

# 台灣地區虛擬電子基準站最佳間距之研究

陳鶴欽<sup>1</sup>、林世賢<sup>2</sup>、曾清涼<sup>3</sup>、劉至忠<sup>4</sup>、吳萬順<sup>5</sup>

## 摘要

虛擬電子基準站 (VBS) 基本觀念係由多各 GPS 基準站之間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計算中心連接，控制計算中心彙整所有基準站所接收之資料，並產生區域改正參數之資料庫。本研究利用 TRIMBLE TOTAL CONTROL (TTC) 軟體使用後處理方式，使用連續觀測站 30SEC 一筆資料計算各點定位成果，分別比較在 30-50、50-70、70-90 公里三種間距成果，發現 50-70 公里間距在定位成果均符合平面 3 公分定為精度成果，可作為後續各項工程測量之應用，並且在設站成本效益上最大，可作為台灣地區設置虛擬電子基準站之參考。

**關鍵字：**GPS、虛擬電子參考站 (VBS)

## 一、前言

隨著衛星定位技術的快速發展，人們對快速高精度位置資訊的需求也日益強烈。而目前使用最為廣泛的高精度定位技術就是即時動態定位，RTK (Real-Time Kinematic) 技術的關鍵在於使用了 GPS 的載波相位觀測量，並利用了基準站和移動站之間觀測誤差的空間相關性，通過差分的方式除去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。

RTK 技術在應用中遇到的最大問題就是電子基準站(以下簡稱基準站，BS)改正資料的有效作用距離。GPS 誤差的空間相關性隨基準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，經過差分處理後的移動站資料仍然含有很大的殘餘誤差，從而導致定位精度的降低和無法正確解算載波相位的整數週波未定值(Integer Ambiguity)。所以，為了保證得到滿意的定位精度，傳統的單主站 RTK 的作業距離都非常有限，大約都在 10 公里的基線長度以內，或者是將主站加密，以讓 RTK 作業時能服務全區(Landau et al., 2002, 2002; Gerhard et al.2001)。

為了克服傳統 RTK 技術的缺陷，國外學者以經發展使用 GPS 虛擬參考站 (Virtual Reference Station, 簡稱 VRS) 技術(Landau et al., 2002)，國內也有部分學者提出”e-GPS”之網路 RTK 技術(曾清涼 2002,2003)。在網路 RTK 技術中，線

<sup>1</sup> 內政部土地測量局測量員/成功大學地球科學系博士生，[lsb23012@mail.lsb.gov.tw](mailto:lsb23012@mail.lsb.gov.tw)

<sup>2</sup> 內政部土地測量局測量員

<sup>3</sup> 成功大學地球科學系教授/衛星資訊研究中心主任

<sup>4</sup> 內政部土地測量局課長

<sup>5</sup> 內政部土地測量局局長

性衰減的單點 GPS 誤差模型被區域型的 GPS 網路誤差模型所取代，即用多個基準站組成的 GPS 網路來估計一個地區的 GPS 誤差模型，並為 GPS 網路覆蓋地區的 RTK 用戶提供系統誤差即時內插的數據。用戶收到的並不是某個實際基準站的觀測資料，而是一個虛擬基準站的 GPS 觀測數據，而這些觀測數據已經加入即時內插的系統誤差數據在內。這種做法的網路 RTK 技術又被稱為虛擬參考站 VRS 或虛擬基準站(VBS)或如下圖 1、圖 2，這種做法可大量節省建置基準站的成本。

內政部土地測量局為因應科技進步及業務職掌增加，而有建立台灣電子基準站之構想，可藉由電子基準站的建立提供訂定測量基準、維護坐標框架、監測地殼變動、計算 GPS 精密軌道、地球科學及大氣科學學術研究、發展長距離即時動態測量系統及其他定位或導航等基於位置的空間資訊服務之多目標功能，配合 e-政務以提升國家競爭力。

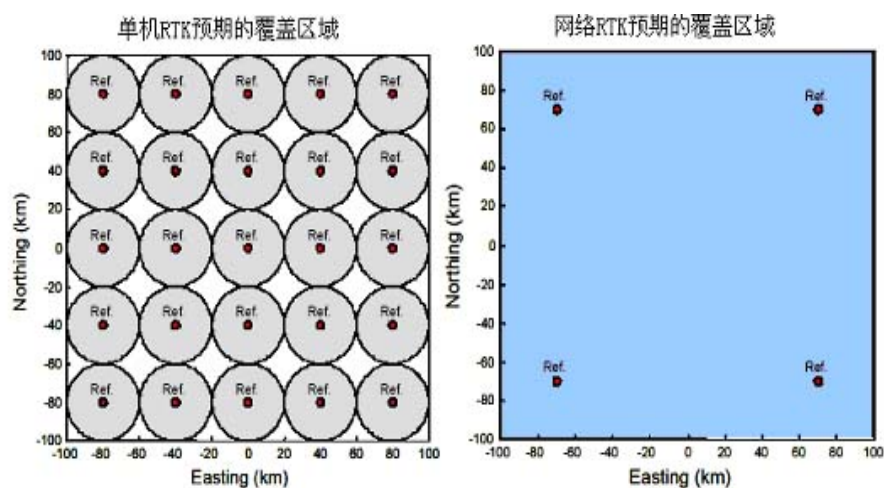


圖 1. 單機 RTK 與多基準站 RTK 覆蓋區域示意圖(參考來源：成都加訊科技網頁)

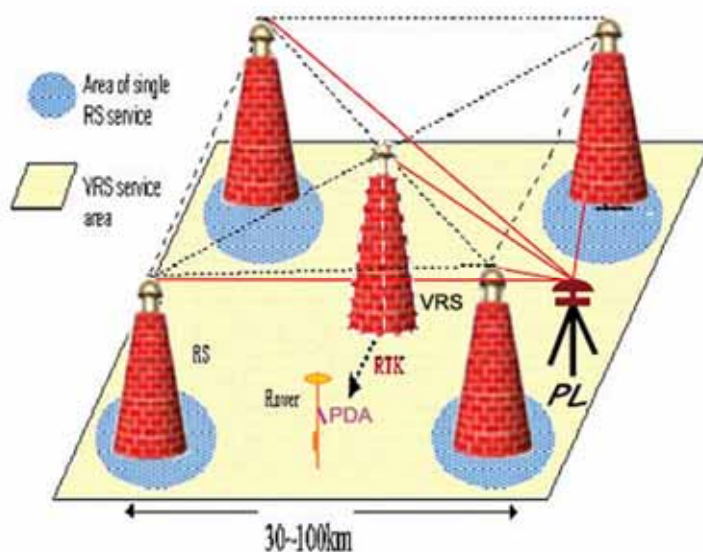


圖 2. 虛擬參考站示意圖(曾清涼, 2004)

## 二、資料蒐集

電子基準站選址設置，除須遵循衛星控制點透空度、穩固等等選點原則外，尚須額外考量事項如永久性電源、網路傳輸設備、點位附近可長期維持現狀、接收儀保護設備及土地建物的使用權等等問題。雖然目前使用 VRS 定位技術的的商用軟體已漸漸推廣，但是台灣地區位於亞熱帶中緯度地區，電離層活躍頻繁，國外目前以推廣出來的 VRS 參考站設置選址、建站間距的條件是否適用於台灣？對問題乃選擇部分固定資料，並使用 Trimble 公司發展的 Trimble Total Control (TTC) GPS 計算軟體作為計算工具，測試出適合間距，然後再經由實地架設電子基準站的方式，使用由成功大學楊名教授所提供計算工具作一實地測試驗證作業。本次實驗採用具有可後處理方式產生虛擬參考站功能之 TTC v2.71 軟體為最佳間距測試工具，TTC 使用需要至少三個參考站（固定站）的數據為其覆蓋區域範圍內的任何位置產生 VRS 數據。對於 VRS 數據的品質控制，可藉由輸入均方根（RMS）與三角形閉合差等門檻值的給定以控制 VRS 數據的品質，RMS 預設值為 20mm、三角形閉合差預設值為 100mm，如果計算結果超出門檻值，VRS 將會失敗，並藉著計算移動站與 VRS 間短基線精度，以了解 VRS 數據之正確性。為測試不同間距固定站產生 VRS 之精度，規劃了 30km、50km、70km 等三個不同間距區域，並使用三個移動站（M428、M916、AF21）針對三個區域分別進行測試，其計算流程簡述如下：

### (1) 參數設定

選定固定站：

TTC 之 VRS 功能最少需設定三個已知點，程式本身會自動搜尋離移動站最近之三個固定站，進行 VRS 相關之計算。

設定資料品質門檻值：

資料品質之門檻值有兩項，基線 RMS 與三角形閉合差，程式內定值為基線 RMS<100mm、三角形閉合差<20mm。

輸入移動站(Rover)坐標：

TTC 提供兩種輸入 Rover 坐標的方式，一種是自該 project 內之已知點位挑選，另一種為手動輸入坐標，輸入之坐標形式有三種平面坐標(N, E, H)、三維卡式坐標(X, Y, Z)及大地坐標(Lat, Lon, H)等三種。

設定 VRS 參數：

VRS 檔案的起迄時間、資料儲存時間間隔、點名及存放路徑等。

### (2) 產生 VRS：

參數設定完後，TTC 程式本身會對離移動站最近之三個固定站間進行基線計算，並對此三條基線測試是否符合上述 RMS 門檻值之判斷，假若其中一條基線無法符合門檻值，程式會自動結束計算。

基線通過測試後，程式依設定之時間間隔於移動站坐標處產生一 VRS 檔

案觀測檔，程式並對 VRS 站與三個固定站中進行閉和差門檻值之偵測，無法通過門檻值之衛星資料即被刪除。

### (3) VRS 精度評估：

為了解 TTC 產生之 VRS 正確性，乃將該 VRS 點位坐標固定，並與外業實際接收資料以 OTF (On The Fly) 運算法則解算出實際資料每一個 epoch 之坐標，該坐標不僅與 Berense 軟體 (以約六小時整體觀測量使用靜態測量方式計算) 計算得到之坐標進行比較，亦對三個不同區域所得到之同一點位坐標進行比較以了解間距對 VRS 精度之影響。

本次間距測試係採用 92 年 12 月 1 日中央研究院、中央氣象局等九站收集之原始觀測資料，各測站資料如表 1，採用 TTC 計算基線靜態解，再以最小約制方法平差，得到各測站坐標。

表 1. 固定站最佳間距測試 GPS 觀測資料

點名	接收儀	時間間隔	接收時間(UTC)	接收時間(分)
AF21	Leica SR530	15	2003/12/1 AM 01:51:25~ AM09:00:45	422.00
CHUA	Leica RS500	30	2003/12/1 AM 12:00:00~PM 11:59:30	1439.50
ERLN	Leica RS500	15	2003/12/1 AM 12:00:00~PM 11:59:30	113.50
G092	Leica SR530	15	2003/12/1 AM 05:24:15~AM 09:02:45	218.50
M428	Leica SR530	15	2003/12/1 AM 01:58:15~ AM 09:00:30	422.25
M906	Leica SR530	15	2003/12/1 AM 02:01:30~AM 08:59:15	417.75
M916	Leica SR530	15	2003/12/1 AM 01:56:30~AM 09:01:00	424.50
S016	Leica MC500	30	2003/12/1 AM 12:00:00~PM 11:59:30	1439.50
CHIU	Leica CRS1000	30	2003/12/1 AM 12:00:00~PM 11:59:30	1439.50

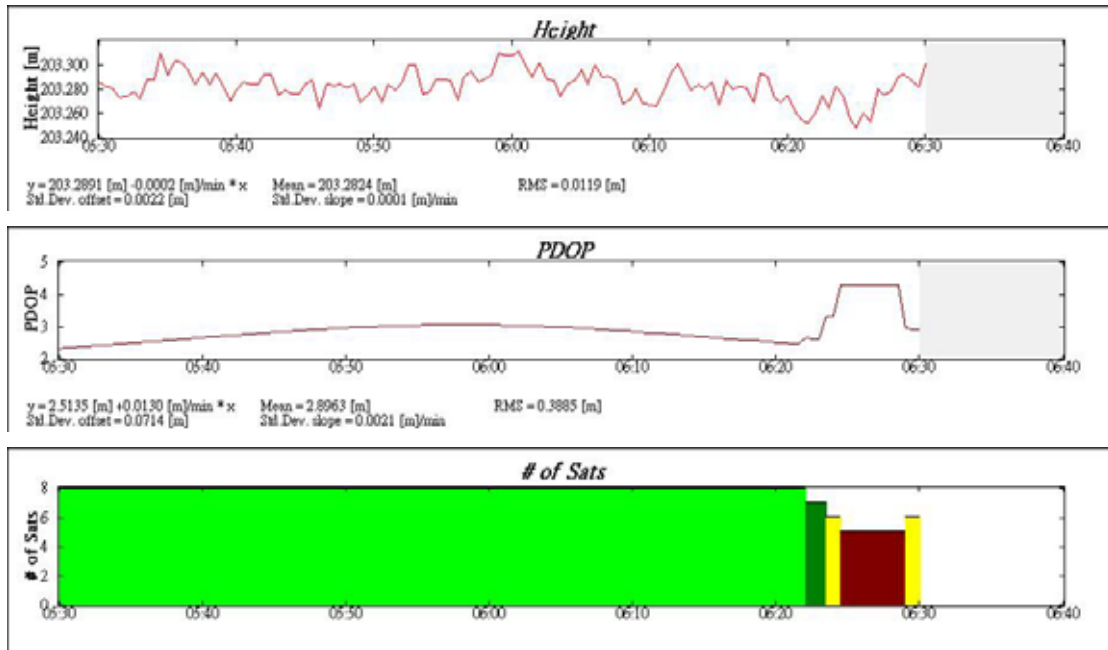
相對位置如圖 3，並藉 VRS 與移動站間短基線之靜態解與動態解以了解間距對 VRS 精度之影響。此外也使用土地測量局九十二年十二月一日，辦理台灣中部地區基本控制點間監測作業所蒐集資料，進行計算，並分別使用 TTC、Bernese 及成功大學自行開發程式(YANG)等三中軟體進行成果比較。

## 三、 間距測試分析

### 3-1 30 公里間距測試

設定 G092、M906 及 S016 等三個點位為固定站，分別測試 05:30 至 06:30 期間 M428、M916、AF21 等三個移動站，其點位分佈圖如圖 3，三個移動站高程、PDOP、衛星顆數統計表、NEH 三個向量與 Bernese 解之較差等統計表如表 2 所適(以 M428 為例)。

表 2. 第一測試區 M428 各項統計值



M428- case 1

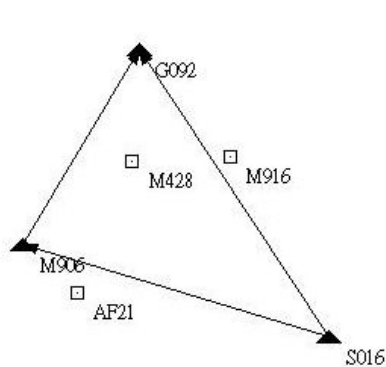
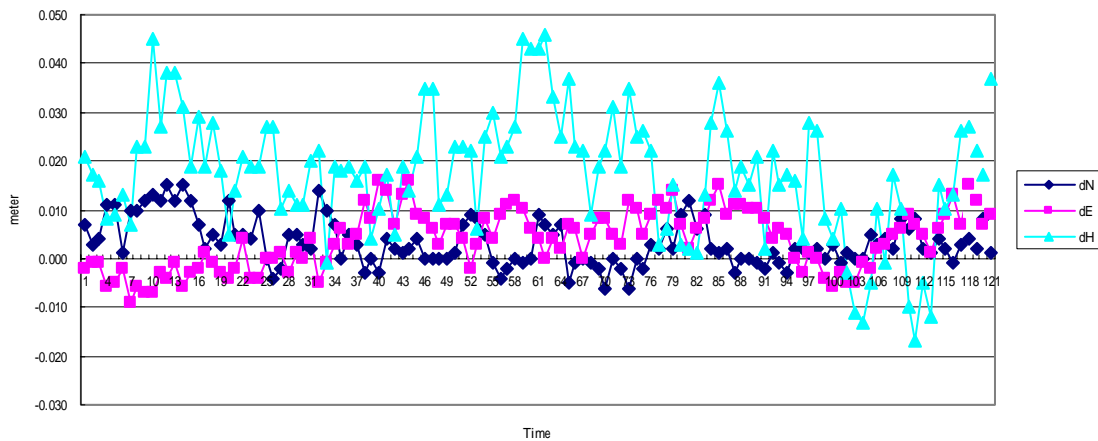


圖 3. 30 公里間距測試點位分佈圖

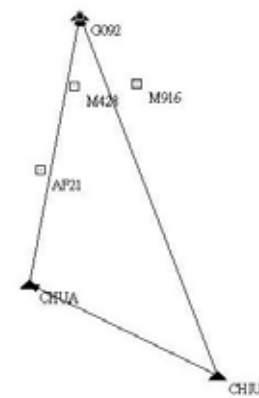
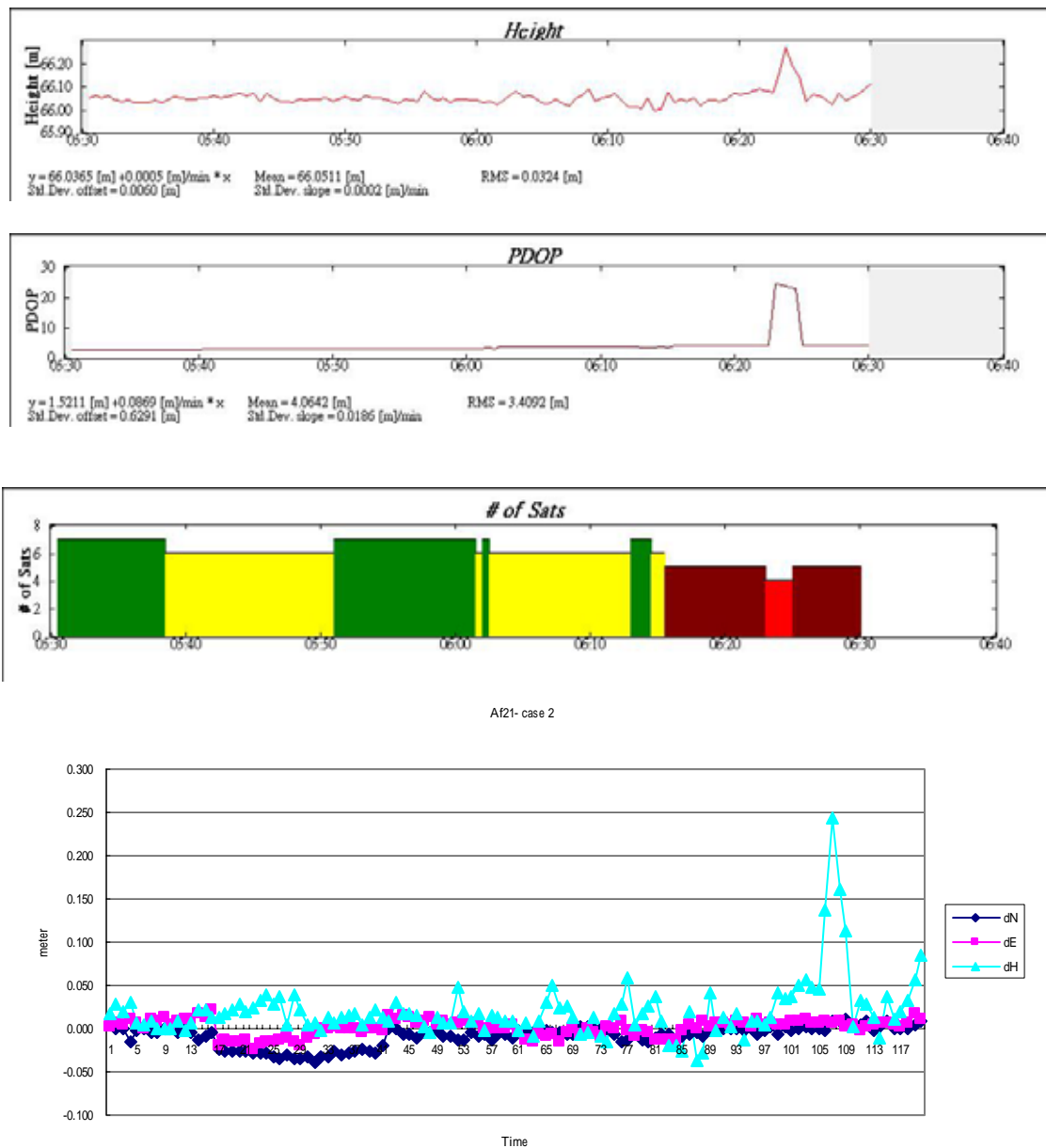


圖 4. 50 公里間距測試點位分佈圖

### 3-2 50 公里間距測試

設定 G092、CHIU 及 CHUA 等三個點位為固定站，分別測試 05:30 至 06:30 期間 M428、M916、AF21 等三個移動站；點位分佈圖如圖 4，三個移動站高程、PDOP、衛星顆數統計表、NEH 三個向量與 Bernese 解之較差等統計表如表 3 所示(以 AF21 為例)。

表 3. 第二測試區 AF21 各項統計值



### 3-3 70 公里間距測試

設定 G092、S167 及 ERLN 等三個點位為固定站，分別測試 05:30 至 06:30 期間 M428、M916、AF21 等三個移動站；點位分佈圖如圖 5，三個移動站高程、PDOP、衛星顆數統計表、NEH 三個向量與 Bernese 解之較差等統計表如表 4 所示(以 M916 為例)。

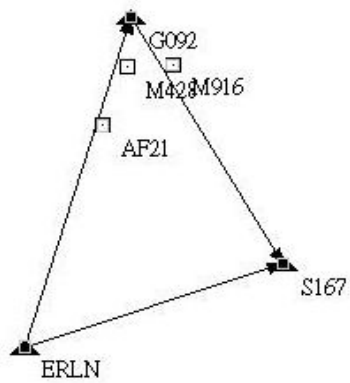
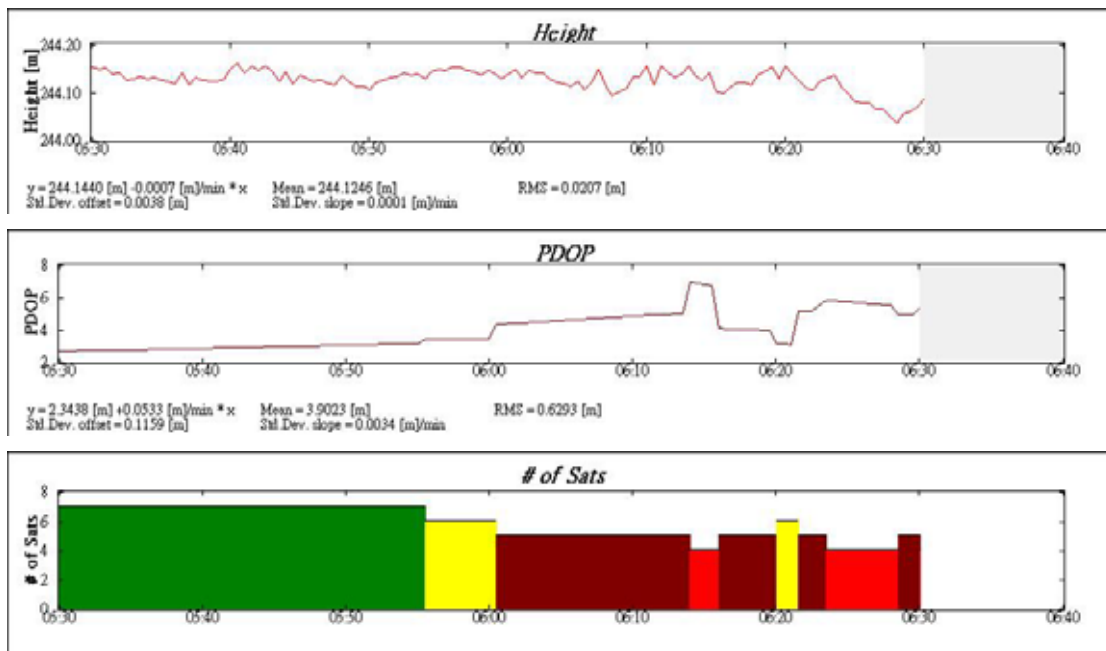
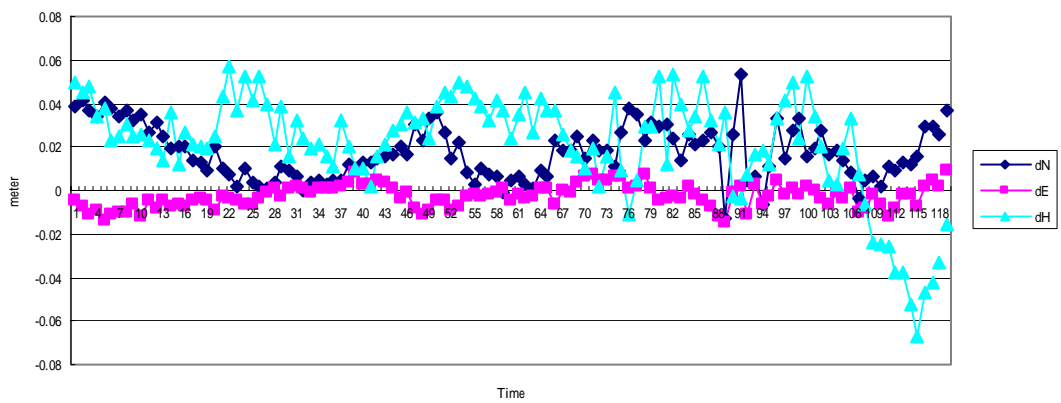


圖 5. 70 公里間距測試點位分佈圖

表 4. 第三測試區 M916 各項統計值



M916-case 3



### 3-4 測試結果

#### (1) 第一測試區

- A：固定站間距小，產生 VRS 觀測資料檔，共同衛星顆數較多，該測試時段內 121 個 epoch 之坐標均為 FIXED。
- B：06:23 PDOP 變大時，M916 與 AF21 高程分量之精度也變差，但在 N 與 E 向量之變化卻不及 H 向量大，顯然 PDOP 對高程精度影響較大。
- C：整體而言，dn 方向最大值出現在 AF21 約為 0.021M，dn 方向最小值出現在 AF21 約為-0.026M，de 方向最大值出現在 AF21 約為 0.028M，dn 方向最小值出現在 M428 約為-0.009M，dh 方向最大值出現在 AF21 約為 0.125M，dn 方向最小值出現在 M916 約為-0.06M，似乎符合點位位於外差，成果較差觀念，但因均符合要求規範且成果較差量級尚不明顯，另高程方向超出規範者約 5%（詳如下表 5）大多位於 06:23 時刻 PDOP 變大，顯示成果精度受與衛星分布幾何性因有關聯。

表 5. 第一測試區各方向較差值統計表

第一測試區			UNIT:M
點號	AF21	M428	M916
dn_max	0.021	0.015	0.019
dn_min	-0.026	-0.006	-0.008
>3cm 比例	3/121	0/121	0/121
de_max	0.028	0.016	0.01
de_min	-0.005	-0.009	-0.01
>3cm 比例	0/121	0/121	0/121
dh_max	0.125	0.045	0.044
dh_min	-0.03	-0.017	-0.06
>5cm 比例	7/121	0/121	1/121

#### (2) 第二測試區

- A：測試時刻內 121 個 epoch 之解均 FIXED。
- B：06:23 衛星顆數降至 4 顆、PDOP 高到 23.4，三個移動站之 NEH 方向之精度均變差，尤其是高程方向最差。
- C：整體而言，dn 方向最大值出現在 M916 約為 0.019M，dn 方向最小值出現在 M428 約為-0.014M，de 方向最大值出現在 AF21 約為 0.022M，dn 方向最小值出現在 AF21 約為-0.025M，dh 方向最大值出現在 M428 約為 0.248M，dh 方向最小值出現在 M916 約為-0.06M，似乎符合點位位於外差，成果較差觀念，但因均符合要求規範且成果較差量級尚不明顯，另同樣在整體計算結果中發現，121 筆測試資料中超過規範者大多位於高程方向且為外差者，為所佔比例 14%（詳如下表 6），同樣位 PDOP 值發生變化之時間段。



表 6. 第二測試區各方向較差值統計表

第二測試區			UNIT:M
點號	AF21	M428	M916
dn_max	0.01	0.012	0.025
dn_min	-0.004	-0.014	-0.017
>3cm 比例	9/121	0/121	0/121
de_max	0.022	0.018	0.017
de_min	-0.025	-0.002	-0.012
>3cm 比例	0/121	0/121	0/121
dh_max	0.244	0.248	0.185
dh_min	-0.036	-0.033	-0.032
>5cm 比例	9/121	4/121	18/121

(3) 第三測試區

- A：測試時刻內僅 M916 之 121 個 epoch 之解均為 FIXED，其餘 M428 與 AF21 分別於 06:23 及 06:08 時刻後即無法得到 FIXED 解。
- B：在 FIXED 解中 M428 與 AF21 在 N 方向與 H 方向之誤差較 E 方向大。
- C：整體而言，dn 方向最大值出現在 M428 約為 0.055M，dn 方向最小值出現在 AF21 約為-0.013M，de 方向最大值出現在 M428 約為 0.013M，de 方向最小值出現在 AF21 約為-0.019M，dh 方向最大值出現在 M428 約為 0.057M，dh 方向最小值出現在 M916 約為-0.067M，為本測試區在 dn、de 方向超出規範者甚多，顯示該項結果無法滿足規範要求（詳如下表 7）。

表 7. 第二測試區各方向較差值統計表

第三測試區			UNIT:M
點號	AF21	M428	M916
dn_max	0.041	0.055	0.053
dn_min	-0.013	-0.01	-0.009
>3cm 比例	22/121	9/121	55/121
de_max	0.009	0.013	0.01
de_min	-0.019	-0.009	-0.015
>3cm 比例	0/121	9/121	0/121
dh_max	0.057	0.057	0.057
dh_min	-0.067	-0.016	0.067
>5cm 比例	9/121	3/121	11/121

### 3-5 不同軟體比較分析

本次研究中，另採用成功大學自行開發程式與商業用軟體進行測試比較，下列表格中，分別採用 Bernese、TTC、YANG（自行研發）等三種軟體進行比較，其中 BERNESE 採用靜態解算模式，以連續解算七小時之成果為參考值，而 TTC、YANG 則以 OTF 方式解算，成果比較如下表 8-1 至 8-3。

成果中發現，在平面方向上 TTC、YANG 與 Bernese 成果較差均小於三公分，顯示計算成果值得信賴，在高程方向，YANG 與 TTC 或 Bernese 均約有十公分差值，經檢視分析成果及觀測資料發現，應是在高程方向 YANG 程式中未化算至相位中心所致，經查證以 LEICA AT504 天線盤為例，在美國大地測量局網頁上 ([Http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/](http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/)) 公佈資料顯示，由 0 檔內之天線盤儀器高參考平面 (ARP) 至相位中心位置平移差值量 L1:11.8cm，L2:12.0cm。

表 8-1. BERNESE、TTC 與 YANG 計算成果差值(單位:M)

	N_COORDS	E_COORDS	HEIGHT	METHOD
AF21				
TTC	2679060.601	206582.042	66.050	OTF
BERNESE	2679060.604	206582.033	66.031	STATIC
較差	(0.003)	0.009	0.019	
M428				
TTC	2691339.904	211640.251	203.283	OTF
BERNESE	2691339.901	211640.247	203.265	STATIC
較差	0.003	0.004	0.018	
M916				
TTC	2691765.221	220765.663	244.111	OTF
BERNESE	2691765.217	220765.664	244.103	STATIC
較差	0.004	(0.001)	0.008	

表 8-2. BERNESE、TTC 與 YANG 計算成果差值(單位:M)

	N_COORDS	E_COORDS	HEIGHT	METHOD
AF21				
TTC	2679060.601	206582.042	66.050	OTF
YANG	2679060.603	206582.039	66.143	OTF
較差	0.002	(0.003)	0.094	
M428				
TTC	2691339.904	211640.251	203.283	OTF
YANG	2691339.901	211640.241	203.204	OTF
較差	(0.003)	(0.009)	(0.079)	
M916				
TTC	2691765.221	220765.663	244.111	OTF
YANG	2691765.215	220765.669	244.182	OTF
較差	(0.006)	0.006	0.071	

表 8-3. BERNESE、TTC 與 YANG 計算成果差值(單位:M)

	N_COORDS	E_COORDS	HEIGHT	METHOD
AF21				
BERNESE	2679060.604	206582.033	66.031	STATIC
YANG	2679060.603	206582.039	66.143	OTF
較差	(0.001)	0.006	0.112	
M428				
BERNESE	2691339.901	211640.247	203.265	STATIC
YANG	2691339.901	211640.241	203.204	OTF
較差	(0.000)	(0.006)	(0.061)	
M916				
BERNESE	2691765.217	220765.664	244.103	STATIC
YANG	2691765.215	220765.669	244.182	OTF
較差	(0.002)	0.005	0.079	

其次，再以 LIYU、CHIN、CHIU、ERLN 及 S167 等五個追蹤站資料為例，使用自行開發程式 OTF 解法(YANG)與 BERNESE 之 STATIC 解法作比較，發現在 M916、AF21 及 M428 所組成之虛擬參考站之虛擬觀測資料檔中，往來常因常因虛擬觀測衛星數小於五顆(僅三、四顆)而無法求解，經排序觀測時間發現上開三站均位於白天，疑是因台灣地區電離層白天活動頻繁肇致無法短時間資料予以模式化，另外計算過程中發現因衛星起落造成儀器接收資料有周波脫落 (CYCLE SLIP)。

另外再使用連續追蹤站資料進行計算，以 CHUA、KZNI、WUFN 及 PINT 等四站資料發現，雖然可組成虛擬參考站且超過五顆衛星資料，但進行成果計算時卻發現成果與靜態求解相差甚大，經分析發現四個測站均有”區間”的現象，意指在謀些時刻內成果是穩定的，但一段時刻則改變，經分析比較發現應與組成過程中有衛星起落，造成資料誤判為周波脫落，其次因追蹤站資料為三十秒一筆，並不完全適合以 OTF 方式求解成果，倘又因各參考站間距離甚遠，無共同衛星且穩定接收衛星資料，造成組成虛擬參考站找不到合適的觀測量 (指在各參考站間均無 Cycle slip 現象發生)，而無法完成計算，故與最近的主站的距離，也是影響 VRS 成果的重要因素。

#### 四、 結論與建議

在台灣地區電離層屬活躍地區，因此電子基準站的設置間距宜考量加入安全係數，故應以五十公里為宜，並應考量與現有各單位固定站整合，以節省資源。另電子基準站的追蹤站 GPS 接收儀其功能應考慮近 10 年由 GPS 現代化問題以及歐盟之 Galileo，俄羅斯之 GLONASS 等相似系統的相容性，以免除採購的 GPS 接收儀快速過時、老化之可能造成營運以及時效性的缺失。

而由研究成果顯示，TTC 之 VRS 數據之品質與已知點坐標精度有關，倘原始觀測資料品質不佳，將使出始化解算基線及三角閉合解算不符，進而影響組成虛擬參考站的資料量，而 OTF 計算成果與 PDOP、RMS 及衛星顆數有密切關係，且由上述測試成果可知 VRS 觀測資料檔與固定站間距成反比，30km 間距產生之 VRS 資料檔與實際接收之移動站共同衛星顆數較多，OTF Fixed 解也最多。

## 五、 致謝

本研究感謝中央研究院地球學研究所余水倍博士及中央氣象局地震測報中心提供相關研究資料，特此致謝。

## 六、 參考文獻

成都加訊科技網頁。

曾清涼等，2003.04，台灣 e-GPS 電子基準站規劃設計及測試分析，期末報告，內政部土地測量局，台中。

曾清涼，2003，e-GPS/PL 擴增系統及其應用，水下搜尋及測量技術研討會，中山大學，高雄。

Landau, H., 2000a, GPS/GLONASS Reference Station Networks.

Landau, H., 2000b, Virtual Reference Station Networks --- Recent Innovations by Trimble.

Landau, H., U. Vollath and X. Chen, 2002, "Virtual Reference Station Systems," Journal of Global Positioning System, 2001, No.2, pp.137-143.

Vollath, U., A. Buecherl, and H. Landau, 2000, Long – Range RTK Positioning Using Virtual Reference Stations, The 13th International Technical Meeting, September 19-22, 2000, Salt Lake City, Utah, ION GPS2000.

Wubben, G., A. Bagge and M. Schmitz, 2001, RTK Networks based on Geo++ GNSMART—Concepts, Implementation, Results, ION GPS 2001, Salt Lake City, UT.