圖 1、圖 2。

為了解 e-GPS 即時動態定位技術應用於控制點檢測之精度，本實驗分別對 e-GPS 即時動態定位技術之絕對精度與相對精度進行探討。

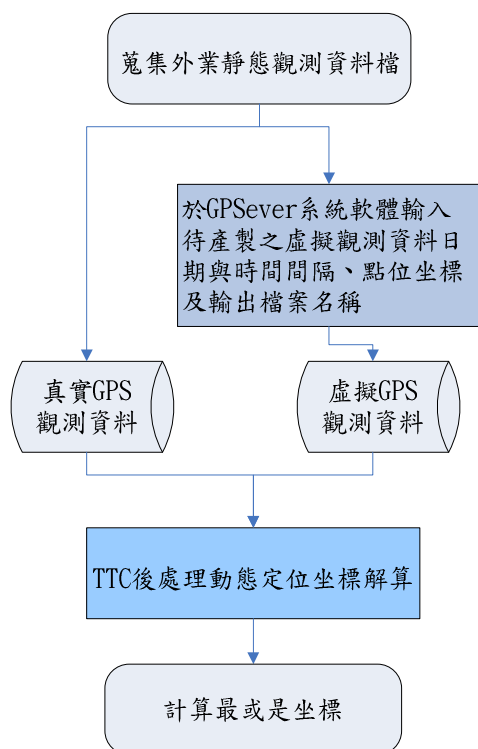


圖 1、本實驗作業流程圖

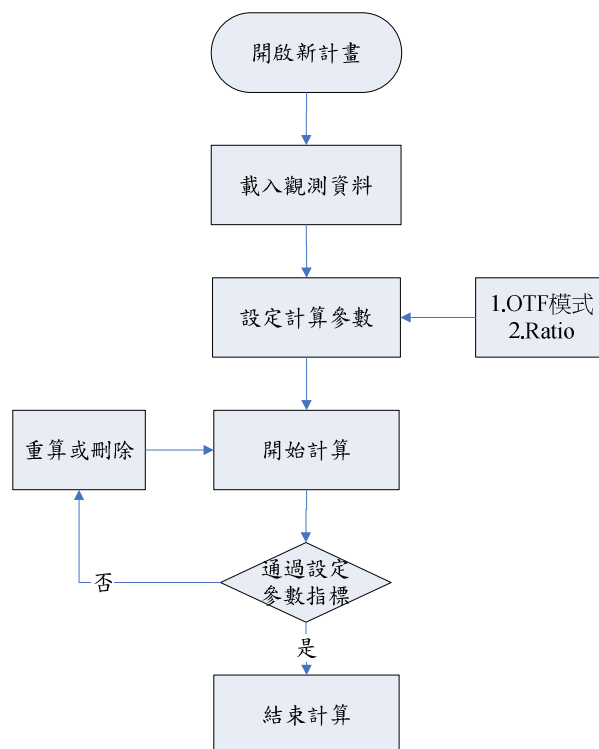


圖 2、TTC 後處理 OTF 動態定位計算流程圖

4.2 絕對精度分析

蒐集本中心大樓樓頂基準站 LSB0 於 2008 年 7 月 24 日之實體觀測資料，並使用 GPSever 產生 LSB0 該天之虛擬衛星觀測資料，產生虛擬衛星觀測資料之參考基準站為距離 LSB0 約 14 公里處之彰化和美站(VRS1)，使用之定位服務網為中區服務網，紀錄間隔為 1 秒；為了解 e-GPS 外業觀測時間與精度的關係，將資料分成每 2 分鐘、10 分鐘、20 分鐘、1 小時、2 小時、3 小時等不同時間長度之檔案，再以 TTC 軟體對 LSB0 點位之虛擬衛星觀測資料與實體衛星觀測資料進行後處理 OTF 模式計算，每個時刻之坐標經過濾後，求得 LSB0 之最或是坐標，每次觀測所得到之 LSB0 坐標再與本中心結合所有基準站長時間資料計算所獲得之最或是坐標比較，藉坐標較差大小分析 e-GPS 即時動態定位系統之絕對精度。

LSB0 基準站坐標之計算流程為利用本中心所建置之所有基準站衛星觀測資料先經由人工進行必要之篩選過濾並疏化取樣間隔為 30 秒後，採用瑞士伯恩大學天文研究所採用多測站-多時段方法所研發之 BERNESE 研究型基線及網形平差計算軟體，配合國際 GNSS 服務組織 (International GNSS Service, IGS) 所公佈之最終精密星曆，每天解算各衛星定位基準站精密坐標，再彙整針對每一處衛星定位基準站每天計算獲得之坐標進行 TAU 測試 (τ -Test)，剔除成果品質較差之坐標成果後，以線性方程式計算各基準站三軸坐標之速度量，再由各基準站中挑選點位位移變化量及最小且資料接收衛星觀測資料最穩定之竹南基準站，作為 e-GPS 衛星定位基準站坐標及速度場解算之固定站，並依據該基準站資訊自動解算各基準站每日坐標及推算其速度量。

由實驗數據顯示，每次觀測 2 分鐘，1 天 24 小時總計可觀測 720 次，以 TTC 計算各次成果，有 705 次 (約 98%) 可求出 FIXED 解，每一次觀測所得之坐標與 LSB0 之真實坐標較差圖(圖 3)可知，高程坐標之變化幅度遠大於平面坐標，另統計各次較差數量(表 3、圖 4)，N、E、h 坐標分量較差小於 2 公分之比例分別為 88%、

87%及 44%，約 98% 平面坐標較差小於 3 公分，由坐標較差中誤差來看（表 5），平面坐標精度約為高程精度的 3 倍，將其平面位置坐標較差展繪（圖 6），大部分點位都落在半徑為 3 公分紅色圓圈內，另將 98% 的 FIXED 點位的坐標取平均後與 LSB0 真實坐標的較差分量分別為(-0.007 公尺、0.003 公尺、0.008 公尺)，顯示兩者之間沒有差異，顯示 e-GPS 即時動態定位系統觀測 2 分鐘(120 筆)之平面精度已可達到相當高等級。

另於圖 3 中發現，GPS 時間 6 點 40 分時有 1 筆資料高程較差達 19 公分，推測發生原因可能是計算錯誤，檢查該筆 OTF 計算報告，最低比率 RATIO 為 2.39，後續將繼續探討 RATIO 與 OTF 成果可靠度之關係，以提高成果可靠度。

另比較不同時間間隔之成果，隨著觀測時間增加，測點之精度逐漸提高，觀測 3 小時的精度最高，其中高程方面的精度提升的幅度較平面坐標大，由觀測 2、10、20 分鐘實驗中坐標較差小於 2 公分的次數與較差中誤差顯示，觀測 2、10、20 分鐘的精度相差不大，觀測 1 小時、2 小時、3 小時的實驗中，3 者平面精度相差不大，惟高程精度可明顯提高，各觀測時間段與坐標精度各項統計值如表 4、表 5 所示。

綜上，可知以 e-GPS 即時動態定位系統辦理時間 2 分鐘(120 筆)絕對精度，約 88% 的信心區間 N、E 坐標為 2 公分，N、E 較差 99.9% 的信心區間為 4.9 公分、高程精度 99.9% 的信心區間為 9.8 公分，依基本控制點檢測作業規範中規定三等控制點位坐標分量較差之檢核標準為 9.8 公分，檢測成果大於 9.8 公分才需變更控制點位坐標，否則維持原坐標，e-GPS 即時動態定位系統精度已足敷用於三等控制點檢測作業，惟 e-GPS 系統所得到測點之坐標系統與目前 TWD97 相近但不相同，因此無法直接將測得之坐標與公告坐標直接比較坐標較差，必須將 e-GPS 坐標系統經坐標轉換後再比對，或改以比較兩測點之基線長度。

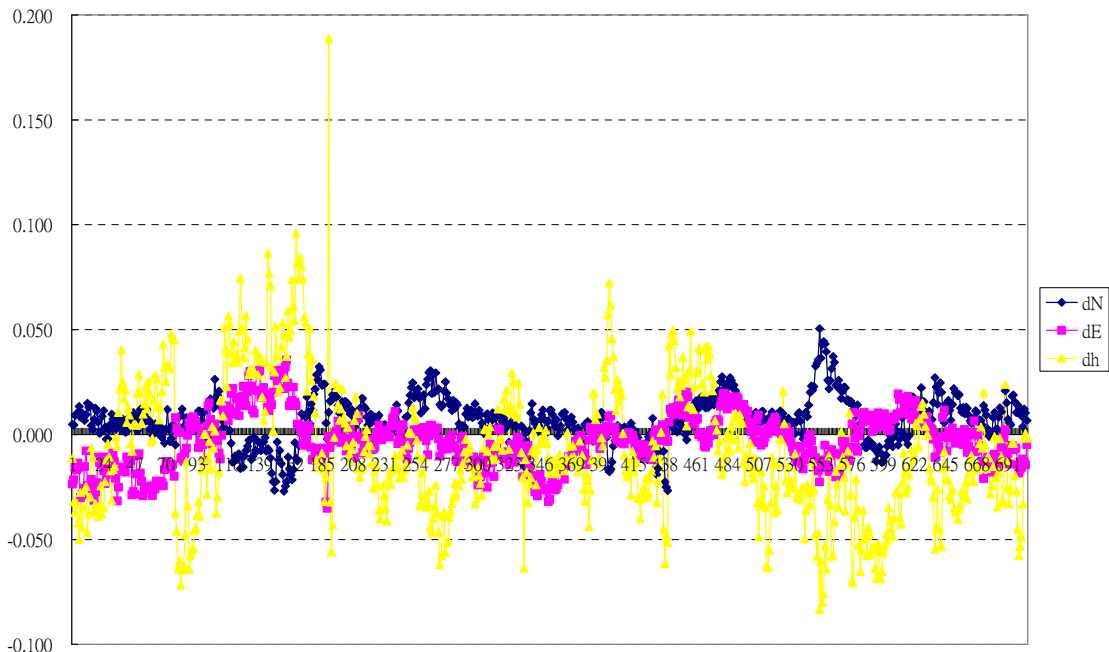


圖 3、LSB0 於 2008/07/24 坐標較差變化圖

表 3、LSB0 坐標較差個數統計表

較差大小	dN		dE		dh		ds	
	個數	百分比	個數	百分比	個數	百分比	個數	百分比
小於 1 公分	409	58.0%	399	56.6%	145	20.6%	167	23.7%
小於 2 公分	623	88.4%	612	86.8%	311	44.1%	505	71.6%
小於 3 公分	690	97.9%	693	98.3%	455	64.5%	659	93.5%
小於 4 公分	701	99.4%	705	100.0%	561	79.6%	698	99.0%
小於 4.9 公分	704	99.9%	705	100.0%	623	88.4%	704	99.9%
小於 9.8 公分	1	0.1%	0	0%	704	99.9%	0	0%
大於 9.8 公分	0	0%	0	0%	1	0.1%	0	0%

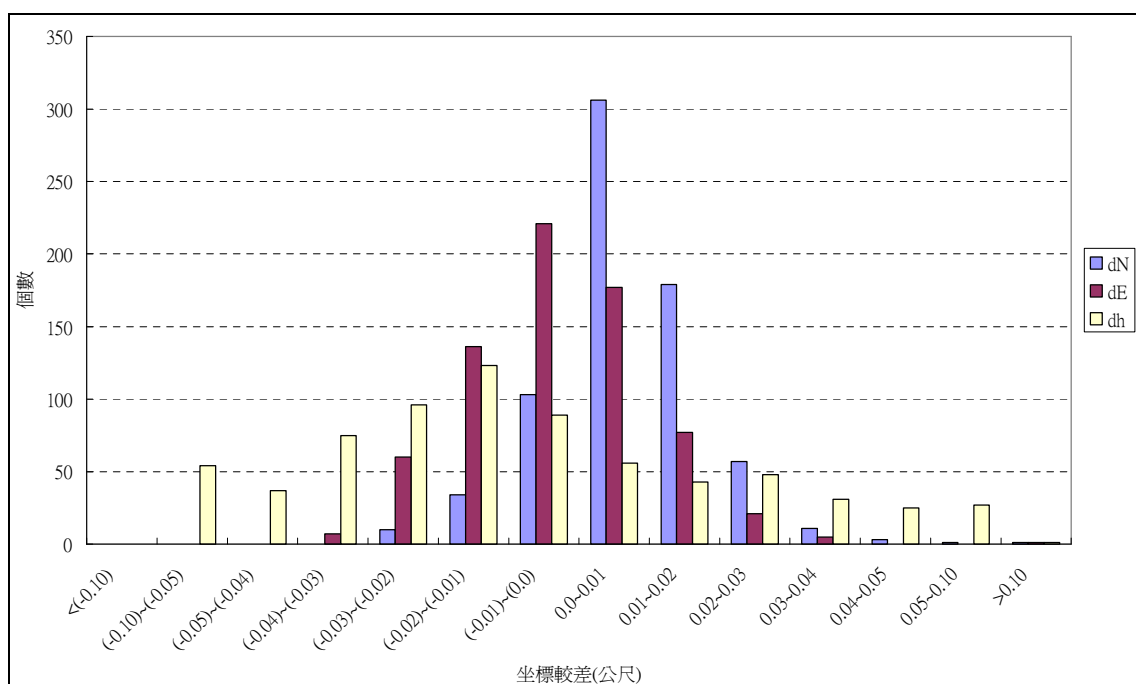


圖 4、LSB0 坐標較差個數統計圖



圖 5 LSB0 基準站外觀

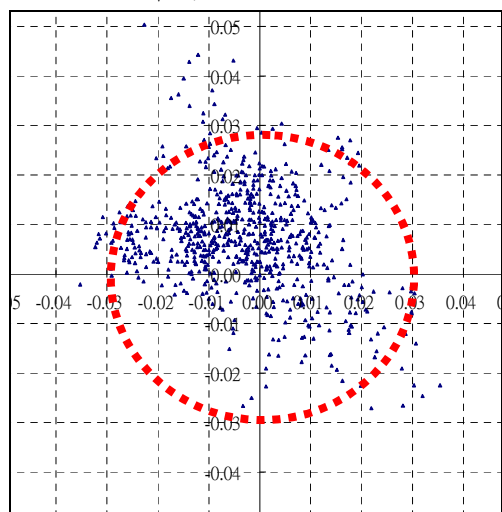


圖 6 LSB0 於 2008/07/24 後處理即時動態定位平面位置分佈圖

表 4、坐標較差小於 2 公分數量統計表

觀測時間	點數	fixed 點數	fixed 點數百分比	坐標較差小於 2 公分點數			坐標較差小於 2 公分點數百分比		
				dN	dE	dh	dN	dE	Dh
3h	8	8	100%	8	8	7	100.0%	100.0%	87.5%
2h	12	12	100%	12	12	7	100.0%	100.0%	58.3%
1h	24	24	100%	24	23	12	100.0%	95.8%	50.0%
20m	72	72	100%	66	65	34	91.7%	90.3%	47.2%
10m	144	143	99%	130	129	67	90.9%	90.2%	46.9%
2m	720	705	98%	623	612	311	88.4%	86.8%	44.1%

表 5、坐標較差平均值與中誤差

觀測時間	坐標較差平均值			坐標較差中誤差			坐標較差範圍 (極大值-極小值)		
	dN	dE	Dh	dN	dE	dh	dN	dE	Dh
3h	-0.007	0.003	0.008	0.005	0.010	0.017	0.014	0.031	0.057
2h	-0.007	0.003	0.008	0.005	0.006	0.014	0.026	0.038	0.078
1h	-0.007	0.003	0.007	0.008	0.011	0.025	0.032	0.040	0.094
20m	-0.007	0.003	0.008	0.009	0.012	0.028	0.051	0.054	0.125
10m	-0.007	0.003	0.007	0.010	0.012	0.033	0.063	0.056	0.273
2m	-0.007	0.003	0.008	0.011	0.013	0.031	0.078	0.071	0.272

4.3 相對精度分析

本中心三等控制點管理維護計畫所採用之方法為靜態觀測 3 小時，再將所有基線成果進行整體網形平差，為了解 e-GPS 即時動態定位系統之相對精度，本實驗選擇台南縣 R059、R073、RP31 等 3 個三等控制點，於 97 年 6 月 10 日辦理靜態測量，3 個點之基線長度分別約為 4、5、7 公里，觀測時間為 3 個小時，每秒鐘紀錄一筆，內業資料處理先以 GPSurvey 解算出 3 條基線，再進行網形平差，得到這 3 條基線的最或是值，當成本實驗的基線長度真值。

另以 GPSTserver 產生 R059、R073、RP31 同時段之虛擬觀測資料，使用之服務網為南區服務網，並將這 3 個小時的虛擬觀測資料以 2、10、20 分鐘時間間隔切割成不同檔案，以模擬實際 e-GPS 即時動態定位系統測量作業，將 R059、R073、RP31 實體衛星觀測資料與虛擬衛星觀測資料輸入 TTC，以 OTF 計算模式解算 R059、R073、RP31 坐標，計算出每個坐標後，再利用同時間之兩點之坐標計算基線長度，比較以虛擬衛星觀測資料計算得到的基線長與利用 3 小時靜態測量的基線長，以了解 e-GPS 系統之相對精度。

由實驗數據可知，觀測時間越長，基線相對精度越高，觀測時間為 2 分鐘之實驗中，每條基線總計 90 次的觀測，較差最大者出現在 R059-R073，較差為 2.8

公分；另分析不同觀測時間間隔之資料，觀測時間增加，基線長度較差減小，觀測 20 分鐘之資料，基線長度較差最大值由上述 2.8 公分降為 1.1 公分，所有基線較差均小於基本控制點檢測作業規範中所規範基線長度較差量為 3cm+6ppm。

表 6、基線較差一覽表

觀測時間	基線名稱	靜態測量基線長(公尺)	較差極大值(公尺)	較差極小值(公尺)	允許較差(3cm+6ppm)
2m	RP31-R059	7190.715	0.013	-0.018	0.073
	R059-R073	3886.835	0.009	-0.028	0.053
	RP31-R073	4453.412	0.011	-0.015	0.057
10m	RP31-R059	7190.715	0.010	-0.012	0.073
	R059-R073	3886.835	0.002	-0.015	0.053
	RP31-R073	4453.412	0.007	-0.012	0.057
20m	RP31-R059	7190.715	0.004	-0.009	0.073
	R059-R073	3886.835	0.000	-0.011	0.053
	RP31-R073	4453.412	0.003	-0.009	0.057

五、結論與建議

- 1.由本實驗數據顯示，以本中心 e-GPS 即時動態定位系統辦理測量，每次接收 120 筆，其 N、E 坐標精度約 88%的信心區間可達 2 公分，N、E 坐標精度 99.9%的信心區間為 4.9 公分、高程精度 99.9%的信心區間為 9.8 公分；基線長度較差最大者為 1.3 公分、最小者為-2.8 公分，均小於 3 公分+6ppm 規範；另分析不同觀測時間間隔之測點精度，增長觀測時間，在高程精度提升的幅度遠大於平面精度，且平面精度約高程精度的 2~3 倍。
- 2.以 OTF 模式求解測點坐標，亦有可能發生解算錯誤之情形，後續應訂定嚴謹的精度指標來協助判斷是否發生週波未定值求解錯誤之情形，以確保成果品質。
- 3.依本中心之基本控制點檢測作業規範所訂各級控制點檢測標準，e-GPS 即時動態定位系統之精度足敷用於檢測三等控制點作業。
- 4.利用 e-GPS 技術來辦理三等控制點檢測是一種高精度、高效率、低成本的方法，本中心將於本(97)年度開始試辦三等控制點檢測及建立點位速度場的作業及相關成果的研究分析。
- 5.VBS-RTK 技術為 GPS 系統建置以來另一項重要的突破，如何利用這個劃時代的技術，應用於各項加密控制測量上，是各界使用者所關注的，本次作業的數據將有助於本中心後續訂定 e-GPS 即時動態定位系統辦理各項加密控制測量與應用測量規範之訂定。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2001，基本控制點檢測作業規範，委託中華民國國防科技學術研究學會研究報告。
- 內政部國土測繪中心，2006，e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統 VBS-RTK 定位

測試成果報告。

王敏雄、梁朝億、劉至忠、劉正倫、林燕山，2007，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。