

e-GNSS定位作業規範適用性之探討

蔡明達* 王明志** 王柏文*** 李宜珊****

論文收件日期：107年04月18日
論文修訂日期：107年11月16日
論文接受日期：107年11月29日

摘 要

本研究主要探討電子化全球衛星導航定位系統（e-Global Navigation Satellite System, e-GNSS）定位系統應用於加密控制及圖根測量之作業規範中的適切性。其中包括：衛星定位幾何精度因子（Position-Dilution of Precision, PDOP）值之限制、觀測時間資料筆數、重複觀測之間隔時間等規定的適用性。以e-GNSS 6小時靜態觀測之成果，透過虛擬基準站即時動態定位技術（Virtual Base Station-Real Time Kinematic, VBS-RTK）動態後處理方式，產製單星系及多星系解算坐標成果，並將觀測資料分組，據以分析評估現行作業規範中有關外業觀測作業規定之適用性。

其成果顯示e-GNSS定位系統已提升為多星系統之後，由於定位系統能力增強、可視衛星數大幅提升，使得平均PDOP值由2.7降為1.5，可大幅提升其定位精度及工作效率。此外，本研究以接收時間3分鐘（180筆）觀測資料以及重複觀測之間不間隔之作業方式與現行規定接收20分鐘（1,200筆）觀測資料及重複觀測間隔1小時以上之作業方式相較，其內部精度與外部精度相當，其解算成功之成果，仍能符合使用者之精度要求。

關鍵詞：電子化全球衛星導航定位系統、虛擬基準站即時動態定位技術、衛星定位幾何精度因子

* 副教授，國防大學理工學院環境資訊及工程學系，TEL：(03) 3800364#307，
E-mail：tsai.md5478@gmail.com

** 副教授，臺北市立大學歷史與地理學系，TEL：0926185612，E-mail：wmcs@go.utaipei.edu.tw

*** 專員，內政部國土測繪中心

**** 助理教授，國防大學理工學院環境資訊及工程學系

Research on the Applicability of Operational Specification on e-GNSS Positioning

Ming-Da Tsai*, Po-Wen Wang**,
Yi-Shan Li*, Ming-Chih Wang***

ABSTRACT

This study mainly discusses the applicability of the e-Global Navigation Satellite System (e-GNSS) in the operational specifications of densified control and skeleton surveying. The applicability includes the value limits of the PDOP (Position Dilution of Precision), the data numbers of observations time, and the interval time between repeated observations. Based on the results of 6-hour static observation of e-GNSS, Virtual Base Station-Real Time Kinematic (VBS-RTK) dynamic post-processing method was used to produce coordinate results from single-GNSS and multi-GNSS solutions. The observations were grouped and analyzed in order to evaluate the applicability of the current operational specifications regarding the field observations.

The results show that the average PDOP value reduced from 2.7 to 1.5 by upgrading the e-GNSS positioning system to a multi-satellite system, due to the enhanced positioning system capability and the significant increase in the number of visible satellites. The positioning accuracy and work efficiency have substantially improved. In addition, the results by the 3-minute period observations (180 epochs) with no interval between repeated observations were compared with the results by the current operational specification which is the 20-minute period observations (1200 epochs) with more than 1 hour repeated observation interval. The internal precisions are equivalent to the external precisions in all comparisons, and the results from the success solutions can still meet the user's accuracy requirements.

Keywords: E-Global Navigation Satellite System (e-GNSS), Virtual Base Station-Real Time Kinematic (VBS-RTK), Position Dilution Of Precision (PDOP)

* Associate Professor, Department of Environmental Information and Engineering, CCIT, NDU.,
TEL: +886-33801126, E-mail: tsai.md5478@gmail.com.

** Associate Professor, Department of History and Geography, University of Taipei.,
TEL: 0926185612, E-mail: wmcsn@go.utaipei.edu.tw.

*** Technical Staff, National Land Surveying and Mapping Center, Taiwan.

**** Assistant Professor, Department of Environmental Information and Engineering, CCIT, NDU.

一、前言

隨著網際網路及無線通訊傳輸技術蓬勃發展，結合GPS（Global Positioning System）衛星定位基準網及虛擬基準站即時動態定位技術（Virtual Base Station-Real Time Kinematic, VBS-RTK），以成為國際測繪及定位技術之主流，內政部國土測繪中心以VBS-RTK定位技術為核心技術，自民國96年度起規劃建置全國性e-GPS（e-Global Positioning System）衛星定位基準網VBS-RTK即時動態定位系統，以Trimble公司之GPSNet系統軟體計算區域性改正參數（Area Correction Parameters, ACP），除可延展RTK（Real Time Kinematic）有效作業範圍外，亦可提升RTK定位精度與可靠度（王敏雄等人，2006）。

過去，Zuhaidah, N.等人（2009）在研究虛擬參考基準站即時動態定位（VRS-RTK），提出VRS-RTK擴大有效作業範圍，提高定位精度及可靠度，可提供全面性的定位成果品質監控。在平面上可達4公分及高程上可達6公分的精度（Zuhaidah et al., 2009）。而Hu等人（2009）認為當VRS-RTK定位觀測時，若衛星數量不足及PDOP值過大時，將會使觀測初始化變得更加困難，即表示以少數衛星觀測量及衛星分布幾何不佳之觀測量，將不易求解出正確的週波未定值（Hu et al., 2009）。在e-GPS單星系統的外業觀測作業上，仍有局部條件下使用的限制，例如在衛星訊號遮蔽干擾、行動通訊品質不良、網路或定位系統失效等狀況下，將使系統定位失敗，所以e-GPS不是在任何地區皆能使用（王敏雄，2007）。

近年，由於國際上多衛星系定位系統的發展，使得可觀測衛星數目明顯增加，並且提供系統大量可解算的觀測數據，解決了許多衛星訊號遮蔽嚴重之觀測環境，並有效提升VBS-RTK定位精度及解算的成功率。於是，內政部於民國101年所公布TWD97（Taiwan Datum 1997）[2010]坐標系統，針對系統硬體及軟體全面升級，從原有之單星系統（GPS）提升為多星系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）服務，並於103年將e-GPS更名為e-GNSS（e-Global Navigation Satellite System）（內政部國土測繪中心網站，2018）。

在升級為多星系統e-GNSS之後，有效的提高其定位精度，同時也減少定位的初始化時間，再加上VBS-RTK即時動態定位技術具有「快速即時獲得高精度坐標成果」之優勢；因此，政府及民間各單位運用國土測繪中心所建置e-GNSS即時動態衛星定位系統，辦理各項測量工作應用甚廣。尤其是應用於地籍測量（圖根測量及補建、土地複丈等）（何維信等人，2010；高書屏等人，2006）、公共管線及孔蓋測量等作業（吳峻宇等人，2014；內政部國土測繪中心，2014）。

目前，e-GNSS即時動態衛星定位系統，應用於加密控制測量作業所使用之規範。仍依據內政部國土測繪中心頒訂「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」之規定；在測設加密控制點時，應於外業測量時至少接收20分鐘（1Hz）以上觀測資料。再併同虛擬基準站觀測資料（Visual Rinex）以OTF（On-The-Fly）模式後處理每秒時刻坐標，再依常態分布99%信心區間進行粗差偵錯，將大於三倍中誤差之時刻坐標剔除，接著其取平均值並比較各測回坐標差值，若符合平面分量較差小於2公分、高程分量較差小於5公分之規範值，則該二測回VBS-RTK坐標取平均值。若超出上述規範者，則應予以重新檢視解算或重新辦理外業觀測。其中外業觀測時需選定每日衛星分布幾何狀況較佳之時段進行外業觀測，靜態觀測資料應包含5顆以上衛星觀測資料，PDOP（Position-Dilution of Precision）值應小於5，新設點位至少辦理二測回GPS靜態測量重複觀測，不同測回至少須間隔60分鐘以上（內政部國土測繪中心，2010）。

然而，該作業規範律定當時為單星系統（e-GPS），而內政部國土測繪已於103年9月將系統升級為多星系統（e-GNSS）；之後，此作業規範是否適用於多星系統（e-GNSS）值得探討。本研究將以實際觀測數據（如PDOP值大小、觀測時間資料筆數、重複觀測之間隔時間等）來分析評估現行作業規範有關於外業觀測相關規定之適用性，並探討有無修訂作業規範之必要，提供建議予相關單位參考。期望對於e-GNSS定位系統的使用者，能夠在最快速、最便利又合於精度規範下，獲得較佳的測量成果，冀以提升測量外業工作效率，進而節省人力、時間及成本。

二、研究理論

（一）即時動態定位（RTK）原理

全球衛星系統即時動態定位技術，是利用2台以上GPS接收儀同時接收衛星信號，其中一台置於已知點上作為基站，另一台則作為移動站用來測定未知點坐標，基站根據精確坐標利用OTF解算法求得週波未定值（Cycle Ambiguity），這種解算法只需使用幾筆觀測量，就可即時求得週波未定值。在正確的週波未定值確定後，便可利用高精度的載波觀測量進行定位並將其值傳送給移動站以求得移動站的坐標值，如圖1所示（高書屏，2010）。

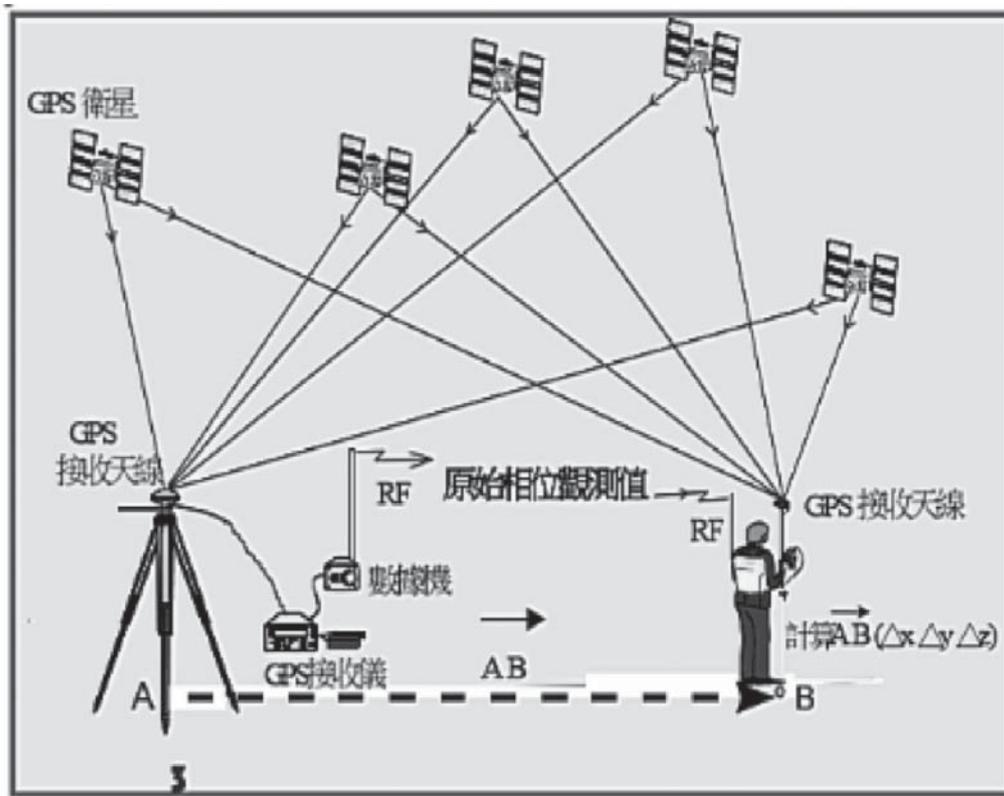


圖1 RTK架構示意圖（高書屏，2010）。

這種快速的測量方式，與快速靜態測量方式比較起來，不但大大地縮短了施測時間以及無須後處理作業，同時增加觀測量，其定位成果還能達到公分級的精度。是一種作業高效率的測量方式，適合用於地形測圖的控制測量、地籍測量、界址點位測量等方面。

RTK的架構基本上由參考站、移動站、通訊設備三個部分組成：

1. 基站部分：將一部接收儀置於已知點上，主要是和移動站作同步觀測，目的是要將接收的相位資料以及改正數資料傳送給移動站，以利後續的差分計算。
2. 移動站部分：將一部接收儀置於待測點位上即為移動站，利用相位資料進行差分計算的測法，在到達待測點並接收參考站傳來的資料後，週波未定值解算出來的情況下，就可進行計算並且很快的求出待測點坐標，而且能達到公分級的精度。
3. 通訊設備部分：通訊設備，例如無線電，同時配備在基站及移動站部分，是用來傳送相位觀測資料和改正數資料。

(二) 虛擬基準站 (VBS-RTK) 定位原理

為了克服傳統RTK技術的瓶頸，近年發展了虛擬基準站即時動態定位技術，虛擬基準站定位技術，是採用多基站的方式，經由網路彼此連結，將觀測資料匯集到控制中心，進行資料檢核和儲存。當移動站將其近似坐標傳回控制中心時，控制中心會計算出一組新的基準站觀測量出來並回傳給移動站，而這組新的觀測量點位，就如同一個新的基準站落在移動站附近，這項技術的主要功能，就是要使移動站和新的基準站觀測量間產生極短的基線，使移動站獲得較高的定位精度，由於這組觀測量是虛擬出來的，在真實環境中並不存在，因此稱為虛擬基準站，如圖2所示 (Landau. H., 2000)。

(三) e-GNSS 定位系統原理及架構

e-GNSS定位技術，包括有衛星動態定位技術、寬頻網路數據通訊、Mobile Phone行動式數據傳輸、資料儲管及Web網站等5項主要先進整合技術，尤其是衛星動態定位部份的關鍵技術，在於精確求解電離層、對流層及衛星軌道所產生的系統誤差影響量。

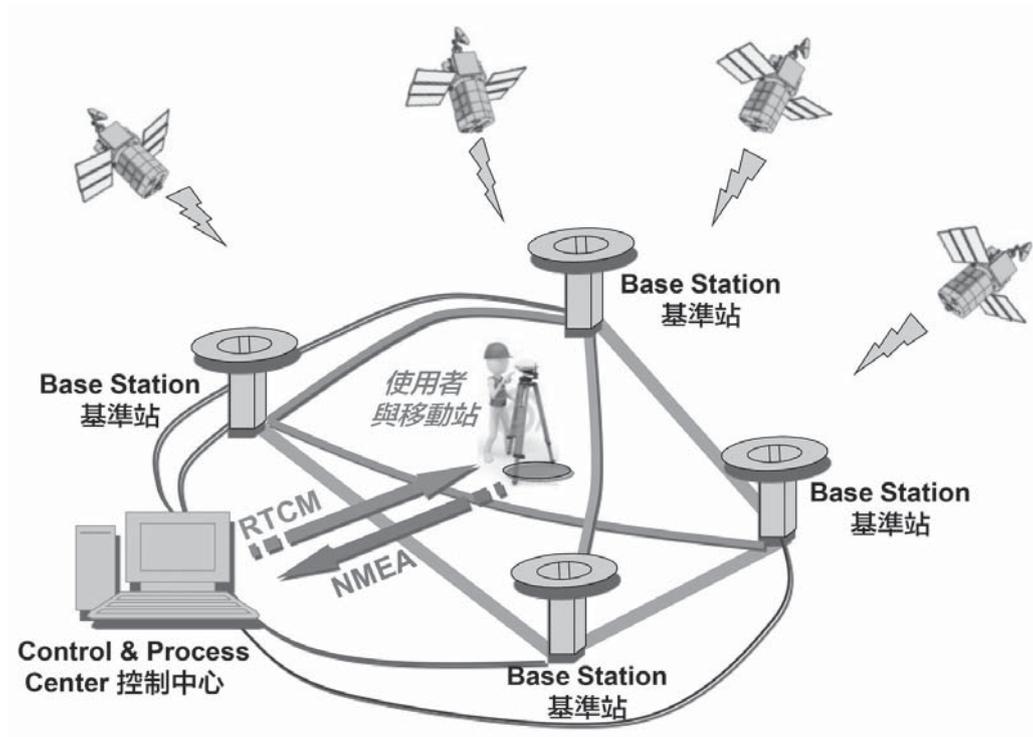


圖2 VBS-RTK架構示意圖 (Landau. H., 2000)。

e-GNSS定位技術應用的基本觀念，乃是由多個GPS/GLONASS基準站全天候連續地接收衛星資料，經由ADSL（Asymmetric Digital Subscriber Loop）寬頻網路或其它通訊設備與控制及計算中心連接，即可彙整計算產生區域誤差修正量，並利用移動站單點定位坐標內插計算出虛擬基準站的誤差修正量及虛擬衛星觀測資料。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（GSM, Global System for Mobile Communications）為基礎的整合式封包無線電服務技術（GPRS, General Packet Radio Service）或其他無線數據通訊傳輸技術，將GPS/GLONASS單點定位坐標成果，依據國際慣用之NMEA（National Marine Electronics Association）標準資料格式傳送至控制及計算中心，經透過區域性定位誤差修正量，同步解算獲得該虛擬基準站之虛擬觀測量後，再以「國際海運系統無線電技術委員會」制定之差分數據標準格式（RTCM, Radio Technical Commission for Maritime），回傳至移動站衛星定位接收儀進行「超短距離基線」定位解算，獲得RTK定位坐標成果（內政部國土測繪中心e-GNSS入口網站，2018），如圖3所示。

（四）e-GNSS 定位系統介紹

內政部國土測繪中心自民國93年度起採用先進的虛擬基準站即時動態定位技術（VBS-RTK），於民國97年度完成建置「全國性e-GPS 衛星定位基準站即時動態定位系統」與測試分析作業，透過全國各地所建置之78處衛星定位基準站及備有47個備援站，基準站間平均距離約為30公里。每天24小時每秒連續接收GPS衛星資料，即時傳回控制及計算中心，進行資料自動化處理後，在任何地點且極短的時間內，依使用者需求可獲得到公分級高精度的即時動態定位成果。臺灣本島地區由於受到地殼變動因素影響，各基準站坐標位移量及方向不一，為提升系統即時動態定位效能，系統軟體設定之衛星基準站坐標，須參考各基準站坐標位移量大小及方向等資訊，定期辦理基準站精密坐標維護更新。民國102年至103年進行系統現代化升級作業，逐步將軟硬體升級為雙星系統（GPS+GLONASS）。並定於民國103年7月1日正式更新臺灣本島地區基準站名稱為e-GNSS，其服務範圍涵蓋全臺各地及外島，如圖4所示（內政部國土測繪中心e-GNSS入口網站，2018）。

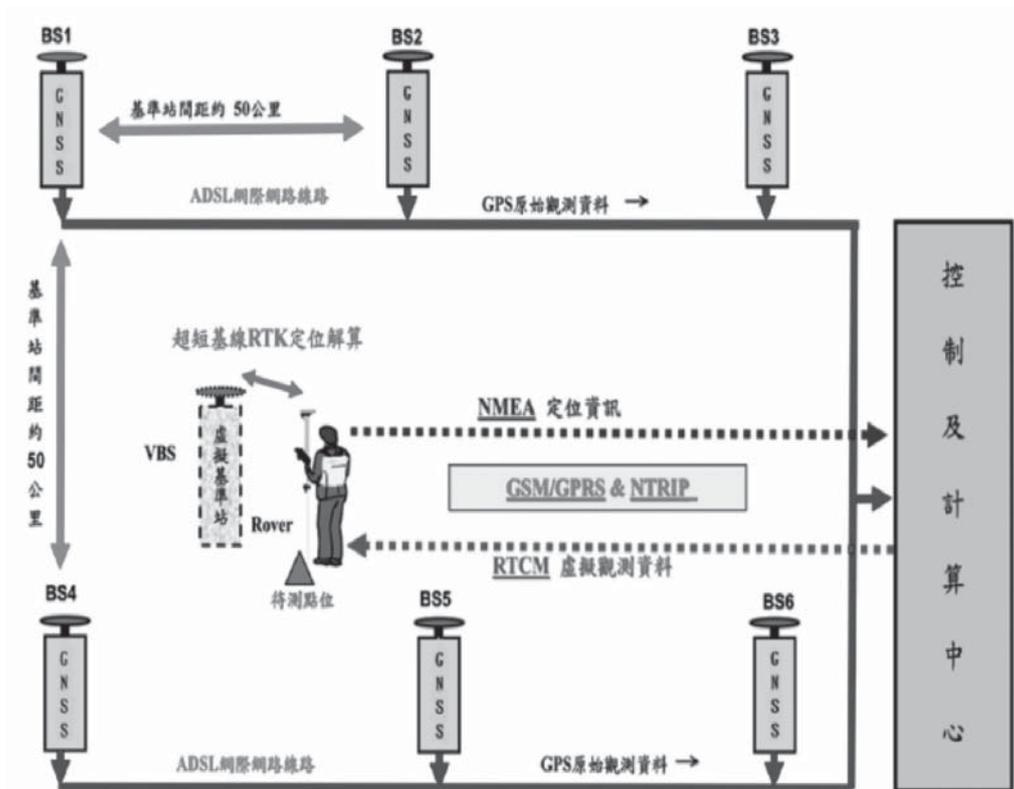


圖3 e-GNSS定位系統架構示意圖

三、資料蒐集及處理

(一) 研究區域介紹

本研究區域以臺灣本島為主，挑選水準網節點50點及透空較佳且分布平均之水準點25點，合計75點，其水準點位分布位置如圖5所示。

將蒐集上述點位之衛星觀測資料，再以下列方式進行資料分組解算：

1. 單星系（GPS）與多星系（GPS+GLONASS）。
2. 重複觀測之間隔時間長短（不間隔、間隔1小時、間隔2小時、間隔4小時、間隔6小時）。
3. 重複觀測以不同觀測時間（20分鐘及3分鐘）及不同間隔時間長短（不間隔、間隔1小時、間隔2小時、間隔4小時、間隔6小時），如圖6所示。
4. 透空環境不佳點位之分析

最後，依區分組別，進行分析解算成功率、坐標分量較差之精度及各項DOP值之比較。



圖4 e-GNSS衛星基準站點位分布圖
(內政部國土測繪中心e-GNSS入口網站，2018)。

(二) 測量設備與軟體說明

1. 衛星接收儀

本研究外業衛星測量作業，採用GPS儀器為Topcon GR-3GNSS接收儀，該儀器可接收GPS、GLONASS兩種衛星系統的訊號，相關儀器性能規格如表1所示（TOPCON, 2015）。

2. 使用軟體

本研究分別使用UNAVCO開發的TEQC作為原始觀測資料轉換與編輯整理，Trimble Navigation公司所出之PIVOT軟體進行產製虛擬基準站觀測資料，及日本

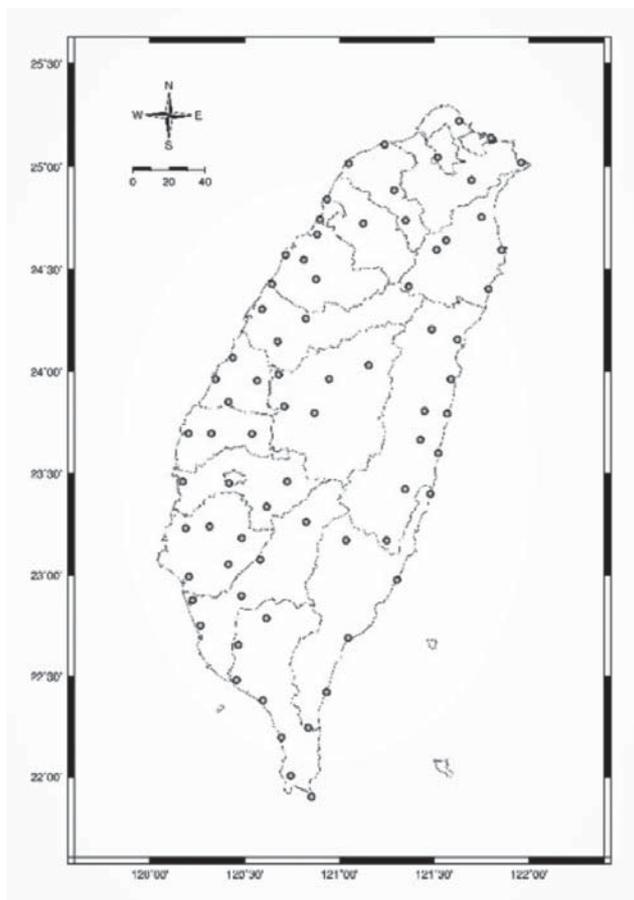


圖5 研究區挑選水準點位分布圖（綠色點）

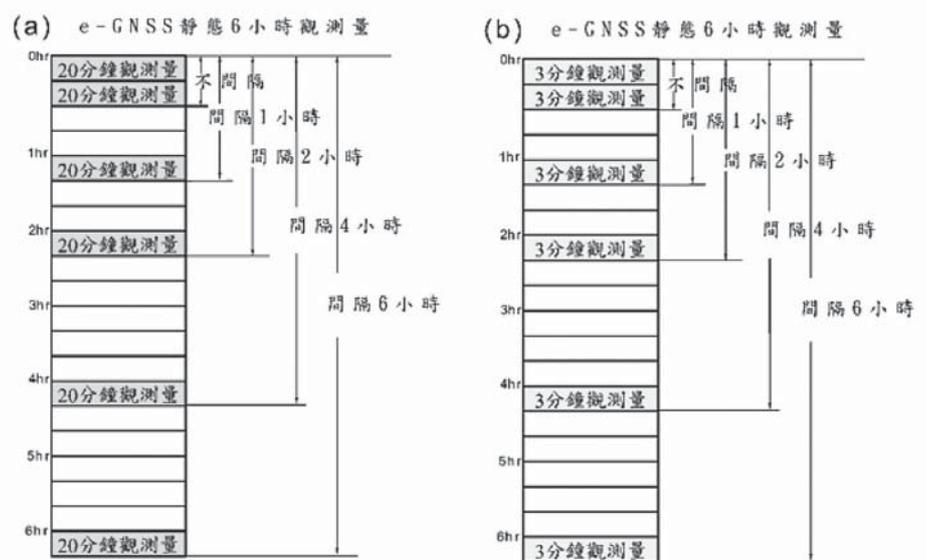


圖6 觀測資料分組分析示意圖，其中 (a)、(b) 分別代表 20 分鐘及 3 分鐘的觀測時間。

表1 Topcon GR-3型衛星接收儀性能規格一覽表 (TOPCON, 2015)

項目		Topcon GR-3型衛星接收儀	
定位精度	靜態測量	3 mm + 0.5 ppm (平面精度)	5 mm + 0.5 ppm (高程精度)
	動態測量	5 mm + 0.5 ppm (平面精度)	10 mm + 1 ppm (高程精度)
頻道數目		72頻道	
訊號		GPS、GLONASS、GALILEO, L1 / L2 / L5 C/A, P 電碼&載波，Galileo E1/2/5a 和L1，WAAS/EGNOS	

東京海洋大學研發的RTKPOST軟體進行VBS-RTK後處理計算各點位之時刻坐標成果。其作業軟體介紹如下：

- (1) TEQC (Translate/ Edit/ QualityCheck/ Coordinate) 軟體：是 UNAVCO 為地球科學研究及 GNSS 觀測數據管理應用所研發的免費軟體，其主要功能正如其名：數據轉換 (Translating)、編輯 (Editing)、品質查檢 (Quality Check)。目前最新版本已可支援包括 Leica, Trimble, Ashtech, Javad 等廠牌旗下多種資料格式。其運行環境為 MS-DOS, MacOS, UNIX 或 LINUX, 執行方式是以傳統文字命令並附加各種參數以操作各項功能。本研究案因原始數據數量龐大，若以單行命令方式作數據預處理，不符效益成本，故以 VB (Visual Basic) 及 VBA (Visual Basic for Applications) 編寫使用者介面，藉以大量批次方式處理原始觀測資料，提升效能 (UNAVCO, 2014)。
- (2) Trimble PIVOT 軟體：其主要功能可區分為 Trimble Instrument Configurator (TIC)、Trimble Ephemeris Download (TED) 及 Trimble Streaming Manager (TSM) 等三大模組，作為衛星定位基準站遠端控制、資料下載使用及進行 DGNSS 差分定位解算及公分級 VBS-RTK 即時動態定位解算 (TRIMBLE, 2015)。
- (3) RTKPOST 軟體：是包含在 RTKLIB 中的一個應用套件，RTKLIB 為日本東京海洋大學 (Tokyo University of Marine Science and Technology) 所開發的一個開放源始碼程式包，可用於標準及精密的 GNSS 定位。完整的 RTKLIB 包括了一個可攜性的函式庫及多個應用程式庫 (RTKLIB, 2015)。

(三) 資料處理

1. 原始觀測檔預處理：

本研究外業測量工作由內政部國土測繪中心之測量隊協助辦理，於2015年針對研究區域預選點的水準點進行e-GNSS測量作業，其作業方式以e-GNSS衛星接收儀進行約6小時之靜態觀測，觀測規範主要為觀測仰角 15° ，接收頻率每1秒接收一筆。在取得該年度觀測資料並進行整合後共有75個點位資料，並轉換為RINEX格式，轉換完成之檔案及原始檔，自動存放於以觀測日期及觀測時段為名之目錄中，最後將RINEX檔核對接收儀廠牌型號及天線高是否正確。

2. 產製虛擬主站資料：

國土測繪中心之e-GNSS定位系統目前已升級為可處理GPS/GLONASS觀測量，其定位系統核心亦由原有之Trimble GPSNet改版升級為Trimble PIVOT GNSS系統，本研究使用之觀測資料，以網路連線至控制中心FTP Server中之PIVOT軟體，以批次產製虛擬主站資料（Visual RINEX）。

3. VBS-RTK後處理計算：

研究區中共有75個點位，以RTKPOST軟體作VBS-RTK後處理解算，每點位時段計算完成後即產生*.POS之成果檔，我們再利用工具將成果轉出為*.NGC檔。在扣除無法解算點位資料後，最終完成71個點位之VBS-RTK後處理動態定位成果。其計算流程如圖7所示。

4. 各點位時刻坐標解算成果：

本研究以臺灣本島為研究區域範圍，共計75點水準點，作業方式以e-GNSS衛星接收儀進行約6小時之靜態觀測，並以VBS-RTK後處理動態定位方式進行點位時刻坐標解算。最後，共有71點成功解算出單星系統及多星系統之時刻坐標成果，其解算成功率為94.6%，有4點解算失敗（9141、X002、X006、X025），如表2所示。其中1點之透空狀況為完全遮蔽（點位位於樹下）；另有3點透空良好，但因原始觀測資料本身及e-GNSS系統產製之虛擬主站資料品質不佳，造成解算失敗。

另外，本研究欲為探討重複觀測之長短間隔時間以及觀測時間長短對成果精度之影響，故將成功解算出多星系統之時刻坐標點位，依觀測時間不同（20分鐘及3分鐘），以及依重複觀測不同間隔時間（0、1、2、4、6小時）予以分割觀測時段，作為後續研究探討之用。為確保分析資料之完整一致性，本研究僅將各測回時段完整解算之點位納入分析，如表3所示。其中觀測20分鐘可依不同間隔時間之各

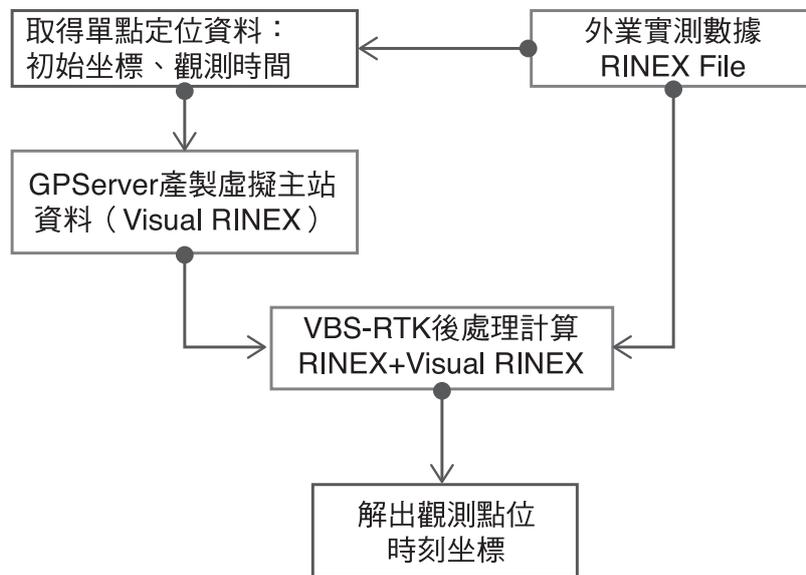


圖7 VBS-RTK後處理流程圖

表2 各點位單多星系6小時解算成果統計表。

星 系		單星系	多星系
原始觀測量點數		75	75
解算成功點數		71	71
解算成功百分比		94.60%	94.60%
觀測量使用比率		95.80%	98.00%
解算成果 平面中誤差	MAX	±0.029	±0.025
	MIN	±0.003	±0.01
	AVG	±0.011	±0.008
解算成果 高程中誤差	MAX	±0.042	±0.055
	MIN	±0.004	±0.001
	AVG	±0.017	±0.014

表3 點位各測回分割解算成果統計表。

點位各測回分割解算結果	各時段可完整解算點數	各時段未完整解算點數
觀測20分鐘解算	44點	27點
觀測3分鐘解算	30點	41點

測回時段完整解算者計有44點。另觀測3分鐘可依不同間隔時間之各測回時段完整解算者計有30點。未完整解算點數增加原因係點位之衛星幾何分布變化，致使分割後觀測時段因可觀測衛星顆數降低後而致使無法解算。

四、數據分析與研究成果

(一) 單星系與多星系之差異分析

1. e-GPS升級至e-GNSS之後，平均可觀測衛星顆數由8顆增加至15顆，各項DOP值也明顯提升，其中GDOP由平均值3.2提升至1.7，PDOP由平均值2.7提升至1.5，HDOP由平均值1.2提升至0.7，VDOP由平均值2.4提升至1.3，如圖8所示。

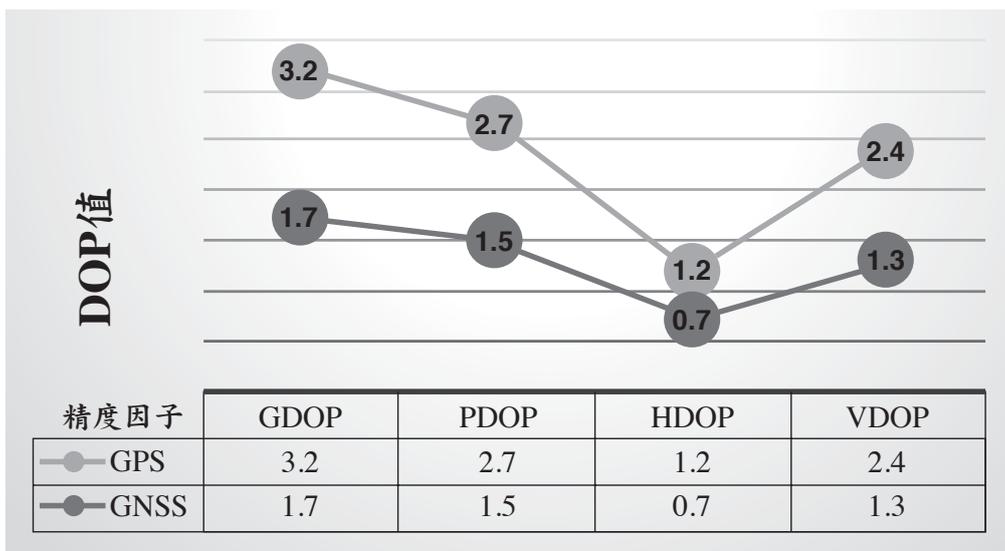


圖8 單多星系各DOP值比較圖

2. 若以單星系與多星系解算時刻坐標分量較差之比較，如表4所示，平面方向較差絕對值在2公分以內所占比率為100%。在高程方向較差絕對值在2公分以內所占比率為91.5%，在2公分至4公分之間所占比率為8.5%。以上分析可看出單星系與多星系所解算的時刻坐標差異不明顯。

(二) 重複觀測之間隔時間長短之差異分析

若以觀測時間20分鐘，就重複觀測之間隔時間長短（不間隔、間隔1小時、間

表4 單多星坐標分量較差絕對值統計表。

分量較差絕對值	ΔN	ΔE	Δh
0 - 2	71	71	65
	100.0%	100.0%	91.5%
2 - 4	0	0	6
	0.0%	0.0%	8.5%
4以上	0	0	0
	0.0%	0.0%	0.0%
MAX (公分)	1.4	1.9	3.5
AVG (公分)	0.3	0.2	0.8

表5 重複觀測不同間隔時間分組PDOP值比較表

重複觀測 間隔時間 (小時)	MAX	MIN	MEAN	STD
0	1.9	1.3	1.5	0.1
1	1.9	1.3	1.5	0.1
2	2.1	1.2	1.5	0.2
4	2.1	1.2	1.5	0.2
6	2.1	1.2	1.5	0.2

隔2小時、間隔4小時、間隔6小時) 區分組別，各測回時段可完整解算之點位共計44點(220個測回數) 進行PDOP值、坐標較差及合格率之比較。若將不同間隔時間之各測回所得之PDOP值來看，如表5所示。其不同間隔時間之PDOP值平均值皆為1.5，標準差為0.1~0.2，這表示說同一點位各測回的PDOP值不因之間隔時間長短而有太大的變化。

若將不同間隔時間之各測回時段解算所得之時刻坐標較差及合格率來看，如表6、7所示。依不同間隔時間之重複觀測，其二測回之平面較差平均值皆在2公分以內，其合格率为97.2%；而高程較差平均值皆在在5公分以內，其合格率为96.8%。整體而言，重複觀測之間隔時間之長短，並無明顯影響其解算得到之PDOP值、時刻坐標成果及解算合格率。

表6 重複觀測不同間隔時間分組
坐標分量較差絕對值之平均值比較表 (單位：公分)

重複觀測間隔時間 (小時)	ΔN	ΔE	Δh
0	0.5	0.4	1.3
1	0.5	0.5	1.5
2	0.5	0.5	1.8
4	0.7	0.7	1.8
6	0.7	0.8	2.1

表7 重複觀測不同間隔時間分組坐標分量較差合格率統計表。

間隔時間 (小時)	項目	ΔN	ΔE	Δh	備註
0	合格	43	43	44	*合格： $\Delta N, \Delta E \leq 2$ cm; $\Delta h \leq 5$ cm *不合格： $\Delta N, \Delta E > 2$ cm; $\Delta h > 5$ cm
		97.7%	97.7%	100.0%	
不合格	1	1	0		
	2.3%	2.3%	0.0%		
1	合格	43	44	43	
		97.7%	100.0%	97.7%	
不合格	1	0	1		
	2.3%	0.0%	2.3%		
2	合格	44	43	42	
		100.0%	97.7%	95.5%	
不合格	0	1	2		
	0.0%	2.3%	4.5%		
4	合格	43	41	44	
		97.7%	93.2%	100.0%	
不合格	1	3	0		
	2.3%	6.8%	0.0%		
6	合格	43	43	40	
		97.7%	97.7%	90.9%	
不合格	1	1	4		
	2.3%	2.3%	9.1%		
總計	合格	216	214	213	
		98.2%	97.2%	96.8%	
不合格	4	6	7		
	1.8%	2.8%	3.2%		

表8 觀測3分鐘之重複觀測坐標分量較差合格率統計表

內部精度檢核	ΔN	ΔE	Δh
合格	149	148	148
	99.3%	98.7%	98.7%
不合格	1	2	2
	0.7%	1.3%	1.3%

(三) 觀測 20 分鐘與觀測 3 分鐘之差異分析

1. 若以觀測時間3分鐘，就重複觀測之間隔時間長短（不間隔、間隔1小時、間隔2小時、間隔4小時、間隔6小時）區分組別，各測回時段可完整解算之點位共計30點（150個測回數），進行坐標分量較差及合格率之比較，如表8所示。平面分量較差絕對值在2公分以內所占比率為98.7%；高程分量較差絕對值在5公分以內所占比率為98.7%。
2. 若以同一點位相同時段觀測3分鐘與觀測20分鐘之點位坐標分量較差比較，計有30點（180組時刻坐標）。由表9得知，在平面分量絕對值較差在2公分以內佔100%以上，其 ΔN 、 ΔE 最大差值分別為1.8、2.0公分，而平均差值皆為0.3公分。在高程方面較差絕對值在2公分以內佔87.9%，2公分~4公分之間佔10.5%，4公分以上佔1.6%，其 Δh 最大差值為為7.2公分，而平均差值皆為1.0公分。就分析結果來看，觀測時間3分鐘與觀測20分鐘之解算坐標相差無幾。
3. 若以外部精度來看，以觀測6小時靜態基線解算成果分別與後處理動態觀測3分鐘重複觀測不間隔（本研究建議作業方式）及動態後處理觀測20分鐘重複觀測間隔1小時（現行規範限定作業方式）之解算點位坐標分量較差比較，計有30點，由圖9及表10得知，在平面及高程分量較差之平均值及中誤差，觀測3分鐘與觀測20分鐘之外部精度相當。唯E分量較差之中誤差較大（3.4公分），推測與解算及約制方式不同有關，造成少數點位靜態解算成果與動態後處理解算成果之E分量差異較大（點號：9211、9239、X209、X223）。

(四) 透空環境不佳下單星系與多星系之差異分析

研究區中透空環境不佳的點位有9018、X118、X221及X303共計4點，其時刻坐標展繪圖，如圖10所示。占整體點位比率5.3%，以單星系及多星系解算成果進行比較，其中多星系的解算成功筆數明顯偏低，推測應與GLONASS星曆精度較差

表9 同一點位相同時段觀測3分鐘與觀測20分鐘之坐標分量較差統計表

分量較差絕對值	ΔN	ΔE	Δh
0 - 2	180	180	158
	100.0%	100.0%	87.9%
2 - 4	0	0	19
	0.0%	0.0%	10.5%
4以上	0	0	3
	0.0%	0.0%	1.6%
MAX (公分)	1.8	2.0	7.2
AVG (公分)	0.3	0.3	1.0

有關，在進行軟體計算時若精度設定要求較高者的話，會將雙星系統解算成果較差的部分剔除。因此，雙星系統的解算成功筆數低於單星系統。但解算之時刻坐標與單星系相較，接近一致無明顯差異，但就其解算成果之內部精度來看，多星系之內部精度（3D中誤差、水平中誤差、高程中誤差）皆優於單星系，平均提升1.7公分，如表11所示。

五、結論與建議

（一）結論

本研究是以e-GNSS衛星定位測量工作之6小時靜態測量成果，以VBS-RTK動態後處理方式，產製單、多星系解算成果，並以不同間隔時間及不同觀測時間之重複觀測解算成果，經初步統計解算合格率與定位精度，結果亦與多數即時動態測量之研究成果相符一致，即平面可達2公分及高程可達5公分的精度。比較現行作業規範與外業實務所產生差異之處，根據本研究所進行的實驗分析成果，綜合整理分述如下：

1. 以目前e-GNSS多星系定位系統，在可接收GPS/GLONASS星系、定期更新系統基準站坐標成果及核心軟體PIVOT的更新運作，其可觀測衛星數較先前e-GPS單星系定位系統，由平均7.7顆提升至14.6顆衛星數。其PDOP值由2.7降至1.5。e-GNSS系統不管在初始化（Fixed）時間、觀測定位精度，均較以往e-GPS單星

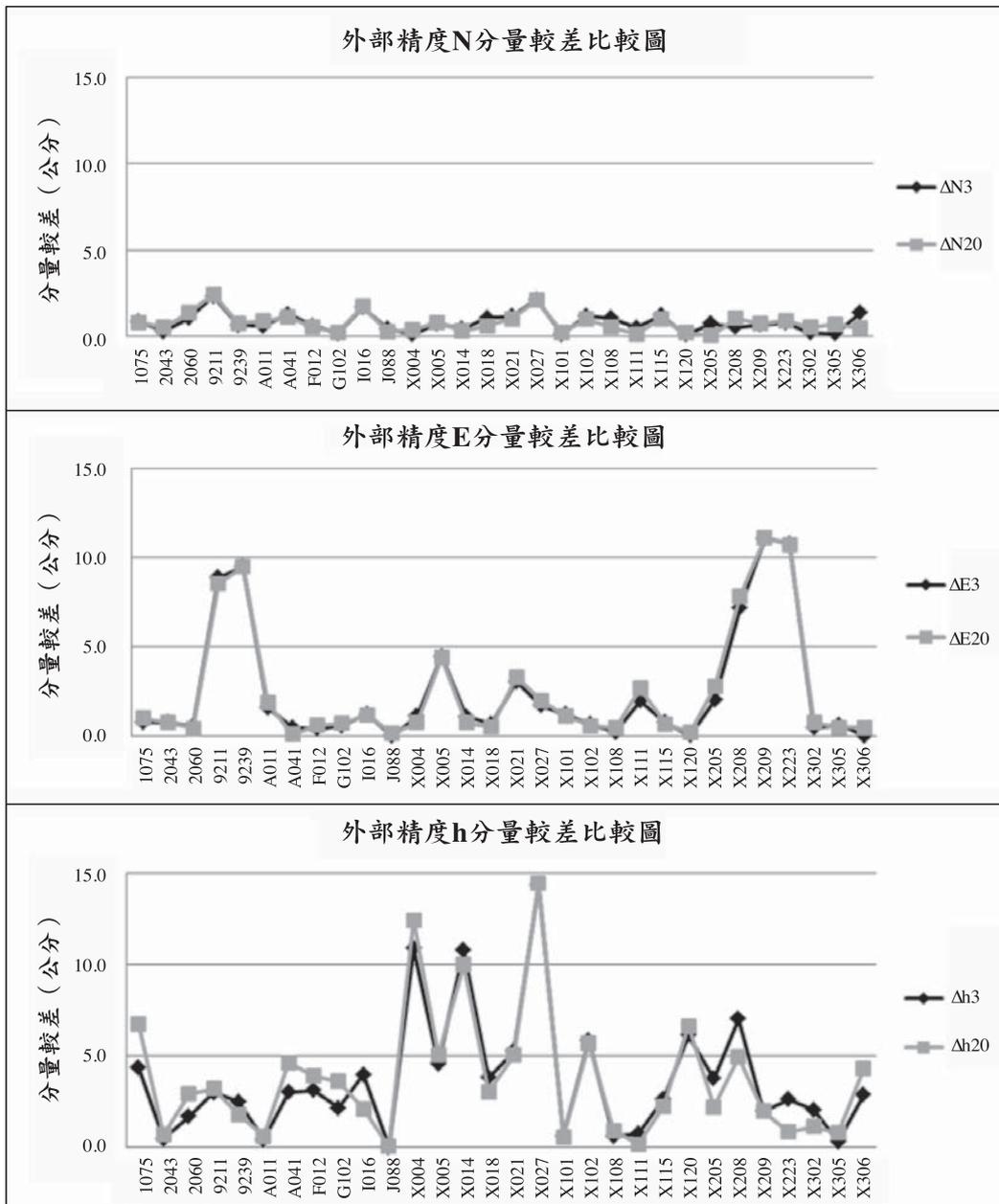


圖9 外部精度各分量較差比較圖

系統更為快速便捷及精確。由於定位系統能力增強、可觀測衛星數大幅提升，原本因衛星數量不足或衛星幾何分布不佳的因素已大幅消除。現行e-GNSS定位在正常環境下觀測，其PDOP值平均在3以下。

- 依不同間隔時間之重複觀測，其二測回之平面較差平均值皆在2公分以內，高程較差平均值皆在在5公分以內，其解算合格率为96.8%。重複觀測之間隔時間長短並無明顯影響其解算得時刻坐標成果。因此推論重複觀測二測回之間無間隔時

表10 觀測3分鐘重複觀測不間隔與觀測20分鐘重複觀測
間隔1小時之外部精度比較表（單位：公分）

項目 點號	較差（靜態-動態3分鐘）			較差（靜態-動態20分鐘）		
	$\Delta N3$	$\Delta E3$	$\Delta h3$	$\Delta N20$	$\Delta E20$	$\Delta h20$
1075	0.8	0.8	4.4	0.8	1.0	6.7
2043	0.3	0.8	0.5	0.5	0.8	0.7
2060	1.0	0.6	1.7	1.3	0.4	2.9
9211	2.3	8.9	3.0	2.4	8.5	3.2
9239	0.6	9.5	2.5	0.7	9.5	1.8
A011	0.6	1.6	0.4	0.9	1.9	0.6
A041	1.3	0.5	3.0	1.1	0.1	4.6
F012	0.6	0.4	3.1	0.5	0.6	3.9
G102	0.2	0.6	2.2	0.2	0.7	3.6
I016	1.6	1.2	4.0	1.7	1.2	2.1
J088	0.4	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0
X004	0.1	1.1	10.9	0.4	0.8	12.5
X005	0.7	4.5	4.6	0.8	4.4	5.0
X014	0.4	1.1	10.8	0.3	0.8	10.0
X018	1.1	0.7	3.8	0.6	0.5	3.0
X021	1.1	3.0	5.2	1.0	3.3	5.0
X027	2.1	1.7	14.4	2.1	2.0	14.5
X101	0.1	1.2	0.6	0.2	1.1	0.6
X102	1.2	0.7	5.8	1.0	0.6	5.7
X108	1.0	0.2	0.6	0.5	0.4	0.9
X111	0.5	2.0	0.7	0.1	0.1	2.7
X115	1.2	0.7	2.6	1.0	0.7	2.3
X120	0.1	0.0	6.1	0.2	0.2	6.7
X205	0.7	2.0	3.8	0.0	2.8	2.2
X208	0.5	7.2	7.0	1.0	7.8	4.9
X209	0.7	11.1	2.0	0.7	11.1	2.0
X223	0.8	10.8	2.6	0.9	10.7	0.8
X302	0.2	0.5	2.1	0.5	0.8	1.1
X305	0.1	0.6	0.3	0.7	0.5	0.8
X306	1.4	0.0	2.9	0.5	0.5	4.3
MAX	2.3	11.1	14.4	2.4	11.1	14.5
MIN	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
AVG	0.8	2.5	3.7	0.8	2.5	3.8
STD	0.6	3.4	3.4	0.6	3.4	3.5

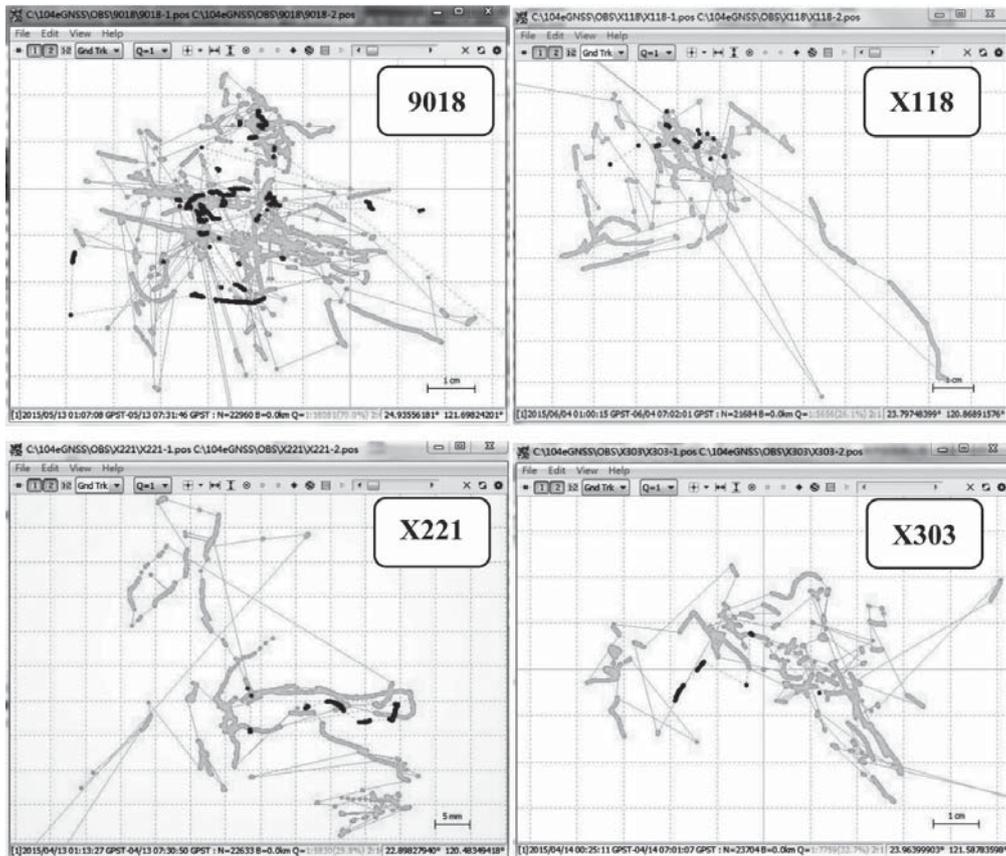


圖10 透空環境不佳點位其時刻坐標展繪圖

表11 透空環境不佳點位單星系及多星系解算成果及其內部精度比較表（單位：公分）

點號	衛星 顆數	PDOP值	解算成功 筆數	3D 中誤差	水平 中誤差	高程 中誤差
9018-1	7	3.2	16081	3.8	1.9	3.2
9018-2	14	1.6	1803	2.3	1.4	1.8
X118-1	7	3.1	5656	3.9	2.9	2.7
X118-2	15	1.5	119	2.5	0.6	2.4
X221-1	8	2.4	5830	2.8	1.7	2.2
X221-2	14	1.6	275	0.7	0.6	0.2
X303-1	7	2.6	7759	4.0	2.2	3.3
X303-2	14	1.5	218	0.8	0.7	0.4

備註：*-1表示e-GPS單星系解算成果及其內部精度

*-2表示e-GNSS多星系解算成果及其內部精度

間之必要（目前作業規範限定間隔時間至少60分鐘以上）。

3. 本研究以觀測3分鐘重複觀測不間隔之方式與觀測20分鐘重複觀測間隔1小時之方式（現行規範限定作業方式），兩者解算坐標成果以及其內部精度與外部精度（坐標分量較差平均值與中誤差）無明顯差異。因此，建議修訂外業觀測之作業規範，在透空環境正常的條件下，e-GNSS觀測接收時間可縮短至3分鐘（180筆）（1 Hz）以上觀測資料，同時重複觀測二測回間隔時間無須間隔（即可連續觀測，唯第二測回時須重新連線並整置儀器）。
4. 若以不同的透空環境下進行觀測，以解算合格的條件下進行比較，則單星系及多星系之解算時刻坐標成果並無顯著差異，唯在透空環境不佳的條件下，由於GLONASS星曆精度較差，在進行軟體計算時若精度設定要求較高者的話，會將雙星系統解算成果較差的部分剔除，致使多星系的解算成功筆數偏低，須要較長的觀測時間，而多星系有較多之可視衛星數，進而提升觀測資料之內部精度（平均提升1.7公分）。

（二）建議

依據上述結論，建議相關單位針對現行「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」之規定，其中『外業觀測時需選定每日衛星分布幾何狀況較佳之時段進行外業觀測，接收至少20分鐘（1 Hz）以上靜態觀測資料，靜態觀測資料應包含5顆以上衛星觀測資料，PDOP值應小於5，新設點位至少辦理二測回GPS靜態測量重複觀測，不同測回至少須間隔60分鐘以上』，此一規定有重新修訂之空間，建議修改規範如下：

1. PDOP值之限制應小於3。
2. 現行e-GNSS定位系統在正常環境下，接收至少3分鐘（180筆）（1 Hz）以上觀測資料。
3. 重複觀測之二測回之間無須間隔（即連續觀測，唯第二測回須重新連線並整置儀器）。
4. 新增在可初始化（Fixed）的狀態下，以即時動態方式辦理外業測量；若超過5分鐘未能初始化（Fixed）的情況下，應重新連線。若仍無法初始化的情況下，則改採長時間後處理定位方式辦理外業測量，避免耗費作業時間。

六、誌 謝

感謝內政部國土測繪中心測量隊協助本研究外業測量作業及各項技術支援。

參考文獻

- 王敏雄，劉致忠，劉正倫，蕭輔導，2006，e-GPS 衛星基準網之 VBS-RTK 即時動態定位系統測量成果分析，地籍測量協會會刊，第 25 卷，第 2 期。
- 內政部國土測繪中心網站，2015，<http://www.nlsc.gov.tw/>（2015.10.30）。
- 王敏雄，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研究報告，臺中，頁 1-81。
- 內政部國土測繪中心，2010，採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊，臺中，內政部，頁 1-20。
- 高書屏，2010，GPS 衛星定位測量概論，詹氏書局，台中，頁 129-163。
- 內政部國土測繪中心 e-GNSS 入口網站，2018，<http://www.egnss.nlsc.gov.tw/>（2016/2/4）。
- 何維信、詹君正，2010，虛擬基準站即時動態定位辦理土地複丈精度之研究，台灣土地研究，第 13 卷，第 2 期。
- 高書屏、梁崇智、李旭志，2006，利用 VRS-RTK 在圖根點新建、補建之探討，第二十五屆測量及空間資訊研討會論文集，中壢，頁 1-8。
- 吳峻宇、王敏雄、梁旭文、鄭彩堂，2014，VBS-RTK 定位技術在公共管線測量實務應用與精度控制之研究，內政部國土測繪中心，自行研究報告。
- 內政部國土測繪中心，2014，VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範，內政部，臺中，頁 1-4。
- G. R. Hu, V. H. S. Khoo, P. C. Goh and C. L. Law., 2009, Internet-based GPS VRS RTK positioning with a multiple reference station network, *Journal of Global Positioning Systems*, pp. 113-120.
- Landau. H., 2000, GPS/GLONASS Reference Station Network, introduce the concept of Virtual Reference station in Real-Time positioning, *GPS Network 2000*.
- Zuhaidah N., Wan A. A., Wan M. A., Zulkarnaini M. A., and Mohd H. Y., 2009, Investigation on VRS-RTK Accuracy and Integrity for Survey Application, *International Symposium and Exhibition on Geoinformation*, pp. 10-11.

TOPCON, 2015, <http://www.Topcon.com.tw/> (2015.10.30).

UNAVCO, 2014, <http://www.unavco.org/> (2014.7.4).

TRIMBLE, 2015, <http://www.trimble.com/> (2015.10.30).

RTKLIB, 2015, <http://www.rtklib.com/> (2015.10.30).