

應用 GSM 通訊模組於長距離 RTK 即時動態測量之研究

內政部土地測量局自行研究報告
中華民國 94 年 12 月

094-301080000G2-001

「應用 GSM 通訊模組於長距離
RTK 即時動態測量之研究」

研究人員：

技術發展課測量員 林長青

企劃課測量員 林世賢

技術發展課課長 曾耀賢

內政部土地測量局自行研究報告

中華民國 94 年 12 月

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

Research of Using GSM Communication Module on Long Distance Real-Time Kinematic

BY

Lin, Chang-Ching

Lin, Shih-Hsien

Tseng, Yao-Hsien

DECEMBER 20, 2005

表次

表 2-1 GB1000 接收儀規格	7
表 2-2 PG-A1 規格:	7
表 2-3 中華電信行動數據月租費	9
表 2-4 中華電信數位式行動電話通信費	9
表 3-1 觀測時段表	27
表 3-2 測試點位坐標及中誤差(靜態觀測結果)	31
表 3-3 各組坐標變化範圍與靜態坐標差值比較表	32
表 3-4 GSM2 與 GSM3 坐標變動範圍與準確度比較表	37
表 3-5 GSM2 與 GSM3 在電離層不同活動期平均較差比較表	39
表 3-6 各組別解算成功率一覽表	40

圖次

圖 2-1	RTK 結合 GSM 系統圖	5
圖 2-2	GB1000 接收儀及 PG-A1 天線外觀	6
圖 2-3	GSM Modem 外觀	6
圖 3-1	點位分布圖	23
圖 3-2	主站天線照片	24
圖 3-3	移動站外業照片	24
圖 3-4	GPSurvey 基線資料處理流程	29
圖 3-5	GPS 靜態觀測網形圖	30
圖 3-6	GSM2 5 月 25 日 RTK 平面坐標變化	33
圖 3-7	GSM2 5 月 25 日 RTK 平面位置及高程差變化圖	33
圖 3-8	GSM2 5 月 25 日 RTK 平面位置及高程坐標中誤差變化圖	34
圖 3-9	GSM3(彰濱堤防邊)5 月 25 日 RTK 平面坐標變化圖	36
圖 3-10	GSM3 5 月 25 日 RTK 平面位置及高程差變化圖	36
圖 3-11	GSM3 5 月 25 日 RTK 平面位置及高程坐標中誤差變化圖	37
圖 3-12	5 月 25 日電離層活動變化圖	38

摘要

關鍵詞：GPS、GSM、RTK

一、研究緣起

GPS 衛星定位測量具備作業便利、精度高等特性，已廣泛應用在各項測量業務，而 RTK(Real-Time Kinematic)乃是結合無線電通訊設備進行數據傳輸的即時性動態測量。目前通訊方式多元化，隨著臺灣地區 GSM 基地台數量的增加使得訊號覆蓋面積大大提升，進而可以採用 GSM 系統來取代無線電通訊設備，以克服無線電傳輸之功率與地形限制。採用 GSM 系統之 RTK 其施測距離與點位精度為何，實為本研究欲探討的主要目的。

二、研究方法及過程

本實驗的目的在探討採用 GSM 模組之 RTK 於中長距離定位之可行性評估，並以單一主站、單一移動站方式進行外業觀測。目標是經由實際測試之實驗，分析移動站與主站之距離對定位精度的影響、了解 RTK 測量可達正確求解之距離極限、電離層效應對 RTK 解算成功與否的影響…等。

為了解 GSM 通訊距離及遮蔽狀況的影響程度，以選取對空通視良好之已知控制點做為測試對象，這些控制點以主站為圓心，於各方向均勻分布為最佳，且各控制點有不同之距離組合，綜合考量各控制點的地形特性、交通、分布、距離。

考慮基線長度、衛星顆數及大氣層因素對於 RTK 成功率與可靠度的影響並選擇了不同日期、時間來進行 RTK 野外觀測。外業記錄了觀測時間、GSM modem 撥接時間、系統收斂

時間、GPS 衛星數量、GLONSS 衛星數量、初始化衛星數目、PDOP 值及點位坐標等項目。

實驗中為了解電離層對距離之影響，採取同一點位每小時觀測一次持續 8 小時，及各點位依距離不同分成 4 組，分析 OTF 解算初始化成功率與距離的相關性，還有記錄 RTK 定位時間、RTK 坐標精度，並將這些數據作統計分析。

三、重要發現

- (一)RTK 定位精度與距離有明顯相關，愈遠精度愈差。
- (二)較長距離(20km~40km)RTK 觀測仍有可能成功，若能順利收斂，平面定位精度在 5cm 以內。
- (三)移動站距離主站越遠，RTK 定位成功之比率越低。
- (四)長距離 RTK 之應用，應慎選觀測時段，避開電離層高度活動期間。
- (五)GSM-RTK 作業較傳統以 Radio 進行 RTK 測量可達更長之距離。

四、主要建議事項

- (一)建議在 GSM 通訊良好的地區採用 GSM 模組通訊設備可提高作業半徑，並提高數據傳輸質量。
- (二)電離層正常活動期間施測 RTK 之精度較佳，清晨以前是長距離 RTK 觀測的最好時機。

ABSTRACT

Keywords:GPS, GSM, RTK

Due to ease of operation and high positioning accuracy, GPS has been widely used in surveying. GPS RTK uses radio communication for real-time positioning. Due to low signal strength and blocking of signal, the current range of radio transmission is about 3 to 5 km. As mobile phone becomes more and more popular, the number of GSM base stations in Taiwan has increased significantly, therefore widening the coverage of signal transmission. This increase of GSM stations enables the use of GSM for RTK radio signal transmission and hence reduces the effects of low signal strength and signal blocking.

This study uses GSM for RTK positioning, and the effective distance is up to 40 km. We also investigate the relations between distance and positioning accuracy and between distance and RTK-fixed rate. It is found that the positioning accuracy and RTK-fixed rate decrease with increasing distance. In conclusion, RTK with GSM increases the range of field operation and provides an alternative to RTK.

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

一、研究緣起

GPS 衛星定位測量具備作業便利、精度高等特性，已廣泛應用在各項測量業務。GPS 衛星定位測量作業依測量方式大致可分為靜態測量、快速靜態測量、虛擬動態測量、即時動態定位測量等，其中 GPS 即時動態測量(RTK)方式，係透過通訊設備將主站的觀測量即時傳給移動站，只需在點位上觀測幾秒鐘，就可即時解算點位坐標，大幅提昇 GPS 測量效率。

然而即時動態測量仍是有其限制的，第一，該作業方式係利用已知精確坐標之主站同步觀測，並將訊號傳送給移動站進行解算以消除電離層誤差的影響，這是基於短距離內電離層狀態相似之基本假設，才能利用主站之訊號將該項誤差大部分予以消除，得到可接受的定位精度；第二，目前大部分儀器搭配無線電作為資料傳輸媒介，而無線電訊號會隨距離衰減，且容易受到遮蔽物阻斷造成傳輸障礙，一般有效作業範圍不超過 5km。綜上二項因素，一般 RTK 作業多以 3km 到 5km 範圍內為限。

二、背景

本局 93 年度採購之 GPS 接收儀，除具備一般 RTK 功能外，尚附有一組 GSM 通訊模組，在辦理 RTK 測量時就資料傳輸通訊部分，應可克服 5km 之限制(甚至無距離限制)，然而實務上究竟可做到怎樣的距離，以及距離拉長後 RTK 解算能否收斂？定位精度與距離之間成何種關係？這些問題，希望透過本研究之實際測試予以歸納分析，供日後應用此項測量技術之參考。

第二節 基本理論與假設

- (一) GPS 靜態測量應用於控制測量之技術及經驗已相當成熟，成果精度可達 1cm 以內，應可以靜態測量做為檢驗 RTK 測量成果精度之依據。
- (二) RTK 即時動態定位測量技術已經廣泛研究及應用，惟受無線電通訊限制，移動站大多限於距主站 5km 範圍。
- (三) RTK 測量技術係利用通訊設備將主站觀測資料傳送到移動站，以消除移動站之電離層誤差。此作法基本上係假設一定範圍內，電離層條件是相似的，經以主站資料進行誤差改正後，可將系統誤差大部份消除掉，使測量成果達到 3-4 公分之精度。
- (四) 採用 GSM 通訊模組作為 RTK 之傳輸媒介時，通訊距離可大幅超過 5km 之限制，理論上距離愈遠，電離層狀態差異愈大，RTK 定位解算精度應愈差。另也因電離層狀態差異隨距離變大，移動站初始化(Initial)解算所需時間是否也隨之增長，甚至到某個距離會導致無法收斂。

第二章 GPS 衛星測量理論

第一節 RTK 即時動態測量與架構

近年來由於 GPS 有著驚人的快速發展，此技術已使得全球各地都可享用快速而精確的定位服務。GPS 即時動態(Real Time Kinematic, RTK)定位測量技術是一種快速的測量方式，不僅作業效率高、產量大，可以省下靜態測量所需的內業計算時間，更重要的是可以達到公分級的精度，已普遍應用於工程測量、地籍測量、地理資訊系統建置等領域。但是 RTK 實際長距離(10km 以上)作業時，受對流層、電離層之影響，造成原始數據(raw data)含有系統誤差，及無線電通訊作業上之困擾，無法達到更廣泛便利的動態定位。

隨著 GPS 技術的進步，人們對高精度且快速的定位技術之需求日增，即時動態定位技術 RTK (Real time kinematic) 已被廣泛地應用，目前傳統單一參考站 RTK 在短基線時 (6-10km) 可以達到公分級之精度，且在一般情況下可在數筆觀測資料內成功求解 (楊名, 1997)，和其他測量方式比較起來，RTK 的優點具有施測迅速、無須後處理的計算作業，具有高精度之即時定位效能，且其在細部測量作業、地形測量以及界址測量等都有著很大的應用 (曾清涼、儲慶美, 1999)。

這種測量方法的關鍵是求解起始的整周模糊度即初始化，並能始終保持。因此 RTK 測量除要求有足夠數量的衛星和衛星具有較好的幾何分佈外，還要求基準站與流動站間的資料通訊必須良好。

RTK 技術在應用中遇到的最大問題就是參考站校正資料的有效作用距離。GPS 誤差的空間相關性隨參考站和移動站距離的增加

而逐漸失去線性，因此在較長距離下，經過差分處理後的用戶資料仍然含有很大的觀測誤差，從而導致定位精度的降低和無法解算載波相位的整周模糊。所以，為了保證得到滿意的定位精度，傳統的單機 RTK 的作業距離都非常有限。

RTK 常見的通訊設備為無線電，無線電有其便利性，但也易受無線電之功率及地形限制，而降低其定位效率，台灣地區隨著 GSM 基地台數量的增加，使得台灣各地區 GSM 訊號覆蓋面積大大提升，本研究即採用 GSM 模組之 RTK，將參考站之改正訊息透過 GSM 傳送至任何 GSM 訊號可以通訊的地方，克服傳統無線電傳輸之限制，以探討中長距離之 RTK 作業之精度。

第二節 RTK 系統架構與硬體設備

即時動態測量 (Real Time Kinematic, 簡稱 RTK) 是採用差分定位概念, 利用參考站與移動站之間觀測量中系統誤差的空間高相關性, 透過通訊設備, 將參考站的載波相位觀測資料以及改正資料即時傳送到移動站, 以差分方法消去大部分的共同性誤差, 並以週波未定值搜尋法 (On the fly, 簡稱 OTF) 快速解算週波未定值, 即時求解出移動站坐標的技術。不同的演算法則將導致不同的相位未定值求解速度; 同時, 不同演算法則對於相位未定值估值的檢核條件、可靠度標準亦相異。

GSM-RTK 系統即以 GSM Modem 取代傳統的 Radio Modem 無線數據傳輸設備, 藉以改善傳統 Radio Modem 傳輸距離之限制, 以延伸 RTK 作業範圍, 其系統架構如圖 2-1。

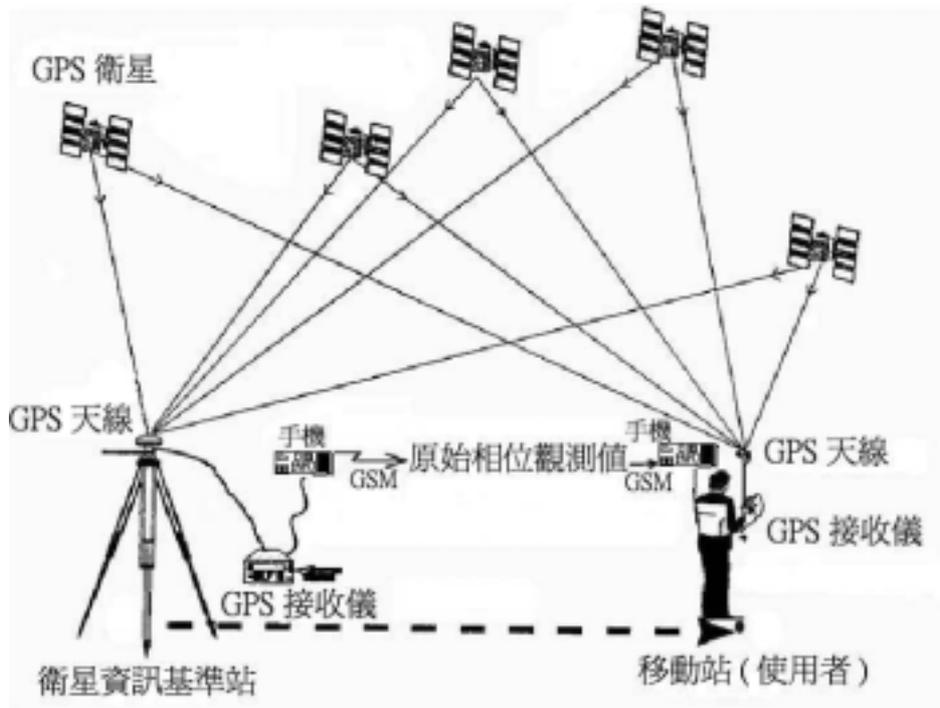


圖 2-1 RTK 結合 GSM 系統圖 (葉大綱, 2002)

第二章 GPS 衛星測量理論

主要設備包括雙頻 GPS 接收器、GSM modem、電池等。測試所採用的接收儀為本局於 93 年購入之 TOPCON GB-1000 接收儀及 PG-A1 天線，GSM modem 則以具有 900MHz、1800MHz 雙頻之功能的 WMOD2B 作為數據之接收與傳輸，並向中華電信申請數據傳輸服務，將參考站改正訊息傳送至移動站，接收儀及天線盤之規格明細如表 2-1、表 2-2，外觀如圖 2-2、2-3 所示。

主站將 GPS 接收儀觀測所得之觀測量（每 1 秒鐘接收一筆觀測資料），經由 GSM 模組設備，將觀測量訊號傳送出去，而移動站不論在何處只要能透過 GSM 通訊收到主站之廣播訊號即可進行即時定位解算。



圖 2-2 GB1000 接收儀
及 PG-A1 天線外觀



圖 2-3 GSM Modem 外觀

表 2-1 GB1000 接收儀規格

追蹤通道	40 L1 GPS (20 GPS L1+L2 on Cinderella* days)
追蹤的信號	20 GPS L1+L2, GLONASS L1/L2, C/A, P-Code, Full Cycle Carrier
測量模式	Static/Rapid Static, RTK Kinematic (Continuous mode and Stop & Go Mode)
性能指標	Static/Rapid Static Horizontal: 3mm+ 0.5ppm Vertical: 5mm+ 0.5ppm RTK Kinematic Horizontal: 10mm+ 1.0ppm Vertical: 15mm+ 1.0ppm
RTK 週波未定值初始 化方法 通訊格式 多重主站 RTK	OTF CMR+, CMR, RTCM 2.3, TPS Supported

表 2-2 PG-A1 規格

頻率	雙頻 GPS+GLONASS
相位中心	高精度微相位中心
類型	採用平面地網的微帶天線
重量	492g
尺寸	141.6mm x 141.6mm x 52.7mm
是否防水	是
防震	可垂直 2m 高度跌落

第三節 GSM 系統之簡介

所謂的 GSM (Global System for Moblie Communications) 就是我們俗稱的數位大哥大，是由歐洲電信標準協會 (European Telecommunications Standard Institute, ETSI) 所制定的一種無線數位網路標準，目的在提供共通的服務給歐洲所有 GSM 使用者，所以又稱為泛歐式數位行動電話系統，它是目前全世界最廣為使用的行動通訊系統。我國所使用的頻率為 890-960 MHz (900 MHz) 與 1,710-1,880 MHz (1800 MHz) 兩個區段。前者常稱為 GSM 900，後者則稱為 GSM 1800。

GSM 為行動通訊發展中第二代數位系統代表，屬於分時多工存取 (TDMA) 系統，採蜂巢式細胞概念來建構其通訊系統，提供無線語音與數據服務。蜂巢式細胞概念主要訴求在於，以多個小功率發射機的基地台，取代一個高功率發射機的基地台 (base station)。GSM 系統中，每一小覆蓋面積的基地台都配置部分頻譜，且鄰近基地台所配置的頻譜均不相同以避免同頻干擾 (資料來源為中華電信網站)。

本實驗採用中華電信系統，其行動數據或行動傳真，免收設定費。通信費及月租費收費標準詳如表 2-3 及表 2-4。

表 2-3 中華電信行動數據月租費

項目		價目
月租費	行動數據	免收（不另配行動數據門號）
		50 元（使用行動數據專用門號）
	行動傳真	50 元
通信費	發信	依「數位式行動電話通信費」計費
	受信	免費
	國際漫遊	依「數位式行動電話國際漫遊通信費」計費

表 2-4 中華電信數位式行動電話通信費

		中華 GSM							
		月租費	通信費(元/秒)						
			網外_撥他網業者		網內_撥中華 GSM			優惠網_撥中華 3G	
			一般時段	減價時段	一般時段	減價時段	深夜時段	一般時段	減價時段
經濟型		200	0.15	0.08	0.08	0.04	0.01	0.08	0.04
基本型		600	0.1	0.05	0.05	0.03	0.01	0.05	0.03
emome 摩登 399(另贈送多		399	0.15		0.04			0.04	
emome 摩登 599(另贈送多		599	0.15		0.04			0.04	
月租可抵通信費	88 型	88	0.165		0.1		0.01	0.1	
	188 型	188	0.16		0.08		0.01	0.08	
	288 型	288	0.15		0.08		0.01	0.08	
	588 型	588	0.125		0.07	0.05	0.01	0.07	0.05
	988 型	988	0.115		0.06	0.04	0.01	0.06	0.04
	1688 型	1688	0.105		0.05	0.03	0.01	0.05	0.03
	超值 128 型	88(可抵通信費 128 元)	0.18		23:00~05:00 0.01 其他時段 0.1			23:00~05:00 0.01 其他時段 0.1	

第四節 RTK 即時動態測量解算原理--OTF 解算法

ON-THE-FLY 的意義原是 GPS 接收儀可在持續移動的狀態下求解週波未定值，甚至在高動態環境的載具上都能適用，這種演算方式大大增進了動態測量的彈性，使得 OTF 幾乎成為快速求解相位未定值的代名詞。以下將 OTF 解算的步驟簡敘如下：

(一) 搜尋起始值

OTF 相位未定值解法是以整數搜尋的觀念為基礎，因為在載波相位二次差觀測方程式中，假設已消去時錶誤差、電離層延遲等，二次差相位未定值應為整數。

GPS 衛星相對定位中，當觀測 n 顆衛星時，可得到 $n-1$ 個線性獨立（但數學上相關）的二次差觀測量。但實際上只需要由四顆衛星構成獨立的三個二次差觀測量，就可以唯一解得移動站的位置；所以我們可以將所有觀測的衛星分成兩組，即四顆主要衛星和其餘的次要衛星（Hatch, 1990）。主要衛星用來決定搜尋空間，而次要衛星則可以檢核由主要衛星定義出的所有空間候選點。

首先選取四顆主要衛星組成 C/A 電碼、L1、L2 的三組二次差觀測方程式（以矩陣型態表示）：

$$\begin{bmatrix} \rho_i \\ \phi_1 \lambda_1 \\ \phi_2 \lambda_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & \lambda_1 & 0 \\ 1 & 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_i \\ N_{1i} \\ N_{2i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{\rho i} \\ \varepsilon_{\phi 1i} \\ \varepsilon_{\phi 2i} \end{bmatrix} \quad i=1, 2, 3 \quad (1)$$

其中

i ：代表三組主要衛星所組成的二次差下標

ρ ：C/A 電碼二次差虛擬距離觀測量

R ：衛星至測站二次差空間幾何距離

ϕ_1 、 ϕ_2 ：L1 與 L2 的二次差載波相位觀測量

λ_1 、 λ_2 : L1 與 L2 的波長

N_1 、 N_2 : L1 與 L2 的二次差相位未定值

ε : 各觀測量的雜訊

此矩陣式恰可求解三組未知數 R 、 N_1 、 N_2 。因為參與了虛擬距離觀測量，二次差相位未定值的精度與 C/A 電碼的精度息息相關。將 ρ 、 ϕ_1 、 ϕ_2 組成寬巷 (widelane: $N_1 - N_2$) 與無幾何距之觀測量組合，並得到寬巷未定值 $K1$ 與無幾何距

(geometry-free: $60N_1 - 77N_2$) 相位未定值 $K2$ 之濾波估值：

$$N_1 - N_2 = K1 + \varepsilon_{K1}$$

$$60N_1 - 77N_2 = K2 + \varepsilon_{K2}$$

忽略雜訊項 ε_{K1} 、 ε_{K2} 並取 $K1$ 、 $K2$ 為整數值，可得 N_1 、 N_2 的估值為：

$$\hat{N}_2 = \frac{60K1 - K2}{17}$$

$$\hat{N}_1 = \hat{N}_2 + K1$$

若 $K1$ 、 $K2$ 可精確解得，表示亦可解出唯一一組 N_1 、 N_2

(二) 候選週波未定值組合與搜尋範圍

由前面計算之寬巷相位未定值 $K1$ 與無幾何具相位未定值 $K2$ 之濾波估值，視為相位未定值的搜尋中心，而搜尋的範圍需視起始值求解的精度而定，若取為 $\pm k$ ，則候選點共有 $(2k+1)^3$ 個。 $K1$ 、 $K2$ 的搜尋範圍 k_1 、 k_2 界定如下：

$$\pm k_1 = \pm(3 \times SD_{K1})$$

$$\pm k_2 = \pm(3 \times SD_{K2})$$

SD : standard deviation

取 3 倍中誤差的範圍之用意在於滿足統計上約 99% 的信心區間。將這些在週波未定值空間的組合，按照 (1) 式反算幾何距離 R ，而 R 是 (dx, dy, dz) 的函數，因此將所有週波未定值組合計算的 (dx, dy, dz) 在三維座標系內展開即形成眾多之候選點。

(三) 決定正確相位未定值組合

所有空間中散佈的候選點位，引入扣除主要衛星後所剩餘的次要衛星 (secondary satellites) 觀測量加以檢核，當鎖定的衛星越多，表示有越多的次要衛星觀測量可協助這樣的檢核工作，因此分辨正確解的能力也就越強。檢核的基礎在於最小二乘法平差法的觀念，若該點為正確解，則剩餘的次要衛星觀測量會與正確解的主要衛星觀測量達成一致性，使得所有觀測量 (載波相位) 的改正數平方和為最小，因為主要衛星觀測量所決定的搜尋起始值恰為可解的情形，所以多於觀測便是所有的次要衛星觀測量。

所有候選點相應的相位未定值都是固定的，以次要衛星觀測量檢驗如下：

$$V_{ij} = \phi_{ij} - \left(N_{ij} + \frac{R_{ij}}{\lambda_i} \right) \quad i=4 \sim k-1 \quad j=1 \sim \text{候選點總數}$$

其中 V 為觀測量的改正數

i ：代表次要衛星所組成的二次差下標

k ：衛星總數

如此可利用次要衛星觀測量對每一候選點加以檢驗，若是正確解當滿足：

$$[V^T PV] = \text{Min}([V_j^T PV_j]) \quad j=1 \sim \text{候選點數}$$

其中 P 為權矩陣

為了確定 $[V_j^T PV_j]$ 最小的點與其他點在統計上的差異性，透過比率測試 (ratio test) 的方式作為判斷真解的標準：

$$\sigma_j^2 = \sum_m \left(\frac{[V_{ij}^T PV_{ij}]}{n-3} \right) \quad j=1 \sim \text{候選點總數}$$

其中：

n 為各時刻相位觀測量總數， $[n-3]$ 為自由度，m 為 epoch 數。因為每一時刻有三個坐標分量未知數待解，自由度均須減 3。取最小值與次小值分別為 $\sigma_{smallest}^2$ 與 $\sigma_{2ndsmallest}^2$ ，進行假說測試 (hypothesis test)：

零假說 (null hypothesis) ----- $H_0 : \sigma_{smallest}^2 \neq \sigma_{2ndsmallest}^2$

變通假說 (alternative hypothesis) $H_1 : \sigma_{smallest}^2 = \sigma_{2ndsmallest}^2$

$$\text{ratio} = \frac{\sigma_{2ndsmallest}^2}{\sigma_{smallest}^2}$$

當 $\text{ratio} > 3$ 接受零假說 H_0

當 $\text{ratio} \leq 3$ 拒絕零假說 H_0 ，接受變通假說 H_1

其中臨界值 3 為一經驗值。

當零假說成立時，說明 $\sigma_{smallest}^2$ 顯著地比其他解為小，可接受為真解。表示利用假說測試可使真解具有統計意義，可增加求解的正確性。若無法在該時刻找出顯著的最小值，則需累計下一時刻觀測量的改正數平方和做判斷。

當正確的相位未定值組合確定後，其他剩餘的 $n-1$ 個次要衛星二次差相位未定值可依主要衛星所固定的候選點位置計算，當所有衛星的相位未定值都解出後再以最小二乘平差（所有衛星觀測）計算測站的三個座標分量。若有某顆衛星發生週波脫落，則尤其他衛星二次差相位未定值所決定的位置可協助其重新計算相位未定值；當已知的相位未定值小於三個，則無法持續定位，系統需重新啟動求解新的相位未定值組合。

以上為合理性測試，合理性測試的主要目的是要判斷變方因子次小與最小兩者的合理性，也就是說除了比率測試分辨出兩者的差異之外，還要進一步作各別的檢核，認為變方因子次小的解的精度應該不符合先驗的觀測精度，換言之要其變方因子必須大於先驗精度才合理。相對的，正確的解是要符合先驗的精度要求，所以變方因子要小於或等於先驗精度。因此在這樣的前提之下建立了合理性測試的條件(一)(二)。只要分別通過判斷標準(2)、(3)兩式，則接收零假說，在測試中 $\alpha=0.8$ 是自行根據經驗給定。

合理性測試條件(一)：

假說建立：

$$H_0 : \hat{\sigma}_{02}^2 > \sigma_0^2 \quad H_a : \hat{\sigma}_{02}^2 \leq \sigma_0^2$$

判斷標準：

$$x_{j=2}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (v^T p v)_{2nd \text{ smallest}}}{\sigma_0^2} > x_{1-\alpha}^2 (n - u) \quad (2)$$

$$\hat{\sigma}_{02}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (v^T p v)_{2nd\ smallest}}{n - u} \quad (i \text{ 為 epoch 數})$$

$$\sigma_0 \approx \pm 0.01 \sim \pm 0.02 \text{ cycles}$$

$$\sum_{i=1}^n (v^T p v)_{2nd\ smallest} \text{ 為相位觀測量改正數次小之平方和}$$

$$x_{1-\alpha}^2 (n - u) \text{ 之自由度為 } n - u, \alpha = 0.8 \text{ 之 } x^2 \text{ 測試值}$$

合理性測試條件(二)：

假說建立：

$$H_0 : \hat{\sigma}_{01}^2 \leq \sigma_0^2$$

$$H_a : \hat{\sigma}_{01}^2 > \sigma_0^2$$

判斷標準：

$$x_{j=1}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (v^T p v)_{smallest}}{\sigma_0^2} \leq x_{1-\alpha}^2 (n - u), \quad (3)$$

$$\hat{\sigma}_{01}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (v^T p v)_{smallest}}{n - u} \quad (i \text{ 為 epoch 數})$$

$$\sigma_0 \approx \pm 0.01 \sim \pm 0.02 \text{ cycles}$$

$$\sum_{i=1}^n (v^T p v)_{smallest} \text{ 為相位觀測量改正數最小之平方和}$$

$$x_{1-\alpha}^2 (n - u) \text{ 之自由度為 } n - u, \alpha = 0.8 \text{ 之 } x^2 \text{ 測試值}$$

經過如此的統計測試，所求得的解才具有可靠度。

OTF 相位未定值解法能否迅速且精確的求解週波未定值，成為成果好壞的重要因素。此外，尚有基線的長短、衛星數量、衛星的幾何結構、較低的多路徑效應、以及其他為建立的誤差模式（電離層與對流層延遲），另外必須具有雙頻的載波相位觀測量，而且不能有過多的週波脫落（cycle slip）發生。

第五節 RTK 定位限制與誤差

RTK 定位的誤差來源，一般可區分為與儀器和干擾有關及與距離有關之誤差等兩大類，對固定參考站而言，與儀器和干擾有關的誤差可通過各種校正方法予以削弱，與距離有關的誤差將隨移動站至參考站的距離的增加而加大，所以 RTK 的有效作業半徑是非常有限的。

（一）與儀器有關之誤差

包括天線相位中心變化、多路徑誤差、信號干擾和氣象因素。

1. 天線相位中心變化：

天線相位中心是指測量無線電訊號所相對應之一點，理論上天線的電子相位中心必須與天線的機械幾何中心保持一致，實際上，電子相位中心是變化的，它取決於接收信號的頻率、方位角和高度角，致使天線的機械中心和電子相位中心一般不重合。相位中心對高程之影響可從數公釐到數公分（徐博賢，1998），若不能消除此誤差則會對對流層之參數估計錯誤。天線相位中心的變化，可使點位座標的誤差一般達到 3-5cm。因此，若要提高 RTK 定位精度，必須進行天線檢驗校正，檢驗方法分為實驗室內的絕對檢驗法和野外檢驗法。天線的機械中心和電子相位中心一般不重合。而且電子相位中心是變化的，它取決於接收信號的頻率、方位角和高度角。

2. 多路徑誤差：

所謂多路徑效應，是指測站在環境不佳的情況下，接收儀天

線除了直接接收衛星訊號外，亦可能接收到由測站週遭地物反射的訊號，使得直接接收的訊號與反射後接收的訊號到達的時間不一致，造成相位中心偏移的情況（郭隆晨，1991）。多路徑誤差是 RTK 定位測量中最嚴重的誤差。多徑誤差取決於天線周圍的環境。多路徑誤差一般為幾公分，高反射環境下可超過 10cm。多路徑誤差可通過下列措施予以削弱：A、選擇地形開闊、不具反射面的點位。B、採用扼流圈天線。C、採用具有削弱多路徑誤差的各種技術的天線。D、基地站附近輔設吸收電波的材料。

3. 信號干擾

信號干擾可能有多種原因，如無線電發射源、雷達裝置、高壓線等，干擾的強度取決於頻率、發射台功率和至干擾源的距離。為了削弱電磁波幅射副作用，必須在選點時遠離這些干擾源，離無線電發射台應超過 200m，離高壓線應超過 50m。在基地站削弱天線電雜訊最有效的方法是連續監測所有可見衛星的周跳和信噪比。

4. 氣象因素

快速運動中的氣象峰面，可能導致觀測座標的變化達到 10~20cm。因此，在天氣急劇變化時不宜進行 RTK 測量。

5. 衛星時錶的誤差及接收儀的鐘錶誤差

衛星上使用的原子鐘和理想的 GPS 時之間仍有 1ms 以內的誤差，其所引起的衛星到接收儀距離的誤差約為 300km。經過鐘錶差的模式改正後，各衛星鐘錶間的不同步誤差可以維持 20ns 以內，由此所引起的衛星到接收儀距離的誤差約為 6m。在相對定位測量中透過差分方法加以消除。另外 GPS 接收儀石英鐘若其與衛星之間的不同步誤差為 $1\mu\text{s}$ ，則可引起接收儀到衛星間的距離誤差約 300m。一般處理接收儀的鐘錶誤差的方式是視其為待定參數於平差時一併求解，也可以差分觀測的方法消除其影響。

6. 天線定心、定平誤差、儀器高量測誤差。

(二)與距離有關之誤差

包括軌道誤差、電離層誤差和對流層誤差。同距離有關的誤差的主要部分可通過多基準站技術來消除。但是，其殘餘部分也隨著至基地站距離的增加而加大。

1. 衛星軌道誤差

衛星在運行中，會受到引力作用或其他擾動力的影響，使得星曆所廣播的位置與衛星實際位置產生差距，即為軌道誤差。由於軌道誤差是最為直接影響定位精度的因素，若假設衛星高度最高為 25000 km，而基線誤差最大為 1 cm，則當基線長為 5 km 時，衛星軌道誤差最大則為 50 m，而一般使用者所用的廣播星曆，其誤差位置大約在 20 m ~ 40 m (周忠謨、易杰軍，1997)。

2. 電離層誤差

電離層大約介在大氣層 50 - 1000km 間的範圍 (Leick, 1995)，受到太陽輻射的影響，使得此範圍中的氣體被分解成電子與離子。由於性質不穩定，當衛星的電磁波訊號通過這個範圍時，會使得傳送路徑產生彎曲並且改變訊號的傳送速度，造成測距的誤差。電離層的影響則與電磁波頻率和路徑上電離層電子含量有關，電離層的電子密度隨太陽黑子活動狀況、地理位置、季節變化、晝夜不同而變化，白天為夜間的 5 倍，冬季為夏季的 5 倍，太陽黑子活動最強時為最弱時的 4 倍。利用下列方法使電離層誤差得到有效的消除和削弱：利用雙頻接收機將 L1 和 L2 的觀測值進行線性組合來消除電離層的影響；利用兩個以上觀測站同步觀測量求差 (短基線)；利用電離層模型加以改正。實際上 RTK 技術一般都考慮了上述因素和辦法。但在太陽黑子爆發期內，不但 RTK 測量無法進行，即使靜態 GPS 測量也會受到嚴重影響，太陽黑子平靜期，小於 5ppm。

3. 對流層誤差

對流層是距離地表大約 10 km 的大氣範圍，由於對流層對於頻率低於 30 GHz 的電磁波，是一種具有非擴散性

(non-dispersive) 的介質，而 GPS 的兩個載波的頻率都低於 30 GHz，所以他對電磁波的影響並非和電磁波頻率有關 (Leick, 1995)。對流層誤差同點間距離和點間高差密切相關，一般可達 3ppm。對流層由於距地表較近，因此對流層的大氣密度遠大於電離層的大氣密度，起大氣狀態則回隨著氣候改變，所以對流層產生的訊號折射也比電離層複雜。對流層折射的影響，一般分為乾分量和濕分量兩部分。乾分量和氣壓與壓力有關，而濕分量則是和訊號路徑上的大氣溼度與高度有關 (周忠謨、易杰軍, 1997)。對於對流層延遲的誤差，可使用對流層延遲模式來加以改正，或使用差分的方式將對流層延遲誤差予以消除，而衛星的高度角亦會影響其測距，因此衛星之觀測角度應避免採用低角度 (<15 度)。

第三章 研究方法與過程

第一節 實驗設計

本研究主要目的在探討採用 GSM 模組於中長距離 RTK 定位測量之效能。目標是經由實際測試之實驗，分析移動站與主站之距離對定位精度的影響、了解 RTK 測量可達正確求解之距離極限、電離層效應對 RTK 解算成功與否的影響…等。為達上開研究目的，本研究依據以下原則進行實驗之規劃設計：

- (一)為評估 RTK 所得點位坐標的正確性，全部實驗點位以靜態測量成果視為正確坐標，RTK 坐標是否正確，以和靜態測量坐標比對為準。故所有點位必須另外進行靜態測量，並以最小約制在實驗區的主站點位之成果為準。
- (二)移動站與主站距離越長，電離層情況就越不相同。本實驗將以局本部頂樓 LSBC 為主站，移動站則選擇涵蓋與主站不同距離之點位，實驗時將測試不同距離下能否順利解算(收斂)，以及分析距離對定位精度的影響。
- (三)由於電離層效應影響 RTK 測量甚鉅，為了解電離層效應變化對中長距離 RTK 解算成功率與成果精度之影響，選擇適當點位進行不同時段觀測(早上 8 點至下午 4 點每小時觀測 1 次)，分析其結果。
- (四)RTK 觀測是採用 OTF(on-the-fly)模式解算，是將主站與移動站兩點間的誤差視為相同，但隨著兩點間距離拉長，兩站上空各自的電離層、對流層不盡相同，就會造成解算誤差，以致無法正確求解週波未定值，所以本實驗預計選取 35km 以上的點位進行測試。

為方便分析以上實驗之數據，訂定作業規範如下：

- (一)RTK 測量能否收斂(FIXED 解)的門檻訂為 5 分鐘，若移動站與主站透過 GSM 連線成功，經 5 分鐘仍無法得到 FIXED 解，視為解算失敗。
- (二)每次在一個點位觀測以 3 測回為原則，惟其中若有部份解算成功，部份失敗，則儘量增加測試，使成功次數達到 3 次為原則，以利作精度方面之分析。
- (三)RTK 觀測外業紀錄應包括觀測時間、GSM modem 撥接時間、解算收斂時間、GPS 衛星數量、GLONSS 衛星數量、初始化衛星數目、PDOP 值及點位坐標等項目。

第二節 測試區選取

實驗區的選擇考量下列因素：

(一)以中部地區控制點監測作業點位優先

中部地區控制點監測作業點位分布於苗栗台中南投彰化雲林等地區，本局辦公室約略位居中心偏西，點位與本局距離最遠達約 50km，點位區位與距離分布均與本實驗測試所需相當符合，是很理想的優選點位，且該監測作業於 93 年 12 月剛完成觀測，各點位均已有精確坐標，可提供進行 RTK 觀測時(未辦本研究之靜態觀測前)，先行判斷判斷 RTK 解算結果的正確性。

(二)以本局樓頂上之固定點位 LSBC 為主站

主站必須是對空通視良好的已知坐標的控制點，以及考量本實驗作業的便利性，以本局八樓樓頂上之固定點位 LSBC 為主站(主站架設如圖 3-1)，該點位之坐標以 93 年 12 月辦理中部控制點監測所得成果為準。

(三)點位以各方向均勻分佈為原則

考量避免某些因素影響單一方位的偏差，所選點位以主站之

東西南北各方位均勻分佈為原則。

(四)各點位與主站應有不同之距離組合

為分析移動站與主站距離對觀測結果之影響，所選點位與局本部距離應包含約 5km、10km、15km、20km、25km、30km…等各種距離，以利分析距離對定位精度的影響，以及測試 RTK 作業可達之距離限制。

(五)控制點分布範圍，以最遠達 50km 為目標

參考儀器型錄，RTK 最大能力達 40~50km，為了解實際上是否真能達到的那樣的能力，本實驗以能測試到 50km 為目標。惟若測試結果不盡理想，則希望能了解所在環境下能達到的最遠距離。

第三節 外業辦理情形

(一)點位選取

經取得中部地區控制點監測作業展點圖，並以局本部 LSBC 點位為中心，套繪 5km、10km、15km…60km 同心圓，以初步規劃選擇測試點位，經初步選取之點位，再蒐集點之記以及聯繫監測作業之施測人員，詢問到達點位路徑，作為規劃 RTK 測試時之作業動線，最後決定選擇 M918 員林交流道(25K)、M808 大里地政事務所(7K)、AF09 華龍國小(17K)、AF19 彰化公墓(11K)、AF26 大雅國小(8K)、AF24 峰谷國小(16K)、G103 豐原體育場(14K)等點，惟就所選點位分布發現，測試範圍西北邊較缺乏點位，控制點監測點位亦無適當可用者，遂再行選設 GSM1 沙鹿(11K)、GSM2 彰濱區入口(18K)、GSM3 堤防旁(21K)三點，一併納入測試，該三個點位除補實西北邊點位不足外，另一便利是有助於後續規劃有關與電離層效應影響分析之長時間作業。點位分布圖如圖 3-1。

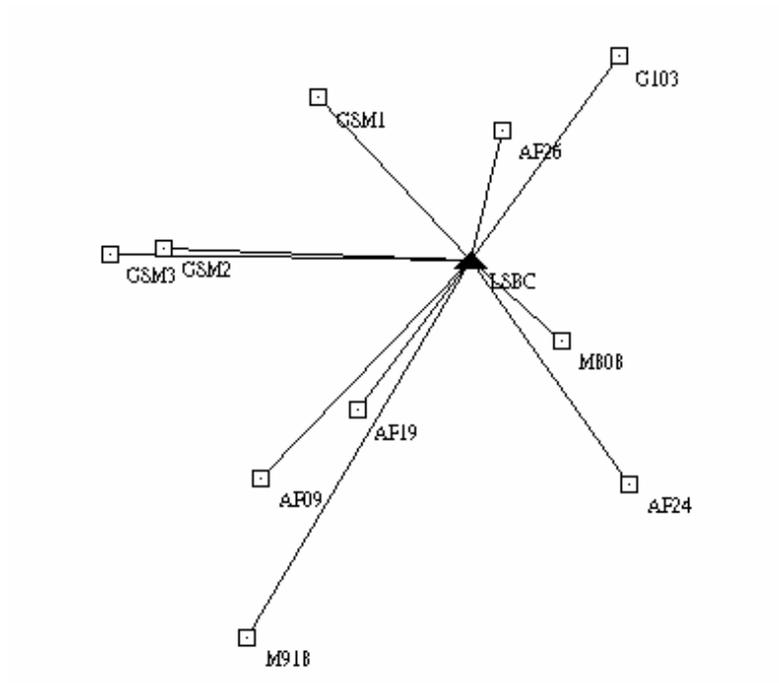


圖 3-1 點位分布圖

(二)實際作業情形

本研究主站及移動站均採用 TOPCON GB-1000 接收儀、PG-A1 天線，主站天線架設及移動站標桿天線組合如圖 3-2 及圖 3-3，以 GPS RTK 動態衛星定位及 GSM 搭配使用，GSM modem 則以具有 900MHz、1800MHz 雙頻之功能的 WMOD2B 作為數據之接收與傳輸，並向中華電信申請數據傳輸服務，將主站改正訊息傳送至移動站。



圖 3-2 主站天線照片



圖 3-3 移動站外業照片

RTK 觀測試驗時，移動站儀器上之相關設定如下：水平精度、垂直精度之參數設定為 $HRMS=0.015m$ 、 $VRMS=0.030m$ ，位置解僅記錄固定解，亦即水平及垂直精度皆需為所設定的參數值之內，超過 5 分鐘無法收斂即視為失敗，並以重新啟動系統之重新收斂的方法來做檢核，每次觀測採 3 測回為原則，每測回連續收集符合規定之 30 筆坐標取平均為最後成果。

考慮基線長度、衛星顆數及大氣層因素對於 RTK 成功率與可靠度的影響，各次試驗規劃不同時段，來進行 RTK 野外觀測。外業紀錄觀測時間、GSM modem 撥接時間、系統收斂時間、GPS 衛星數量、GLONSS 衛星數量、初始化衛星數目、PDOP 值及點位坐標等

項目。

經選取點位後，實際測試日期於 3/4、3/24、4/28、5/25、7/1、7/5、7/21、8/31 等 8 日辦理，其中 7/21 為實驗設計(一)而進行靜態測量，其他日期皆為實驗設計(二)進行不同方位及不同距離而所做 RTK 測試，在 5/25 同時也為實驗設計(三)辦理 8 個小時內每 1 小時觀測 1 次以分析電離層之影響的測試，8/31 則為實驗設計(四)選擇 40km 之長距離測試。每個測試日的測試點位及目的略述如下：

3 月 4 日之測試為本研究第一次測試，先以距離本局最近之點位開始測試，即選擇 AF26 大雅國小(8K)為第一點，撥接時間花費了 70 秒(比一般手機撥通電話還久)，不過很順利的 FIXED 即初始化成功，很快的記錄下所得到的成果。測試完大雅國小後隨即到 G103 豐原體育場(14K)，因衛星顆數鎖定得不夠多，所以一直呈現 FLOAT 狀態，即初始化無法成功，連續測試多次之後只好放棄，下午繼續往 AF19 彰化公墓(11K)及 M918 員林交流道(25K)測試，結果亦同樣呈現 FLOAT 狀態許久，所以 3 月 4 日只有 1 個點位測得坐標，其紀錄如附表 1。

3 月 24 日測試之前，依據 3 月 4 日之測試結果，原以為採 GSM 施測 RTK 測量的臨界距離位於 8K(大雅國小--FIXED)與 11K(彰化公墓--FLOAT)之間，所以決定再從 11K 距離往內縮來測試，然而 24 日早上 10 點多測試 AF19 彰化公墓 5 次皆順利的 FIXED，但之後測試的 3 個點位 AF09 華龍國小(17K)、M918 員林交流道(25K)、M093 斗南交流道(54K)皆無法 FIXED，其紀錄如附表 2。

4 月 28 日，此次測試採不特定點位觀測，目的在測試 RTK 測量的臨界距離為何，故開車帶著移動站儀器於適當距離選點觀測，測試何種距離尚可 FIXED，何種距離已無法 FIXED，結果選擇的 3 處位置皆可 FIXED，隨即測定並給定點號為 GSM1(11K)、GSM2(18K)及 GSM3(21K)，其紀錄如附表 3。惟當日因大雨，未能測試更遠之距離。

5月25日之測試，因為4月28日施測21K時已可FIXED測得點位坐標，所以為了探討在GSM2(18K)及GSM3(21K)的距離在白天時間段，RTK是否有受電離層影響，何時可FIXED?何時FLOAT?故本日安排於此2點，從早上8點至下午4點每一個小時測試一次，結果GSM2(18K)全部時段均可FIXED，GSM3(21K)則只有下午1點時測試3次皆無法FIXED，其他時段測試皆FIXED，其紀錄如附表4。

7月1日之測試是根據觀測過21K點位的這樣距離亦能FIXED的成果後，針對當初所規劃的點位進行測試，把各方位、各距離的點位皆納入觀測，從早上8點至下午4點觀測M918員林交流道(25K)、AF24峰谷國小(16K)、M808大里所(7K)、G103豐原體育場(14K)、AF26大雅國小(8K)、AF19彰化公墓(11K)及AF09華龍國小(17K)等計7個點位，此7個點位皆可FIXED並測得坐標，所測點位記錄如附表5。

7月5日是將7月1日的點位再重新觀測，待觀測完華龍國小後續增加GSM2彰濱區入口(18K)及GSM3堤防旁(21K)等計9個點位，此9個點位皆可FIXED並測得坐標，其觀測記錄如附表6。

7月21日施測靜態測量，之前多日來已測試了許多點位，經於中部地區控制點監測的成果比對有些出入，由於不知是儀器不同還是坐標系統的問題，還有本實驗多增加了GSM1、GSM2及GSM3的點位，所以決定將測試的全部點位規劃進去，全面施測靜態測量，以作為分析RTK定位精度之依據。靜態測量所使用儀器除了點位LSBC以TOPCON GB-1000(天線盤PG-A1)觀測外，其他點位皆採LEICA SR530(天線盤AT502)辦理，此次觀測分3個時段，每時段觀測90分鐘，每5秒接收1筆。其時段表如表3-1。

表 3-1 觀測時段表

測段 1	GSM1 沙鹿	AF09 華龍國小	AF19 彰化墳墓	GSM3 彰濱 2	GSM2 彰濱 1	LSBC 局本部 (主站)
測段 2	M918 員林 交流道	AF09 華龍國小	AF19 彰化墳墓	M808 大里所	AF24 峰谷國小	LSBC 局本部 (主站)
測段 3	GSM1 沙鹿	AF26 大雅國小	G103 豐原 體育場	M808 大里所	AF17 黎明國中	LSBC 局本部 (主站)

8 月 31 日觀測，此日為竹塘重測區業務督導及成果檢查，順便辦理本研究而所作之測試。測試前先於圖上約略算得竹塘工作站距離局本部大樓 LSBC 點位為 40km，因此決定測試近 40km 的距離是否仍可 FIXED。點位選擇在竹塘工作站頂樓，命名為 GSM4，由於 7 月 21 日辦理靜態測量時，未將此點位納入觀測，於是測試完 RTK 之後，緊接著同步靜態觀測 LSBC 及 GSM4 兩點達 1 個小時，將此靜態觀測所得之坐標作為與 RTK 坐標比對之真值。在竹塘工作站頂樓所作之 RTK 觀測，共計測試了 6 個測回，結果第 1 及第 3 測回收斂成功(FIXED)，但第 2、4、5 及 6 測回則呈現 FLOAT 狀態，收斂成功所測得之坐標經與靜態坐標比對後，最大誤差為 5cm 以內。不過此日測試至少可得知 GSM-RTK 系統最遠之定位成功之點位 GSM4，距主站為 38966m，其記錄如附表 7。

第四節 資料處理流程

本研究中前述 7 月 21 日辦理之靜態測量作業觀測係採用 TRIMBLE 公司發行之計算軟體，因為觀測時所用為 TOPCON 公司 GB1000 型儀器及 LEICA 公司 SR530 型儀器，因此原始觀測量先進行標準交換格式(RINEX)之輸出處理，同時將天線高化算至垂高。

基線計算所用之軟體及相關參數設定分述如下：

- (一)採用 TRIMBLE GPSURVEY 2.35 版軟體，作業流程如圖 3-4 所示。
- (二)採用 IGS(INTERNATIONAL GPS SERVICE FOR GEODYNAMICS)提供之 IGR 精密星曆，在測後約 17 個小時上網取得。
- (三)基線解算以可消除大部分的電離層遲滯影響觀測量之 L3 固定整數解(IONO FREE FIXED)。
- (四)採用 GPSURVEY 2.35 版軟體內之 Hopfield 模式來改正對流層遲滯效應。
- (五)資料篩選臨界值(Edit multiplier 值)設定為 3.0，即是針對 GPS 觀測量的品質，當觀測量經過雜訊過濾，大於 3 倍中誤差時，將其視為雜訊予以剔除。
- (六)比率檢驗值(Ratio test 值)設定最小為 3.0。

基線處理係先各別計算 3 個時段的基線網，每個基線網皆以 15 條基線組成，再把 3 個基線網合併成一大網，逐一檢查每個重複基線分量(ΔX 、 ΔY 、 ΔZ)及閉合差分量(ΔX 、 ΔY 、 ΔZ)是否有大於 5cm 以上者，若有則予以刪除。

再來以最小約制平差法將點位 LSBC 固定來計算，此時可找出網形中尚存在有問題之觀測量，待剔除後重新平差，一直重複前述動作，直到查閱統計平差結果的網形參考因子接近於 1.00，再經基準選定、坐標系統選擇後，即可得出各點的坐標，並將此坐標視為真值作為 RTK 坐標比對的依據。

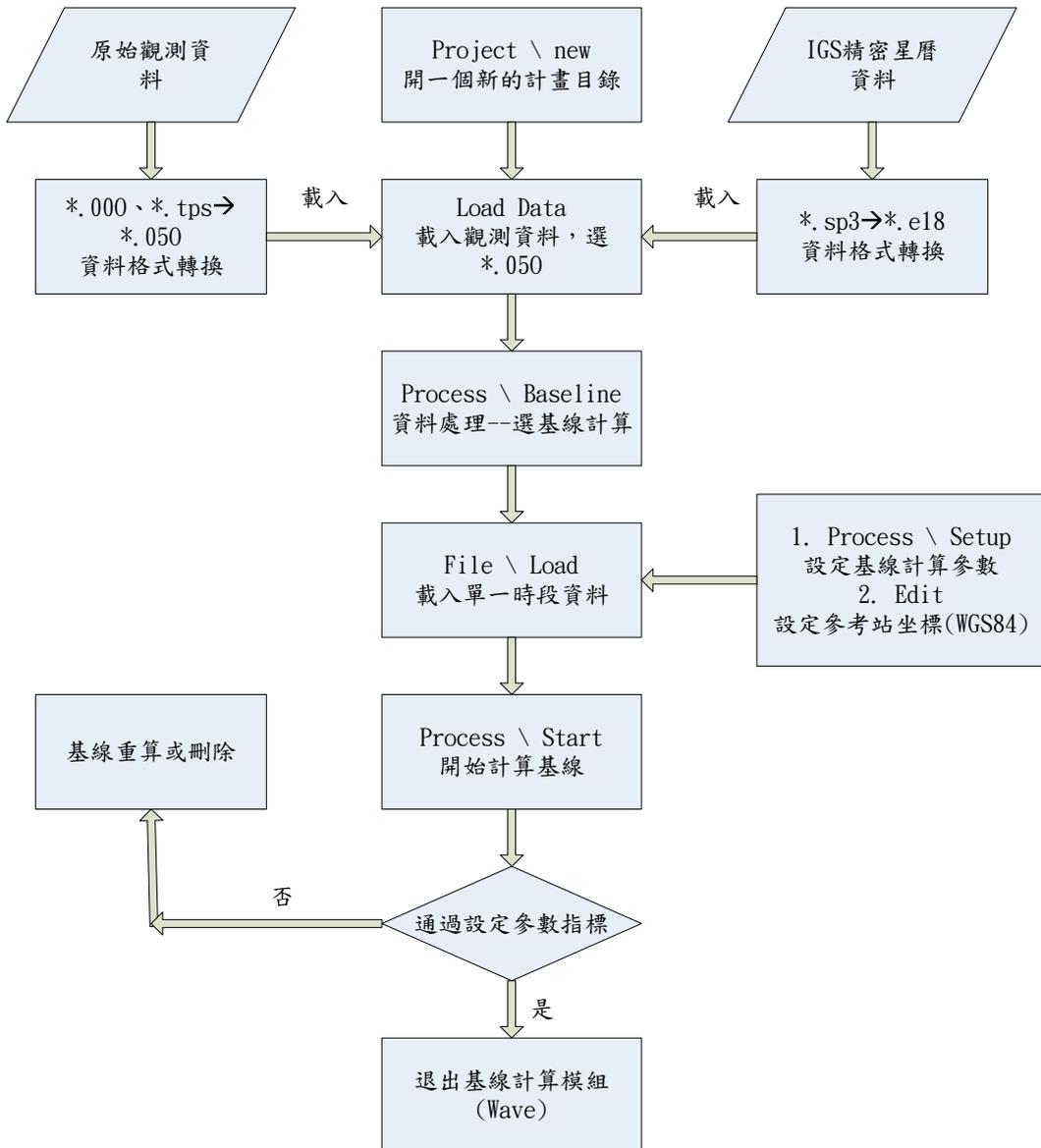


圖 3-4 GPSurvey 基線資料處理流程

第五節 成果分析

(一) 測試點位靜態觀測成果

主站的坐標精度直接影響移動站坐標的精度，為避免已公佈之點位坐標因網形張力造成實驗結果偏差，故吾人規劃於7月21日針對實驗有關之點位均重新施以GPS靜態觀測，每個時段觀測90分鐘，共3個時段，網形規劃圖如圖3-5，並固定LSBC作最小約制平差，點位坐標及中誤差如表3-2，由該表看看出N方向及E方向的點位中誤差均不超過3cm。

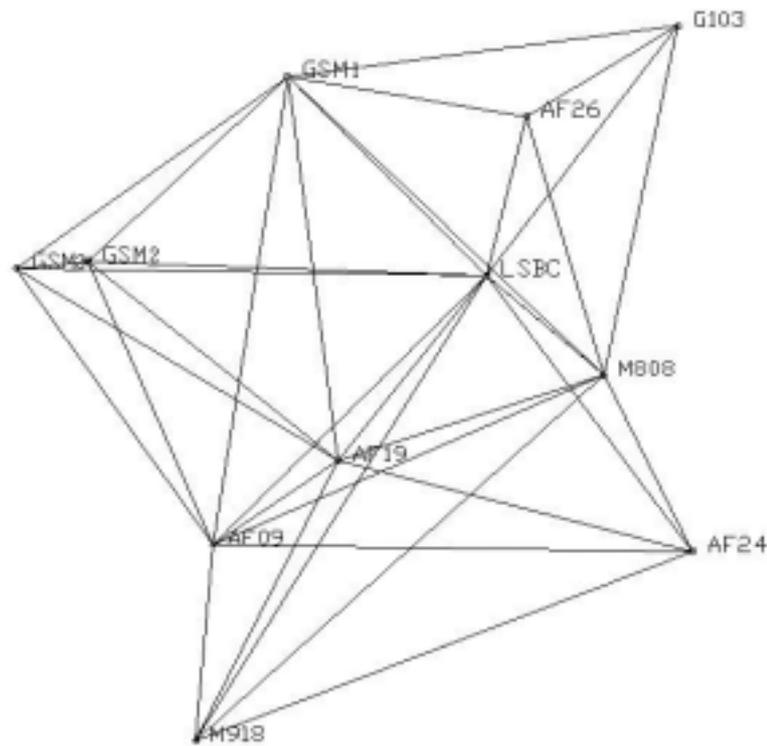


圖 3-5 GPS 靜態觀測網形圖

表 3-2 測試點位坐標及中誤差(靜態觀測結果)

點名	點號	坐標			中誤差		
		N	E	h	Std_N	Std_E	Std_h
土測局頂樓	LSBC	2672058.096	212829.463	121.596	0.0000	0.0000	0.0000
員林交流道	M918	2649916.479	199823.784	39.718	0.0024	0.0025	0.0106
峰谷國小	AF24	2658928.604	222031.921	161.506	0.0024	0.0025	0.0108
大里地政事務所	M808	2667304.380	218045.635	96.345	0.0019	0.0020	0.0089
豐原體育場	G103	2683907.785	221376.446	228.090	0.0027	0.0028	0.0135
大雅國小	AF26	2679620.313	214593.782	157.206	0.0027	0.0027	0.0138
彰化公墓	AF19	2663218.687	206176.635	126.343	0.0019	0.0019	0.0086
華龍國小	AF09	2659240.293	200596.523	31.611	0.0018	0.0019	0.0084
彰濱區入口	GSM2	2672715.180	194995.032	24.814	0.0024	0.0024	0.0117
彰濱堤防邊	GSM3	2672388.053	191831.707	26.181	0.0024	0.0024	0.0115
沙鹿	GSM1	2681524.004	203934.401	31.615	0.0019	0.0019	0.0086

(二)不同距離點位之坐標精度分析

特將上述 10 個點位依距離不同分成 4 組，A 組為 10km 以下，點位計有 M808 及 AF26 兩點，B 組為 11 至 15km，點位有 AF19、GSM1 及 G103 共 3 點，C 組為 16 至 20km，點位有 AF24、AF09 及 GSM2 共 3 點，D 組為 20km 以上，點位有 GSM3 及 M918 共 2 點，其 RTK 坐標成果與 7 月 21 日靜態解之較差資料整理如表 3-3，欄位 Range 表示該組內所有之坐標分量變化範圍，欄位 difference 表示 RTK 坐標與靜態坐標之差值取平均，欄位 Std_S、Std_h 分別表示 RTK 坐標之平面與高程中誤差，由表 3-3 可知，RTK 坐標與靜態解之差值及中誤差，隨著距離之增加逐漸加大，雖然平均差值 (Difference) 約在 5cm 內，不過也有點隨距離而加大的趨勢。另外中誤差及坐標變化範圍 (Range) 皆大於平均差值，表示定位離散程度大，準確度較低的情形，且此離散程度隨距離增加而變大。所以在距離愈遠處觀測，愈需考慮所測得坐標的準確性，有時測

得坐標和靜態解非常相近，但有時差距甚遠。

表 3-3 各組坐標變化範圍與靜態坐標差值比較表

	Range			Difference		Std_S	Std_h
	dN	dE	dh	dS	dh		
A	0.033	0.027	0.072	0.016	0.054	0.017	0.059
B	0.064	0.055	0.090	0.028	-0.012	0.030	0.030
C	0.039	0.080	0.185	0.034	0.034	0.038	0.056
D	0.080	0.065	0.205	0.042	0.042	0.044	0.069

Range：該組內所有之坐標分量變化範圍

Difference：RTK 坐標與靜態坐標之差值取平均

Std_S、Std_h 分別表示 RTK 坐標之平面與高程中誤差

(三)8 小時內每 1 小時觀測 1 次之成果

為了解 GSM-RTK 系統於中長距離測量之影響，於 5 月 25 日選擇 GSM2 與 GSM3 兩點進行 8 小時之觀測，約每小時進行 1 次觀測，每次觀測 3 測回，每 1 測回結束後均將系統重置(Reset)才繼續觀測。

GSM2(18K)點位 9 次觀測均可獲得固定解，解算成功率为 100%，撥接時間僅有 1 次超過 1 分鐘，其餘均於 1 分鐘內可撥接成功，收斂時間在 13 時 16 分觀測時，費時 140 秒最長，其餘約 15 秒可收斂完成，連續 8 個小時之平面位置變化如圖 3-6，9 個解之 N 方向變動範圍約 3.8cm，E 方向變動範圍約 6.5cm，h 方向變動範圍約 17.1cm。3 個測回的 RTK 平面位置(S 表示)及高程方向(h 表示)取平均後與靜態解之差異如圖 3-7。每次觀測 3 測回，其平面及高程坐標中誤差如圖 3-8。

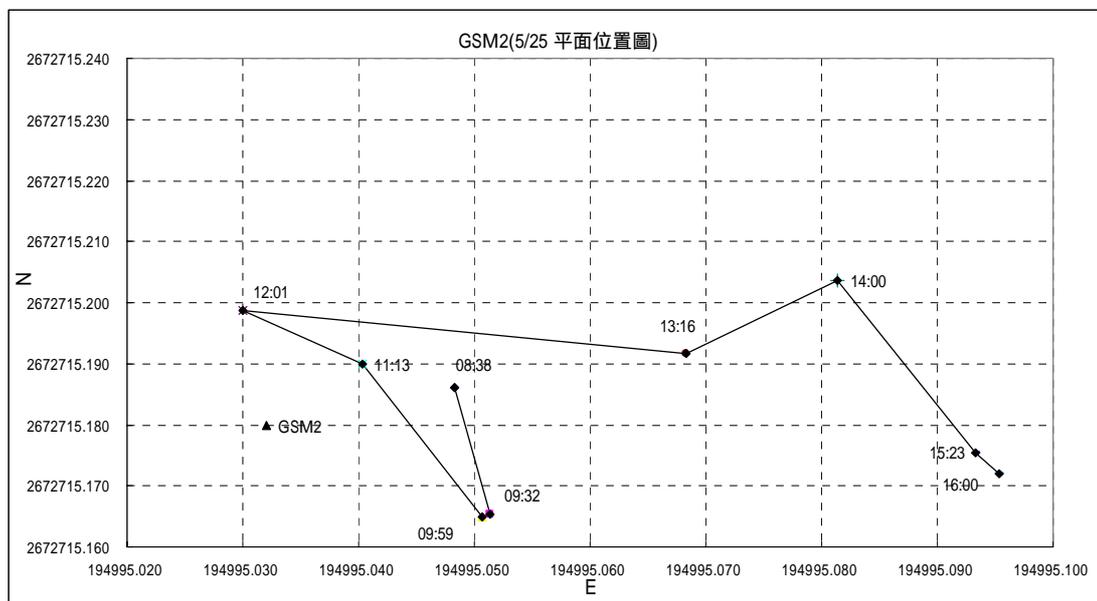


圖 3-6 GSM2 5月25日 RTK 平面坐標變化圖

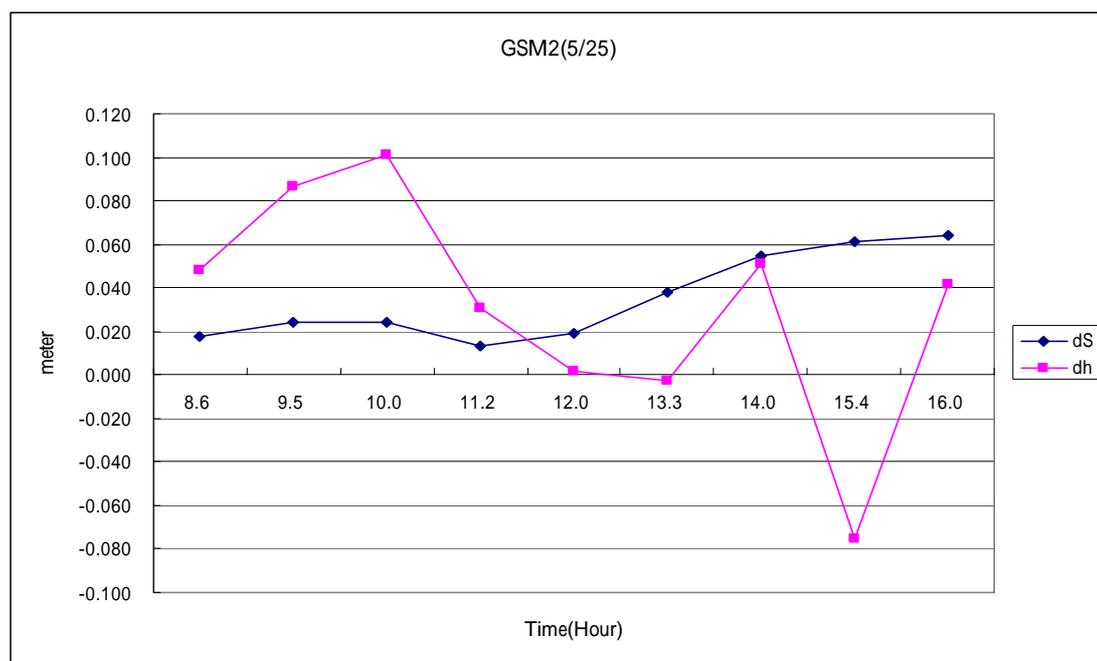


圖 3-7 GSM2 5月25日 RTK 平面位置及高程差變化圖

圖 3-7 所採用之公式如下：

$$\begin{aligned} \bar{N}_j &= \frac{\lfloor N_{ij} \rfloor}{i} & dN_j &= N - \bar{N}_j \\ \bar{E}_j &= \frac{\lfloor E_{ij} \rfloor}{i} & dE_j &= E - \bar{E}_j & dS_j &= (dN_j^2 + dE_j^2)^{\frac{1}{2}} \\ \bar{h}_j &= \frac{\lfloor h_{ij} \rfloor}{i} & dh_j &= h - \bar{h}_j & i &= 1 \sim 3 & j &= 1 \sim 9 \end{aligned}$$

i：代表測回數

j：早上 8 點至 16 點所作點位觀測次數

S：代表平面距離

N、E、h：靜態坐標

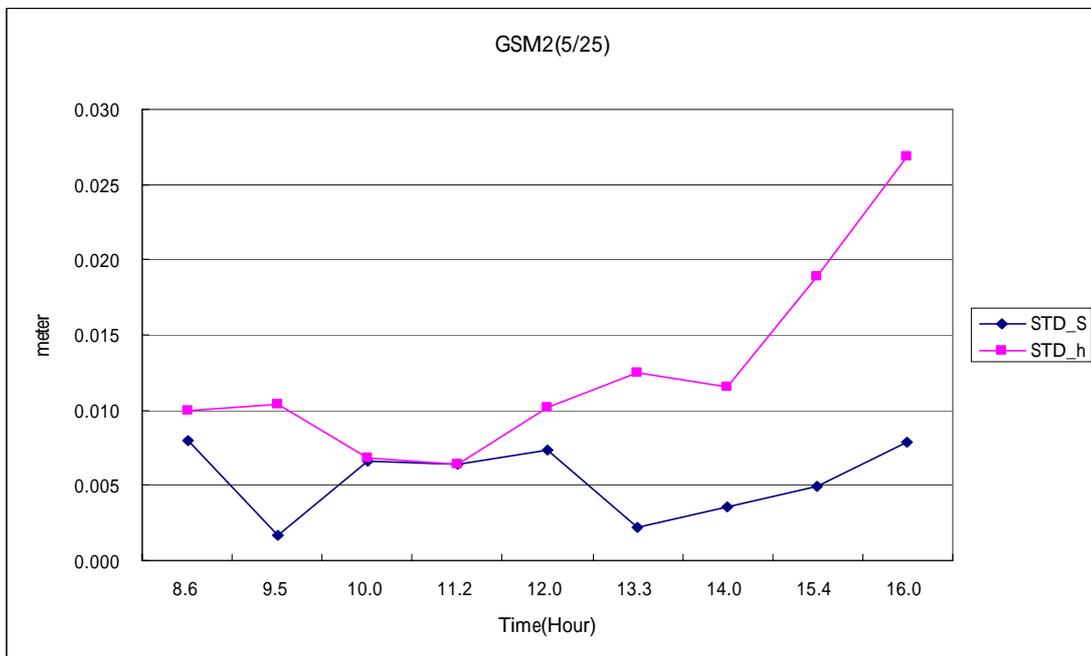


圖 3-8 GSM2 5 月 25 日 RTK 平面位置及高程坐標中誤差變化圖

圖 3-8 所採用之公式如下：

$$\begin{aligned} \bar{N}_j &= \frac{[N_{ij}]}{i} & \Delta N_{ij} &= \bar{N}_j - N_{ij} \\ \bar{E}_j &= \frac{[E_{ij}]}{i} & \Delta E_{ij} &= \bar{E}_j - E_{ij} & VS_{ij} &= (\Delta N_{ij}^2 + \Delta E_{ij}^2)^{\frac{1}{2}} \\ \bar{h}_j &= \frac{[h_{ij}]}{i} & \Delta h_{ij} &= \bar{h}_j - h_{ij} & Vh_{ij} &= \Delta h_{ij} \end{aligned}$$

$$STD_S_j^2 = \frac{[VS_{ij}^T PVS_{ij}]}{i} \quad STD_h_j^2 = \frac{[Vh_{ij}^T PVh_{ij}]}{i}$$

$$i=1\sim3 \quad j=1\sim9$$

i：代表測回數

j：早上 8 點至 16 點所作點位觀測次數

V：代表改正數

h：代表高程距離

S：代表平面距離

STD：代表中誤差

GSM3 點位 9 次觀測除 13 時之 3 測回均超過 5 分鐘無法收斂，其他 8 次觀測均可得到 FIXED 解，解算成功率為 89%，在 12 時撥接時間費時 110 秒最長，收斂時間在 16 時第 2 測回費時 70 秒最久，連續 8 個小時之平面位置變化如圖 3-9，8 個解之 N 方向變動範圍為 7.1cm，E 方向變動範圍為 6.5cm，h 方向變動範圍為 20.0cm，RTK 平面位置與靜態解之平面與高程方向差異如圖 3-10，每次觀測 3 測回其平面及高程坐標中誤差如圖 3-11。

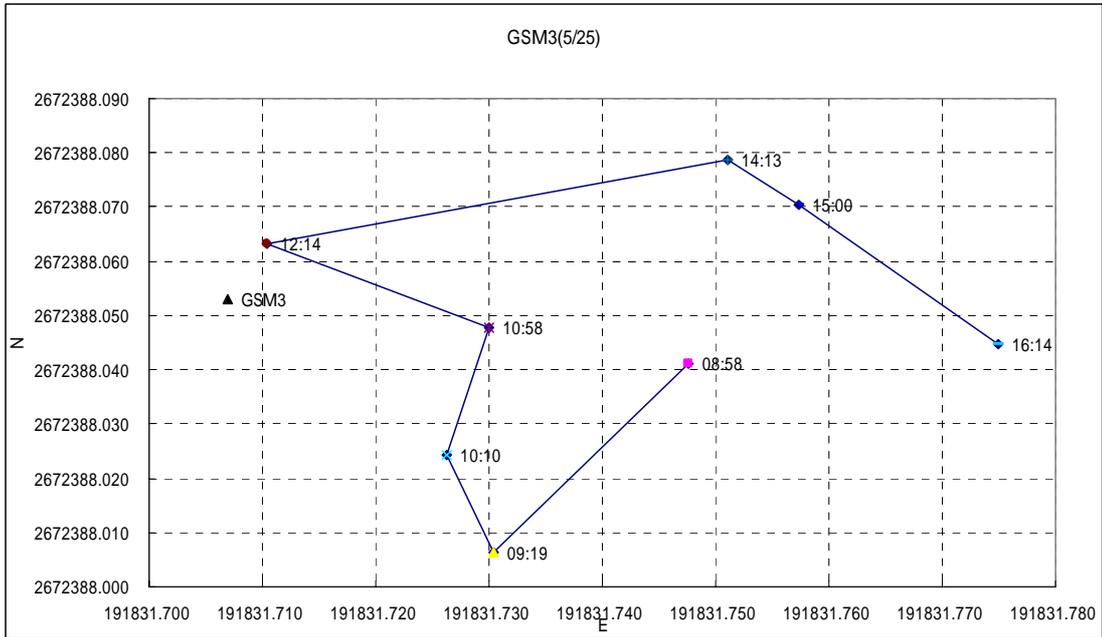


圖 3-9 GSM3(彰濱堤防邊)5月25日 RTK 平面坐標變化圖

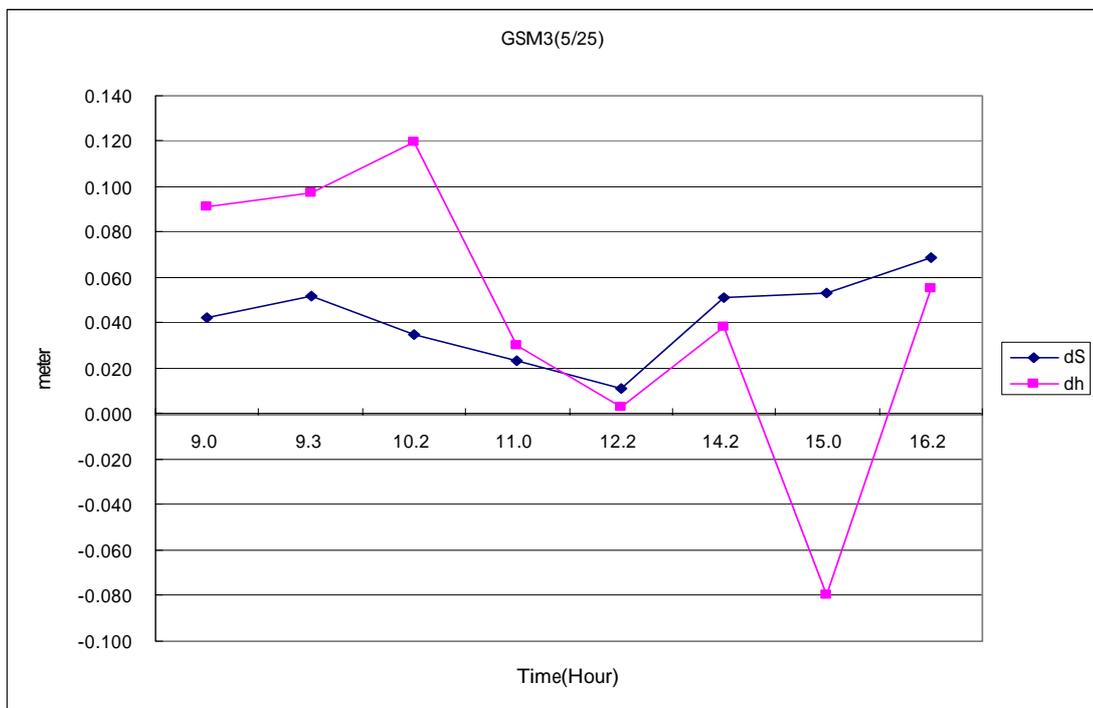


圖 3-10 GSM3 5月25日 RTK 平面位置及高程差變化圖

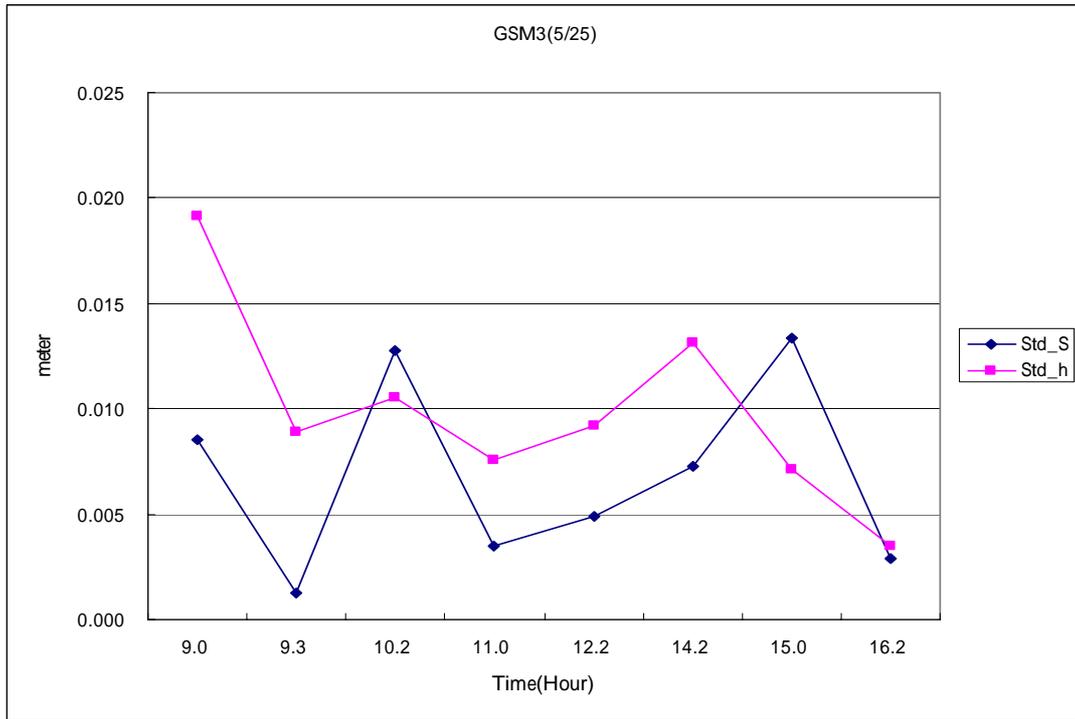


圖 3-11 GSM3 5月25日 RTK 平面位置及高程坐標中誤差變化圖

由以上實驗可知 GSM2 與 GSM3 連續觀測 8 個小時，平面坐標約在 7cm 之範圍內移動，高程方向約在 20cm 內變化，與靜態坐標解之差異，E 方向差異比 N 方向大，h 方向也均大於 N、E，相關數據如表 3-4。

表 3-4 GSM2 與 GSM3 坐標變動範圍與準確度比較表

點號	基線長	Range			Difference			Fixed Solution
		N	E	H	N	E	H	
GSM2	17,847	0.038	0.065	0.171	0.003	0.030	0.048	100%
GSM3	21,000	0.071	0.065	0.200	-0.006	0.034	0.064	89%

Range：每 1 測回坐標最大值與最小值之範圍

Difference：每 1 測回坐標平均後與靜態坐標之差值

Fixed Solution：解算成功率

為探討電離層對 RTK 中長距離定位之影響程度，本實驗也比較了當天電離層活動變化圖，如圖 3-12，該示意圖係取自本局位於中部地區之全國性電子基準站推估得到，當日 8 時至 12 時，電離層處於正常活動期(Normal Activity)，13 時至 16 時電離層處於中度或高度活動期(Medium or High Activity)，經過分析比較發現 GSM2 與 GSM3 兩點在電離層處於正常活動期間(8 時至 12 時)5 個平面坐標解之平均值與靜態解之較差比較均小於電離層處於中度或高度活動期間(13 時至 16 時)，相關數據如表 3-5。

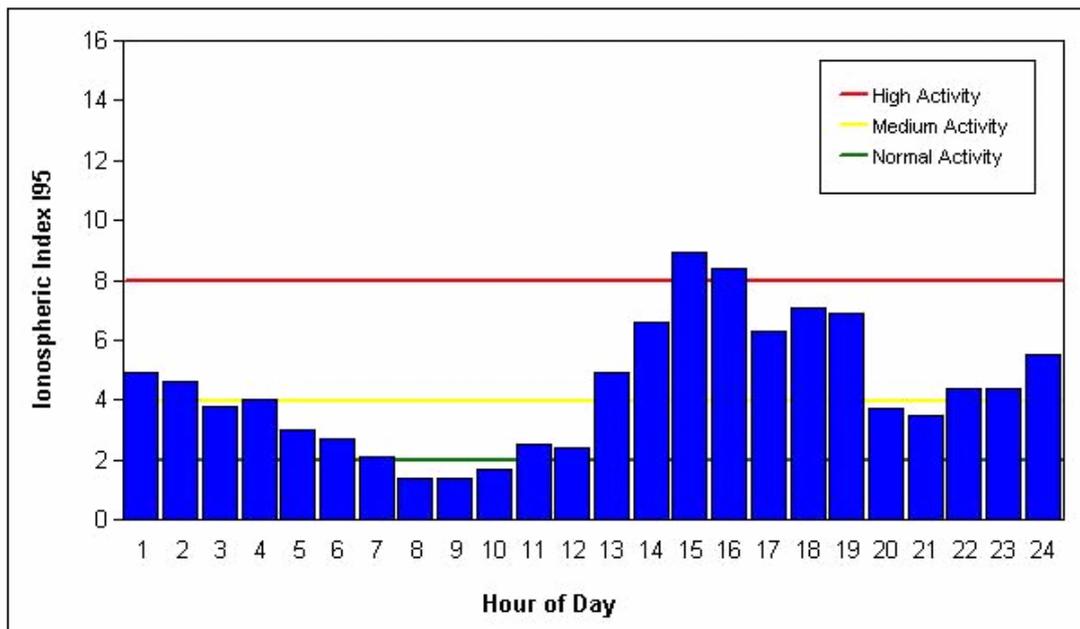


圖 3-12 5 月 25 日電離層活動變化圖

表 3-5 GSM2 與 GSM3 在電離層不同活動期平均較差比較表

	電離層 Ionospheric			
	Normal Activity (8~12Hour)		Medium & High Activity (13~16Hour)	
	dS	dh	dS	Dh
GSM2	0.019	0.054	0.055	0.041
GSM3	0.033	0.068	0.058	0.058

(四)40KM 之長距離測試

GSM4 點位為靜態觀測後所測試之點位，此點位位於本局竹塘工作站之頂樓，距離 LSBC 主站約 38966m，對空通視良好，經測試 6 次觀測，第 2、4、5 及 6 次無法收斂，而第 1 及 3 次可收斂，其坐標經與靜態坐標解算之坐標比對 N 方向差距 4cm、E 方向差距 2cm。以此結果分析 1. 在 38966m 處測試，剛好有 2 次得以收斂，其坐標差值在 5cm 以內，但是另外 4 次不能收斂的觀測，所測得的坐標差值至少 50cm 以上；2. 距離主站 39 公里之點位偶而能收斂，那表示電離層影響沒有那麼強烈。我們知道 RTK 觀測是採用 OTF(on-the-fly)模式解算，是將主站與移動站兩點間的誤差視為相同，但隨著兩點間距離拉長，兩站上空各自的電離層、對流層不盡相同，就會造成解算誤差，以致無法正確求解週波未定值，而使點位精度出現 FLOAT 解，非 FIXED 固定解。

(五)解算成功率分析

本研究之 RTK 外業自 3/4 起至 7/5 計有 6 天次，安排了不同距離、方位的 10 個點位進行 RTK 定位，移動站之參數設定為 HRMS=0.015m、VRMS=0.030m，位置解僅記錄固定解(Fix Solution)。

為比較 RTK 點位解算成功率及精度與距離關係，同樣將該 10 個點位依距離不同分成四組，A 組為 10km 以下，點位計有 M808

及 AF26 兩點；B 組為 11 至 15km，點位有 AF19、GSM1 及 G103 共 3 點；C 組為 16 至 20km，點位有 AF24、AF09 及 GSM2 共 3 點，D 組為 20km 以上，點位有 GSM3 及 M918 共 2 點，各點位解算成功率整理如表 3-6。

由表 3-6 可知，測試最遠之點位為 M918 距主站距離 25679m，但 4 天中 13 次觀測僅有 4 次可解出 Fix 解，其解算成功率 30.8%。A 組解算成功率均為 100%，B 組解算成功率均為 75%，C 組解算成功率均為 91.8%，D 組解算成功率均為 67.4%，其中 C 組部份因 5 月 2 日於 GSM2 點位進行了 9 次觀測(27 測回)均成功收斂，使該組解算率大幅提升，然就整體測試結果來看，點位解算成功率大體上有隨著距離增加而減少的趨勢。

表 3-6 各組別解算成功率一覽表

組別	點號	基線長(m)	測試次數	收斂次數	解算成功率	平均
A	M808	7057	6	6	100.0%	100.0%
	AF26	7765	9	9	100.0%	
B	AF19	11063	12	9	75.0%	75.0%
	GSM1	12989	3	3	100.0%	
	G103	14610	9	6	66.7%	
C	AF24	16033	6	6	100.0%	91.8%
	AF09	17718	9	6	66.7%	
	GSM2	17847	34	33	97.1%	
D	GSM3	21000	36	29	80.6%	67.4%
	M918	25679	13	4	30.8%	

第四章 結論與建議

第一節 結論

- (一)RTK 定位精度與距離有明顯相關，隨著距離愈遠，其 RTK 定位坐標離散程度及準確度亦愈差。
- (二)較長距離(20km~40km)RTK 觀測仍有可能成功，若能順利收斂，平面定位精度仍能在 5cm 以內。
- (三)移動站距離主站越遠，RTK 定位成功之比率越低，超過 20KM 其解算成功率只剩下 67%。
- (四)電離層中度或高度活動期間之 RTK 成果較電離層正常活動期間之所得精度會較差，尤其長距離 RTK 之應用，應慎選觀測時段。
- (五)RTK 作業中移動站與主站之距離拉長，可減少遷站次數，提高工作效率。經本研究實際測試證實 GSM-RTK 最長之作業範圍可達約 40km，一般情況下每次初始化時間僅需 15 秒鐘，GSM-RTK 作業較傳統以 Radio 進行 RTK 測量可達更長之距離。

第二節 建議

- (一)採用 Radio-RTK 定位最大問題在地形起伏較大、距離較遠，易造成斷訊的情況下，無法順利將主站接收到的訊號送到移動站，在 GSM 通訊良好的地區建議可採用 GSM 模組替代傳統之 Radio，可提高作業半徑，並提高數據傳輸品質。
- (二)當主站和移動站間的距離增加時，則會因電離層、對流層、軌道誤差等系統誤差的影響，使得空間相關性之差異增大而降低定位精度，實驗結果得知，電離層正常活動期間施測 RTK 之精度較佳，一般而言，可避開中午時段觀測，如無法避免

該時段觀測，應另外選擇一日不同時段進行重複觀測，以避免系統誤差無法消除，造成定位精度不佳。

- (三)外業施測 RTK 時，吾人無法掌握的就是定位解算時間及是否能收斂成功，有時是主站設定問題而使得訊號無法送出，有時是移動站配線或是電力問題而無法收到訊號，所以外業前的測試是避免增加人力、時間成本的另一保障，尤其進入山區辦理國有林班地或是台電鐵塔預為分割測量時，更需在上山前先行測試，確認可順利作業後再前往目的地觀測，以免徒勞無功。

參考書目

中文部分

- (一)周忠謨、易杰軍、周琪，1997。GPS 衛星測量原理與應用。測繪出版社，北京。
- (二)唐進賢，1999。中距離（10-50km）GPS 即時動態定位演算法研究，國立成功大學測量工程研究所碩士論文。
- (三)曾清涼、儲慶美，1999。GPS 衛星測量原理與應用，國立成功大學衛星資訊研究中心。
- (四)葉大綱、黃勢芳、陳春盛，2002。結合泛歐數位式行動電話系統應用於 GPS 精密動態定位，測量工程，第 44 卷，第 4 期，第 127-142。
- (五)楊名，1997。公分級 GPS 衛星即時動態定位系統，中國測量工程，第三十九卷，第四期，pp. 1-18。
- (六)曾清涼，2004。台灣 e-GPS 電子基準站規劃設計及測試分析期末報告初稿，財團法人成大研究發展基金會。
- (七)孫連水，1997，即時動態 GPS 測量應用於控制測量與戶地測量之研究，國立成功大學測量工程研究所碩士論文。
- (八)陳耀鐘，2005，應用 GSM 於 GPS-RTK 地籍測量即時動態定位之研究—以臺中市為例，國立中興大學測量工程碩士論文。
- (九)葉大綱、黃勢芳、陳春盛，2002，結合泛歐數位式行動電話系統應用於 GPS 精密動態定位，測量工程，第四十四卷，第四期。
- (十)Topcon 網頁 <http://topcongps.com/>

英文部分

ALFRED LEICK.(1995). *GPS SATELLITE SURVEYING*, DEPT. OF SURVEYING ENGINEERING, University of Maine, Orono, Maine.

附錄 1

附表 1~7 名詞解釋。

觀測秒數：RTK 動態測量所接收之秒數。

撥接時間：GSM 撥號至主站接通之時間。

衛星顆數 GPS：移動站所接收到的衛星顆數。

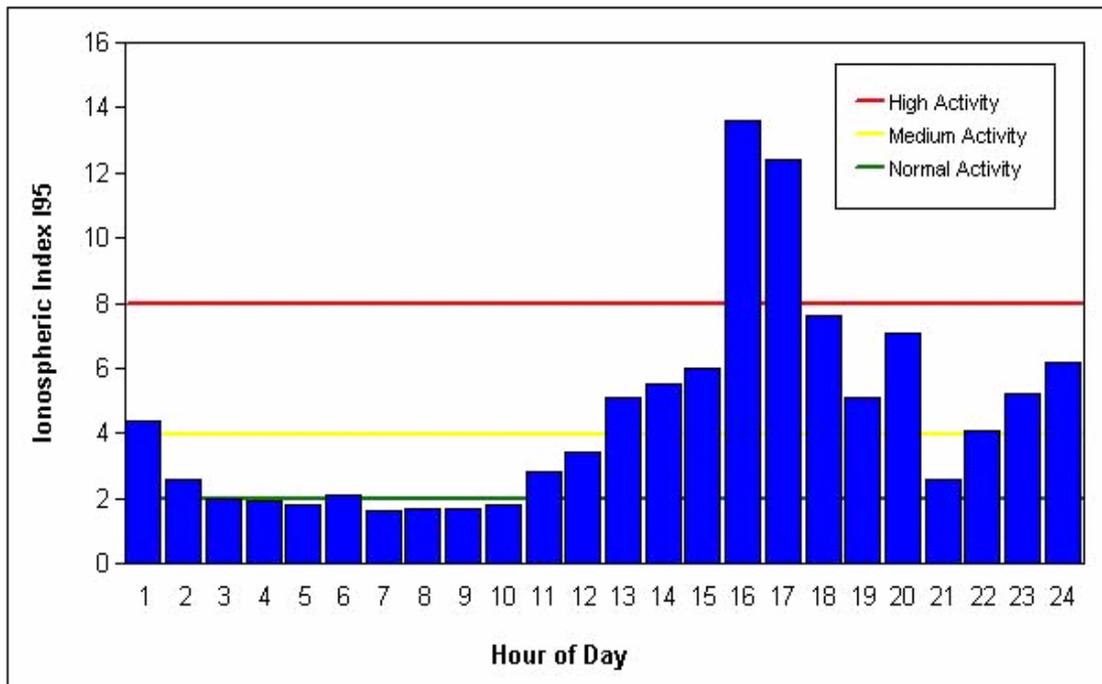
收斂時間：GSM 撥通後開始進行 OTF 解算，至達到 FIXED 狀態，所需之時間稱之為收斂時間。

衛星顆數 FIXED：經與主站資料傳送進行 OTF 解算，可達 FIXED 的衛星顆數。根據經驗值，5 顆以上才有可能得到正確的點位坐標解。

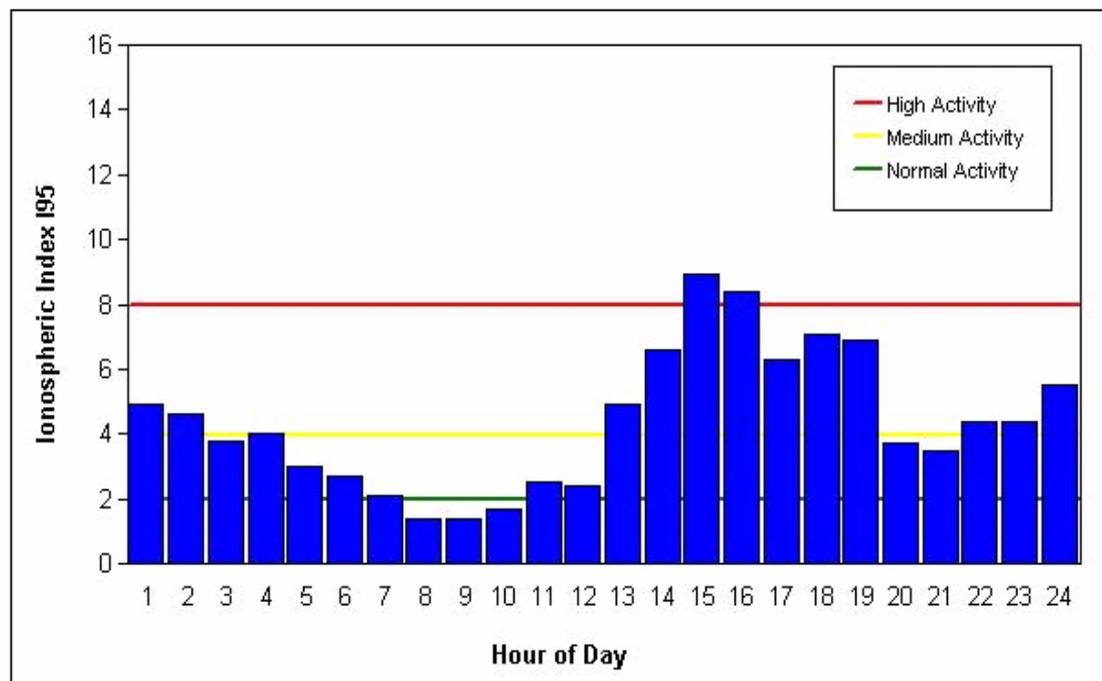
附錄 2

4 月 28 日、5 月 25 日、7 月 1 日、7 月 5 日、7 月 21 日及 8 月 31 日電離層活動示意圖如下：

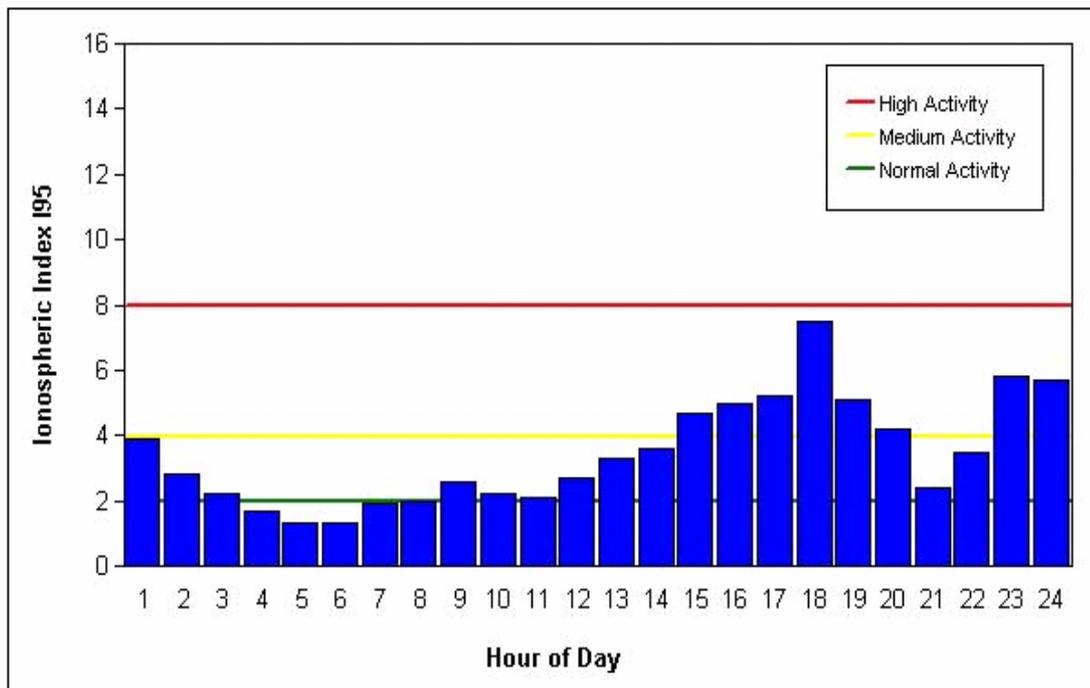
4月28日 電離層活動示意圖



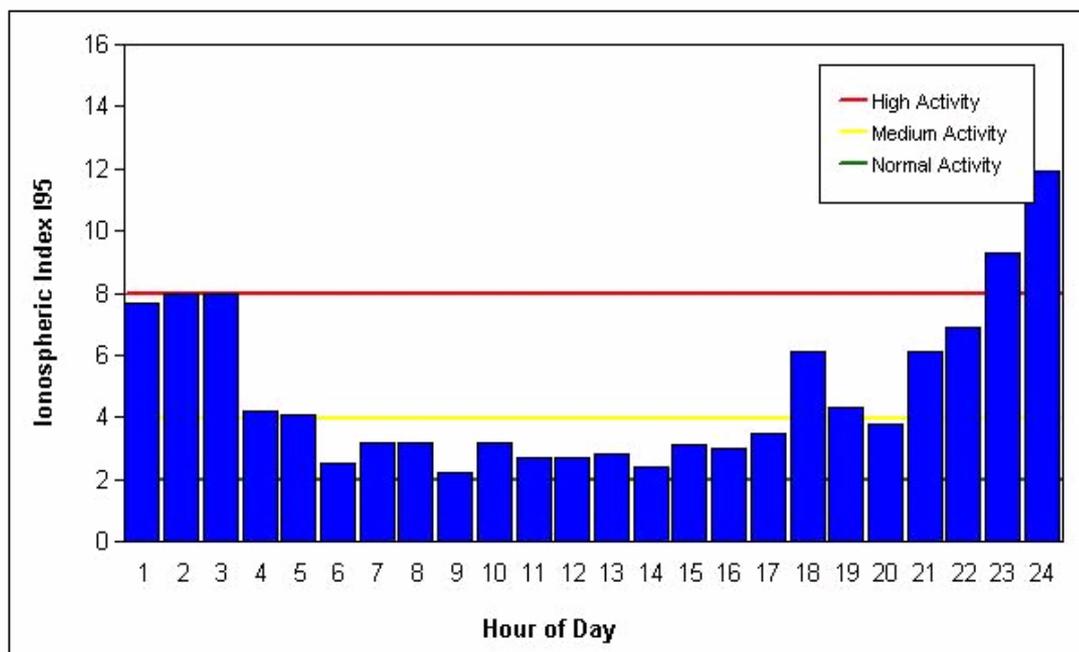
5月25日 電離層活動示意圖



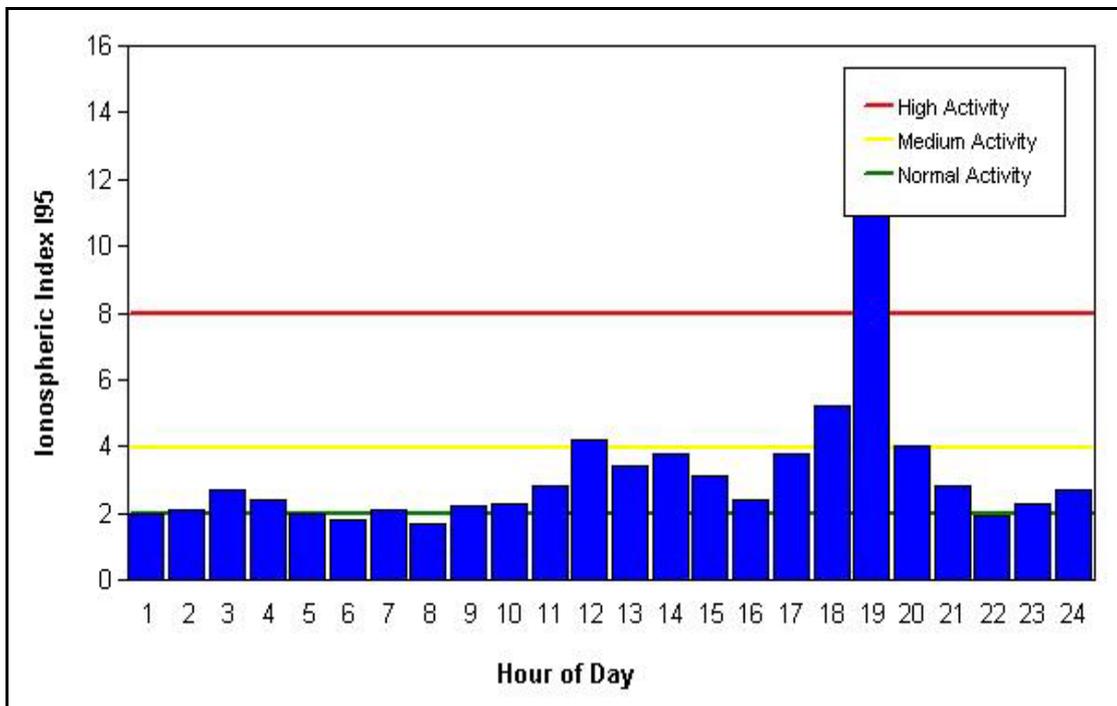
7月1日 電離層活動示意圖



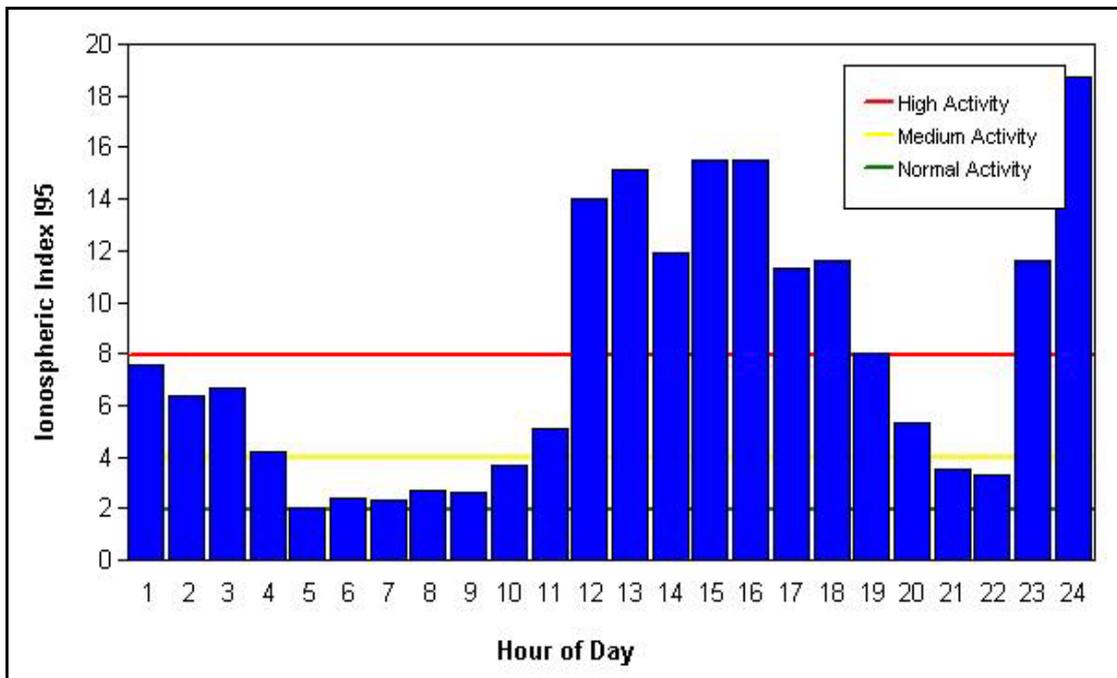
7月5日 電離層活動示意圖



7月21日 電離層活動示意圖



8月31日 電離層活動示意圖



附表 1

觀測日期 3 月 4 日

點號	次數	開始時間	觀測秒數	時間		衛星顆數		PDOP	
				撥接時間	收斂時間	GPS	FIXED		
AF26 大雅國小 距主站距離 7765m	1	09:42	5	70"	55"	8	8	2.3	
	2	09:46	15		30"	8	8	2.5	
	3	09:49	30		17"	8	8	2.5	
	4	09:52	60		17"	8	8	2.9	
	5	09:53	120		20"	7	7	3.6	
G103 豐原體育場 距主站距離 14602m	於 10:42 開始觀測，GSM 接通後等待收斂時間超過 5min 只有 FLOAT 狀態，未達 FIXED，連續 5 次皆相同。								
AF19 彰化公墓 距主站距離 11064m	於 13:34 開始觀測，GSM 接通後等待收斂時間超過 5min 只有 FLOAT 狀態，未達 FIXED，連續 5 次皆相同。								
M918 員林交流道 距主站距離 25681m	於 15:18 開始觀測，GSM 接通後等待收斂時間超過 5min 只有 FLOAT 狀態，未達 FIXED，連續 5 次皆相同。								

3 月 4 日之測試為本研究第 1 次測試，先以距離本局最近之點位開始測試，即選擇大雅國小為第 1 點，此次作業撥接時間花費了 70 秒(比一般手機撥通電話還久)，不過很順利的 FIXED 即初始化成功，很快的記錄下所得到的成果。測試完大雅國小後隨即到了豐原體育場，因衛星顆數鎖定得不夠多，所以一直呈現 FLOAT 狀態，連續測試多次之後只好放棄，下午就往其他點位(彰化公墓及員林交流道)再測試，在測試時亦同樣呈現 FLOAT 狀態許久，所以本日只有 1 個點位有測得坐標。

附表 2

觀測日期 3 月 24 日

點號	次數	開始時間	觀測秒數	時間		衛星顆數		PDOP	
				撥接時間	收斂時間	GPS	FIXED		
AF19 彰化公墓 距主站距離 11063m	1	10:15	5	2'30"	15"	7	6	2.8	
	2	10:20	5		30"	6	6	2.8	
	3	10:22	5		40"	6	6	2.8	
	4	10:25	5		18"	6	6	2.8	
	5	10:28	60		15"	6	6	2.9	
AF09 華龍國小 距主站距離 17720m	於 11:33 開始觀測，GSM 接通後等待收斂時間超過 5min 只有 FLOAT 狀態，未達 FIXED，連續 5 次皆相同。								
M918 員林交流道 距主站距離 25681m	於 13:02 開始觀測，GSM 接通後等待收斂時間超過 5min 只有 FLOAT 狀態，未達 FIXED，連續 5 次皆相同。								
M093 斗南交流道 距主站距離 54km	於 14:51 開始觀測，GSM 接通後等待收斂時間超過 5min 只有 FLOAT 狀態，未達 FIXED，連續 5 次皆相同。								

3 月 24 日測試之前，原以為採 GSM 施測 RTK 測量的臨界距離位於 8K(大雅國小--FIXED)與 11K(彰化公墓--FLOAT)之間，所以決定再從 11K 距離往內縮來測試，然而 24 日早上 10 點多測試 AF19 彰化公墓 5 次皆順利的 FIXED 而測得點位，但之後測試的 3 個點位皆無法 FIXED。

附表 3

觀測日期 4 月 28 日

點號	次數	開始時間	觀測秒數	時間		衛星顆數		PDOP	
				撥接時間	收斂時間	GPS	FIXED		
GSM1 沙鹿 距主站距離 11063m	1	09:30	3	1'30"	10"	8	8	1.8	
	2	09:38	30		10"	8	8	1.8	
	3	09:45	30		5"	8	8	1.8	
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	10:30	5	1'	15"	8	7	2.9	
	2	10:33	30		20"	8	8	2.5	
	3	10:37	30		10"	8	7	2.6	
GSM3 堤防 TS03 旁 距主站距離 21002m	1	11:03	30	1'	2'35"	8	7	2.5	
	2	11:05	30		5'未收斂	8	4	---	
	3	11:10	30		5'未收斂	8	4	---	
	4	11:43	30		3'	8	8	2.3	
	5	11:45	30		40"	8	8	2.3	
	6	11:47	30	1'45"	5'未收斂	8	1	---	

4 月 28 日此次測試採不特定點位觀測，因尚未得知 RTK 測量的臨界距離為何，故開車帶著移動站儀器隨地觀測，測試何種距離尚可 FIXED，何種距離已無法 FIXED，若可以 FIXED 的話，則打下鋼釘並正式的以 RTK 測定點位，運用此法，發覺所選擇的 3 處位置皆可 FIXED，隨即測定並給定點號。

附表 4

觀測日期 5 月 25 日

點號	次數	開始時間	觀測秒數	時間		衛星顆數		PDOP	
				撥接時間	收斂時間	GPS	FIXED		
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	08:38	30	45"	15"	8	8	2.5	
	2	08:40	30		25"	8	8	2.5	
	3	08:41	30		65"	8	8	2.5	
GSM3 堤防 TS03 旁 距主站距離 21002m	1	08:58	30	90"	60"	7	7	2.7	
	2	09:01	30		18"	7	7	2.6	
	3	09:02	30		19"	7	7	2.6	
GSM3 堤防 TS03 旁 距主站距離 21002m	1	09:19	30	60"	20"	8	8	2.2	
	2	09:21	30		15"	8	8	2.2	
	3	09:22	30		25"	8	8	2.3	
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	09:32	30	60"	25"	8	7	2.5	
	2	09:34	30		17"	8	7	2.5	
	3	09:35	30		12"	8	7	2.5	
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	09:59	30	50"	20"	8	8	2.3	
	2	10:01	30		15"	8	8	2.3	
	3	10:02	30		16"	8	8	2.3	
GSM3 堤防 TS03 旁 距主站距離 21002m	1	10:10	30	50"	18"	9	8	2.2	
	2	10:12	30		15"	8	7	3.1	
	3	10:13	30		16"	8	7	3.1	
GSM3 堤防 TS03 旁 距主站距離 21002m	1	10:58	30	55"	60"	7	7	2.1	
	2	11:01	30		25"	7	7	2	
	3	11:02	30		20"	7	7	2	
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	11:13	30	50"	15"	7	7	2	
	2	11:15	30		15"	7	7	2	
	3	11:16	30		14"	7	7	2	

附表 4

觀測日期 5 月 25 日

點號	次數	開始時間	觀測秒數	時間		衛星顆數		PDOP	
				撥接時間	收斂時間	GPS	FIXED		
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	12:01	30	45"	60"	6	6	2.5	
	2	12:03	30		25"	6	6	2.5	
	3	12:04	30		17"	6	6	2.5	
GSM3 堤防 TS03 旁 距主站距離 21002m	1	12:14	30	110"	20"	8	7	2.1	
	2	12:17	30		15"	8	7	2	
	3	12:18	30		55"	8	7	2	
GSM3 堤防 TS03 旁 距主站距離 21002m	1	13:01	30	60"	5' 未收斂	8	2	2.3	
	2	13:08	30		5' 未收斂	8	2	2.3	
	3	13:14	30		5' 未收斂	8	2	2.3	
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	13:16	30	55"	140"	8	8	2.3	
	2	13:18	30		22"	8	8	2.3	
	3	13:19	30		13"	8	8	2.3	
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	14:00	30	50"	15"	8	8	1.9	
	2	14:02	30		15"	8	8	1.9	
	3	14:03	30		15"	8	8	1.9	
GSM3 堤防 TS03 旁 距主站距離 21002m	1	14:13	30	50"	20"	9	9	1.7	
	2	14:15	30		10"	9	9	1.7	
	3	14:16	30		14"	9	9	1.7	
GSM3 堤防 TS03 旁 距主站距離 21002m	1	15:00	30	60"	40"	8	8	1.9	
	2	15:02	30		45"	8	8	1.9	
	3	15:03	30		17"	8	8	1.9	
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	15:23	30	90"	25"	10	10	1.6	
	2	15:25	30		13"	10	10	1.6	
	3	15:24	30		17"	10	10	1.6	

附表 4

觀測日期 5 月 25 日

點號	次數	開始時間	觀測秒數	時間		衛星顆數		PDOP	
				撥接時間	收斂時間	GPS	FIXED		
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	16:00	30	50''	20''	9	9	2.1	
	2	16:02	30		45''	9	9	2.1	
	3	16:03	30		55''	9	9	2.1	
GSM3 堤防 TS03 旁 距主站距離 21002m	1	16:14	30	50''	50''	9	8	2.5	
	2	16:17	30		70''	8	8	2.5	
	3	16:19	30		55''	8	8	2.4	

5 月 25 日針對 4 月 28 日施測 21K 時可 FIXED 測得點位坐標，為了探討在 GSM2(18K)及 GSM3(21K)的距離在白天時間段，何時可 FIXED?何時 FLOAT?則排定每一個小時連續測試此 2 點，從早上 8 點一直測試至下午 4 點，只有下午 1 點於 GSM3(21K)時測試 3 次皆無法收斂，其他時段測試皆收斂。

附表 5

觀測日期 7 月 1 日

點號	次數	開始時間	觀測秒數	時間		衛星顆數		PDOP	
				撥接時間	收斂時間	GPS	FIXED		
M918 員林交流道 距主站距離 25681m	1	08:07	30"	50"	5'未收斂	8	3		
	2	08:13	30"		50"	8	8	1.9	
	3	08:16	30"	4'未收斂		8	3		
	4	08:20	30"	5'未收斂		8	3		
AF24 峰谷國小 距主站距離 16035m	1	09:18	30"	50"	20"	7	6	2.7	
	2	09:21	30"		20"	7	7	2.2	
	3	09:23	30"		15"	7	7	2.2	
M808 大里所 距主站距離 7058m	1	10:06	30"	50"	25"	8	8	1.7	
	2	10:10	30"		16"	8	8	1.8	
	3	10:11	30"		13"	8	8	1.8	
G103 豐原體育場 距主站距離 14612m	1	11:41	30"	50"	40"	8	8	1.8	
	2	11:44	30"		16"	9	9	1.7	
	3	11:46	30"		16"	9	9	1.7	
AF26 大雅國小 距主站距離 7766m	1	14:18	30"	50"	30"	7	7	2.2	
	2	14:21	30"		13"	8	7	2.2	
	3	14:23	30"		15"	8	8	2.1	
AF19 彰化公墓 距主站距離 11064m	1	15:05	30"	130"	25"	9	9	1.8	
	2	15:10	30"		13"	9	9	1.7	
	3	15:11	30"		12"	9	9	1.7	
AF09 華龍國小 距主站距離 17720m	1	15:41	30"	65"	55"	9	8	1.6	
	2	15:44	30"		175"	9	7	1.7	
	3	15:49	30"		42"	9	7	1.7	

觀測過 GSM3(21K)點位亦能 FIXED 的成果後，此日則針對當初所規劃的點位進行測試，把各方位、各距離的點位皆納入觀測，從早上 8 點觀測員林交流道開始，觀測完每 1 點後就往下一點前進。

附表 6

觀測日期 7 月 5 日

點號	次數	開始時間	觀測秒數	時間		衛星顆數		PDOP	
				撥接時間	收斂時間	GPS	FIXED		
M918 員林交流道 距主站距離 25681m	1	08:08	30"	50"	30"	9	7	2	
	2	08:11	30"		15"	9	7	2	
	3	08:13	30"		15"	9	7	2	
AF24 峰谷國小 距主站距離 16035m	1	08:56	30"	40"	25"	10	7	2.1	
	2	09:00	30"		23"	10	7	2.3	
	3	09:02	30"		23"	9	6	2.6	
M808 大里所 距主站距離 7058m	1	09:45	30"	45"	11	8	1.7	1.7	
	2	09:49	30"		11	8	1.6	1.6	
	3	09:53	30"		11	8	1.7	1.7	
G103 豐原體育場 距主站距離 14612m	1	10:49	30"	45"	90"	10	8	2.2	
	2	10:53	30"		15"	10	8	2.1	
	3	10:56	30"		17"	10	8	2.1	
AF26 大雅國小 距主站距離 7766m	1	11:37	30"	40"	90"	10	8	2.8	
	2	11:42	30"		15"	10	8	2.2	
	3	11:43	30"		17"	10	8	2.2	
AF19 彰化公墓 距主站距離 11064m	1	13:17	30"	140"	17"	11	9	1.9	
	2	13:22	30"		15"	10	8	2.5	
	3	13:24	30"		13"	10	8	2.5	
AF09 華龍國小 距主站距離 17720m	1	13:53	30"	43"	55"	11	9	1.9	
	2	13:56	30"		14"	11	9	1.9	
	3	13:58	30"		15"	11	9	1.9	
GSM2 彰濱區入口 距主站距離 17848m	1	14:49	30"	43"	65"	11	9	1.8	
	2	14:52	30"		30"	11	9	1.7	
	3	14:56	30"		180"	11	8	1.7	

附表 6

觀測日期 7 月 5 日

點號	次數	開始時間	觀測秒數	時間		衛星顆數		PDOP	
				撥接時間	收斂時間	GPS	FIXED		
GSM3	1	15:10	30"	43"	5' 未收斂	11	2	---	
堤防 TS03 旁	2	15:15	30"		40"	11	8	1.6	
距主站距離	3	15:18	30"		5' 未收斂	11	4	---	
21002m	4	15:24	30"		90"	11	9	1.6	
	5	15:27	30"		240"	11	9	1.7	

7 月 5 日是延續 7 月 1 日的行程，按照點位的順序而觀測，待觀測完華龍國小後續往彰濱區入口及堤防旁觀測。

附表 7

測試日期：8 月 31 日

點號	次數	開始時間	觀測秒數	時間		衛星顆數		PDOP	
				撥接時間	收斂時間	GPS	FIXED		
GSM4	1	08:40	30	50"	37"	8	8	2.5	
竹塘工作站	2	08:44	30	5' 未收斂		8	3	---	
距主站距離	3	08:49	30		30"	8	8	2.1	
38966m	4	08:51	30	5' 未收斂		8	4	---	
	5	08:57	30	5' 未收斂		8	1	---	
	6	09:02	30	5' 未收斂		8	2	---	

8 月 31 日此日觀測是測試距離近 40km 是否仍可 fixed，以及颱風侵台前夕，電離層影響是否仍可 FIXED。

附表 8

解算成功率

	No.	Pt ID	Baseline (m)	Date	Time	GPS	GLN	fix no	PDOP	obs no.	fix sol	successful rate	average		
A	1	M808	7057	7/1	10:06	8	0	8	1.8	3	3	100.0%	100.0%	100.0%	
				7/5	09:45	11	3	8	1.7	3	3	100.0%			
	2	AF26	7765	3/4	11:00	8	0	7	2.3	3	3	100.0%	100.0%		
				7/1	14:18	8	0	7	2.2	3	3	100.0%			
				7/5	11:37	10	2	8	2.4	3	3	100.0%			
B	3	AF19	11063	3/4	10:00	8	0	0	2.7	3	0	0.0%	75.0%	80.6%	
				3/24	10:15	6	0	6	2.8	3	3	100.0%			
				7/1	15:05	9	0	9	1.7	3	3	100.0%			
				7/5	13:17	10	2	8	2.3	3	3	100.0%			
	4	GSM1	12989	4/28	09:30	8	0	9	1.8	3	3	100.0%	100.0%		
	5	G103	14610	3/4	12:00	8	0	0			3	0	0.0%		66.7%
				7/1	11:41	9	0	9	1.7	3	3	100.0%			
				7/5	10:49	10	2	8	2.1	3	3	100.0%			
	C	6	AF24	16033	7/1	09:18	9	0	9	1.7	3	3	100.0%		100.0%
7/5					08:56	10	3	7	2.3	3	3	100.0%			
7		AF09	17718	3/24	11:04	8	0	1	1.9	3	0	0.0%	66.7%		
				7/1	15:41	9	0	7	1.7	3	3	100.0%			
				7/5	13:53	11	2	9	1.9	3	3	100.0%			
8		GSM2	17847	4/28	10:30	8	0	7	2.7	3	3	3	100.0%	97.7%	
				5/25	08:38	8	0	8	2.5	3	3	3	100.0%		
				5/25	09:32	8	0	7	2.5	3	3	3	100.0%		
				5/25	09:59	8	0	8	2.3	3	3	3	100.0%		
				5/25	11:13	7	0	7	2.0	3	3	3	100.0%		
				5/25	12:01	6	0	6	2.5	3	3	3	100.0%		
				5/25	13:16	8	0	8	2.3	3	3	3	100.0%		
				5/25	14:00	8	0	8	1.9	3	3	3	100.0%		
	5/25			15:23	10	0	10	1.6	3	3	3	100.0%			
	5/25			16:00	9	0	9	2.1	3	3	3	100.0%			
7/5	14:49	11	2	9	1.8	4	3	3	75.0%						

附表 8

解算成功率

No.	Pt ID	Baseline (m)	Date	Time	GPS	GLN	fix no	PDOP	obs no.	fix sol	successful rate	average	
D	9 GSM3	21000	4/28	11:10	8	0	8	2.3	4	2	50.0%	82.7%	57.0%
			5/25	08:58	7	0	7	2.7	3	3	100.0%		
			5/25	09:19	8	0	8	2.2	3	3	100.0%		
			5/25	10:10	8	0	7	3.1	3	3	100.0%		
			5/25	10:58	7	0	7	2.1	3	3	100.0%		
			5/25	12:14	8	0	7	2.1	3	3	100.0%		
			5/25	13:01	8	0	2	2.3	3	0	0.0%		
			5/25	14:13	9	0	9	1.7	3	3	100.0%		
			5/25	15:00	8	0	8	1.9	3	3	100.0%		
			5/25	16:14	9	0	8	2.5	3	3	100.0%		
			7/5	15:10	11	2	9	1.6	5	3	60.0%		
10	M918	25679	3/4	10:00	8	0	0	1.9	3	0	0.0%	31.3%	
			3/24	12:30	8	0	1	2.2	3	0	0.0%		
			7/1	08:07	8	0	8	1.9	4	1	25.0%		
			7/5	08:08	9	2	7	2.0	3	3	100.0%		