

電子化全球衛星即時動態定位系統建置、營運與現代化作業

內政部國土測繪中心 王敏雄技正、劉正倫主任

摘 要

網際網路及無線數據通訊傳輸技術蓬勃發展，已帶動了具備立即獲得與公分級定位精度效能的 GPS 即時動態定位技術（Real-Time Kinematic，RTK），成為現今國際測繪及精密定位技術之主流，特別是結合 GNSS 全球衛星定位系統所發展的虛擬基準站即時動態定位（Virtual Base Station Real-Time Kinematic，VBS-RTK）技術，更是現今世界各先進國家積極建置之即時性動態定位系統。相對於傳統單主站 RTK（Single-Base RTK）的限制，VBS-RTK 不僅大幅延展了衛星即時動態定位的有效作業範圍，同時亦具有降低主站布設密度及提升即時動態定位精度與可靠度等優勢。

本文將回顧內政部國土測繪中心（以下簡稱本中心）自 2004 年起執行「電子化全球衛星即時動態定位系統（以下簡稱 e-GPS 即時動態定位系統）」規劃建置歷程、應用領域、營運現況、績效及服務效益，並介紹現階段將 e-GPS 即時動態定位系統全面更新升級為 GNSS 多星系定位服務之現代化作業規劃與執行情形，以期將 e-GPS 定位系統的即時衛星定位技術及服務品質提升到國際級水準。

關鍵字：虛擬基準站、衛星定位基準站、e-GPS 即時動態定位系統

壹、前言

全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 提供全天候與多用途的導航與定位服務，基於各領域使用者之業務特性不同，對於即時動態定位服務的精確度 (Accuracy)、完整性 (Integrity)、可用性 (Availability) 及連續性 (Continuity) 的要求也相對提升。為順應此一國際測繪科技的潮流趨勢，及在臺灣具備優質寬頻網路與行動數據傳輸通信基礎建設等有利條件的帶動下，本中心於 2004 年度創建第 1 套完整涵蓋全臺灣全區，且定位成果可達到公分級精度之「e-GPS 即時動態定位系統」。在系統全天候 24 小時不中斷地提供定位誤差服務的支持下，使用者在臺灣本島、綠島、蘭嶼及澎湖、金門、馬祖等離(外)島之任何地點，只要同步接收 5 顆(含)以上 GPS 衛星訊號，都可在極短的時間內，透過無線數據上網方式，立即獲得高精度定位成果。另各衛星定位基準站每天 24 小時連續接收 GPS 衛星觀測資料，亦可掌握點位動態變位資訊，亦是訂定國家測量基準、長期維護國家坐標系統之重要基礎。

在 e-GPS 即時動態定位系統的整體運用與資料供應層面上，隨著全球衛星定位系統(GPS)、俄羅斯的全球導航衛星系統(GLONASS)、歐盟伽利略(Galileo)與中國北斗星 (Compass) 定位系統逐年的現代化更新與建置，結合多星系資料整合處理功能的全球導航衛星系統(GNSS)已是目前國際衛星定位技術的主流。目前世界各國的定位服務系統，均已逐漸更新升級為以 GNSS 為架構的多星系定位服務架構，輔助解決衛星訊號遮蔽嚴重之觀測環境，有效提升 VBS-RTK 定位精度與初始化的成功率，對於現代化的網路 RTK 定位技術與定位系統服務的品質，將產生重要的影響。基此，本中心已於 2013 年起，著手 e-GPS 即時動態定位系統現代化更新作業，以全面更新升級為 GNSS 多星系定位服務為目標，帶領臺灣的 e 化與行動化測繪科技，邁向與國際同步化的嶄新時代。

貳、e-GPS 即時動態定位系統的核心技術

隨著電信與資訊科技的快速發展，尤其是網際網路與無線數據通訊技術的興起，GPS 全球衛星定位在測量與精密定位的應用領域上，已由長時間靜態觀測演進成為即時性的動態定位。衛星即時動態定位 (RTK) 是目前使用最為廣泛的高精度定位技術，而 RTK 的關鍵技術在於使用 GPS 的載波相位觀測量及 OTF (On-The-Fly) 快速求解整數週波未定值，並透過差分的方式消除移動站觀測資料中的大部分誤差，從而實現高精度(公分級)的定位。

虛擬基準站即時動態定位技術（VBS-RTK）之基本觀念乃是由多個 GPS 基準站全天候 24 小時連續地接收衛星資料，使用者只要通過網際網路進行 RTCM 網路傳輸的協議（Networked Transport of RTCM via Internet Protocol, NTRIP）通訊協定，將 GPS 單點定位坐標成果傳送至控制及計算中心，經核心定位軟體同步解算該單點定位所在位置之虛擬基準站觀測量後，再回傳至移動站衛星定位接收儀進行「超短距離基線」解算，即時獲得 VBS-RTK 定位坐標成果。這種網路化 RTK 定位技術，稱之為虛擬基準站即時動態定位技術（簡稱為 VBS-RTK 定位），為本中心 e-GPS 即時動態定位系統之核心技術，圖 1 為 e-GPS 即時動態定位系統組成架構示意及 VBS-RTK 動態定位技術解算流程。

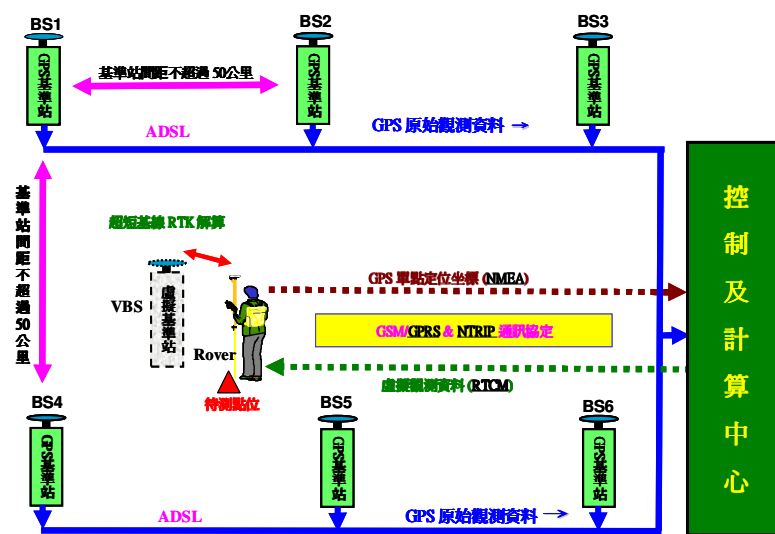


圖 1 e-GPS 即時動態定位系統組成架構及 VBS-RTK 定位技術示意圖

叁、e-GPS 坐標系統與定位精度

本中心 e-GPS 即時動態定位系統因須即時計算處理各基準站涵蓋範圍內之定位誤差修正資料，並依使用者單點定位坐標內插所產出之虛擬衛星觀測資料，回傳給使用者，進行超短基線 RTK 定位解算，故須有高精度坐標系統，來維持各基準站間關係之正確性。然就測繪實務考量，e-GPS 定位所採用的坐標系統（簡稱 e-GPS 坐標系統），理應架構在現有 TWD97 國家坐標系統，避免坐標系統轉換所衍生之坐標轉換誤差，如此方能獲得使用上的便利性。惟臺灣地區因位處歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊劇烈碰撞地帶，地殼變動所產生的位移情形，不論在方向及量級上，各地區均有顯著的不同，這樣的現象不僅降低 e-GPS 衛星基準站間的空間相對關係，對於 VBS-RTK 定位解算成果精度，在不同地區及不同時間點，將產

生不同程度的影響，進而造成測繪作業實務應用上之困擾。

為解決坐標系統不一致性問題，本中心乃自行定義 1 套以時間為函數之區域性 e-GPS 坐標系統，做為進行即時動態定位坐標之基準平台。本中心自系統建置初期，即以內政部陽明山衛星追蹤站（YMSM）TWD97 坐標成果為約制點位，先行解算各基準站精密坐標後，以苗栗竹南基準站（JUNA）為固定站，進行最小約制嚴密平差計算，做為後續精密解算各衛星基準站坐標及速度場解算之依據。有關坐標系統基本定義及相關資訊如表 1。另在福建省金門及馬祖等 2 處區域性分區定位服務網部分，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；澎湖地區因境內並無衛星追蹤站，故採用北港衛星追蹤站（PKGM）為服務區各基準站精密坐標起算點。

表 1 臺灣本島 e-GPS 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-坐標 [Ⓔ]	Y-坐標 [Ⓔ]	Z-坐標 [Ⓔ]
苗栗竹南站 (JUNA) [Ⓔ]	-2975764.7118m [Ⓔ]	4976994.8411m [Ⓔ]	2647324.2334m [Ⓔ]
年平均速度量 [Ⓔ]	0.0083m/yr [Ⓔ]	-0.0006 m/yr [Ⓔ]	-0.0129 m/yr [Ⓔ]

本中心於 2005 年 4 月至 2006 年 12 月期間，於臺灣中北部及花蓮地區採用 VBS-RTK 及 VBS-GPS 差分定位技術，進行定位成果精度測試統計分析如表 2。

表 2 e-GPS 即時動態定位成果精度成果統計分析一覽表（單位：cm）

測試別 [Ⓔ]	VBS-RTK [Ⓔ]	VBS-RTK [Ⓔ]	VBS-DGPS [Ⓔ]
儀器別 [Ⓔ]	雙頻測量型 [Ⓔ]	雙頻測量型 [Ⓔ]	單頻導航型 [Ⓔ]
N 方向 [Ⓔ]	1.37 [Ⓔ]	9.76 [Ⓔ]	37.46 [Ⓔ]
E 方向 [Ⓔ]	1.42 [Ⓔ]	9.02 [Ⓔ]	38.26 [Ⓔ]
H 方向 [Ⓔ]	3.74 [Ⓔ]	22.79 [Ⓔ]	-- [Ⓔ]

肆、e-GPS 即時動態定位系統的建置歷程

本中心於 2003 年研究辦理先期規劃工作，完成採用虛擬基準站即時動態定位技術（VBS-RTK）之可行性評估後，廢續自 2004 年度起籌建 e-GPS 即時動態定位系統，目前已在臺灣本島、澎湖、金門、馬祖各地建置 78 處衛星定位基準站，並於本中心地籍資料庫 4 樓資訊機房，完成 e-GPS 控制及計算中心之建置工作，並於 2006 年起，著手規劃系統服務營運機制，迄今已陸續建置完成入口網站、動態

資料庫管理系統、使用者線上監控及管制系統、電子收費平臺、客戶服務平臺與基準站報修管理系統等輔助功能子系統（營運架構如圖 2）。有關本系統在整個建置歷程上主要計區分為初創期、成長期及成熟期等 3 個階段執行策略，說明如下：

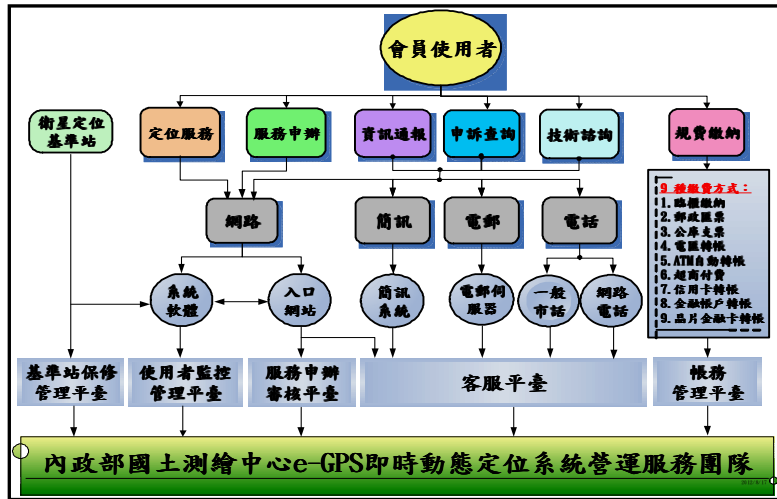


圖 2 e-GPS 即時動態定位系統營運架構圖

一、初創期：

自 2003 年起至 2008 年度止，主要工作包括系統規劃設計及測試分析、定位系統平臺建置及建立服務營運機制等。

(一) 建置全國各地衛星定位基準網，基準站的分布狀況及硬體設備如圖 3。

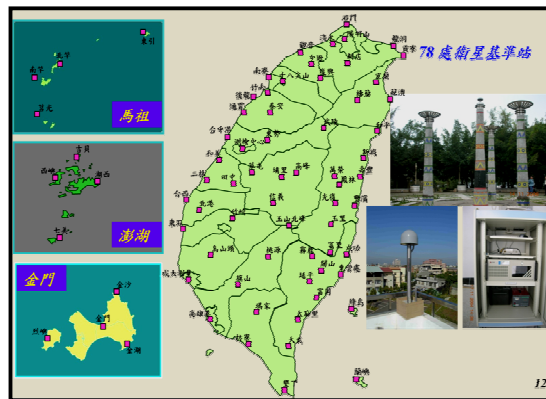


圖 3 e-GPS 衛星定位基準站分布及硬體設備圖

(二) 建置 e-GPS 控制及計算中心機房，標準配備包括工作伺服器、網路設備、儲存器、定位系統軟體及資通訊服務輔助系統等軟硬體設備。另為配合本中營運與推廣事務，亦研發有入口網站及動態資料庫管理系統、使用者即時監控與管制系統、客戶服務系統平台、基準站報修管理系統平台、資料備份及應用程式系統備援等資通訊服務輔助營運子系統。圖 4 為

e-GPS 即時動態定位系統控制及計算中心實景。



圖 4 e-GPS 控制及計算中心機房內景

- (三) 2005 年至 2006 年辦理即時動態定位精度與可靠度測試評估。
- (四) 2006 年至 2007 年建置入口網站及動態資料庫管理系統，連結網址為 <http://www.egps.nlsc.gov.tw>。
- (五) 規劃營運機制，含系統整合、營運測試及標準制定等。
- (六) 營運試辦作業（2008 年 5 月 1 日至 2008 年 12 月 31 日）。
- (七) 2008 年建置使用者線上監控及管制系統。

二、成長期：

自 2009 年起至 2011 年度止，主要工作包括系統開放營運、技術研發與系統整合及宣導、行銷與推廣。

- (一) 2009 年 1 月 1 日起開放正式第 1 階段營運。
- (二) 2009 年至 2011 年持續維護擴充入口網站及動態資料庫管理系統。
- (三) 2010 年擴充介接電子收費平臺管理系統；建置客戶服務平臺管理系統、基準站自動化報修管理系統及自動化異地備援系統。
- (四) 2010 年 1 月 1 日實施第 1 階段簡化各類服務申辦程序。

三、成熟期：

- (一) 2013 年 1 月 1 日啓動第 2 階段營運機制，放寬會員申請資格條件，再簡化各類服務申辦程序。
- (二) 自 2013 年起推動辦理系統現代化更新作業，其主要工作規劃與內容，係以將原有 GPS 單星系定位系統升級為 GPS+GLONASS 雙星資料整合處理系統，並結合營運的創新及整合國內現有衛星定位資源為主軸。
- (三) 自 2013 年起至 2016 年止，主要工作包括：
 - 1. 推動第 3 階段全民開放營運策略。
 - 2. 研究委外營運轉移機制。

伍、e-GPS 即時動態定位系統服務與營運

一、系統服務營運項目：

1. 衛星即時動態定位服務包括：

- (1) 公分級 VBS-RTK 即時動態定位服務。
- (2) 次公尺級網路化 DGPS 即時動態定位服務。

2. 衛星基準站觀測資料電子檔供應包括：

- (1) 衛星基準站原始觀測資料 RINEX 標準格式電子檔。
- (2) 虛擬基準站衛星觀測資料 RINEX 標準格式電子檔。

3. 衛星觀測資料後處理坐標成果計算服務。

二、營運績效：

本中心 e-GPS 即時動態定位系統自 2009 年 1 月 1 日開放提供第 1 階段定位服務後，截至 2013 年 8 月 31 日止，共核准 343 個會員；申辦 550 個衛星即時動態服務使用帳號；另在衛星觀測資料電子檔供應服務部分，計提供 2,173 站天實體基準站衛星觀測資料及 447 站天虛擬基準站衛星觀測資料，營運規費總收入計新臺幣 1,109 萬 4,866 元。茲就 e-GPS 定位系統受理申辦會員之屬性及各類服務累積統計數字，分析彙整如下：

- (一) 以申請機關（構）單位屬性類別統計（如圖 5-a），計區分為公務機關、學術單位、社團法人、民間測繪業、國營事業機構及其他等 6 項，其中以民間測繪業申辦會員為最多數（占 49%），其次分別為公務機關及學術單位，分占 25%及 16%。

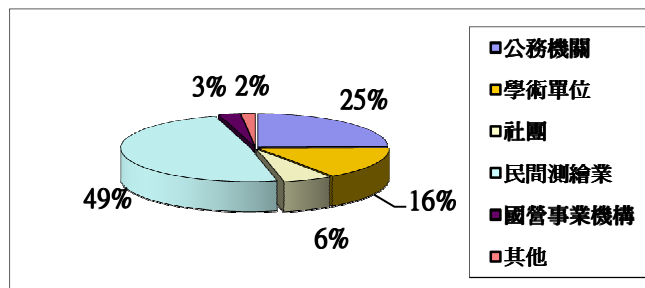


圖 5-a e-GPS 定位系統會員單位類別統計圖

- (二) 以註冊會員專業領域類別統計（如圖 5-b），計區分為地政、測量、農林、交通、水利、工務、資源調查、教學研究及其他等 9 項，其中以測繪業申辦數占絕大多數（48%），再則為地政機關及教學研究單位，分占 19%及 18%。

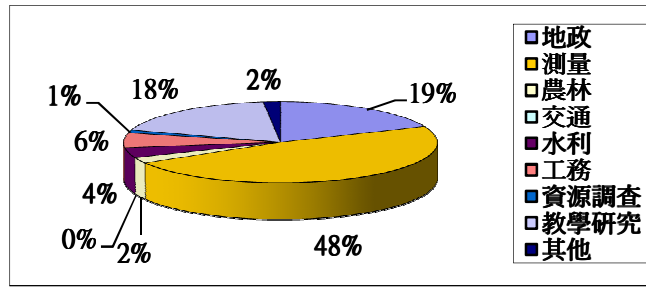


圖 5-b e-GPS 定位系統會員專業領域統計圖

(三) 以會員應用領域統計領域類別統計 (如圖 5-c)，以地形測量業務所占比例 27% 為最高，其次為控制測量作業領域占 14%，再其次為工程測量作業領域占 13%。

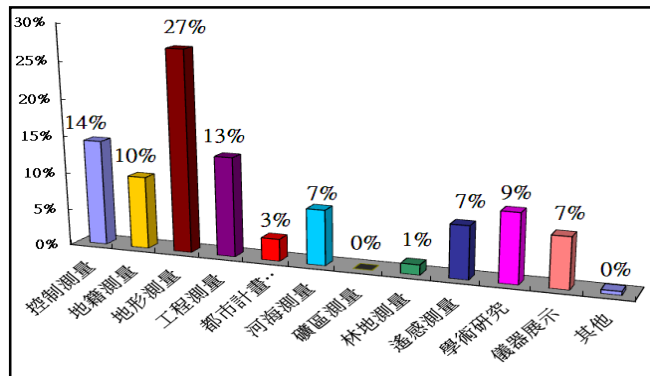


圖 5-c e-GPS 定位系統應用領域統計圖

三、具體效益：

本中心 e-GPS 即時動態定位系統正式開放營運 3 年多以來，其各項衛星定位服務所產出的目的與成果所顯現之效益，由本中心於 2012 年 5 月至 6 月期間，針對 e-GPS 即時動態定位系統服務滿意度調查，其中在「成本效益」構面上，分類調查地政機關、非地政機關及私人機構之受訪者，針對使用 e-GPS 即時動態定位技術相較於傳統測量方法，在人力、時間及經費上可節省成本 (如表 3)。如表所示，在 3 類受訪者的回應部分，不論在人力、時間及經費上，以認為可以節省 20%-50% 居絕對多數，可以節省 50%-80% 之受訪者居次，再其次是 0%-20%，但其中較為特殊的是地政機關有 24.32% 的受訪者，認為在經費的成本上，沒有較明顯的節省空間，而在其他各類別部分，則僅有少數表示沒有意見或認為無法節省成本，足以顯示本系統在即時動態定位服務所產出的目的與成果，當具有其公共價值。

表3 分類調查 e-GPS 定位與傳統測量可節省成本比較一覽表

受訪類別	調查類別	無法節省或沒意見	可節省 0%~20%	可節省 20%~50%	可節省 50%~80%	可節省 80%~100%	可節省 100%以上
地政機關	人力	2.70%	21.62%	48.65%	21.62%	5.41%	0.00%
	時間	5.41%	10.81%	45.95%	32.43%	2.70%	2.70%
	經費	24.32%	21.62%	27.03%	21.62%	5.41%	0.00%
非地政機關	人力	0.00%	25.00%	75.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	時間	0.00%	0.00%	75.00%	25.00%	0.00%	0.00%
	經費	0.00%	50.00%	50.00%	0.00%	0.00%	0.00%
私人機構	人力	6.12%	14.29%	53.06%	22.45%	2.04%	2.04%
	時間	2.04%	22.45%	51.02%	18.37%	2.04%	4.08%
	經費	8.16%	26.53%	38.78%	20.41%	4.08%	2.04%

另採用 e-GPS 即時動態定位技術在帶動提升本中心行政效能方面，經統計已知基本控制點檢測、加密控制點測設、圖根點測設及公共管線建置測量等 4 類測繪業務之成本效益如表 4。

表4 採用e-GPS即時動態定位技術可提升各類測繪業務成本效益一覽表

效 益 作業別	可節省 人力成本	可節省 時間成本	可節省 經費成本	備 註
已知控制點檢測	83.33%	73.33%	73.21%	
加密控制點測設	87.50%	81.67%	93.32%	
圖根點測設	75.00%	63.70%	86.82%	
公共管線測量	50.00%	75.00%	44.44%	原始數據由中興測量有限公司提供

柒、e-GPS 即時動態定位系統現代化更新作業

近年來由於多星系 GNSS 衛星定位接收儀之使用者大幅增加，為因應各界對於結合多衛星定位系統，來輔助解決衛星訊號遮蔽嚴重之觀測環境，有效提升 VBS-RTK 定位精度與解算的成功率。本中心 2012 年度上半年辦理 e-GPS 即時動態定位系統服務品質滿意度調查，亦有多數受訪會員建議 e-GPS 即時動態定位系統能加速升級至 GNSS 多星系資料處理計算功能，並能導入建立創新且多元化的通報機制，讓使用者可以立即獲得系統運作的相關資訊。基此，本中心 e-GPS 即時動態定位系統未來進行現代化作業，期能於 2014 年底前，將規劃以現有 GPSNet 定位系統軟體全面更新升級為 GNSS 多星系統，強化系統運作即時資訊通報為主要目標，將 e-GPS 系統的即時衛星定位技術及服務品質提升到國際級水準。有關系統現代化更新升級之主要工作內容如下：

一、更新基準站接收儀硬體：

預定 2013 年及 2014 年分 2 年完成臺灣本島及綠島、蘭嶼地區計 66 處基準站之 GPS+GLONASS 衛星接收儀更新換裝作業，其更換後之 GNSS 衛星接收儀更新換裝作業廠牌及型號計有 Trimble NetR9、Topcon NetG3A 及 Leica 1200GG PRO 等機型；澎湖、金門及馬祖地區因考量大部分測區之衛星觀測環境及透空度尚可符合 GPS 單星系統定位條件，且使用率較低等因素，暫不進行基準站衛星接收儀更新換裝作業。有關現代化更新作業之衛星接收儀更新換裝期程及點位分布情形如圖 6。

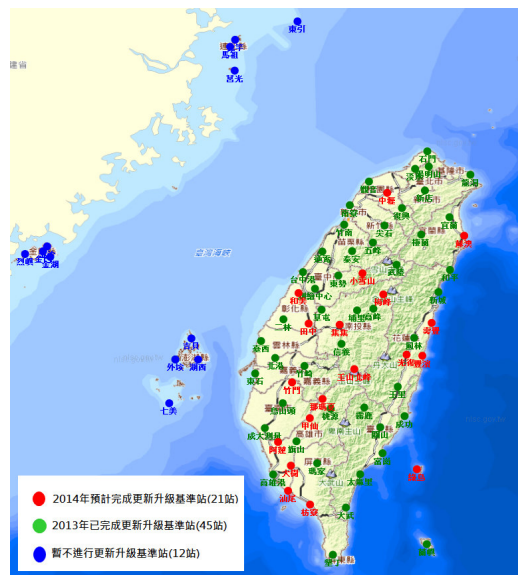


圖 6 現代化更新作業之衛星接收儀更新換裝期程及基準站分布圖

二、升級 Trimble PIVOT GNSS 定位核心軟體：

本中心已於 2013 年以改版升級 (Migration) 的方式，採購 Trimble PIVOT GNSS 定位核心軟體，預定於 2014 年完成實地測試後，將取代現有的 Trimble GPSNet 定位核心軟體，提供 GPS+GLONASS 雙星系統之虛擬基準站法(VBS) 及電碼差分定位 (DGNSS) 等不同模式的網路化 RTK 即時動態定位服務。

三、建立 e-GPS 即時動態定位成果後處理驗證管理機制：

依實務作業經驗，VBS-RTK 定位成果不論精度或可靠度，均無法百分百達到預期的結果，以往的解決方法，是以不同時段在同一點位上，重覆檢核施測 2 次以上，來降低測量發生錯誤機率。但上述方法在實務上，並不符合細部測量的經濟效益。本中心與高雄市政府地政局合作，於 2013 年委外研發建置「e-GPS 即時動態定位成果後處理驗證管理系統」，利用以不同軟體之後

處理模式，解算 VBS-RTK 動態定位成果，作為外業成果對照比對使用，建立成果後處理驗證機制，輔助檢核野外測量成果之可靠性與正確性。

四、衛星定位基準站精密坐標維護與更新：

臺灣本島地區由於受到地殼變動因素影響，各基準站坐標移位量級及方向不一，為提升系統即時動態定位效能，有關 VBS-RTK 定位系統軟體設定之衛星基準站坐標，參考各基準站坐標移位量級大小及方向與 VBS-RTK 定位坐標成果等資訊，定期辦理衛星基準站精密坐標維護更新。另在解算衛星基準站精密坐標部分，將由本中心整合具有 TWD97[2010.0]坐標之 237 個 GNSS 連續觀測站（包含本中心 78 處 e-GPS 基準站）之 2012 年 12 月 1 日至 2013 年 1 月 31 日接收之衛星觀測資料及 IGS 公布之衛星精密星曆，採用 Bernese 研究型基線及網形平差計算軟體，並以金門衛星追蹤站 3 維坐標為約制起算點，重新解算各基準站之精密 e-GPS[2013.0]坐標。

五、解算三維即時坐標轉換參數：

本項工作主要目標在於便利使用者可以在野外採用 VBS-RTK 方法施測後，透過 3 維即時坐標轉換模組，於施測現場將 e-GPS[2013.0]坐標立即轉換為 TWD97[2010.0]坐標，不僅可以節省以往須先到已知控制點施測後，再回到內業以後處理方式，進行坐標轉換等一連串費時的繁瑣程序。而採用 3 維即時坐標轉換模組（TTG）功能，則可利用 3 維之 7 個轉換參數及網格坐標殘差修正模型，立即於外業測繪現場，將 e-GPS[2013.0]坐標即時轉換為 TWD97[2010.0]坐標及正高，簡化外業施測及內業處理流程，有效節省作業成本。

六、辦理營運資通訊輔助子系統功能增修作業：

配合 Trimble PIVOT GNSS 定位核心系統軟體專用動態資料庫 (SQL Server)、程式語法 (ASP.Net) 及營運報表 (Reports) 等資料格式，委外辦理與營運事務有關之資通訊輔助營運子系統等功能之增修作業，提升系統服務品質。

七、辦理雙星系統即時動態定位服務精度與可用性測試：

由本中心規劃野外實地測試作業計畫，辦理前述 VBS-RTK 衛星即時動態定位及 3 維即時坐標轉換定位服務精度、可靠度及系統可用性測試，並依據測試成果數據完成測試報告，作為後續評估 e-GPS 衛星定位基準站地理分布之妥適性及定位服務區重新規劃調整之參考。

八、擴大行銷與宣傳：

廣泛邀請各界參與本中心各項活動展會，並定期舉辦 e-GPS 即

時動態定位系統使用者論壇會議，以更積極行銷宣傳手段，建立實質合作與互惠共享機制，擴大民間資源參與，提升系統營運與服務績效。

捌、結語

臺灣目前已非常廣泛地使用衛星精密定位於各種測量工作，包含各類型之靜態定位及動態定位。本中心 e-GPS 即時動態定位系統自 2009 年 1 月 1 日開放提供第 1 階段定位服務後，e-GPS 即時動態定位系統全天候提供即時性動態定位修正解算，除可提升各項測繪工作之產能及效率，達到節省作業成本之目標外，e-GPS 即時動態定位系統因具備多目標、高效率、高產能之定位資訊蒐集能力，每日 24 小時所連續接收之衛星觀測資料外，亦可做為輔助其他非即時性且高精度之定位應用。本系統自開放營運以來，各年度規費收入，皆呈現逐年正向成長的現象，顯示各機關應用本系統辦理測繪業務，有逐步增加的趨勢，亦代表本系統之實用性及便利性已獲國內各機關、團體及測繪業界肯定。

然隨著 GNSS 多星系統的建構及衛星定位技術的發展，衛星定位使用之硬體設備與軟體計算程式也將大幅改變，預期將會大幅提升現有即時動態定位的精度及可用性。本中心目前已完成採購更新 e-GPS 即時動態定位系統之定位核心軟體，並逐步更新為現代化之 e-GNSS 即時動態定位系統，加速 GNSS 多星系資料處理計算功能，在系統相關營運行政輔助軟體完成功能增修及系統整合後，預定將於 2014 年即可正式銜接以 GPS+GLONASS 雙星系的全新系統服務上線營運。未來本中心將持續維護系統運作效能，朝開放全民使用及研究推動委外營運轉移機制，創新 e-GPS 即時動態定位系統績效與價值。

玖、參考資料

- 一、曾清涼、儲慶美編著「GPS衛星測量原理與應用」，2009.7，成大衛星資訊研究中心技術叢書003號，第2版。
- 二、曾清涼，2002，虛擬衛星即時動態擴增系統e-GPS研究，國立成功大學90年度休假研究報告。
- 三、內政部國土測繪中心，2004.4，台灣e-GPS電子基準站規劃設計及測試分析期末報告；執行單位：財團法人成大研究發展基金會，計畫主持人：曾清涼。
- 四、內政部國土測繪中心，2006.5，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。
- 五、內政部國土測繪中心，2006.8，先進國家建置虛擬基準站即時動態定位系統軟體設備研發及營運現況出國報告。
- 六、內政部國土測繪中心，2007.12，e-GPS定位系統應用於基本控制測量作業研究。