

國立交通大學

土木工程學系

博士論文

GPS 接收儀資料品質監控系統及校正系統之建立



研究生：葉大綱

指導教授：陳春盛

中華民國九十四年一月

GPS 接收儀資料品質監控系統及校正系統之建立

Constructing the Monitoring System of GPS Data Quality and the Calibration System for GPS Receivers

研究生：葉大綱

Student : Ta-Kang Yeh

指導教授：陳春盛 博士

Advisor : Dr. Chun-Sung Chen

國立交通大學

土木工程學系

博士論文



A Dissertation

Submitted to Department of Civil Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Doctor of Philosophy
in
Civil Engineering
January 2005
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年一月

GPS 接收儀資料品質監控系統及校正系統之建立

研究生：葉大綱

指導教授：陳春盛 博士

國立交通大學土木工程學系

摘要

在台灣地區，由內政部、中研院、氣象局、地調所及各學術團體所設置的 GPS 固定站已超過 100 座，未來若有了法定地位的賦予，將很有可能取代現有一等衛星控制點的功能。因此，各衛星追蹤站觀測資料品質的好壞就更形重要。此外，為了更能確保各型 GPS 接收儀其定位結果能否符合原預期之準確度，應用高準確度校正網，並追溯連繫至國際 IGS 固定站 ITRF 坐標系，依校正程序對 GPS 接收儀進行評估應是有效的方法。本文即構想建立一套 GPS 接收儀資料品質監控系統及校正系統。

首先，本研究採用了五項觀測資料品質指標，並探討這些指標與基線解算精度間之關聯性。結果發現，以接收儀內部頻率穩定度的影響最大，其次為週波脫落，再其次為多路徑效應。吾人即根據此一結果建立 GPS 資料品質自動化計算系統，針對內政部各衛星追蹤站觀測資料品質進行管制，希望能夠藉由此一監控流程，當儀器發生故障或追蹤站環境發生變化時，能早期發現問題儘早處理異常狀況，藉以確保各追蹤站觀測資料的品質。

此外，並建立高準確度校正網及校正程序，依 ISO 建議方法，評估校正場坐標之不確定度。成果顯示該校正場固定站 TNML 之 ITRF 坐標，在 95% 信賴水準，三向度擴充不確定度為 33.2 mm。超短距離校正場各校正點，相對固定站 TNML (基線距離約 50 m)，在 95% 信賴水準，相對位置之三向度擴充不確定度為 2.2 mm；若相對固定站 TWTF (基線距離約 25 km)，在 95% 信賴水準，相對位置之三向度擴充不確定度為 13.4 mm。而短距離校正場各校正點，相對固定站 TNML (基線距離約 5 km)，在 95% 信賴水準，相對位置之三向度擴充不確定度

為 17.6 mm。此校正網各校正點之坐標不確定度，將作為相關校正服務之主要依據，藉以確保 GPS 接收儀之定位品質及可靠度。



Constructing the Monitoring System of GPS Data Quality and the Calibration System for GPS Receivers

Student : Ta-Kang Yeh

Advisor : Dr. Chun-Sung Chen

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

In Taiwan, there are more than one hundred GPS tracking stations maintained by Ministry of the Interior (MOI), Academia Sinica, Central Weather Bureau and Central Geological Survey. In the further, they may be instead of the GPS controlling points after giving the lawful status. Therefore, the data qualities of the tracking stations are more and more important. For maintaining and ensuring the positioning accuracy of the GPS receivers, an accurate and efficient system for calibrating the GPS receivers must be established. A highly accurate GPS calibration network, tied to the ITRF coordinates of IGS stations, can be effectively used to evaluate the performance of GPS receivers. This study addresses the feasibility of establishing a system for monitoring and calibrating GPS receivers

First, five data quality indexes were adopted and the relationships of the indexes and the positioning precision were found. The frequency stability of GPS receiver is the most important index, the cycle slip is the second index, and the multipath is the third index. According to the results, the auto-analytical system of GPS data quality was established and the MOI's tracking stations were monitored. When the receiver got some problem or the station's environment changed, we hope to find and resolve the problems earlier to make sure the high data quality of the tracking stations.

Moreover, uncertainties of the GPS calibration network are evaluated based on the method suggested by the ISO (International Organization for Standardization). Analytical results indicate that the 3-D expanded uncertainty of the main station TNML in the ITRF system is around 33.2 mm at the 95% confidence level. The 3-D expanded uncertainties of the calibration points of ultra-short distance network are

evaluated to be about 2.2 mm in relation to the main station TNML (the distance are around 50 m) at the 95% confidence level. The 3-D expanded uncertainties of the calibration points of ultra-short distance network are evaluated to be about 13.4 mm in relation to the main station TWTF (the distance are around 25 km) at the 95% confidence level. The 3-D expanded uncertainties of the calibration points of short distance network are evaluated to be about 17.6 mm in relation to the main station TNML (the distance are around 5 km) at the 95% confidence level. The uncertainties of the network's coordinates are obtained and used as a basis for calibration. The precision of the coordinates suffices to calibrate GPS receivers to ensuring the precision and reliability of positioning.



誌 謝

若新竹是我的第二故鄉，交大就是我第二個家。在交大的這十一年多，我從一個十八歲剛考上大學的“少年仔”，到現在已經變為年過三十的“大人”了，回想在這裡的一切酸甜苦辣，彷彿昨天才發生似的。在求學的期間，承蒙恩師陳春盛教授在課業上的悉心指導及生活上的鼓勵與提攜，使本論文得以順利完成；而測量組史天元教授的照顧與關心、黃金維教授不厭其煩的傳授知識與解惑、李振燾教授在 GPS 定位理論上的啟蒙與指導，皆使我受益匪淺，感謝老師的諄諄教誨。同時，更要感謝五位口試委員—楊潔豪校長、吳究教授、李瓊武博士、黃金維教授、李振燾教授之不吝指正與建議，使本文得以更臻完備。

此外更要感謝我的主管—工研院量測中心李瓊武博士在我求學及工作期間的多方面照顧，有了您的支持，才讓我有繼續完成學位的動力；工研院同仁森祥、明偉、輝欽以及“同梯”彥良在工作上的相互協助與提攜，讓工作上的壓力轉變為生活上的充實與成就感；而“前同事”傅盛扮演最佳救火員的角色，總是在我面臨挫折與困難時，適時的伸出援手。測量組同學旭志、勢芳、偉嘉、泰璋、俊寰、美利及歷屆前後期的學長姐、學弟妹們，在生活及課業上的切磋及支援，這一路走來，幸有這些好友們的陪伴，由衷地謝謝各位。

而博士班唯一的同學，也是最照顧我的學長—內政部王成機組長不論在生活、課業上以及工作上的照顧與支持，才讓我無後顧之憂的向前衝；內政部長官南松、鉅富及純傑在工作上的包容與肯定，讓我更有自由發揮的空間；還有美國 SIO 的方鵬博士在 GPS 資料處理上的建議，德國 GFZ 許國昌博士、中華電信研究所彭新民博士在 GPS 頻率解算上的指導，都讓我獲益良多。

最後，感謝父母親三十年來辛苦的教養及栽培，爸媽不斷地支持、鼓勵及無微不至的照顧，是我完成每個求學階段的最大原動力；雖然哥哥已無緣看到這本論文的完成，但我相信是他在天上，一直默默的守護與保佑著我，才讓這一切的一切過得如此的順利。

在此，謹以本論文獻給我最摯愛的雙親以及我最敬愛的哥哥。

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
誌 謝.....	v
目 錄.....	vi
表目錄.....	x
圖目錄.....	xi
第一章 前言.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 文獻回顧.....	2
1-3 研究方法與內容.....	4
第二章 理論基礎與軟體簡介.....	6
2-1 GPS 定位誤差來源.....	6
2-1-1 對流層折射誤差.....	6
2-1-2 電離層折射誤差.....	7
2-1-3 天線相位中心誤差.....	7
2-1-4 衛星及接收儀時錶誤差.....	8
2-1-5 GPS 衛星軌道誤差.....	9
2-1-6 固定站坐標誤差.....	9
2-1-7 整數週波未定值之求解.....	9
2-1-8 週波脫落.....	9
2-1-9 多路徑效應.....	10
2-2 量測品質與不確定度評估.....	11
2-2-1 量測不確定度的定義.....	11
2-2-2 緣起與重要性.....	12
2-2-3 數學模式之建構.....	14
2-2-4 量測不確定度之分類與評估.....	15
2-2-5 組合標準不確定度及擴充不確定度之評估.....	23

2-3	Bernese 軟體介紹	27
2-3-1	過去的發展	27
2-3-2	主要的功能及架構	27
2-3-3	特性及應用層面	28
2-4	Teqc 軟體介紹	30
第三章	提昇 GPS 定位精度之策略	32
3-1	以觀測量不等權法修正對流層折射誤差	32
3-1-1	對流層折射誤差之影響	32
3-1-2	ME5000 測距系統簡介	33
3-1-3	測試場地及實驗步驟說明	34
3-1-4	資料處理與結果分析	35
3-2	以交換天線法修正天線相位中心誤差	37
3-2-1	天線相位中心誤差之影響	37
3-2-2	以實測 GPS 法率定相位中心誤差	39
3-2-3	測試場地及實驗步驟說明	40
3-2-4	資料處理與結果分析	41
第四章	GPS 接收儀資料品質監控系統之建立	45
4-1	接收儀時錶誤差對於 GPS 定位精度之影響	45
4-1-1	觀測資料收集	45
4-1-2	時間偏移量及頻率穩定度評估	47
4-1-3	GPS 靜態相對定位精度評估	51
4-2	觀測資料品質對於 GPS 定位精度之影響	55
4-2-1	觀測資料品質指標	55
4-2-2	實驗方法及儀器	56
4-2-3	觀測資料品質指標的計算結果	57
4-2-4	短、中、長距離靜態相對定位的計算結果	60
4-2-5	品質指標與相對定位精度之相關性	63
4-3	GPS 接收儀觀測資料品質監控系統之建立	64
4-3-1	內政部衛星追蹤站簡介與國外類似系統的介紹	64
4-3-2	觀測資料品質自動化計算	69

4-3-3	接收儀時錶誤差自動化計算	72
4-3-4	三維坐標自動化計算	73
第五章	GPS 接收儀校正系統之建立	76
5-1	系統簡介	76
5-2	量測系統追溯圖	79
5-3	不確定度分析程序	81
5-3-1	固定基站 TNML 坐標之不確定度	82
5-3-2	超短基線校正基點 NML3&4&5&6&7 坐標之不確定度	87
5-3-3	短基線校正基點 C132&128&093 坐標之不確定度	93
5-4	量測品保	97
5-4-1	品保設計	97
5-4-2	程序參數及管制圖	98
5-5	校正方法	107
5-5-1	校正步驟	107
5-5-2	資料分析說明	109
5-6	校正報告範例	110
第六章	結論與建議	113
6-1	本研究之結論	113
6-2	後續研究之建議	114
	參考文獻	116
附錄 A	ME5000 測距系統技術規範	121
附錄 B	觀測資料品質自動計算程式原始碼	124
附錄 C	內政部衛星追蹤站資料品質管制圖	130
附錄 D	BPE 的環境設定說明	138
附錄 E	BPE 的執行程序說明	141
附錄 F	接收儀時錶誤差自動計算程式原始碼	145
附錄 G	內政部衛星追蹤站時錶誤差管制圖	154
附錄 H	三維坐標自動計算程式原始碼	162
附錄 I	內政部衛星追蹤站三維坐標變動量	175
附錄 J	常用計量學術語	179

作者簡歷.....182
學術著作目錄.....183



表 目 錄

表 2-1	變異數分析表	18
表 2-2	常態分配與 t 分配之擴充係數誤差百分比	26
表 2-3	95%信賴水準下之 t 分配機率表	27
表 3-1	GPS 外業測試說明	35
表 3-2	同型天線 (Trimble-Trimble) 相位中心改正前後之標準差	42
表 3-3	混合不同型天線 (Trimble-Ashtech) 相位中心改正前後之標準差	42
表 3-4	混合不同型天線 (Trimble-Leica) 相位中心改正前後之標準差	43
表 4-1	TNML 站之時間偏移量及頻率穩定度	49
表 4-2	TNML 站之觀測資料品質	52
表 4-3	測試儀器整置樁位一覽表	56
表 4-4	各型接收儀之 mp1、mp2 及 o/slps	58
表 4-5	各型接收儀之 tp 及 fp	59
表 4-6	長、中、短距離相對定位之基線標準差	61
表 4-7	長距離相對定位之三軸坐標標準差及合成量	62
表 4-8	中距離相對定位之三軸坐標標準差及合成量	62
表 4-9	短距離相對定位之三軸坐標標準差及合成量	62
表 4-10	觀測品質指標及相對定位精度之相關性分析 (4 小時)	63
表 4-11	觀測品質指標及相對定位精度之相關性分析 (2 小時)	63
表 5-1	固定基站 TNML 坐標之不確定度分析表	86
表 5-2	校正基點 NML3&4&5&6&7 三軸向標準差 (2001 年 7 月)	88
表 5-3	校正基點 NML3&4&5&6&7 三軸向標準差 (2001 年 11 月)	88
表 5-4	校正基點 NML3&4&5&6&7 相對於 TNML 坐標之不確定度分析表 ..	89
表 5-5	校正基點 NML3&4&5&6&7 相對於 TWTF 坐標之不確定度分析表 ..	92
表 5-6	校正基點 C132&128&093 三軸向標準差	94
表 5-7	校正基點 C132&128&093 相對坐標之不確定度分析表	95

圖目錄

圖 2-1	天線物理中心、平均相位中心與瞬間相位中心之關係	8
圖 2-2	多路徑幾何關係圖	11
圖 2-3	A 類評估方法之單組樣本分析流程	16
圖 2-4	A 類評估方法之多組樣本分析流程	17
圖 2-5	常態分配的機率分配圖	21
圖 2-6	矩形分配的機率分配圖	21
圖 2-7	三角分配的機率分配圖	22
圖 2-8	U 型分配的機率分配圖	23
圖 2-9	B 類評估方法分析流程	23
圖 2-10	Bernese 軟體資料處理流程	29
圖 2-11	Teqc 的主要功能	31
圖 3-1	新竹中距離基線網分佈概略圖	34
圖 3-2	C128-C093 基線 (約 1.4 km) 加權前後計算結果	36
圖 3-3	C128-C009 基線 (約 2.4 km) 加權前後計算結果	36
圖 3-4	C128-C132 基線 (約 8.5 km) 加權前後計算結果	37
圖 3-5	同時求解天線相位中心偏移量及測站坐標	40
圖 4-1	TNML 站所使用的 GPS 接收儀及銣原子鐘	46
圖 4-2	TNML 站所使用的天線盤	46
圖 4-3	TWTF 站所使用的 GPS 接收儀	47
圖 4-4	TWTF 站所使用的銻原子鐘	47
圖 4-5	TWTF 站所使用的天線盤	48
圖 4-6	使用石英鐘之時間偏移量	50
圖 4-7	使用石英鐘之頻率穩定度	50
圖 4-8	使用銣原子鐘之時間偏移量	51
圖 4-9	使用銣原子鐘之頻率穩定度	51
圖 4-10	使用石英鐘之短距離靜態相對定位三維坐標變化量	53
圖 4-11	使用銣原子鐘之短距離靜態相對定位三維坐標變化量	53

圖 4-12	使用石英鐘之長距離靜態相對定位三維坐標變化量	54
圖 4-13	使用鈷原子鐘之長距離靜態相對定位三維坐標變化量	54
圖 4-14	測試所採用的儀器	57
圖 4-15	國家超短基線校正場平面示意圖	57
圖 4-16	美國海軍天文台	59
圖 4-17	TWTF 及 PKGM 追蹤站分布圖	60
圖 4-18	USUD 追蹤站分布圖	60
圖 4-19	IGS 的 TWTF 站資料品質管制圖	66
圖 4-20	內政部的墾丁站、陽明山站資料品質管制圖	66
圖 4-21	IGS 連續觀測站分佈圖	67
圖 4-22	台灣地區 IGS 連續觀測站分佈圖	68
圖 4-23	SIO 計算 TNML 及 TCMS 站的三維坐標變動量	68
圖 4-24	JPL 計算 TNML 及 TCMS 站的三維坐標變動量	69
圖 4-25	衛星追蹤站接收資料查詢網頁	70
圖 4-26	觀測資料品質數據查詢結果	71
圖 4-27	觀測資料品質管制圖查詢結果	71
圖 4-28	接收儀時錶誤差管制圖計算成果	73
圖 4-29	台灣地區附近的 IGS 固定站分布圖	74
圖 4-30	坐標變化圖查詢網頁	75
圖 4-31	三維坐標變動圖查詢結果	75
圖 5-1	固定基站基樁設置型式	77
圖 5-2	校正基點 NML3&4&5 基樁設置型式	77
圖 5-3	超短基線校正場平面示意圖	78
圖 5-4	短基線校正場平面示意圖	78
圖 5-5	四個國際 IGS 固定站位置示意圖	79
圖 5-6	TNML 衛星定位儀頻率校正結果	80
圖 5-7	GPS 相對定位處理單元追溯性示意圖	81
圖 5-8	TNML_ITRF97 坐標較差量折線圖 (Day of Year 5~240, 2001)	82
圖 5-9	TNML_ITRF97 坐標較差量折線圖 (Day of Year 198~240, 2001)	83
圖 5-10	TNML_ITRF2000 坐標較差量折線圖 (Day of Year 24~240, 2002)	84

圖 5-11	TWTF_ITRF2000 坐標較差量折線圖 (Day of Year 125~290, 2002) ..	91
圖 5-12	固定基站 TNML 坐標管制圖 (2001 年)	99
圖 5-13	固定基站 TNML 坐標管制圖 (2002 年)	100
圖 5-14	NML3&4&5&6&7 校正基點斜距管制圖	102
圖 5-15	超短距離 GPS 基線斜距與精密 EDM 測距比對較差	103
圖 5-16	C132&128&093 校正基點管制圖	104
圖 5-17	短距離 GPS 基線斜距與精密 EDM 測距比對較差	105
圖 5-18	AOA BenchMark 觀測資料品質指標管制圖	107
圖 C-1	內政部鳳林衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)	130
圖 C-2	內政部墾丁衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)	131
圖 C-3	內政部金門衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)	132
圖 C-4	內政部馬祖衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)	133
圖 C-5	內政部北港衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)	134
圖 C-6	內政部太麻里衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)	135
圖 C-7	內政部東沙衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)	136
圖 C-8	內政部陽明山衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)	137
圖 D-1	PCF 檔檔案範例	139
圖 G-1	內政部鳳林衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)	154
圖 G-2	內政部墾丁衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)	155
圖 G-3	內政部金門衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)	156
圖 G-4	內政部馬祖衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)	157
圖 G-5	內政部北港衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)	158
圖 G-6	內政部太麻里衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)	159
圖 G-7	內政部東沙衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)	160
圖 G-8	內政部陽明山衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)	161
圖 I-1	內政部鳳林衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)	175
圖 I-2	內政部鳳林衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)	175
圖 I-3	內政部鳳林衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)	176
圖 I-4	內政部鳳林衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)	176
圖 I-5	內政部鳳林衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)	177

圖 I-6 內政部鳳林衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)177

圖 I-7 內政部鳳林衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)178

圖 I-8 內政部鳳林衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)178



第一章 前言

1-1 研究動機與目的

全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 在近十年來於世界各地廣泛地使用著，由於 GPS 的作業快速、方便且高精度。因此，GPS 已普遍應用在地體動力學、板塊運動、極運動、地殼變形、斷層等方面之偵測，且更普遍地使用在大地測量與平面測量上，如國家級三角點之建立、控制點之測設、地區控制點之監測等。

此外，GPS 所測得的成果不僅有平面向坐標，同時還有垂直向坐標，因此亦經常應用在垂直系統之監測與測設，如垂直基準之測設與補強、驗潮站之監測、大地起伏差之測量、垂直變形之監測等；但 GPS 高程精度相較於水平精度約略遜 2~3 倍，其原因可能是對流層折射效應不易改正、天線相位中心誤差、多路徑效應的影響、接收儀內部時鐘的誤差以及載波週波脫落現象所致【Leick, 1995】；因此，吾人即針對對流層折射誤差及天線相位中心誤差修正模式進行研究，期望能提升 GPS 定位的精度及可靠度。

在台灣地區，由內政部、中研院、氣象局、中央地調所及各學術研究團體所設置的 GPS 固定站已超過 100 座，未來若有了法定地位的賦予，將很有可能取代現有一等衛星控制點的功能。將來，使用者不需在已知點架設 GPS，僅需透過網路下載測區附近的 GPS 固定站資料，即可透過相對定位計算出未知點的坐標，可大大的減少外業工作量。因此，各衛星追蹤站觀測資料品質的好壞就更形重要。本研究即構想建立一套監控系統，針對各衛星追蹤站觀測資料品質進行管制，希望能夠藉由此一監控流程，當儀器發生故障或追蹤站環境發生變化時，能早期發現問題儘早處理異常狀況，藉以確保各追蹤站觀測資料的品質。

而在建立此一監控系統之前，必須先探討 GPS 觀測資料品質與基線解算精度間之關聯性，找出影響量較大的品質指標並加以監控。本文採用了五項觀測資料品質指標，分別為接收儀內部時鐘的穩定度、接收儀內部時鐘與 GPS 時鐘的平均偏差量、『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』、L1 載波的多路徑效應、L2 載波的多路徑效應，並撰寫程式每天予以自動化計算及繪圖，且自動更新於網頁上，讓使用者下載觀測資料時可以同時看到當天資料的好壞。

此外，為了更能確保各型 GPS 接收儀其定位結果能否符合原預期之準確度，應用高準確度校正網，並追溯連繫至國際 IGS 固定站 ITRF 坐標系，依校正程序對 GPS 接收儀進行評估應是有效的方法。因此，建立高準確度校正網及校正程序，並依 ISO 建議方法，評估校正場坐標之不確定度。此校正網各校正點之坐標不確定度，將作為相關校正服務之主要依據，藉以確保 GPS 接收儀定位品質及可靠度。

1-2 文獻回顧

在對流層折射誤差修正方面，只要獲得 GPS 訊號沿傳播路徑上的折射率，即可藉由積分式計算出沿路徑上的對流層折射延遲量。然而，實際上幾乎不可能獲得沿路徑上的折射率；因此，國外許多學者分別提出各種數學模式來計算天頂向的折射率，且經過與實測資料進行比對而證實，這些模式在天頂向之延遲修正皆可達到 1 cm 以內的精度【Janes et al., 1991】。

而在實際應用的時候，僅需將天頂向的延遲量 r_h 乘上歸算函數（Mapping Function，簡稱為MF），即能化算到不同路徑上之延遲量 r_s （即 $r_s = r_h \times MF$ ）。但是大部分的歸算函數在仰角愈低時（10 度以下）精度劣化迅速，在某些太空應用領域如VLBI、SLR等有時需要用到低角度資料時，則顯出歸算函數的重要性。因此，Niell在其MF中提出方便的經驗法以計算MF值，僅須知道時間、緯度及仰角即可算出來【Niell, 1996】，使得在GPS應用上變得可行，且仍可達到甚高之精度。

但由於大氣的複雜多變，折射並非均勻對稱【MacMillan, 1995】，而使得對流層折射效應不易改正；因此，Rothacher 等人提出針對觀測量加權的考量【Rothacher et al., 1997】，吾人即以此構想，合理的計算 GPS 資料，進而提昇 GPS 定位之精度【Chen and Yeh, 2002】。

在天線相位中心誤差修正方面，1992 年 Rothacher 等人發現在 Zimmerwald 固定站每日所測得的 GPS 結果與 SLR 測得所的結果相比較，於高程上約有 10 公分的差異。此 GPS 量測是在基線兩端分別設置 Rogue Dorne Margolin B 天線盤及 Trimble 4000ST L1/L2 GEOD 天線盤進行量測，此高程 10 公分的差異後來證實是 Rogue 與 Trimble 天線相位中心不一致所造成的。之後，他們再以混合不同

型式天線於長基線進行量測時（基線長約 1200 公里），其量測結果與 ITRF93 之值相比較，發現若未進行相位中心改正，其高程之誤差可達約 11 公分，而若於 GPS 計算時加入相位中心改正，則其高程之誤差僅有 2 公分左右【Rothacher et al.,1995】。因此，可知相位中心改正對 GPS 量測精度有絕對的影響。

未模式化的相位中心誤差對於測定電離層及對流層模式時亦會造成系統誤差，為了改正由相位中心偏移及變化所造成的誤差，於量測工作中所使用的 GPS 天線都應加以率定【Rothacher et al.,1996】，也就是要建立每一種型式的天線，甚至每一個單一天線，其隨方位角及仰角而改變的相位中心變化改正模式。

在資料品質監控系統及校正系統方面，最早由美國 Federal Geodetic Control Subcommittee（簡稱 FGCS，隸屬於 NGS）開始進行 GPS 接收儀的檢驗工作。其測試的工作乃是由廠商或使用者提出，再根據 FGCS 所推薦的測試計畫，由廠商或使用者依情況自行調整，然後在預定的測試時間前 8-10 週向 FGCS 提出申請，待審核通過後，FGCS 便會配合進行測試工作。

基本上儀器廠商會對自己所生產的某一型式儀器提出測試要求，因此在進行測試工作時，都是同一型號儀器，然後再配合該型儀器所搭配的軟體，並不會針對每一部儀器進行特別的測試。整體而言，FGCS 並無特定的檢定方法，但基本上皆以基線的重複性、短基線以及長基線的閉合差、平差計算後的坐標比較為主要判斷依據。

而在 1995 年，中華人民共和國國家測繪局公布了一份全球定位系統測量型接收機檢定規程，其檢驗的精神乃是針對每一部 GPS 接收儀而設計，目的是為了測試 GPS 接收儀的儀器性能、工作特性及其可能達到的精度水平。就其所列舉的檢驗項目而言，除了可以計算不同長度的基線以評估儀器性能外，該規範亦將儀器配件、配對天線盤相位中心、配合計算軟體、氣象測試儀器、接收儀頻率穩定性、儀器耐溫程度皆考慮進去【國家測繪局，1995】。

而在不同基線長度的檢驗精度方面可分為零基線、超短基線、短基線、中長基線四項，其中零基線以及超短基線是為了測試儀器內部雜訊而設計，而短基線以及中長基線則是測試 GPS 接收儀野外作業的性能。其中，短基線是利用直接比較法，將待校儀器量測值與參考標準之差值與儀器精度做一比較；而中長基線是利用基線比對以及基線重複性兩種方式來進行評估。整體而言，該規範針對每一部 GPS 接收儀所提出的檢定規範具有相當的完整性。

而國內於 2000 年開始有學者探討 GPS 觀測雜訊影響基線向量之相關性【朱明亮、李振燾，2000】，並著眼於探討 GPS 觀測資料品質與相對定位精度之相關性，提出了四項 GPS 觀測資料品質指標【葉大綱等，2002】；內政部土地測量局也於 2002 年提出了一份 GPS 接收儀檢定標準作業規範，開啟了國內 GPS 接收儀的檢定標準雛形【內政部，2002】。

1-3 研究方法與內容

進行 GPS 資料處理時，欲得到高精度的定位成果，必須詳加考慮會影響到定位精度的各種誤差來源，並且一一加以改正。因此，吾人採用瑞士伯恩大學天文研究所研發的 Bernese 軟體，該軟體也是全球定位系統大學聯盟（University NAVSTAR Consortium, UNAVCO）所推薦的三套軟體之一，該軟體可針對各項誤差來源一一加以修正，而得到高精度的定位結果。

而為了要提升 GPS 相對定位的精度，吾人分別提出了以觀測量不等權法修正對流層折射誤差及以交換天線法修正天線相位中心誤差，並採用了五項觀測資料品質指標，藉以探討各項指標與定位精度的相關性及影響量。進而建立一套觀測資料品質監控系統，希望能夠藉由此一監控流程，當儀器發生故障或追蹤站環境發生變化時，能早期發現問題儘早處理異常狀況，藉以確保各追蹤站觀測資料的品質。

此外，並建立高準確度校正網及校正程序，依 ISO 建議方法，評估校正場坐標之不確定度。此校正網各校正點之坐標不確定度，將作為相關校正服務之主要依據，藉以確保 GPS 接收儀之定位品質及可靠度。

本文內容主要分為六個章節及十個附錄，各章節安排如下：

第一章為前言，主要在說明本文的研究動機與目的、文獻回顧和研究方法與內容。第二章說明理論基礎與軟體簡介，內容包括 GPS 定位誤差來源、量測品質與不確定度評估及 Bernese、Teqc 的軟體介紹。第三章闡述提昇 GPS 定位精度之策略，分別提出了以觀測量不等權法修正對流層折射誤差及以交換天線法修正天線相位中心誤差。第四章說明 GPS 接收儀資料品質監控系統之建立，首先分別探討接收儀時錶誤差與觀測資料品質對於 GPS 定位精度之影響，最後針對內政部衛星追蹤站建立了一套 GPS 接收儀觀測資料品質監控系統。第五章闡述 GPS

接收儀校正系統之建立，內容包括系統簡介、量測系統追溯、不確定度分析、量測品保，最後說明了校正方法，並提出校正報告範例。第六章為結論與建議，總結敘述本研究之成果，並提出後續研究之建議。

至於附錄 A 簡單介紹了 ME5000 測距系統技術規範；附錄 B 提供了觀測資料品質自動計算程式原始碼；附錄 C 收錄了 2003 年下半年，內政部八個衛星追蹤站觀測資料品質的部分成果；附錄 D、E 則分別闡述 BPE 的環境設定與執执行程序說明；附錄 F 提供了接收儀時錶誤差自動計算程式原始碼；附錄 G 收錄了 2003 年下半年，內政部八個衛星追蹤站接收儀時錶誤差的部分成果；附錄 H 提供了三維坐標自動計算程式原始碼；附錄 I 則彙整了 2003 年至 2004 年間，內政部八個衛星追蹤站坐標計算成果；而附錄 J 則針對一些常用的計量學術語進行解釋，提供給未來的研究者參考。



第二章 理論基礎與軟體簡介

2-1 GPS 定位誤差來源

2-1-1 對流層折射誤差

一般探討對流層，乃指地表算起向上約 50 公里高度範圍內之大氣底層，其包含了對流層、對流層頂及同溫層【劉至忠，1994】。對於頻率小於 30 GHz 之無線電訊號傳播而言，對流層乃屬於非散射性介質，這也就是說，無線電訊號在其中的傳播速度與頻率無關，而 GPS 之 L1 與 L2 載波頻率分別為 1575.42 MHz 及 1227.60 MHz，即意謂 GPS 訊號在對流層中之傳播是非散射性的，亦即其傳播路徑之延遲與頻率無關，此影響量對 GPS 載波之 L1 及 L2 是相同的。但是，GPS 訊號在對流層的折射量乃與訊號傳播路徑上的空氣折射率有關，而空氣折射率則與大氣壓力、溫度和濕度有一定的函數關係，且氣象是會因時、因地而變的，故折射量也會隨之而變。而由於對流層折射所造成的影響，在天頂方向可使無線電訊號之傳播路徑差達 2.3 m，當仰角為 10°時可達 20 m【Wells et al., 1986】，這種影響在高精度定位中是必須加以考慮的。

對流層折射效應對基線的影響可以表示如下【郭隆晨，1991】：

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{d\rho(0)}{R} \cdot \frac{1}{\cos Z_{\max}} \quad (2-1)$$

其中：

Δl ：為對流層折射引起之基線長誤差量

l ：為基線長

$d\rho(0)$ ：為對流層天頂向之折射量

R ：為地球半徑

Z ：為衛星之天頂距

若地球半徑 $R=6371$ km， $Z_{\max}=70^\circ$ 時，忽略整個對流層天頂向折射量（約 2.3m），其對基線影響約 1 ppm。而在無甚可靠的氣象資料，濕延遲部份若有 10% 誤差的話，則會造成 0.1 ppm 的尺度誤差。若每一測站有精確氣象資料，且高差不大或觀測時間長而足以平均其異常現象，則 $d\rho(0)$ 因模式不佳所造成的共同誤

差應不至於超過 5 cm。

由以上可知，對流層延遲與空氣折射率相關，而空氣折射率則受氣象因素之氣壓、溫度、相對濕度影響。因此，理論上隨著地區及時間之改變，對流層之延遲效應也會跟著改變。

2-1-2 電離層折射誤差

對於電離層之定義【李振燾，1995】：『電離層為地球上大氣層之一部份，它充滿著離子和電子足以影響無線電波之傳播。』電離層分佈於地球大氣層的頂部，約自地表起算 50 公里至 2000 公里之範圍，而為方便模式應用，通常假設電離層以一極薄且均勻的球狀層代表所有電子全部集中於此層中。

由於無線電訊號實際傳播的空間並不是真空，而是充滿以大氣為介質的空間。因此，由接收儀所記錄的資料中已隱含有大氣折射效應，而大氣折射對 GPS 觀測結果所產生的影響，往往都超過 GPS 精密定位所容許的精度範圍，所以必須以有效的方法來消除或降低大氣折射的影響。

影響 GPS 衛星無線電訊號傳播速度的原因，主要是受到訊號傳播路徑上自由電子之折射所致【Campbell, 1993】，根據實際資料的分析已知，對於 GPS 測量，因電離層折射引起無線電訊號傳播路徑的距離差，沿天頂方向最大可達 50 m，而沿水平方向最大可達 150 m【Wells et al., 1986】。而自由電子含量之大小，會隨觀測地點、時刻、方位、天頂距、每日的、每年的、季節的變化而變，也會隨地磁或太陽活性大小而增減。

2-1-3 天線相位中心誤差

GPS 天線接收到衛星信號的位置稱為相位中心，目前應用於 GPS 量測工作之各型天線，其物理中心與相位中心位置通常不一致，且相位中心並非穩定的點，相位中心會隨著信號來源方向改變，此即為相位中心變化。GPS 接收儀天線相位特性可分別以信號來源的仰角及方位角加以描述，一個理想的天線其隨著仰角而改變的相位模式應是相當平緩的，甚至應該是不受仰角變化的影響；而隨著方位角而改變的相位模式則應盡可能與方位角成正比，然而，實際的天線相位特性並非如此【Imakiire et al., 1997】。

對於同一天線而言，L1 與 L2 信號的相位中心是不相關的，僅有在偶然的情況下會有一致的情形發生；不同型天線間的相位中心亦不相同，而同型天線其相位中心則會趨於一致【Gurtner and Liu, 1995】。天線相位中心會因衛星信號來源

方向而改變，亦即相位中心之變化與信號來源方向之仰角及方位角有關。與仰角相關之相位中心變化，其主要造成相對高程量測上的誤差及測站間基線之尺度誤差，而與方位角相關之相位中心變化則會導致水平位置的誤差【Rothacher et al., 1995】。

天線相位中心誤差可細分為兩方面討論：

- (1) 天線平均相位中心的位置與天線物理中心的差異即稱為相位中心的偏移量。
- (2) 瞬間相位中心與平均相位中心之差異稱為相位中心變化量。

圖 2-1 說明了天線物理中心與平均相位中心及平均相位中心與瞬間相位中心之關係，儘管天線相位中心變化對某些 GPS 量測工作並不顯得如此重要，但對於高精度 GPS 量測而言，相位中心變化是必須加以考慮並進行修正的。

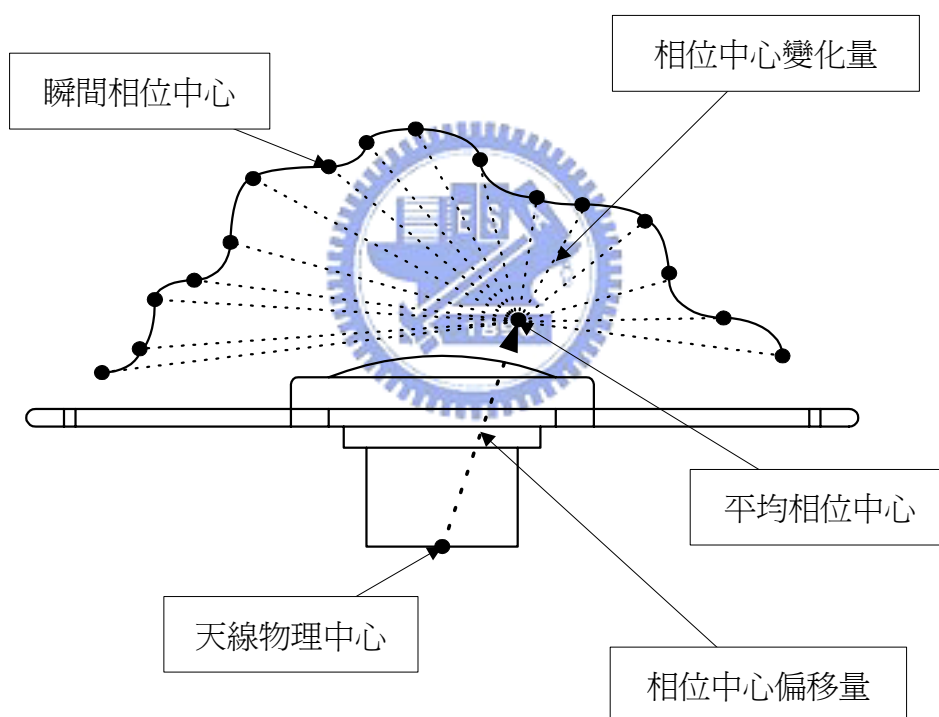


圖 2-1 天線物理中心、平均相位中心與瞬間相位中心之關係

2-1-4 衛星及接收儀時錶誤差

在 GPS 測量中，均要求衛星時錶與接收儀時錶保持嚴密同步，如果接收儀時錶與衛星時錶之間的同步誤差為 $1 \mu\text{s}$ ，則由此所引起的等效距離誤差約為 300 m。實際上，儘管 GPS 衛星上均裝有高精度的原子鐘，但是它們與理想的 GPS 時之間仍存在著難以避免的偏差或漂移，這些偏差的總量均在 1 ms 以內，而由此引起的等效距離誤差約可達 300 km【Wells et al., 1986】。

2-1-5 GPS 衛星軌道誤差

在相對定位時，儘管衛星軌道誤差的影響將會減弱，但當基線較長且精度要求較高時，這種影響將不可忽視。一般討論基線精度與衛星軌道品質之關係時，常以下列之經驗公式表示【Colombo, 1986】：

$$\frac{|\Delta r|}{\rho} = \frac{|\Delta B|}{B} \quad (2-2)$$

其中：

$|\Delta r|$ ：為衛星軌道誤差

ρ ：為衛星與測站間之距離

$|\Delta B|$ ：為基線長之誤差量

B ：為測站間之基線長

2-1-6 固定站坐標誤差

在相對定位基線解法中，通常固定一個已知坐標之測站，然後據此推求其他測站相對於此已知測站之基線分量。因此，固定測站間相對的精度及其絕對坐標之坐標誤差太大，皆會影響基線長求解之精度，此影響相當於軌道誤差對基線長之影響量。而以 VLBI (Very Long Baseline Interferometry) 訂出之基線約可在 0.01~0.02 ppm 之間，而 CIGNET (Cooperative International GPS NETwork) 長期觀測所得的精度亦與 VLBI 相當。一般而言，絕對坐標之誤差若在 5 公分以內，對測區的基線求解影響應不會太大，反而是固定站間相對的誤差對測區之影響才會顯著【余水倍，1996】。

2-1-7 整數週波未定值之求解

由於接收儀只能測定載波相位差之非整週波數的小數部份和從某一參考時刻至觀測時刻間載波相位變化的整週波數，而無法直接測定載波相位相應該參考時刻在傳播路徑上變化的整週波數。因此，在 GPS 載波相位觀測量中，會存在著整週波數未定值的影響，這是 GPS 載波相位觀測的主要缺點，所以求解整週波數未定值的正確與否，將會影響 GPS 相對定位精度的高低。

2-1-8 週波脫落

接收儀在接收衛星訊號期間，若持續維持『鎖定狀態』，則載波相位整週波數的變化便可由接收儀自動地計數。但是衛星發射的訊號在傳播途中，有時因多

路徑效應、電離層變化劇烈，或因間歇性阻擋電波進入接收儀、都卜勒效應、訊雜比太小、停電中斷，導致接收儀追蹤訊號中斷，造成整週波數不再連續，這種現象稱為『週波脫落』。

通常在無週波脫落的情況下，隨著測站至衛星之間距離的不斷變化，載波相位觀測量也將隨之不斷變化，其變化應是平緩而有規律的。一般來說，對不同時刻的相位觀測量做 4-5 次差分以後，將可以比較清楚地看出週波脫落對於觀測量之影響，此時距離變化對整週波數的影響已可忽略，此差值主要是由於振盪器的隨機誤差而引起的，所以此差值應具有隨机的特性，但是若在觀測過程中發生了週波脫落，那麼將會影響上述相位觀測量之正常變化規律，進而使其高次差的隨機特性也受到影響，利用此一特性，便可以偵測週波脫落。若週波脫落值偵測不出或補償錯誤，將會對整週波數未定值及基線解造成負面的影響，所以有效地消除週波脫落乃是提高定位精度的基本要項。

2-1-9 多路徑效應

GPS 衛星定位測量之多路徑效應誤差是指 GPS 接收儀收錄之衛星訊號包含直接路徑及非直接路徑兩部分，非直接路徑訊號是由衛星訊號傳輸過程（衛星多路徑效應）或接收天線周圍環境（測站多路徑效應）經折射干擾造成之衛星或測站多路徑訊號。假設考量自地面反射 GPS 衛星訊號之多路徑情形如圖 2-2 所示，可建立下列關係：【Johnson, 1995】

$$ep = 2h \times \sin \theta \quad (2-3)$$

$$\beta = \frac{ep}{\lambda} \times 2\pi + \pi = \frac{4\pi h \sin \theta}{\lambda} + \pi \quad (2-4)$$

上兩式中：

ep = 反射訊號之超長

h = 天線高

θ = 衛星垂直角

β = 反射訊號之相位變化

λ = 訊號波長

多路徑效應對於 GPS 觀測而言，乃屬較不易掌握的隨機誤差，其隨天線周圍反射面的性質而異，但若在同一地點，當所觀測衛星的分布相似時，其效應將會重複出現，即多路徑效應具有週期性的特徵。

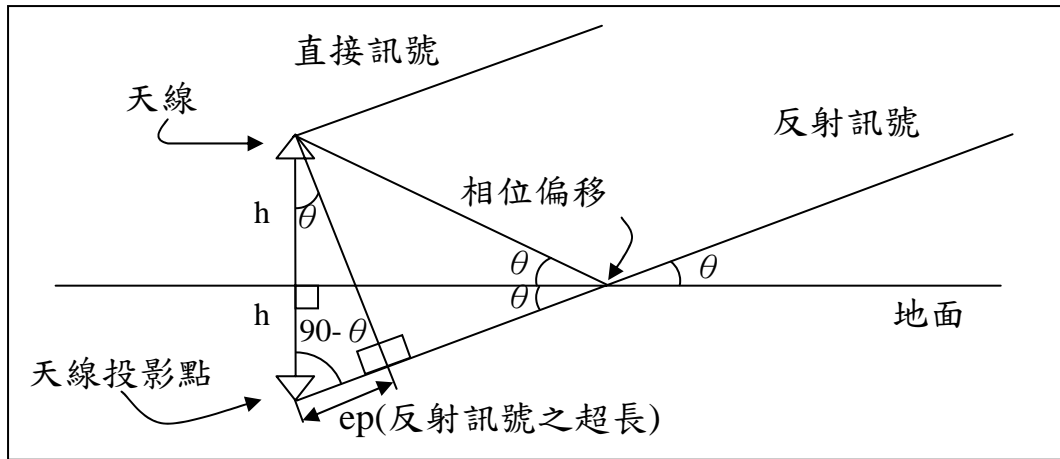


圖 2-2 多路徑幾何關係圖

2-2 量測品質與不確定度評估

2-2-1 量測不確定度的定義

量測不確定度 (Uncertainty of Measurement) 的定義，首見於 1984 年國際度量衡局 (BIPM) 等四個國際組織聯合編訂的第一版國際通用計量學基本術語 (International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, VIM)，當時是以抽象式的概念來表示，即『受測量真值存在範圍的估計量』。事實上，量的真值只有通過完善的量測才有可能獲得，真值按其本性是不確定、難以操作的。因此，於 1993 年第二版中則以較實務合理的方式定義，即『與量測結果相關的參數，用以表示合理地賦予受測量值的分散程度』。

此定義與 1995 年，以國際標準組織 (International Organization for Standardization, ISO) 為首的 7 個組織再版修訂之量測不確定度表示方式指引 (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, GUM)，所提及之要求一致。實際上，由於量測不完善和人們認識不足，所得的測量值具有分散性，即每次測得的結果不同，而是以一定的機率分散在某個區間內的許多個值。換句話說，量測不確定度是一個估計區間，用以表示受測量之值的分散程度。因此，它是量測結果品質優劣的一種評估，量測結果愈集中，其量測品質較高，亦即量測不確定度會愈小。反之，量測結果愈離散，則其量測品質較差，相對地，其量測不確定度就愈大【國家質量技術監督局計量司，2000】。

以一倍標準差 (Standard Deviation) 表示的量測結果不確定度，稱為『標準

不確定度』。如對一系列觀測值進行統計分析來計算標準不確定度，稱之為標準不確定度 A 類評估方法；而對一系列觀測值進行非統計方式來計算標準不確定度，則稱之為標準不確定度 B 類評估方法。

在實驗室中，不論執行校正或測試工作，任何量測結果都無法避免不確定度的產生；如何將量測不確定度之值降到最小，一直是計量從業人員自我期許的目標。而量測不確定度的主要來源如下：

- (1) 無法完全掌握量測參數
- (2) 量測方法不完整
- (3) 無法完全掌握環境條件
- (4) 量測儀器或標準件之性能不夠穩定
- (5) 量測儀器、標準件或參考物質之追溯值不夠準確
- (6) 人員對類比式儀器讀值之識別度不夠精確

整體而言，量測不確定度是由許多分量組成，並非單一因素所致，其分屬 A 類和 B 類評估方法，且在本質上並無區別，理應包含在分散程度內予以組合。以這種『組合不確定度』倍數表示的，即為『擴充不確定度』，它是量測結果取值區間的半寬度，可期望在該區間內，包含了受測值分布的大部分。

2-2-2 緣起與重要性

以量測不確定度呈現量測結果之想法始於 1963 年，由任職於美國國家標準局（NBS）的 Eisenhart 所提出。1970 年代初期，NBS 統計品保小組人員進行量測品保之研究工作，並陸續推出一些作法與方案。1977 年國際游離輻射諮詢委員會主席，即當時美國 NBS 局長 Ambler 提出了量測不確定度表示指引的提案，並送交國際度量衡委員會（CIPM）討論。1978 年國際度量衡局依 CIPM 之要求，制定了一份詳細的調查問卷，並分發徵求 32 個國家計量研究院及 5 個國際組織之意見【量測中心，2001a】。

1980 年 BIPM 依各國彙整之建議，成立了不確定度表示工作小組，並起草了一份建議書，名為 INC-1，這份建議書向各國推薦不確定度表示之原則。而在 1981 年第 70 屆 CIPM 大會上，批准了上述建議，並發布了一份 CIPM 建議書，即 CI-1981，這份 CIPM 建議書是以 INC-1 為基礎，要求所有 CIPM 及其諮詢委員會贊助下的國際比對及工作參與者，在發給報告時必須使用『組合不確定度』。CIPM 為了推廣這種表示方法，要求國際標準組織以 INC-1 為基礎，起草一份能

廣泛應用的指引文件，這項工作隨後得到了 7 個國際組織的支持與贊助，這些組織包括：國際度量衡局 (BIPM)、國際電工委員會 (IEC)、國際臨床化學聯合會 (IFCC)、國際標準組織 (ISO)、國際理論化學與應用化學聯合會 (IUPAC)、國際理論物理與應用物理聯合會 (IUPAP)、國際法定計量組織 (OIML)。

自此，便由 ISO 第四技術顧問小組 (TAG 4) 的第三工作小組 (WG 3) 執行起草工作，其成員則由 BIPM、IEC、ISO 和 OIML 推薦。1993 年第一版量測不確定度表示方式指引以 7 個國際組織的名義正式由 ISO 發行，1995 年修訂再版。如今這份指引已廣泛地為各國所遵行及採用，至此國際上對量測結果及其不確定度之表示方獲一致性的作法。因此，國與國間達成相互認可後所出具之校正報告，不但可促進國際交流，並可消除非關稅貿易障礙，加強國際間邁向合作之道。

2001 年 5 月 7 日至 11 日，上述 7 個國際組織及國際實驗室認證大會 (ILAC) 的代表，在 BIPM 召開了計量學指引聯合委員會議，其中第一工作小組 (WG 1) 接管了 ISO 原來的 TAG 4 的任務，一方面對 GUM 進行了增補和充實，另一方面計劃出版一份簡易版本，以便於基層推廣量測不確定度；而第二工作小組 (WG 2) 負責修訂 VIM，以便於在基本術語上獲得各類學門、領域之廣泛認同。

科技之發展一日千里，現今衡量一個國家的強弱、經濟貿易的盛衰、生活水準的高低，莫不與計量科技發展息息相關，而計量本身也是整個先進科技的前端技術。計量學係各類學門、領域之基礎科學，就國家整體科技發展來看，唯有開發最先進的技術，方能獲取國家整體最大之利潤，對此則有賴整個研發和品管的前端技術——計量科技的成熟發展。隨著各類技術不斷進步，發展量測設備之技術也與日俱進，再加上量測設備經常走在科技的前端，惟有全力協助量測設備工業的建立與提昇，才能有效協助其他科技產業的發展，生產及產品方能藉由精密儀器的量測來確保其品質之穩定。

但在執行量測工作之前，儀器本身就必須經過校正，校正過程中環境條件之配合、人員訓練是否精良及量測作業程序是否經過驗證與審核，需有種種條件的充份配合，測出之數據才具有意義；量測所得之數據尚需進一步運用統計學理之基礎，求取相關量測參數之不確定度。上述程序如能確實運作，最終方能確保產品品質之穩定。簡言之，量測不確定度就是對量測結果品質的定量保證；附有不確定度之量測結果，方為一份完整的報告或證書。

2-2-3 數學模式之建構

依據 ISO GUM 所建議的量測不確定度評估程序，第一要務便是建構量測之數學模式，這也是整個量測不確定度評估程序中最困難的一部分，只要量測數學模式底定，其餘步驟將迎刃而解。進行此一步驟之前，前置的準備工作是清楚地了解此次量測之受測量為何？

ISO GUM 中所提及之量測不確定度乃是用來描述量測結果之離散程度，因此若未先清楚定義受測量，就無法得知最後估算所得之不確定度是在描述何物，也就失去了量測不確定度評估的意義。清楚定義受測量之後，接著便是依據如何獲得此量測結果之程序，將其改寫為數學方程式【ISO, 1995】。

在很多的量測活動上，受測量Y通常無法（或很難）直接量測得到，而是由N個其他量 X_1 、 X_2 、...、 X_N （輸入量）透過函數關係f求得：

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (2-5)$$

上式即是所謂的量測方程式，或稱為量測的數學模式。依據ISO GUM，這些輸入量 X_i 也可視為受測量，係當次量測之結果，可由單次、多次量測或是經由經驗判斷而得，亦可參考其他校正報告或是使用手冊而得。而這些輸入量 X_i 所具有的不確定度，即整個量測過程中量測結果之不確定度，可視為整個量測過程的誤差源。

通常，量測方程式並非唯一的，而是依據所採用的量測方法或程序不同而改變。一般的量測方程式都是應用物理公式獲得，有時也可使用實驗設計的方法求得，這些則有賴豐富的專業經驗或工程基礎。

而式(2-5)亦可以估計值的方式表示如下：

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (2-6)$$

式中的小寫字母分別為其大寫字母所代表量值之估計值，有時候也可能是一些觀測值的平均值。

$$y = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N) \quad (2-7)$$

具備上述的量測方程式之後，首要步驟的最終目的便是要找出量測過程的不確定度方程式，此可由不確定度的傳播定律得到，因此受測量的估計值之組合不確定度即為：

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \cdot u^2(x_1) + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \cdot u^2(x_2) + \left(\frac{\partial f}{\partial x_3}\right)^2 \cdot u^2(x_3) + \dots} \quad (2-8)$$

其中， $\partial f/\partial x_i$ 稱為靈敏係數， $u(x_i)$ 稱為 x_i 之標準不確定度。當然，上式係假設所有的 x_i 均為獨立的狀況；若是各 x_i 有相關性存在，則式(2-8)便須稍作修正。式中之靈敏係數係將量測方程式微分後，再代入已知數值即可輕易算出，因此建立量測不確定度方程式之後，只要將個別 $u(x_i)$ 估算出，再配合靈敏係數即可計算出組合標準不確定度。

2-2-4 量測不確定度之分類與評估

通常量測結果的不確定度由幾個分量構成，根據估計方法的不同，將分量區分為 A 類與 B 類標準不確定度，此分類之目的在於說明評估不確定度分量的兩種不同途徑。

A類為用統計方法評估的分量，可用估計的變異數 s_i^2 （或標準差 s_i ）和自由度 ν_i 表示，必要時必須明列共變數。對A類評估方法而言，此量測值即為樣本平均數，而A類標準不確定度即為估計樣本平均數之標準差。

B類為用非統計方法評估的分量，可用 u_j^2 表示，該值可被視為假設存在的變異數近似值，對 u_j^2 可視為變異數來處理，而對 u_j 可視為類似標準差之處理方式。對B類評估方法而言，此量測值即為對事件即將發生的相信程度，來判斷其機率分配所求得之平均數，而B類標準不確定度即為此平均數之標準差。

A 類評估方法

A 類評估方法之定義為將一連串的實際觀測數列，以統計分析方法計算求得其不確定度，再由重複觀測求值而得；其中，以一倍標準差為標準不確定度。其方法依目的可區分為短期與長期評估，若有預測之目的，則採用迴歸分析求得校正曲線。

(1) 短期評估（單一數據重複量測）

量測結果通常以重複量測多次之平均值表示，因此採用結果平均數之變異數，而非單獨採用結果之變異數來表示標準不確定度。

假設影響因子為 x_p ，重複量測得 $x_1、x_2、\dots、x_n$ ，以 \bar{x} 估計 x_p ，可求得量測值，即樣本平均數為【國家質量技術監督局計量司，2000】：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-9)$$

以標準差直接估算標準不確定度，可得樣本標準差：

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-10)$$

而平均數標準差：

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (2-11)$$

以平均數之標準差來表示標準不確定度，即 $u(x) = s(\bar{x})$ ，自由度則定義為 $\nu = n-1$ 。最後，其評估流程整理如圖 2-3 所示。

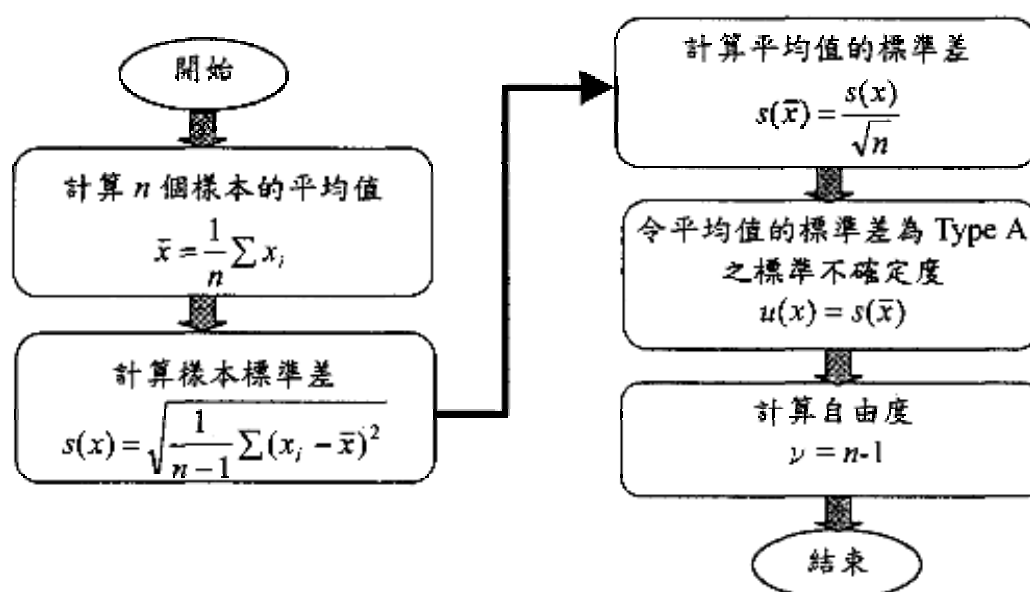


圖 2-3 A 類評估方法之單組樣本分析流程

(2) 長期評估（多組數據重複量測）

假設分為 a 組，第 i 組重複量測 n_i 次，每組標準差以 s_i 表示，自由度以 ν_i 表示，即 $\nu_i = n_i - 1$ 。若系統在統計管制內，則可採用量測過程的組合標準差 s_p 來估算標準差【肖明耀、康金玉，1994】：

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^a \nu_i s_i^2}{\sum_{i=1}^a \nu_i}} \quad (2-12)$$

若以平均值作為量測結果，則標準不確定度 $u(x)$ 為：

$$u(x) = \frac{s_p}{\sqrt{n}} \quad (2-13)$$

建議n取最常出現之 n_i 值，而自由度 $\nu = \sum (n_i - 1)$ 。

當每組重複次數皆相同時，組合標準差可簡化如下：

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^a s_i^2}{a}} \quad (2-14)$$

此時，自由度為 $\nu = a(n-1)$ 。

若質疑系統不穩定或受某因子影響時，則可採用變異數分析（Analysis of Variance, ANOVA）找出影響變異的重要因子，並可估算不確定度。而其評估流程則整理如圖 2-4 所示。

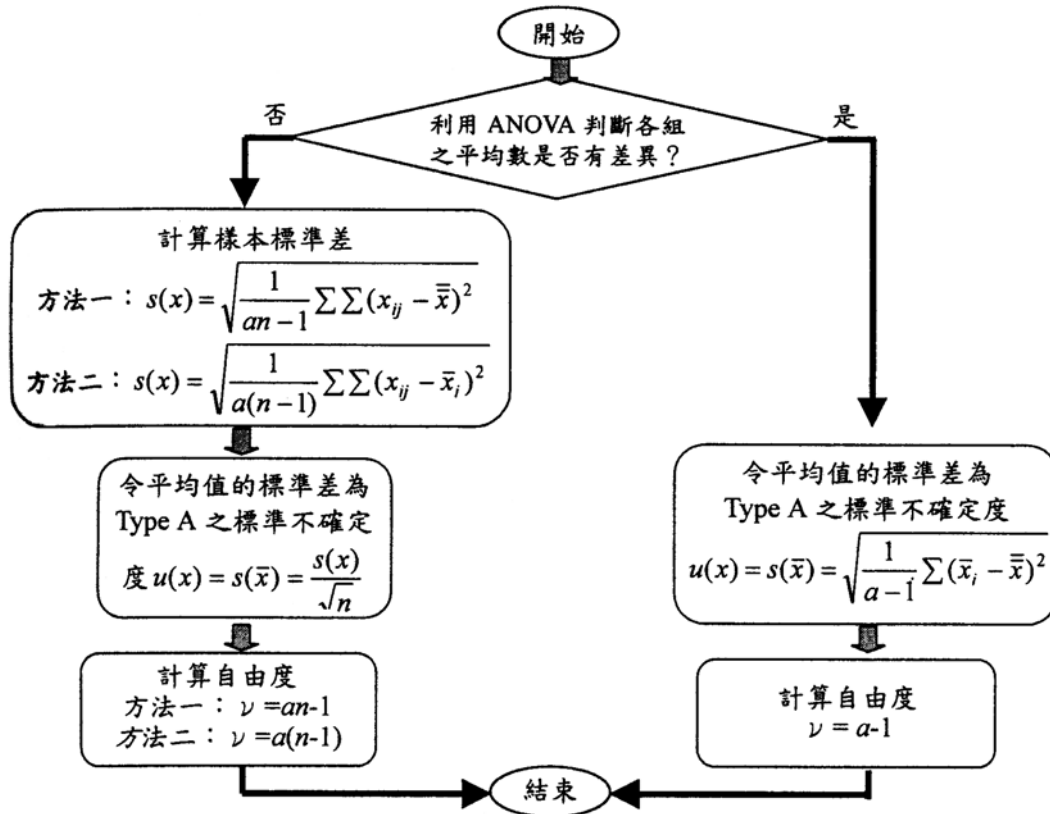


圖 2-4 A 類評估方法之多組樣本分析流程

(3) 變異數分析 (ANOVA)

當多組數據只是單純討論因子對變異是否重要時，可採用變異數分析，若組間差異顯著，且非系統問題，則利用各組平均數估算標準不確定度；若是系統問題，則需停止量測，暫停估算不確定度，待系統恢復穩定才能重新開始。

變異數分析的定義為檢定多組母體平均數是否相等的問題，所採用的方法是利用組間平方和與組內平方和的比較，以平均組間變化與平均組內變化之比進行判定。而其基本假設有三：數據資料來自常態分配、各誤差源均獨立且對稱於零之常態分配、數據資料為隨機分配。

比較簡單的方法可採用變異數分析表來計算，如表 2-1 所示；其中，總變異 (SST) = 組間變異 (SSB) + 組內變異 (SSE)。

表 2-1 變異數分析表

變異來源	平方和 (SS)	自由度 (df)	均方 (MS)	F	P
組間變異	SSB	a-1	MSB=SSB/(a-1)	F*=MSB/MSE	P=Pr(F≥F*)
組內變異	SSE	a(n-1)	MSE=SSE/[a(n-1)]		
總變異	SST	an-1			

變異數分析表中，各符號的說明如下：

$$\text{組間平方和： } SSB = n \sum_{i=1}^a (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2 \quad (2-15)$$

$$\text{組內平方和： } SSE = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (2-16)$$

$$\text{每組之平均數： } \bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (2-17)$$

$$\text{總平均數： } \bar{\bar{x}} = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n x_{ij} = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a \bar{x}_i \quad (2-18)$$

其中，a為組數，n為每組實驗次數，an為總實驗次數，x_{ij}為每個觀察值。而ANOVA表之簡易判定準則為F值越大或P值越小時，皆可表示該量測過程之a組量測結果有顯著差異，即組間之誤差分配顯著。當組間差異顯著時，估計該量測過程之不確定度，需將『組』對量測之影響納入考量。反之，組間無顯著差異則可忽略分組對量測變異的影響。

若F* < F_{0.05,(a-1, a(n-1))}時，表示組間誤差分配不顯著，則考慮此A類標準不確定度可採用下列三種方法來估計，即統計學上的無偏估計量 (Unbiased Estimators) 【量測中心，2001a】。

[方法一]

- 樣本標準差： $s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2}{an-1}} = \sqrt{SST}$
- 標準不確定度： $u(x) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{SST}{n}}$
- 自由度： $\nu = an - 1$

[方法二]

- 組合樣本標準差： $s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^a s_i^2}{a}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{a(n-1)}} = \sqrt{MSE}$
- 標準不確定度： $u(x) = s(\bar{x}) = \frac{s_p}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{MSE}{n}}$
- 自由度： $\nu = a(n-1)$

[方法三]

- 平均數標準差： $s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^a (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2}{a-1}} = \sqrt{MSB}$
- 標準不確定度： $u(x) = s(\bar{x}) = \sqrt{MSB}$
- 自由度： $\nu = a - 1$

值得一提的是，若 F 值越小，則可單純考慮變異只來自重複量測儀器短期精密度所貢獻的誤差模式；反之，則不得忽略組間效應的影響，否則易低估不確定度。而當組間差異不顯著時，採用方法一、二或三估算之標準不確定度會很接近，唯有自由度差異較大。一般而言，自由度越大表示不確定度評定的可靠性將提高，因此比較三種方法之自由度 $an-1 > a(n-1) > a-1$ ，建議採用方法一或方法二可靠性較高。

若 $F^* \geq F_{0.05, (a-1, a(n-1))}$ 時，表示組間誤差分配顯著，則考慮此類型的 A 類標準不

確定度為 $u(x) = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^a (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2}{a-1}} = \sqrt{MSB}$ ，而自由度為 $\nu = a - 1$ 。

B 類評估方法

當輸入量之不確定度無法由實際重複量測數據加以分析求得，則以直接給定或推估分配計算方式求得，即為 B 類評估方法，此方法為由一連串的觀測數列以非統計分析方法計算不確定度。若是從其他誤差源所致的不確定度，例如參考標準件的校正報告或物理量宣告的不確定度，通常會以擴充不確定度的形式出現，則可轉換為標準不確定度；若是其他來源，則可做事先機率分配之假設，再予以估算標準差作為標準不確定度。

當標準不確定度無法由重複觀察而得，因而量不到真值，其原因可能來自裝置因素、環境因素、人為因素、儀器之特性、待測物本身因素及方法因素等，或者來自以往的量測數據、對於相關材料和儀器特性的經驗、製造廠商提供的規格、校正報告或其他證書提供的數據、手冊中賦予參考數據的不確定度等。與 A 類評估方法不同的是，B 類評估係採用非統計方法求得，例如對某輸入量量測一次或甚至不量測，就可獲得量測結果，而其對應的標準不確定度，可從實驗室校正的參考標準件、計算報告值的物理量、無法抽樣的環境因素、儀器可能潛在的結構、儀器解析度的不足等資料查出或換算出來。

若是從其他誤差源所致的不確定度，例如參考標準件校正報告的不確定度，通常以擴充不確定度的形式出現，則必須轉換為標準不確定度：

$$u = U / k \quad (2-19)$$

其中，U 為擴充不確定度，k 為擴充係數。若 k 值未知或文件上未記錄，則在 95% 信賴水準之下，可保守假設 $k = 2$ ；而在 99% 信賴水準之下，可保守假設 $k = 3$ 。若量測過程無法採用適當的抽樣進行統計分析，則 B 類評估提出一種廣泛使用的方法，亦即對感興趣的輸入量估計可能發生的範圍。這種假設的來源可依據經驗或科學上的判斷，假設此分配圖是呈雙尾的形式，則標準不確定度可以此分配為基礎來計算，常用的分配有下列四種【ISO, 1995】：

(1) 常態分配

常態分配的機率分配如圖 2-5 所示。

- 機率密度函數： $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$, $-\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty$
- 平均數： $E[x] = \mu$
- 變異數： $Var(x) = \sigma^2$

- 標準差： $\sqrt{\text{Var}(x)} = \sigma$

若資料之分配呈鐘型，且平均數、中位數、重數幾乎相等且左右兩邊對稱，資料中有 68% 介於 ± 1 倍標準差之間，95% 介於 ± 2 倍標準差之間，99.73% 介於 ± 3 倍標準差之間，則可假設資料呈常態分配。

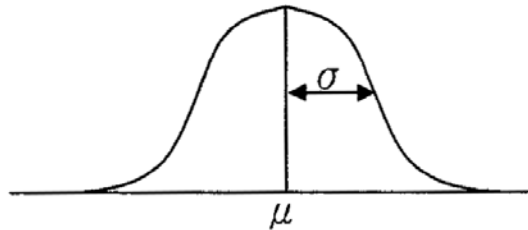


圖 2-5 常態分配的機率分配圖

(2) 矩形分配

矩形分配的機率分配如圖 2-6 所示。

- 機率密度函數： $f(x) = \frac{1}{2a}, -a \leq x \leq a$
- 平均數： $E[x] = 0$
- 變異數： $\text{Var}(x) = \frac{a^2}{3}$
- 標準差： $\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}}$



對實際應用而言， X_i 值落在 $a \sim b$ 範圍內的機率等於 1， X_i 值落在該範圍外的機率等於零。若為一對稱中心點之分配，且 X 發生在該範圍內任何一點的機率皆相等，則可假設呈矩形分配。其標準不確定度 $u(x) = a/\sqrt{3}$ ， a 為半寬。

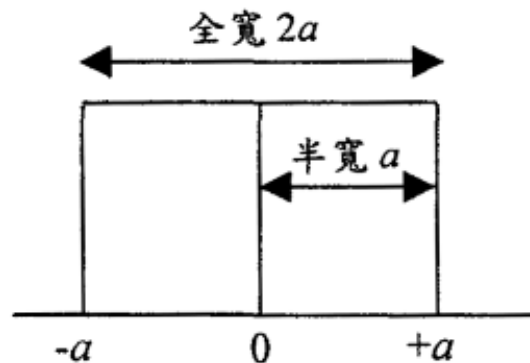


圖 2-6 矩形分配的機率分配圖

(3) 三角分配

三角分配的機率分配如圖 2-7 所示。

- 機率密度函數：
$$f(x) = \begin{cases} \frac{a+x}{a^2}, & -a \leq x < 0 \\ \frac{a-x}{a^2}, & 0 \leq x < a \end{cases}$$

- 平均數： $E[x] = 0$

- 變異數： $Var(x) = \frac{a^2}{6}$

- 標準差： $\sigma = \frac{a}{\sqrt{6}}$

若已知資料非常集中於中心點，集中程度介於常態分配與矩形分配之間，則假設為三角分配較適當。其標準不確定度 $u(x) = a/\sqrt{6}$ ， a 為半寬。

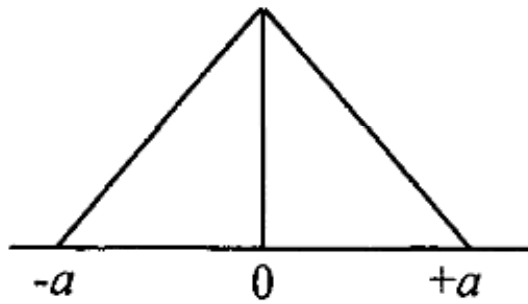


圖 2-7 三角分配的機率分配圖

(4) U 型分配

U 型分配的機率分配如圖 2-8 所示。

- 機率密度函數： $f(x) = \frac{1}{\pi\sqrt{a^2-x^2}}, -a \leq x \leq a$

- 平均數： $E[x] = 0$

- 變異數： $Var(x) = \frac{a^2}{2}$

- 標準差： $\sigma = \frac{a}{\sqrt{2}}$

資料出現在上下限兩旁的機率較大，發生於中心的機率極小，則可假設為 U 型分配。其標準不確定度 $u(x) = a/\sqrt{2}$ ， a 為半寬。

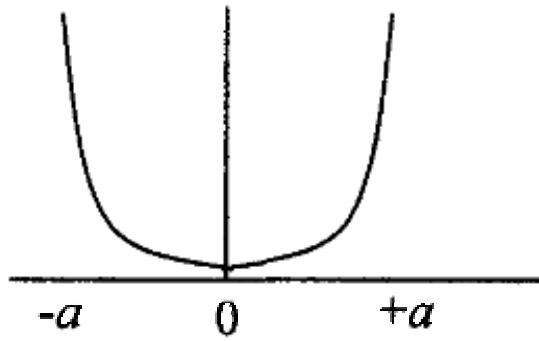


圖 2-8 U 型分配的機率分配圖

而在自由度的計算上，計算 B 類標準不確定度須先對此估算方法進行相對不確定性 R% 之假設，亦即以此方法估算質疑程度為何，再利用相對不確定性與自由度之關係式計算自由度，其計算方式如下：

$$\nu \approx \frac{1}{2} \times \left(\frac{100}{R} \right)^2 \quad (2-20)$$

最後，總整 B 類評估方法分析流程如圖 2-9 所示。

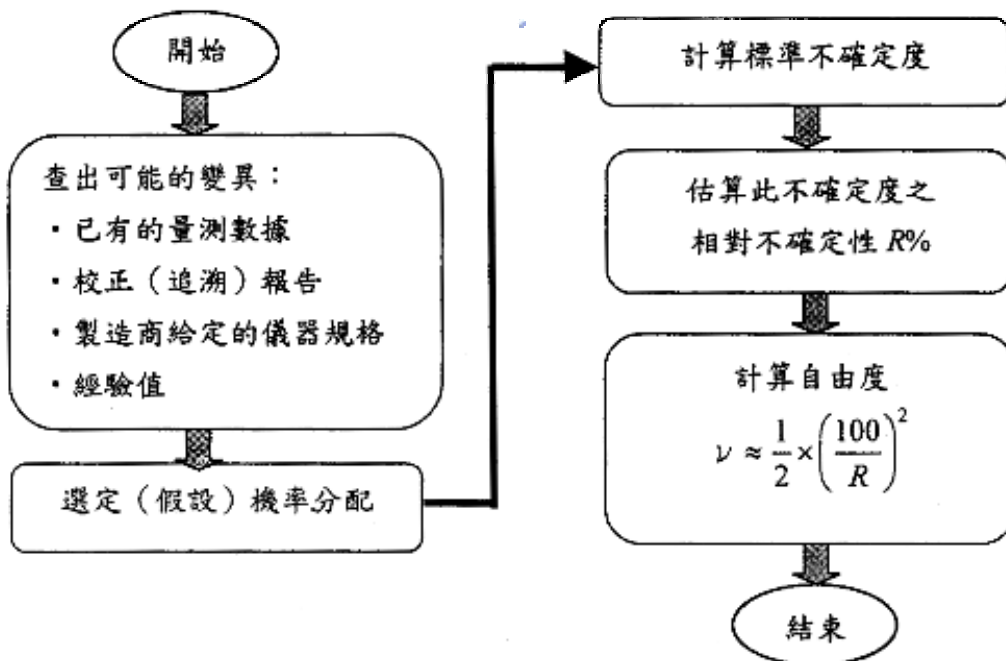


圖 2-9 B 類評估方法分析流程

2-2-5 組合標準不確定度及擴充不確定度之評估

當輸入量之間不存在相關性時，組合標準不確定度可表示如下：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 \equiv \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad (2-21)$$

其中， $c_i \equiv \frac{\partial f}{\partial x_i}$ ， $u_i(y) \equiv |c_i| \cdot u(x_i)$ 。

但在大多數情況下，輸入量之間並非獨立的，所以方程式(2-21)並不一定成立，如果輸入量之間存在相關性時，就必須將這些輸入量的相關程度納入考量。因此，組合標準不確定度表示如下【肖明耀、康金玉，1994】：

$$\begin{aligned} u_c^2(y) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \\ &= \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \end{aligned} \quad (2-22)$$

再根據相關係數的公式：

$$r(x_i, x_j) = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - \bar{x}_i)(x_{j,k} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^n (x_{j,k} - \bar{x}_j)^2}} \quad (2-23)$$

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i)u(x_j)}, -1 \leq r(x_i, x_j) \leq +1 \quad (2-24)$$

可將組合標準不確定度轉換成：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j) \quad (2-25)$$

一般來說，在評估相關性之前，應先評估兩個變數間是否有因果關係存在。在量測不確定度的領域中，希望瞭解的應該是輸入量之間是否有因果關係，進而討論相關性。因為量測方程式中，根據經驗判斷出的輸入量應該存在著因果關係，所以都直接探討相關性；但在統計學與常理判斷中，有相關並不代表一定有因果關係，但若有因果關係一定存在著相關性。因此，並非所有變數之間可以計算出相關係數就表示相關，有時還得靠使用者的邏輯判斷。

對部分實驗室而言，使用標準不確定度表示量測結果或許並不適合，因此，有些使用者便將標準不確定度除上該輸入量之估計值，我們稱之為相對標準不確定度，符號可表示為 $\frac{u(x_i)}{x_i}$ ，所以相對組合標準不確定度便可以表示成：

$$\frac{u_c(y)}{|y|} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)}}{|y|} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i u(x_i))^2}}{|y|} \quad (2-26)$$

也有部分實驗室使用器差來估算量測不確定度，並將器差轉換為百分比的形式，造成有些使用者誤以為如此估算出來的量測不確定度稱之為相對組合標準不確定度。事實上，量測方程式中出現除號並不表示計算出來的就是相對組合不確定度；而是要以計算出的組合標準不確定度除以該受測量，方稱之為相對組合標準不確定度。

ISO GUM中曾經提到，雖然 $u_c(y)$ 已普遍用於表示量測結果的不確定度，但在某些領域，通常需要量測不確定度，以給出量測結果的區間，期望對合理賦予受測值有較高之涵蓋比例。所以為滿足區間的要求，將使用擴充不確定度來表示量測的結果，通常以 U 表示之。

一般為方便起見，以 $Y = y \pm U$ 表示量測結果，其中 y 表示受測量 Y 的最佳估計值，而信賴區間則表示對合理賦予受測量之值有高的涵蓋比例，信賴區間可表示為 $y - U \leq Y \leq y + U$ ，或者是 $[y - U, y + U]$ ，也就是說擴充不確定度為量測結果的區間。就擴充不確定度的定義來說，係為組合標準不確定度與擴充係數的乘積，即 $U = k u_c$ 。根據中央極限定理，當樣本大小超過 30，則可假設為常態分配；若樣本大小低於 30，則假設該機率分配為 t 分配。

在量測領域中，通常將資料假設為常態分配，主要原因是受現實面的影響，同時評估 A 類標準不確定度時，重複量測次數也大多小於 30 個樣本，因此對於組合標準不確定度之機率分配則假設成 t 分配。因此當樣本數不夠大時，使用者若仍使用常態分配代替 t 分配來進行擴充係數的選取，則容易低估擴充不確定度，如表 2-2 所示。在同一個信賴水準下，當樣本數越大，即自由度越大，則 t 分配與常態分配所查得的擴充係數差異越小；反之，則差異越大，故假設資料之機率分配時必須小心審慎。機率分配決定後，根據使用者給定之信賴水準，並配合量測不確定度評估程序計算有效自由度，其計算方式可依 Welch-Satterthwaite 公式計算【ISO, 1995】：

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \leq \sum_{i=1}^N v_i \quad (2-27)$$

其中， $u_c^2(y)$ 是兩個或多個估計方差分量的合成，即 $u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i)$ ；

即使每個 x_i 是常態分配的輸入量 X_i 的估計值時，變量 $y - Y / u_c(y)$ 的分布也不是 t 分配。

表 2-2 常態分配與 t 分配之擴充係數誤差百分比【量測中心，2001a】

信賴區間 自由度 ν	68.27%	95.0%	95.45%	99.73%
1	84	548.5	598.5	776.0
2	32	119.4	126.5	540.3
3	20	62.2	65.5	270.3
4	14	41.84	43.5	120.67
5	11	31.12	32.5	83.7
6	9	25	26.0	63.3
7	8	20.4	21.5	76.5
8	7	17.86	18.5	42.6
9	6	15.31	16.0	36.3
10	5	13.77	14.0	32.0
15	3	8.67	9.0	19.67
20	3	6.63	9.5	14.0
25	2	5.10	5.0	11.0
30	2	4.08	4.5	9.0
50	1	2.55	2.5	5.3
100	0.5	1.22	1.35	2.6
∞	0	0	0	0

得到了有效自由度之後，再查詢 t 分配機率表，即可求得擴充係數，統計學領域稱之為臨界值。使用 t 分配機率表時，或許會發現擴充係數隨著自由度變大而呈遞減之現象，尤其當自由度接近無窮大時，則 t 分配之擴充係數逼近常態分配之臨界值。此外，在計算有效自由度時，所得結果通常為一自然數而非整數，但 t 分配機率表所提供之擴充係數所對應之自由度都為正整數，為避免低估量測不確定度，建議自由度之小數位採無條件捨去。

ISO GUM 中一直重複提及擴充係數 k 由量測值的信賴區間及該量測系統不確定度之有效自由度決定，通常 k 值介於 2 至 3 之間，當有效自由度較小時，則 k 值之差距會較大，因此若要求較嚴謹之評估，則仍建議採用查 t 分配表的方式來獲得擴充係數，而 95% 信賴水準下之 t 分配機率表如表 2-3 所示。

表 2-3 95%信賴水準下之 t 分配機率表

ν	$t_{95}(\nu)$	ν	$t_{95}(\nu)$
1	12.71	18	2.10
2	4.30	19	2.09
3	3.18	20	2.09
4	2.78	25	2.06
5	2.57	30	2.04
6	2.45	35	2.03
7	2.36	40	2.02
8	2.31	45	2.01
9	2.26	50	2.01
10	2.23	60	2.00
11	2.20	70	1.99
12	2.18	80	1.99
13	2.16	90	1.99
14	2.15	100	1.98
15	2.13	110	1.98
16	2.12	120	1.98
17	2.11	∞	1.96

2-3 Bernese 軟體介紹

2-3-1 過去的發展

Bernese 軟體是由瑞士伯恩大學天文研究所(Institute of Astronomy, University of Berne)所研發的，3.0 版於 1988 年 3 月撰寫而成，並於 1988 年至 1995 年間經過五次重大的改版，分別是 1988 年 12 月的 3.1 版、1990 年 4 月的 3.2 版、1991 年 5 月的 3.3 版、1993 年 5 月的 3.4 版以及 1995 年 2 月的 3.5 版。

而 Bernese 4.0 版於 1996 年 9 月完成改寫，並於 2000 年 8 月發表 4.2 版，2004 年 3 月再度發表現行的 Bernese 5.0 版，新的版本新增加的功能如下：

- (1) 不僅可以單獨處理 GPS 或 GLONASS 衛星的資料，亦可結合兩種衛星資訊同步進行解算。
- (2) 大幅提昇計算衛星及接收器時錶誤差的能力。
- (3) 可將 SLR 的觀測資料加入 GPS 及 GLONASS 的資料中同時計算。
- (4) 改善對流層模式並提升解算的精度。
- (5) ADDNEQ 程式以 Fortran 90 改寫為 ADDNEQ2，其中並加入一些新的資料處理模式。

2-3-2 主要的功能及架構

Bernese 軟體是屬於研究型軟體，以 Fortran 語言撰寫而成，並附有原始程式，

可依實際需求而進行修改，亦可自行加入新的模式。該軟體除了一般性 GPS 資料處理功能外，另有 BPE (Bernese Processing Engine) 可自動化處理 GPS 資料、計算軌道參數、極運動 (Polar Motion) 參數、地球轉動 (Earth Rotation) 參數、推求區域性及全球性之電離層模式、對流層折射附加參數與模擬 GPS 資料之功能，而 Bernese 軟體資料處理的流程則如圖 2-10 所示。

Bernese 程式的主要架構有下列五個部分【Beutler et al., 2001】：

- (1) 資料轉換：可將 Raw Data、Rinex Data 以及 Bernese Data 之間互相進行轉換，以方便使用者進行計算。
- (2) 衛星軌道：可利用廣播星曆或精密星曆計算出衛星標準軌道，將衛星軌道視為已知，來求解其餘未知參數。其中，IGU 預估星曆軌道精度 50 cm，可當天取得；IGR 快速星曆軌道精度 10 cm，可於兩天後取得；IGS 精密星曆軌道精度 5 cm，可於兩週後取得。
- (3) 資料處理：可以處理單頻或雙頻儀器所接收的『虛擬距離』及『載波相位』觀測資料，亦可同時求解 GPS 及 GLONASS 衛星的資訊，並可輸出法方程式，以方便多天的資料進行聯合求解。
- (4) 資料模擬：可根據所設定的誤差值，模擬 GPS 及 GLONASS 雙頻的觀測資料。
- (5) 雜項工具：可以進行資料的編輯修改、合併成果坐標檔以及顯示觀測量殘差。

2-3-3 特性及應用層面

Bernese 研究型軟體與一般的商用軟體之特性略有不同，Bernese 軟體的特性如下所示【Beutler et al., 2001】：

- (1) 對於單頻及雙頻的觀測資料，計算較為快速。
- (2) 可以長期自動的處理 GPS 聯測網的資料，自動計算坐標。
- (3) 如果使用 IGS 精密星曆，可以解算出超過 2000 km 長基線的載波相位未定值。
- (4) 可針對電離層及對流層延遲效應進行修正，並提供最新的模式供使用者選擇。
- (5) 可進行天線盤相位中心修正，即使採用不同型號的 GPS 接收器及天線盤，亦可進行計算。
- (6) 可以模擬 GPS 及 GLONASS 衛星雙頻的觀測資料。
- (7) 可計算衛星軌道，並可以求取地球自轉參數。
- (8) 可進行自由網解算，計算測站坐標。
- (9) 提供程式原始碼，可自行加入新的模式。

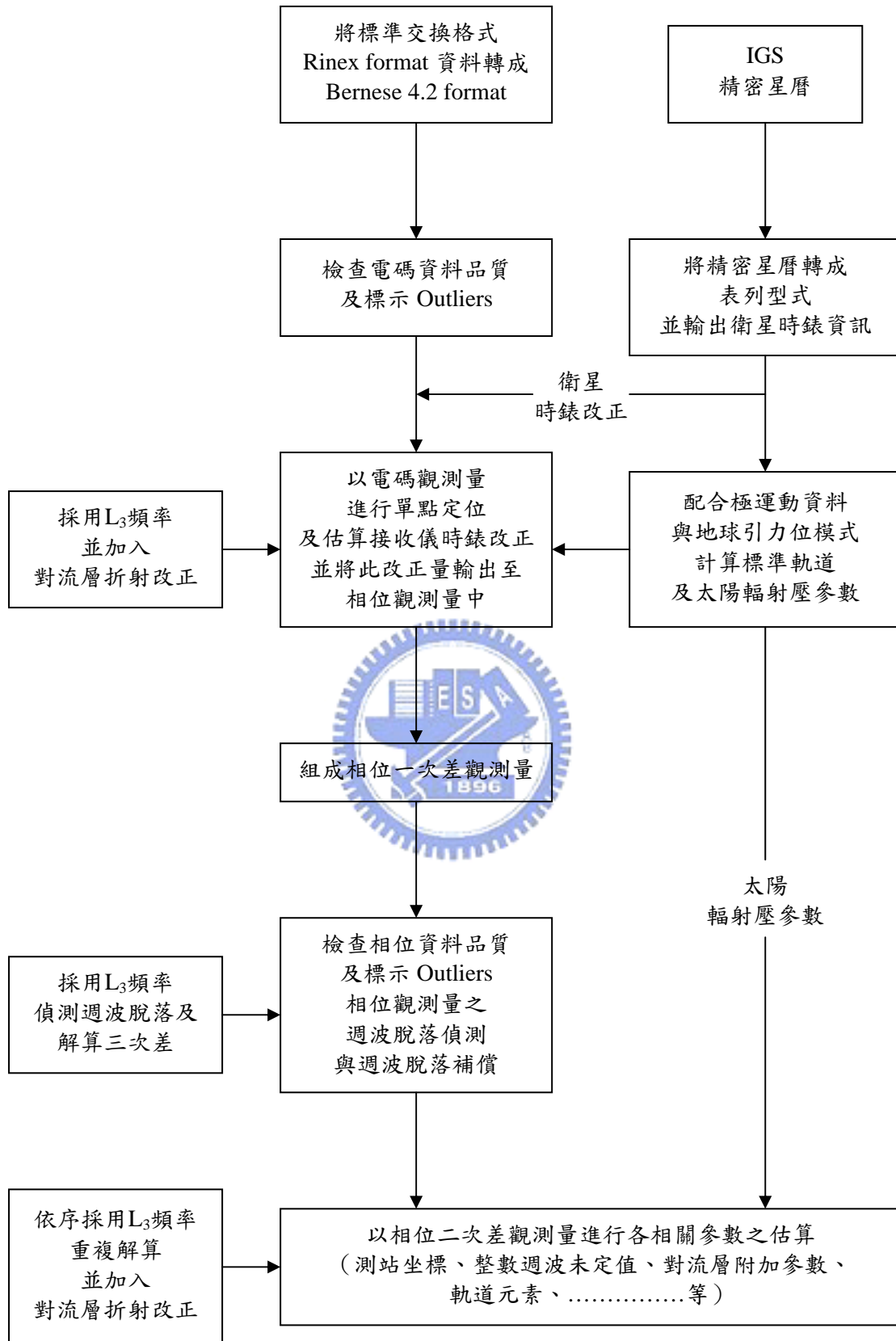


圖 2-10 Bernese 軟體資料處理流程

Bernese 軟體雖然是屬於研究型軟體，對於初學者學習上較為困難，但是軟體中功能強大的資料處理模式仍適合於中、短距離基線的求解，其精度及穩定度更遠超過一般的商用軟體，例如：GPSurvey、AOSS、SKI 等。

目前，該軟體仍普遍的應用在地體動力學、板塊運動、極運動、地殼變形等方面之計算，且更常使用在大地測量的資料處理上。此外，亦可進行動態計算及全自動的資料處理，可每天自動處理 GPS 連續觀測網的衛星追蹤資料。

2-4 Teqc 軟體介紹

Teqc (Translation, Editing, and Quality Check) 軟體是 UNAVCO (University NAVSTAR Consortium, 為國際間 100 個著名大學及實驗室共同組成的，該機構之主要宗旨為應用高精度 GPS 於大地測量) 所研發的。該軟體的前身是 QC (Quality Check) 軟體，以 Fortran 程式所撰寫，早期是用來檢驗雙頻 GPS 靜態及動態觀測資料之品質，唯其相容度並不高，許多廠牌 (如 Trimble DAT, TurboBinary 等) 的 GPS 觀測資料必須仰賴其他外部的翻譯器及編輯器來轉檔，使用上相當不方便。因此，後來又以 C 語言改版，並加入了翻譯及編輯的功能，即發展出現有的 Teqc 軟體【UNAVCO, 2004】。

顧名思義，Teqc 的主要功能可分為三大部分，如圖 2-11 所示，茲分別詳述如下：

- (1) 翻譯 (Translation)：可以讀入並翻譯各廠牌之 Binary 格式，並輸出為 Rinex 共通格式。
- (2) 編輯 (Editing)：可用以編輯、修改、切割、接合觀測資料，還可進行資料取樣間隔的編修。
- (3) 品質檢驗 (Quality Check)：可以用來檢驗 GPS 雙頻靜態及動態觀測資料之品質好壞。

此外，新版的 Teqc 軟體還可以同時解算 GPS 以及 GLONASS 衛星的資料，且該軟體可在一般的 PC 及 UNIX 工作站上執行，使用者不需付費，並無使用版權上之問題。

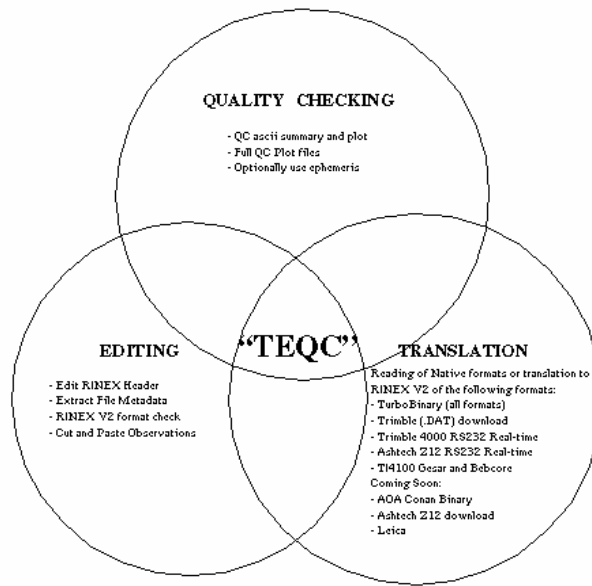


圖 2-11 Teqc 的主要功能【UNAVCO, 2004】



第三章 提昇 GPS 定位精度之策略

3-1 以觀測量不等權法修正對流層折射誤差

3-1-1 對流層折射誤差之影響

GPS 所測得的成果不僅有平面向坐標，同時還有垂直向坐標，因此亦經常應用在垂直系統之監測，如垂直基準之測量與補強、驗潮站之監測、大地起伏差之測量、垂直變形之監測等；但 GPS 高程精度相較於水平精度約略遜 2~3 倍，其主要原因之一應是對流層折射效應不易改正所致【陳春盛，1996】。

事實上，只要獲得 GPS 訊號沿傳播路徑上的折射率，即可藉由積分式計算出沿路徑上的對流層折射延遲量。然而，實際上幾乎不可能獲得沿路徑上的折射率；因此，國外許多學者（如 Hopfield、Saastamoinen 等）分別提出各種數學模式來計算天頂向的折射率，且經過與實測資料進行比對而證實，這些模式在天頂向之延遲修正皆可達到 1 cm 以內的精度【Janes et al., 1991】。

而在實際應用的時候，僅需將天頂向的延遲量 r_h 乘上歸算函數（Mapping Function，簡稱為 MF），即能化算到不同路徑上之延遲量 r_s （即 $r_s = r_h \times MF$ ）。但是大部分的歸算函數在仰角愈低時（10 度以下）精度劣化迅速，在某些太空應用領域如 VLBI、SLR 等有時需要用到低角度資料時，則顯出歸算函數的重要性。

因此，許多國內外學者提出較精密的歸算函數，經應用於 VLBI 的印證，都可達到相當高之精度，且適用於低角度（2 至 6 度）的計算。然因在求取 MF 時，有些需有大氣的溫度、濕度或氣壓才能算出 MF 值，在 GPS 的應用上（通常沒有量測氣象資料）很不方便；因此，Niell 在其 MF 中提出較方便的經驗法以計算 MF 值，僅須知道時間、緯度及仰角即可算出來【Niell, 1996】，使得在 GPS 應用上變得可行，且仍可達到甚高之精度。

雖然歸算函數已有相當程度之進展，但由於模式本身尚不足以充分描述真實的大氣狀況，因此在計算 GPS 資料時，通常須附加對流層參數或函數來吸收殘留的折射量。但由於大氣的複雜多變，折射並非均勻對稱【MacMillan, 1995】，而使得對流層折射效應不易改正；因此，Rothacher 等人提出針對觀測量加權的考量【Rothacher et al., 1997】，吾人即以此構想，合理的計算 GPS 資料，進而提昇 GPS 定位之精度【Chen and Yeh, 2002】。

這裡即考慮觀測量的雜訊 (Noise) 會隨著天頂距愈大 (仰角愈低) 而放大，並嘗試採用觀測量不等權 ($P=\cos^2(z)$, z 為天頂距) 的觀念引入低角度衛星的觀測資料【葉大綱，1999】，以期望能提昇在垂直向之定位精度，進而提昇 GPS 量測之精度及可靠度。

3-1-2 ME5000 測距系統簡介

在本研究中，吾人以 ME5000 所測得之參考斜距來評估 GPS 資料解算的基線成果，亦即採用所謂的器差 (ME5000 所測得之斜距減去 GPS 靜態測量所測得之基線斜距) 來作為本研究的精度分析指標，因此，這一小節先針對 ME5000 測距系統進行簡單的介紹。

1986 年瑞士 Kern 廠在英國國家物理實驗室 (NPL) 的協助下，成功地製造以 He-Ne 雷射作光源的精密測距儀 Mekometer ME5000，其調制頻率誤差控制在 0.01 ppm，相位零點誤差、加常數誤差及週期誤差的合成影響量也在 0.2 mm 內。由於光速誤差約等於 4×10^{-9} (0.004 ppm)，相對地可忽略不計，倘若在良好的氣候條件下測距，可估計光波大氣群速度折射率誤差為 ± 0.2 ppm，因此 ME5000 的測距誤差約為 $\pm (0.2 + 0.2 \cdot D)$ mm；其中， D 為以公里為單位的斜距。

由於 ME5000 已成為評估基線距離的標準件，故需先分析其測距準確度。一般衡量方法是從實測數據中，分析其內部精度 (Internal Precision) 與外部精度 (External Precision) 兩種指標來表示，茲分述如下：

- (1) 內部精度：係指對一距離進行重複量測，以觀察各觀測量間的符合程度。所根據的已知基線為新竹科學園區基線場，輔以精密的氣象設備，沿光波路徑記錄氣溫 (± 0.1 °C)、氣壓 (± 0.2 mb) 及濕度 (± 5 %)，經 4 個時段、56 小時連續對一條 432 m 的基線重複觀測，其結果顯示 ME5000 測距系統的內部精度可用 $\pm (0.1 + 0.1 \cdot D)$ mm 表示，式中 D 表距離，以公里為單位，而前者 0.1 mm 是固定誤差，後者 0.1 ppm 為比例誤差【李瓊武，1995】。
- (2) 外部精度：係指在已知距離基線上比對，所得量距值與該基線已知距離 (接近真值) 的符合程度，它反應各項測距誤差的綜合影響。所根據的已知基線分別是芬蘭 Nummela 標準基線 (準確度在 0.1 ppm 內) 與桃園中正理工學院光干涉基線 (準確度也在 0.1 ppm 內)，選擇良好的氣候條件，以 ME5000 測距系統實施 EDM，其平差結果與世界公認室外量測基線最準確的 Vaisala 光

干涉測量之結果相比較，顯示在以光速為絕對長度的系統下，外部精度非常接近 Vaisala 光干涉測量準確度的水準 ± 0.1 ppm，充分證實本 ME5000 測距系統能達到本身原設計的準確度規範 $\pm (0.2 \text{ mm} + 0.2 \text{ ppm})$ 【李瓊武，1995】，而 ME5000 詳細的測距技術規範請參考附錄 A。

3-1-3 測試場地及實驗步驟說明

測試場地選擇在工研院新竹中距離基線網進行，該基線網於民國 83 建置完成，共由四個基點所組成。整個網形橫跨新竹市區，並選擇穩固且不易受破壞的位置埋設地下銅標作為基點，其上端架設 1.2~1.8 m 高的鋼架，並裝置 Kern 強制定心基座，以利於進行連續觀測，基線網分佈概略圖如圖 3-1 所示。

新竹中距離基線網內各基點兩兩之間的通視情況良好，原則上選擇通視狀況最好的新豐 (C128) 作為主站，於每次外業測量的時候，對鳳崗 (C009)、明新 (C093) 及十八尖山 (C132) 施測 ME5000 測距。網內各點除鳳崗站 (C009) 直接埋設在鳳崗橋邊的堤防上，其餘各點皆採用固定式鋼架樁，其上端並裝置 Kern 強制定心基座，可大幅地降低人為的定心誤差。

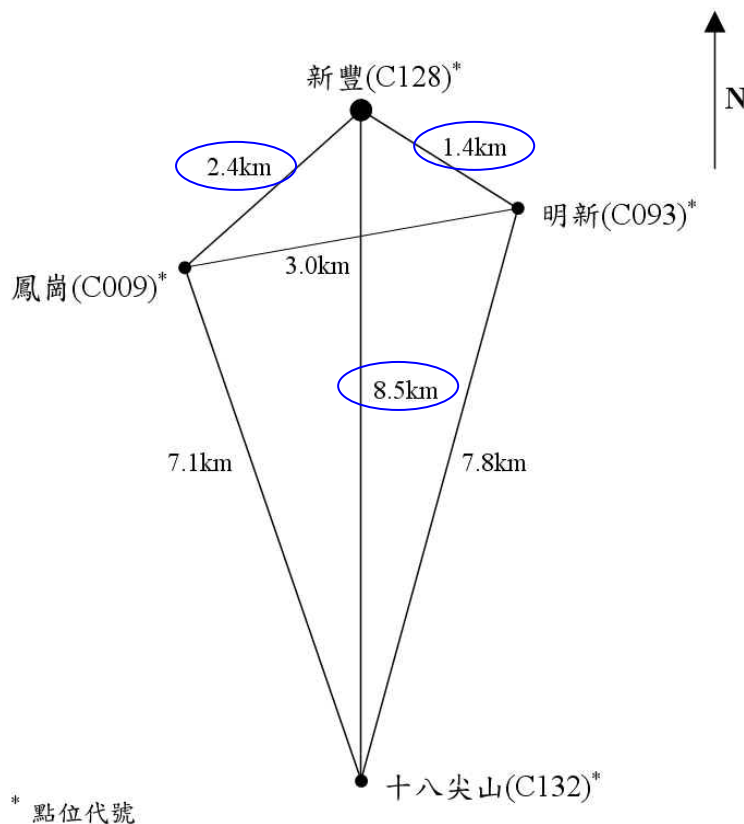


圖 3-1 新竹中距離基線網分佈概略圖

至於實驗步驟原則上，在新竹中距離基線網的 4 個基點上同時整置 GPS 接

收儀，測試的天線型式以同型天線為主。而觀測衛星之最低仰角設定為 15°、取樣間隔為 15 秒，進行 2 小時的 GPS 靜態測量。並於每次 GPS 測量完畢之後，立即進行 EDM 測距。在各基點上整置 ME5000 測距儀及其反射稜鏡，進行多次之重複量測；並利用氣象設備記錄下當時的溫度、壓力以及濕度，以作為氣象改正之用。

這裡所試驗之 GPS 接收儀共有 Trimble、Ashtech 以及 Leica 三種廠牌，採用的儀器皆為雙頻機種，以利於進行本研究後續所需之內業資料處理。外業部分於 1998 年 8 月 28 日至 11 月 30 日間試驗完成，總共進行了 5 次測試，每次進行 2 小時的同步 GPS 靜態測量，詳細的儀器整置情形詳如表 3-1，而測試日期則以 DOY (Day of year) 表示。

表 3-1 GPS 外業測試說明

試驗編號	儀器廠牌	測試日期	觀測時間	天氣
試驗 A	Trimble	240	2 小時	陰
試驗 B	Trimble	240	2 小時	陰
試驗 C	Ashtech	287	2 小時	晴
試驗 D	Leica	329	2 小時	晴
試驗 E	Leica	334	2 小時	雨

3-1-4 資料處理與結果分析

在 ME5000 的資料處理方面，先引用 Angus-Leppan and Brunner 的大氣溫度模式，計算得到附加改正量後，併入大氣折射修正量，以提高 ME5000 測距的準確度【Angus-Leppan and Brunner, 1980】，並將此經過改正後之斜距視為參考值，用以評估 GPS 靜態測量之外部精度。

而在 GPS 觀測資料的處理上，則以瑞士伯恩大學的 Bernese 4.2 為架構進行資料分析，將前一小節所述的試驗 A 至試驗 E 共 5 次的 GPS 靜態觀測資料，分別採用觀測量等權 ($P=1$) 以及不等權 ($P=\cos^2(z)$, z 為天頂距) 的資料處理模式進行求解，再使用 L1 及 L3 兩種頻率分兩次計算，來進行不同頻率解算成果的比較。

而在求解基線的選擇上，則選擇新豐 (C128) 作為主站，在計算時約制其坐標進行獨立基線的求解，分別求解新豐 (C128) 至明新 (C093) 長度約 1.4 km

的基線、新豐（C128）至鳳崗（C009）長度約 2.4 km 的基線以及新豐（C128）至十八尖山（C132）長度約 8.5 km 的基線，並將各次基線解算的成果與 ME5000 測距的結果相減，以求得各次量測的器差值，並將成果繪製成圖，分別如圖 3-2、圖 3-3 以及圖 3-4 所示。

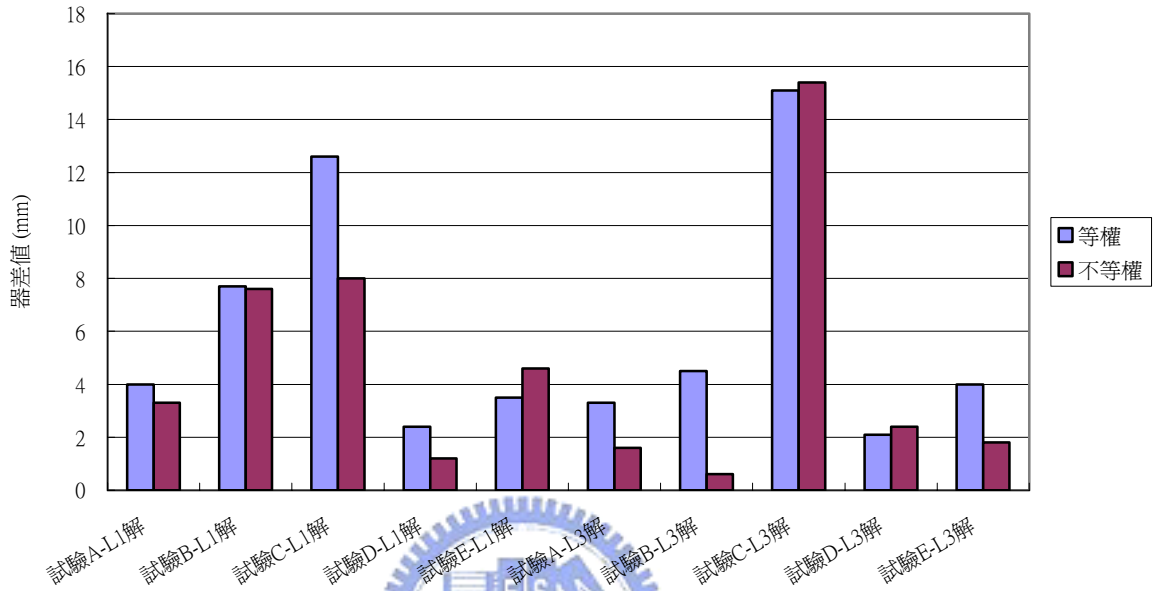


圖 3-2 C128-C093 基線（約 1.4 km）加權前後計算結果

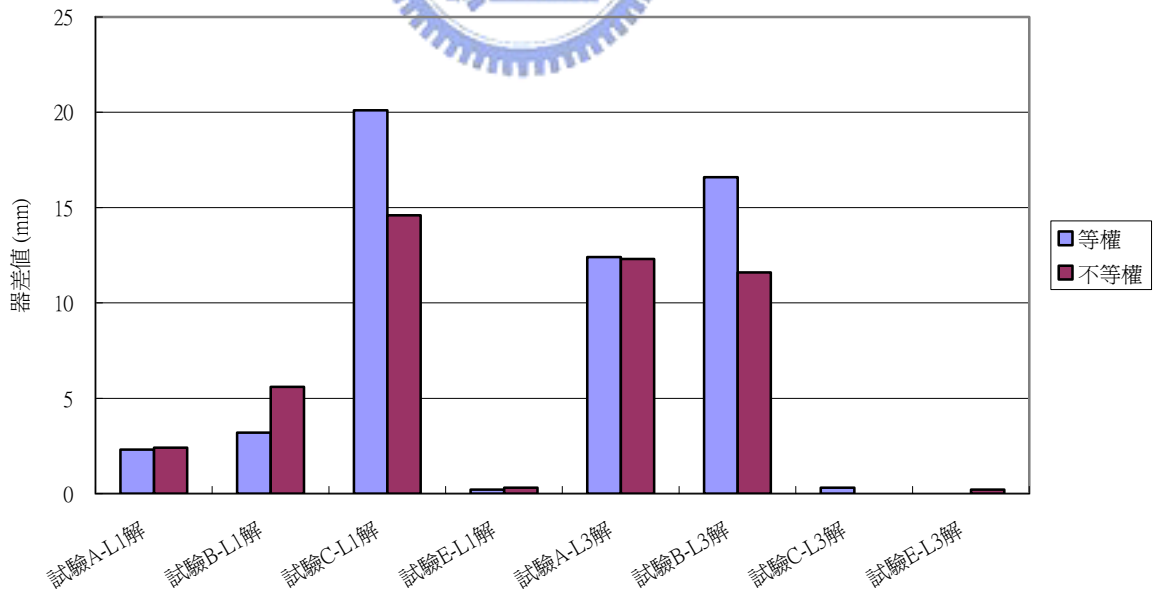


圖 3-3 C128-C009 基線（約 2.4 km）加權前後計算結果

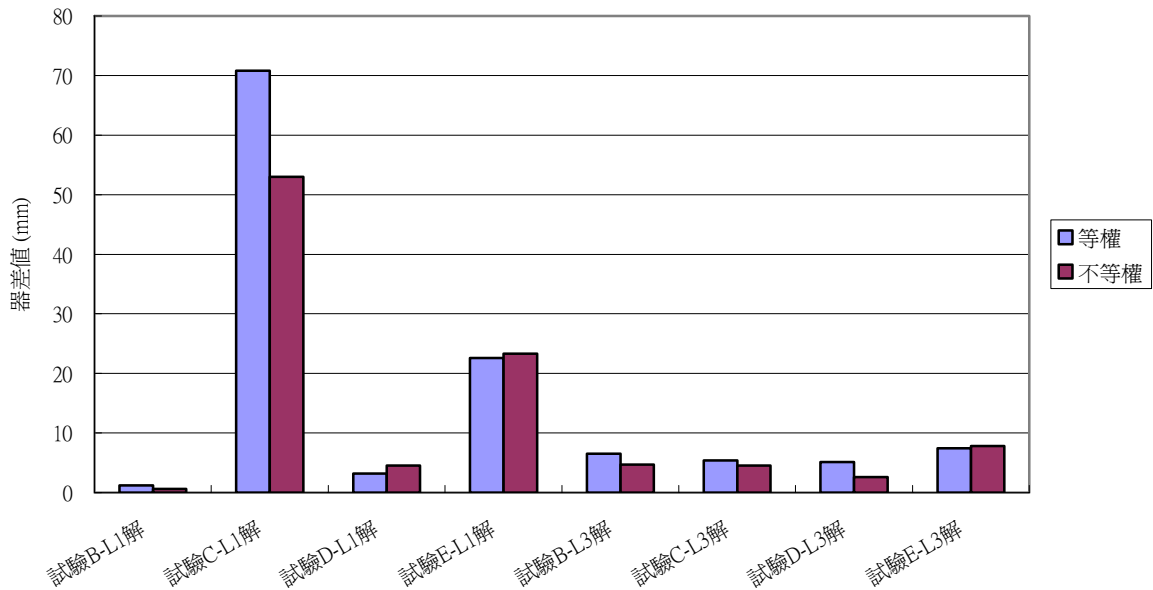


圖 3-4 C128-C132 基線 (約 8.5 km) 加權前後計算結果

由上述的計算結果可以得知，本研究所採用的觀測量不等權 ($P=\cos^2(z)$, z 為天頂距) 觀念，經實際應用於基線的求解上，不論是採用 L1 或者是 L3 頻率進行求解，都充分的證實此一方法確實可以增進 GPS 相對定位之精度，其影響反映在基線的斜距上，一般來說，平均可以提昇 1~3 mm 的精度。

此一觀測量不等權的好處不僅僅在於提昇 GPS 定位之精度，當低角度觀測量雜訊較大或多路徑效應較為嚴重的時候 (此時使用者並不知道)，若以觀測量等權的作法進行求解，納入低角度衛星之資料可能會使得求解的精度不佳【葉大綱，1999】；此時，若採用觀測量不等權的處理模式進行求解，則可以降低低角度衛星的影響量，而使得解算成果不會因此而變得太糟，在觀測資料品質較差的情況下，約可以提昇 5 mm 的基線求解精度。

雖然此觀測量不等權的處理模式可以提昇 GPS 定位之精度，但是降低了低角度衛星資料的權，有可能反而使得高程向之精度變差；而當低角度衛星之觀測資料品質良好的時候，若以不等權法處理 GPS 衛星資料，也有可能反而會降低了定位的精度，因此在使用此處理模式的時候，仍須依實際的狀況加以判斷。

3-2 以交換天線法修正天線相位中心誤差

3-2-1 天線相位中心誤差之影響

在 1992 年，Rothacher 等人發現在 Zimmerwald 固定站每日所測得的 GPS 結果與 SLR 測得所的結果相比較，於高程上約有 10 公分的差異。此 GPS 量測是在基線兩端 (Wetzell - Zimmerwald) 分別設置 Rogue (Dorne Margolin B 天線盤) 及 Trimble 4000SSE (4000ST L1/L2 GEOD 天線盤) 進行量測，此高程 10 公分的差異後來證實是 Rogue 與 Trimble 天線相位中心不一致所造成的。之後，他們再以混合不同型式天線於長基線進行量測時 (基線長約 1200 公里)，其量測結果與 ITRF93 之值相比較，發現若未進行相位中心改正，其高程之誤差可達約 11 公分，而若於 GPS 計算時加入相位中心改正，則其高程之誤差僅有 2 公分左右【Rothacher et al.,1995】。因此，可知相位中心改正對 GPS 量測精度，有絕對的影響。

天線相位中心誤差可細分為兩方面討論：

- (1) 天線平均相位中心的位置與天線物理中心的差異即稱為相位中心的偏移量。
- (2) 瞬間相位中心與平均相位中心之差異稱為相位中心變化量。

隨著信號仰角而改變的相位中心變化，對 GPS 成果的影響主要有以下兩項【Beutler et al., 1988】：

- (1) 混合不同型式天線進行 GPS 量測時，若天線相位中心變化不同時，其主要的影響是相對高程上的誤差，其誤差甚至可高達 10 公分，這類影響並不會因基線長度遠近而改變。
- (2) 若使用同型天線進行量測工作，仍會造成網形上 0.015 ppm 的尺度誤差，這是因為在長基線時，天線所觀測到的同一顆衛星其仰角是不相同的。除了隨仰角而變的相位中心變化，亦存在著隨方位角改變的相位中心變化，隨方位角而變的相位中心變化會造成水平方向上的誤差。

對於大多數 GPS 使用者而言，這些天線相位中心偏移及變化之影響，已成為主要誤差的來源。未模式化的相位中心誤差對於測定電離層及對流層模式時亦會造成系統誤差，為了改正由相位中心偏移及變化所造成的誤差，於量測工作中所使用的 GPS 天線都應加以率定【Rothacher et al.,1996】，也就是要建立每一種型式的天線，甚至每一個單一天線，其隨方位角及仰角而改變的相位中心變化改正模式。

根據 NGS 相關的研究指出，相位中心變化主要是受信號仰角影響，而非信號之方位角，且幾乎所有目前使用中的 GPS 天線，其相位中心模式與方位角幾

乎是成對稱的，一般而言所造成的誤差量並不大，主要的相位中心變化是由於信號仰角不同所引起的【Mader, 2004】。因此，這裡所探討之相位中心變化乃以隨信號仰角改變的相位中心變化為主。

3-2-2 以實測 GPS 法率定相位中心誤差

目前率定相位中心的方法有兩種，其一是以實驗室法（Anechoic chamber measurement）量測相位中心誤差，其二是由實測 GPS 觀測法率定相位中心誤差。以實驗室法進行天線相位中心率定並不普遍，原因是以實驗室法每次僅能率定一部天線，且須在配有相關設備之實驗室才能進行。

在實用上，使用者利用 GPS 從事高精度量測時，是基於『相對』定位技術，因此只要知道天線間相對的改正量即可，不須實驗室法之絕對改正量。所以，利用各種天線之 GPS 觀測量及已精確量測之測點來推測天線間之相對改正量，是一項經濟且實用的方法。

以實測 GPS 觀測法測定相位中心變化時，必須要有測站之已知坐標，其精度須在±1 mm 以內。然 GPS 法只能求出相對之相位中心改正量，因此，至少要有一組天線是以『實驗室法』推求之相位中心偏移量及變化量，當作已知值來相對求解其他待率定之天線盤，而率定相位中心偏移量及變化量大致上可分為兩步驟【陳怡兆，1998】：

1. 計算相位中心偏移量。
2. 計算與仰角及方位角相關之相位中心變化量。

而在計算相位中心偏移量時，可與測站點位坐標一同計算，其原理說明如下（圖 3-5 所示）：

A. 交換天線法：天線互換測站

$$(I + II) / 2 = r_A - r_B \quad (3-1)$$

$$(I - II) / 2 = \Delta r_1 - \Delta r_2 \quad (3-2)$$

B. 旋轉天線法：天線位置不動，僅旋轉 180°

$$(III + IV) / 2 = r_A - r_B \quad (3-3)$$

$$(III - IV) / 2 = \Delta r_1 - \Delta r_2 \quad (3-4)$$

由方法 A 及 B 之觀測結果進行分析，都可以同時計算出點位坐標及兩天線間之相對相位中心偏移改正量。以此方法計算時，為了避免法方程式奇異，全部測站坐標約制在±3 mm，經過旋轉的天線，天線偏移水平分量自由解算，垂直向

偏量則約制在 ± 5 cm，而為避免多路徑效應之影響而使成果惡化，低於仰角 15° 以下之 GPS 資料不使用。以天線互換的方法可以求得天線間水平及垂直之相對偏移量，而以天線旋轉 180° 的方法，只能求得天線間水平相對偏移量；因此，這裡吾人所採用的方法為交換天線法。

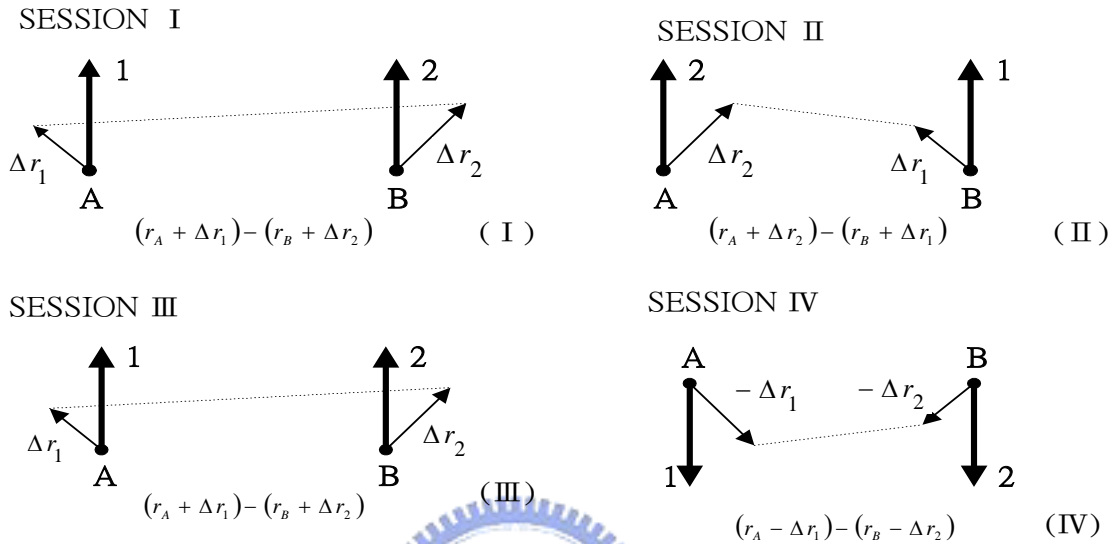


圖 3-5 同時求解天線相位中心偏移量及測站坐標【陳怡兆，1998】

3-2-3 測試場地及實驗步驟說明

本試驗網設置於中央研究院地球科學所頂樓，所測試之 GPS 天線廠牌包括 Trimble、Ashtech 及 Leica。其中，以 Trimble TR GEOD L1/L2 GP (序號：0220049315) 為本試驗之參考天線，即此天線之相位中心偏移量及變化量等數據，採用 NGS 公佈之天線修正值，因此，本試驗所率定之天線相位中心偏移量及相位中心變化量，皆相對於 NGS 公佈之率定值。而本研究的實驗步驟則摘要說明如下：

1. 首先挑選適當的地區，建立 GPS 天線相位中心率定網，測網應考慮可同時放置多種型式天線 (5~6 種或以上)，且測網要有利於 GPS 觀測，及可避開干擾或多路徑效應。測點設置採強制定心方式，即每一次整置天線皆可定心至同一位置。
2. 進行 GPS 資料分析，探討相位中心不作修正時，檢視其影響 GPS 成果 (相較於已知測點坐標) 之大小及其各坐標之分量。
3. 處理 GPS 資料時，同時求解相位中心改正模式之相關係數 r_0 及 $f(\alpha, z)$ ；其中，

r_0 是相位中心偏移量，相位中心變化量 $f(\alpha, z)$ 為一與方位角和天頂距相關之函式，此函式將分別以多項式及球諧函數來描述天線相位中心相對於平均相位中心的變化情形。

4. 分析同型天線間之差異，並推求不同天線間之相對改正量，尋求一種改正模式或改正函數之係數，提供給使用者對觀測量進行相位中心變化之修正，以進一步改善 GPS 高程之偏差。
5. 進行相位中心改正模式測試，並與未進行修正的結果相比較。

天線相位中心偏移量是相對於天線之物理中心水平及垂直向的偏差量，此天線物理中心除了製造廠商公佈之位置外，NGS 也訂定了相關的天線物理中心參考點，此天線參考點一般以 ARP (Antenna Reference Point) 表示。一致的 ARP 對於天線相位中心變化率定而言相當重要，建議 GPS 使用者應以 NGS 公佈之 ARP 為天線物理中心，如此，進行天線相位中心變化改正才能有一致性的成果並利於成果交換及比較。

3-2-4 資料處理與結果分析

這裡所採用之 GPS 衛星資料處理軟體為 Bernese 4.2，相位中心偏移量計算是以 NGS 所公佈之 Trimble TR GEOD L1/L2 GP 天線之相位中心偏移量為參考值，用以推算其他各天線之相對偏移量及變化量。再將此天線相位中心誤差代入模式中視為已知，用以計算各天線之相位中心變化量，並比較各天線相位中心隨信號仰角變化的模式，探討其對 GPS 測量所造成之影響。

以同型天線進行量測 (Trimble-Trimble)

在同型天線的測試方面，採用之天線為 Trimble TR GEOD L1/L2 GP，一共四部，共進行四個觀測天，並以天線 TRM.#9315 為固定站，於不同改正情形之坐標誤差值整理如表 3-2 所示。

混合不同型天線進行量測 (Trimble-Ashtech 及 Trimble-Leica)

在混合不同型天線的測試方面，以 Trimble TR GEOD L1/L2 GP 兩部與 Ashtech 700718、700845 及 700700 等三種型式的天線混合進行量測，共進行六個觀測天，並同樣以天線 TRM.#9315 為固定站，於不同改正情形之坐標誤差值整理如表 3-3 所示。

接下來再取 Trimble TR GEOD L1/L2 GP 兩部與 Leica SR399 INTERNAL 天線兩部混合進行量測，共進行四個觀測天，並同樣以天線 TRM.#9315 為固定站。

於不同改正情形之坐標誤差值整理如表 3-4 所示。

表 3-2 同型天線 (Trimble-Trimble) 相位中心改正前後之標準差

信號頻率	L1			L2			L1			L2		
誤差方向	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
相位中心改正情形	無相位中心改正之坐標誤差 RMS(mm)						偏移量改正後之坐標誤差 RMS(mm)					
TRM. #9315	0.1	0.1	2.2	0.1	0.1	2.2	0.1	0.1	2.2	0.1	0.1	2.2
TRM. #4689	0.6	0.2	2.4	0.3	0.3	2.5	0.3	0.2	1.8	0.3	0.3	2.3
TRM. #2231	0.5	0.4	2.3	1.4	0.8	2.6	0.3	0	2	0.3	0.2	2.3
TRM. #8476	0.2	0.3	2.3	0.3	0.3	2.6	0.2	0.3	1.9	0.3	0.2	2.4

表 3-3 混合不同型天線 (Trimble-Ashtech) 相位中心改正前後之標準差

信號頻率	L1			L2			L1			L2		
誤差方向	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
相位中心改正情形	無相位中心改正之坐標誤差 RMS (mm)						相位中心改正後之坐標誤差 RMS (mm)					
TRM. #9315	0	0	1.8	0	0	1.8	0	0	1.8	0	0	1.8
TRM. #4689	0.7	0.8	1.6	0.7	0.5	1.2	2.8	3	1	2.9	3.1	1
Ash. 700718	3.5	3.2	9.9	3.4	4.2	16.4	2.8	4.5	6.3	3.5	4.7	11.3
Ash. 700845	3.3	2.6	16	3.5	4.3	9.7	2.5	4.1	1.1	4.1	4.6	8.3
Ash. 700700	3.8	3.3	33.5	3	3.2	20.2	2.3	5.8	6.2	3.7	4.2	8.1
相位中心改正情形	以線性函數求出之相位中心變化 改正後坐標誤差RMS (mm)						以球諧函數求出之相位中心變化 改正後坐標誤差RMS (mm)					
TRM. #9315	0	0	1.8	0	0	1.8	0	0	1.8	0	0	1.8
TRM. #4689	2.8	2.9	1.1	2.9	3.1	1	2.8	3	1.3	3	3.2	1.1
Ash. 700718	2.5	4.4	5.8	4	4.9	4.8	2.6	4.4	5.6	4	4.9	4.8
Ash. 700845	2.3	4	1.8	4.6	4.8	2	2.2	4	3.3	4.5	4.7	1.9
Ash. 700700	1.6	5.7	5.6	3.6	4.2	7.4	1.6	5.7	5.5	3.6	4.3	7.5

表 3-4 混合不同型天線 (Trimble-Leica) 相位中心改正前後之標準差

信號頻率	L1			L2			L1			L2		
誤差方向	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
相位中心改正情形	無相位中心改正之坐標誤差 RMS (mm)						相位中心改正後之坐標誤差 RMS (mm)					
TRM. #9315	-0	-0	2.4	-0	-0	2.4	-0.2	-0.2	2.4	-0.2	-0.2	2.4
TRM. #4689	0.7	0.4	2.5	0.9	1.3	2.4	0.7	0.3	2.4	0.6	1.2	2.2
LEI. #5727	1.1	2.6	52	0.6	2.1	42	0.8	0.3	1.5	0.7	0.7	2.8
LEI. #4463	0.9	2.5	50	2.6	5.2	55	0.6	0.5	1.2	1.0	0.7	2.8
相位中心改正情形	以線性函數求出之相位中心變化 改正後坐標誤差RMS (mm)						以球諧函數求出之相位中心變化 改正後坐標誤差RMS (mm)					
TRM. #9315	0.1	0.1	2.2	0.1	0.1	2.2	0.1	0.1	2.2	0.1	0.1	2.2
TRM. #4689	0.8	0.4	2.2	0.7	1	2.1	0.8	0.4	2.3	0.7	1	2.3
LEI. #5727	0.8	0.4	2.2	0.7	0.4	1.8	0.8	0.4	2.4	0.7	0.4	2
LEI. #4463	0.6	0.5	2.2	1	0.7	3.3	0.6	0.5	2.4	1	0.7	3.2

由以上測試之結果得知，以同型天線進行 GPS 觀測時，若不進行任何相位中心改正，於水平方向最大標準偏差約為 1.4 mm，垂直向約為 2.6 mm；當進行相位中偏移改正及相位中心變化改正後，水平方向之標準偏差皆維持在 0.3 mm 以下，垂直向的標準偏差則約有 0.4 mm 的改善，差異並不顯著。

但以混合不同型式天線量測時，Trimble-Ashtech 若未進行相位中心改正，於水平方向的標準偏差最大約 4 mm；當進行相位中心偏移量及變化量的改正後，L1 的標準偏差約改善為 2~3 mm，L2 則較看不出改善的效果，但可明顯發現，以 NGS 公佈值進行改正時，於 L1 的 N 方向的標準偏差反而增大。若以 Trimble-Leica 混合進行量測時，於水平方向最大的標準偏差約為 5.4 mm，但進行相位中心改正後，則標準偏差都維持在 1 mm 以下。

如前所提，相位中心偏移與變化主要影響 GPS 於高程的量測精度【陳怡兆，1998】，以同型天線 (Trimble-Trimble) 進行觀測時，若未進行相位中心改正，高程之標準偏差約為 2.5 mm，對量測精度並不會造成重大影響；但若以混合天線進行觀測且未進行相位中心改正時，如 Trimble-Ashtech 高程標準偏差最大達

34 mm，Trimble-Leica 最大達 56 mm，對於高精度 GPS 定位來說，其誤差影響量可說是相當顯著。

此外，Ashtech 部分天線進行相位中心偏移量改正後，仍有約 10 mm 的標準偏差，但再進行相位中心變化量改正後，標準偏差可減小至 5 mm 左右；而 Leica 天線進行相位中心偏移量及變化量改正後，其標準偏差約為 3 mm。若同時進行相位中心偏移量與變化量改正，與只進行相位中心偏移量改正相比較，兩者的差異並不大，原因應是相位中心變化量的影響並不大所致，但對於高精度的 GPS 使用者來說，仍須同時考慮相位中心偏移量與變化量的改正，才可達到高精度的定位成果。



第四章 GPS 接收儀資料品質監控系統之建立

全球定位系統在近十年來於世界各地廣泛地使用著，由於 GPS 的作業快速、方便且高精度，因此 GPS 定位技術已普遍應用於工程測量、地籍測量、汽車導航、地殼監測以及地體動力學等領域，為了達到更廣泛、便利、高精度的定位成果，於台灣本島上密集設置 GPS 連續觀測的固定站已是時勢所趨。

未來，這些密集設置的 GPS 固定站很有可能取代現有的一等（甚至二等）衛星控制點的功能，只要有法定地位的賦予，工程人員未來在使用 GPS 來進行控制測量時，可以不需在已知點架設 GPS，只需透過網路下載測區附近 GPS 固定站的觀測資料來進行相對定位計算，即可達到高精度的定位成果，可說是大大的節省了量測所需的人力及物力。

然而，為了要確保這些 GPS 固定站所提供的觀測資料之可靠度，建立一套 GPS 接收儀資料品質監控系統應是相當重要的。在建立監控系統之前，必須要先確認哪些指標對於相對定位的精度有著較大的影響，再進而對這些指標進行管制的工作。因此，本章將分別探討接收儀時錶誤差與觀測資料品質對於 GPS 定位精度之影響；最後，再根據各項指標的影響程度大小，建立一套 GPS 接收儀資料品質監控系統。

4-1 接收儀時錶誤差對於 GPS 定位精度之影響

4-1-1 觀測資料收集

本節所採用的觀測資料是位於工研院量測中心 16 館頂樓的 TNML 固定站，該站為國際 IGS 固定站之一，所使用的 GPS 接收儀為 AOA BenchMark(如圖 4-1 所示)，並配合 AOAD/M_T 環形天線盤(如圖 4-2 所示)，全年 24 小時不間斷的接收 GPS 觀測資料。該儀器於 2002 年 DOY 171 之前所採用的頻率源為儀器內部的石英鐘，該石英鐘具有自動修正的功能，可由儀器所接收到的 GPS 訊號進行 clock steering，而將時間修正至與 GPS 衛星上的銻原子鐘或銣原子鐘同步【AOA, 1997】。TNML 固定站的頻率源自 2002 年 DOY 171 之後更換為外接式的銣原子鐘，所採用的銣原子鐘為 Datum 8040A(如圖 4-1 所示)，輸出 5 MHz 的頻率至 GPS 接收儀，並將儀器內部的 clock steering 功能關閉。



圖 4-1 TNML 站所使用的 GPS 接收儀及銣原子鐘



圖 4-2 TNML 站所使用的天線盤

這裡即擷取 TNML 固定站 2002 年 DOY 164~170 (頻率源為石英鐘) 與 DOY172~178 (頻率源為銣原子鐘) 共計 14 天的觀測資料，計算 GPS 接收儀外接銣原子鐘前後，接收儀內部時間偏移量及頻率穩定度之差異，進而探討此一差異反映在相對定位精度上之影響。

而在相對定位的資料蒐集上，則透過網路擷取了兩個 IGS 固定站的觀測資料，分別為位於台灣桃園的 TWTF 站 (與 TNML 站的基線距離為 25 km) 及位

於大陸武漢的 WUHN 站（與 TNML 站的基線距離為 920 km），同樣也是 2002 年 DOY 164~170 與 DOY 172~178 共計 14 天的觀測資料，再分別進行短距離與長距離的靜態 GPS 相對定位計算。

4-1-2 時間偏移量及頻率穩定度評估

在時間偏移量及頻率穩定度的計算上，則利用未差分的 GPS 相位資料推求接收儀時錶誤差。但在資料處理的過程中，仍須取一個參考頻率源作為標準（即假設該頻率源的時間偏移量為零）；由於目前國際時頻標準的定義仍採用 1967 年第 13 屆國際度量衡大會的決議：1 秒等於鈹 133 原子於基態之兩個超精細能階間躍遷時所放出輻射週期的 9192631770 倍時間【ISO, 1995】。故在本文中，選擇由國家時間及頻率標準實驗室負責維持的 TWTF 站當作頻率參考站，該站所採用的 GPS 接收儀為 Ashtech Z-XII3T（如圖 4-3 所示），且該接收儀外接 HP5071A 鈹原子鐘（如圖 4-4 所示），並配合 ASH701945C_M 環形天線盤（如圖 4-5 所示），同樣是全年 24 小時不間斷的接收 GPS 觀測資料。



圖 4-3 TWTF 站所使用的 GPS 接收儀

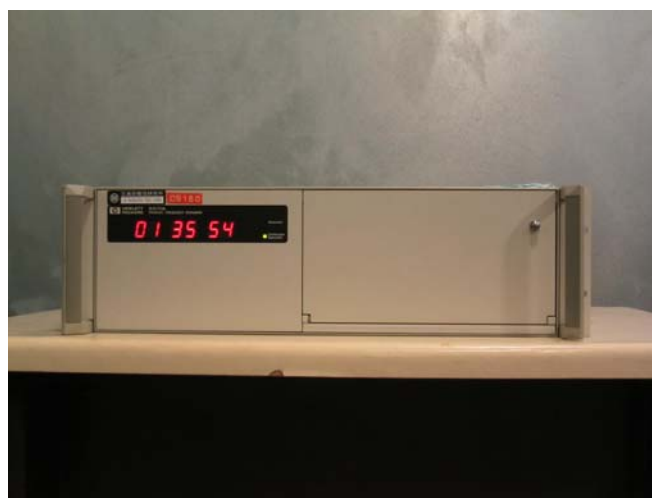


圖 4-4 TWTF 站所使用的鈹原子鐘



圖 4-5 TWTF 站所使用的天線盤

計算時則採用瑞士伯恩大學天文研究所 (AIUB) 研發的 Bernese 4.2 軟體進行計算。為了求得較準確的接收儀時頻訊息，解算前除了以 rnxsmr 程式 (需修正其錯誤) 對於相位資料進行週波脫落偵測及平滑化處理外，於參數預估程式 gpsest (需更新 clkrmx 副程式) 解算未知值的過程中，再以 resrms 程式利用輸出的殘差反覆消除雜訊較大的觀測時段及衛星，即可求得較準確的接收儀內部時間偏移量及頻率穩定度【Beutler et al., 2001】。

然而，由於原子鐘的頻率會不斷飄移，所以無法精確的計算平均值，甚至連標準差都會發散，所以這裡採用 Allan 所定義的 Allan Deviation 來進行頻率的偏移量及穩定度評估【Lesage and Ayi, 1984】。Modify Allan Deviation 的計算方法則是透過資料的二次差分後再進行標準差的計算，至於其計算的公式如下：

$$\begin{aligned} \bar{x}_k &= (x_{k+1} + x_k) / 2 \\ \bar{y}'_k &= (\bar{x}_{k+2} - \bar{x}_k) / \tau \\ MOD\sigma_y(\tau) &= \left[\frac{1}{2(N-3m+1)} \sum_{k=1}^{N-3m+1} (\bar{y}'_{k+m} - \bar{y}'_k)^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (4-1)$$

其中：

x_k ：每一時間節點的飄移量

\bar{x}_k ：相鄰二時間節點的平均值

τ ：取樣時間

N ：時間節點數

而 TNML 站在安裝了鈷原子鐘前後的時間偏移量及頻率穩定度計算結果則如表 4-1 所示，由表中可以發現，當使用 GPS 接收儀內建的石英鐘時 (DOY 164~170)，其時間偏移量優於使用鈷原子鐘 (DOY 172~178) 平均約 3 個級數；而在頻率穩定度方面(取 30 秒)，石英鐘的表現則遜於鈷原子鐘平均約 2 個級數，兩者在時間偏移量及頻率穩定度各有優劣。

表 4-1 TNML 站之時間偏移量及頻率穩定度

石英鐘			鈷原子鐘		
DOY	時間偏移量 (seconds)	頻率穩定度 (取 30 秒)	DOY	時間偏移量 (seconds)	頻率穩定度 (取 30 秒)
164	-3.85E-14	1.10E-10	172	8.43E-11	4.21E-12
165	-1.00E-13	1.10E-10	173	8.54E-11	3.96E-12
166	-9.94E-14	1.10E-10	174	8.59E-11	4.13E-12
167	-1.72E-13	1.09E-10	175	8.71E-11	4.77E-12
168	8.79E-16	1.06E-10	176	8.91E-11	8.53E-12
169	3.43E-13	1.74E-09	177	9.03E-11	4.57E-12
170	-3.69E-13	7.46E-10	178	9.13E-11	3.68E-12
平均值	-6.21E-14	4.33E-10	平均值	8.76E-11	4.84E-12

接下來，再進一步分析以天為單位，石英鐘與鈷原子鐘內部時頻的能力展現。這裡分別取了兩者第一天DOY 164 及DOY 172 的資料來進行比較，圖 4-6 所示為使用石英鐘之時間偏移量，可以發現，由於AOA BenchMark接收儀具有 clock steering 的功能，可自動的將時間修正至與GPS衛星上的鈷原子鐘或鈷原子鐘同步，故其偏移量都在零的上下跳動，而其平均值約為 -3.85×10^{-14} 秒，可說是相當的小；而圖 4-7 為使用石英鐘之頻率穩定度，由於石英鐘本身的特性，再加上進行clock steering的同時，GPS訊號會受到許多外在雜訊的影響，而使得修正後的頻率較為不穩定，故其穩定度取 30 秒時約為 1.10×10^{-10} ，取 300 秒時提升至 2.25×10^{-11} ，取 3000 秒時可達 4.88×10^{-12} 。

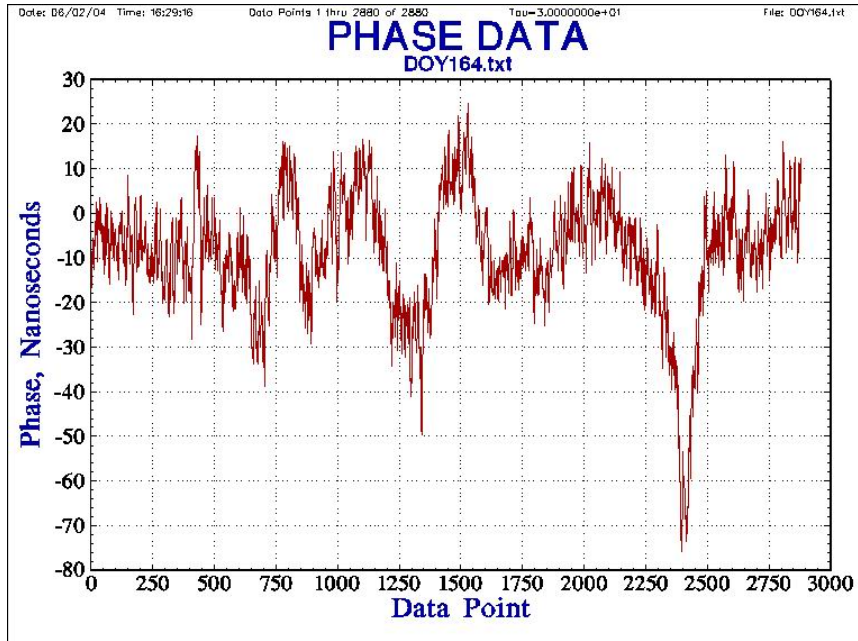


圖 4-6 使用石英鐘之時間偏移量

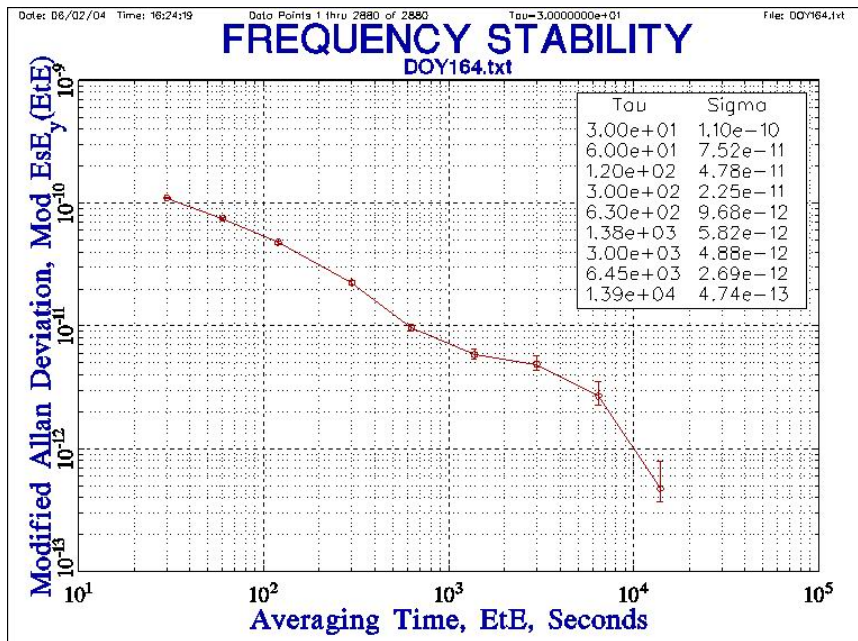


圖 4-7 使用石英鐘之頻率穩定度

圖 4-8 所示為使用鈷原子鐘之時間偏移量，由圖中可以看到時間以很穩定的速率偏離參考時間，這也是鈷原子鐘的特性，在這裡吾人所使用的鈷原子鐘時間偏移量規格為 1 年內小於 1×10^{-10} 秒【Datum, 2001】，而這裡算得的平均值約為 8.43×10^{-11} 秒，雖略遜於具有 clock steering 功能的石英鐘，但仍屬正常現象；而圖 4-9 為使用鈷原子鐘之頻率穩定度，取 30 秒時約為 4.21×10^{-12} ，取 300 秒時提升至 7.72×10^{-13} ，取 3000 秒時可達 3.16×10^{-13} ，平均優於石英鐘兩個級數。

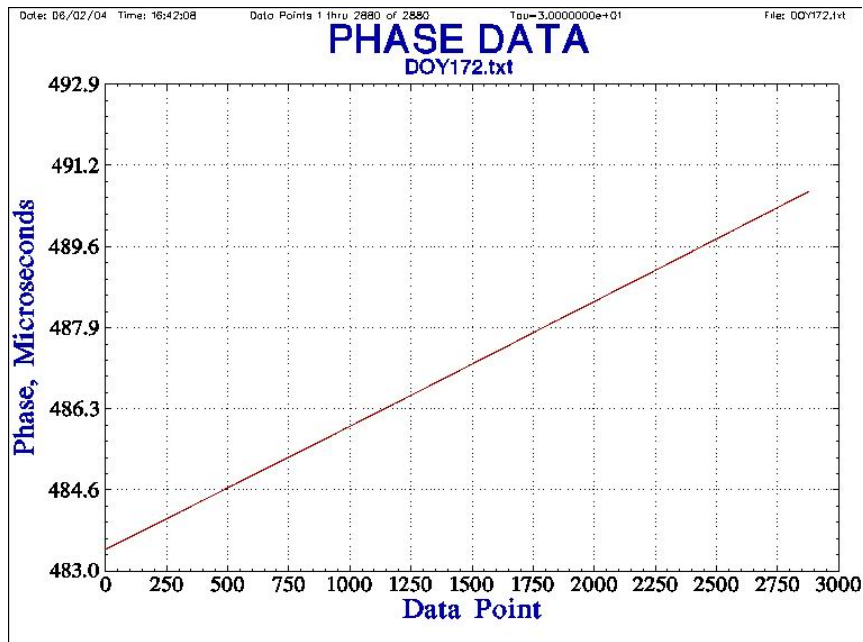


圖 4-8 使用鈷原子鐘之時間偏移量

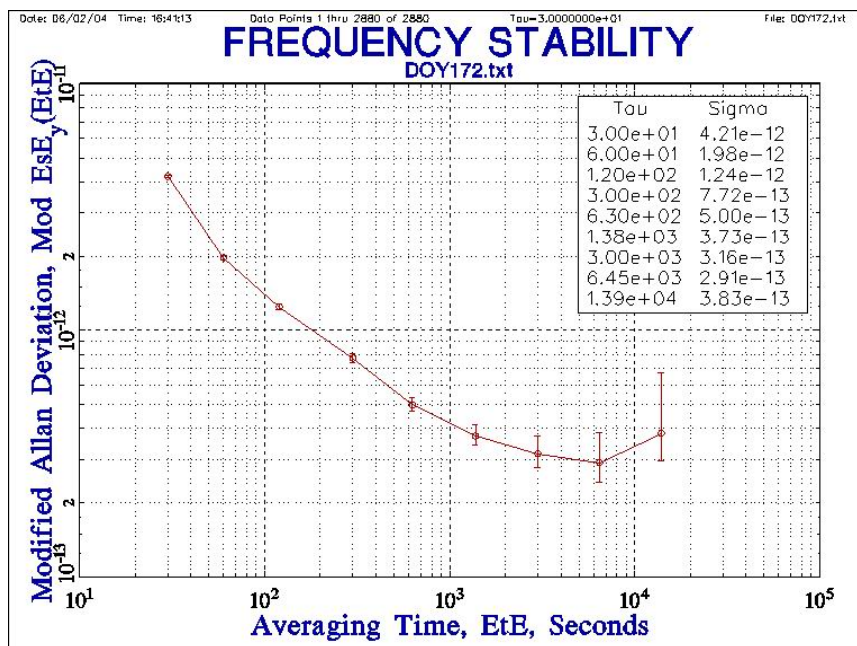


圖 4-9 使用鈷原子鐘之頻率穩定度

4-1-3 GPS 靜態相對定位精度評估

在瞭解石英鐘與鈷原子鐘的特性之後，接下來進行 GPS 靜態相對定位的精度評估，進而分析兩者之間的相互關係。

而在進行靜態相對定位之前，吾人先針對 TNML 固定站的觀測資料品質以 UNAVCO 所研發的 TEQC 軟體進行分析，在這裡，所採用的 GPS 觀測資料品質指標有三項，分別為 mp1(L1 載波的多路徑效應)、mp2(L2 載波的多路徑效應)、

o/slps (每 n 個觀測量會產生一個週波脫落)【葉大綱等，2002】，同樣是擷取 2002 年 DOY 164~170 (頻率源為石英鐘) 與 DOY 172~178 (頻率源為鈷原子鐘) 共計 14 天的觀測資料來計算，所得的結果如表 4-2 所示。

由表中可以看到，安裝鈷原子鐘前後各七天的觀測資料品質大致上非常接近，顯示於這一段期間，TNML 站的外在環境因素並無明顯的變化，僅有頻率源由原先儀器內建的石英鐘更換為鈷原子鐘，若其相對定位精度有所改變，極有可能是頻率源改變所造成的影響。

表 4-2 TNML 站之觀測資料品質

石英鐘				鈷原子鐘			
DOY	mp1 (m)	mp2 (m)	o/slps	DOY	mp1 (m)	mp2 (m)	o/slps
164	0.38	0.35	83	172	0.38	0.35	82
165	0.38	0.33	88	173	0.38	0.35	87
166	0.38	0.35	86	174	0.35	0.33	64
167	0.38	0.35	81	175	0.33	0.33	53
168	0.37	0.33	82	176	0.32	0.34	56
169	0.38	0.35	64	177	0.33	0.33	55
170	0.39	0.35	70	178	0.32	0.33	57
平均值	0.38	0.34	79	平均值	0.34	0.34	65

最後，同樣取更換鈷原子鐘前後各七天的觀測資料，分別進行 TNML 站對 TWTF 站短距離(來基線距離約 25 km)的靜態相對定位，以及 TNML 站對 WUHN 站長距離(基線距離約 920 km)的靜態相對定位，來看看內部頻率源變化對於 GPS 靜態相對定位的精度影響。

基線解算同樣也是使用瑞士伯恩大學天文研究所研發的 Bernese 4.2 軟體，在計算時，分別固定 TWTF 站及 WUHN 站的坐標來求解 TNML 站的坐標，並將所求出 ITRF 2000 坐標系的 XYZ 坐標轉換為平面及高程方向來進行分析。

在安裝鈷原子鐘前後，短距離靜態相對定位三維坐標變化量分別如圖 4-10 及圖 4-11 所示，而長短距離靜態相對定位三維坐標變化量則分別如圖 4-12 及圖 4-13 所示。

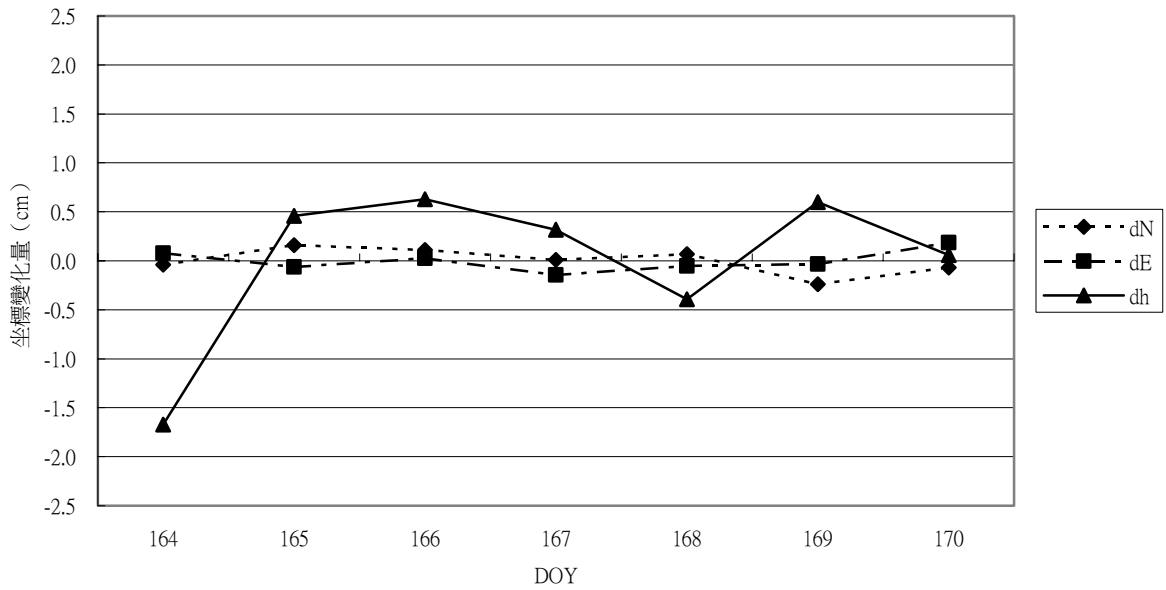


圖 4-10 使用石英鐘之短距離靜態相對定位三維坐標變化量

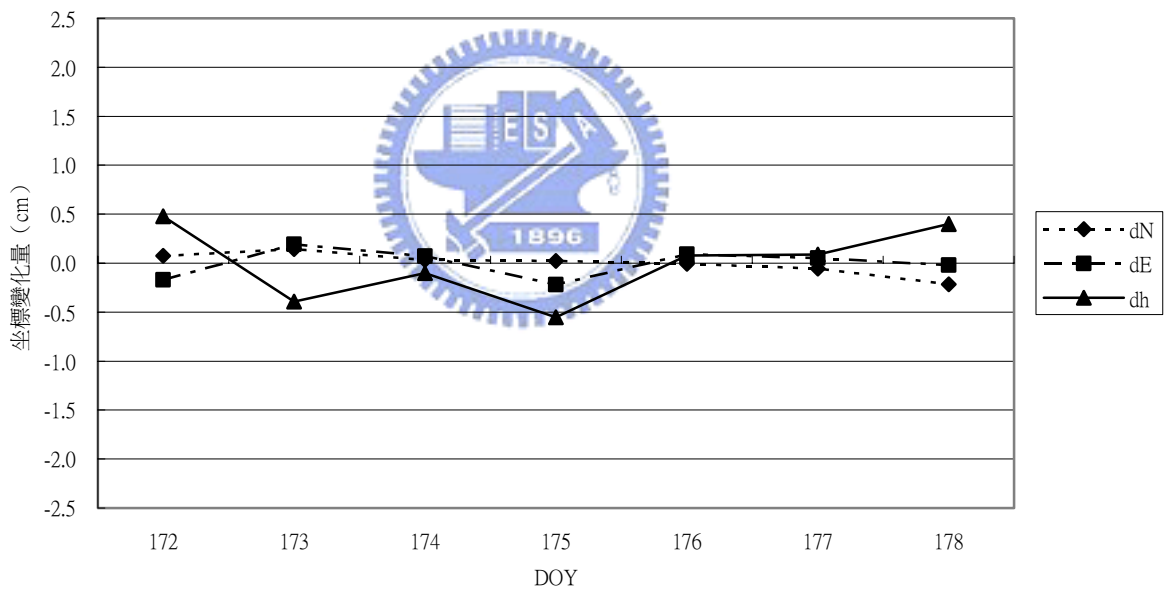


圖 4-11 使用銣原子鐘之短距離靜態相對定位三維坐標變化量

由圖 4-10 及圖 4-11 我們可以發現，當使用銣原子鐘時，所計算出來的坐標變化量較為穩定。當 TNML 站使用石英鐘來進行短距離靜態相對定位時，其 N 方向的標準差為 1.3 mm，E 方向的標準差為 1.1 mm，h 方向的標準差為 8.2 mm；而當 TNML 站使用銣原子鐘來進行短距離靜態相對定位時，其 N 方向的標準差為 1.1 mm，E 方向的標準差為 1.5 mm，h 方向的標準差為 3.8 mm。

在平面向的定位中，不論是 N 方向或 E 方向，使用銣原子鐘前後的結果都

差不多；但在高程向的定位上，則在安裝了銩原子鐘之後，其定位精度由原先的 8.2 mm 變為 3.8 mm，定位精度提升了 4.4 mm，可說是提升了約 54% 的高程向精度。

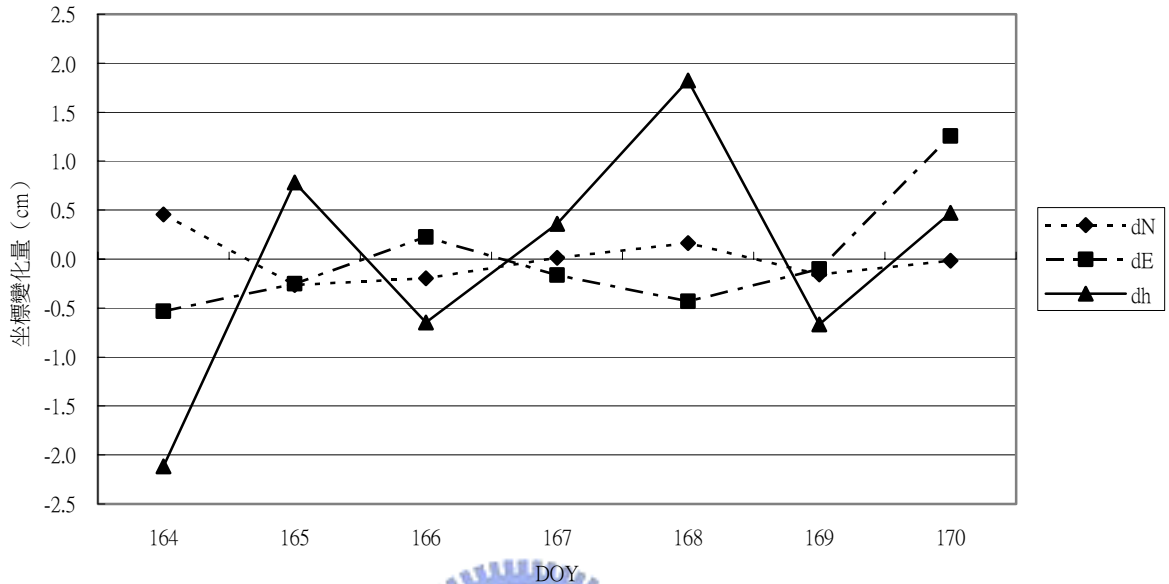


圖 4-12 使用石英鐘之長距離靜態相對定位三維坐標變化量

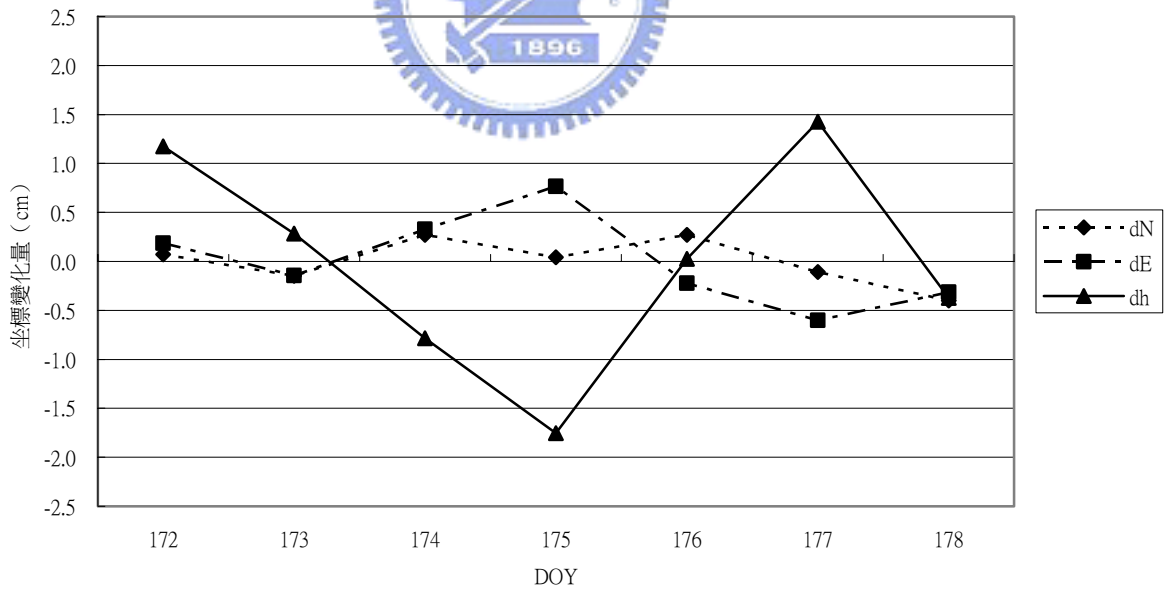


圖 4-13 使用銩原子鐘之長距離靜態相對定位三維坐標變化量

由圖 4-12 及圖 4-13 我們可以發現，當使用銩原子鐘時，所計算出來的坐標變化量略為穩定一些。當 TNML 站使用石英鐘來進行長距離靜態相對定位時，其 N 方向的標準差為 2.5 mm，E 方向的標準差為 6.1 mm，h 方向的標準差為 12.7

mm；而當 TNML 站使用鈷原子鐘來進行長距離靜態相對定位時，其 N 方向的標準差為 2.4 mm，E 方向的標準差為 4.6 mm，h 方向的標準差為 11.1 mm。

在平面向的定位中，N 方向的精度在使用鈷原子鐘前後的結果都差不多，但在 E 方向，定位精度由原來的 6.1 mm 變為 4.6 mm，提升了約 25% 的精度；而在高程向的定位上，則在安裝了鈷原子鐘之後，其定位精度由原先的 12.7 mm 變為 11.1 mm，提升了約 13% 的高程向精度。

4-2 觀測資料品質對於 GPS 定位精度之影響

4-2-1 觀測資料品質指標

這裡所採用的觀測資料品質指標有下列五項：

- (1) mp1：L1 載波的多路徑效應，亦可視為 L1 載波觀測量的雜訊大小，其計算方式如(4-2)式，此雜訊量在本文中以公尺為單位【李旭志，1999】。
- (2) mp2：L2 載波的多路徑效應，亦可視為 L2 載波觀測量的雜訊大小，其計算方式如(4-3)式，此雜訊量在本文中以公尺為單位【李旭志，1999】。

$$mp1 = P_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)\Phi_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)\Phi_2 \quad (4-2)$$

$$mp2 = P_2 - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)\Phi_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)\Phi_2 \quad (4-3)$$

上兩式中：

P = 虛擬距離觀測量

Φ = 載波相位觀測量

$$\alpha = (f_1/f_2)^2$$

$$f_1 = L_1 \text{ 之頻率} = 1575.42\text{MHz}$$

$$f_2 = L_2 \text{ 之頻率} = 1227.60\text{MHz}$$

- (3) o/slps：顧名思義，此項指標為『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』，亦即每 n 個觀測量會產生一個週波脫落，無單位，這裡採用多項式套合法來偵測週波脫落【陳正唐，2001】。
- (4) tp：接收器內部時鐘與 GPS 時鐘的平均偏差量，以秒為單位。

(5) fp：接收儀內部時鐘的頻率穩定度，也是以秒為單位。

其中，前三項指標是以 UNAVCO 所研發的 TEQC 軟體解算而得（詳見 2-4 節的介紹），而後兩項指標則是以瑞士伯恩大學所研發的 Bernese 4.2 版軟體計算而得（詳見 2-3 節的介紹）。

4-2-2 實驗方法及儀器

本實驗針對五種廠牌六種型號的 GPS 接收儀進行測試，採用的儀器詳如表 4-3 及圖 4-14。為了消除不同環境因素對定位精度所造成的影響，本項測試選在國家超短基線校正場進行，而校正場平面示意圖如圖 4-15 所示。因為測試地點非常接近，所以各接收儀所受到的對流層及電離層誤差效應可說是完全相同，這樣可確保在相同的環境下，針對不同儀器的特性分析其短、中、長距離基線定位之精度，進而測試觀測資料品質與定位精度之相關性。

實驗方法為將六部儀器同時整置在 GPS 校正基樁上，於 2004 年 1 月 5 日至 7 日連續 72 小時同步接收，資料取樣間隔設定為 30 秒，衛星接收仰角為 15 度，並藉由儀器廠商所提供之轉換程式，將各廠牌的原始觀測資料轉換成 Rinex 共通格式，以方便後續的資料處理。

表 4-3 測試儀器整置樁位一覽表

整置樁位	測試儀器	觀測時數	備註
TNML	A 型	連續 72 小時	接收儀放在室內，儀器維持恆溫，且樁位透空度較佳
NML3	B 型	連續 72 小時	接收儀放在室內，儀器維持恆溫
NML4	C 型	連續 72 小時	接收儀放在室外，儀器未維持恆溫
NML5	D 型	連續 72 小時	接收儀放在室外，儀器未維持恆溫
NML6	E 型	連續 72 小時	接收儀放在室外，儀器未維持恆溫
NML7	F 型	連續 72 小時	接收儀放在室內，儀器維持恆溫



圖 4-14 測試所採用的儀器

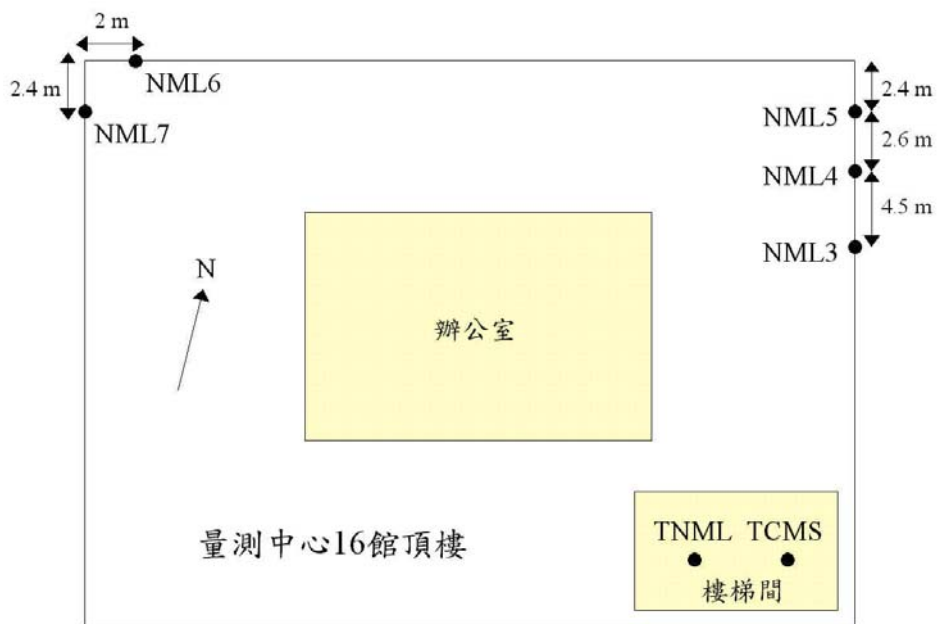


圖 4-15 國家超短基線校正場平面示意圖

4-2-3 觀測資料品質指標的計算結果

先將 GPS 觀測資料以 4 小時為 1 時段，共分成 18 期，再利用品質檢核軟體 Teqc 進行解算，所求得之各種廠牌型號接收儀之 mp1、mp2 及 o/slps 如表 4-4 所示，這裡僅取節錄其平均值。

表 4-4 各型接收儀之 mp1、mp2 及 o/slps

儀器代號	mp1 (m)	mp2 (m)	o/slps
A 型	0.33	0.35	96
B 型	0.18	0.20	1144
C 型	0.89	0.62	80
D 型	0.49	0.49	3112
E 型	0.05	0.09	2888
F 型	0.19	0.23	3234

由上述資料可看出在多路徑效應 mp1 及 mp2 這兩項觀測指標上，以 E 型儀器的精度較好，C 型的精度較差；而在 o/slps 這項觀測指標上則以 D 型及 F 型的表現較好，C 型的表現較差。

另一方面，在解算內部時鐘偏移量及頻率穩定度時，須選擇一接收儀之內部時頻作為標準，本研究所選擇的是 IGS 站中美國的 AMC2 站，此追蹤站位於美國科羅拉多州的柯泉市 (Colorado Springs)，由美國海軍天文台所管理 (U.S. Naval Observatory)，其外觀如圖 4-16 所示；該站站的 WGS84 坐標約為 X=-1248596.1945 m，Y=-4819428.2320 m，Z=3976505.9904 m，經緯度約為北緯 38.80312428 度，西經 104.52459375 度，橢球高約為 1911.4071 m。

AMC2 固定站所使用的 GPS 接收儀型號為 Ashtech Z-XII3T，天線型號為 AOAD/M_T，這種天線使用一種特殊的展頻技術，使得在接收 L1 及 L2 載波訊號時，有一特定的時間延遲量存在，分別為 L1 載波延遲 23.47 ns 及 L2 載波延遲 24.92 ns。

此外，GPS 接收儀和天文台的氫原子鐘（頻率為 5 MHz，銇原子鐘為 10 MHz）放置於同一建築物中，所以可以快速的改正 GPS 接收儀時鐘的時間。因其採用的內部時鐘是氫原子鐘，其時鐘偏移量及頻率穩定度皆達一定之水準，且優於一般 GPS 接收儀內部的晶體時鐘。因此，在這一節使用相位推求接收儀內部時鐘偏移量及頻率穩定度時，將以該接收儀之內部時頻為標準（即假設其內部時鐘偏移量及頻率穩定度為 0），來進行後續的資料處理。



圖 4-16 美國海軍天文台

在資料處理方面，將外業儀器測試所接收到的相位觀測資料，採用瑞士伯恩大學天文研究所研發的 Bernese 4.2 軟體進行計算。為了求得較準確的接收儀時頻訊息，解算前除了以 rxsmst 程式對於相位資料進行週波脫落偵測及平滑化處理外，於參數預估程式 gpsest 解算未知值的過程中，再以 resrms 程式利用輸出的殘差反覆消除雜訊較大的觀測時段及衛星，即可求得接收儀內部時間偏移量及頻率穩定度，其結果如表 4-5 所示，這裡僅取節錄其平均值。

表 4-5 各型接收儀之 tp 及 fp

儀器代號	tp (seconds)	fp (seconds)
A 型	9.01E-04	1.29E-09
B 型	-6.76E-08	1.34E-09
C 型	-1.28E-08	1.33E-09
D 型	-1.74E-05	1.27E-09
E 型	-5.04E-09	1.34E-09
F 型	1.75E-07	1.50E-09

由上述資料可看出在 tp（內部時鐘的平均偏差量）這項品質指標上，以 E 型的時間偏移量最小，A 型的時間偏移量較大；而在 fp（內部時鐘的穩定度）的表現上，則以 A 型及 D 型的較穩定，F 型的穩定度較差。

4-2-4 短、中、長距離靜態相對定位的計算結果

接下來，將進行上述觀測資料的靜態相對定位，來分析其定位精度的好壞。首先，透過網路下載 IGS 連續追蹤網中的日本 USUD 站、台灣 TWTF 站以及內政部 PKGM 站的 GPS 觀測資料。在計算時約制上述三站坐標作為主站，分別對各種廠牌型號儀器所接收的觀測資料進行短距離（對 TWTF 站約 25 km）、中距離（對北港站約 150 km）、長距離（對 USUD 站約 2000 km）的基線解算，用以評估不同基線距離的相對定位精度；而追蹤站位置與實驗場地分布如圖 4-17 及圖 4-18 所示，圖中 TNML 即代表實驗場地所在位置。

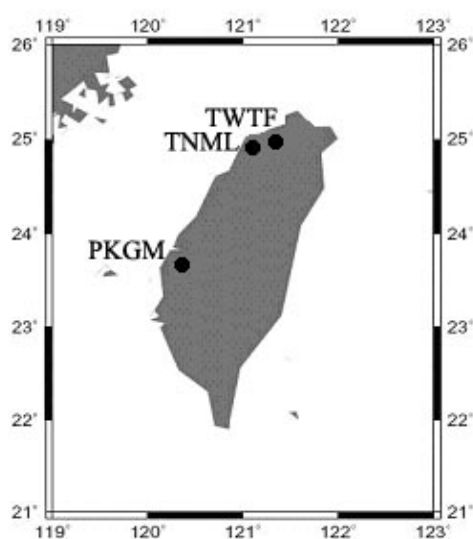


圖 4-17 TWTF 及 PKGM 追蹤站分布圖

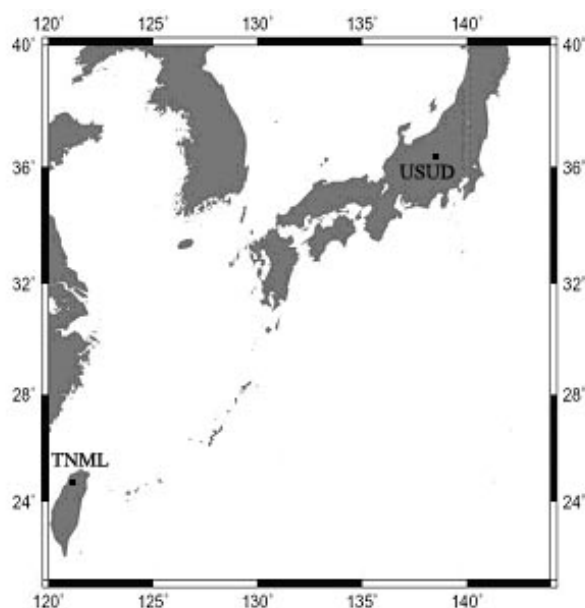


圖 4-18 USUD 追蹤站分布圖

在進行基線解算之前，吾人先將 72 小時觀測資料以 4 小時為 1 時段，共分成 18 期，再分別對不同儀器進行相對定位基線解算。在資料分析上，將每 1 時段計算而得的基線長減去其平均值，即可得到各時段計算結果的變化量，所獲得的成果則整理如表 4-6。

表 4-6 長、中、短距離相對定位之基線標準差

儀器代號	長距離 (cm)	中距離 (cm)	短距離 (cm)
A 型	1.75	0.14	0.11
B 型	1.79	0.15	0.13
C 型	1.87	0.20	0.17
D 型	1.81	0.17	0.16
E 型	1.85	0.28	0.27
F 型	1.80	0.20	0.17

雖然各接收儀的觀測資料品質各有優缺點，但其影響量反映在長、中、短基線的解算成果上，相差都在 2 mm 以下，可算是非常的小。因此，吾人將針對測站坐標進行分析，即分別對 N、E、h 方向進行更深入的探討。

為了分別針對坐標 N、E、h 方向進行探討，吾人先透過內政部所提供的坐標轉換程式將 X、Y、Z 坐標轉換為 N、E、h 坐標，以方便針對平面方向及高程方向的穩定度做更進一步的探討。與前面所述的資料處理方式相同，吾人亦採用這 72 小時觀測資料的坐標平均值為參考值，將每一時段計算而得的 N、E、h 坐標分別減去其平均值來進行坐標重現性分析，即可計算三軸坐標標準差及其合成量，用以作為定位精度指標；所獲得的結果長距離相對定位坐標標準差如表 4-7 所示，中距離相對定位坐標標準差如表 4-8 所示，而短距離相對定位坐標標準差則如表 4-9 所示。

結果顯示，在長距離相對定位的表現上，以 B 型表現最佳，F 型表現最差；在中距離相對定位的表現上，仍以 A 型及 B 型表現最佳，F 型表現最差；而在短距離的定位精度上，則以 A 型及 D 型表現最佳，F 型表現最差。

表 4-7 長距離相對定位之三軸坐標標準差及合成量

儀器代號	N (cm)	E (cm)	h (cm)	合成量 (cm)
A 型	1.05	2.09	3.44	4.16
B 型	1.02	2.13	3.13	3.92
C 型	1.04	2.18	4.31	4.94
D 型	1.01	2.26	3.77	4.51
E 型	1.10	2.34	3.53	4.37
F 型	0.95	1.66	5.27	5.61

表 4-8 中距離相對定位之三軸坐標標準差及合成量

儀器代號	N (cm)	E (cm)	h (cm)	合成量 (cm)
A 型	0.17	0.21	0.71	0.76
B 型	0.16	0.23	0.68	0.73
C 型	0.20	0.23	1.70	1.73
D 型	0.16	0.27	0.88	0.93
E 型	0.26	0.33	1.05	1.13
F 型	0.20	0.21	2.50	2.52

表 4-9 短距離相對定位之三軸坐標標準差及合成量

儀器代號	N (cm)	E (cm)	h (cm)	合成量 (cm)
A 型	0.13	0.16	0.59	0.62
B 型	0.11	0.19	0.70	0.74
C 型	0.10	0.24	1.63	1.65
D 型	0.13	0.20	0.53	0.58
E 型	0.25	0.23	0.98	1.03
F 型	0.17	0.21	2.32	2.33

4-2-5 品質指標與相對定位精度之相關性

這一節將利用 4-2-3 節的資料品質指標解算成果和 4-2-4 的相對定位精度成果，用以評估 GPS 觀測資料品質與相對定位精度之相關性。首先，先將各型儀器的品質指標及相對定位精度（三維合成量）整理成表 4-10 所示。

表 4-10 觀測品質指標及相對定位精度之相關性分析（4 小時）

儀器代號	mp1 (m)	mp2 (m)	o/slps	tp (秒)	fp (秒)	長距離 (cm)	中距離 (cm)	短距離 (cm)
A 型	0.33	0.35	96	9.01E-04	1.29E-09	4.16	0.76	0.62
B 型	0.18	0.20	1144	-6.76E-08	1.34E-09	3.92	0.73	0.74
C 型	0.89	0.62	80	-1.28E-08	1.33E-09	4.94	1.73	1.65
D 型	0.49	0.49	3112	-1.74E-05	1.27E-09	4.51	0.93	0.58
E 型	0.05	0.09	2888	-5.04E-09	1.34E-09	4.37	1.13	1.03
F 型	0.19	0.23	3234	1.75E-07	1.50E-09	5.61	2.52	2.33

另外，為了探討不同的觀測時間是否會對品質指標及相對定位精度的相關性造成影響，吾人也將觀測時間縮減為 2 小時來做分析，並整理成果如表 4-11 所示。

表 4-11 觀測品質指標及相對定位精度之相關性分析（2 小時）

儀器代號	mp1 (m)	mp2 (m)	o/slps	tp (秒)	fp (秒)	長距離 (cm)	中距離 (cm)	短距離 (cm)
A 型	0.32	0.34	84	8.53E-04	1.47E-09	7.37	2.63	1.77
B 型	0.17	0.19	690	-6.15E-08	1.62E-09	6.14	1.96	1.30
C 型	0.89	0.66	69	-7.43E-09	1.58E-09	9.99	3.43	2.27
D 型	0.47	0.48	1824	2.25E-05	1.59E-09	6.92	1.78	1.42
E 型	0.04	0.08	1676	8.41E-10	1.64E-09	6.78	3.24	1.67
F 型	0.20	0.25	1686	1.64E-07	1.86E-09	11.46	5.84	4.03

分析上述的統計表格可以發現，整體來說，在進行靜態相對定位時，5 項觀測指標中以接收儀內部頻率穩定度 (fp) 的影響最大。例如：A 型及 D 型這兩部儀器的頻率穩定度較佳，其定位精度也較為突出；而 F 型這台接收儀的頻率穩定度較差，其定位精度在 6 台儀器中也最差。第二項影響較大的品質指標為週波脫落 (o/slps)。例如：A 型、C 型及 E 型這三台儀器中的頻率穩定度差異並不大，但以 C 型的週波脫落最嚴重，其定位精度也最差。

至於多路徑效應 (mp1、mp2) 在本實驗看來，其影響量並不明顯。但也有可能是因為本實驗場位於國家超短基線校正場，該場地的透空度極佳，所以多路徑效應還未明顯到可以影響定位精度。而接收儀內部時鐘偏移量 (tp)，其偏移量之大小反映在定位的精度上，則看不出有任何的影響。可用下列方程式來加以說明：

$$\varepsilon = \alpha_0 + \alpha_1(t - t_{oe}) + \alpha_2(t - t_{oe})^2 \quad (4-4)$$

其中：

ε 為時間修正量

α_0 為相對於 GPS 時的時間偏差 (clock bias)

α_1 為相對於實際頻率的頻率偏差係數 (clock drift)

α_2 為時鐘頻率的飄移係數 (clock drift-rate)

t 為接收儀時間

t_{oe} 為參考時間

接收儀內部頻率穩定度之好壞遠比其內部時鐘偏移量之大小來得重要，主要的原因可以用上面公式來解釋【曾清涼、儲慶美，1999】。因為修正時間誤差一般以 ε 來修正，而接收儀大部分會記錄其時鐘偏移量，並在定位的過程中加以修正，故其影響不大；但內部頻率穩定度 α_1 並不會記錄及修正，所以內部頻率穩定度較差，在解算的過程中難以有效的修正，故其對於定位精度之影響量較大。

4-3 GPS 接收儀觀測資料品質監控系統之建立

4-3-1 內政部衛星追蹤站簡介與國外類似系統的介紹

衛星追蹤站為一全天候 24 小時連續接收 GPS 衛星訊號的多功能資料接收站，為國家坐標系統之依據，除可作為一、二等衛星控制點施測時之最高等控制

外，亦可提供精密詳實之衛星資料，服務各界使用。

內政部為建立完整、統一、高精度之基本控制點系統，計於台閩地區規劃設置八個衛星追蹤站，其中 82 年度設置陽明山 (YMSM)、墾丁 (KDNM)、鳳林 (FLNM)、金門 (KMNM) 等四個衛星追蹤站，83 年度設置馬祖 (MZUM)、北港 (PKGM)、太麻里 (TMAM)、東沙 (TNSM) 等四個衛星追蹤站【內政部，1998】，其間經歷了 10 年的運作，所接收的觀測資料已普遍應用於工程測量、地籍測量、地殼監測以及地體動力學等領域，且為台灣基本控制測量的基礎，因此，各衛星追蹤站觀測資料品質的好壞就更形重要。

在台灣地區，由內政部、中研院、氣象局、中央地調所及各學術研究團體所設置的 GPS 固定站已超過 100 座，未來若有法定地位的賦予，很有可能取代現有一等衛星控制點的功能；換句話說，未來使用者在進行 GPS 靜態相對定位時，並不需要在已知點架設 GPS，僅需透過網路下載測區附近的 GPS 固定站資料，再進行資料後處理，即可精密的算出未知點的坐標值，可大大的減少測量外業所需的人力、物力；而過去在進行 GPS 測量之前，所先需執行的已知點檢核工作，將改由資料提供者（例如：內政部）來做。

因此，需建立一套監控系統，針對各衛星追蹤站觀測資料品質進行管制，希望能夠藉由此一監控流程，當儀器發生故障或追蹤站環境發生變化時，能早期發現問題儘早處理異常狀況，藉以確保各追蹤站觀測資料的品質。後面為兩個實例，說明本系統的重要性及效益：

(1) 案例一：IGS 的 TWTF 站

圖 4-19 為 IGS 的 TWTF 站資料品質管制圖，由圖中可以看到，以 2003 年第 203 天為基準（代表第 0 天），前 35 天之前的觀測資料都正常，但近一個月的觀測資料不僅資料筆數減少、週波脫落數增加，且雜訊也大幅度的增加，但儀器的運作都很正常。後來經過仔細的檢查，才發現是附近有類似頻率的干擾源在發送訊號，經協調後請對方調整頻率才得以解決這種狀況。

(2) 案例二：內政部的墾丁站

圖 4-20 為內政部的墾丁站、陽明山站資料品質管制圖，這兩站採用相同廠牌的 GPS 接收儀，且為同時期購入，兩站的資料品質理應雷同才對。但由圖中可以發現，墾丁站的週波脫落明顯較大，檢查後才發現是參數設定錯誤，經調整後，每 1000 筆觀測資料的週波脫落數，才從原來的 100 降為 20（正常值）。

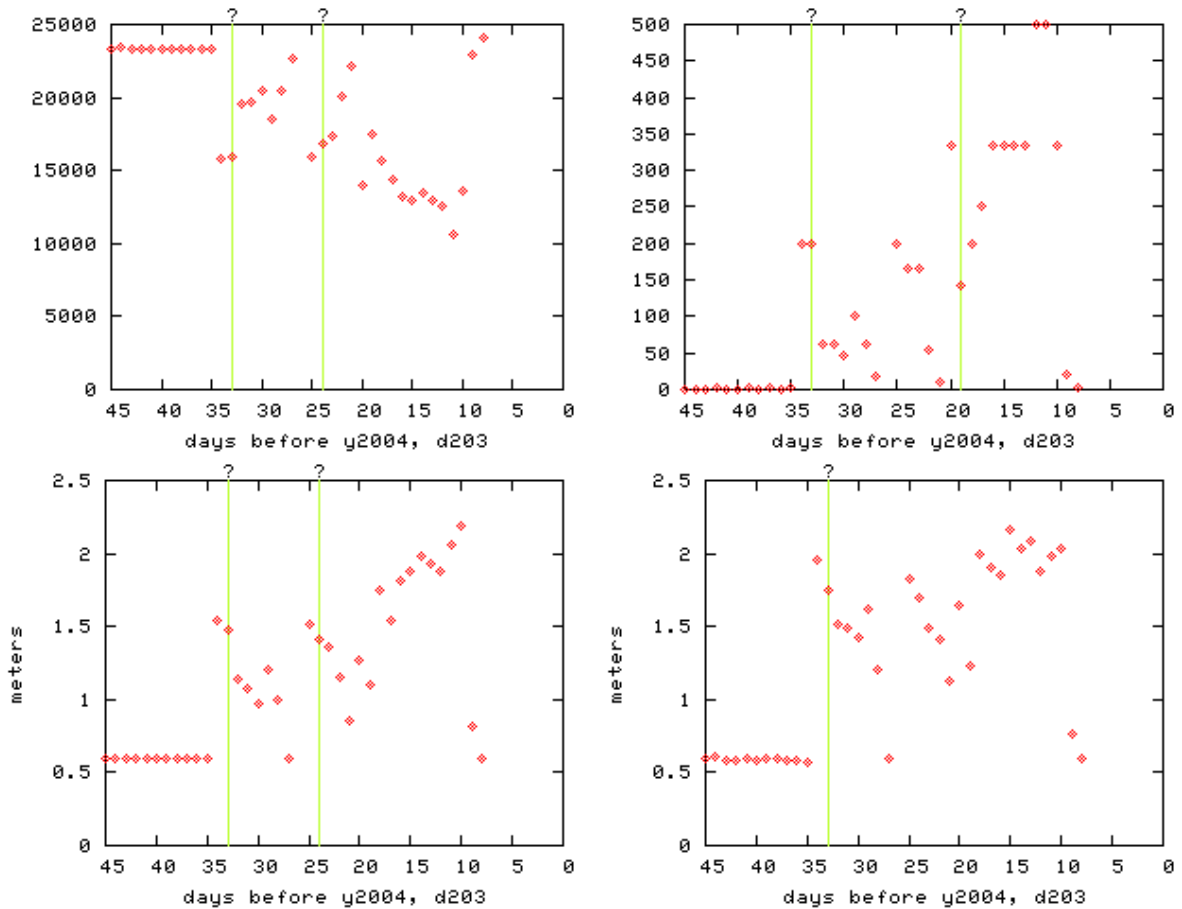


圖 4-19 IGS 的 TWTF 站資料品質管制圖

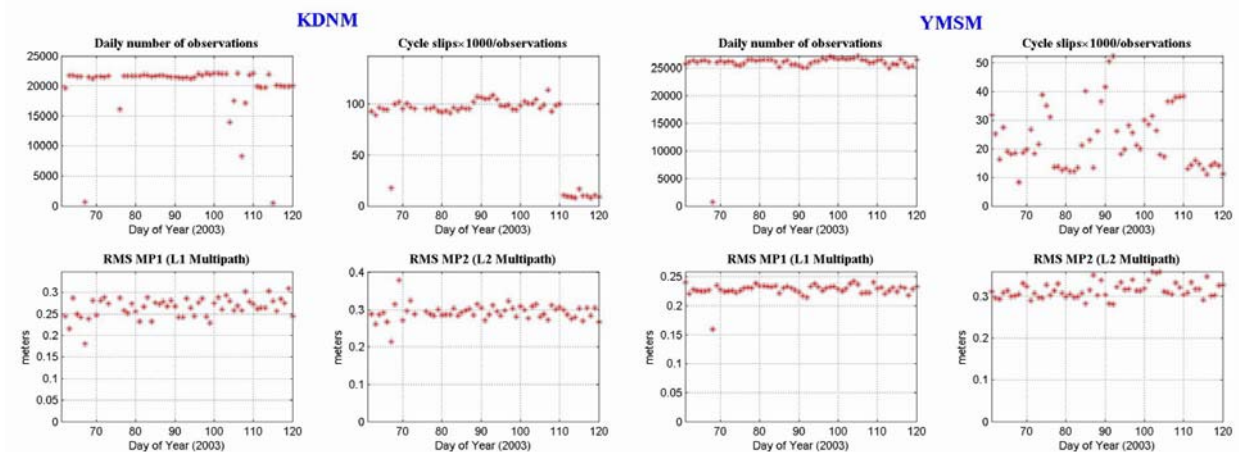


圖 4-20 內政部的墾丁站、陽明山站資料品質管制圖

接下來，介紹幾個著名的國外 GPS 資料中心，看看他們在 GPS 資料品質監控方面是如何進行的。

(1) IGS (International GPS Service)

IGS為美國太空總署 (NASA) 噴射推進實驗室 (JPL) 贊助下的一個國際性

組織，網址<http://igs.cb.jpl.nasa.gov/>。其主要功能為以近即時的方式，藉由網路提供高品質的GPS觀測資料及其產品，讓世界上各種工程及科學領域的使用者自由下載，並可免費使用於基礎研究及科學應用。全球的IGS連續觀測站共有 381 個，其分佈如圖 4-21 所示。由各站所收集而得的GPS觀測資料，主要應用於地殼變動的監測、海水位高程的監測、國際坐標參考框架與地球自轉的研究、衛星軌道計算、研究電離層活動及降雨量預估等相關研究。

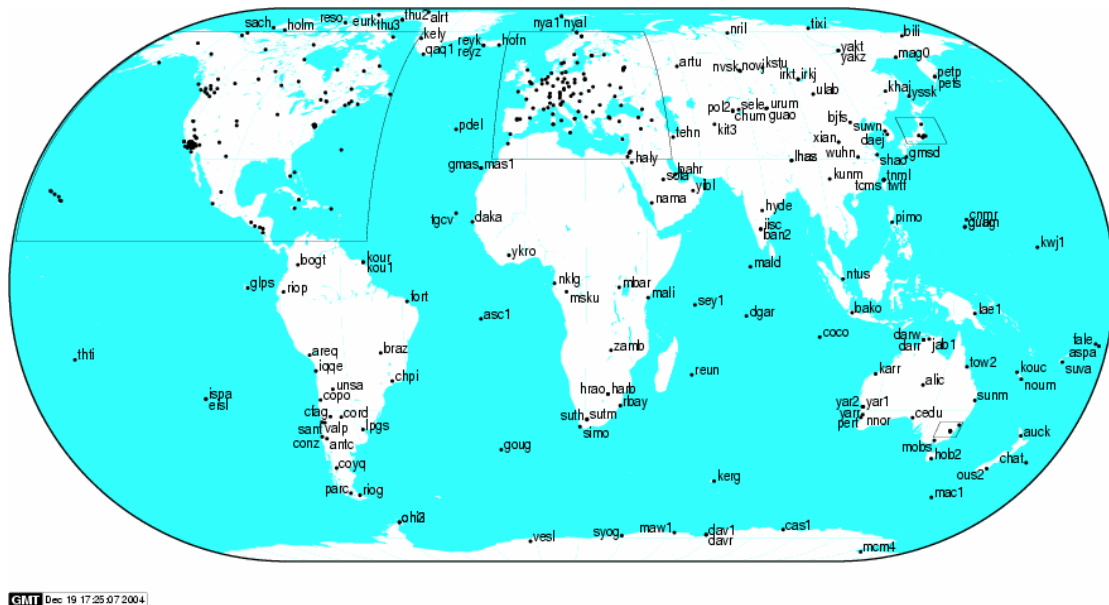


圖 4-21 IGS 連續觀測站分佈圖

目前，由 IGS 線上即時提供的資訊除了各連續觀測站的 GPS 觀測資料外，另有下列產品免費提供給各界使用：（1）GPS 衛星軌道（2）GLONASS 衛星軌道（3）地球自轉參數（4）IGS 連續觀測站的坐標及速度場（5）GPS 衛星及 IGS 連續觀測站的接收儀時錶誤差（6）對流層延遲誤差估計量（7）全球電離層活動分佈圖。舉例來說，在地殼變動監測的應用上，使用者能夠透過網路下載一個或數個 IGS 連續觀測站的資料及高精度 GPS 衛星軌道，在解算時，只要固定 IGS 站的 ITRF 坐標來進行高精度差分解算，即可得到各待測點位的坐標值，其精度約可達到 1 公分，且這些坐標值是定義在全球參考框架上，適合國際間交換資料來進行地殼變動監測及地體動力學的分析。

在全球 381 個 IGS 連續觀測站中，位於台灣的有 3 站，分別是由中華電信研究所負責維持的 TWTF 站，以及由工研院量測中心建立的 TNML 站及 TCMS 站，其分佈如圖 4-22 所示。



圖 4-22 台灣地區 IGS 連續觀測站分佈圖

IGS 在各站觀測資料品質的管制上，採用監控四項品質指標，分別為觀測資料數、週波脫落數、L1 的雜訊值以及 L2 的雜訊值，並將每天的資料計算成果繪製成圖，可參考圖 4-19 所示（以 TWTF 站為例）。

(2) SIO (Scripps Institution of Oceanography)

SIO 為美國加州大學聖地牙哥分校 Scripps 海洋研究所，為 IGS 的三大全球資料中心之一，而負責 GPS 資料儲存及分析的為該所內 IGPP (Institute of Geophysics and Planetary Physics) 下的 SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center)，網址 <http://sopac.ucsd.edu/>。SIO 並沒有針對觀測資料進行品質管制，只有提供各站每一天觀測資料的容量百分比及坐標解算成果，圖 4-23 所示即為 SIO 計算 TNML 及 TCMS 站的三維坐標變動量。

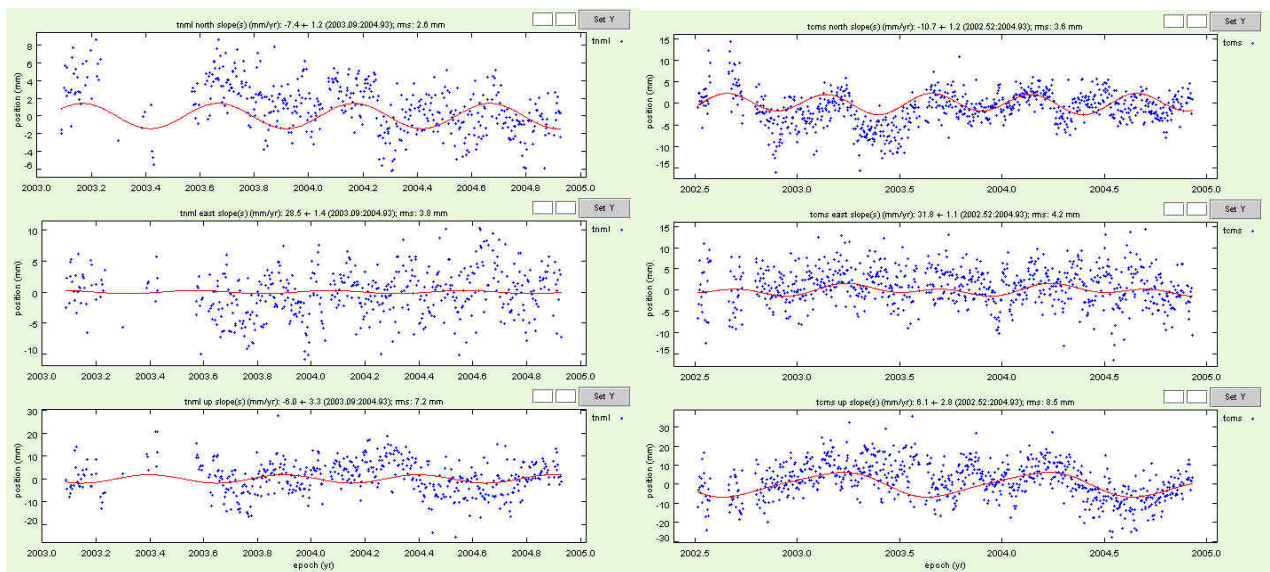


圖 4-23 SIO 計算 TNML 及 TCMS 站的三維坐標變動量

(3) GFZ (GeoForschungsZentrum)

GFZ為德國類似美國太空總署的研究機構，同時也為IGS的資料中心之一。GFZ對於所接收到的觀測資料有進行即時的L1、L2 雜訊值及標準差的計算，以及各站近一百天內的觀測資料容量百分比的統計，詳細的內容可參考網址 http://www.gfz-potsdam.de/pb1/igs/igs_stat/Global_IGS_100.htm。

(4) JPL (Jet Propulsion Laboratory)

JPL為美國太空總署 (NASA) 下的噴射推進實驗室，主要僅針對觀測資料進行解算坐標值的動作，並沒有針對觀測資料進行品質監控，而圖 4-24 所示即為 JPL 計算 TNML 及 TCMS 三維坐標變動量，詳細的內容可參考網址 <http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.html>。

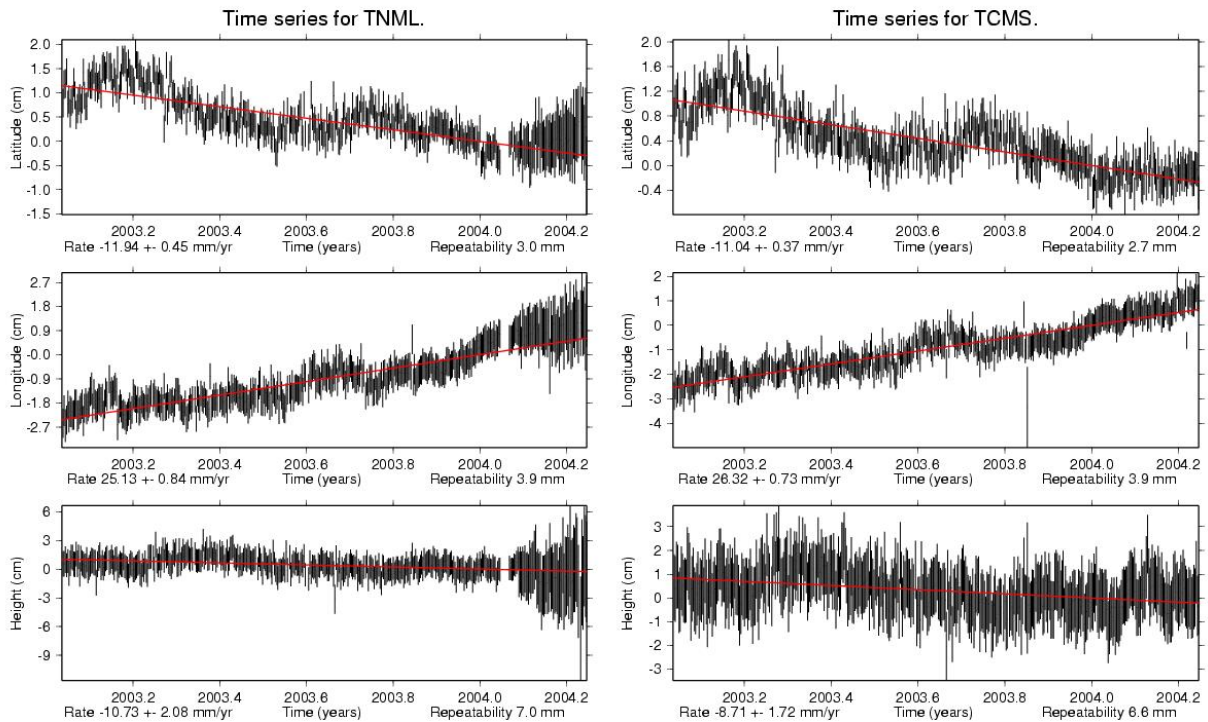


圖 4-24 JPL 計算 TNML 及 TCMS 站的三維坐標變動量

4-3-2 觀測資料品質自動化計算

本監控系統第一階段先以 Teqc 軟體進行觀測料品質的初步判斷。而這裡所採用的觀測資料品質指標如下：

- (1) Daily number of observations：觀測資料的總數，無單位。

(2) Cycle slips $\times 1000 / \text{observations}$ ：顧名思義，此項指標為『週波脫落的數目』乘以 1000 再除以『觀測資料的筆數』，無單位，意指每 1000 筆觀測資料所發生的週波脫落個數。

(3) RMS MP1：L1 載波的多路徑效應，亦可視為 L1 載波觀測量的雜訊大小，此雜訊量以公尺為單位。

(4) RMS MP2：L2 載波的多路徑效應，亦可視為 L2 載波觀測量的雜訊大小，此雜訊量以公尺為單位。

這項工作目前已使用 Matlab 程式語言將所有的計算工作自動化，並將各項資料品質指標自動繪製成統計圖，且每天更新於網路上，而觀測資料品質自動計算程式原始碼請參考附錄 B。當使用者透過網路下載觀測資料的同時，也可以查詢到任何一個內政部衛星追蹤站的觀測資料品質計算成果，查詢網址如下 <http://www.gps.moi.gov.tw/satellite/jsp/Content9.jsp>，而網頁則如圖 4-25 所示。

當選擇好欲查詢的年份及日期後，接著選定要查詢的站（這裡以鳳林站 2003 年第 300~365 天為例），再點選『開始查詢』即可得到該站的觀測資料品質數據，如圖 4-26 所示；若欲查看繪製好的統計圖，可直接點選 TEQC 圖下的『查看』，即會顯示觀測資料品質管制圖，如圖 4-27 所示。

內政部地政司衛星測量中心
Satellite Survey Center, Department of Land Administration, M.O.I.

網路申辦服務 · 公佈欄 · 下載專區 · 最新消息 · 民眾信箱 · 問答集 · 網站導覽

衛星追蹤站接收資料查詢系統

1. 資料格式：

2. 資料接收時間 (在此範圍擇一輸入即可)

查詢方式： 以DOY查詢 以日期查詢

起始日期：2003 年第 300 天 2003-01-12

結束日期：2003 年第 365 天 2003-01-12

3. 衛星追蹤站：

Copyright©2003 by內政部地政司衛星測量中心

圖 4-25 衛星追蹤站接收資料查詢網頁



圖 4-26 觀測資料品質數據查詢結果

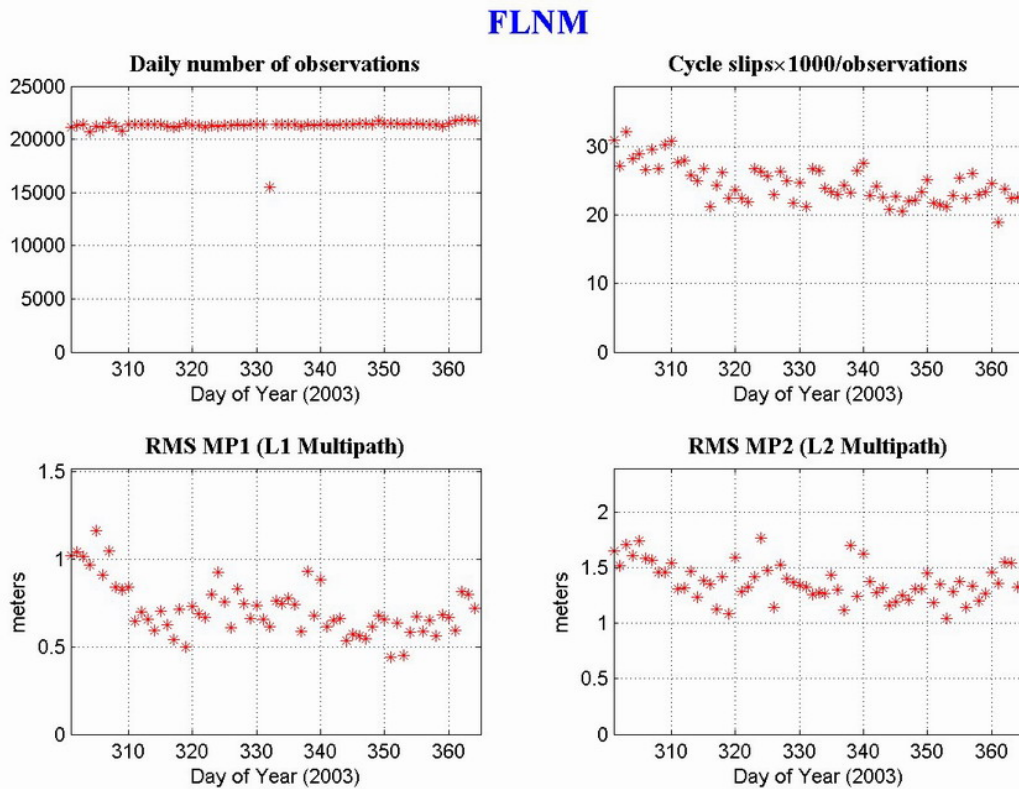


圖 4-27 觀測資料品質管制圖查詢結果

而 2003 年下半年，內政部八個衛星追蹤站觀測資料品質計算的部分成果則收錄在附錄 C，如圖 C-1 至圖 C-8 所示。

4-3-3 接收儀時錶誤差自動化計算

第二階段進行接收儀內部時頻穩定度的分析，而接收儀時錶誤差可分為時間偏移量及頻率穩定度，在計算上，則利用未差分的 GPS 相位資料推求接收儀時錶誤差。但在資料處理的過程中，仍須取一個參考頻率源作為標準（即假設該頻率源的時間偏移量為零）；由於目前國際時頻標準的定義仍採用 1967 年第 13 屆國際度量橫大會的決議：1 秒等於鈾 133 原子於基態之兩個超精細能階間躍遷時所放出輻射週期的 9192631770 倍時間【ISO, 1995】。

故在本文中，選擇由國家時間及頻率標準實驗室負責維持的 TWTF 站當作頻率參考站，該站所採用的 GPS 接收儀為 Ashtech Z-XII3T，且該接收儀外接 HP5071A 鈾原子鐘，並配合 ASH701945C_M 環形天線盤，同樣是全年 24 小時不間斷的接收 GPS 觀測資料。

計算時則採用瑞士伯恩大學天文研究所研發的 Bernese 4.2 軟體進行計算。為了求得較準確的接收儀時頻訊息，解算前除了以 rnxsmr 程式（需修正其錯誤）對於相位資料進行週波脫落偵測及平滑化處理外，於參數預估程式 gpsest（需更新 clkrmx 副程式）解算未知值的過程中，再以 resrms 程式利用輸出的殘差反覆消除雜訊較大的觀測時段及衛星，即可求得較準確的接收儀內部時間偏移量及頻率穩定度。

至於詳細的計算流程及採用的基準站—TWTF 站簡介，請參考 4-1-2 節的說明。接收儀時錶誤差的計算工作，目前也已完成在 Linux 作業系統下 BPE(Bernese Processing Engine) 自動化計算之架設，其環境設定說明請參考附錄 D，而 BPE 的執行程序說明請參考附錄 E。

這裡並採用 Matlab 程式語言，將接收儀時間偏移量及頻率穩定度的計算成果自動繪製成統計圖，並每天更新於內政部的監控電腦中，計算成果統計圖如圖 4-28 所示（這裡以鳳林站 2003 年第 300~365 天為例），接收儀時錶誤差自動計算程式原始碼請參考附錄 F，

而 2003 年下半年，內政部八個衛星追蹤站接收儀時錶誤差計算的部分成果則收錄在附錄 G，如圖 G-1 至圖 G-8 所示。

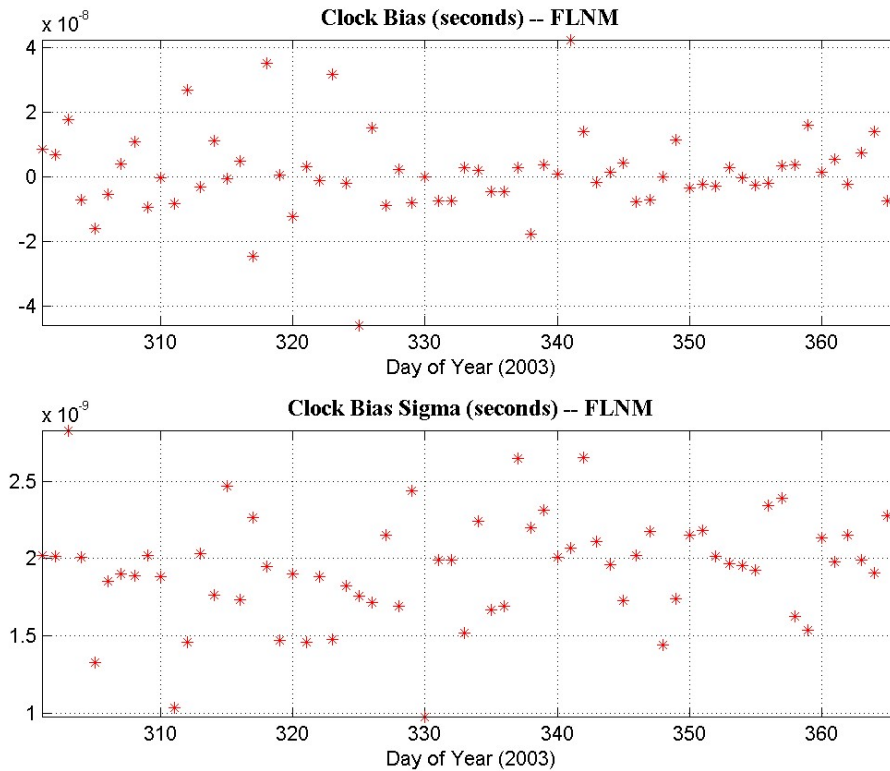


圖 4-28 接收儀時錶誤差管制圖計算成果

4-3-4 三維坐標自動化計算

最後進行各站觀測資料定位成果的解算，先透過網路下載台灣附近 12 個地質較穩定、資料品質較佳的 IGS 追蹤站觀測資料當作固定站，分別如下：

- (1) 澳洲：ALIC 站、DARW 站
- (2) 大陸：BJFS 站、LHAS 站、WUHN 站
- (3) 美國：GUAM 站
- (4) 新加坡：NTUS 站
- (5) 菲律賓：PIMO 站
- (6) 台灣：TCMS 站、TNML 站
- (7) 日本：TSKB 站、USUD 站

而台灣地區附近的 IGS 固定站分布如圖 4-29 所示。接下來，再透過網路至 IGS 擷取精密星曆，至 AIUB 擷取地球轉動參數，再加上內政部的 8 個衛星追蹤站共計 20 個站整體求解。在計算時，約制 12 個 IGS 固定站的坐標來進行資料處理，即可算出內政部 8 個衛星追蹤站每天的定位成果。



圖 4-29 台灣地區附近的 IGS 固定站分布圖

而內政部 8 個衛星追蹤站的三維坐標計算工作，目前也已完成在 Linux 作業系統下 BPE (Bernese Processing Engine) 自動化計算之架設，其環境設定說明請參考附錄 D，而 BPE 的執行程序說明請參考附錄 E。同樣的，這裡也採用 Matlab 程式語言，將每天各測站的坐標解算成果自動繪製成統計圖，並自動更新於內政部的網頁上，詳細的程式原始碼請參考附錄 H，而查詢網址如下：<http://www.gps.moi.gov.tw/satellite/jsp/Content9.jsp>，網頁則如圖 4-30 所示。當選擇好欲查詢的追蹤站之後（這裡以鳳林站為例），再點選『坐標變化圖』即可得到該站的三維坐標變動圖，如圖 4-31 所示。而 2003 年至 2004 年間，內政部八個衛星追蹤站三維坐標計算的成果則收錄在附錄 I，如圖 I-1 至圖 I-8 所示。

綜整上面所述，透過觀測資料品質、接收儀時錶誤差及三維坐標自動化計算的監控流程，再配合 4-1 節與 4-2 節所闡述觀測資料品質對於 GPS 定位精度的影響分析，使用者或系統管理者即可藉由簡單的統計圖表，快速且正確的判斷各站的 GPS 接收儀是否正常運作；而當儀器發生故障或追蹤站環境發生變化時，即能早期發現問題儘早處理異常狀況，藉以確保各追蹤站觀測資料的品質。如此，

不僅能確保其定位精度與可靠度，更可大幅的提升使用者的信心，未來即可大大的減少 GPS 測量外業所需的人力物力，進而提升國家競爭力。



圖 4-30 坐標變化圖查詢網頁

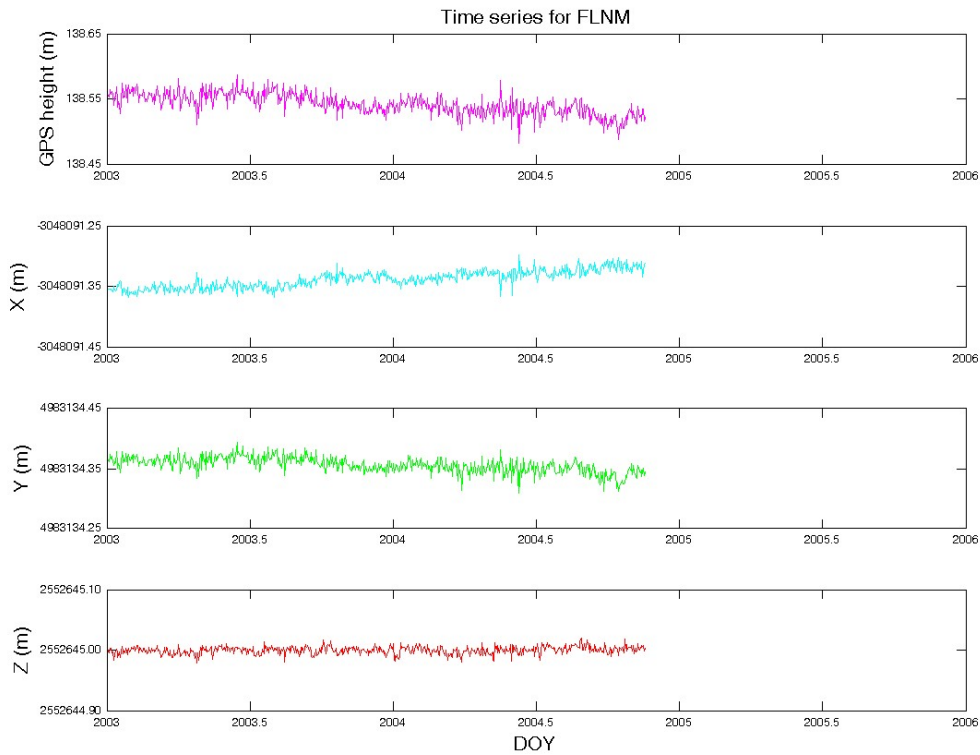


圖 4-31 三維坐標變動圖查詢結果

第五章 GPS 接收儀校正系統之建立

在 ISO 9000 (CNS 12680) 品質管理及品質保證標準，對於檢驗、量測及試驗設備（包括測試軟體）強調應予管制、校正及維護。檢驗、量測及試驗設備應在確保已知其量測不確定度，且與所需量測能力相一致時方可使用【經濟部，1996】，另量測設備應符合預期使用所要求的計量特性（如準確度、穩定性、範圍及解析力），在 ISO/IEC 17025 也敘述實驗室報告應包含校正及測試結果的不確定度【ISO, 1996】，而常用計量學術語請參考附錄 J。

全球定位系統已是大地測量主要的定位測量方法之一，且已普遍應用於工程測量、地籍測量、汽車導航、地殼監測以及地體動力學等領域。然而為了確保各型 GPS 接收儀觀測定位結果能否符合原預期定位準確度，應用高準確度校正網，並追溯連繫至國際 IGS 固定站 ITRF 坐標系，依校正程序，對 GPS 接收儀進行評估，應是有效的方法之一。因此，建置 GPS 定位校正系統，具備衛星定位儀校正能量及提供相關校正服務確實是相當重要的課題。

5-1 系統簡介

GPS 定位超短基線校正場及 GPS 定位短基線校正場，用以提供基線標準距離及各校正基點 IERS 地面參考框架 (IERS Terrestrial Reference Frame, ITRF) 坐標，作為校正之主要依據【量測中心，2002a】。而基線標準距離及校正基點 ITRF 坐標係由測距單元及 GPS 定位單元評定，茲分別說明如下：

- (1) GPS 定位超短基線校正場座落於工業技術研究院量測技術發展中心 16 館頂樓，校正場係由兩個全天候觀測的 IGS 固定基站 TNML 及 TCMS (基樁設置型式如圖 5-1)，及五個校正基點 NML3&4&5&6&7 (基樁設置型式如圖 5-2) 組合而成，其相關位置如圖 5-3 所示。而各基樁頂面皆安裝可旋轉式強制定心基座，以利旋轉天線盤及整置儀器，減少人為定心誤差。
- (2) GPS 定位短基線校正場係由一個固定基站 TNML 及三個校正基點所組成。整個網形橫跨新竹市區，各校正基點選擇在穩固且不易受破壞的位置埋設鋼架，頂面裝置強制定心基座，以利整置儀器進行連續觀測，基線網分布示意如圖 5-4。

(3) 電子測距單元包括精密電子測距儀Mekometer ME5000 及反射稜鏡，並輔以精密溫濕計及壓力計，在實際作業，以測線兩端氣象平均值，進行大氣折射率改正，在 95%信賴水準，基線距離擴充不確定度 $U_S = [(0.3 \text{ mm})^2 + (1.1 \times 10^{-6} \times D)^2]^{1/2}$ ，D係距離【量測中心，2000】。



圖 5-1 固定基站基樁設置型式



圖 5-2 校正基點 NML3&4&5 基樁設置型式

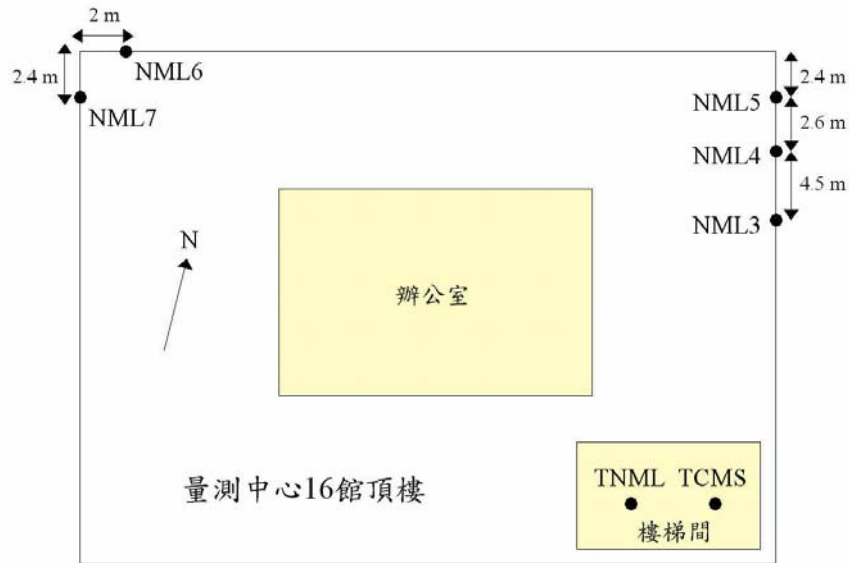


圖 5-3 超短基線校正場平面示意圖

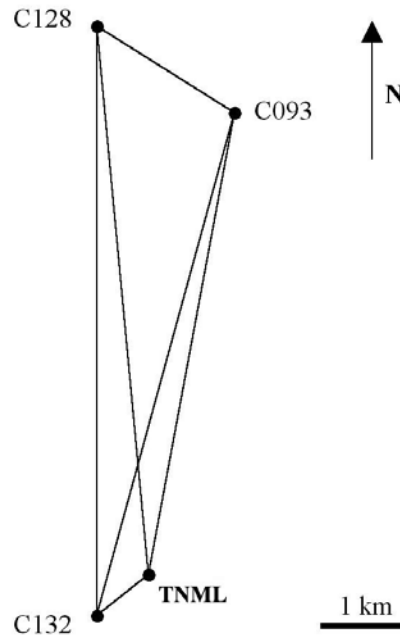


圖 5-4 短基線校正場平面示意圖

(4) GPS定位單元包括：(1) 精密衛星定位儀AOA BenchMark，定位準確度 $2 \text{ mm} + 0.002 \times 10^{-6} \times D$ ；(2) 衛星定位儀Leica RS500，定位準確度 $3 \text{ mm} + 0.5 \times 10^{-6} \times D$ ；(3) Ashtech Z-Surveyor，定位準確度 $5 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \times D$ ，D係距離【GPS World, 2003】，及抗多路徑效應的環型天線盤，並輔以精密的氣象設備MET3A，自動記錄溫度、濕度及氣壓，藉以提高GPS定位之精度【量測中心，2001b】。另外，由國家時間與頻率標準實驗室建立固定站TWTF，為IGS固定站，作為本校正系統參考站。

5-2 量測系統追溯圖

GPS 接收儀定位係參考瞬間時刻下已知衛星坐標，計算衛星至接收儀之距離後，在空間交會解得。其中，衛星至接收儀之距離，可由時間偏移量得虛擬距離，或由載波相位未定值，計算載波傳送所經過的距離，而衛星坐標可經由 GPS 衛星以即時提供廣播軌道，或數天後經由國際 GPS 地體動力服務組織網站直接取得經後級處理且準確度高的 IGS 軌道。

根據 GPS 定位理論，為準確評估固定基站與校正基點 ITRF 坐標，必須引用到 GPS 定位之全球組織所公布的參考標準，主要包含有：

- (1) 衛星定位儀天線相位中心偏移量與變化量改正資料，可經由網址 <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>取得【Mader, 2004】，這些改正數值由美國國家大地測量局（National Geodetic Survey, NGS）率定。
- (2) 應用IGS固定站坐標，選取日本USUD（Usuda Deep Space Tracking Station）、美國GUAM（USGS Guam Observatory）、新加坡NTUS（Nanyang Technological University）及中國大陸WUHN（WUHAN）等四個國際IGS固定站如圖 5-5。坐標經網址 http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000/results/ITRF2000_GPS.SSC取得，準確度達 3~6 mm【IGS, 2004】。



圖 5-5 四個國際 IGS 固定站位置示意圖

- (3) IGS精密軌道，可以從網址http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html取得，準確度達 5 cm 【Neilan et al., 1997】。
- (4) 地球轉動參數，極運動改正資料及大氣延遲改正模式，這些數值由國際地球旋轉服務組織（International Earth Rotation Service, IERS）提供服務【IERS, 2004】，網址<http://hpiers.obspm.fr/>。
- (5) GPS定位解算研究軟體，採用瑞士伯恩大學天文研究所(AIUB)研發的Bernese軟體，該軟體也是全球定位系統大學聯盟（University NAVSTAR Consortium, UNAVCO）所推薦，其功能詳見第 2-3 節的說明，或參考網址<http://www.unavco.ucar.edu/processing/>。

此外，TNML 衛星定位儀接收衛星訊號時，內部頻率源穩定性的校正，經追溯至國家時間與頻率標準實驗室（目前經濟部標準檢驗局委託中華電信研究所代管負責維持），其校正結果以Modified Allan Deviation表示如圖 5-6，1 秒取 1 個資料點，共 239389 點，經線性分析得時間偏移量為 7.1×10^{-9} 秒，頻率偏移量為 4.9×10^{-14} 。顯示 1 秒平均觀測間隔時間，頻率穩定性以Modified Allan Deviation表示約 2×10^{-10} ，1 天平均觀測間隔時間，頻率穩定性以Modified Allan Deviation表示約 10^{-13} ，符合長短期頻率穩定性要求【Lesage and Ayi, 1984】。

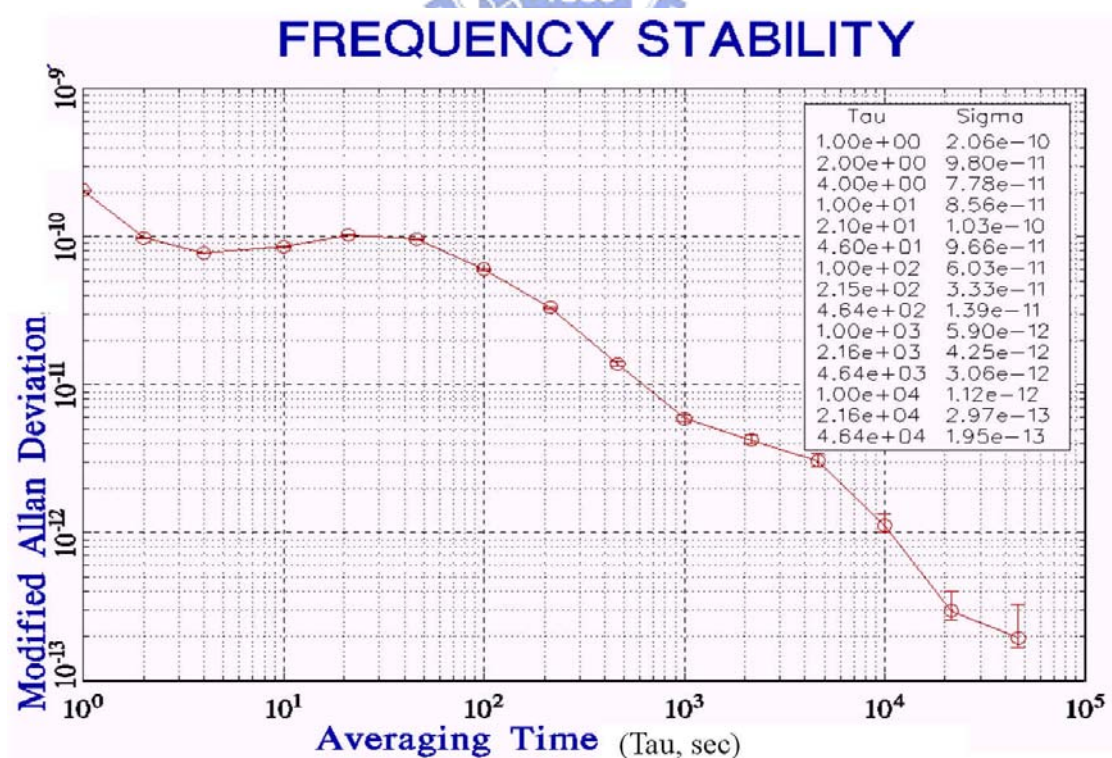


圖 5-6 TNML 衛星定位儀頻率校正結果

國際 GPS 相關組織，利用甚長干涉基線（Very Long Baseline Interferometry, VLBI）及衛星雷射測距（Satellite Laser Range, SLR）技術，查驗上述 GPS 定位之全球組織所公布的參考標準【Teunissen and Kleusberg, 1998】。而參考標準（Reference Standard）為在計量已知地區或組織內，通常具有最高計量特性的標準，在該處所作量測均由它導出【ISO, 1993】。因此，GPS 定位校正系統追溯圖整理如圖 5-7。

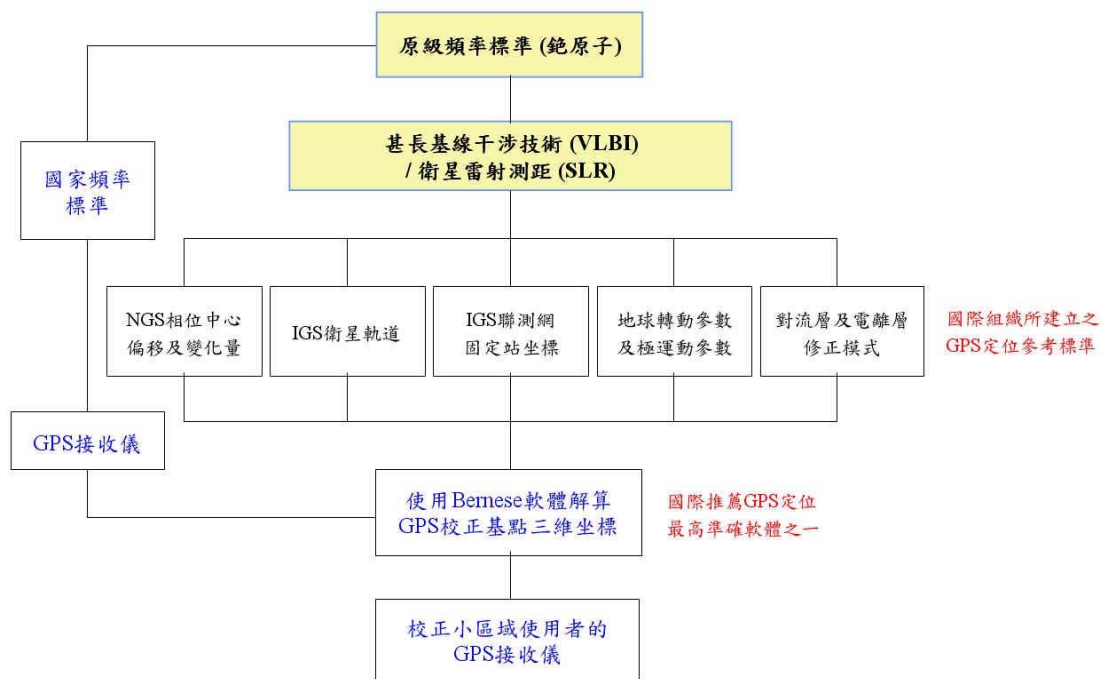


圖5-7 GPS相對定位處理單元追溯性示意圖

5-3 不確定度分析程序

依國際標準組織（ISO）建議評估方法，將各項誤差來源予以量化為 A 類及 B 類不確定度。其中，A 類以統計方法評估，B 類則用非統計方法評估，兩者皆以假設性機率分佈為基礎，估得各標準不確定度（Standard uncertainty），再合併成組合標準不確定度（Combined standard uncertainty），依特定信賴水準與有效自由度，決定擴充係數，再計算擴充不確定度（Expanded uncertainty）。而有關各項校正作業誤差來源（Error sources）及校正系統之擴充不確定度，茲分析說明如下：

5-3-1 固定基站 TNML 坐標之不確定度

在本系統中，影響固定基站 TNML 坐標的主要誤差來源有：量測定位重複性、整置定平及定心、GPS 衛星接收儀頻率、相位中心偏移量、IGS 衛星軌道、氣象修正模式及改正及 IGS 聯測網固定站坐標【量測中心，2002a】。茲分析影響量，並分別說明如下：

- (1) 量測定位重複性 u_1 ：從 2001 年元月起，選定四個國際 IGS 追蹤固定站（日本 USUD、美國 GUAM、新加坡 NTUS 及中國大陸 WUHN），每隔 5 天，取一整天資料為單位，以 Bernese 軟體解算【量測中心，2001c】，推求固定基站 TNML 坐標，得到 38 組 ITRF 地心坐標，各減去平均值後之較差量折線圖如圖 5-8。分析 ITRF97 地心坐標三軸較差量標準差，X 軸向標準差 $\sigma_{Xl} = 8.6 \text{ mm}$ 、Y 軸向標準差 $\sigma_{Yl} = 10.9 \text{ mm}$ 、Z 軸向標準差 $\sigma_{Zl} = 8.8 \text{ mm}$ 。從固定基站 TNML 至中國大陸 WUHN、日本 USUD、美國 GUAM 及新加坡 NTUS 基線距離，分別為 910748.364 m、2074041.283 m、2772342.865 m 及 3159947.724 m，顯示這段期間內，固定基站 TNML 位置及 GPS 定位單元穩定。

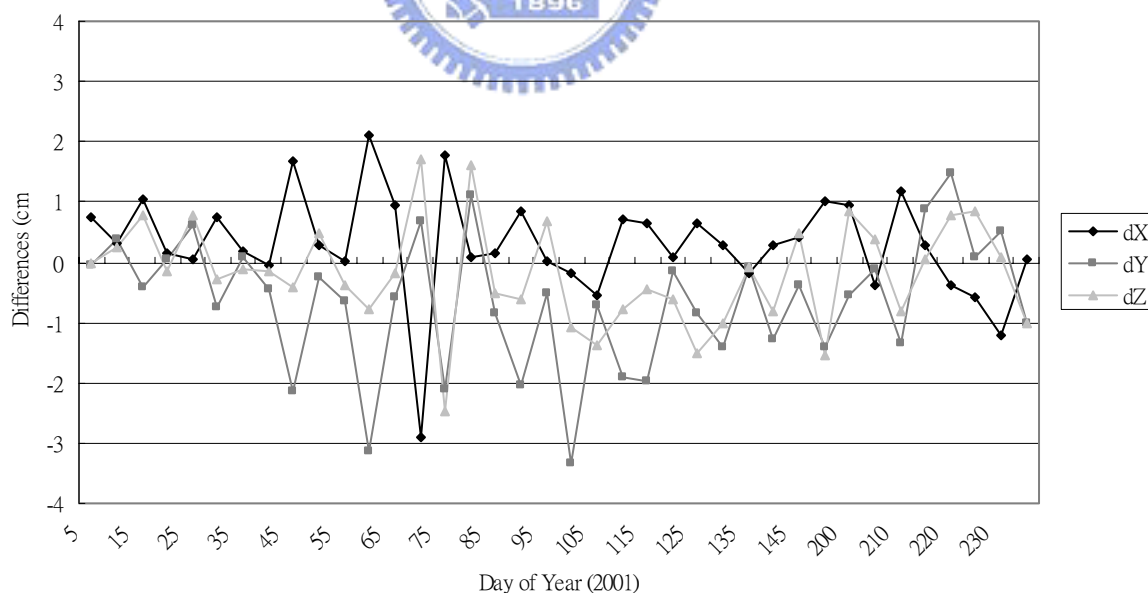


圖 5-8 TNML_ITRF97 坐標較差量折線圖 (Day of Year 5~240, 2001)

同樣地，取從 2001 年 7 月至 8 月，擷取 30 天完整的觀測資料，取一整天資料為單位，以Bernese研究軟體解算，推求固定基站TNML坐標，得到 30 組ITRF97 地心坐標，各減去平均值後之較差量折線圖如圖 5-9。分析ITRF97 地心坐標三軸較差量標準差，X軸向標準差 $\sigma_{X2} = 9.0 \text{ mm}$ 、Y軸向標準差 $\sigma_{Y2} = 10.3 \text{ mm}$ 、Z軸向標準差 $\sigma_{Z2} = 7.5 \text{ mm}$ ，同樣顯示這段期間內，固定基站TNML 位置及GPS定位單元穩定。

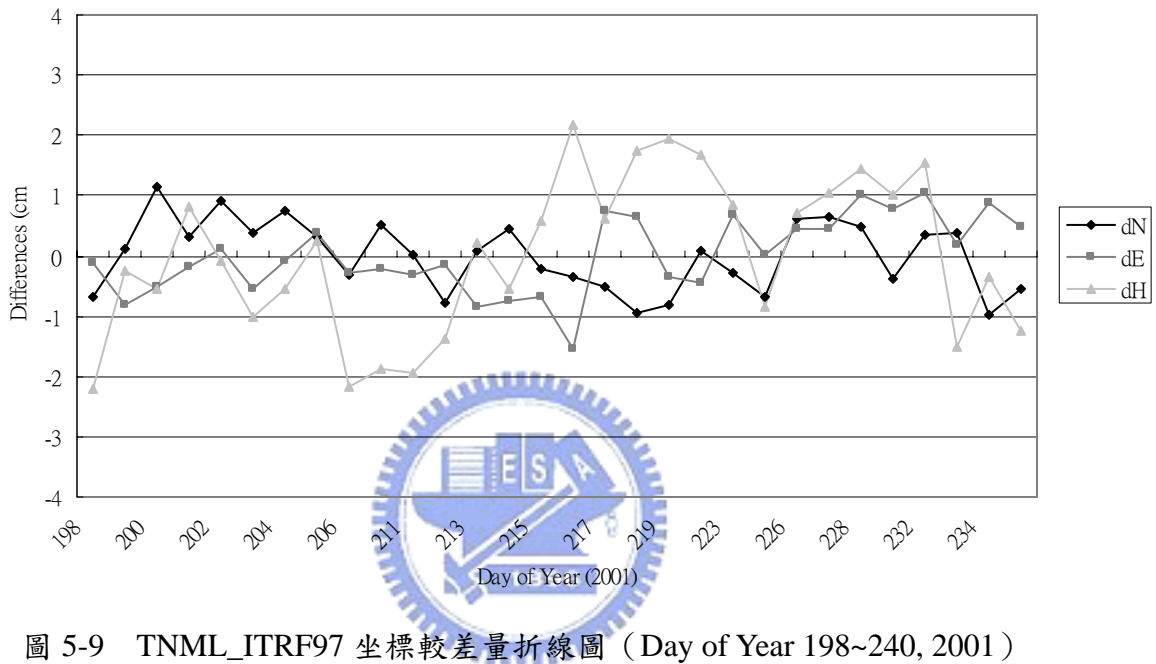


圖 5-9 TNML_ITRF97 坐標較差量折線圖 (Day of Year 198~240, 2001)

同樣地，從 2002 年 1 月至 8 月期間，擷取 45 天完整的觀測資料，取一整天資料為單位，以Bernese研究軟體解算，推求固定基站TNML坐標，得到 45 組ITRF2000 地心坐標，各減去平均值後之較差量折線圖如圖 5-10。分析 ITRF2000 地心坐標三軸較差量標準差，X軸向標準差 $\sigma_{X3} = 8.6 \text{ mm}$ ，Y軸向標準差 $\sigma_{Y3} = 11.9 \text{ mm}$ ，Z軸向標準差 $\sigma_{Z3} = 8.5 \text{ mm}$ 。

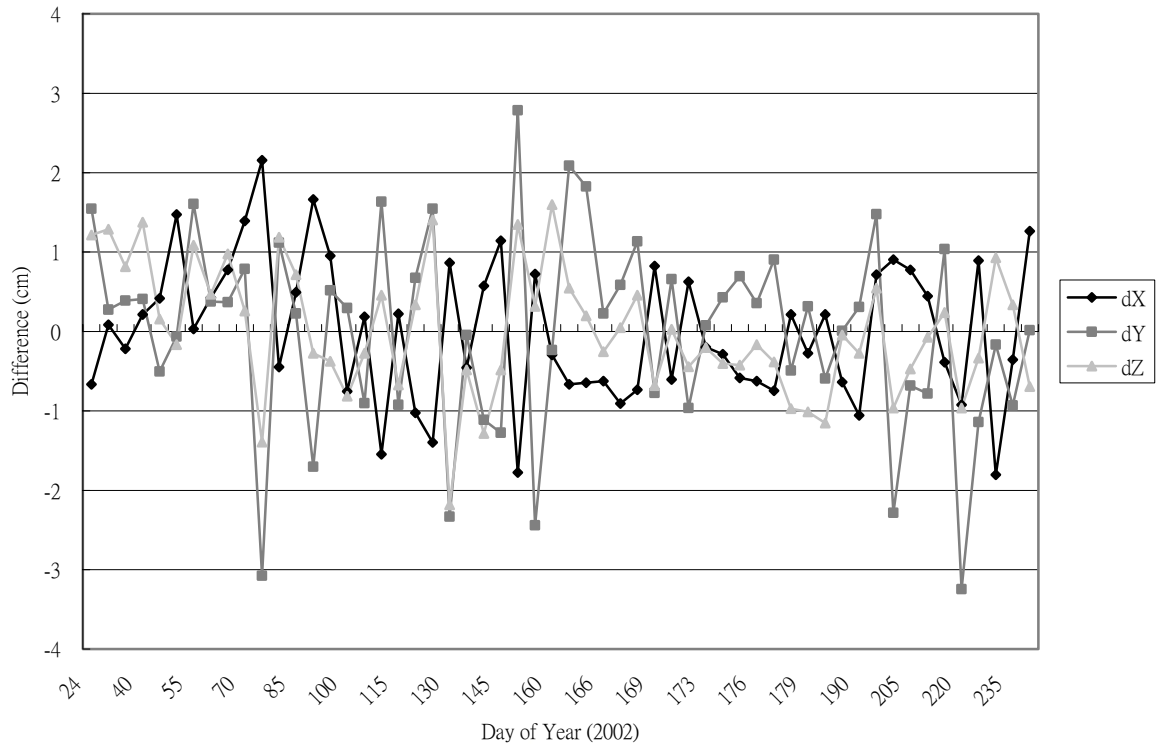


圖 5-10 TNML_ITRF2000 坐標較差量折線圖 (Day of Year 24~240, 2002)

綜整上述固定基站TNML連續觀測定位成果，取三軸方向較大的標準差 $\sigma_{X3} = 8.8 \text{ mm}$ ， $\sigma_{Y3} = 12.5 \text{ mm}$ ， $\sigma_{Z3} = 8.1 \text{ mm}$ ，在 68.3% 信賴水準下，計算單向度組合標準差 (1-D combined standard deviation) $\sigma_l = [(\sigma_{X3}^2 + \sigma_{Y3}^2 + \sigma_{Z3}^2) / 3]^{1/2} = [(8.6^2 + 11.9^2 + 8.5^2) / 3]^{1/2} = 9.8 \text{ mm}$ ，則固定基站TNML量測定位重複性不確定度 $u_1 = 9.8 \text{ mm}$ ，三軸觀測量共 45 次，則單向度自由度 $\nu_1 = 3 \times 45 - 3 = 132$ 。

(2) 整置定平及定心 u_2 ：一般以強制定心整置GPS天線盤，並以圓盒氣泡定平，其合成影響量估計單向度最大為 0.5 mm，假設為矩形分佈，則定平及定心的標準不確定度 $u_2 = 0.5 / 3^{1/2} = 0.3 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 20%，自由度 $\nu_2 = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

(3) 衛星定位儀頻率 u_3 ：固定基站TNML採用AOA BenchMark衛星定位儀，內部頻率源穩定性校正，或外接鉤震盪器作為參考頻率源，經追溯至國家時間與頻率標準實驗室，其校正結果顯示 1 天平均觀測間隔時間，頻率穩定性約達 10^{-13} ，符合一般高精度儀器規格 ($< 1 \times 10^{-12}$)【量測中心，2002b】。其影響

量以AOA BenchMark定位單向度規格 $2 \text{ mm} + 0.002 \times 10^{-6} \times D$ 估計，距離D以選定四個國際IGS追蹤固定站平均距離 2200 km 代入，影響量為 $2 + 0.002 \times 10^{-6} \times 2.2 \times 10^9 = 6.2 \text{ mm}$ ，假設為矩形分布，則衛星定位儀頻率的標準不確定度 $u_3 = 6.2 / 3^{1/2} = 3.6 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 10%，則自由度 $\nu_3 = (1/2) \times (10/100)^{-2} = 50$ 。

(4) 相位中心偏移量 u_4 ：GPS 觀測值是以接收儀天線的相位中心位置為準，而本校校正系統使用廠牌天線型號的相位中心與幾何中心，經過相位中心偏移修正後單向度平均差異約為 0.1 mm 【Mader, 2004】，假設為矩形分布，則相位中心偏移量的標準不確定度 $u_4 = 0.1 / 3^{1/2} = 0.1 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 25%，自由度 $\nu_4 = (1/2) \times (25/100)^{-2} = 8$ 。

(5) IGS 衛星軌道 u_5 ：GPS 衛星星曆從 IGS 取得精密軌道，估計準確度在 5 cm 內。在處理 GPS 觀測資料時，其對單向度基線所造成的影響量等於 5 cm 除以衛星距離約 20000 km，約為 $0.003 \times 10^{-6} \times D$ ，假設為矩形分布，距離D以 2200 km 代入，影響量為 $0.003 \times 10^{-6} \times 2.2 \times 10^9 = 6.6 \text{ mm}$ ，則 IGS 衛星軌道的標準不確定度 $u_5 = 6.6 / 3^{1/2} = 3.8 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 20%，則自由度 $\nu_5 = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

(6) 氣象修正模式及改正 u_6 ：GPS 訊號在對流層的折射量乃與訊號傳播路徑上的空氣折射率有關，經大氣模式改正後，在天頂路徑延遲，主要影響垂直向。而電離層分佈於地球大氣層的頂部，約自地表起算 50 公里至 2000 公里之範圍，GPS 衛星發射無線電訊號傳播速度，主要是受到訊號傳播路徑上自由電子之折射影響所致，與頻率有關，若衛星定位儀採雙頻觀測及建立電離層延遲模式，可減少誤差量。綜合本項誤差在相對定位計算過程，大部份在解算過程中已被消除，留下殘差對單向度基線所造成的影響量，約為 $0.002 \times 10^{-6} \times D$ 【Teunissen and Kleusberg, 1998】，假設為矩形分布，距離D以 2200 km 代入，影響量為 $0.002 \times 10^{-6} \times 2.2 \times 10^9 = 4.4 \text{ mm}$ ，則氣象修正模式及改正後的標準不確定度 $u_6 = 4.4 / 3^{1/2} = 2.5 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 20%，則自由度 $\nu_6 =$

$$(1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5。$$

(7) IGS聯測網固定站位置 u_7 ：IGS聯測網固定站位置單向度誤差量約為 3~6 mm

【IGS, 2004】，假設為矩形分布，取最大值 6 mm，則IGS聯測網固定站的標準不確定度 $u_7 = 6 / 3^{1/2} = 3.5$ mm，估算其相對不確定度為 25%，則自由度 $\nu_7 = (1/2) \times (25/100)^{-2} = 8。$

綜整上述影響固定基站坐標之不確定度詳如表 5-1 所示。

表 5-1 固定基站 TNML 坐標之不確定度分析表

不確定度源	估計量 (a)	除數 (b)	標準不確定度 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏 係數 (d)	不確定度分量 (e) = (c) × (d)	自由度
量測定位重複性 u_1	9.8 mm	1	9.8 mm	1	9.8 mm	132
整置定平及定心 u_2	0.5 mm	$\sqrt{3}$	0.3 mm	1	0.3 mm	12.5
GPS衛星接收儀頻率 u_3	6.2 mm	$\sqrt{3}$	3.6 mm	1	3.6 mm	50
相位中心偏移量 u_4	0.1 mm	$\sqrt{3}$	0.1 mm	1	0.1 mm	8
IGS衛星軌道 u_5	6.6 mm	$\sqrt{3}$	3.8 mm	1	3.8 mm	12.5
氣象修正模式及改正 u_6	4.4 mm	$\sqrt{3}$	2.5 mm	1	2.5 mm	12.5
IGS聯測網固定站位置 u_7	6.0 mm	$\sqrt{3}$	3.5 mm	1	3.5 mm	8

因此，GPS定位固定基站TNML坐標單向度組合標準不確定度 u_{cl} ，假設各誤差源彼此獨立不相關，則

$$u_{cl} = \left(u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 \right)^{1/2}$$

$$= \left[(9.8)^2 + (0.3)^2 + (3.6)^2 + (0.1)^2 + (3.8)^2 + (2.5)^2 + (3.5)^2 \right]^{1/2} = 11.9 \text{ mm}$$

而有效自由度 ν_{eff1} 依式(2-27)計算，可得

$$\nu_{eff1} = (u_{cl})^4 \left/ \left(\frac{u_1^4}{\nu_1} + \frac{u_2^4}{\nu_2} + \frac{u_3^4}{\nu_3} + \frac{u_4^4}{\nu_4} + \frac{u_5^4}{\nu_5} + \frac{u_6^4}{\nu_6} + \frac{u_7^4}{\nu_7} \right) \right.$$

$$= (11.9)^4 / \left(\frac{9.8^4}{132} + \frac{0.3^4}{12.5} + \frac{3.6^4}{50} + \frac{0.1^4}{8} + \frac{3.8^4}{12.5} + \frac{2.5^4}{12.5} + \frac{3.5^4}{8} \right) = 179.4$$

取有效自由度 ν_{eff1} 為 179，在 95% 信賴水準，查得 t 分布值為 1.96，即擴充係數 k_1 為 1.96。

單向度擴充不確定度 (1-D Expanded uncertainty) U_1 係以擴充係數 k_1 乘上單向度組合標準不確定度 (u_{cl}) 而得，即 $U_1 = k_1 \times u_{cl}$ 。本校正系統採 95% 信賴水準，擴充係數 $k_1 = 1.96$ ，故本校正系統之固定基站 TNML 坐標單向度擴充不確定度 U_1 為

$$U_1 = 1.96 \times 11.9 = 23.3 \text{ mm} \quad (5-1)$$

依美國聯邦大地控制委員會 (FGCC) 說明，在 95% 信賴水準下，三向度球體標準差 (Spherical accuracy standard deviation) 是單向度球體標準差的 2.79 倍，並假設 X、Y、Z 各向度標準差皆相等【FGCC, 1988】。所以，三向度擴充不確定度 (3-D Expanded uncertainty) U_{1-3D} 以擴充係數 k_{1-3D} 乘上單向度組合標準不確定度 (u_{cl}) 表示，即 $U_{1-3D} = k_{1-3D} \times u_{cl}$ 。本校正系統採 95% 信賴水準，假設 X、Y、Z 各向度組合標準不確定度相等，擴充係數 $k_{1-3D} = 2.79$ 【FGCC, 1988】，故固定基站 TNML 坐標三向度擴充不確定度 U_{1-3D} 為

$$U_{1-3D} = 2.79 \times 11.9 = 33.2 \text{ mm} \quad (5-2)$$

5-3-2 超短基線校正基點 NML3&4&5&6&7 坐標之不確定度

在本系統中，GPS 定位超短基線校正基點 NML3&4&5&6&7 之相對坐標，皆以固定基站 TNML 為固定點，經相對定位理論推求而得。因此，影響 GPS 校正基點相對於固定基站 TNML 的主要誤差來源有：量測定位重複性、整置定平及定心、相位中心偏移量、IGS 衛星軌道及氣象修正模式及改正【量測中心，2002a】。茲分析說明如下：

校正基點 NML3&4&5&6&7 相對於固定基站 TNML 之擴充不確定度

(1) 量測定位重複性 u_8 ：GPS 校正基點 NML3&4&5&6&7 於 2001 年 7 月間，整置衛星定位儀，取一整天資料為單位，擷取了六天的觀測資料，相對固定基站 TNML，以 Bernese 軟體解算，得到 6 組 ITRF 地心坐標，分析各校正基點三軸向標準差如表 5-2，自由度 $\nu_{2a} = 3 \times (6-1) = 15$ 。從固定基站 TNML 至各校正基點，其基線平均距離約為 48 m。

同樣地，於 2001 年 11 月間，取一整天資料為單位，擷取了六天的觀測資料，相對固定基站 TNML，以 Bernese 軟體解算，得到 6 組 ITRF 地心坐標，分析各校正基點三軸向標準差如表 5-3，自由度 $\nu_{2b} = 3 \times (6-1) = 15$ 。

表 5-2 校正基點 NML3&4&5&6&7 三軸向標準差 (2001 年 7 月)

點位	X軸向標準差 σ_X (mm)	Y軸向標準差 σ_Y (mm)	Z軸向標準差 σ_Z (mm)	單向度標準差 $\sigma_{2a} =$ $[(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2) / 3]^{1/2}$ (mm)
NML3	0.3	0.5	0.8	0.6
NML4	0.3	0.4	0.9	0.6
NML5	0.6	0.6	0.6	0.6
NML6	0.4	0.3	0.2	0.3
NML7	0.3	0.9	0.4	0.6

表 5-3 校正基點 NML3&4&5&6&7 三軸向標準差 (2001 年 11 月)

點位	X軸向標準差 σ_X (mm)	Y軸向標準差 σ_Y (mm)	Z軸向標準差 σ_Z (mm)	單向度標準差 $\sigma_{2b} =$ $[(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2) / 3]^{1/2}$ (mm)
NML3	0.3	0.5	0.8	0.6
NML4	0.4	1.1	1.2	1.0
NML5	0.3	0.7	0.7	0.6
NML6	1.1	0.7	0.7	0.9
NML7	0.5	0.4	0.3	0.4

綜整校正基點兩次連續觀測定位成果，取單向度組合標準差 $\sigma_2 = [(0.6^2 + 0.6^2 + 0.3^2 + 0.6^2 + 0.6^2 + 1.0^2 + 0.6^2 + 0.9^2 + 0.4^2) / 10]^{1/2} = 0.7$ mm，作為校正基點重複性單向度組合標準不確定度 $u_8 = 0.7$ mm，自由度 $\nu_8 = \nu_{2a} + \nu_{2b} = 15 + 15 = 30$ 。

(2) 整置定平及定心 u_9 ：同 5-3-1 節所述，則定平及定心的標準不確定度 $u_9 = 0.5 / 3^{1/2} = 0.3$ mm，估算其相對不確定度為 20%，自由度 $\nu_9 = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

- (3) 相位中心偏移量 u_{10} ：同 5-3-1 節所述，假設為矩形分布，則相位中心偏移量的標準不確定度 $u_{10} = 0.1 / 3^{1/2} = 0.1 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 25%，自由度 $\nu_{10} = (1/2) \times (25/100)^{-2} = 8$ 。
- (4) IGS 衛星軌道 u_{11} ：同 5-3-1 節所述，假設為矩形分布，距離 D 以 48 m 代入，影響量為 $0.003 \times 10^{-6} \times 48 \times 10^3 \approx 0.0 \text{ mm}$ ，則 IGS 衛星軌道的標準不確定度 $u_{11} = 0.0 / 3^{1/2} = 0.0 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 20%，則自由度 $\nu_{11} = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。
- (5) 氣象修正模式及改正 u_{12} ：同 5-3-1 節所述，假設為矩形分布，距離 D 以 48 m 代入，影響量為 $0.002 \times 10^{-6} \times 48 \times 10^3 \approx 0.0 \text{ mm}$ ，則氣象修正模式及改正的標準不確定度 $u_{12} = 0.0 / 3^{1/2} = 0.0 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 20%，則自由度 $\nu_{12} = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

綜整上述相關數據，GPS 校正基點 NML3&4&5&6&7 相對於 TNML 坐標單向度不確定度分析表如表 5-4 所示。

表 5-4 校正基點 NML3&4&5&6&7 相對於 TNML 坐標之不確定度分析表

不確定度源	估計量 (a)	除數 (b)	標準不確定度 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏係數 (d)	不確定度分量 (e) = (c) × (d)	自由度
量測定位重複性 u_8	0.7 mm	1	0.7 mm	1	0.7 mm	30
整置定平及定心 u_9	0.5 mm	$\sqrt{3}$	0.3 mm	1	0.3 mm	12.5
相位中心偏移量 u_{10}	0.1 mm	$\sqrt{3}$	0.1 mm	1	0.1 mm	8
IGS 衛星軌道 u_{11}	0.0 mm	$\sqrt{3}$	0.0 mm	1	0.0 mm	12.5
氣象修正模式及改正 u_{12}	0.0 mm	$\sqrt{3}$	0.0 mm	1	0.0 mm	12.5

假設各誤差源彼此獨立不相關，校正基點 NML3&4&5&6&7 相對坐標，其單向度組合標準不確定度

$$u_{c2} = \left(u_8^2 + u_9^2 + u_{10}^2 + u_{11}^2 + u_{12}^2 \right)^{1/2}$$

$$= \left[(0.7)^2 + (0.3)^2 + (0.1)^2 + (0.0)^2 + (0.0)^2 \right]^{1/2} = 0.8 \text{ mm}$$

而有效自由度 ν_{eff2} 依式(2-27)計算，可得

$$\begin{aligned} \nu_{eff2} &= (u_{c2})^4 / \left(\frac{u_8^4}{\nu_8} + \frac{u_9^4}{\nu_9} + \frac{u_{10}^4}{\nu_{10}} + \frac{u_{11}^4}{\nu_{11}} + \frac{u_{12}^4}{\nu_{12}} \right) \\ &= (0.8)^4 / \left(\frac{0.7^4}{30} + \frac{0.3^4}{12.5} + \frac{0.1^4}{8} + \frac{0^4}{12.5} + \frac{0^4}{12.5} \right) = 47.3 \end{aligned}$$

取有效自由度 $\nu_{eff2} = 47$ ，在95%信賴水準，得t分布值為2.01，即擴充係數 $k_2 = 2.01$ 。本校正系統採95%信賴水準，故校正基點NML3&4&5&6&7相對坐標單向度擴充確定度 $U_2 = k_2 \times u_{c2}$ ，則

$$U_2 = 2.01 \times 0.8 = 1.6 \text{ mm} \quad (5-3)$$

假設X、Y、Z各向度組合標準不確定度相等，則三向度擴充不確定度 (3-D Expanded uncertainty) U_{2_3D} 以擴充係數 k_{2_3D} 乘上單向度組合標準不確定度 u_{c2} ，即 $U_{2_3D} = k_{2_3D} \times u_{c2}$ 。本校正系統採95%信賴水準，擴充係數 $k_{2_3D} = 2.79$ 【FGCC, 1988】，故校正基點NML3&4&5&6&7相對坐標三向度擴充不確定度 U_{2_3D} 為

$$U_{2_3D} = 2.79 \times 0.8 = 2.2 \text{ mm} \quad (5-4)$$

校正基點 NML3&4&5&6&7 相對於固定基站 TWTF 之擴充不確定度

(1) IGS固定站TWTF位置相對於固定站TNML之量測定位重複性 u_{13} ：從 2002 年第 125 日起至第 290 日期間，擷取 28 天完整的觀測資料，取一整天資料為單位，以Bernese研究軟體解算，推求固定站TWTF位置相對於固定站TNML之 TWTF_ITRF2000 坐標，得到 28 組ITRF2000 地心坐標，各減去平均值後之較差量折線圖如圖 5-11。

分析ITRF2000 地心坐標三軸較差量標準差，X軸向標準差 $\sigma_X = 3.7 \text{ mm}$ 、Y軸向標準差 $\sigma_Y = 6.6 \text{ mm}$ 、Z軸向標準差 $\sigma_Z = 3.6 \text{ mm}$ 。在 68.3%信賴水準下，計算單向度組合標準差 (1-D combined standard error) $\sigma_3 = [(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2) / 3]^{1/2} = [(3.7^2 + 6.6^2 + 3.6^2) / 3]^{1/2} = 4.8 \text{ mm}$ ，作為校正基點重複性單向度組合標準不確定度，則IGS固定站TWTF位置相對於固定站TNML之量測定位重複性不確定度 $u_{13} = 4.8 \text{ mm}$ ，三軸觀測量共 28 次，則單向度自由度 $\nu_{13} = 3 \times 28 - 3 = 81$ 。

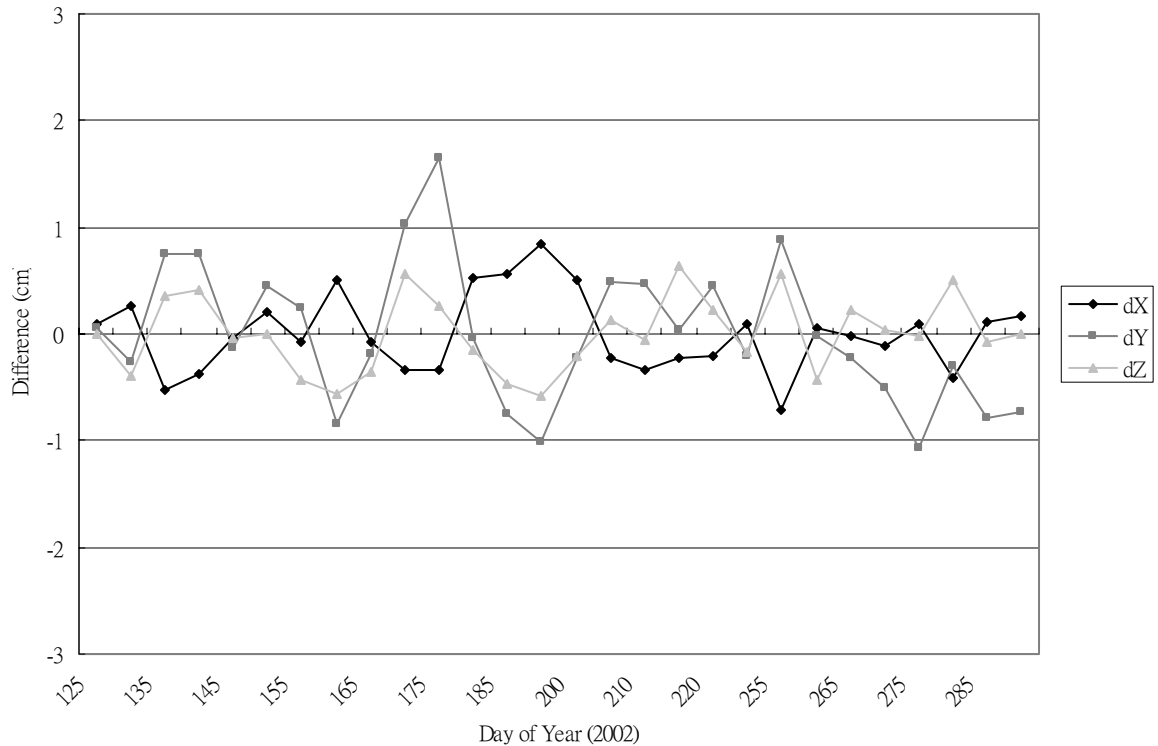


圖 5-11 TWTF_ITRF2000 坐標較差量折線圖 (Day of Year 125~290, 2002)

(2) 整置定平及定心 u_{14} ：同 5-3-1 節所述，則定平及定心的標準不確定度 $u_{14} = 0.5 / 3^{1/2} = 0.3 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 20%，自由度 $\nu_{14} = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

(3) 相位中心偏移量 u_{15} ：同 5-3-1 節所述，假設為矩形分布，則相位中心偏移量的標準不確定度 $u_{15} = 0.1 / 3^{1/2} = 0.1 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 25%，自由度 $\nu_{15} = (1/2) \times (25/100)^{-2} = 8$ 。

(4) IGS 衛星軌道 u_{16} ：同 5-3-1 節所述，假設為矩形分布，距離 D 以 25 km 代入，影響量為 $0.003 \times 10^{-6} \times 25 \times 10^6 = 0.1 \text{ mm}$ ，則 IGS 衛星軌道的標準不確定度 $u_{16} = 0.1 / 3^{1/2} = 0.1 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 20%，則自由度 $\nu_{16} = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

(5) 氣象修正模式及改正 u_{17} ：同 5-3-1 節所述，假設為矩形分布，距離 D 以 25 km 代入，影響量為 $0.002 \times 10^{-6} \times 25 \times 10^6 = 0.1 \text{ mm}$ ，則氣象修正模式及改正的標準不確定度 $u_{17} = 0.1 / 3^{1/2} = 0.1 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定度為 20%，則自由

度 $\nu_{17} = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

GPS 校正基點 NML3&4&5&6&7 相對於 TWTF 坐標單向度不確定度分析表如表 5-5。

表 5-5 校正基點 NML3&4&5&6&7 相對於 TWTF 坐標之不確定度分析表

不確定度源	估計量 (a)	除數 (b)	標準不確定度 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏 係數 (d)	不確定度分量 (e) = (c) × (d)	自由度
量測定位重複性 u_{13}	4.8 mm	1	4.8 mm	1	4.8 mm	81
整置定平及定心 u_{14}	0.5 mm	$\sqrt{3}$	0.3 mm	1	0.3 mm	12.5
相位中心偏移量 u_{15}	0.1 mm	$\sqrt{3}$	0.1 mm	1	0.1 mm	8
IGS 衛星軌道 u_{16}	0.1 mm	$\sqrt{3}$	0.1 mm	1	0.1 mm	12.5
氣象修正模式及改正 u_{17}	0.1 mm	$\sqrt{3}$	0.1 mm	1	0.1 mm	12.5

假設各誤差源彼此獨立不相關，校正基點 NML3&4&5&6&7 相對坐標，其單向度組合標準不確定度

$$u_{c3} = \left(u_{13}^2 + u_{14}^2 + u_{15}^2 + u_{16}^2 + u_{17}^2 \right)^{1/2}$$

$$= \left[(4.8)^2 + (0.3)^2 + (0.1)^2 + (0.1)^2 + (0.1)^2 \right]^{1/2} = 4.8 \text{ mm}$$

而有效自由度 ν_{eff3} 依式(2-27)計算，則有效自由度

$$\nu_{eff3} = \left(u_{c3} \right)^4 / \left(\frac{u_{13}^4}{\nu_{13}} + \frac{u_{14}^4}{\nu_{14}} + \frac{u_{15}^4}{\nu_{15}} + \frac{u_{16}^4}{\nu_{16}} + \frac{u_{17}^4}{\nu_{17}} \right)$$

$$= (4.8)^4 / \left(\frac{4.8^4}{81} + \frac{0.3^4}{12.5} + \frac{0.1^4}{8} + \frac{0.1^4}{12.5} + \frac{0.1^4}{12.5} \right) = 80.9$$

取有效自由度 $\nu_{eff3} = 80$ ，在 95% 信賴水準，得 t 分布值為 1.99，即擴充係數 $k_3 = 1.99$ 。本校正系統採 95% 信賴水準，故校正基點 NML3&4&5&6&7 相對坐標單向度擴充確定度 $U_3 = k_3 \times u_{c3}$ ，則

$$U_3 = 1.99 \times 4.8 = 9.6 \text{ mm} \quad (5-5)$$

假設 X、Y、Z 各向度組合標準不確定度相等，則三向度擴充不確定度 (3-D Expanded uncertainty) $U_{3,3D}$ 以擴充係數 $k_{3,3D}$ 乘上單向度組合標準不確定度 u_{c3} ，即

$U_{3_3D} = k_{3_3D} \times u_{c3}$ 。本校正系統採95%信賴水準，擴充係數 $k_{3_3D} = 2.79$ 【FGCC, 1988】，故校正基點NML3&4&5&6&7相對坐標三向度擴充不確定度 U_{3_3D} 為

$$U_{3_3D} = 2.79 \times 4.8 = 13.4 \text{ mm} \quad (5-6)$$

校正基點 NML3&4&5&6&7 坐標之擴充不確定度

GPS校正基點NML3&4&5&6&7相對固定基站TNML位置之單向度組合標準不確定度 $u_{c2} = 0.8 \text{ mm}$ ，而固定基站TNML坐標單向度組合標準不確定度 $u_{c1} = 11.9 \text{ mm}$ ，則GPS校正基點NML3&4&5&6&7坐標單向度組合標準不確定度 $u_{c4} = (u_{c1}^2 + u_{c2}^2)^{1/2} = (0.8^2 + 11.9^2)^{1/2} = 11.9 \text{ mm}$ 。而有效自由度 ν_{eff4} 依式(2-27)計算，則有效自由度 $\nu_{eff4} = (u_{c4}^4) / [(u_{c1}^4 / \nu_{eff1}) + (u_{c2}^4 / \nu_{eff2})] = 11.9^4 / [(11.9^4 / 179) + (0.8^4 / 47)] = 178.9$ ，取有效自由度 $\nu_{eff4} = 178$ ，在95%信賴水準，得t分布值為1.96，即擴充係數 $k_4 = 1.96$ 。

本校正系統採95%信賴水準，故校正基點NML3&4&5&6&7坐標單向度擴充確定度 $U_4 = k_4 \times u_{c4}$ ，則

$$U_4 = 1.96 \times 11.9 = 23.3 \text{ mm} \quad (5-7)$$

假設X、Y、Z各向度組合標準不確定度相等，則三向度擴充不確定度（3-D Expanded uncertainty） U_{4_3D} 以擴充係數 k_{4_3D} 乘上單向度組合標準不確定度 u_{c4} 而得，即 $U_{4_3D} = k_{4_3D} \times u_{c4}$ 。本校正系統採95%信賴水準，擴充係數 $k_{4_3D} = 2.79$ 【FGCC, 1988】，故校正基點NML3&4&5&6&7坐標三向度擴充不確定度 U_{4_3D} 為

$$U_{4_3D} = 2.79 \times 11.9 = 33.2 \text{ mm} \quad (5-8)$$

5-3-3 短基線校正基點 C132&128&093 坐標之不確定度

在本系統中，GPS 定位短基線校正基點 C132&128&093 之位置，皆以固定基站 TNML 為固定點，經相對定位理論推求而得。因此，影響 GPS 校正基點相對於固定基站 TNML 的主要誤差來源有：量測定位重複性、整置定平及定心、相位中心偏移量、IGS 衛星軌道、氣象修正模式及改正。茲分析說明如下：

校正基點 C132&128&093 相對坐標之擴充不確定度

- (1) 量測定位重複性 u_{18} ：於2001年10月至2003年1月間進行5次外業，在GPS校正基點C132&128&093整置衛星定位儀，各校正基點取4筆觀測資料（每筆觀測資料接收4小時），相對固定基站TNML，以Bernese軟體解算，分析各

校正基點ITRF地心坐標三軸向 σ_X 、 σ_Y 、 σ_Z 標準差及單向度組合標準差 $\sigma_{5a} = [(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2) / 3]^{1/2}$ 如表 5-6，從固定基站TNML至各校正基點，基線平均距離約為 5.3 km。

表 5-6 校正基點 C132&128&093 三軸向標準差

點位	X軸向標準差 σ_X (mm)	Y軸向標準差 σ_Y (mm)	Z軸向標準差 σ_Z (mm)	單向度標準差 $\sigma_{5a} = [(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2) / 3]^{1/2}$ (mm)
C132	8.3	8.7	8.1	8.4
C128	2.2	6.1	7.3	5.6
C093	3.5	5.3	3.0	4.1

綜整上述校正基點定位成果，取單向度組合標準差 $\sigma_5 = [(8.4^2 + 5.6^2 + 4.1^2) / 3]^{1/2} = 6.3$ mm，作為校正基點重複性單向度組合標準不確定度 $u_{18} = 6.3$ mm，自由度 $\nu_{18} = 3 \times (4-1) = 9$ 。

(2) 整置定平及定心 u_{19} ：同 5-3-1 節所述，則定平及定心的標準不確定度 $u_{19} = 0.5 / 3 = 0.3$ mm，估算其相對不確定度為 20%，自由度 $\nu_{19} = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

(3) 相位中心偏移量 u_{20} ：同 5-3-1 節所述，假設為矩形分布，則相位中心偏移量的標準不確定度 $u_{20} = 0.1 / 3^{1/2} = 0.1$ mm，估算其相對不確定度為 25%，自由度 $\nu_{20} = (1/2) \times (25/100)^{-2} = 8$ 。

(4) IGS衛星軌道 u_{21} ：同 5-3-1 節所述，假設為矩形分布，距離D以平均距離 5.3 km 代入，影響量為 $0.003 \times 10^{-6} \times 5.3 \times 10^6 \approx 0.0$ mm，則IGS衛星軌道的標準不確定度 $u_{21} = 0.0 / 3^{1/2} = 0.0$ mm，估算其相對不確定度為 20%，則自由度 $\nu_{21} = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

(5) 氣象修正模式及改正 u_{22} ：同 5-3-1 節所述，假設為矩形分布，距離D以平均距離 5.3 km 代入，影響量為 $0.002 \times 10^{-6} \times 5.3 \times 10^6 \approx 0.0$ mm，則氣象修正模式及改正的標準不確定度 $u_{22} = 0.0 / 3^{1/2} = 0.0$ mm，估算其相對不確定度為 20%，

則自由度 $\nu_{22} = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

綜整上述相關數據，GPS 校正基點 C132&128&093 相對於 TNML 坐標單向度不確定度分析表如表 5-7 所示。

表 5-7 校正基點 C132&128&093 相對坐標之不確定度分析表

不確定度源	估計量 (a)	除數 (b)	標準不確定度 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏 係數 (d)	不確定度分量 (e) = (c) × (d)	自由度
量測定位重複性 u_{18}	6.3 mm	1	6.3 mm	1	6.3 mm	9
整置定平及定心 u_{19}	0.5 mm	$\sqrt{3}$	0.3 mm	1	0.3 mm	12.5
相位中心偏移量 u_{20}	0.1 mm	$\sqrt{3}$	0.1 mm	1	0.1 mm	8
IGS衛星軌道 u_{21}	0.0 mm	$\sqrt{3}$	0.0 mm	1	0.0 mm	12.5
氣象修正模式及改正 u_{22}	0.0 mm	$\sqrt{3}$	0.0 mm	1	0.0 mm	12.5

因此，校正基點C132&128&093相對坐標，因各誤差源彼此獨立不相關，其單向度組合標準不確定度

$$u_{c5} = \left(u_{18}^2 + u_{19}^2 + u_{20}^2 + u_{21}^2 + u_{22}^2 \right)^{1/2}$$

$$= \left[(6.3)^2 + (0.3)^2 + (0.1)^2 + (0.0)^2 + (0.0)^2 \right]^{1/2} = 6.3 \text{ mm}$$

而有效自由度 ν_{eff5} 依式(2-27)計算，則有效自由度

$$\nu_{eff5} = (u_{c5})^4 \left/ \left(\frac{u_{18}^4}{\nu_{18}} + \frac{u_{19}^4}{\nu_{19}} + \frac{u_{20}^4}{\nu_{20}} + \frac{u_{21}^4}{\nu_{21}} + \frac{u_{22}^4}{\nu_{22}} \right) \right.$$

$$= (6.3)^4 \left/ \left(\frac{6.3^4}{9} + \frac{0.3^4}{12.5} + \frac{0.1^4}{8} + \frac{0.0^4}{12.5} + \frac{0.0^4}{12.5} \right) \right. = 9.0$$

以保守估計，取有效自由度 $\nu_{eff5} = 9$ 。在95%信賴水準，得t分布值為2.26，即擴充係數 $k_5 = 2.26$ 。本校正系統採95%信賴水準，故校正基點C132&128&093相對坐標單向度擴充確定度 $U_5 = k_5 \times u_{c5}$ ，則

$$U_5 = 2.26 \times 6.3 = 14.2 \text{ mm} \quad (5-9)$$

假設X、Y、Z各向度組合標準不確定度相等，則三向度擴充不確定度（3-D Expanded uncertainty） U_{5_3D} 等於擴充係數 k_{5_3D} 乘上單向度組合標準不確定度 u_{c5} 而得，即 $U_{5_3D} = k_{5_3D} \times u_{c5}$ 。本校正系統採95%信賴水準，擴充係數 $k_{5_3D} = 2.79$ 【FGCC, 1988】，故校正基點C132&128&093相對坐標三向度擴充不確定度 U_{5_3D} 為

$$U_{5_3D} = 2.79 \times 6.3 = 17.6 \text{ mm} \quad (5-10)$$

校正基點 C132&128&093 坐標之擴充不確定度

GPS校正基點C132&128&093相對固定基站TNML位置之單向度組合標準不確定度 $u_{c5} = 6.3 \text{ mm}$ ，而固定基站TNML坐標單向度組合標準不確定度 $u_{c1} = 11.9 \text{ mm}$ ，則GPS校正基點C132&128&093坐標單向度組合標準不確定度 $u_{c6} = (u_{c1}^2 + u_{c5}^2)^{1/2} = (11.9^2 + 6.3^2)^{1/2} = 13.5 \text{ mm}$ 。而有效自由度 ν_{eff6} 依式(2-27)計算，則有效自由度 $\nu_{eff6} = (u_{c6}^4) / [(u_{c1}^4 / \nu_{eff1}) + (u_{c5}^4 / \nu_{eff5})] = 13.5^4 / (11.9^4 / 179 + 6.3^4 / 9) = 115.7$ ，取有效自由度 $\nu_{eff6} = 115$ ，則95%信賴水準，得t分布值為1.98，即擴充係數 $k_6 = 1.98$ 。

本校正系統採95%信賴水準，故校正基點C132&128&093坐標單向度擴充確定度 $U_6 = k_6 \times u_{c6}$ ，則

$$U_6 = 1.98 \times 13.5 = 26.7 \text{ mm} \quad (5-11)$$

假設X、Y、Z各向度組合標準不確定度相等，則三向度擴充不確定度（3-D Expanded uncertainty） U_{6_3D} 以擴充係數 k_{6_3D} 乘上單向度組合標準不確定度（ u_{c6} ）而得，即 $U_{6_3D} = k_{6_3D} \times u_{c6}$ 。本校正系統採95%信賴水準，擴充係數 $k_{6_3D} = 2.79$ 【FGCC, 1988】，故校正基點C132&128&093坐標三向度擴充不確定度 U_{6_3D} 為

$$U_{6_3D} = 2.79 \times 13.5 = 37.7 \text{ mm} \quad (5-12)$$

5-4 量測品保

國家 GPS 定位校正場固定基站 TNML 及各校正基點位置之不確定度，係依國際標準組織（ISO）建議方法『量測不確定度表示法指引』進行評估。而量測品保則參考美國國家標準與技術研究院（NIST）SP676-II【Croarkin, 1985】，設計一套查核參數和管制圖來監控本校正系統。

5-4-1 品保設計

本系統監控內容分別為：(1) GPS 定位固定基站 TNML 坐標之管制 (2) GPS 定位超短基線校正基點斜距之管制 (3) GPS 定位短基線校正基點斜距之管制 (4) 衛星定位儀觀測資料品質之管制【量測中心，2002a】。茲分析說明如下：

(1) GPS定位固定基站TNML坐標之管制

從 2001 年元月起，選定四個國際 IGS 追蹤固定站（日本 USUD、美國 GUAM、新加坡 NTUS 及中國大陸 WUHN，如圖 5-5 所示），每隔 5 天，取一整天資料為單位，以 Bernese 軟體解算【量測中心，2001c】，推求固定基站 TNML 坐標，分析 ITRF97 / ITRF2000 地心坐標三軸坐標變化，並繪製管制圖進行查核。

(2) GPS定位超短基線校正基點斜距之管制

GPS 定位超短距離基線各校正基點 NML3&4&5&6&7 位置如圖 5-3。在各校正基點整置環型天線及雙頻衛星接收儀，接收完整觀測資料後，以 Bernese 軟體解算，推得各校正基點相對於固定基站 TNML 之斜距，並與精密電子測距結果進行比對查核。

(3) GPS定位短基線校正基點斜距之管制

GPS 定位短距離基線各校正基點 C093&128&132 位置如圖 5-4。在各校正基點整置環型天線及雙頻衛星接收儀，接收完整觀測資料後，以 Bernese 軟體解算，推得各校正基點相對於固定基站 TNML 之斜距，並與精密電子測距結果進行比對查核。

(4) 衛星定位儀觀測資料品質之管制

評估各 GPS 工作標準件之觀測資料品質指標，係以 Teqc 軟體進行查核，茲分別說明如下：

- (a) mp1：L1載波的多路徑效應，可視為L1載波觀測量的雜訊大小。
- (b) mp2：L2載波的多路徑效應，可視為L2載波觀測量的雜訊大小。
- (c) o/slps：每產生一個週波脫落的平均觀測資料筆數，此項指標為『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』，數值越小表示週波脫落情形越嚴重。

5-4-2 程序參數及管制圖

以量測次數順序 x_i 為橫軸，對應查核參數值 y_i 為縱軸，分析查核參數平均值 A_c 、計算標準差 S_c 及管制上限UCL、管制下限LCL，作為系統評估之參考。其計算式如下：

$$A_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5-13)$$

$$S_c = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - A_c)^2 \right]^{1/2} \quad (5-14)$$

$$UCL = A_c + 3S_c \quad (5-15)$$

$$LCL = A_c - 3S_c \quad (5-16)$$

取統計99.7%信賴水準，當作系統管制上下限，繪製管制圖，作為本系統例行監控之依據。



(1) GPS定位固定基站TNML坐標管制圖

固定基站TNML整置精密衛星定位儀，全天候24小時接收衛星資料，自2001年1月至12月，每隔五天取一日資料進行計算，求得TNML固定基站ITRF97地心坐標，得X坐標平均值 $X_{avg} = -2982779.7641$ m，標準差 $\sigma_{X_{avg}} = 0.0128$ m，取統計99.7%信賴水準，管制上限 $UCL_X = -2982779.7257$ m，管制下限 $LCL_X = -2982779.8024$ m；同理，Y坐標平均值 $Y_{avg} = 4966663.9028$ m，標準差 $\sigma_{Y_{avg}} = 0.0201$ m，管制上限 $UCL_Y = 4966663.9632$ m，管制下限 $LCL_Y = 4966663.8425$ m；同理，Z坐標平均值 $Z_{avg} = 2658806.3843$ m，標準差 $\sigma_{Z_{avg}} = 0.0096$ m，管制上限 $UCL_Z = 2658806.4130$ m，管制下限 $LCL_Z = 2658806.3556$ m，管制圖如圖5-12所示。

同樣的方法，自2002年1月至9月，每隔五天取一日資料進行計算，求得TNML固定基站ITRF2000地心坐標，得X坐標平均值 $X_{avg} = -2982779.7753$ m，

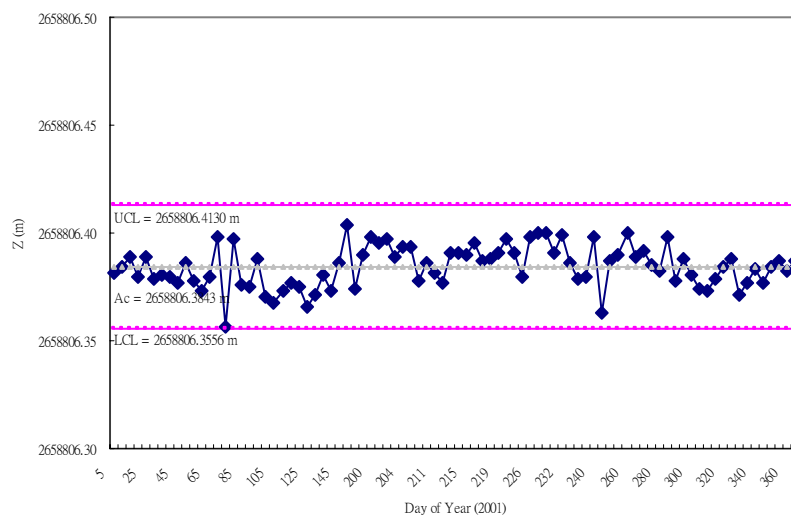
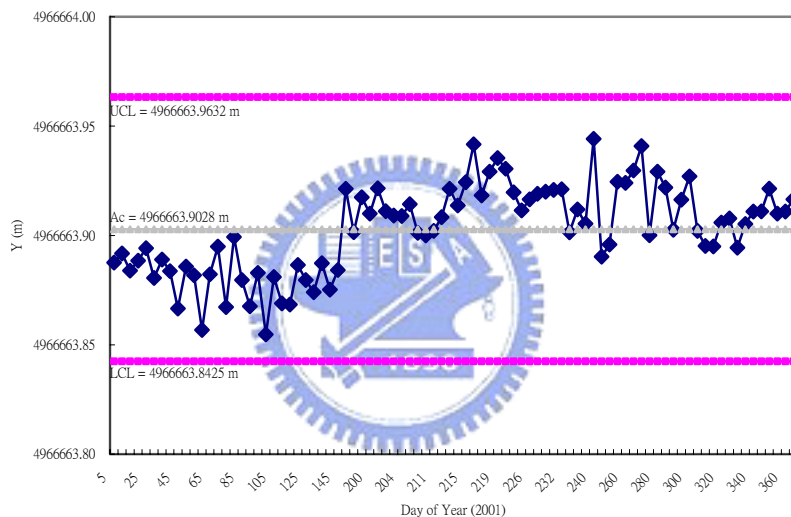
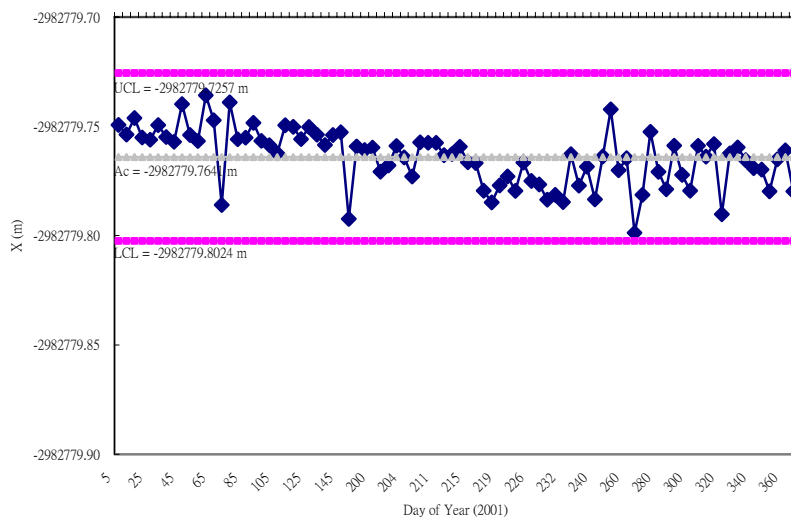


圖5-12 固定基站TNML坐標管制圖（2001年）

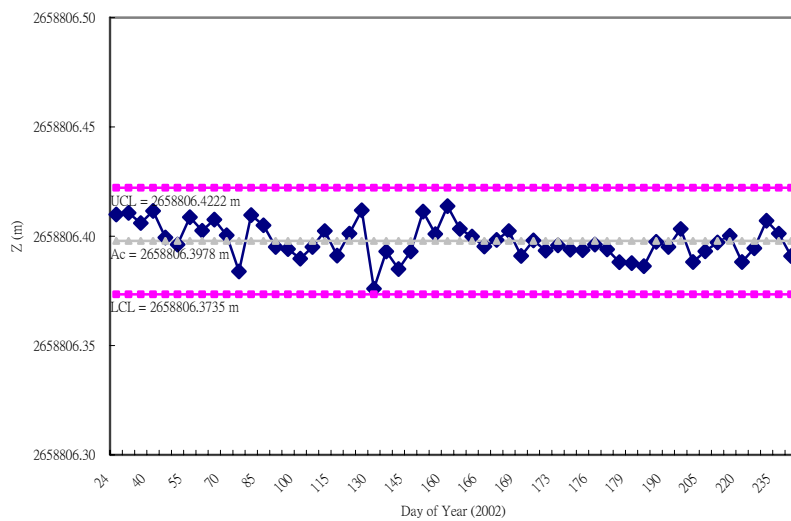
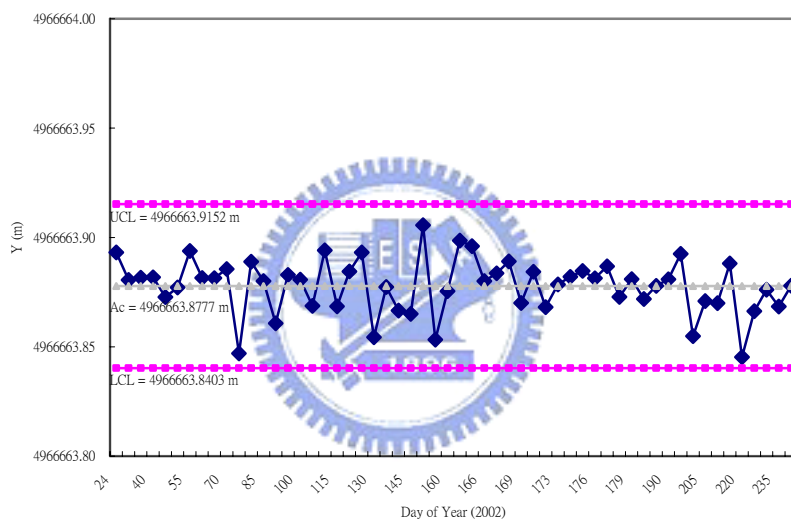
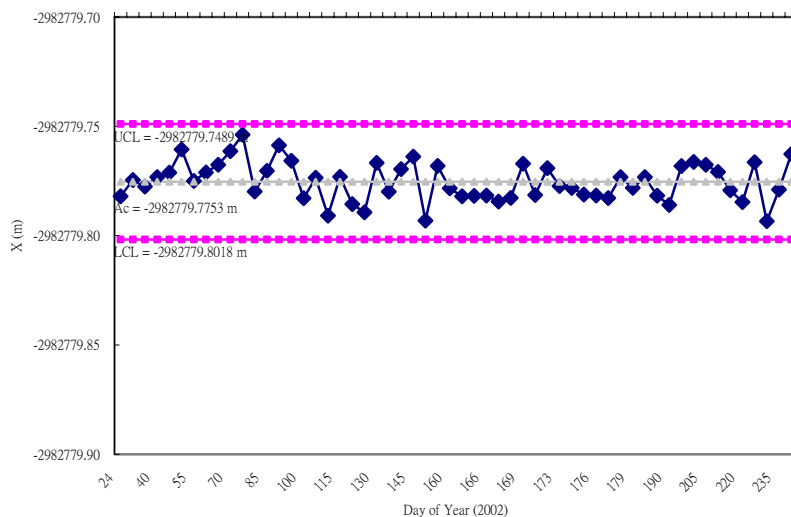
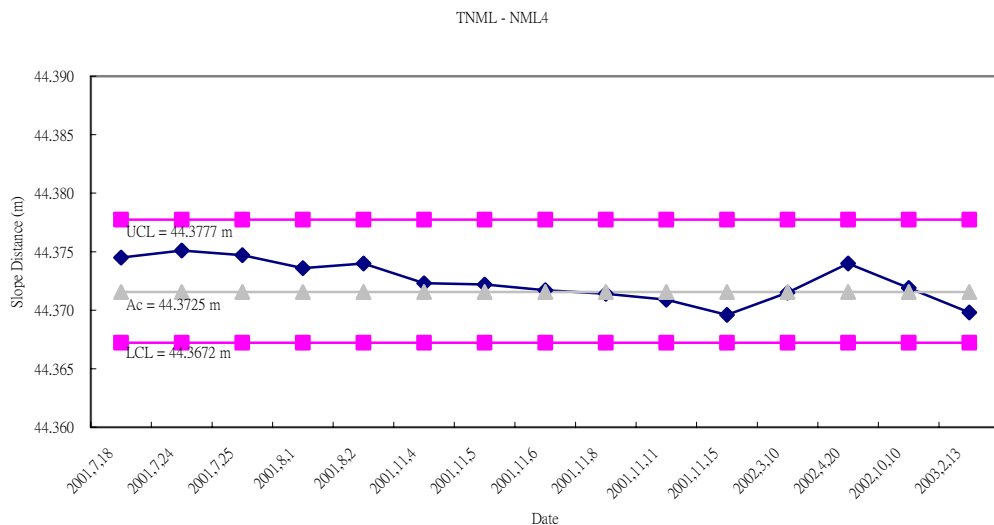
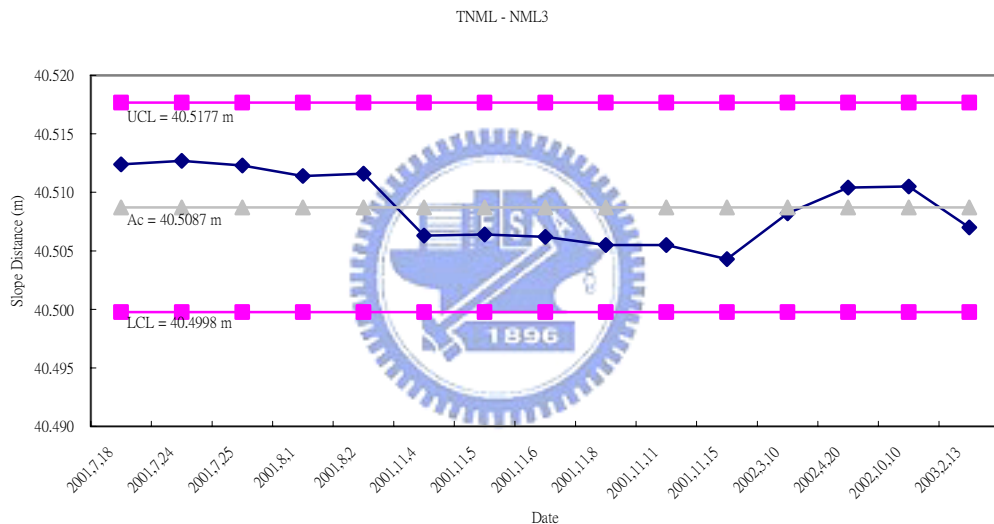


圖5-13 固定基站TNML坐標管制圖（2002年）

標準差 $\sigma_{X_{avg}} = 0.0088$ m，取統計99.7%信賴水準，管制上限 $UCL_X = -2982779.7489$ m，管制下限 $LCL_X = -2982779.8018$ m；同理，Y坐標平均值 $Y_{avg} = 4966663.8777$ m，標準差 $\sigma_{Y_{avg}} = 0.0125$ m，管制上限 $UCL_Y = 4966663.9152$ m，管制下限 $LCL_Y = 4966663.8403$ m；同理，Z坐標平均值 $Z_{avg} = 2658806.3978$ m，標準差 $\sigma_{Z_{avg}} = 0.0081$ m，管制上限 $UCL_Z = 2658806.4222$ m，管制下限 $LCL_Z = 2658806.3735$ m，管制圖如圖5-13所示。

(2) GPS定位超短距離校正基點基線斜距管制圖

於2001年7月至2003年2月間，整置GPS定位單元在各校正基點上，分別接收GPS觀測資料，藉以量測各校正基點至固定基站TNML的基線斜距，取統計99.7%信賴水準，當作系統管制上下限，繪製管制圖如圖5-14。



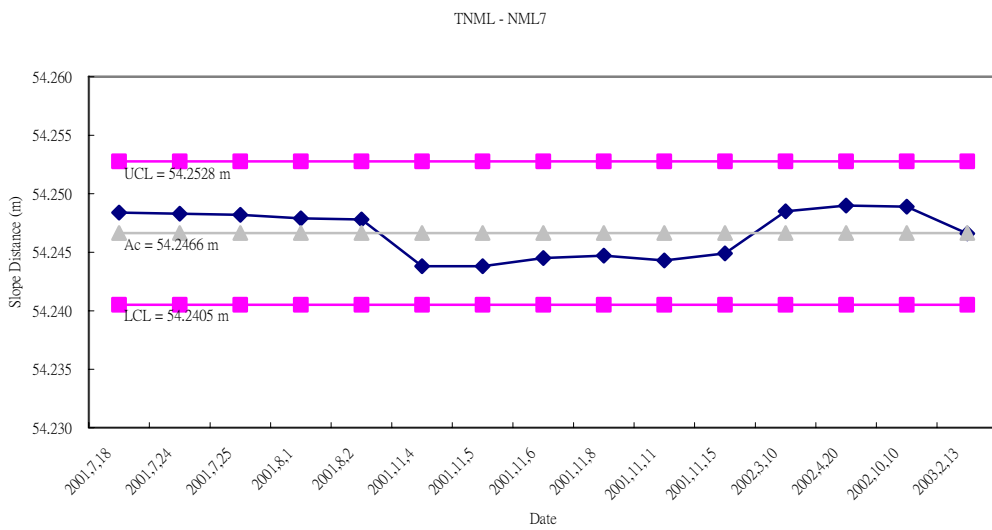
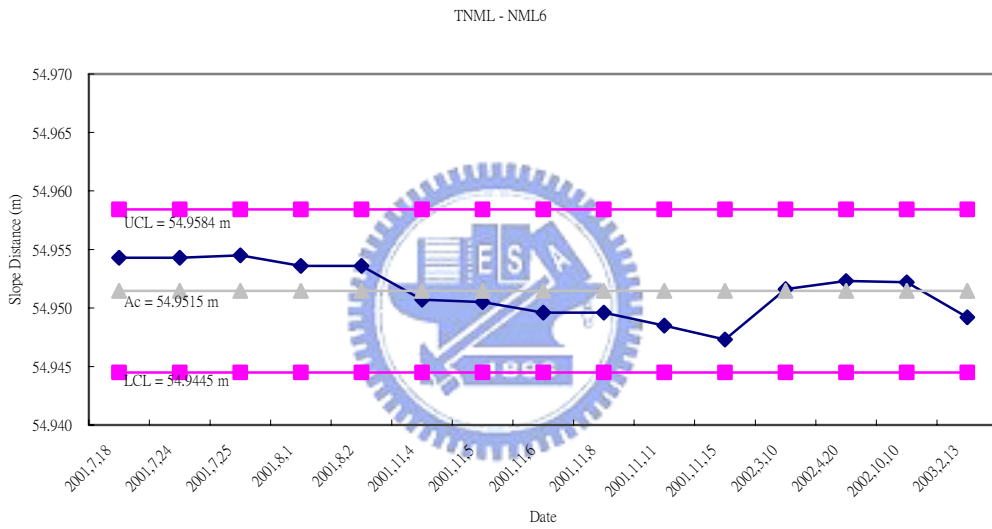
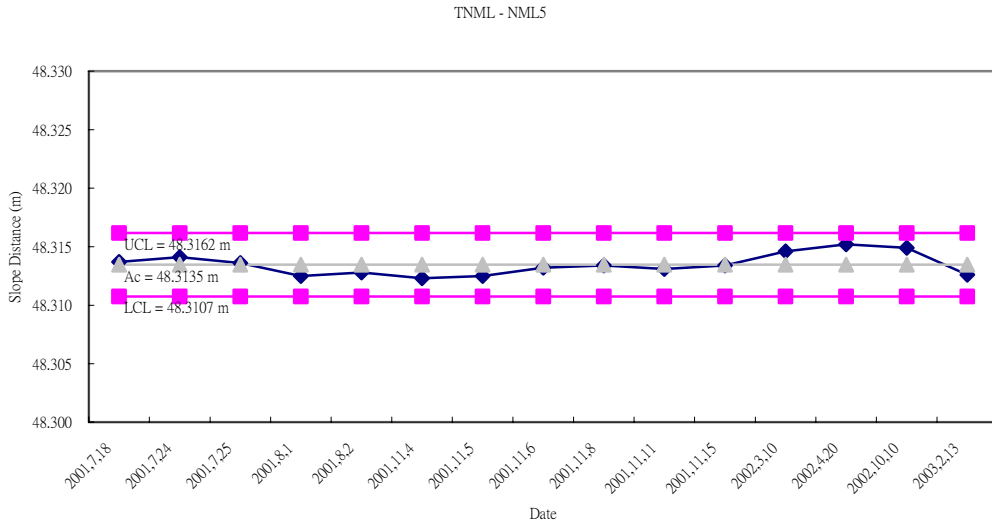


圖5-14 NML3&4&5&6&7校正基點斜距管制圖

為查核基線斜距，以精密電子測距儀Mekometer ME5000，並輔以精密溫度計及壓力計實施電子測距，其測距擴充不確定度，在95%信賴水準，約為0.6 mm【量測中心，2000】，其精確度足以查核GPS量測斜距。

於2001年7月至2003年1月間，進行3次的GPS斜距與ME5000斜距比對，其成果如圖5-15所示。結果顯示，各基線的比對差值大多小於2 mm，符合5-3-2節所述，校正基點NML3&4&5&6&7相對坐標三向度擴充不確定度 $U_{2_3D} = 2.2$ mm。

量測結果同時也顯示，各校正基點基線斜距在同段時間內穩定，但在不同期間（季節），7月（夏天）所測得之基線距離，較11月（冬天）所測得之基線斜距為長。推估原因，可能是各校正基點設置在頂樓，建築物本身因熱漲冷縮現象，導致斜距變化。

因此，每次進行校正作業時，為消除基樁位置受環境變化之影響量，需以GPS定位單元於校正當日前後進行連續一天的GPS觀測，再利用Bernese軟體，進行相對定位解算校正當時的五個校正基點三度空間ITRF地心坐標（X, Y, Z），作為校正儀器之依據。

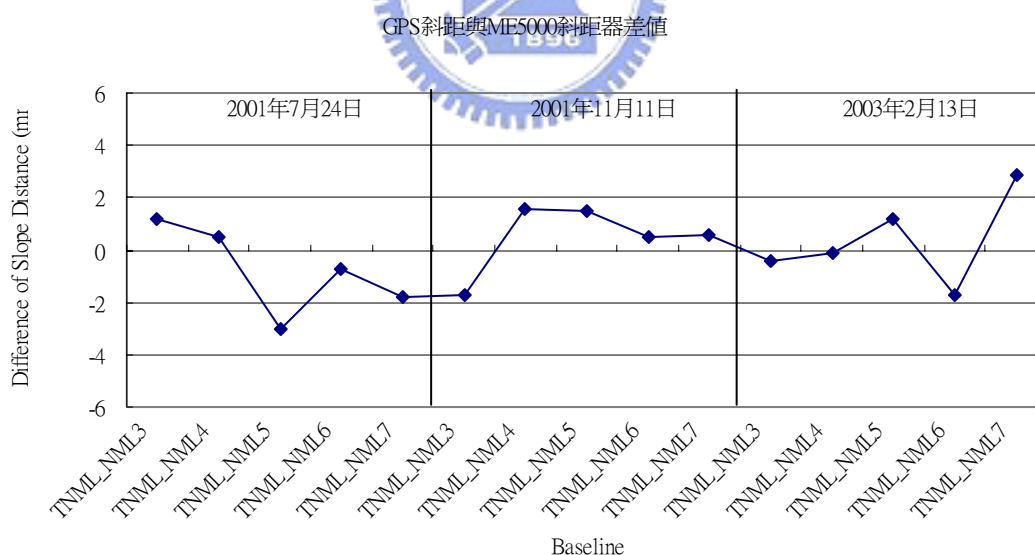
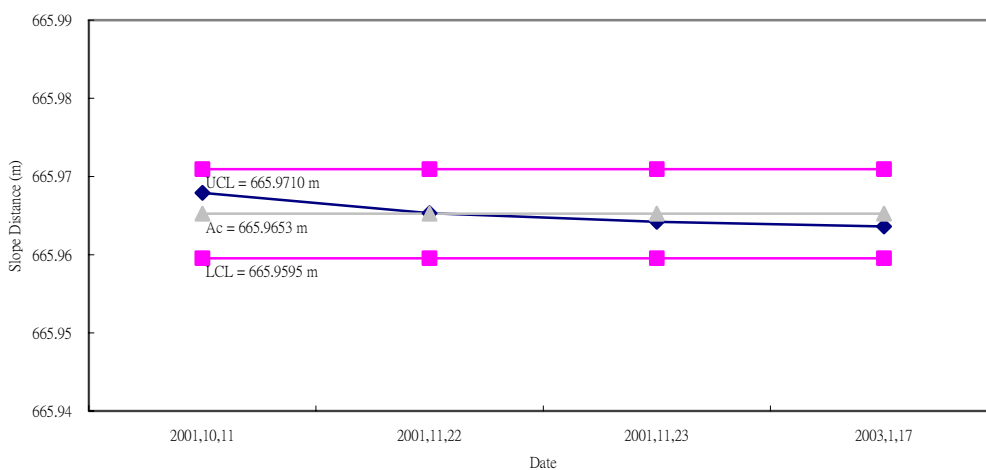


圖5-15 超短距離GPS基線斜距與精密EDM測距比對較差

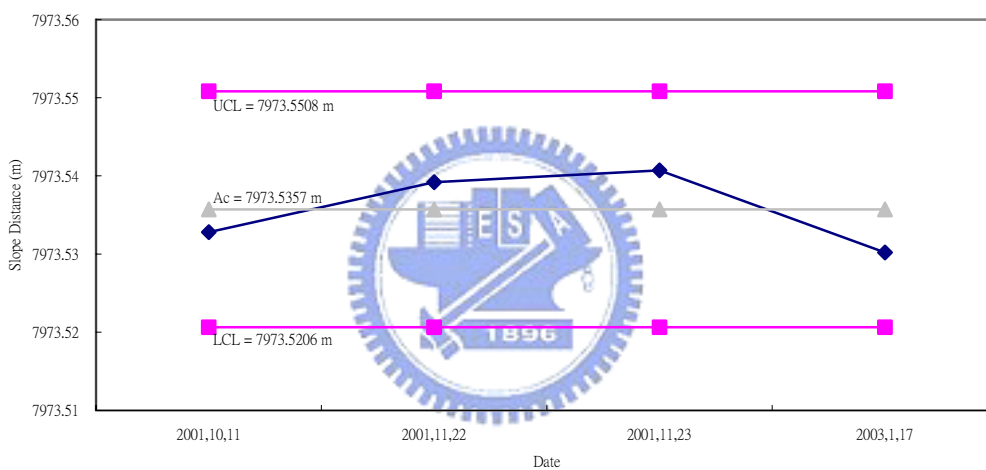
(3) GPS定位短距離校正基點基線斜距管制圖

於2001年10月至2003年1月間，在短距離校正基點整置GPS定位單元，分別接收GPS觀測資料，藉以量測各校正基點至固定基站TNML的基線斜距，取統計99.7%信賴水準，當作系統管制上下限，繪製管制圖如圖5-16。

TNML - C132



TNML - C128



TNML - C093

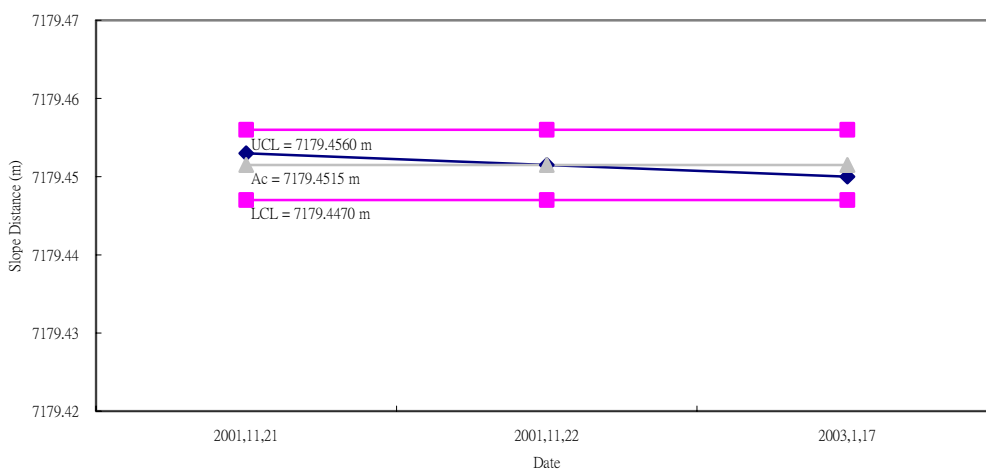


圖5-16 C132&128&093校正基點管制圖

為查核基線斜距，以精密電子測距儀Mekometer ME5000，並輔以精密溫度計及壓力計實施電子測距，其測距擴充不確定度，在95%信賴水準，約為0.6 mm，其精確度足以查核GPS量測斜距。

於2001年7月至2003年1月間，進行3次的GPS斜距與ME5000斜距比對，比對的基線為TNML-C093，基線距離約為7.2 km，其器差值如圖5-17所示。結果顯示，TNML-C093基線的比對差值都小於5 mm，且比對差值之標準差為1.2 mm，符合5-3-3節所述，校正基點C093相對坐標三向度擴充不確定度 $U_{5_3D} = 17.6 \text{ mm}$ 。

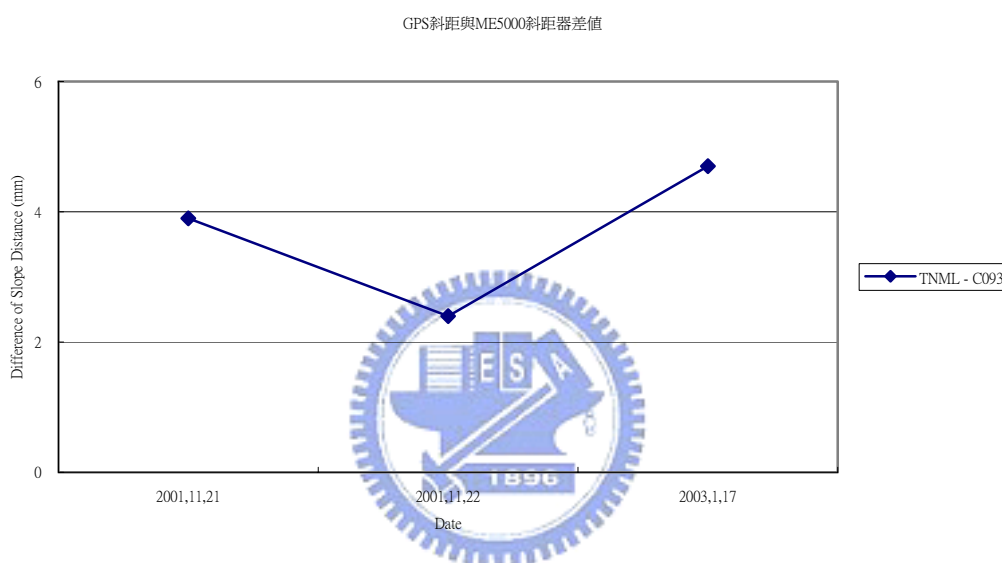


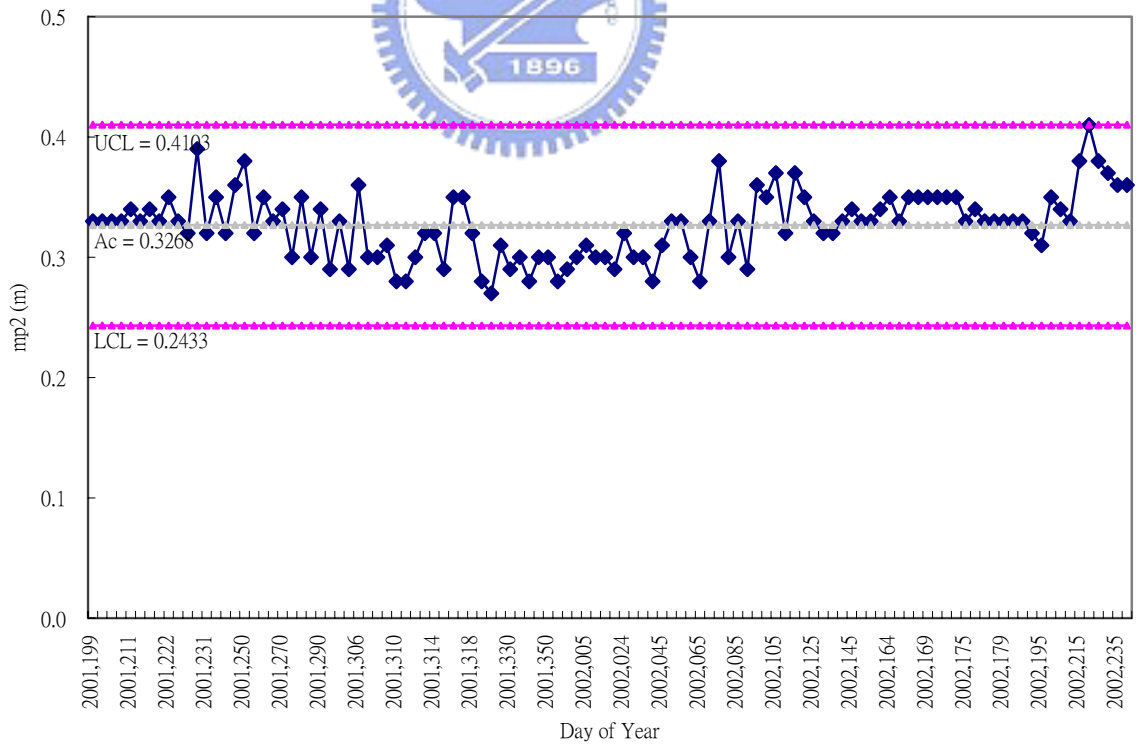
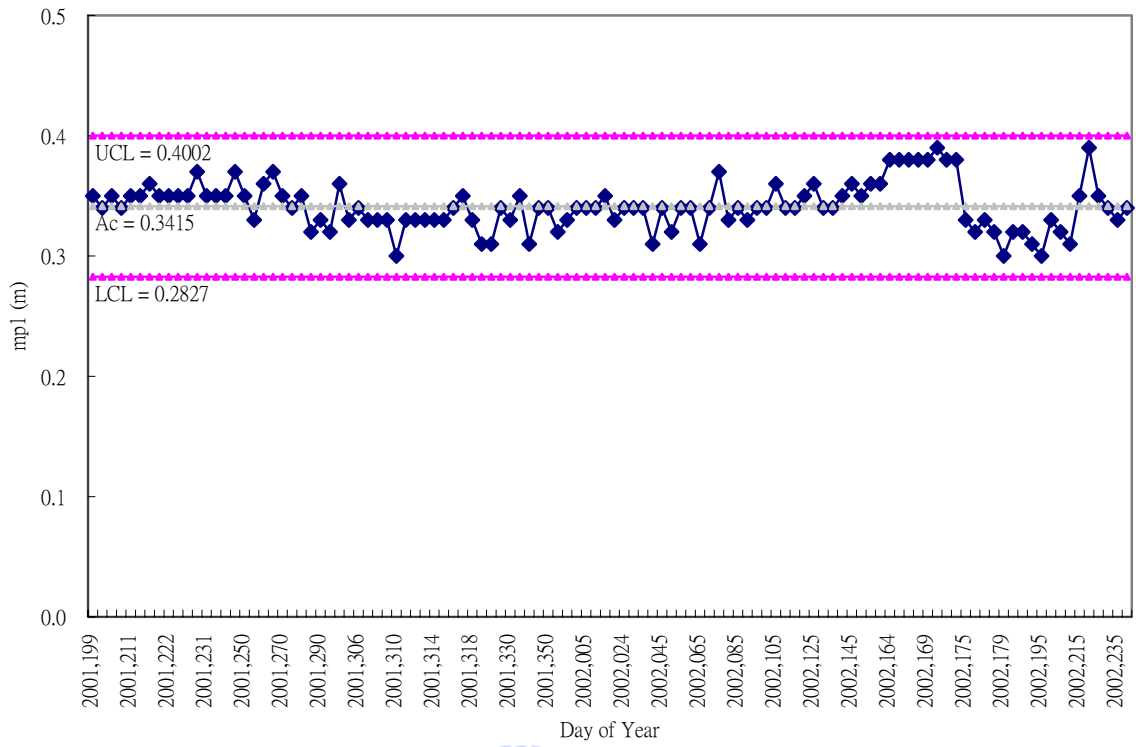
圖5-17 短距離GPS基線斜距與精密EDM測距比對較差

(4) 衛星定位儀觀測資料品質之管制圖

評估各GPS工作標準件之觀測資料品質指標，係以Teqc軟體進行查核，茲分別說明如下：

- (a) mp1：L1載波的多路徑效應，可視為L1載波觀測量的雜訊大小。
- (b) mp2：L2載波的多路徑效應，可視為L2載波觀測量的雜訊大小。
- (c) o/slps：每產生一個週波脫落的平均觀測資料筆數，此項指標為『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』，數值越小表示週波脫落情形越嚴重。

評估固定基站TNML之AOA BenchMark衛星定位儀，其觀測資料品質指標成果繪製成管制圖如圖5-18。



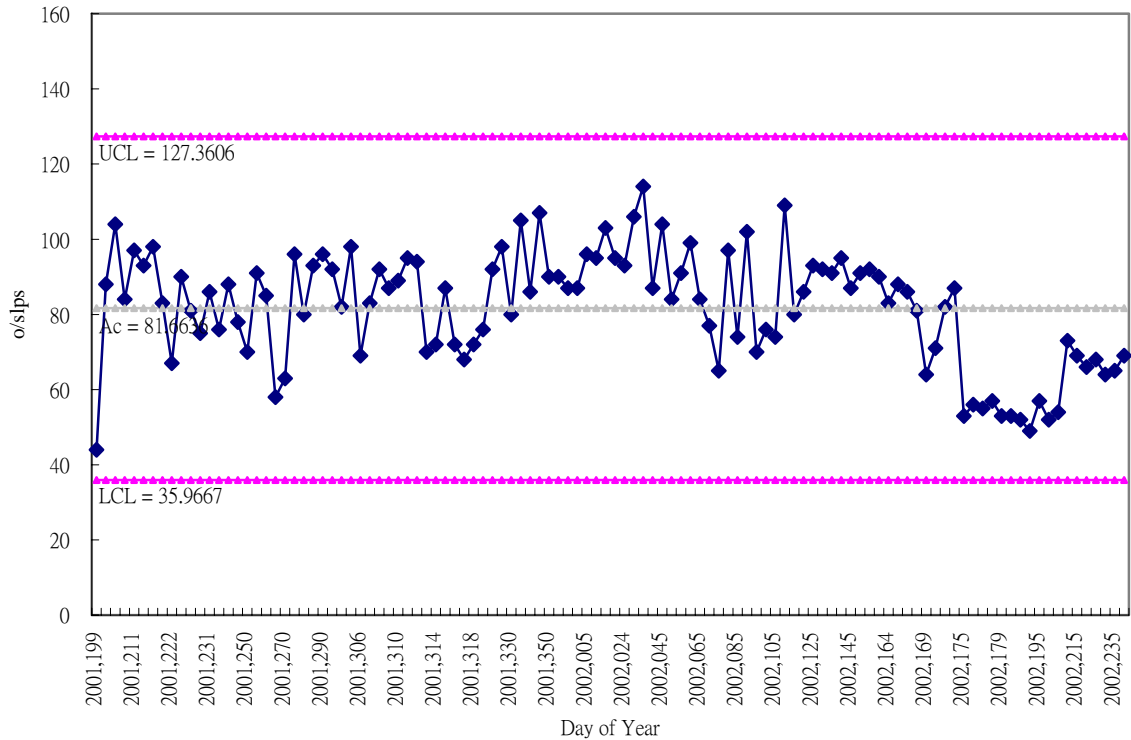


圖5-18 AOA BenchMark觀測資料品質指標管制圖

5-5 校正方法

5-5-1 校正步驟

校正內容共有三個項目，待校件依其功能，得選擇(1)、(2)或(3)項目實施校正，全部內容說明如下【量測中心，2002c】：

- (1) 靜態相對定位，適用大地測量型衛星定位儀。
- (2) 動態相對定位，適用差分衛星定位儀。
- (3) 單點定位，適用導航型衛星定位儀。

靜態相對定位

- (1) 打開超短基線校正場校正基點鋁質保護蓋，將待校件天線盤整置於校正基點強制定心基座上，旋轉天線盤上方向註記至北方位置後固定。檢查衛星訊號傳輸線兩端，分別穩固接合在天線盤及待校件接頭座上。
- (2) 開啟待校件電源，依操作手冊設定最低觀測衛星仰角為 15 度、最少衛星觀測數為 3 顆衛星、觀測資料取樣間隔為 15 秒、觀測時間為 4 小時。
- (3) 確定記憶體容量足夠及電池電量充足後，開始進行觀測。稍後，再確認觀測

資料確實儲存於記憶體，連續觀測 4 小時。

- (4) 觀測結束後，關機。將待校件天線盤旋轉 180 度，重覆上述(2)至(3)步驟實施。
- (5) 依各待校件下載觀測資料程序，執行下載。所有下載觀測資料檔均需轉換成 Rinex 格式觀測檔，而記錄檔案名稱以觀測基點之點名及當日 GPS 日期為原則。
- (6) 取下待校件天線盤，正確放回儀器箱內，扣緊儀器箱扣環。
- (7) 換上本校正系統衛星定位儀單元天線盤，整置於超短基線校正場校正基點強制定心基座上，旋轉天線盤上方向註記至北方位置後固定。檢查衛星訊號傳輸線兩端，分別穩固接合在天線盤及衛星定位儀單元接頭座上。
- (8) 開啟衛星定位儀單元電源，依操作手冊方式設定最低觀測衛星仰角為 15 度、最少衛星觀測數為 3 顆衛星、觀測資料取樣間隔為 15 秒、觀測時間為 24 小時。
- (9) 確定衛星定位儀單元記憶體容量足夠及電源供應正常，則可開始進行觀測，連續觀測 24 小時。
- (10) 觀測結束後，下載衛星定位儀單元觀測資料。所有下載觀測資料檔均需轉換成 Rinex 格式觀測檔，而記錄檔案名稱以觀測基點之點名，及當日 GPS 日期為原則。

動態相對定位

- (1) 打開超短基線校正場校正基點 NML3 鋁質保護蓋，將待校件動態定位主站天線盤整置在校正基點 NML3 上，天線盤方向指標朝北。
- (2) 將待校件動態定位移動站準備完成後，確認移動站可與主站進行資料傳輸後，即進行動態相對定位後，將移動站天線盤分別放置於超短基線校正場校正基點，依序為校正基點 NML4、NML5、NML6 及 NML7，在各校正基點重覆進行 5 次量測並記錄待校件器示值。
- (3) 視作業需要，可作選擇性將移動站移至短基線校正場校正基點 C132、C128 或 C093。注意要在 5/8"強制定心基座上，先加上鋁質基座（高 43.3 mm），在各校正基點重覆進行 5 次量測並記錄待校件器示值。
- (4) 觀測結束後，關機。取下待校件天線，正確放回儀器箱內，扣緊儀器箱扣環。
- (5) 校正基點參考坐標量測方法係與靜態相對定位(7)~(10)相同。

單點定位

打開校正場校正基點鋁質保護蓋，整置待校件於超短基線校正場校正基點 NML3、NML4、NML5 上，參照待校件單點定位操作方法，在各校正基點重覆進行 5 次量測並記錄待校件器示值。而校正基點參考坐標量測方法係與靜態相對定位(7)~(10)相同。

5-5-2 資料分析說明

本系統係分析校正單元衛星定位儀觀測資料，根據 GPS 定位理論，使用瑞士伯恩大學 GPS 研究軟體 Bernese 4.2，準確評估固定站 TNML 與各校正基點之坐標，相關的資料分析說明如下：

靜態相對定位

靜態相對定位解算，在超短基線校正場及短基線校正場靜態相對定位，其應用各相關參數，設定分別如下：

(a) 超短距離靜態相對定位

- 坐標系統：ITRF97 / ITRF2000
- 求解頻率：L1&L2
- 整數週波未定值求解法：QIF
- 對流層改正：Saastamoinen
- 軌道型式：IGS 精密星曆



(b) 中距離靜態相對定位

- 坐標系統：ITRF97 / ITRF2000
- 求解頻率：L3
- 整數週波未定值求解法：QIF
- 對流層改正：Saastamoinen
- 軌道型式：IGS 精密星曆

以固定站 TNML 為基準，利用靜態相對定位方法，經 Bernese 4.2 軟體解算，推求待校件在校正基點之定位坐標，得待校件靜態坐標 A；另將待校件天線盤旋轉 180 度後，在校正基點之定位坐標，得待校件靜態坐標 B。再以固定站 TWTF 為基準，利用靜態相對定位方法，經 Bernese 4.2 軟體解算，推求待校件在校正基點之定位坐標，得待校件靜態坐標 C；另將待校件天線盤旋轉 180 度後，在校正基點之定位坐標，得待校件靜態坐標 D。而校正單元衛星定位儀在相同校正基

點之定位坐標為參考坐標，比較相同校正基點上，待校件靜態坐標 A&B&C&D 與參考坐標，求得待校件靜態相對定位坐標之器差。

動態相對定位

待校件動態相對定位，係依待校件原有動態定位軟硬體設備定位求得，所得資料即為定位成果。在各校正基點放置待校件，進行 5 次定位動作，比較動態相對定位平均坐標值與校正基點參考坐標值，求得待校件動態相對定位坐標之器差。

單點定位

待校件單點定位，係依待校件定位程序，直接讀取記錄待校件定位所顯示的坐標，每一待校件單點定位坐標記錄 5 筆資料，比較單點定位平均坐標值與校正基點參考坐標值，求得單點定位坐標之器差。

5-6 校正報告範例

校正之報告格式範本及內容如下列所示（以靜態相對定位為例）【量測中心，2002c】，可依實際校正項目予以增減。



I. 測試結果

1. 超短距離靜態相對定位

基點 NML3 相對 TNML 坐標 差分量及斜距	參考值 [m] R_1	天線盤 0° 量測值[m] A_1	天線盤 180° 量測值[m] B_1	器差 [mm] A_1-R_1 / B_1-R_1	擴充 不確定度 [mm]	2 倍 儀器規格 [mm]
ΔX_1	50.0811	50.0822	50.0819	1.1 / 0.8	2.2	10.2
ΔY_1	12.3798	12.3805	12.3870	0.7 / 7.2		
ΔZ_1	16.7724	16.7734	16.7776	1.0 / 5.2		
D_1	54.2466	54.2480	54.2506	1.5 / 4.0		

2. 中距離靜態相對定位

基點 NML3 相對 TWTF 坐標 差分量及斜距	參考值 [m] R_2	天線盤 0° 量測值[m] A_2	天線盤 180° 量測值[m] B_2	器差 [mm] A_2-R_2 / B_2-R_2	擴充 不確定度 [mm]	2 倍 儀器規格 [mm]
ΔX_2	11698.3478	11698.3358	11698.3589	-12.0 / 11.1	13.4	59.8
ΔY_2	15367.0046	15366.9965	15367.0061	-8.1 / 1.5		
ΔZ_2	-15673.6875	-15673.6968	-15673.6935	-9.3 / -6.0		
D_2	24872.8899	24872.8851	24872.8998	-4.8 / 9.9		

II. 測試說明

1. 測試日期與地點

本測試作業係於民國 93 年 12 月 12 日於超短基線 GPS 定位校正場執行，校正場如圖所示，待校件整置在校正基點 NML3。

2. 測試方法

2.1 本測試實施係依據 GPS 靜態及動態定位校正系統校正程序。

2.2 超短距離及中距離靜態相對定位參考值 R_1 及 R_2 ，係利用高精度衛星定位儀配合環型 (Choke Ring) 天線盤，整置在校正基點 NML3 上，每 15 秒記錄一筆資料，同步接收仰角 15 度以上的 GPS 衛星訊號，實施長時間觀測 24 小時。觀測資料經研究軟體 Bernese 4.2 進行後級處理，分別求得參考值。其計算流程如下：

2.2.1 將同時段之原始觀測資料轉換為 RINEX (Receiver Independent Exchange Format) 標準交換格式，再將之轉換成 Bernese 資料格式。

2.2.2 將 IGS 精密星曆 (Precise Ephemeris) 轉換成表列格式 (Tabular Orbit)，再組成 Bernese 格式之標準軌道，以作為後級處理之用。

2.2.3 進行電碼資料之檢查 (Code Check)，剔除錯誤之觀測量，並將離群 (Outlier) 的資料標示 (Mark) 起來。

2.2.4 利用電碼觀測量配合對流層折射改正模式進行單點定位 (Single Point Positioning)，以最小二乘法疊代計算測站之概略坐標及接收儀時錶改正量。

2.2.5 組成一次差相位觀測量 (Single Difference)，亦即將所有測站依最短基線之原則，組成線性獨立的一次差觀測量。

2.2.6 進一步利用三次差成果進行週波脫落 (Cycle Slip) 之偵測與補償。

2.2.7 以此觀測量組成二次差，進行各項參數之預估及基線求解。

2.3 超短距離靜態相對定位，待校件定位坐標係以固定站 TNML 為主站 ($X = -2982779.7768$ m, $Y = 4966663.8822$ m, $Z = 2658806.3993$ m，係由國家度量衡標準實驗室設置維護)，並採用 Bernese 4.2 研究軟體進行基線解算。待校件天線盤位置 0° 係天線方向指標朝北，求得量測值 A_1 ；待校件

天線盤位置 180° 係天線方向指標朝南，求得量測值 B_1 ；再將量測值 A_1 、 B_1 與參考值 R_1 相減得器差。

而斜距 D_1 與三軸坐標差分量 ΔX_1 、 ΔY_1 、 ΔZ_1 之關係式如下：

$$D_1 = (\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2 + \Delta Z_1^2)^{1/2}$$

2.4 中距離靜態相對定位，待校件定位坐標係以固定站 TWTF 為主站 ($X = -2994428.0489$ m, $Y = 4951309.2506$ m, $Z = 2674496.8624$ m, 係由國家時間與頻率標準實驗室設置維護)，並採用 Bernese 4.2 研究軟體進行基線解算。待校件天線盤位置 0° 係天線方向指標朝北，求得量測值 A_2 ；待校件天線盤位置 180° 係天線方向指標朝南，求得量測值 B_2 ；再將量測值 A_2 、 B_2 與參考值 R_2 相減得器差。

而斜距 D_2 與三軸坐標差分量 ΔX_2 、 ΔY_2 、 ΔZ_2 之關係式如下：

$$D_2 = (\Delta X_2^2 + \Delta Y_2^2 + \Delta Z_2^2)^{1/2}$$

3. 測試用標準件

本次測試所使用之標準件為 AOA BenchMark 衛星定位儀，序號為 1132，本標準件追溯國家時間與頻率標準實驗室，追溯號碼為 FTC-2002-2-6，追溯日期為 91 年 3 月 5 日。標準頻率源為 Datum 8040A 銩原子鐘，序號為 0213005334，本標準件追溯國家時間與頻率標準實驗室，追溯號碼為 FTC-2002-4-10-1，追溯日期為 91 年 5 月 3 日。

第六章 結論與建議

6-1 本研究之結論

首先，本文闡述提昇 GPS 定位精度之策略，分別提出了以觀測量不等權法修正對流層折射誤差及以交換天線法修正天線相位中心誤差。接下來，分別探討接收儀時錶誤差與觀測資料品質對於 GPS 定位精度之影響，並針對內政部衛星追蹤站建立了一套 GPS 接收儀觀測資料品質監控系統。最後，闡述 GPS 接收儀校正系統之建立，說明了不確定度分析、量測品保、校正方法，並提出校正報告範例。現將所得之相關成果說明如下：

- (1) 本文所採用的觀測量不等權 ($P=\cos^2(z)$, z 為天頂距) 觀念，經實際應用於基線的求解上，不論是採用L1 或者是L3 頻率進行求解，都充分的證實此一方法確實可以增進GPS相對定位之精度，其影響反映在基線的斜距上，一般來說，平均可以提昇 1~3 mm的精度；而在觀測資料品質較差的情況下，約可以提昇 5 mm的基線求解精度。
- (2) 以同型天線進行 GPS 觀測時，若不進行任何相位中心改正，於水平方向最大標準偏差約為 1.4 mm，垂直向約為 2.6 mm；當進行相位中偏移及相位中心變化改正後，水平方向之標準偏差皆維持在 0.3 mm 以下，垂直向的標準偏差則約有 0.4 mm 的改善。但以混合不同型式天線量測時，Trimble-Ashtech 若未進行相位中心改正，於水平方向的標準偏差最大約 4 mm，當進行相位中心偏移量及變化量的改正後，標準偏差約改善為 2~3 mm。若以 Trimble-Leica 混合進行量測時，於水平方向最大的標準偏差約為 5.4 mm，但進行相位中心改正後，則標準偏差都維持在 1 mm 以下。
- (3) 當使用 GPS 接收儀內建的石英鐘時，其時間偏移量優於使用銣原子鐘平均約 3 個級數；而在頻率穩定度方面，石英鐘的表現則遜於銣原子鐘平均約 2 個級數。而在短距離靜態相對定位中，不論是 N 方向或 E 方向，使用銣原子鐘前後的結果都差不多；但在高程向的定位上，其定位精度由原先的 8.2 mm 變為 3.8 mm，提升了約 54%的高程向精度。在長距離靜態相對定位中，N 方向的精度在使用銣原子鐘前後的結果都差不多，但在 E 方向，定位精度由原來的 6.1 mm 變為 4.6 mm，提升了約 25%的精度；而在高程向的定位上，定位

精度由原先的 12.7 mm 變為 11.1 mm，提升了約 13% 的高程向精度。

- (4) 本文所提出的五項觀測資料品質指標，對於 GPS 相對定位的精度分析上，以接收儀內部頻率穩定度 (fp) 的影響最大，其次為週波脫落 (o/slps)，再其次為多路徑效應 (mp1、mp2)，最後則為接收儀內部時鐘偏移量 (tp)。吾人即根據此一結果建立 GPS 資料品質自動化計算系統，針對內政部各衛星追蹤站觀測資料品質進行管制，希望能夠藉由此一監控流程，當儀器發生故障或追蹤站環境發生變化時，能早期發現問題儘早處理異常狀況，藉以確保各追蹤站觀測資料的品質。
- (5) 透過觀測資料品質、接收儀時錶誤差及三維坐標自動化計算的監控流程，再配合觀測資料品質對於 GPS 定位精度的影響分析，使用者或系統管理者即可藉由簡單的統計圖表，快速且正確的判斷各站的 GPS 接收儀是否正常運作；而當儀器發生故障或追蹤站環境發生變化時，即能早期發現問題儘早處理異常狀況，藉以確保各追蹤站觀測資料的品質。
- (6) 本研究評估 GPS 定位校正場固定基站絕對坐標、校正基點絕對坐標及相對坐標之不確定度，已將 (a) 量測定位重複性 (b) 整置定平及定心 (c) GPS 衛星接收儀頻率 (d) NGS 相位中心偏移量 (e) IGS 衛星軌道 (f) 氣象修正模式及改正 (g) IGS 聯測網固定站坐標，皆併入考量。
- (7) 本文依 ISO 建議方法評估校正場坐標之不確定度，成果顯示該校正場固定站 TNML 之 ITRF 坐標，在 95% 信賴水準，三向度擴充不確定度為 33.2 mm。超短距離校正場各校正點，相對固定站 TNML (基線距離約 50 m)，在 95% 信賴水準，相對位置之三向度擴充不確定度為 2.2 mm；若相對固定站 TWTF (基線距離約 25 km)，在 95% 信賴水準，相對位置之三向度擴充不確定度為 13.4 mm。而短距離校正場各校正點，相對固定站 TNML (基線距離約 5 km)，在 95% 信賴水準，相對位置之三向度擴充不確定度為 17.6 mm。此校正網各校正點之坐標不確定度，將作為相關校正服務之主要依據，藉以確保 GPS 接收儀之定位品質及可靠度。

6-2 後續研究之建議

最後，提出下列幾項後續研究之建議：

- (1) 雖然觀測量不等權 ($P=\cos^2(z)$, z 為天頂距) 的處理模式可以提昇GPS定位之精度, 但是降低了低角度衛星資料的權, 有可能反而使得高程向之精度變差; 而當低角度衛星之觀測資料品質良好的時候, 若以不等權法處理GPS衛星資料, 也有可能反而會降低了定位的精度, 因此在使用此處理模式的時候, 仍須依實際的狀況加以判斷。
- (2) 同時進行相位中心偏移量與變化量改正, 與只進行相位中心偏移量改正相比較, 兩者的差異並不大。原因應是相位中心變化量的影響並不大所致, 但對於高精度的 GPS 使用者來說, 仍須同時考慮相位中心偏移量與變化量的改正, 才可達到高精度的定位成果。
- (3) 本研究因為實驗場位於國家超短基線校正場, 該場地的透空度極佳, 所以多路徑效應還未明顯到可以影響定位精度。後續研究可考慮在條件較為惡劣的場地架設儀器, 如此一來, 可提高週波脫落的數目及多路徑效應的雜訊, 可更為容易評估週波脫落及多路徑效應對定位精度的影響量, 相信對於資料品質指標的研究能有更大的幫助。
- (4) 一般 GPS 接收儀校正場受限於必須對空通視, 無法設置在室內及在特定環境條件下, 來執行校正作業。所以, 如何監控及查核室外固定基站及校正基點之穩定度, 就顯得格外重要, 因此, 需設計相關量測品保之管制圖, 以確保校正結果之品質。
- (5) 目前的校正方法需將 GPS 接收儀及天線盤送至校正場進行校正工作。然對於固定站型的 GPS 接收儀, 該儀器需 24 小時不間斷的接收資料, 且天線盤拆下來之後, 再度安裝回去其位置難免會產生變動。因此, 後續應可繼續探討藉由頻率傳遞的 GPS 追溯鏈, 使用者僅需將觀測資料送至校正單位, 即可求出接收儀內部頻率的偏移量及穩定度, 而達到校正追溯的目的。

參考文獻

- 內政部，1998。應用全球定位系統實施台閩地區基本控制點測量計畫總報告，內政部。
- 內政部，2002。GPS 接收儀檢定標準作業規範，內政部土地測量局。
- 朱明亮、李振燾，2000。GPS 觀測量雜訊篩選影響基線向量之研究，第十九屆測量學術及應用研討會論文集，彰化，第 1~10 頁。
- 余水倍，1996。八十五年度台北盆地地下地質與工程環境綜合調查研究報告-活動斷層及地盤下陷水準測量，中央地質調查所報告第 85-007 號。
- 李旭志，1999。GPS 接收儀天線多路徑效應之研究，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 肖明耀、康金玉，1994。量測不確定度表述指南，中國計量出版社。
- 李振燾，1995。構建與評估電離層遲延模式以增益 GPS 高度之精度，行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告，No. NSC84-2211-E014-002。
- 李瓊武，1995。國家標準基線之建立及應用，地籍測量，第十四卷，第二期，第 21-29 頁。
- 陳正唐，2001。小波理論應用於週波脫落的偵測與修補及基線解算，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 陳怡兆，1998。GPS 天線相位中心率定及相位中心改正之研究，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 陳春盛，1996。對流層模式改良及高精度 GPS 高程之研究（二），國科會專題研究報告，NSC85-2211-E009-017。
- 國家質量技術監督局計量司，2000。量測不確定度評定與表示指南，中國計量出版社。
- 國家測繪局，1995。全球定位系統測量型接收機檢定規程，CH 8016-95，中華人民共和國國家測繪局。
- 郭隆晨，1991。GPS 衛星相對定位誤差之研究，國立成功大學航空測量研究所碩士論文。
- 曾清涼、儲慶美，1999。GPS 衛星測量原理與應用，第二版，成大衛星資訊研究

- 中心，台南。
- 量測中心，2000。電子測距儀校正系統評估報告，07-3-84-0114，第四版，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。
- 量測中心，2001a。量測不確定度評估理論與實務，工業技術研究院量測技術發展中心。
- 量測中心，2001b。GPS 定位理論研究及新購置儀器之操作與資料品質評估，07-3-90-0102，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。
- 量測中心，2001c。Bernese 研究軟體應用及基線解算精度研究，07-3-90-0073，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。
- 量測中心，2002a。GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告，07391-0043，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。
- 量測中心，2002b。GPS 接收儀時頻分析及定位追溯研究，07-3-91-0002，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。
- 量測中心，2002c。GPS 靜態及動態定位校正系統校正程序，07391-0086，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。
- 葉大綱，1999。以中距離基線場做 GPS 定位精度之研究，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 葉大綱、王傳盛、李瓊武，2002。GPS 觀測資料品質影響相對定位精度之研究，地籍測量，第 21 卷，第 2 期，pp.14~27。
- 經濟部，1996。品質系統-設計、開發、生產、安裝及服務之品質保證模式，CNS12681 (ISO 9001)，4.11，經濟部中央標準局。
- 劉至忠，1994。GPS 基線計算之對流層延遲修正研究，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- Angus-Leppan, P. V., F. K. Brunner, 1980. Atmospheric temperature models for short range EDM, The Canadian Surveyor, Vol. 34, No. 2, pp.153-165.
- AOA, 1997. User Manual – The TurboRogue Family of GPS Receivers, Allen Osborne Associates.
- Beutler, G., I. Bauersima, W. Gurtner, M. Rothacher, T. Schildknecht, 1988. Atmospheric Refraction and Other Important Biases in GPS Carrier Phase Observations, Monograph 12, School of Surveying, University of New South Wales, Australia.

- Beutler G., E. Brockmann, R. Dach, P. Fridez, W. Gurtner, U. Hugentobler, J. Johnson, L. Mervart, M. Rothacher, S. Schaer, T. Springer, R. Weber, 2001. Bernese GPS Software Version 4.2, Astronomical Institute, University of Berne.
- Campbell, J., 1993. Refraction Errors in Satellite Positioning Systems, GPS/Ionosphere Workshop Proceedings, pp. 1-5.
- Chen, C. C., T. K. Yeh, 2002. A Study on Enhancing Precision of GPS Positioning Using the Short Range Distance Baseline Field, Journal of Surveying Engineering, American Society of Civil Engineering, Vol.128, No.1, pp.21~38.
- Colombo, O. L., 1986. Ephemeris Errors of GPS Satellite, Bulletin Geodesique, Vol. 60, pp. 64-84.
- Croarkin, C., 1985. Measurement Assurance Program Part II: Development and Implementation, NBS SP676-II, NBS.
- Datum, 2001. Operating Manual Rubidium Frequency Standard Datum 8040, 12273-001, Revision B, Datum Inc..
- FGCC, 1988. Geometric Geocentric Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques, Version 5.0.
- GPS World, 2003. GPS World Receiver Survey, GPS World, January 2003, pp.34-53.
- Gurtner, W., R. Liu, 1995. IGS 1994 Annual Report, IGS Central Bureau, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, U.S.A., pp.43~57.
- Imakiire, T., Y. Iimura, S. Saga, H. Morishita, A. Tsuchiya, F. Kudo, S. Ishikawa, Y. Iwana, 1997. Results of Phase Characteristics Measurements of GPS Receiver Antennas, Journal of the Geodetic Society of Japan, Vol. 43, No. 2, pp.79-90.
- IERS, 2004. International Earth Rotation Service, <http://hpiers.obspm.fr/>.
- IGS, 2004. International GPS Service, http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.
- ISO, 1993. International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM), 2nd ed., International Organization for Standardization, Switzerland.
- ISO, 1995. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, GUM, 2nd ed., International Organization for Standardization, ISBN 92-67-1018809.
- ISO, 1996. General requirements for the competence of calibration and testing laboratories, ISO/IEC Guide 25, 4th ed., International Organization for Standardization.
- Janes, H. W., R. B. Langley, S. P. Newby, 1991. Analysis of tropospheric delay prediction models : comparisons with ray-tracing and implication for GPS

- relative positioning, *Bulletin Geodesique*, 65, pp.151-161.
- Johnson, J., 1995. The Role of Multipath in Antenna Height Tests at Table Mountain, UNAVCO.
- Leick, A., 1995. *GPS Satellite Survey*, Second Edition, JOHN WILEY & SONS, New York.
- Lesage, P., T. Ayi, 1984. Characterization of Frequency Stability: Analysis of the Modified Allan Variance and Properties of Its Estimate, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-33(4), pp.332-336.
- MacMillan, D. S., 1995. Atmospheric gradients from very long baseline interferometry observations, *Geophysical Research Letters*, 22(9), pp.1041-1044.
- Mader, G. L., 2004. GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey, <http://www.grdl.noaa.gov/ANTCAL/>.
- Neilan, R. E., G. Beutler, J. Kouba, 1997. The International GPS Service in 1997: 5 Years of Practical Experience, Oral Presentation, Scientific Assembly of IAG, Rio de Janeiro, Brazil.
- Niell, A. E., 1996. Global Mapping Function for the Atmosphere Delay at Radio Wavelengths, *Journal of Geophysical Research*, 101(B2), pp.3227-3246.
- Rothacher, M., S. Schaer, L. Mervart, G. Beutler, 1995. Determination of Antenna Phase Center Variations Using GPS Data, IGS Workshop Proceedings on Special Topics and New Directions, GeoForschungsZentrum, Potsdam, Germany, pp.77~92.
- Rothacher, M., W. Gurtner, S. Schaer, R. Weber, H. O. Hase, 1996. Azimuth-and Elevation-Dependent Phase Center Corrections for Geodetic GPS Antennas Estimated from GPS Calibration Campaigns, IAG Symposium, No.115, Springer-Verlag, pp.335~339.
- Rothacher, M., T. A. Springer, S. Schaer, G. Beutler, 1997. Processing Strategies for Regional GPS Network, Paper presented at the IAG General Assembly, Rio Brazil, Sep. 3-9.
- Teunissen, P. J. G., A. Kleusberg, 1998, *GPS for Geodesy*, 2nd ed., Springer, Verlag Berlin Heidelberg.
- UNAVCO, 2004. University NAVSTAR Consortium, UCAR UNAVCO Facility, Boulder, Colorado, <http://www.unavco.ucar.edu/>.
- Wells, D. E., N. Beck, D. Delikaraoglou, A. Kleusberg, E. J. Krakiwsky, G.

Lachapelle, R. B. Langley, M. Nakiboglu, K. P. Schwarz, J. Tranquilla, P. Vanicek, 1986. Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Associates Fredericton, New Brunswick, Canada.



附錄 A ME5000 測距系統技術規範

Emission source	HeNe-Laser
Laser wavelength	632.8nm
Optical laser output power	1mWatt (Class II)
Optical power output at objective (CW)	0.3mW
Modulation	Polarization modulation of an electro-optical crystal, using a double resonance oscillation circuit
Frequency adjustment	Synthesizer
Modulation frequency bandwidth	15MHz
Frequency range	460 - 510MHz
Minimum synthesizer interval	161.744Hz
	Modulation frequency can be checked via an SMA monitoring jack
Standard atmosphere (WMO, ISO):	
Air temperature	15°C
Atmospheric pressure	760mmHg (1013.25hPa)
Partial pressure of water vapor (humidity)	0mmHg (0%)
CO ₂ concentration	0.03%
Preprogrammed reference refractive index (calculated according to Edlen 1966)	1.000284514844
Frequency sweep for zero point detection:	
Low range (20m-1000m)	±35kHz
High range (100m-8000m)	±6.7kHz
Other frequency sweeps can be set using an external computer:	

< Low range approximately < 20m	$\pm 61\text{kHz}$
> High range approximately > 8000m	$\pm 2.6\text{kHz}$
Quartz oscillator frequency	10MHz
Quartz oscillator accuracy	3×10^{-7} between -10 and +40°C

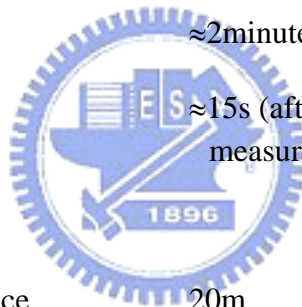
A monitoring jack can be used to check the oscillator frequency or supply a more accurate external oscillator frequency

Measurement precision:

Standard deviation with sufficiently accurate determination and correction for meteorological influences	0.2mm+0.2ppm
--	--------------

Measurement time:

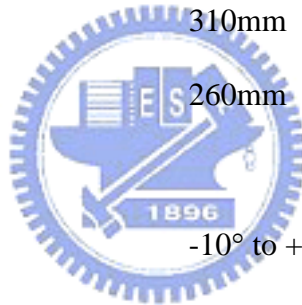
Individual measurement	≈ 2 minutes
Tracking	≈ 15 s (after an initial individual measurement)



Measurement range:

Shortest measurement distance	20m
Low range	20m - 1000m
High range	$\approx 100\text{m} - 8000\text{m}$
Maximum reflector displacement in tracking mode	$\approx 1.5\%$ of the distance (max 0.3 ppm/sec)
Range under average conditions:	(ca. 15km visibility)
With 1 reflector	5km
With 3 reflectors	8km
Range under poor conditions e.g., fog	Range = visibility
Voltage range	9 - 16volts
Amperage at 12 V	2A

Power consumption	24 watts
Tilting range	Fully plungeable at each end
Distance measurement can be made	Between 0° - 165° and 195° - 360°
Objective aperture, transmit and receive optics	48mm
Finder telescope	Erect image, 25×30, internal focus
Optical plumb magnification	2.6×
Level sensitivity	40"/2mm
Leveling	Two foot screws
	Horizontal axis height is not affected by leveling
Horizontal axis height	310mm
Finder telescope height	260mm
Temperature range:	
Operating temperature	-10° to +40°C
Storage temperature	-35° to +65°C
Weight:	
ME 5000 net weight	11kg
Shipping weight	17.7kg



附錄 B 觀測資料品質自動計算程式原始碼

```
clear
clc
disp(sprintf('\r\n\r\n\r\n'));
disp('
*****')
disp('          **    TEQC PLOT PROGRAM FOR XXXX GPS
SERVER      **')
disp('          **    Version 1.4          Jul. 02 2003      **')
disp('          **    Center for Measurement Standards/ITRI    **')
disp('
*****')
fid=fopen('c:\teqc\Program\info.txt');
tn1=fread(fid,15);name=char(fread(fid,4));tn2=fread(fid,20);
chk=char(fread(fid,1));tn3=fread(fid,17);
syear=str2num(char(fread(fid,4)));tn4=fread(fid,17);
sday=str2num(char(fread(fid,4)));tn5=fread(fid,17);
eyear=str2num(char(fread(fid,4)));tn6=fread(fid,17);
eday=str2num(char(fread(fid,4)));fclose(fid);
a8=sprintf('c:\\teqc\\%s.txt',name);na1=sprintf('c:\\teqc\\%s.jpg',name);
times=datetime(eyear,1,1)+eday-datetime(syear,1,1)-sday+1;
DTM=datetime(eyear,1,1)+eday-1;FF1=[];FF2=[];FF3=[];FF4=[];FFS=[];
for di=times:-1:1;

F0=datestr(DTM-di+1,23);YEAR=datestr(DTM-di+1,10);MON=datestr(DTM-di+1,5
);DAY=datestr(DTM-di+1,7);

MON1=datestr(DTM-di+1,3);year=str2num(YEAR);mon=str2num(MON);day=str2n
um(DAY);
    DOY=datetime(year,mon,day)-datetime(year,1,1)+1;
    if DOY<10; N1=['00' num2str(DOY)];
    elseif (DOY<100 & DOY>=10); N1=['0' num2str(DOY)];
```

```

elseif (DOY>=100); N1=num2str(DOY);
end;
N2=['0' num2str(year-2000)];
a1=sprintf('c:\\teqc\\data\\%s%s%s.%so.Z',name,N1,chk,N2);
aa=sprintf('c:\\teqc\\Program\\%s%s%s.%so.Z',name,N1,chk,N2);
a2=sprintf('c:\\teqc\\data\\%s%s%s.%so',name,N1,chk,N2);
ab=sprintf('c:\\teqc\\Program\\%s%s%s.%so',name,N1,chk,N2);
a3=sprintf('c:\\teqc\\data\\%s%s%s.%sd.Z',name,N1,chk,N2);
ac=sprintf('c:\\teqc\\Program\\%s%s%s.%sd.Z',name,N1,chk,N2);

a31=sprintf('%s%s%s.%so',name,N1,chk,N2);a32=sprintf('%s%s%s.%ss',name,N1,chk,N2);

if exist(a2)~=0;
    a4=sprintf('copy %s %s',a2,ab);dos(a4);pause(2);
    f=sprintf('c:\\teqc\\Program\\teqcbat %s',a31);
    g=sprintf('move c:\\teqc\\Program\\%s c:\\teqc\\%s_s',a32,name);
    h=sprintf('del c:\\teqc\\Program\\%s%s%s.*',name,N1,chk);
    dos(f);pause(6);dos(g);pause(2);dos(h);pause(2);
end
if exist(a1)~=0;
    a4=sprintf('copy %s %s',a1,aa);dos(a4);pause(2);
    b1=sprintf('c:\\Progra~1\\winzip\\winzip32 -e %s c:\\teqc\\Program',aa);
    dos(b1);pause(5);
    f=sprintf('c:\\teqc\\Program\\teqcbat %s',a31);
    g=sprintf('move c:\\teqc\\Program\\%s c:\\teqc\\%s_s',a32,name);
    h=sprintf('del c:\\teqc\\Program\\%s%s%s.*',name,N1,chk);
    dos(f);pause(6);dos(g);pause(2);dos(h);pause(2);
end
if exist(a3)~=0;a4=sprintf('copy %s %s',a3,ac);dos(a4);pause(2);
    b1=sprintf('c:\\Progra~1\\winzip\\winzip32 -e %s c:\\teqc\\Program',ac);
    dos(b1);pause(5);b2=sprintf('c:\\teqc\\Program\\crx2rnx
c:\\teqc\\Program\\%s%s%s.%sd',name,N1,chk,N2);
    dos(b2);pause(2);b3=sprintf('move %s%s%s.%so
c:\\teqc\\Program',name,N1,chk,N2);

```

```

dos(b3);pause(2);f=sprintf('c:\\teqc\\Program\\teqcbat %s',a31);
g=sprintf('move c:\\teqc\\Program\\%s c:\\teqc\\%s_s',a32,name);
h=sprintf('del
c:\\teqc\\Program\\%s%s%s.*',name,N1,chk);dos(f);pause(6);dos(g);pause(2);dos(h);p
ause(2);
end
end;
pause(5);FCS=[];
for di=times:-1:1;F0=datestr(DTM-di+1,23);YEAR=datestr(DTM-di+1,10);

MON=datestr(DTM-di+1,5);DAY=datestr(DTM-di+1,7);MON1=datestr(DTM-di+1,3
);

year=str2num(YEAR);mon=str2num(MON);day=str2num(DAY);DOY=datenum(yea
r,mon,day)-datenum(year,1,1)+1;
fcs=sprintf('y%s,d%03.0f',YEAR,DOY);FCS=[FCS;fcs];
if DOY<10; N1=['00' num2str(DOY)];
elseif (DOY<100 & DOY>=10); N1=['0' num2str(DOY)];
elseif (DOY>=100); N1=num2str(DOY);
end;
N2=['0' num2str(year-2000)];
a7=sprintf('c:\\teqc\\%s_s\\%s%s%s.%ss',name,name,N1,chk,N2);
if exist(a7)~=0;
fid=fopen(a7);f03=fread(fid,inf);fclose(fid);
for i=1:length(f03);
if (f03(i)==67 & f03(i+1)==111 & f03(i+2)==109 & f03(i+3)==112);
F1=str2num(char(f03(i+25:i+31)));
end;
if (f03(i)==101 & f03(i+1)==32 & f03(i+2)==77 & f03(i+3)==80 &
f03(i+4)==49);
F2=str2num(char(f03(i+12:i+20)));
end;
if (f03(i)==101 & f03(i+1)==32 & f03(i+2)==77 & f03(i+3)==80 &
f03(i+4)==50);

```

```

        F3=str2num(char(f03(i+12:i+20)));
    end;
    if (f03(i)==80 & f03(i+1)==32 & f03(i+2)==115 & f03(i+3)==108);
        F4=str2num(char(f03(i+17:i+23)));
    end;
end

F4=F4*1000/F1;FF1=[FF1;F1];FF2=[FF2;F2];FF3=[FF3;F3];FF4=[FF4;F4];
    FS=sprintf('%s% 7.0f% 16.0f% 21.6f% 12.6f%
22.5f\r\n',F0,DOY,F1,F2,F3,F4);
    else
        FS=sprintf('%s      %3.0f      NaN      NaN
NaN      NaN\r\n',F0,DOY);
    end;
    FFS=[FFS FS];
end
f20=sprintf('    Date      DOY      Number of Observations      MP1
MP2      cycle slips X1000/observations\r\n');
a8=sprintf('c:\\teqc\\%s.txt',name);fid=fopen(a8,'w');FNS=sprintf('%s%s%s',f20,FFS);
fwrite(fid,FNS);fclose(fid);

NF1=[];NF2=[];NF3=[];NF4=[];fid=fopen(a8);f10=char(fread(fid,102));f11=char(fre
ad(fid,inf));fclose(fid);
for i=0:1:times-1;

nf1=str2num(f11(i*90+27:i*90+33));nf2=str2num(f11(i*90+45:i*90+54));nf3=str2nu
m(f11(i*90+58:i*90+66));

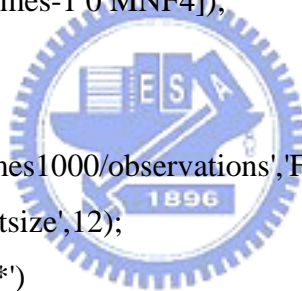
nf4=str2num(f11(i*90+79:i*90+88));NF1=[NF1;nf1];NF2=[NF2;nf2];NF3=[NF3;nf3
];NF4=[NF4;nf4];
end
xdi=times-1:-1:0;db=sprintf('Days before y%s, d%03.0f',YEAR,DOY);
figure(1)
subplot(2,2,1),plot(xdi,NF1,'r*')

```

```

set(gca,'position',[0.09 0.54 0.37 0.32])
if (max(NF1(:)) > 25000);MNF1=max(NF1(:));else MNF1=25000;end;
axis([0 times-1 0 MNF1]);
set(gca,'YTick',[0 5000 10000 15000 20000 25000]);
set(gca,'YTickLabel',{'0';'5000';'10000';'15000';'20000';'25000'});
grid on
view(180,270)
xlabel(db);
title('Daily number of observations','FontName','Times New
Roman','fontweight','bold','fontsize',12);
text(0, MNF1+6000,char(double(name)-32),'fontsize',18,'FontName','Times New
Roman','fontweight','bold','color','b');
subplot(2,2,2),plot(xdi,NF4,'r*')
set(gca,'position',[0.58 0.54 0.37 0.32])
MNF4=max(NF4(:));axis([0 times-1 0 MNF4]);
grid on
view(180,270)
xlabel(db);title('Cycle slips\times1000/observations','FontName','Times New
Roman','fontweight','bold','fontsize',12);
subplot(2,2,3),plot(xdi,NF2,'r*')
set(gca,'position',[0.09 0.08 0.37 0.32])
MNF2=max(NF2(:));axis([0 times-1 0 MNF2]);
grid on
view(180,270)
xlabel(db);ylabel('meters');
title('RMS MP1 (L1 Multipath)','FontName','Times New
Roman','fontweight','bold','fontsize',12);
subplot(2,2,4),plot(xdi,NF3,'r*')
set(gca,'position',[0.58 0.08 0.37 0.32])
MNF3=max(NF3(:));axis([0 times-1 0 MNF3]);
grid on
view(180,270)
xlabel(db);ylabel('meters');
title('RMS MP2 (L2 Multipath)','FontName','Times New

```




```
Roman', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 12);  
print (figure(1), '-djpeg90', na1);  
close(1);
```



附錄 C 內政部衛星追蹤站資料品質管制圖

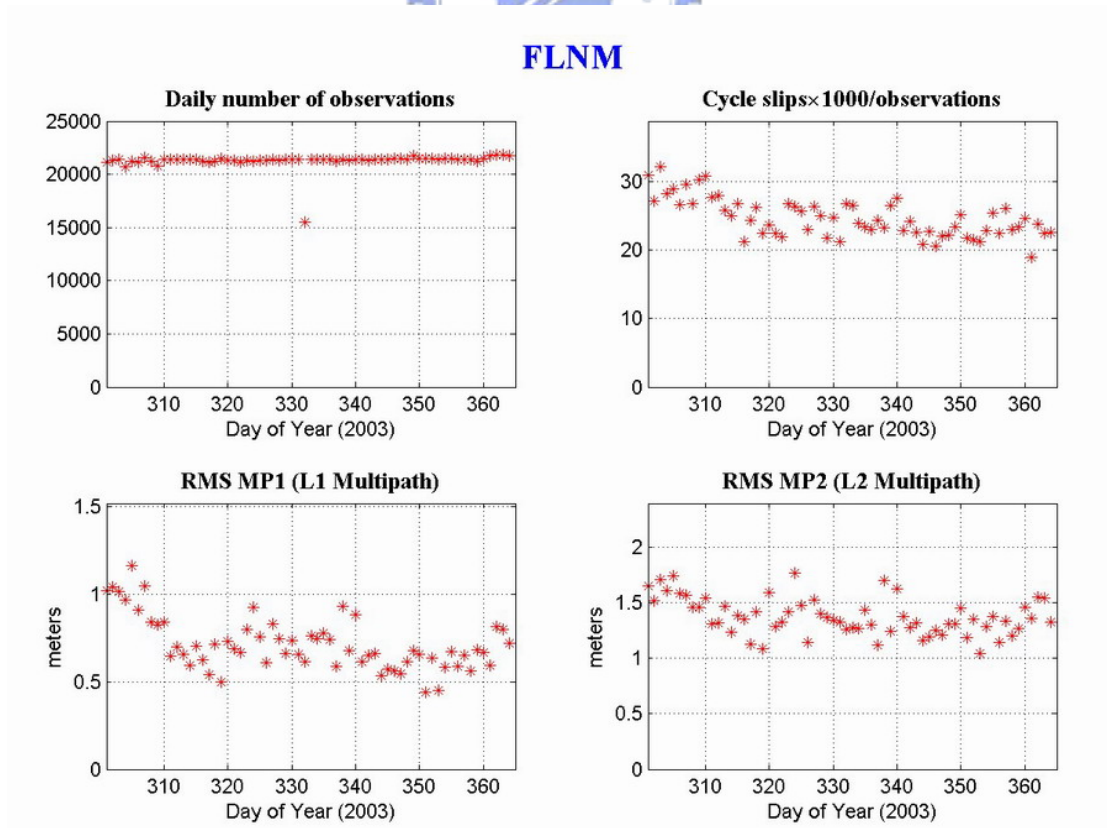
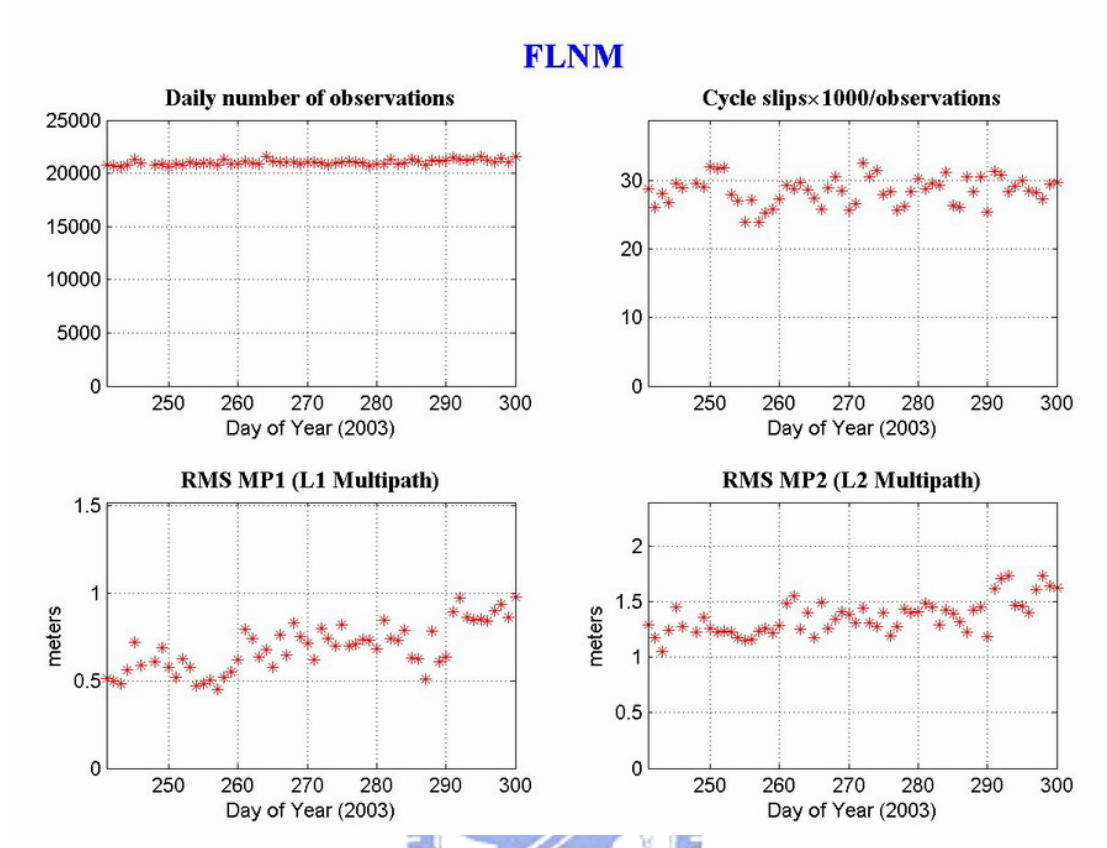
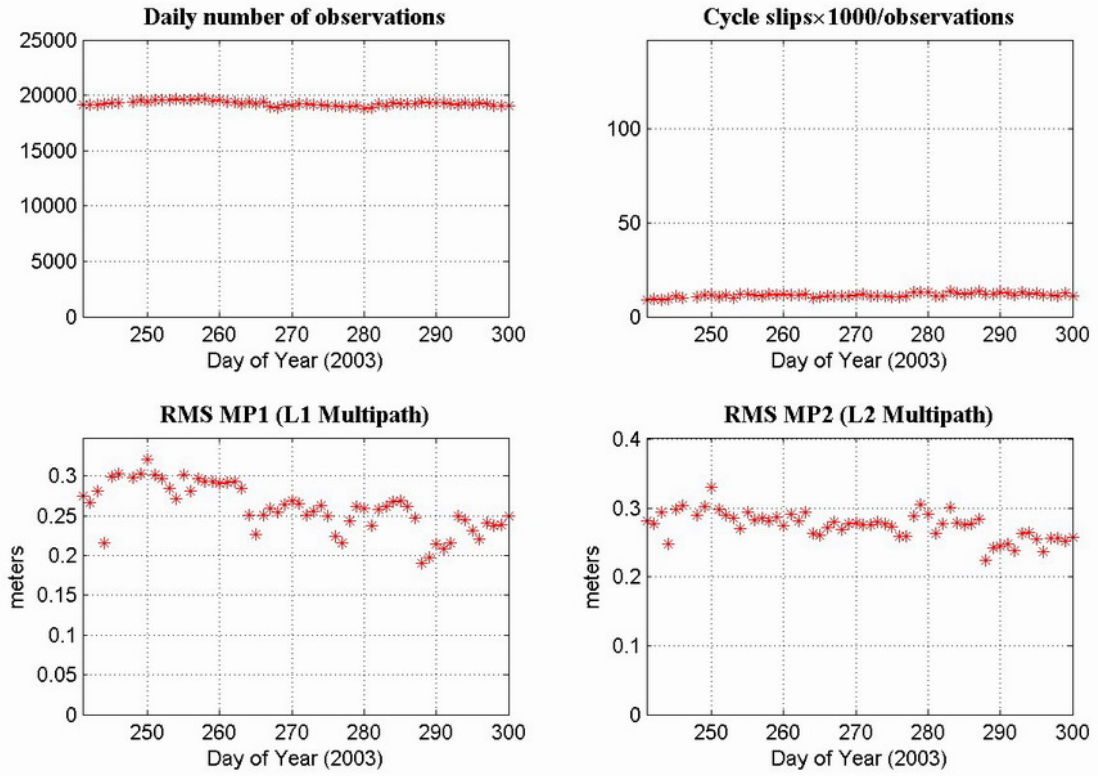


圖 C-1 內政部鳳林衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)

KDNM



KDNM

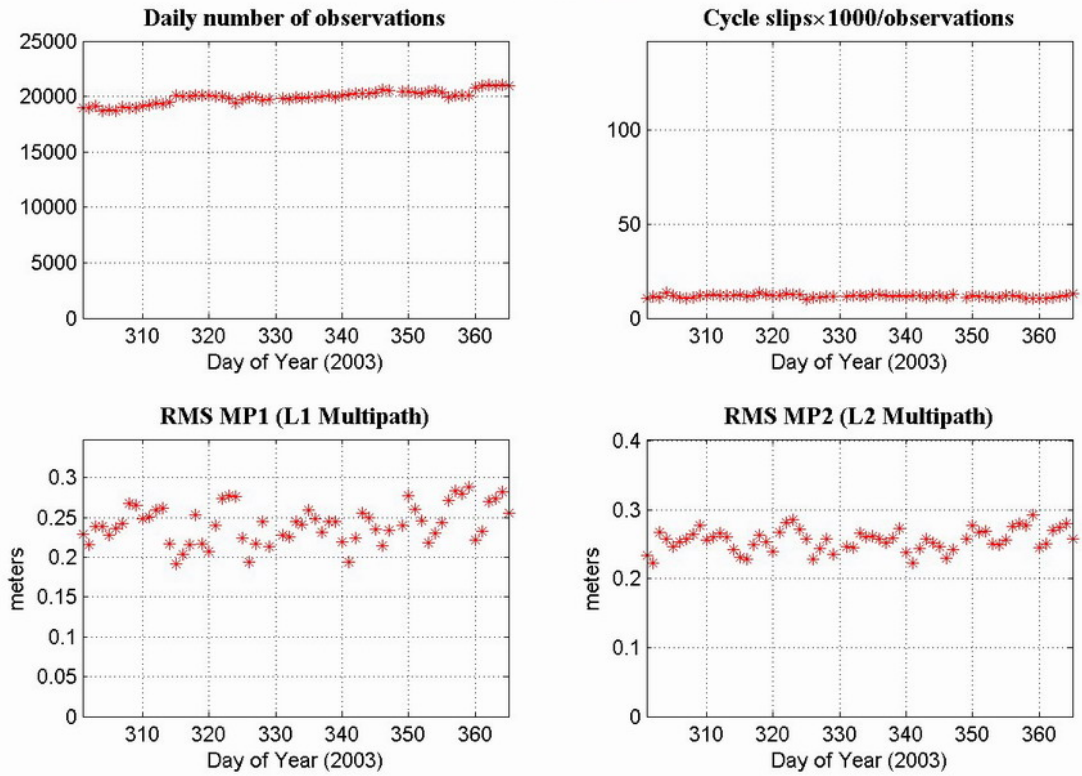
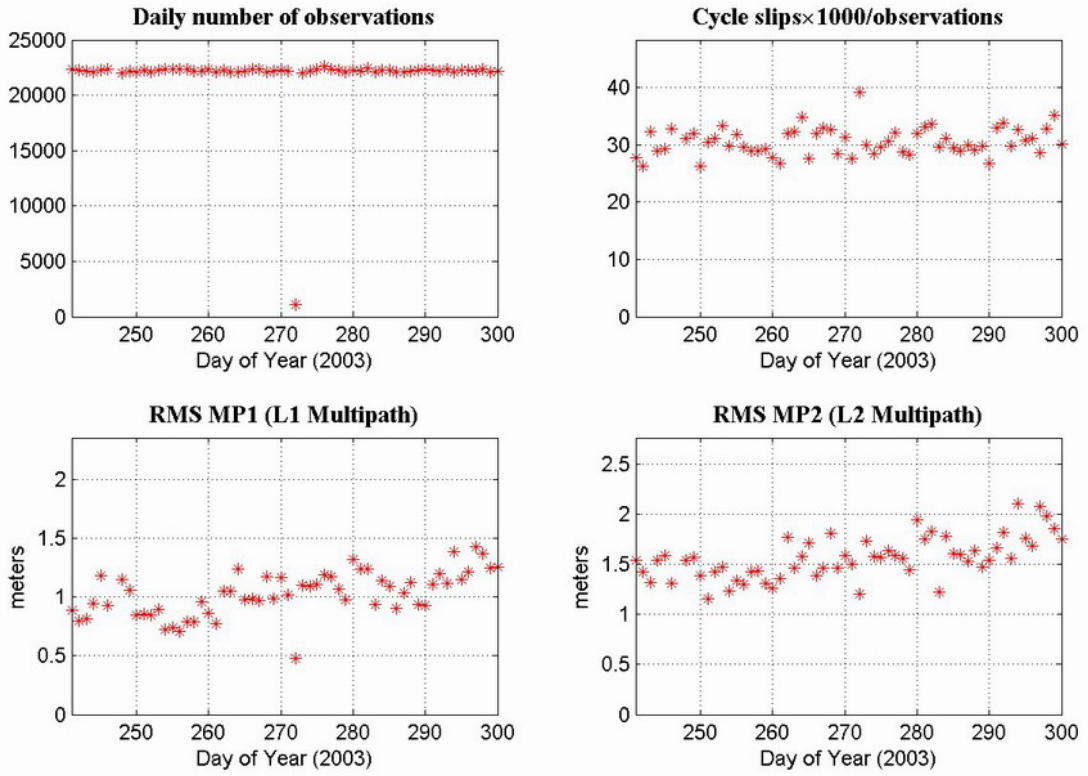


圖 C-2 內政部墾丁衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)

KMNM



KMNM

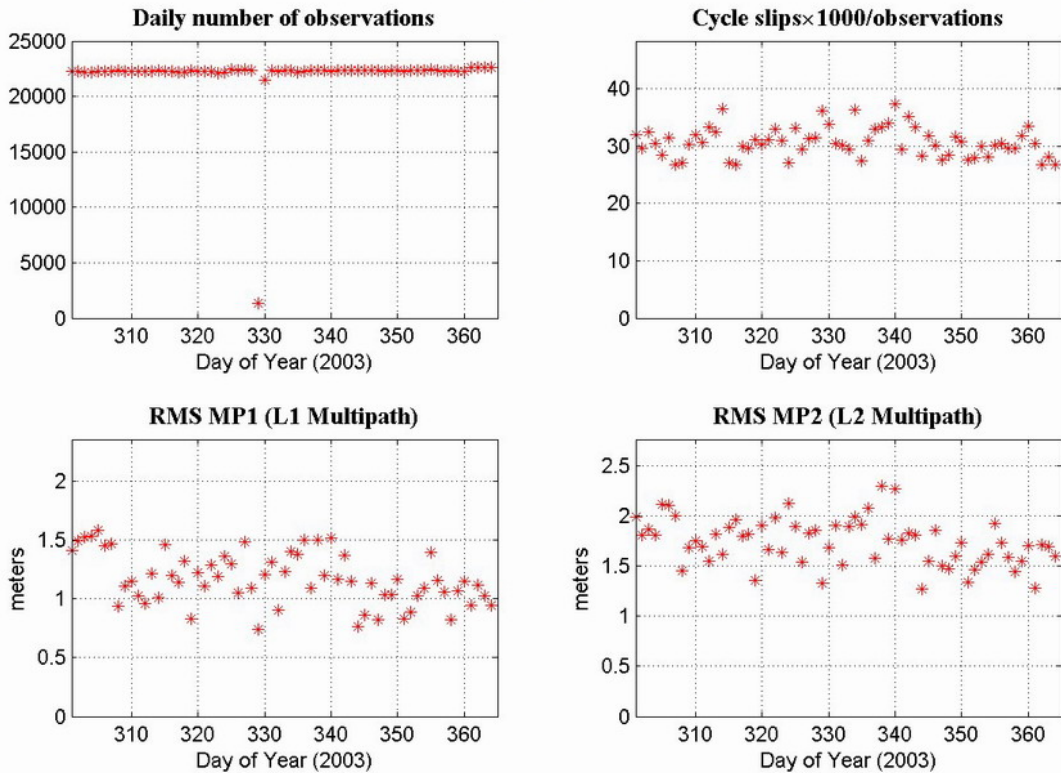
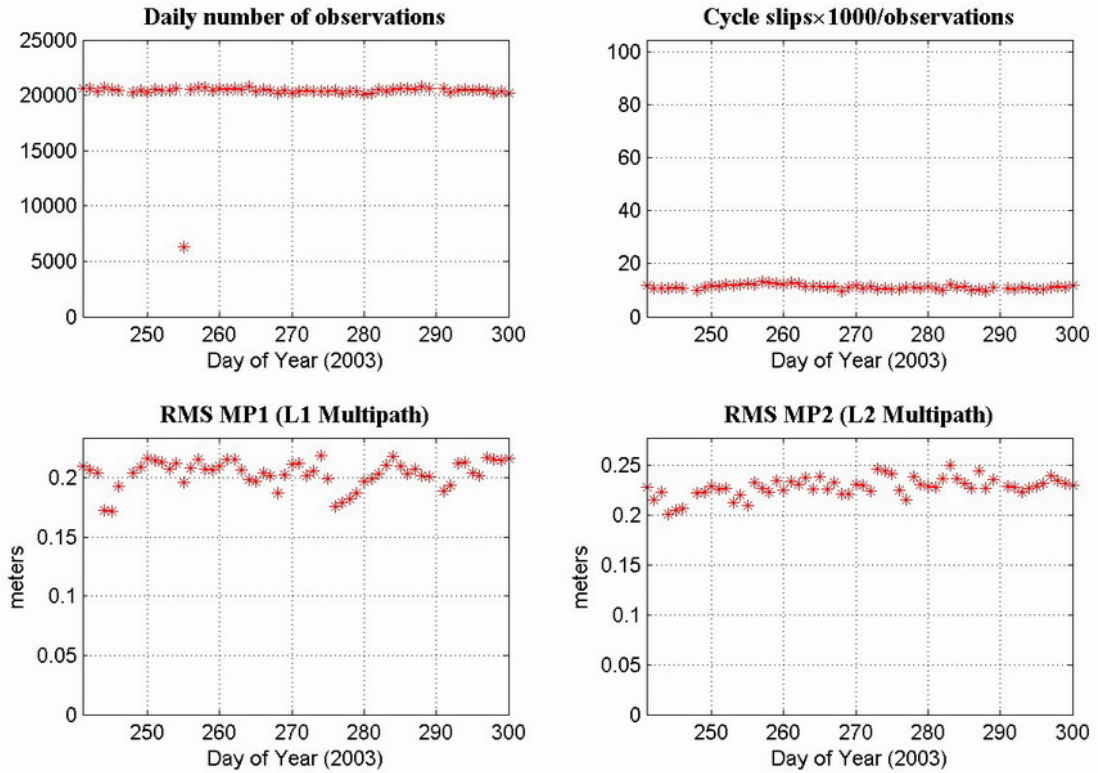


圖 C-3 內政部金門衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)

MZUM



MZUM

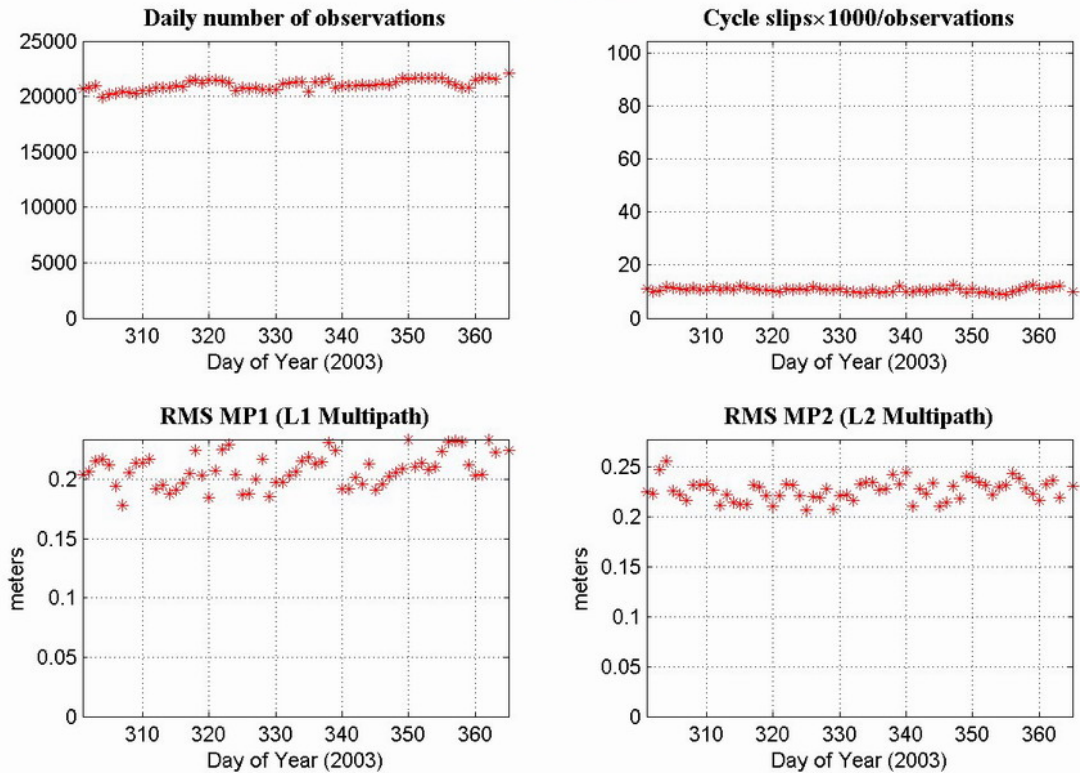
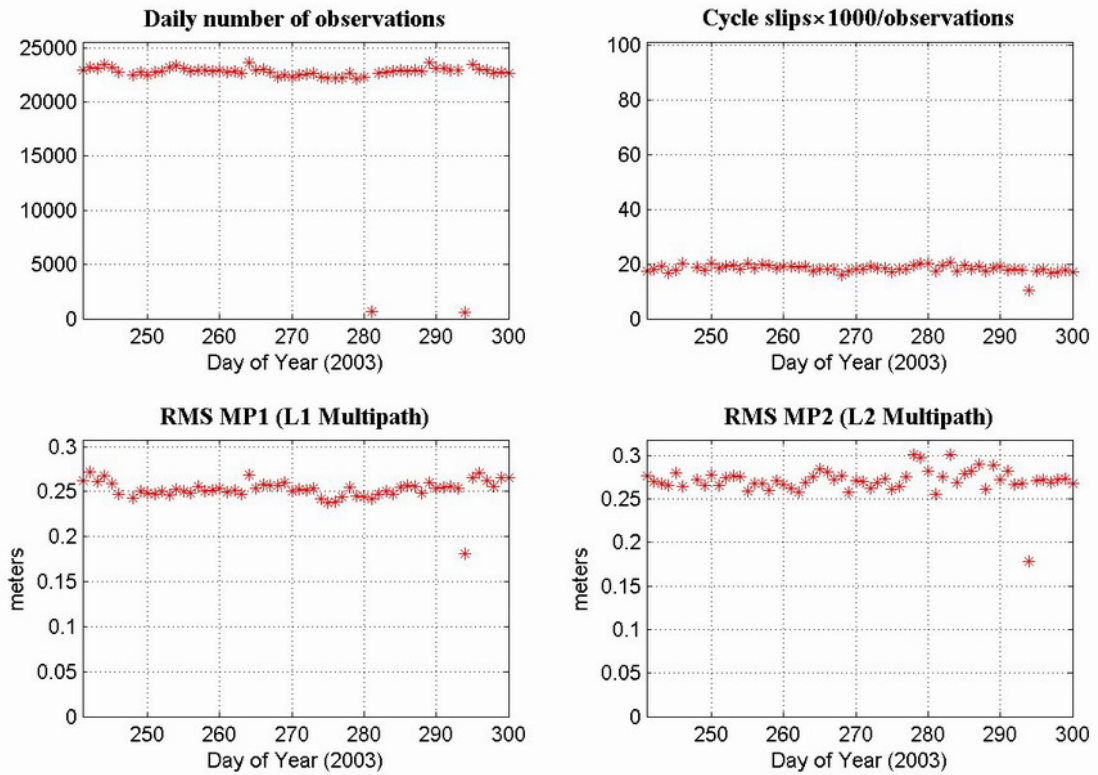


圖 C-4 內政部馬祖衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)

PKGM



PKGM

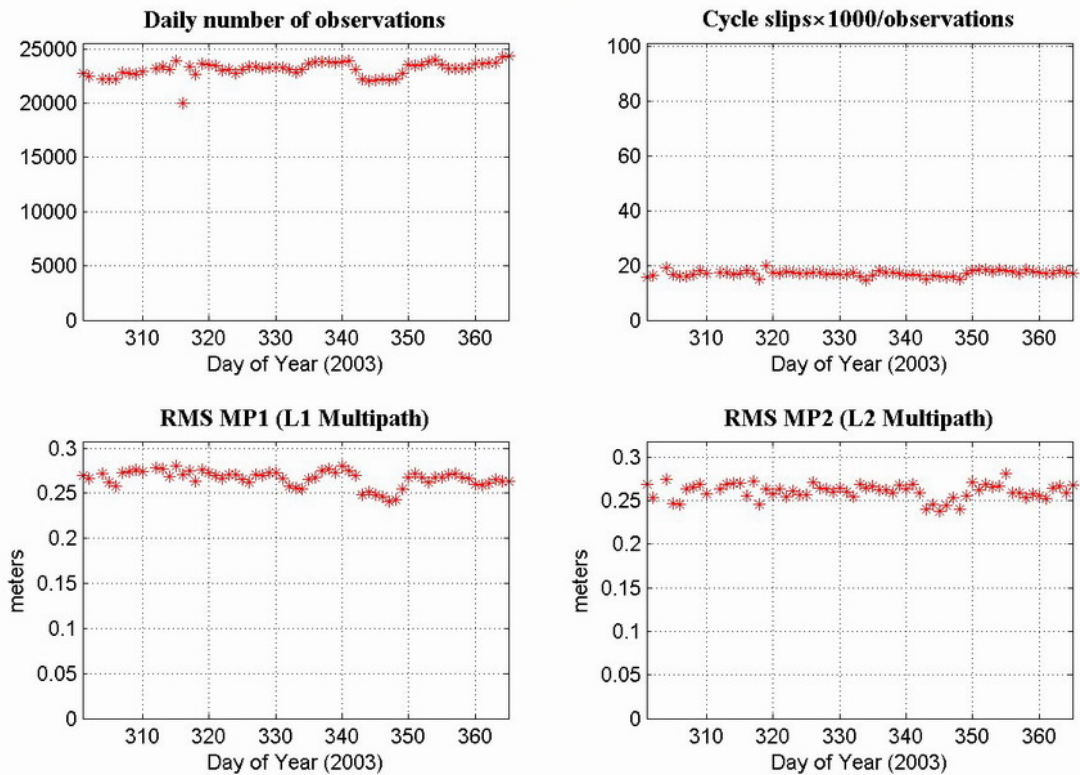
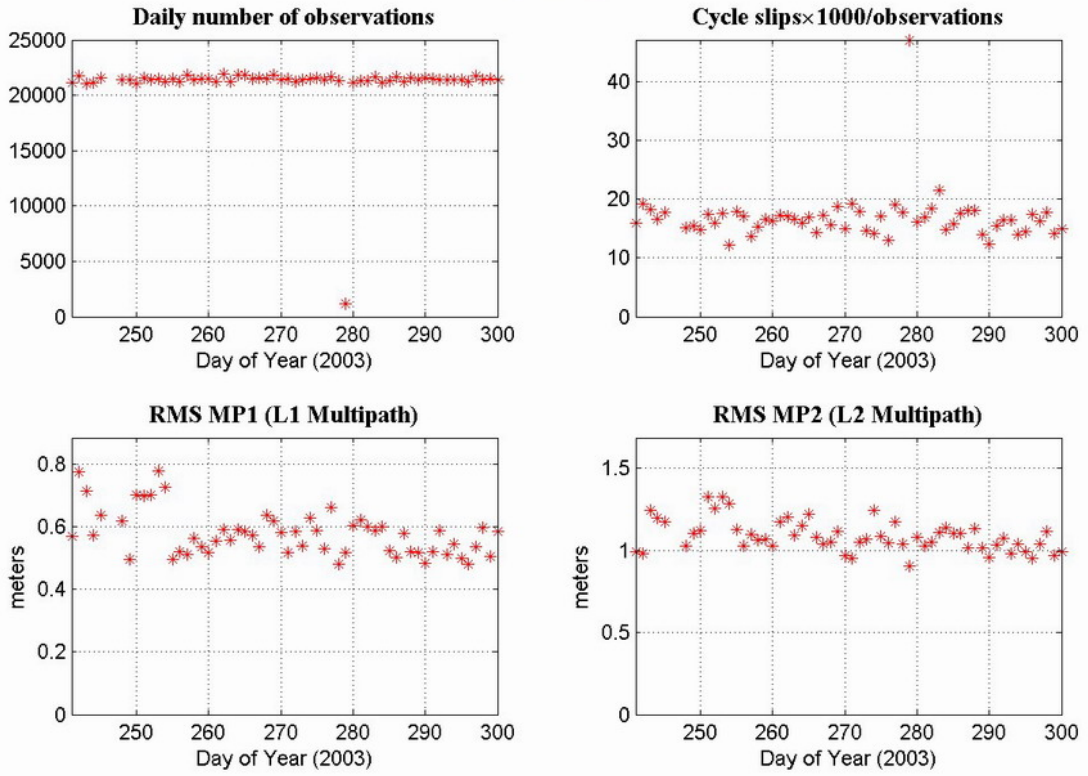


圖 C-5 內政部北港衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)

TMAM



TMAM

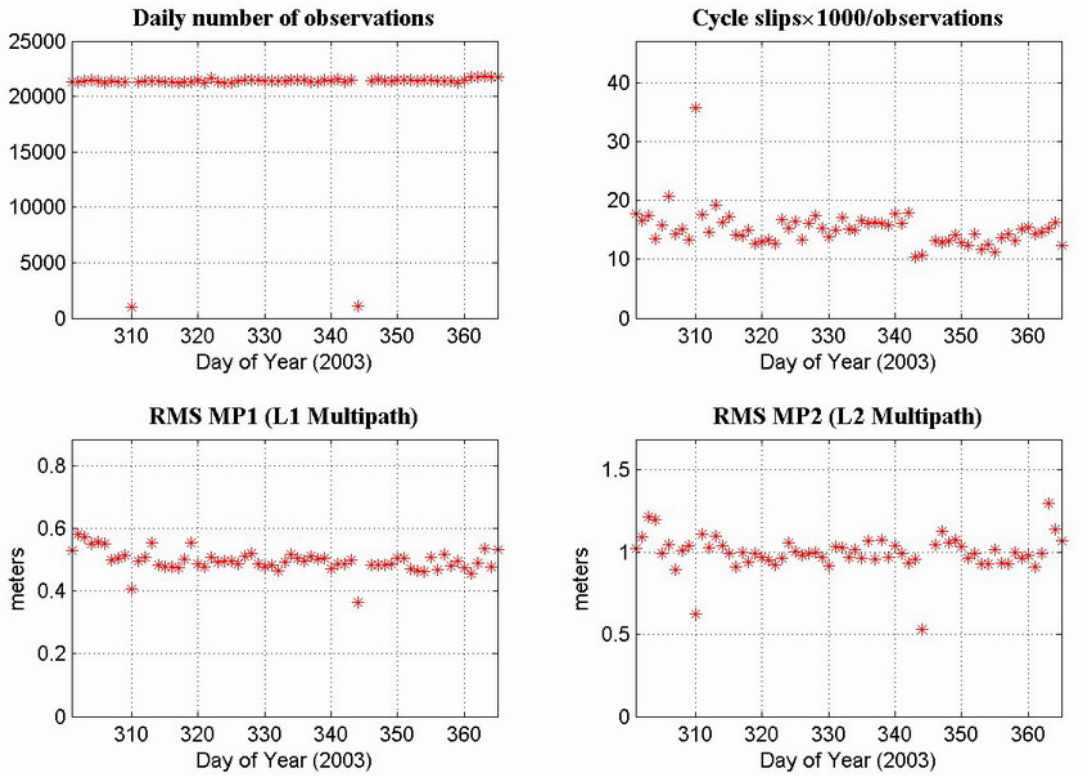


圖 C-6 內政部太麻里衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)

TNSM

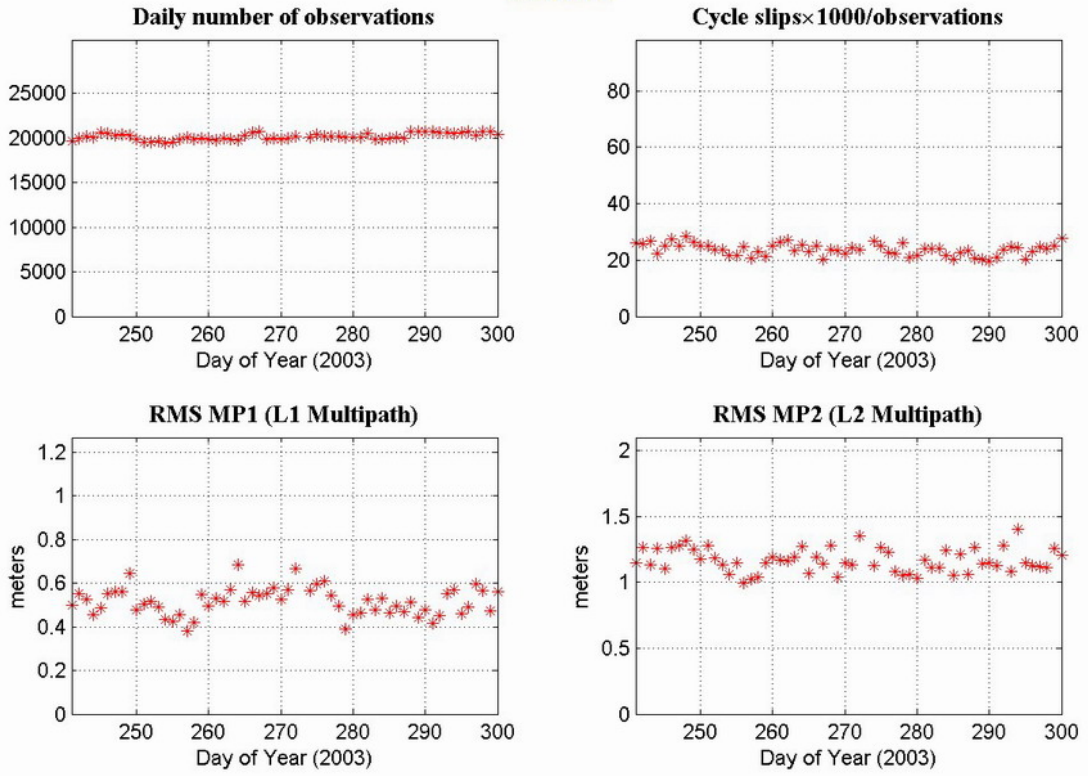
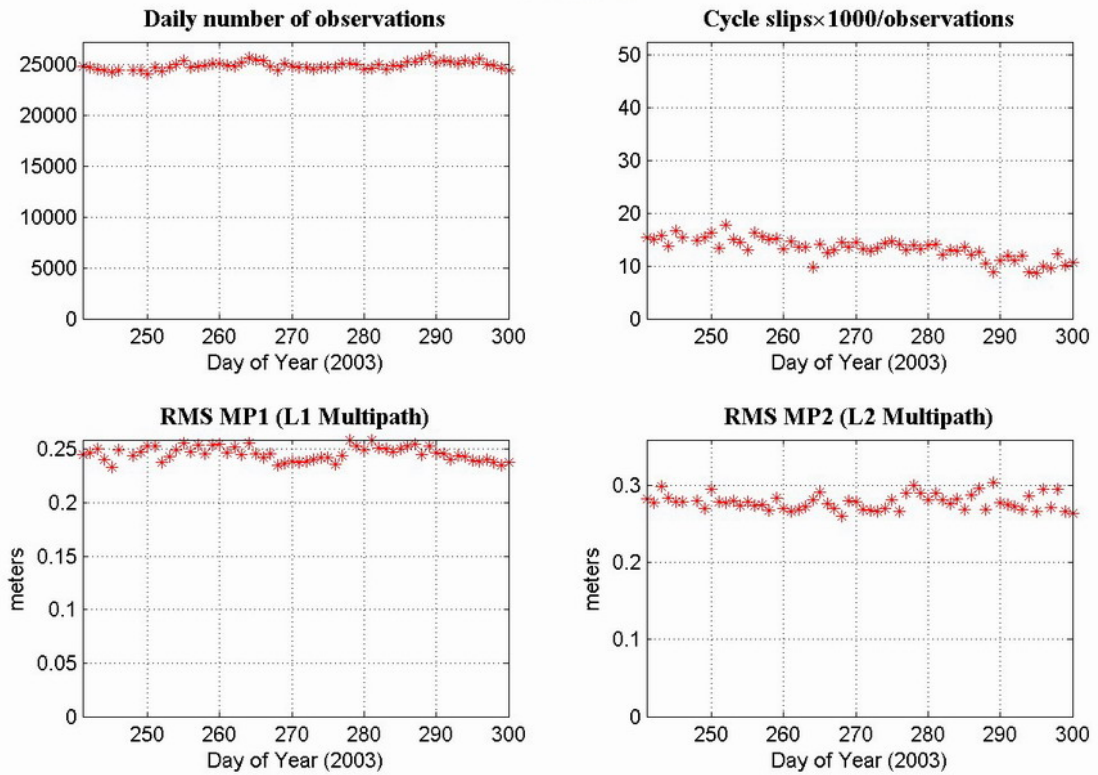


圖 C-7 內政部東沙衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)

YMSM



YMSM

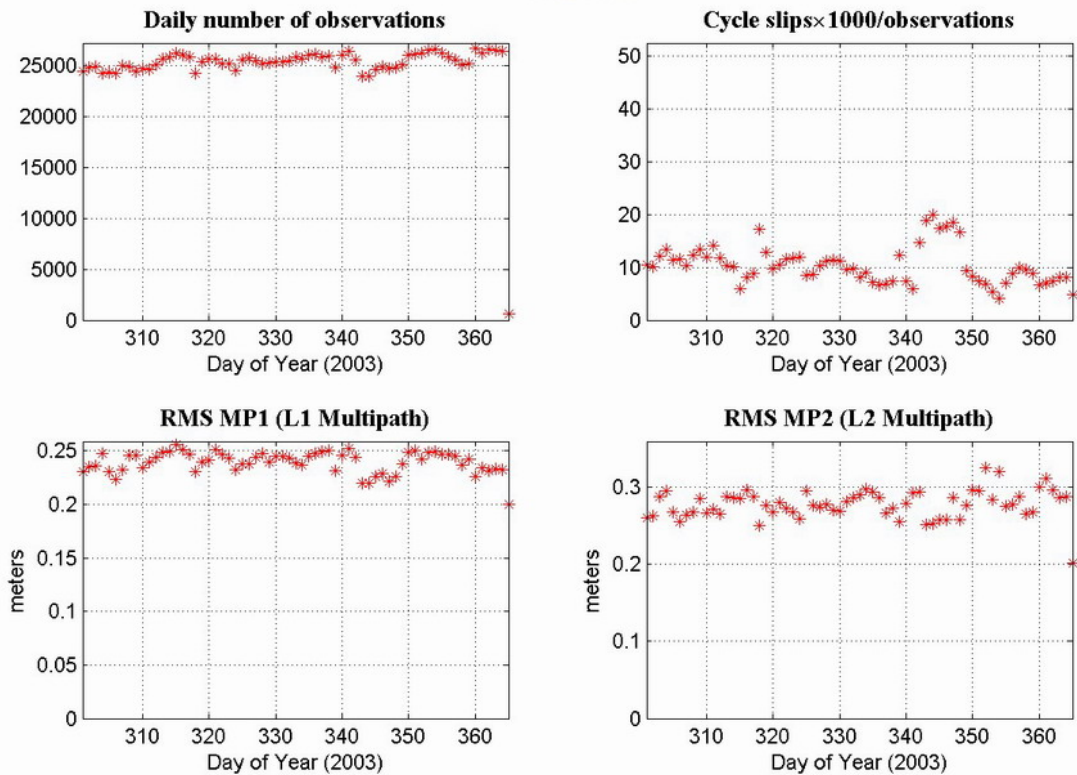


圖 C-8 內政部陽明山衛星追蹤站資料品質管制圖 (2003 年 9~12 月)

附錄 D BPE 的環境設定說明

Bernese 的 BPE 功能是由 Process Control Script (PCS) 的 PCS 檔對 Process Control File (PCF) 的 PCF 檔進行控制及執行，而在執行 BPE 時又必須對要執行的程式及執行時所需要輸入的參數做一完整的連結，才能完整的進行 BPE 的工作。一般在進行 BPE 自動化計算時，會使用到的子目錄大部份都是在 /home/bigsteel/GPSUSER42 下，其中有 OPT、PCF、SCRIPT、WORK 四個目錄是最常用到的。

OPT 目錄是存放 BPE 所需要使用到 panel，PCF 目錄是存放 PCF 檔的目錄，SCRIP 目錄是存放 PCF 檔裏所要執行的程式，WORK 目錄則是存放電腦 CPU 設定值的檔案 (PCFCTL.CPU 檔)。其中最重要的是 PCF 目錄中的 PCF 檔的編輯，以及 OPT 目錄下所有需要用到的 panel 檔的設定，這些都有賴於對 Bernese 軟體的操作熟練度，才能將所有的程式執行順序及各程式執行時所需的參數變數做一正確的設定，以下便針對 BPE 所需要設定的步驟及執行程序作一完整說明。

PCF 檔的編輯

在 /home/bigsteel/GPSUSER42 (內定的目錄) 的目錄中，會發現一個名為 PCF 的子目錄，這個子目錄就是存放著進行 BPE 時 PCF 檔的目錄，所有的檔案副檔名皆為 PCF，其範例如圖 D-1 所示。

PCF 檔可用文字編輯軟體對其進行編寫，其中 PCF 可分為三大部份，第一部份的開頭第一行如下：

```
PID SCRIPT OPT_DIR CAMPAIGN CPU P WAIT FOR....
```

PID 是要執行程式的編號，SCRIP 是欲執行程式的名稱，OPT_DIR 是該 SCRIPT 程式執行時所需要使用到 panel 所存放的路徑，而 CAMPAIGN_CPU 則是該 SCRIPT 所使用的程式，指定要執行的 CPU 名稱 (如電腦有多顆 CPU，則此功能可指派各個 CPU 所要執行的程式)。P WAIT FOR 則是該行所要執行的 SCRIPT，必須等待那一個 PID 的 SCRIPT 執行完成後才能開始執行。

```

#
# Procedure Control File (PCF)
# All comment lines start with a #
# Comments: Example PCF to be used to process the example campaign DOCU42_1
#
PID SCRIPT OPT DIR CAMPAIGN CPU P WAIT FOR...
3** 8***** 8***** 8***** 8***** 1 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3**
001 DOCU_COP EUROCLUS any 1
002 PRETAB EUROCLUS any 1 001
003 ORBGEN EUROCLUS any 1 002
004 RXOBV3 EUROCLUS any 1 001
005 CODCHK EUROCLUS any 1 004
006 CODSFP EUROCLUS any 1 003 005
007 SNGDIF EUROCLUS any 1 006
008 MAUPRP EUROCLUS any 1 007
009 GPSEDT EUROCLUS any 1 008
010 ADDNEQ EUROCLUS any 1 009
011 COMPAR EUROCLUS any 1 010
012 GPSBAS EURO_BAS any 1 011
013 ADDNEQ EURO_BAS any 1 012
014 ADDNEQ2 EURO_BAS any 1 013
015 COMPAR EURO_BAS any 1 014
016 GPSEST EURO_IOF any 1 015
017 GPSEST EUROFREE any 1 016
018 COMPAR EUROFREE any 1 017
019 GPSQIF EURO_QIF any 1 018
020 GPSEST EURO_IOX any 1 019
021 GPSEST EURO_FIX any 1 020
022 COMPAR EURO_FIX any 1 021
023 GPSEST EURO_FXB any 1 022
024 COMPAR EURO_FXB any 1 023
025 DOCU_DEL EUROCLUS any 1 024
#
# additional parameters required for PID's
#
PID USER PASSWORD PARAM1 PARAM2 PARAM3 PARAM4 PARAM5 PARAM6
3** 12***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8*****
#
# That's it
#
VARIABLE DESCRIPTION DEFAULT LENGTH
8***** 40***** 16***** 2*
V_O ORBIT AND ERP INPUT FILE NAME R3 2
V_X BASELINE, AMB.FREE., 10DEG WGT EO 2
V_Z BASELINE, AMB.FREE., 10DEG WGT, RESRMS EB 2
V_U NETWORK, AMB.FREE., 15DEG EN 2
V_V NETWORK, AMB.FIX., 15DEG EF 2
V_W NETWORK, AMB.FIX., 10DEG WGT. EW 2
V_PLUS PLUS DAYS +0 2
V_MINUS MINUS DAYS -0 2

```

圖 D-1 PCF 檔檔案範例

在此檔案所編列要使用的 SCRIPT 程式中，需要注意的是每一個都必須要在 /GPSUSER42/SCRIPT/ 的目錄下出現，如果沒有的話，則必須至 /BERN42/GPS42/SCRIPT 或 /BERN42/GPS42/USERSCPT 下尋找，並複製到 /GPSUSER42/SCRIPT/ 的目錄下。在編輯 SCRIPT 檔案的時後，必須要對 Bernese 的各計算流程及各程式的使用目的相當熟練，才不會出現錯誤；而當 SCRIPT 檔案的編列完成後，則又必須針對各 SCRIPT 檔的參數進行詳細的設定。

PCF 檔的第二部份及第三部份則通常用來對一些大型計算網路及對某些特殊的文字參數進行設定，一般的使用者並不會使用到此功能。

OPT 目錄的設定

在 /home/bigsteel/GPSUSER42 (內定的目錄) 的目錄中，會發現有一個名為 OPT 的目錄，這個目錄必須放置所有執行程式所需用到的 panel，而所有 panel

的設定可用文字編輯軟體進行更改，但必須注每一個 panel 的格式。

基本上，除了要指定儲存的檔名必須自行設定之外，其餘變數（例如每次計算所需用到的 GPS WEEK，或 RINEX 的檔名……等）都可利用 Bernese 內定的變數名稱直接使用，而不需要自己重新定義，而 Bernese 的變數設定都在 panel 1-5-1 裏面（檔案名稱為 DAT151__.PAN）。

SCRIPT 目錄的設定

在/home/bigsteel/GPSUSER42 的目錄中，會發現有一個名為 SCRIPT 的目錄，這個目錄必須放置進行 BPE 時所需要用到的各個 script 檔，一般在安裝完 Bernese 之後就不需要在更改任何檔案，但如果要在 BPE 中加入一些特別的功能，則需要另行複製相關的 SCRIPT 檔。

PCFCTL.CPU 檔的編輯

在/home/bigsteel/GPSUSER42 的目錄中，會發現有一個名為 WORK 的目錄，這個目錄中有一個名為 PCFCTL.CPU 檔案，該檔案只是設定要執行 BPE 時，該電腦的 CPU 名稱，此目的是為了指定 PCF 檔裏的各個 SCRIPT 檔所要使用那一部電腦的 CPU 進行計算，通常是在多部電腦網路分配計算量時才有作用，對於只有一部電腦時，則是在安裝 Bernese 軟體時就會自行產生該檔案。



附錄 E BPE 的執行程序說明

Bernese 雖然在 panel 的功能中有下載各種 GPS 星曆及國際上大部份由各有公信力組織維持的 GPS 固定站衛星觀測資料，但在 BPE 的功能中卻無法執行該功能，而必須自行撰寫程式來達到此目的。因此要順利執行 GPS 資料計算的功能，除了 Bernese 的 BPE 設定完成之外，另外還必須配合某些程式以利所有的動作達到自動化的功能，自動計算所有必須用到的程式流程及說明如下。

由網路上的芳鄰獲取 GPS 觀測資料

在某些特殊的情況下，由於有些 RINEX 的 O 檔無法藉由 FTP 來獲得，因此必須藉由 WINDOWS 的網路上的芳鄰來抓取資料，當然這種功能在 Linux 作業系統下並非內定的功能，因此必須下載有此功能的 rpm 程式並作適當的安裝，在 Linux 作業系統下掛上 WINDOWS 作業系統其網路上的芳鄰所開放的磁碟機，作為自己的網路磁碟機，然後撰寫 SCRIPT 檔（其中必須對於每天的 RINEX 檔檔名參數作一適當的定義）來達到每天獲得資料的目的。SCRIPT 檔檔名為 NEIGHBORHOOD_COPY.SH 其內容如下：

```
cp /mnt/GPS1/GPSData/flnm/rinex/????`date +%j`. `date +%y`.Z
/home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW/
cp /mnt/GPS1/GPSData/kdnm/rinex/????`date +%j`. `date +%y`.Z
/home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW/
cp /mnt/GPS1/GPSData/kmnm/rinex/????`date +%j`. `date +%y`.Z
/home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW/
cp /mnt/GPS1/GPSData/mzum/rinex/????`date +%j`. `date +%y`.Z
/home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW/
cp /mnt/GPS1/GPSData/pkgm/rinex/????`date +%j`. `date +%y`.Z
/home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW/
cp /mnt/GPS1/GPSData/tmam/rinex/????`date +%j`. `date +%y`.Z
/home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW/
cp /mnt/GPS1/GPSData/tnsm/rinex/????`date +%j`. `date +%y`.Z
/home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW/
cp /mnt/GPS1/GPSData/ymsm/rinex/????`date +%j`. `date +%y`.Z
/home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW/
```

```
cd /home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW
uncompress ???`date +%j`. `date +%y`.Z
./TEST2.SH
```

由 FTP 獲取國外 GPS 固定站觀測資料


國外 GPS 固定站的資料大部份皆可由 FTP 下載，因此我們可藉由撰寫 SCRIPT 檔，由網路進入對方的 FTP 來下載所需要的 GPS 固定站資料，當然其中必須對每天所需下載檔案名稱的檔名參數加以清楚的定義。SCRIPT 檔檔名為 RNX.SH 其內容如下：

```
day=`date +%j`
year=`date +%y`
echo 'day of the year is:' $day
echo 'the year is :' $year
echo 'download file is :'
#echo wuhn`date +%j`0.`date +%y`.d.Z
#echo guam`date +%j`0.`date +%y`.d.Z
echo amc2`date +%j`0.`date +%y`.d.Z
ftp -ni cddisa.gsfc.nasa.gov << EOT
user anonymous passwo;BigSteel@itri.org.tw
bin
lcd /home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW
cd /pub/gps/gpsdata/^`date +%y`. `date +%j`/^`date +%y`.d
#get wuhn`date +%j`0.`date +%y`.d.Z
#get guam`date +%j`0.`date +%y`.d.Z
get amc2`date +%j`0.`date +%y`.d.Z
bye
EOT
cd /home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/RAW
#uncompress wuhn`date +%j`0.`date +%y`.d.Z
#uncompress guam`date +%j`0.`date +%y`.d.Z
./CRZ2RNX *.*.Z
rm *.*.Z
./TEST2.SH
```

由 FTP 獲取 IGS 精密星曆資料

一般進行精密的定位都會使用 IGS 所公佈的精密星曆，同樣的我們亦藉由撰寫 SCRIPT 檔，由網路進入 FTP 站來下載所需要的精密星曆資料，當然其中必須對每天所需下載檔案名稱的檔名參數加以清楚的定義。SCRIPT 檔檔名為 ORB.SH 其內容如下：

```
ORIGPSWK=`date +%U`
DAYWK=`date +%w`
echo 'GPSWEEK IS' `expr 1199 + $ORIGPSWK`
echo 'week of the year is:' $ORIGPSWK
echo 'day of the week is:' $DAYWK
echo 'download file is :'
```

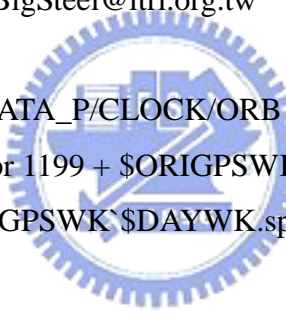


```
echo igs`expr 1199 + $ORIGPSWK`$DAYWK.sp3.Z
ftp -ni cddisa.gsfc.nasa.gov << EOT
user anonymous passwo;BigSteel@itri.org.tw
bin
lcd /home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/ORB
cd /pub/gps/products/`expr 1199 + $ORIGPSWK`
get igs`expr 1199 + $ORIGPSWK`$DAYWK.sp3.Z
bye
EOT
cd /home/bigsteel/GPSDATA_P/CLOCK/ORB
uncompress igs`expr 1199 + $ORIGPSWK`$DAYWK.sp3.Z
./TEST2.SH
```

由 FTP 獲取地球自轉參數檔及衛星健康資料檔

在 BPE 計算時必須先給定 Bernese 軟體中地球自轉參數及衛星健康狀況的兩個檔案，該兩檔案皆可由瑞士伯恩大學所架設的 FTP 站中所獲得，我們同樣的可由撰寫 SCRIPT 檔來獲得，以便可以每天更新資料。SCRIPT 檔檔名為 POLE.SH 其內容如下：

```
echo 'download file is :'
```



```
echo C04_`date +%Y`.ERP
ftp -ni ftp.unibe.ch << EOT
user anonymous passwo;BigSteel@itri.org.tw
```

```
bin
lcd /home/bigsteel/GPSDATA_P/TEST/ORB
cd /aiub/BSWUSER/GEN/
get C04_`date +%Y`.ERP
bye
EOT
```

BPE 計算指令

當每天計算的資料皆由 SCRIPT 檔自動執行並獲得之後，則可以藉由撰寫的 SCEIPT 檔進行 BPE 的計算。會用到的指令只有一個，其指令名稱為『PCS』，而使用到的變數只有計算的年份和計算的 SESSION（日期）兩者。其 SCRIPT 檔的內容很簡單只有一行，檔名為 BERN.SH 其內容如下：

```
PCS TIMEST42 camp CLOCK yr `date +%y` ses `date +%j`0
```



附錄 F 接收儀時錶誤差自動計算程式原始碼

```
clear
clc
disp(sprintf('\r\n\r\n\r\n'));
disp('*****')
disp('**      CLOCK PLOT PROGRAM FOR GPS SERVER
**')
disp('**      Version 1.2          Feb. 03 2004      **')
disp('**      Center for Measurement Standards/ITRI    **')
disp('*****')
disp(sprintf('\r\n\r\n\r\n'));
dos('echo off');
fid=fopen('c:\clock\Program\times.txt');
tnn1=fread(fid,21);tnn2=fread(fid,4);tnn3=fread(fid,23);tnn4=fread(fid,4);
bday=str2num(char(tnn2));times=str2num(char(tnn4));
fclose(fid);
a1='c:\clock\KDNM\KDNM_CLOCK.txt';a2='c:\clock\PKGM\PKGM_CLOCK.txt';a
3='c:\clock\TMAM\TMAM_CLOCK.txt';a4='c:\clock\TNSM\TNSM_CLOCK.txt';
a5='c:\clock\YMSM\YMSM_CLOCK.txt';a6='c:\clock\MZUM\MZUM_CLOCK.txt';
a7='c:\clock\FLNM\FLNM_CLOCK.txt';a8='c:\clock\KMNM\KMNM_CLOCK.txt';
a=[a1;a2;a3;a4;a5;a6;a7;a8];kiy=0;
FFKD=[];FFPK=[];FFTM=[];FFTN=[];FFYM=[];FFMZ=[];FFFL=[];FFKM=[];FFF
F=[];ixin=[];
times2=datestr(datenum(date)-1,10);
alldays=datenum(str2num(datestr(datenum(date)-1,10))+1,1,1)-datenum(str2num(date
str(datenum(date)-1,10)),1,1);
f20=sprintf('   Date      DOY      Clock bias (seconds)      Clock bias sigma
(seconds)\r\n');
for ii=bday+times:-1:bday+1;
    F0=datestr(datenum(date)-ii,23);B=datestr(datenum(date)-ii,10);
    E=datestr(datenum(date)-ii,5);D=datestr(datenum(date)-ii,7);
```

```

C=datestr(datenum(date)-ii,3);A1=str2num(B);A2=str2num(E);
A3=str2num(D);n1=datenum(A1,A2,A3)-datenum(A1,1,1)+1;
if n1<10; N1=['00' num2str(n1)];
elseif (n1<100 & n1>=10); N1=['0' num2str(n1)];
elseif (n1>=100); N1=num2str(n1);
end;
N2=['0' num2str(A1-2000)];
na1=sprintf('c:\clock\data\C3_%s%s.CLK',N2,N1);
b1=sprintf('%s% 7.0f          NaN          NaN
\r\n',F0,n1);
if exist(na1)~=0;fid=fopen(na1);tnx1=fread(fid,inf);fclose(fid);
    if length(tnx1)>1600;tn01=tnx1(1:1600);
        for ix=600:1:1600;
            if (tn01(ix-3)==32 & tn01(ix-2)==32 & tn01(ix-1)==10 &
tn01(ix)==65 & tn01(ix+1)==82);
                ixin=ix;tn2=tnx1(ixin:length(tnx1));
            end
        end
    else
        tn2=[];
    end

n=length(tn2);ln=round(n/80);DN=[];AN=[];DA1=[];DA2=[];AA=ones(480,9).*NaN
;AB=ones(480,9).*NaN;
    for jj=1:1:ln;
        da1=str2num(char(tn2(41+80*(jj-1):59+80*(jj-1))));
        da2=str2num(char(tn2(61+80*(jj-1):79+80*(jj-1))));
        DA1=[DA1 da1];DA2=[DA2 da2];

dn=(datenum([str2num(char(tn2(9+80*(jj-1):24+80*(jj-1)))'),0])-datenum([str2num(c
har(tn2(9:24))'),0]))/datenum(0,0,0,0,3,0);
        DN=[DN round(dn+1)];
        if (tn2(4+80*(jj-1))==65 & tn2(5+80*(jj-1))==77);an=1;AN=[AN
an];end;

```



```

if (tn2(4+80*(jj-1))==75 & tn2(5+80*(jj-1))==68);an=2;AN=[AN
an];end;
if (tn2(4+80*(jj-1))==80 & tn2(5+80*(jj-1))==75);an=3;AN=[AN
an];end;
if (tn2(4+80*(jj-1))==84 & tn2(5+80*(jj-1))==77);an=4;AN=[AN
an];end;
if (tn2(4+80*(jj-1))==84 & tn2(5+80*(jj-1))==78);an=5;AN=[AN
an];end;
if (tn2(4+80*(jj-1))==89 & tn2(5+80*(jj-1))==77);an=6;AN=[AN
an];end;
if (tn2(4+80*(jj-1))==77 & tn2(5+80*(jj-1))==90);an=7;AN=[AN
an];end;
if (tn2(4+80*(jj-1))==70 & tn2(5+80*(jj-1))==76);an=8;AN=[AN
an];end;
if (tn2(4+80*(jj-1))==75 & tn2(5+80*(jj-1))==77);an=9;AN=[AN
an];end;
AA(round(dn+1),an)=da1;AB(round(dn+1),an)=da2;
end
kd1=AA(:,2);kd1(isnan(kd1))=[];KD1=mean(kd1);kd2=AB(:,2);kd2(isnan(kd2))=[];
KD2=mean(kd2);

pk1=AA(:,3);pk1(isnan(pk1))=[];PK1=mean(pk1);pk2=AB(:,3);pk2(isnan(pk2))=[];P
K2=mean(pk2);

tm1=AA(:,4);tm1(isnan(tm1))=[];TM1=mean(tm1);tm2=AB(:,4);tm2(isnan(tm2))=[];
TM2=mean(tm2);

tn1=AA(:,5);tn1(isnan(tn1))=[];TN1=mean(tn1);tn2=AB(:,5);tn2(isnan(tn2))=[];TN2
=mean(tn2);

ym1=AA(:,6);ym1(isnan(ym1))=[];YM1=mean(ym1);ym2=AB(:,6);ym2(isnan(ym2))
=[];YM2=mean(ym2);

```



```
mz1=AA(:,7);mz1(isnan(mz1))=[];MZ1=mean(mz1);mz2=AB(:,7);mz2(isnan(mz2))=
[];MZ2=mean(mz2);
```

```
fl1=AA(:,8);fl1(isnan(fl1))=[];FL1=mean(fl1);fl2=AB(:,8);fl2(isnan(fl2))=[];FL2=me
an(fl2);
```

```
km1=AA(:,9);km1(isnan(km1))=[];KM1=mean(km1);km2=AB(:,9);km2(isnan(km2))
=[];KM2=mean(km2);
```

```
if isfinite(KD1)==1;
```

```
FKD=sprintf('%s% 7.0f% 26.13e% 28.13e
```

```
\r\n',F0,n1,KD1,KD2);FKD=strrep(FKD,'e+0','e+'); FKD=strrep(FKD,'e-0','e-');
```

```
else FKD=b1; end;
```

```
if isfinite(PK1)==1;
```

```
FPK=sprintf('%s% 7.0f% 26.13e% 28.13e
```

```
\r\n',F0,n1,PK1,PK2);FPK=strrep(FPK,'e+0','e+'); FPK=strrep(FPK,'e-0','e-');
```

```
else FPK=b1; end;
```

```
if isfinite(TM1)==1;
```

```
FTM=sprintf('%s% 7.0f% 26.13e% 28.13e
```

```
\r\n',F0,n1,TM1,TM2);FTM=strrep(FTM,'e+0','e+'); FTM=strrep(FTM,'e-0','e-');
```

```
else FTM=b1; end;
```

```
if isfinite(TN1)==1;
```

```
FTN=sprintf('%s% 7.0f% 26.13e% 28.13e
```

```
\r\n',F0,n1,TN1,TN2);FTN=strrep(FTN,'e+0','e+'); FTN=strrep(FTN,'e-0','e-');
```

```
else FTN=b1; end;
```

```
if isfinite(YM1)==1;
```

```
FYM=sprintf('%s% 7.0f% 26.13e% 28.13e
```

```
\r\n',F0,n1,YM1,YM2);FYM=strrep(FYM,'e+0','e+'); FYM=strrep(FYM,'e-0','e-');
```

```
else FYM=b1; end;
```

```
if isfinite(MZ1)==1;
```

```
FMZ=sprintf('%s% 7.0f% 26.13e% 28.13e
```

```
\r\n',F0,n1,MZ1,MZ2);FMZ=strrep(FMZ,'e+0','e+'); FMZ=strrep(FMZ,'e-0','e-');
```

```
else FMZ=b1; end;
```

```
if isfinite(FL1)==1;
```

```
FFL=sprintf('%s% 7.0f% 26.13e% 28.13e
```

```

\r\n',F0,n1,FL1,FL2);FFL=strrep(FFL,'e+0','e+'); FFL=strrep(FFL,'e-0','e-');
    else FFL=b1; end;
    if isfinite(KM1)==1;
        FKM=sprintf('%s% 7.0f% 26.13e% 28.13e
\r\n',F0,n1,KM1,KM2);FKM=strrep(FKM,'e+0','e+'); FKM=strrep(FKM,'e-0','e-');
    else FKM=b1; end;
else
FKD=b1;FPK=b1;FTM=b1;FTN=b1;FYM=b1;FMZ=b1;FFL=b1;FKM=b1;
end;
FFKD=[FFKD FKD];FFPK=[FFPK FPK];FFTM=[FFTM FTM];FFTN=[FFTN
FTN];FFYM=[FFYM FYM];FFMZ=[FFMZ FMZ];FFFL=[FFFL
FFL];FFKM=[FFKM FKM];
kiy=kiy+1;
disp(sprintf('Finished %2.1f%%',100*(kiy/times)))
end;
for ij=1:1:8;
    aa=a(ij,:);
    if ij==1;FFFF=FFKD;end;if ij==2;FFFF=FFPK;end;if ij==3;FFFF=FFTM;end;if
ij==4;FFFF=FFTN;end;
    if ij==5;FFFF=FFYM;end;if ij==6;FFFF=FFMZ;end;if ij==7;FFFF=FFFL;end;if
ij==8;FFFF=FFKM;end;
    if exist(aa)~=0;
fid=fopen(a(ij,:));fa101=char(fread(fid,75));fa102=char(fread(fid,inf));fclose(fid);
    Lfa11=length(fa102);Aaf=[];
    for i=0:1:round(Lfa11/75)-1;
        af=datenum(fa102(i*75+1:i*75+10))-(datenum(date)-times)+bday;
        Aaf=[Aaf;af];
    end
    [af1,af2]=find(Aaf<=0);faf1=1+(af1-1).*75;faf2=af1.*75;FAF=[];
    for i=1:1:length(faf1)-1;faf=faf1(i):faf2(i);FAF=[FAF faf];end;
    if isempty(FAF)==0;

```



```

        fa103=fa102(FAF);fa104=fa102(faf2(length(faf2)-1)+1:Lfa11);
    else  fa103=[];fa104=[];end;
else
    fa103=[];fa104=[];
end;
NVa10=[];NVa11=[];NVa12=[];
for ii=0:1:round(length(fa104)/75)-1;
    nv0=datenum(fa104(ii*75+1:ii*75+10));
    nv1=str2num(fa104(ii*75+23:ii*75+42));
    nv2=str2num(fa104(ii*75+51:ii*75+69));
    NVa10=[NVa10;nv0];NVa11=[NVa11;nv1];NVa12=[NVa12;nv2];
end
Nca10=[];Nca00=[];Nca11=[];Nca12=[];
for ii=0:1:round(length(FFFF)/75)-1;
    nc0=datenum(FFFF(ii*75+1:ii*75+10));
    nc00=str2num(FFFF(ii*75+15:ii*75+17));
    nc1=str2num(FFFF(ii*75+23:ii*75+42));
    nc2=str2num(FFFF(ii*75+51:ii*75+69));
Nca10=[Nca10;nc0];Nca11=[Nca11;nc1];Nca12=[Nca12;nc2];Nca00=[Nca00;nc
00];
end
for ii=1:1:round(length(fa104)/75);
    [vn1,vn]=find(Nca10==NVa10(ii));
    if vn1<=round(length(fa104)/75);
        if isnan(Nca11(vn1))==1;
            Nca11(vn1)=NVa11(vn1);Nca12(vn1)=NVa12(vn1);
        end;
    else
        Nca11(vn1)=NaN;Nca12(vn1)=NaN;
    end
end
end
NCFKD=[];
for ii=1:1:round(length(FFFF)/75);

```

```

        if isnan(NCa11(ii))==0;
            ncfkd=sprintf('%s% 7.0f% 26.13e% 28.13e
\r\n',datestr(NCa10(ii),23),NCa00(ii),NCa11(ii),NCa12(ii));
            ncfkd=strrep(ncfkd,'e+0','e+'); ncfkd=strrep(ncfkd,'e-0','e-');
        else
            ncfkd=sprintf('%s% 7.0f          NaN
NaN          \r\n',datestr(NCa10(ii),23),NCa00(ii));
        end
        NCFKD=[NCFKD ncfkd];
    end
    fid=fopen(aa,'w');
    FNSKD=sprintf('%s%s%s',f20,fa103,NCFKD);
    fwrite(fid,FNSKD);
    fclose(fid);
    SKD=sprintf('%s%s',fa103,NCFKD);
    Lfa12=length(SKD);
    NFa10=[];NFa11=[];NFa12=[];NFa13=[];
    for i=0:1:round(Lfa12/75)-1;
        nf0=datenum(SKD(i*75+1:i*75+10));
        nf1=str2num(SKD(i*75+15:i*75+17));
        nf2=str2num(SKD(i*75+23:i*75+42));
        nf3=str2num(SKD(i*75+51:i*75+69));

NFa10=[NFa10;nf0];NFa11=[NFa11;nf1];NFa12=[NFa12;nf2];NFa13=[NFa13;nf3];
        end
        [nf01,nf02]=find(NFa10>datenum(str2num(times2)-1,12,31) &
NFa10<datenum(str2num(times2)+1,1,1));

NFa10=NFa10(nf01);NFa11=NFa11(nf01);NFa12=NFa12(nf01);NFa13=NFa13(nf01
);
        NGa12=[];NGa13=[];
        for ni=1:1:alldays;
            [nf51,nf52]=find(NFa11==ni);
            if isempty(nf51)==0;

```

```

    NGa12=[NGa12;NFa12(nf51)];NGa13=[NGa13;NFa13(nf51)];
else
    NGa12=[NGa12;NaN];NGa13=[NGa13;NaN];
end;
end;
for nni=1:1:6;
    if nni==1;xdi=1:1:60; end; if nni==2; xdi=61:1:120; end; if nni==3;
xdi=121:1:180; end;
    if nni==4; xdi=181:1:240; end; if nni==5; xdi=241:1:300; end; if nni==6;
xdi=301:1:alldays; end;
    NF1=NGa12(xdi);NF2=NGa13(xdi);
    na1=sprintf('%s_%s-%s.jpg',aa(1:24),times2,num2str(nni));
    db=sprintf('Day of Year (%s)',times2);
    figure(1)
    subplot(2,1,1),plot(xdi,NF1,'r*')
    grid on
    xlabel(db);
    ti1=sprintf('Clock Bias (seconds) -- %s',aa(15:18));
    ti2=sprintf('Clock Bias Sigma (seconds) -- %s',aa(15:18));
    title(ti1,'FontName','Times New Roman','fontweight','bold','fontsize',12);
    if isnan(max(NF1))~=1;
        axis([min(xdi) max(xdi) min(NF1) max(NF1)]);
    else
        axis([min(xdi) max(xdi) 1e-09 1e-07]);
    end;
    subplot(2,1,2),plot(xdi,NF2,'r*')
    grid on
    xlabel(db);
    title(ti2,'FontName','Times New Roman','fontweight','bold','fontsize',12);
    if isnan(max(NF2))~=1;
        axis([min(xdi) max(xdi) min(NF2) max(NF2)]);
    else
        axis([min(xdi) max(xdi) 1e-09 1e-07]);
    end;
end;

```



```
print (figure(1),'-djpeg90',na1);  
close(1);  
end;  
end  
return
```



附錄 G 內政部衛星追蹤站時錶誤差管制圖

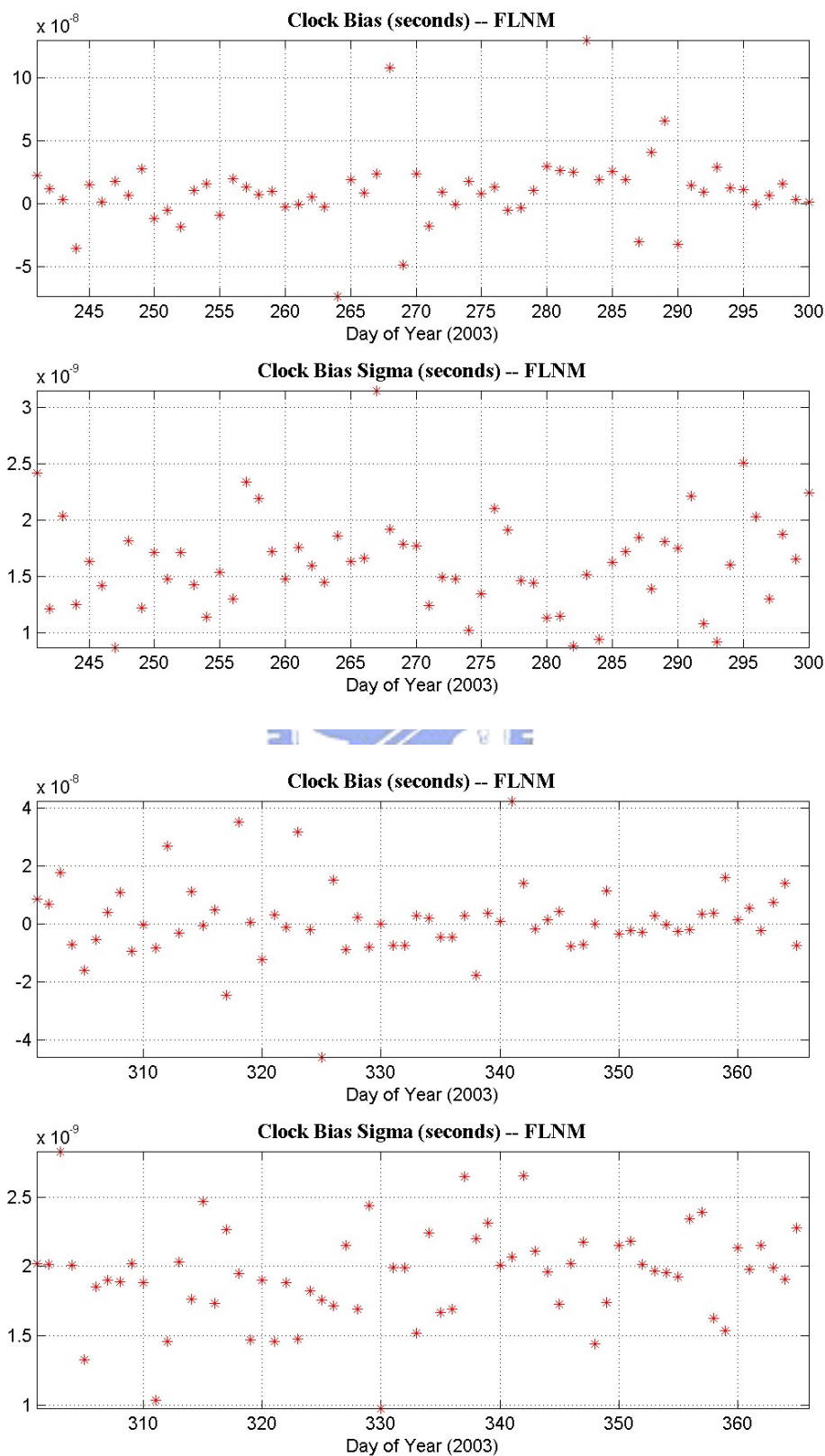


圖 G-1 內政部鳳林衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)

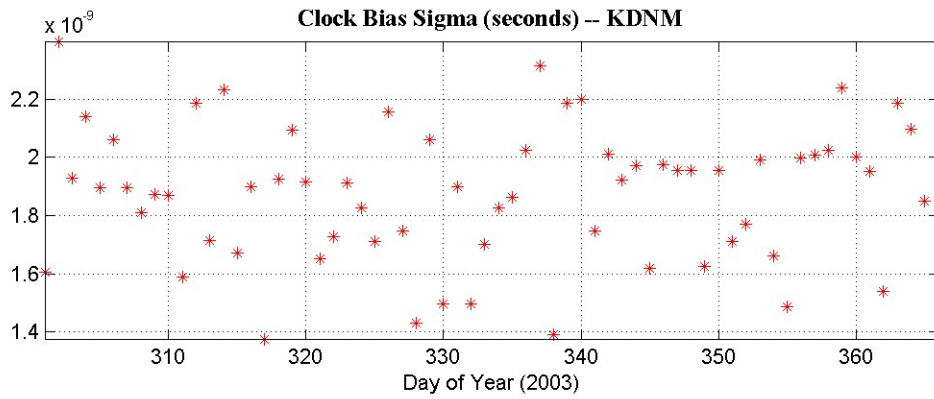
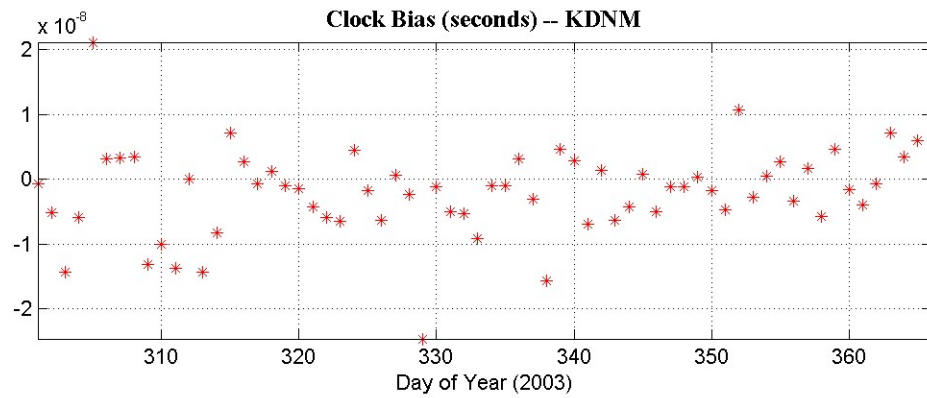
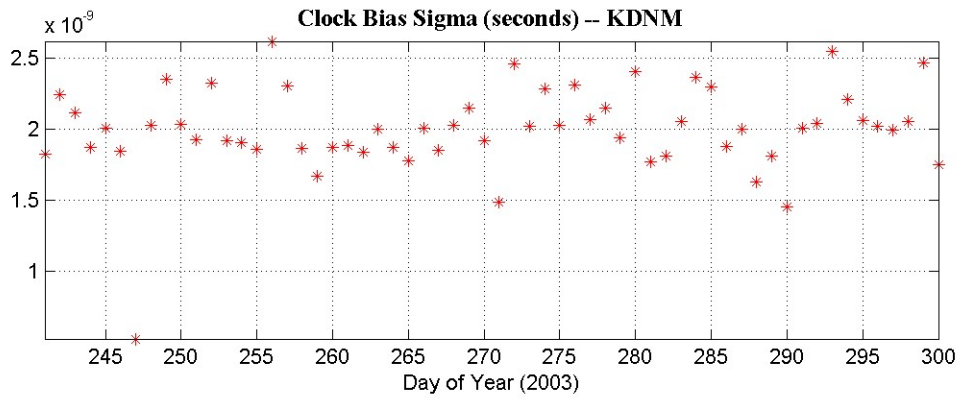
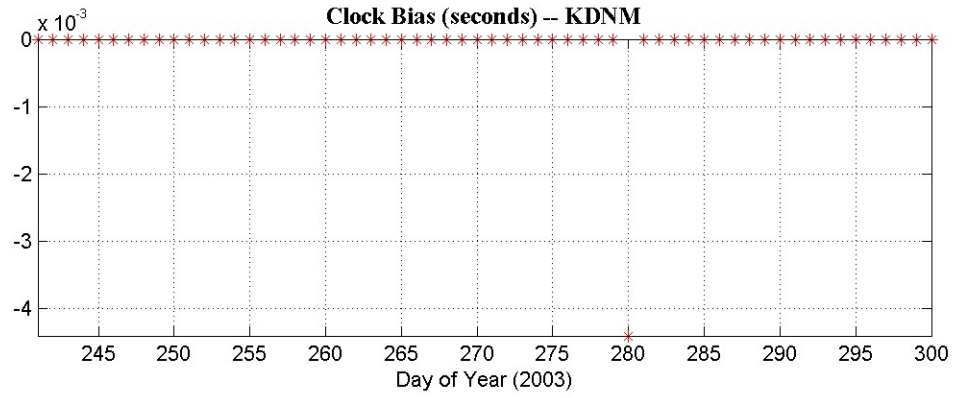


圖 G-2 內政部墾丁衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)

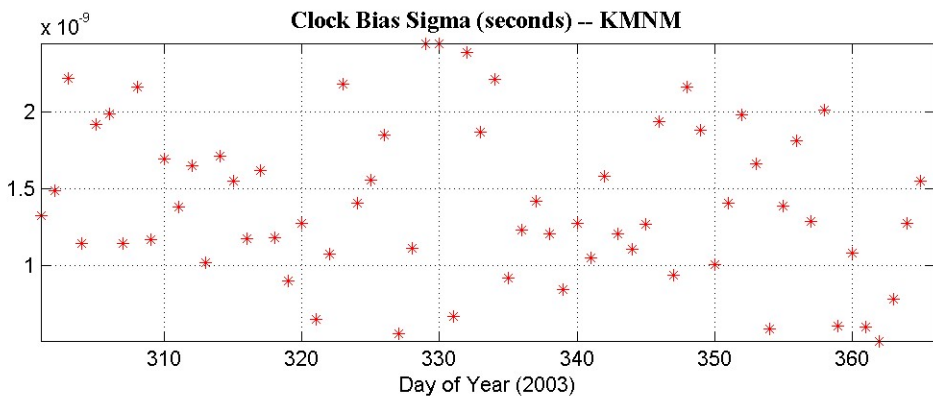
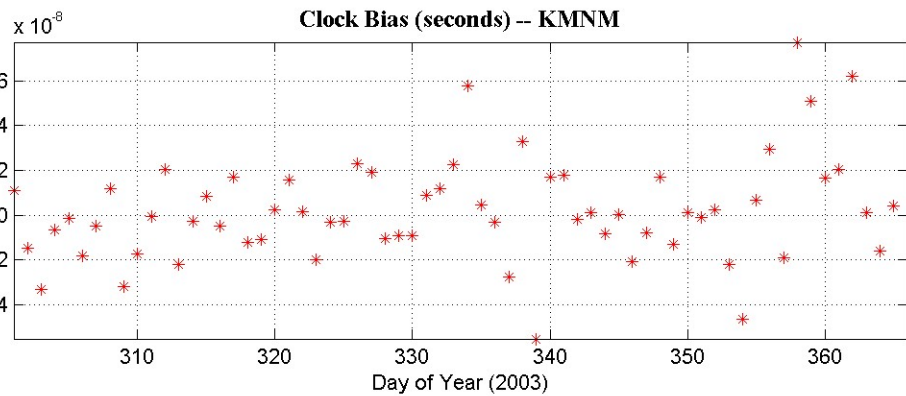
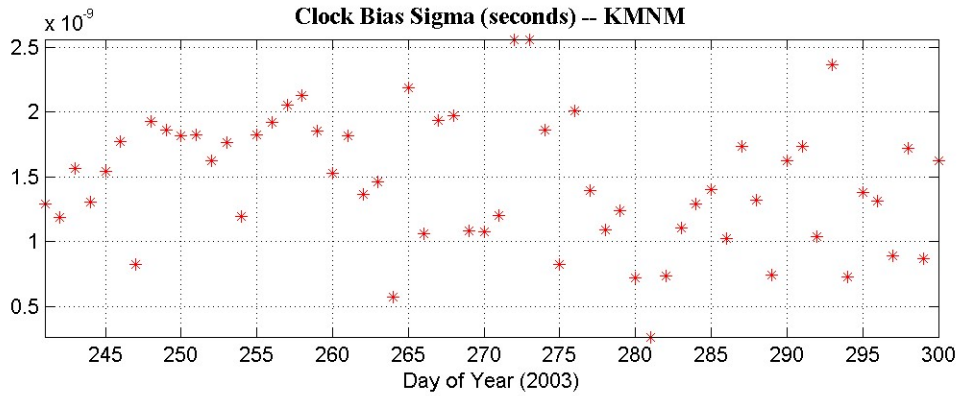
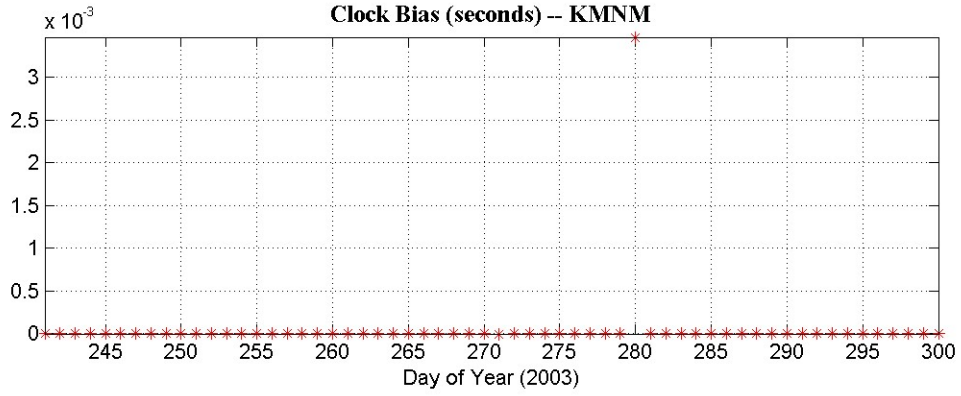


圖 G-3 內政部金門衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)

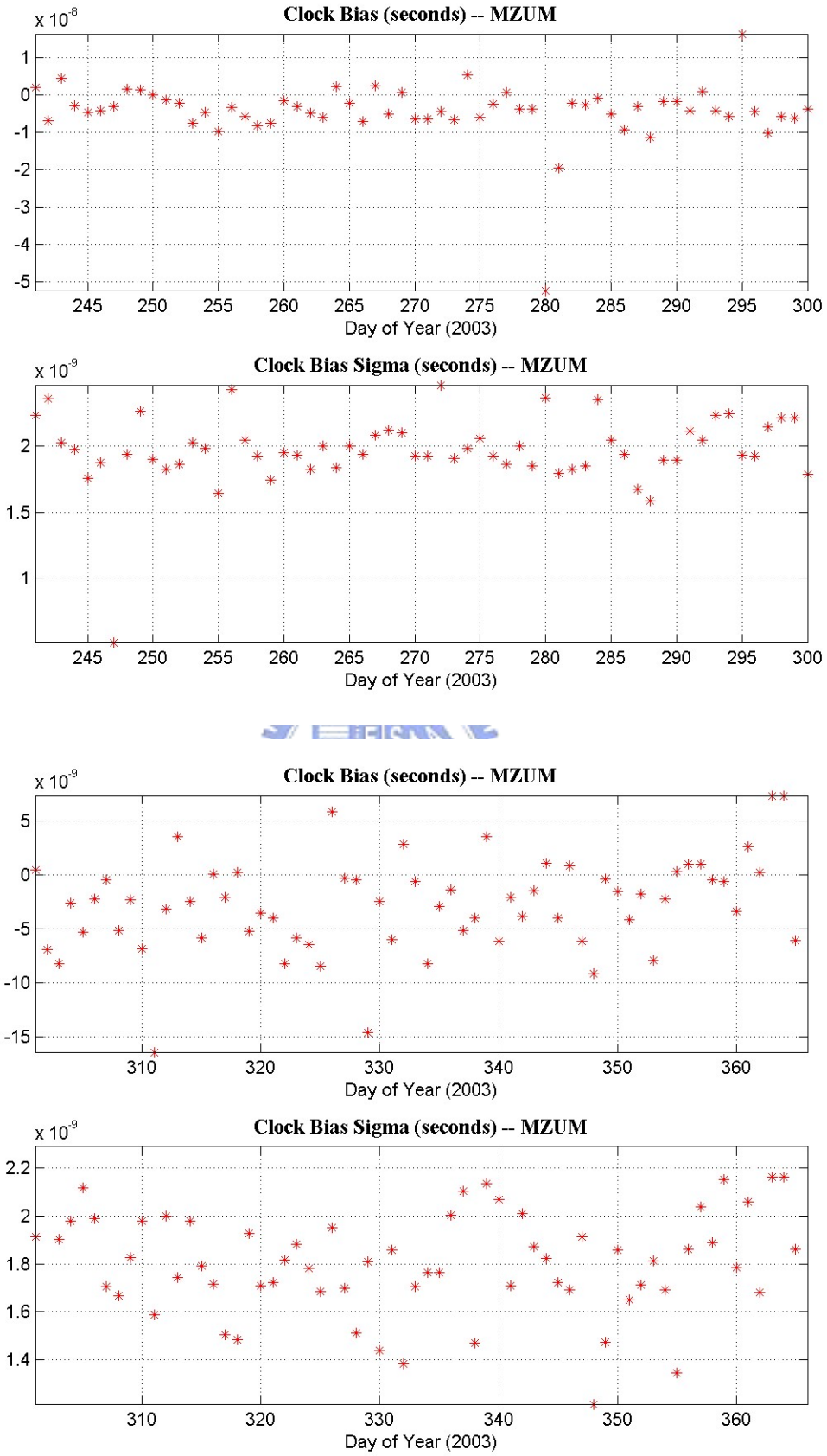


圖 G-4 內政部馬祖衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)

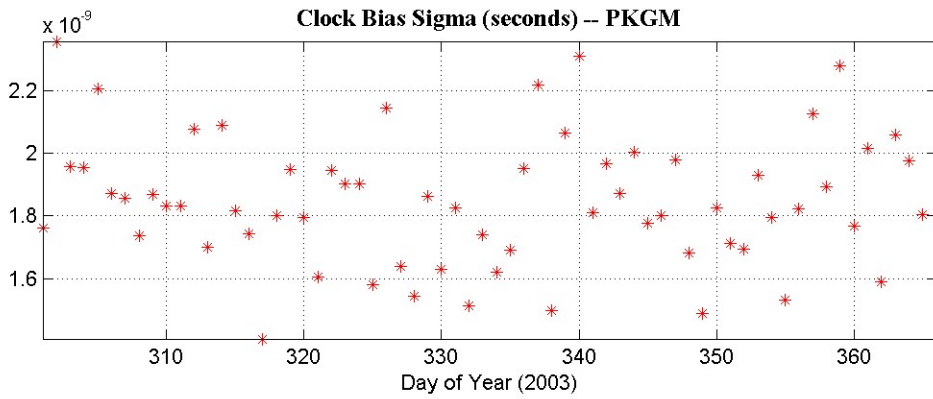
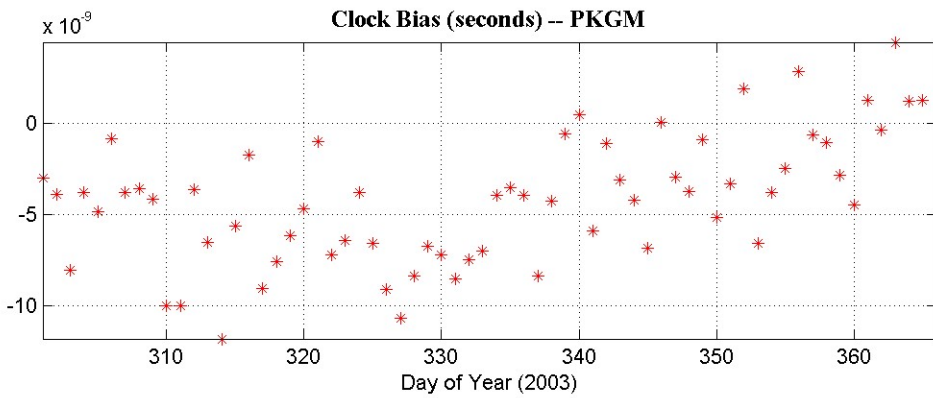
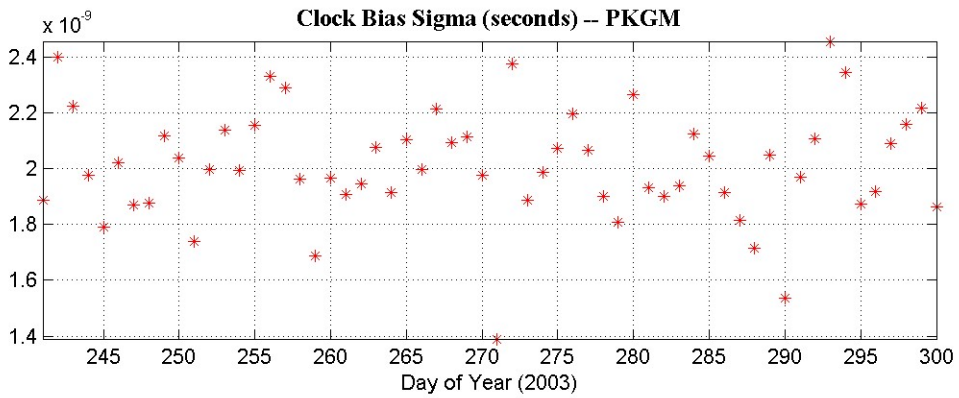
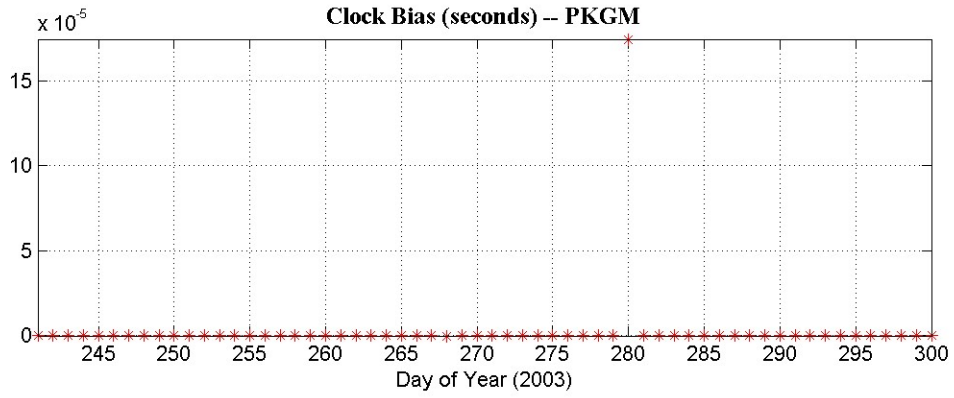


圖 G-5 內政部北港衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)

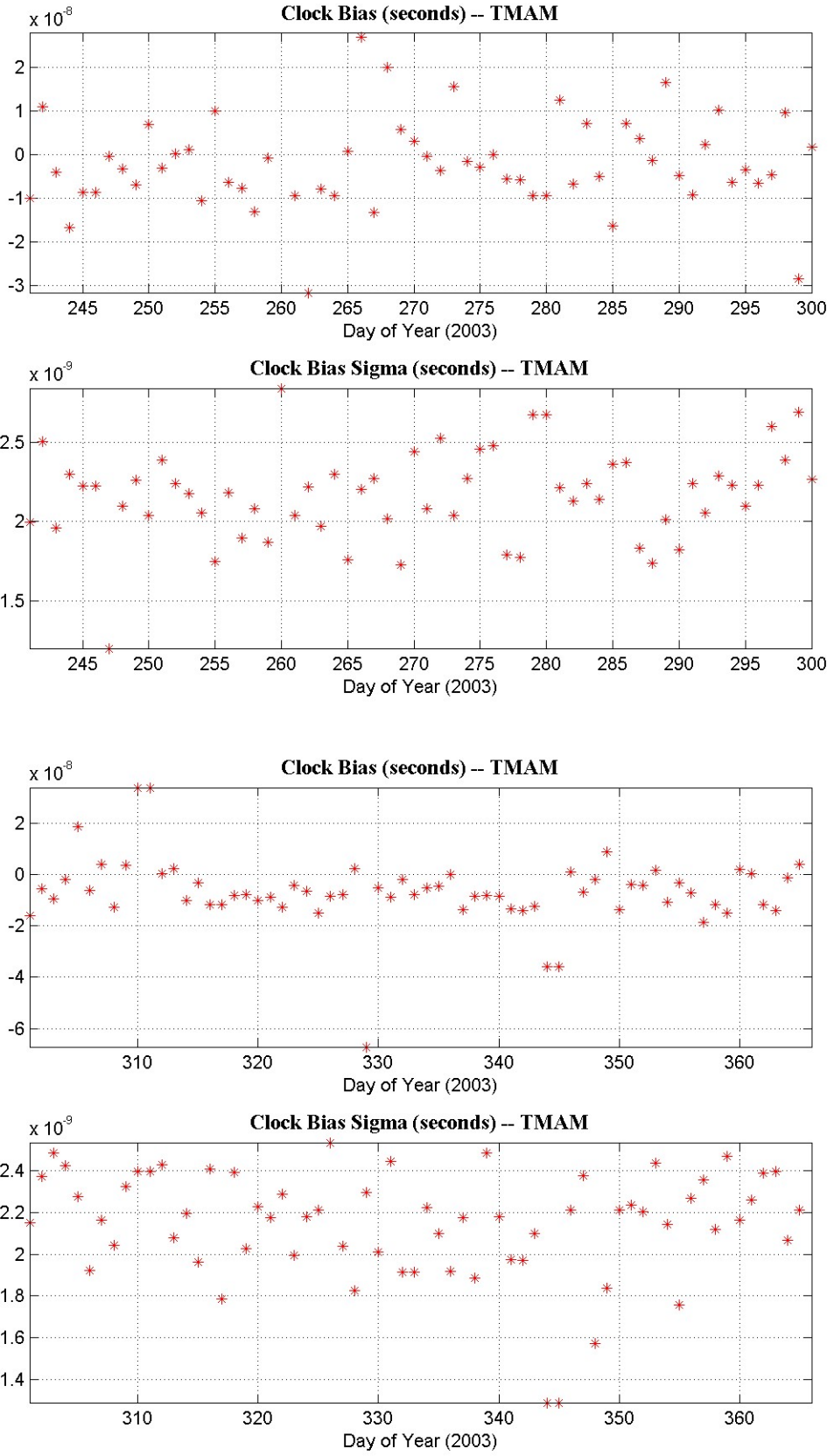


圖 G-6 內政部太麻里衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)

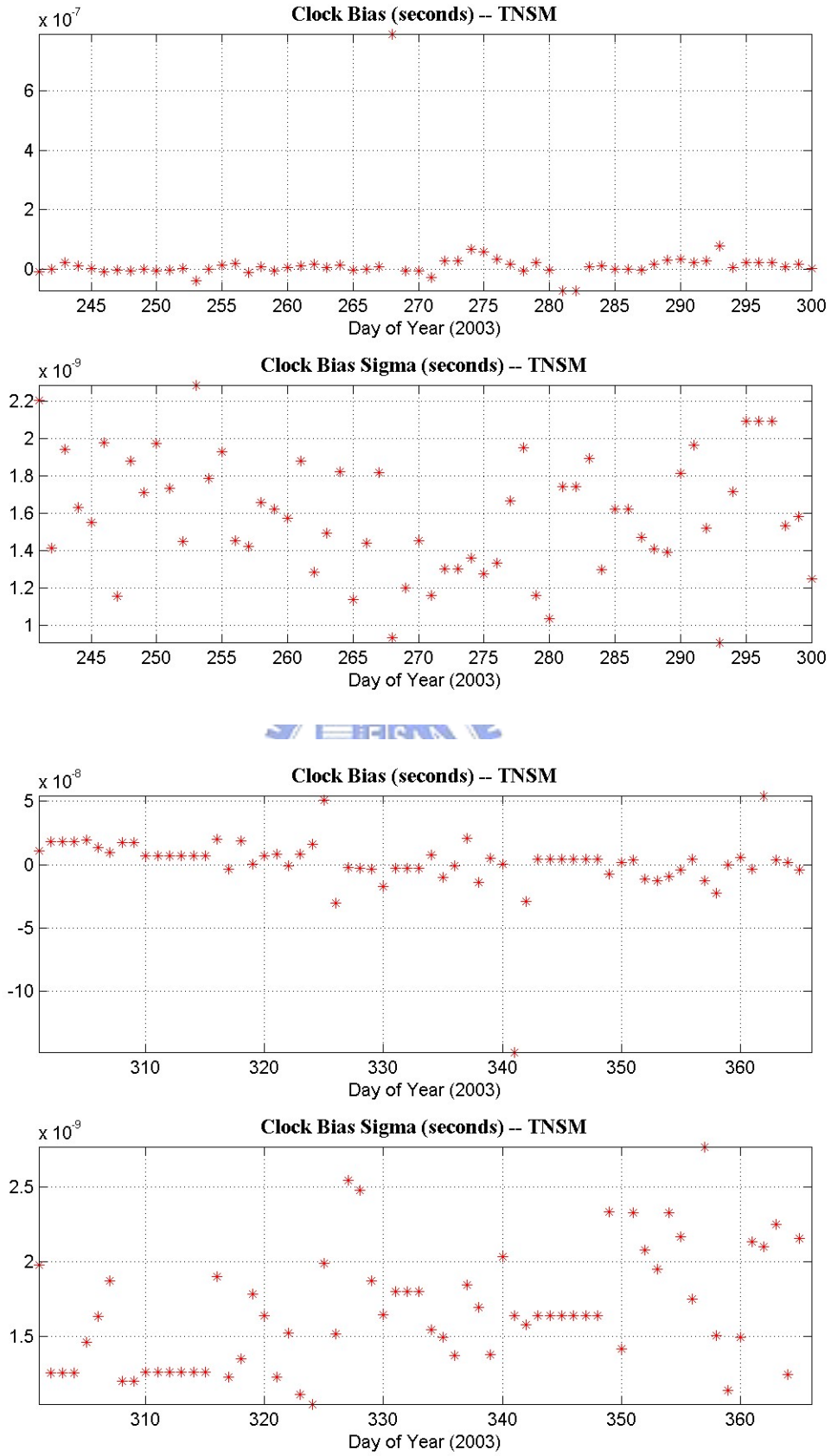


圖 G-7 內政部東沙衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)

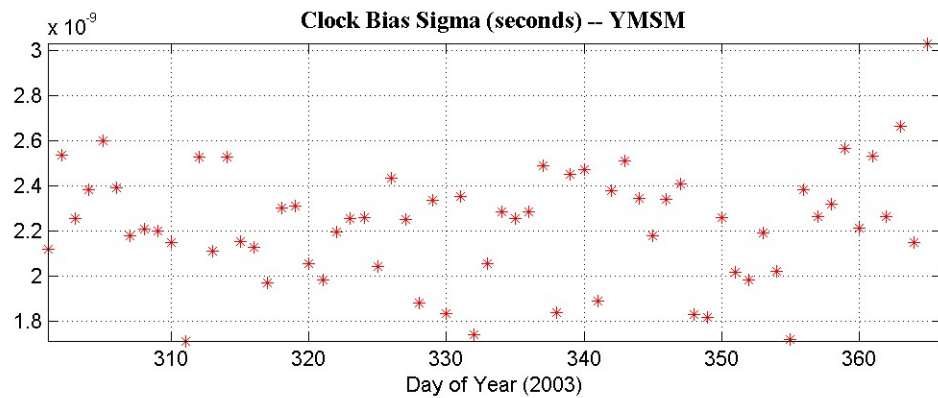
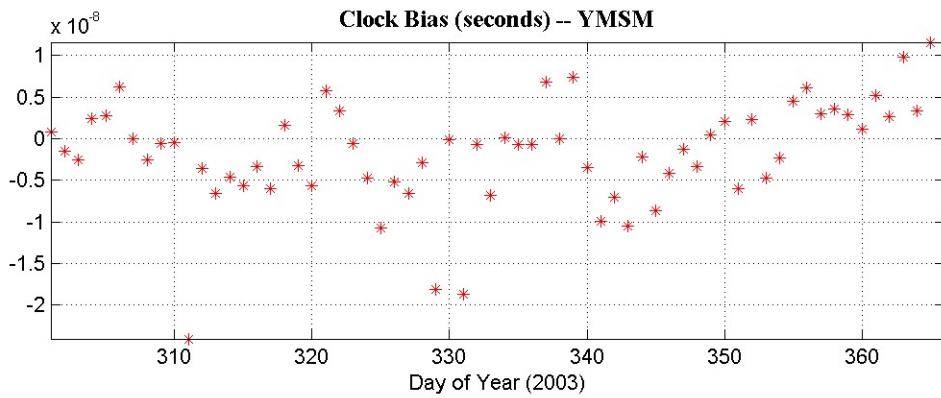
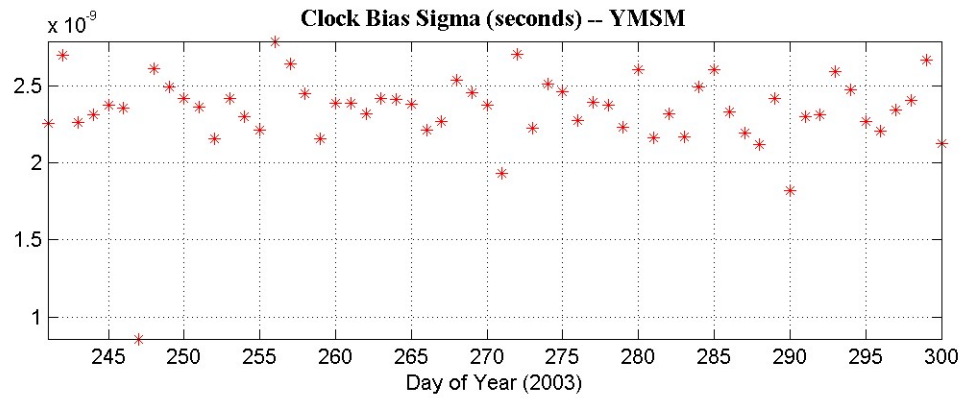
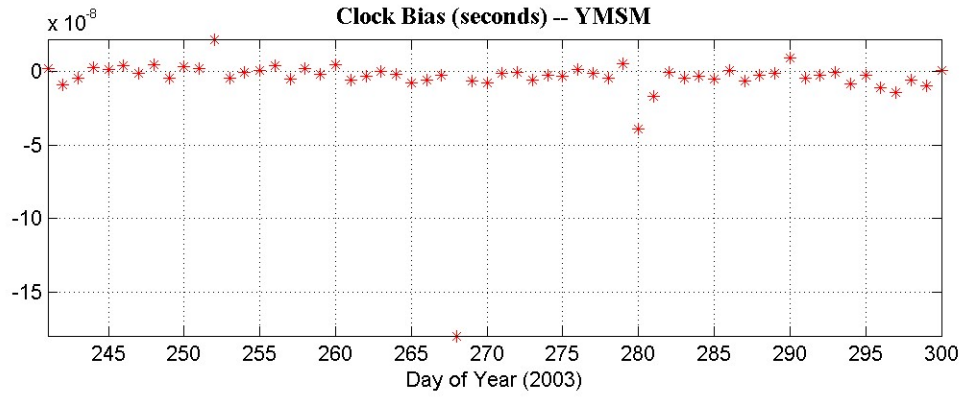


圖 G-8 內政部陽明山衛星追蹤站時錶誤差管制圖 (2003 年 9~12 月)

附錄 H 三維坐標自動計算程式原始碼

```
function BRR_YMSM
clear
%for k=1:1:6
%   if k==1
%       session=char('A')
%   elseif k==2
%       session=char('B')
%   elseif k==3
%       session=char('C')
%   elseif k==4
%       session=char('D')
%   elseif k==5
%       session=char('E')
%   else k==6
%       session=char('F')
%   end
%*****
%*****
%%---year=str2num(datestr(date,10))
year=2003
%%---month=str2num(datestr(date,5))
%%---day=str2num(datestr(date,7))
%%---DOYY=datenum(year,month,day)-datenum(year,1,1)+1
for DOYY=365:1:365
%%---DOYY2=datenum(year,12,31)-datenum(year,1,1)+1
DOYY2=365
DOYY3=year+(DOYY/DOYY2)
doy=DOYY

station=char('YMSM')    %----->設定 station 名稱
session=char('0')      %----->設定 station 名稱
```

```

model=char('saas')
fid=fopen(sprintf('c:\\bigsteel\\result\\453_%03.0f%s.OUT',doy,session),'r');
%----->設定要開啟並讀取 bernese 結果檔名稱

a=fid
fid=fopen('c:\\bigsteel\\1.txt','w'); %----->設定要開啟並儲存 bernese 結果檔開始
要記錄的檔案名稱

b=fid
fid=fopen('c:\\bigsteel\\2.txt','w'); %----->設定要開啟並儲存 bernese 結果檔坐標
部份檔案名稱

c=fid
fid=fopen('c:\\bigsteel\\3.txt','w'); %----->設定要開啟並儲存 bernese 結果檔基線
部份檔案名稱

d=fid

fid=fopen(sprintf('c:\\bigsteel\\x_%s_%03.0f.txt',model,doy),'w'); %----->設定要開
啟並儲存 bernese 結果檔 x 新舊坐標部份檔案名稱

e=fid
%fid=fopen('e:\\readdata\\y_saas_345.txt','w');
fid=fopen(sprintf('c:\\bigsteel\\y_%s_%03.0f.txt',model,doy),'w'); %----->設定要開
啟並儲存 bernese 結果檔 y 新舊坐標部份檔案名稱

f=fid
%fid=fopen('e:\\readdata\\z_saas_345.txt','w');
fid=fopen(sprintf('c:\\bigsteel\\z_%s_%03.0f.txt',model,doy),'w'); %----->設定要開
啟並儲存 bernese 結果檔 z 新舊坐標部份檔案名稱

g=fid
%fid=fopen('e:\\readdata\\h_saas_345.txt','w');
fid=fopen(sprintf('c:\\bigsteel\\h_%s_%03.0f.txt',model,doy),'w'); %----->設定要開
啟並儲存 bernese 結果檔 h 新舊坐標部份檔案名稱

h=fid
%*****
*****

```

```
sstr1=' NUM STATION NAME PARAMETER A PRIORI VALUE
NEW VALUE NEW- A PRIORI RMS ERROR 3-D ELLIPSOID
2-D ELLIPSE'
```

```
sstr2='
```

```
-----
-----'
```

```
sstr3=' SLOPE DISTANCES AND RMS ERRORS IN M (PART 1):'
```

```
sstr4=""
```

```
i=0
```

```
while feof(a) == 0
```

```
    i=i+1
```

```
    str=fgetl(a);
```

```
    if strcmp(str,sstr1)==1
```

```
        disp(str);
```

```
        fprintf(b,'%s\n',str)
```

```
        fprintf(b,'%f\n',i)
```

```
        k=i
```

```
    end
```

```
    if strcmp(str,sstr3)==1
```

```
        disp(str);
```

```
        fprintf(b,'%s\n',str)
```

```
        fprintf(b,'%f\n',i)
```

```
        l=i
```

```
    end
```

```
end
```



```
fseek(a,0,'bof'); %----->將 bernese 結果檔的讀取游標移到檔案最前頭
```

```
j=0
```

```
while feof(a) == 0
```

```
    j=j+1
```

```
    str=fgetl(a);
```

```
    if j>=k+3 & strcmp(str,sstr4)==0
```

```
        fprintf(c,'%s\n',str)
```

```

        if strcmp(str,sstr2)==1
            break;
        end
    end
end
end

```

```

fseek(a,0,'bof');
j=0
while feof(a) == 0
    j=j+1
    str=fgetl(a);
    if j>=1+6
        fprintf(d,'%s\n',str)
    end
end
end

```

```

fclose(d)
fclose(c)
fclose(b)
fclose(a)

```



```

%*****關掉所有檔案,從 2.txt 檔讀 xyzh 坐標
*****

```

```

fid=fopen('c:\bigsteel\2.txt','r');
c=fid
jj=0
while feof(c) == 0
    jj=jj+1
    str=fgetl(c);
    if length(str)==92 & rem(jj,3)==1 %讀檔案 2.txt 的 x 坐標
        fprintf(e,'%s\n',str)
    elseif length(str)==92 & rem(jj,3)==2 %讀檔案 2.txt 的 y 坐標
        fprintf(f,'%s\n',str)
    elseif length(str)==92 & rem(jj,3)==0 %讀檔案 2.txt 的 z 坐標

```

```

        fprintf(g,'%s\n',str)
    elseif length(str)==111 %讀檔案 2.txt 的 h 坐標
        fprintf(h,'%s\n',str)
    else
        continue
    end

end

end

fclose(e)
fclose(f)
fclose(g)
fclose(h)
fclose(c)

%*****關掉所有檔案,從 xyzh 四個檔案從新讀取坐標,每一個檔案讀
成一個字串*****
nx=sprintf('c:\\bigsteel\\x_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nx);
e=fid;
xxx=fread(e,inf);
fclose(e);
jjj=round(length(xxx)/93)

nh=sprintf('c:\\bigsteel\\h_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nh);
h=fid;
hhh=fread(h,inf);
fclose(h);
kkk=round(length(hhh)/112)

ny=sprintf('c:\\bigsteel\\y_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(ny);
f=fid;
yyy=fread(f,inf);

```



```

fclose(f);
lll=round(length(yyy)/93)

nz=sprintf('c:\\bigsteel\\z_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nz);
g=fid;
zzz=fread(g,inf);
fclose(g);
mmm=round(length(zzz)/93)
%*****重新開四個要記錄 xyzh 坐標的檔案*****
nxx=sprintf('c:\\bigsteel\\xx_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nxx,'w');
ee=fid;
nyy=sprintf('c:\\bigsteel\\yy_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nyy,'w');
ff=fid;
nzz=sprintf('c:\\bigsteel\\zz_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nzz,'w');
gg=fid;
nhh=sprintf('c:\\bigsteel\\hh_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nhh,'w')
hh=fid

for jjj=1:1:jjj;
    XX1=char(xxx(93.*(jjj-1)+1:93.*(jjj-1)+10));
    XX2=str2num(char(xxx(93.*(jjj-1)+55:93.*(jjj-1)+68)));
    XX3=str2num(char(xxx(93.*(jjj-1)+82:93.*(jjj-1)+92)));
    HH2=str2num(char(hhh(112.*(jjj-1)+55:112.*(jjj-1)+68)));
    HH3=str2num(char(hhh(112.*(jjj-1)+82:112.*(jjj-1)+92)));
    YY2=str2num(char(yyy(93.*(jjj-1)+55:93.*(jjj-1)+68)));
    YY3=str2num(char(yyy(93.*(jjj-1)+82:93.*(jjj-1)+92)));
    ZZ2=str2num(char(zzz(93.*(jjj-1)+55:93.*(jjj-1)+68)));
    ZZ3=str2num(char(zzz(93.*(jjj-1)+82:93.*(jjj-1)+92)));

```



```

fprintf(ee,'%s',XX1)
fprintf(hh,'%s',XX1)
fprintf(ff,'%s',XX1)
fprintf(gg,'%s',XX1)
fprintf(ee,'%19.4f',XX2)
fprintf(ee,'%19.4f\n',XX3)
fprintf(hh,'%19.4f',HH2)
fprintf(hh,'%15.4f\n',HH3)
fprintf(ff,'%19.4f',YY2)
fprintf(ff,'%19.4f\n',YY3)
fprintf(gg,'%19.4f',ZZ2)
fprintf(gg,'%19.4f\n',ZZ3)
%fwrite(fid,FF1);
%G1=[G1;FF2];
end

```



```

fclose(ee);
fclose(hh);
fclose(ff);
fclose(gg);
%*****產生 h 繪圖檔案*****
nhh=sprintf('c:\\bigsteel\\hh_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nhh);
hh=fid;
hhhh=fread(hh,inf);
fclose(hh);
%kkkk=round(length(hhhh)/30)

HUAN=sprintf('c:\\bigsteel\\%s_%s_%s_height.txt',station,session,model);
fid=fopen(HUAN,'a')
hHUAN=fid
HUAN2=sprintf('c:\\bigsteel\\%s_%s_%s_height_PLOT.txt',station,session,model);
fid=fopen(HUAN2,'a')

```



```

hHUAN2=fid
%HUAN22=sprintf('%s_%s_height_PLOT',station,session);

for jjj=1:1:jjj;
    HHH1=char(hhhh(45.*(jjj-1)+7:45.*(jjj-1)+10));
    HHH2=str2num(char(hhhh(45.*(jjj-1)+13:45.*(jjj-1)+29)));
    HHH3=str2num(char(hhhh(45.*(jjj-1)+30:45.*(jjj-1)+44)));
    HUANCMP=strcmp(HHH1, station)
    if HUANCMP==1
        fprintf(hHUAN,'%04.0f %03.0f %08.4f %s ',year,doy,DOYY3,session)
        fprintf(hHUAN2,'%04.0f %03.0f %08.4f ',year,doy,DOYY3)
        fprintf(hHUAN,'%s',HHH1)
        fprintf(hHUAN,'%19.4f',HHH2)
        fprintf(hHUAN2,'%19.4f',HHH2)
        fprintf(hHUAN,'%15.4f\n',HHH3)
        fprintf(hHUAN2,'%15.4f\n',HHH3)
    else
        continue
    end
end

station
fclose(hHUAN);
fclose(hHUAN2);

load (HUAN2);
HUAN22=char('%s_%s_%s_height_PLOT',station,session,model);
subplot(4,1,1),plot(YMSM_0_saas_height_PLOT(:,3),YMSM_0_saas_height_PLOT(
:,4),'m-')
%subplot(2,2,1),plot(HUAN22(:,1),HUAN22(:,2),'m*')

axis([2003,2004,784.00,784.20]);
set(gca,'YTick',[784.00 784.10 784.20]);
set(gca,'YTickLabel',{'784.00';'784.10';'784.20'},'FontSize',6);

```



```

title('Time series for YMSM','FontSize',10)
xlabel('DOY')
ylabel('GPS height (m)','FontSize',10)
%legend('GPS HEIGHT')
%print -dbmp HUANh.bmp
%*****產生 x 繪圖檔案*****
nxx=sprintf('c:\\bigsteel\\xx_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nxx);
ee=fid;
xxxx=fread(ee,inf);
fclose(ee);
%kkkk=round(length(xxxx)/30)

HUANx=sprintf('c:\\bigsteel\\%s_%s_%s_x.txt',station,session,model);
fid=fopen(HUANx,'a')
xHUAN=fid

HUANxx=sprintf('c:\\bigsteel\\%s_%s_%s_x_PLOT.txt',station,session,model);
fid=fopen(HUANxx,'a')
xHUAN2=fid

for jjj=1:1:jjj;
    xxx1=char(xxxx(49.*(jjj-1)+7:49.*(jjj-1)+10));
    xxx2=str2num(char(xxxx(49.*(jjj-1)+13:49.*(jjj-1)+29)));
    xxx3=str2num(char(xxxx(49.*(jjj-1)+32:49.*(jjj-1)+48)));
    HUANCMP=strcmp(xxx1, station)
    if HUANCMP==1
        fprintf(xHUAN,'%04.0f %03.0f %08.4f %s ',year,doy,DOYY3,session)
        fprintf(xHUAN2,'%04.0f %03.0f %08.4f ',year,doy,DOYY3)
        fprintf(xHUAN,'%s',xxx1)
        fprintf(xHUAN,'%19.4f',xxx2)
        fprintf(xHUAN2,'%19.4f',xxx2)
        fprintf(xHUAN,'%15.4f\n',xxx3)
    end
end

```



```

        fprintf(xHUAN2,'%15.4f\n',xxx3)
    else
        continue
    end
end

station
fclose(xHUAN);
fclose(xHUAN2);

load (HUANxx);
subplot(4,1,2),plot(YMSM_0_saas_x_PLOT(:,3),YMSM_0_saas_x_PLOT(:,4),'c-')
axis([2003,2004,-3024807.92,-3024807.72]);
set(gca,'YTick',[-3024807.92 -3024807.82 -3024807.72]);

set(gca,'YTickLabel',{'-3024807.92';'-3024807.82';'-3024807.72'},'FontSize',6);
%title('X COORDINATE')
%xlabel('DOY')
ylabel('X (m)','FontSize',10)
%legend('X COORDINATE')
%print -dbmp HUANx.bmp
%*****產生 y 繪圖檔案*****
nyy=sprintf('c:\\bigsteel\\yy_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nyy);
ff=fid;
yyyy=fread(ff,inf);
fclose(ff);
%kkkk=round(length(xxxx)/30)

HUANy=sprintf('c:\\bigsteel\\%s_%s_%s_y.txt',station,session,model);
fid=fopen(HUANy,'a')
yHUAN=fid
HUANyy=sprintf('c:\\bigsteel\\%s_%s_%s_y_PLOT.txt',station,session,model);

```



```

fid=fopen(HUANyy,'a')
yHUAN2=fid

for jjj=1:1:jjj;
    yyy1=char(yyyy(49.*(jjj-1)+7:49.*(jjj-1)+10));
    yyy2=str2num(char(yyyy(49.*(jjj-1)+13:49.*(jjj-1)+29)));
    yyy3=str2num(char(yyyy(49.*(jjj-1)+32:49.*(jjj-1)+48)));
    HUANCMP=strcmp(yyy1, station)
    if HUANCMP==1
        fprintf(yHUAN,'%04.0f %03.0f %08.4f %s ',year,doy,DOYY3,session)
        fprintf(yHUAN2,'%04.0f %03.0f %08.4f ',year,doy,DOYY3)
        fprintf(yHUAN,'%s',yyy1)
        fprintf(yHUAN,'%19.4f',yyy2)
        fprintf(yHUAN2,'%19.4f',yyy2)
        fprintf(yHUAN,'%15.4f\n',yyy3)
        fprintf(yHUAN2,'%15.4f\n',yyy3)
    else
        continue
    end
end

station
fclose(yHUAN);
fclose(yHUAN2);

load (HUANyy);
subplot(4,1,3),plot(YMSM_0_saas_y_PLOT(:,3),YMSM_0_saas_y_PLOT(:,4),'g-')
axis([2003,2004,4921747.00,4921747.20]);
set(gca,'YTick',[4921747.00 4921747.10 4921747.20]);

set(gca,'YTickLabel',{'4921747.00';'4921747.10';'4921747.20'},'FontSize',6);
%title('Y COORDINATE')
%xlabel('DOY')
ylabel('Y (m)','FontSize',10)

```



```

%legend('Y COORDINATE')
%print -dbmp HUANY.bmp
%*****產生 z 繪圖檔案*****
nzz=sprintf('c:\\bigsteel\\zz_%s_%03.0f.txt',model,doy);
fid=fopen(nzz);
gg=fid;
zzzz=fread(gg,inf);
fclose(gg);
%kkkk=round(length(zzzz)/30)

HUANz=sprintf('c:\\bigsteel\\%s_%s_%sz.txt',station,session,model);
fid=fopen(HUANz,'a')
zHUAN=fid
HUANzz=sprintf('c:\\bigsteel\\%s_%s_%s_z_PLOT.txt',station,session,model);
fid=fopen(HUANzz,'a')
zHUAN2=fid

for jjj=1:1:jjj;
    zzz1=char(zzzz(49.*(jjj-1)+7:49.*(jjj-1)+10));
    zzz2=str2num(char(zzzz(49.*(jjj-1)+13:49.*(jjj-1)+29)));
    zzz3=str2num(char(zzzz(49.*(jjj-1)+32:49.*(jjj-1)+48)));
    HUANCMP=strcmp(zzz1, station)
    if HUANCMP==1
        fprintf(zHUAN,'%04.0f %03.0f %08.4f %s ',year,doy,DOYY3,session)
        fprintf(zHUAN2,'%04.0f %03.0f %08.4f ',year,doy,DOYY3)
        fprintf(zHUAN,'%s',zzz1)
        fprintf(zHUAN,'%19.4f',zzz2)
        fprintf(zHUAN2,'%19.4f',zzz2)
        fprintf(zHUAN,'%15.4f\n',zzz3)
        fprintf(zHUAN2,'%15.4f\n',zzz3)
    else
        continue
    end
end

```



```

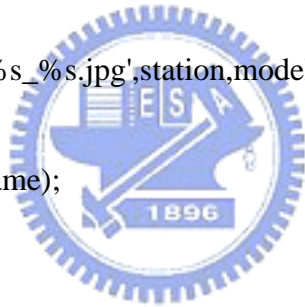
end

station
fclose(zHUAN);
fclose(zHUAN2);
load (HUANzz);
subplot(4,1,4),plot(YMSM_0_saas_z_PLOT(:,3),YMSM_0_saas_z_PLOT(:,4),'r-')
axis([2003,2004,2696033.45,2696033.65]);
set(gca,'YTick',[2696033.45 2696033.55 2696033.65]);
set(gca,'YTickLabel',{'2696033.45';'2696033.55';'2696033.65'},'FontSize',6);

%title('Z COORDINATE')
xlabel('DOY','FontSize',10)
ylabel('Z (m)','FontSize',10)
%legend('Z COORDINATE')
filename=sprintf('c:\\bigsteel\\%s_%s.jpg',station,model)
%print -dbmp HUANz.bmp
print (figure(1),'-djpeg90',filename);
close(1)

delete('c:\\bigsteel\\h*.txt')
delete('c:\\bigsteel\\x*.txt')
delete('c:\\bigsteel\\y_*.txt')
delete('c:\\bigsteel\\yy_*.txt')
delete('c:\\bigsteel\\z*.txt')
end
%---return

```



附錄 I 內政部衛星追蹤站三維坐標變動量

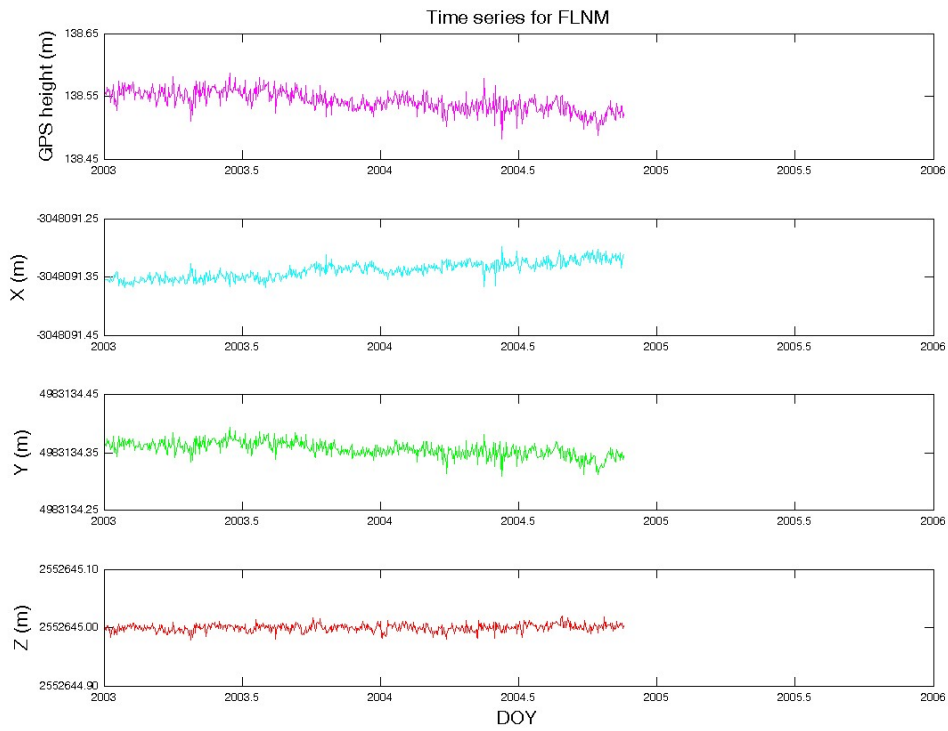


圖 I-1 內政部鳳林衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)

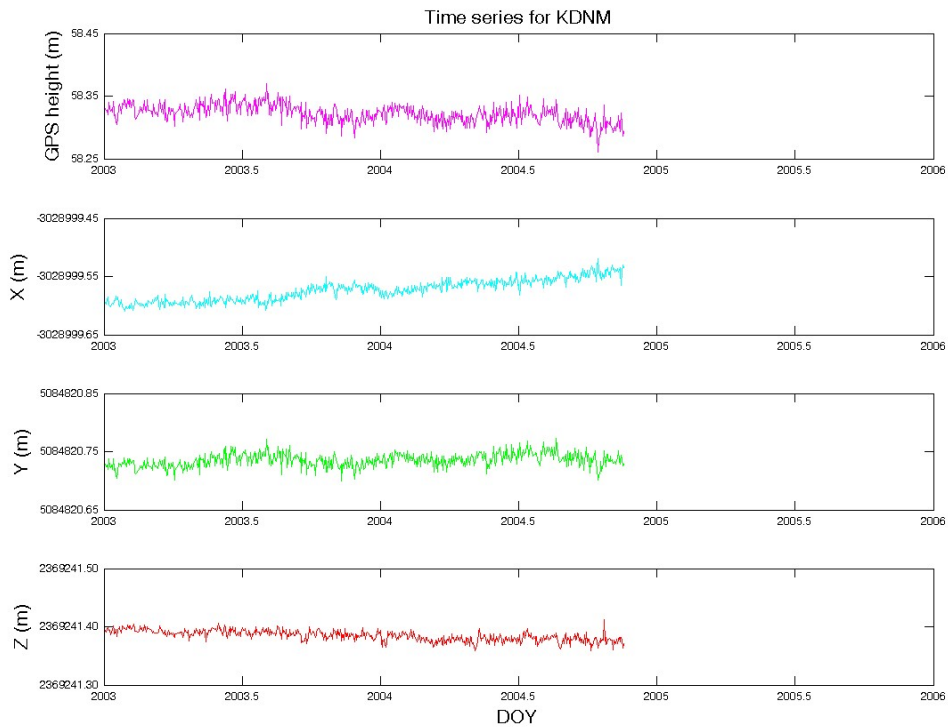


圖 I-2 內政部墾丁衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)

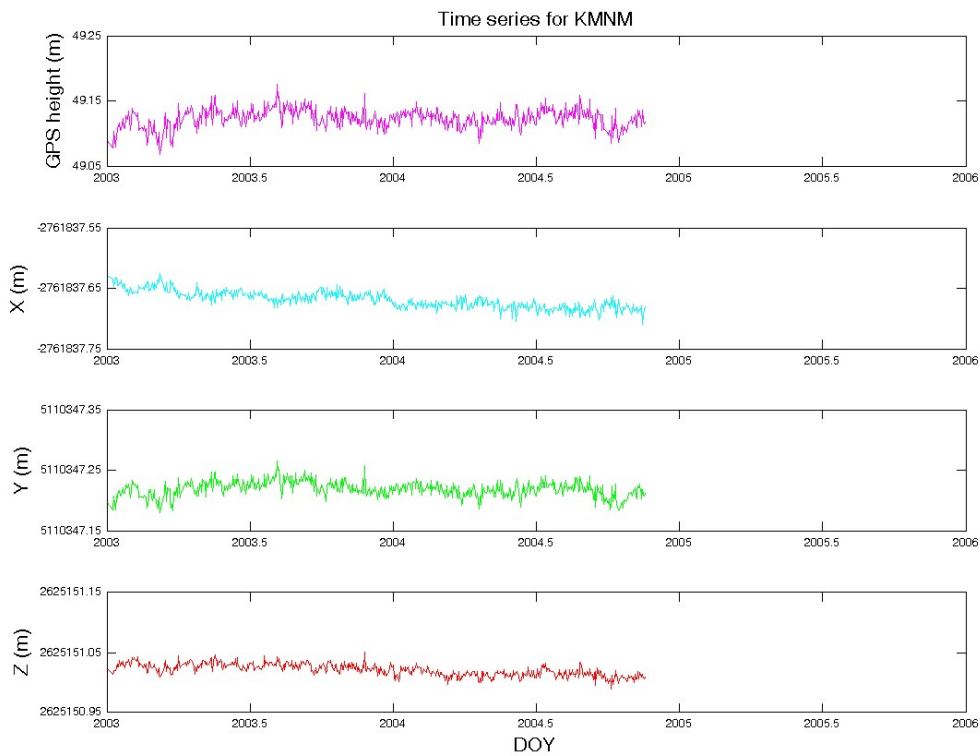


圖 I-3 內政部金門衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)

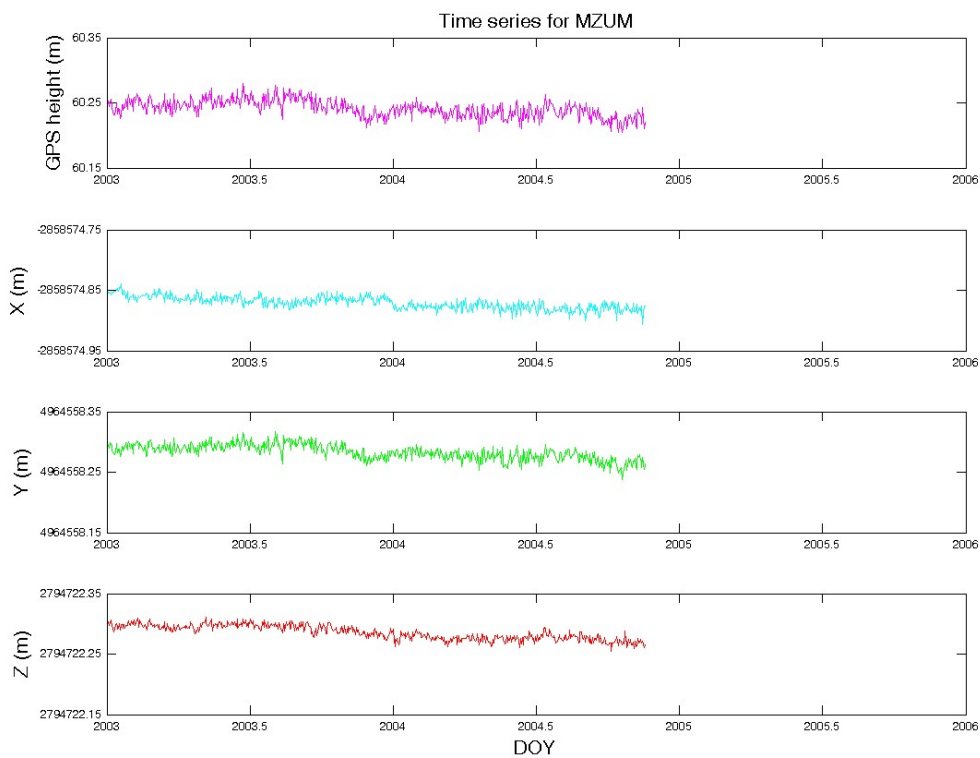


圖 I-4 內政部馬祖衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)

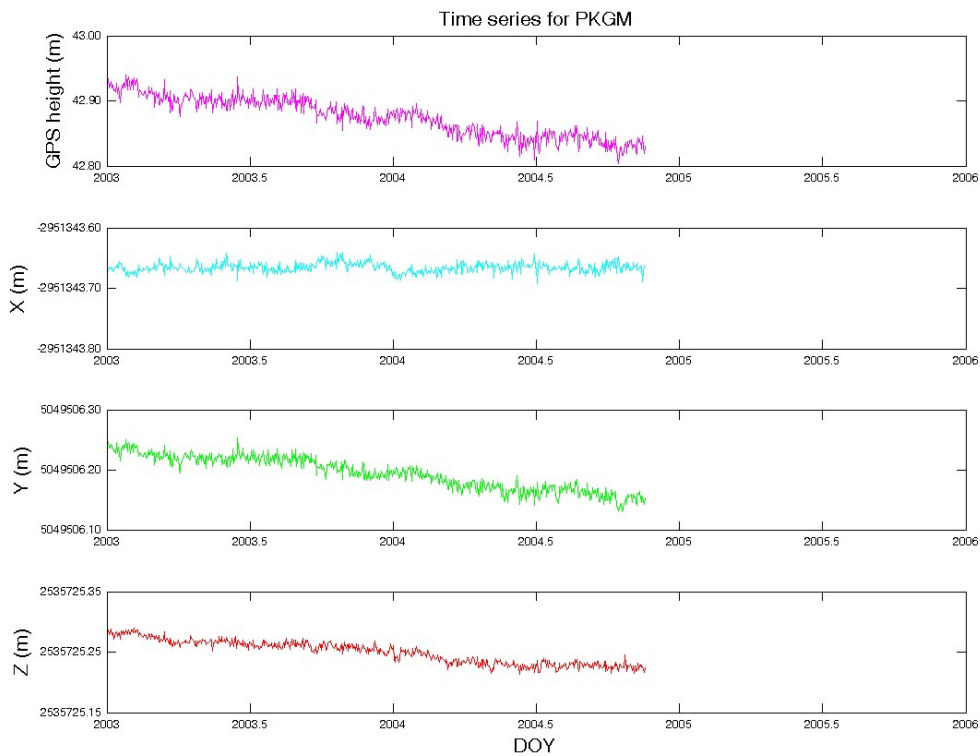


圖 I-5 內政部北港衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)

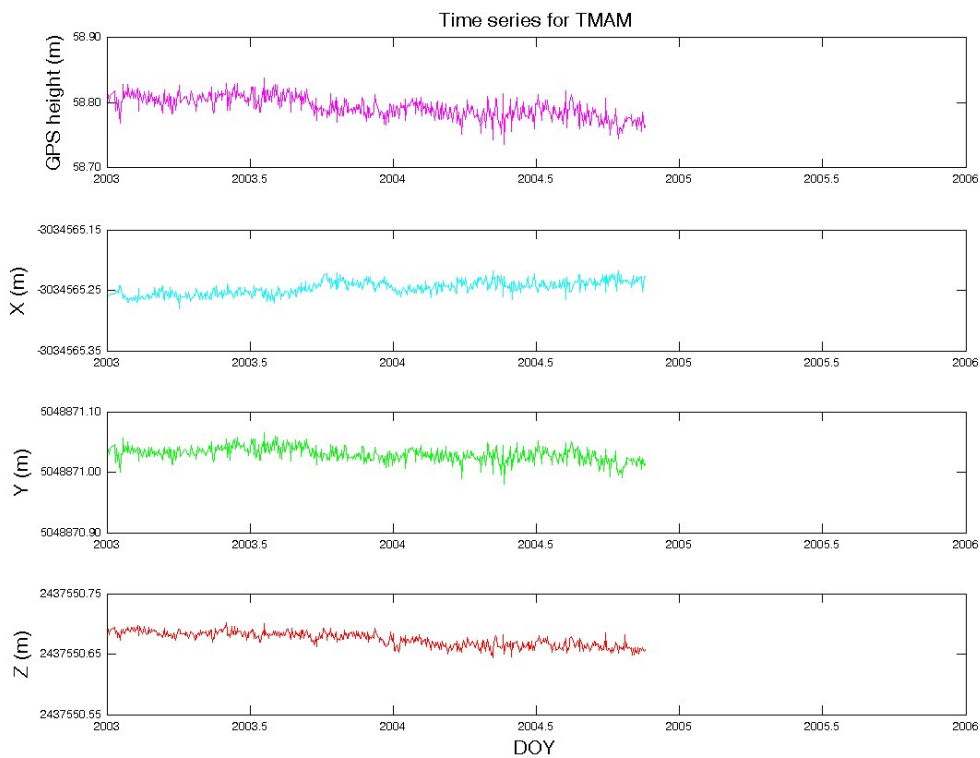


圖 I-6 內政部太麻里衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)

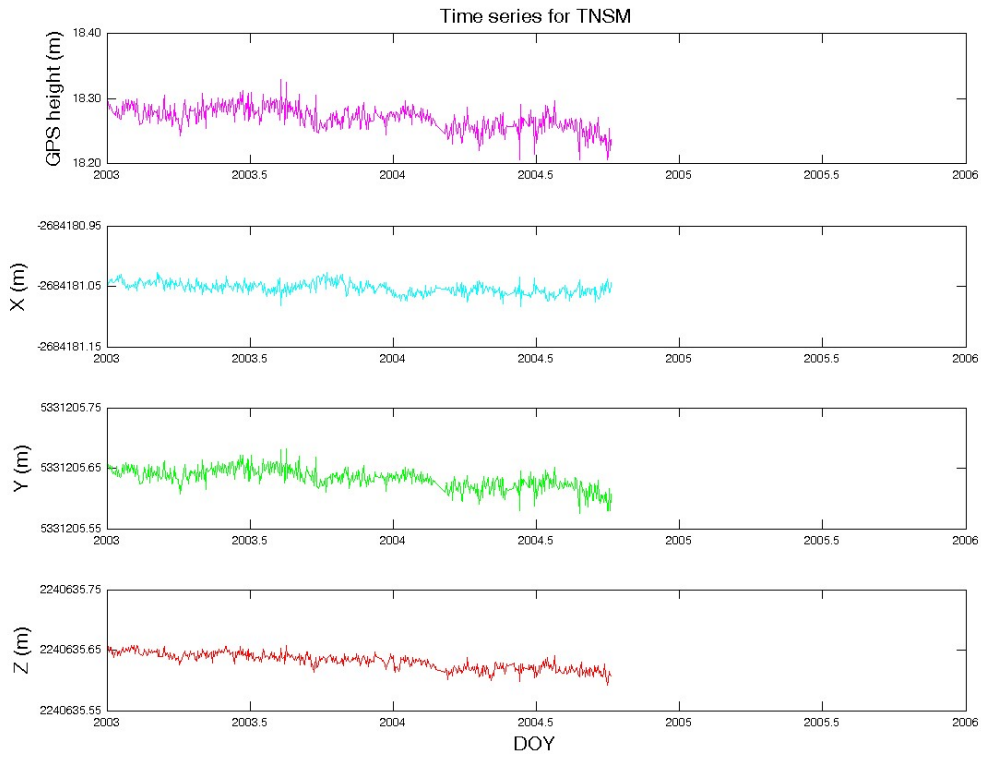


圖 I-7 內政部東沙衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)

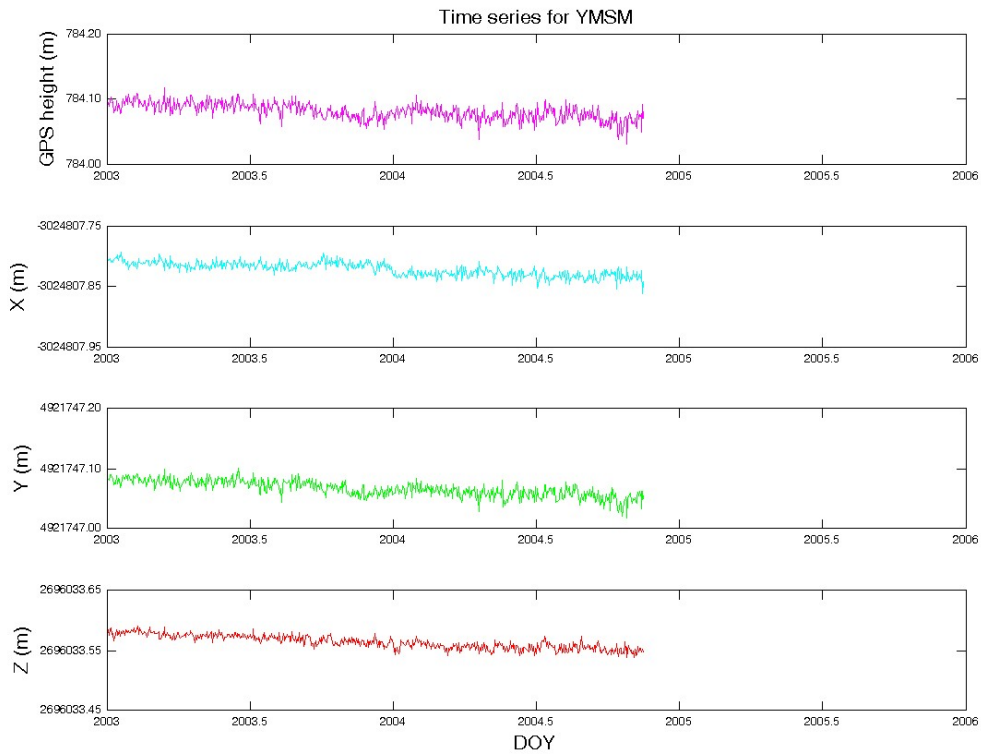


圖 I-8 內政部陽明山衛星追蹤站的三維坐標變動量 (2003~2004 年)

附錄 J 常用計量學術語

這裡所採用之計量學術語，係依據 1993 年國際度量衡局、國際電工委員會、國際標準組織、國際法定計量組織、國際理論化學與應用化學聯合會、國際理論物理與應用物理聯合會及國際臨床化學聯合會等 7 個國際組織，合作編定之國際通用計量學基本術語中，常用且重要之計量術語。

(1) (可量測的) 量

一種現象、物體或物質的屬性，可以用定性區分及定量確定。

(2) 基本量

量制中約定相互獨立的量。

(3) 導出量

量制中以基本量的函數所定義的量。

(4) 國際單位制

由國際度量衡大會所採用與推薦的一致單位制。

(5) 倍數 (量測) 單位

依約定換算，由已知單位形成更大的單位。

(6) 分數 (量測) 單位

依約定換算，由已知單位形成更小的單位。

(7) 量測

以確定量值為目的之組合操作。

(8) 計量學

量測的科學。

(9) 量測原理

量測的科學基礎。

(10) 受測量

接受量測的特定量。

(11) 量測的準確度

量測的結果與受測量真值之間的一致程度。

(12) (量測結果的) 重複性

在相同量測條件下，對同一受測量連續量測所得結果間的一致性。

(13) (量測結果的) 重現性

在量測條件變化下，對同一受測量的量測結果間的一致性。

(14) 量測不確定度

與量測結果相關的參數，用以表示合理地賦予受測量值的分散程度。

(15) 修正因子

為補償系統誤差而對未修正量測結果相乘的數字因子。

(16) 量測儀器

進行量測之單獨設備或其輔助裝置。

(17) 量測系統

執行特定量測之完整性量測儀器及其他設備。

(18) 量程

標稱範圍兩極限差的模數。

(19) 標稱值

量測儀器經修整或近似的特性值，提供並指引其使用。

(20) 靈敏度

一部量測儀器響應中的變化除以激勵中對應的變化。

(21) 鑑別力

使量測儀器產生未偵測到響應變化的最大激勵變化，這種激勵變化之發生是緩慢的及單值的。

(22) (顯示裝置的) 解析度

能夠有效辨別顯示裝置最小指示值之能力。

(23) 穩定性

量測儀器維持其計量特性恆定不變的能力。

(24) 漂移

量測儀器計量特性緩慢的變化。

(25) 準確度等級

符合一定計量學要求，並使其誤差維持在特定極限內量測儀器的等級。

(26) (量測儀器的) 偏差

量測儀器指示值的系統誤差。



(27) (量測) 標準

用以定義、實現、保存或重現的一個單位，或以一個或多量值作為參考的實物量具、量測儀器、參考物質或量測系統。

(28) 國際 (量測) 標準

經國際協議認可的標準，作為有關量其他標準定值的依據。

(29) 國家 (量測) 標準

經國家認可的標準，並在該國內作為有關量其他標準定值的依據。

(30) 原級標準

指定或普遍承認的標準，具有最高計量特質，該量值不需參考相同量的其他標準。

(31) 次級標準

通過與相同量的原級標準比對而定值的標準。

(32) 追溯性

通過具有規定的不確定度連續比較鏈，使量測結果或標準量值能夠與規定的參考標準（通常是國家或國際標準）連貫之特性。

(33) 校正

在規定條件下，為確認量測儀器或量測系統所指示的量值、實物量具或參考物質所代表的量值，與相對應由量測標準實現量值之組合操作。

(34) 參考物質

具有一種或多種充份均勻及極易確定的特性值，用以校正器具、評鑑量測方法或賦予材料定值的材料或物質。

(35) 驗證參考物質

具有證書的參考物質，其一個或多個特性值由某個程序所驗證，使其可追溯到用特性值的單位，其每項驗證值都具有信賴水準的不確定度。

作者簡歷



姓名：葉大綱 (Ta-Kang Yeh)

出生地：台北市

生日：民國 64 年 1 月 14 日

地址：台北市松山區光復北路 100 巷 24 號 4 樓

電話：(02)2578-0884、0921691946

E-mail：BigSteel@itri.org.tw

學歷：國立交通大學 土木工程學系 學士 (86 級)

國立交通大學 土木工程學系 測量組 碩士 (88 級)

國立交通大學 土木工程學系 測量及空間資訊組 博士班肄業

經歷：工業技術研究院 量測技術發展中心 副工程師

資格：測量技師

中等學校測量科實習教師

校正/測試實驗室負責人

中華民國實驗室認證體系評審員

學術著作目錄

(A) Journal papers

- Chen, C. S., Y. J. Chen, T. K. Yeh, 2000. The Impact of GPS Antenna Phase Center Correction on Positioning Accuracy, *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, No.1, pp.1~22.
- Chen, C. S., T. K. Yeh, 2002. A Study on Enhancing Precision of GPS Positioning Using the Short Range Distance Baseline Field, *Journal of Surveying Engineering*, American Society of Civil Engineering, Vol.128, No.1, pp.21~38.
- 李瓊武、葉大綱、王傳盛、張明偉，2002。全球定位系統接收儀校正系統建立之探討，*測量工程*，第44卷，第1期，pp.25~36。
- 葉大綱、王傳盛、李瓊武，2002。GPS觀測資料品質影響相對定位精度之研究，*地籍測量*，第21卷，第2期，pp.14~27。
- 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，pp.127~141。
- 葉大綱、李瓊武、張明偉、游輝欽，2003。GPS接收儀校正網ITRF坐標不確定度之研究，*量測資訊*，第89期，pp.52~58。
- 葉大綱、李瓊武、陳春盛，2003。由未差分的GPS相位資料推求接收儀時錶誤差之研究，*地籍測量*，第22卷，第2期，pp.20~32。
- 葉大綱、李瓊武、游輝欽，2004。以零次差分GPS法進行標準時頻傳遞之研究，*量測資訊*，第97期，pp.24~29。
- 葉大綱、李瓊武，2004。GPS校正系統之應用與未來展望，*量測資訊*，第98期，pp.13~16。
- Yeh, T. K., C. S. Chen, C. W. Lee, 2004. Sensing of Precipitable Water Vapor in Atmosphere Using GPS Technology, *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, No. 4, pp.1~8.
- Yeh, T. K., C. W. Lee, C. S. Chen, 2004. Construction and Uncertainty Evaluation of a Calibration System for GPS Receivers, *Journal of Geodesy*, (submitted).
- Chen, C. S., T. K. Yeh, F. L. Tsai, 2004. Clarifying the Relationship between the Quality of GPS Data and the Precision of Positioning, *Journal of the Chinese*

Institute of Engineers, (submitted).

(B) Conference Papers

陳春盛、葉大綱、李瓊武，1999。以觀測量不等權法處理GPS觀測資料之研究，第十八屆測量學術及應用研討會，pp.119~128。

葉大綱、陳春盛，1999。『測量實習』評分方式之探討-以經緯儀測量為例，第十八屆測量學術及應用研討會，pp.989~998。

Chen, C. S., T. K. Yeh, 2000. A Study on the Short Range Baseline Precision of the GPS Surveying Using the Baseline Length of the ME5000 as Reference, Gravity Geoid and Geodynamics 2000 - GGG2000 Conference, July 31 - August 4, Banff, Alberta, Canada.

葉大綱、王傳盛、李瓊武，2001。GPS觀測資料品質影響基線解算成果之研究，第二十屆測量學術及應用研討會，pp.489~496。

李瓊武、張明偉、王傳盛、葉大綱，2001。大地測量距離量測設備校正與追溯鏈之探討，第二十屆測量學術及應用研討會，pp.497~504。

李瓊武、葉大綱、王傳盛、張明偉，2001。全球定位系統接收儀校正系統建立之探討，第六屆中華民國實驗室管理與認證論文發表會，pp.95。

葉大綱、陳春盛、王傳盛、李瓊武，2002。基站型GPS接收儀定位精度綜合評估，第二十一屆測量學術及應用研討會，pp.651~658。

李瓊武、葉大綱、王傳盛、張明偉，2002。NML校正網ITRF坐標不確定度之研究，第二十一屆測量學術及應用研討會，pp.521~528。

王傳盛、劉說安、葉大綱、李瓊武，2002。利用GPS全球定位系統估算大氣延遲並回饋定位精度之研究，第二十一屆測量學術及應用研討會，pp.793~797。

陳鶴欽、劉至忠、曾德福、葉大綱、陳春盛，2002。制定國家級GPS接收儀檢定標準作業規範之研究，第二十一屆測量學術及應用研討會，pp.783~791。

Yeh, T. K., C. W. Lee, G. S. Peng, 2002. Study on the Establishment of GPS Receivers Calibration System and its Uncertainties of ITRF Coordinates, Oral Presentation, Joint BIPM-NPL Workshop on the Impact of Information Technology in Metrology, September 16 - September 18, Teddington, United Kingdom.

Lee, C. W., T. K. Yeh, C. S. Wang, M. W. Chang, 2002. Study on Precipitable Water Vapor in Atmospheric by Using GPS, 4th International Symposium on

Humidity and Moisture - ISHM 2002 Taiwan, September 16 - September 19, Taipei, Taiwan, pp.520~523.

葉大綱，2002。整合RTK與GSM應用於精密動態定位與導航監控派遣，2002 中華地理資訊學會年會暨學術研討會，pp.B-44。

葉大綱、李瓊武，2002。由未差分的GPS相位資料推求接收儀時錶誤差淺談藉由頻率傳遞的GPS追溯鏈，第五屆GPS衛星科技研討會，pp.139~147。

李瓊武、葉大綱、張明偉，2002。GPS靜態及動態定位校正系統不確定度之研究，第四屆海峽兩岸計量科技學術研討會，pp.93。

Yeh, T. K., C. S. Chen, 2003. Study on the Relation between the Quality of GPS Observations and the Precision of Relative Positioning, IUGG XXIII General Assembly, June 30 - July 11, Sapporo, Japan, pp. A227.

Lee, C. W., T. K. Yeh, G. S. Peng, 2003. Traceability in Metrology and Uncertainty Evaluation of a Calibration System for GPS Receivers, SPIE – The International Society for Optical Engineering, August 3 - August 8, San Diego, California, USA, pp.410~418.

黃偉城、葉大綱、劉美利、陳春盛，2003。GPS接收儀檢校各項改正軟體最佳化之整合研究，第二十二屆測量學術及應用研討會，pp.349~357。

李瓊武、葉大綱、游輝欽、張明偉，2003。國家度量衡標準實驗室GPS接收儀定位校正系統建立之研究，第二十二屆測量學術及應用研討會，pp.475~482。

葉大綱、陳春盛，2004。接收儀時錶誤差影響GPS相對定位精度之研究，第四屆海峽兩岸測繪發展研討會，8月16-18日，長春市，吉林省，中國，pp.55~56。

Yeh, T. K., C. S. Chen, F. L. Tsai, C. W. Lee, 2004. Study on the Relation between the Quality of GPS Data and the Precision of Positioning, Gravity, Geoid and Space Missions – GGSM 2004, August 30 - September 3, Porto, Portugal, pp.77.

葉大綱、王傳盛、王成機、陳春盛、李瓊武，2004。內政部衛星追蹤站觀測資料品質先期監控系統，第二十三屆測量學術及應用研討會，pp.507~513。

王傳盛、劉說安、王成機、李瓊武、葉大綱，2004。季節性氣候變化影響GPS衛星定位精度之研究，第二十三屆測量學術及應用研討會，pp.551~559。

(C) Technical Reports

李瓊武、王傳盛、葉大綱、張明偉，2000。全球定位系統GPS定位準確度之初步

研究，07389-0097，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

葉大綱，2001。Bernese研究軟體應用及基線解算精度研究，07390-0073，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

彭國勝，呂錦華，張明偉，王傳盛，葉大綱，李瓊武，2001。長度量測導論等 8 單元，07590-0115，工業技術研究院量測技術發展中心。

王傳盛，張明偉，葉大綱，李瓊武，2001。電子距儀校正技術等 4 單元，07590-0117，工業技術研究院量測技術發展中心。

王傳盛、李瓊武、葉大綱，2001。GPS 資料品質及 GPS 天線相位中心研究，07390-0186，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

李瓊武、葉大綱、王傳盛、張明偉，2002。GPS 接收儀時頻分析及定位追溯研究，07391-0002，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

李瓊武、葉大綱、王傳盛、張明偉，2002。GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告，07391-0043，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

彭國勝、李瓊武、張文成、葉大綱，2002。差分全球衛星定位系統資訊即時廣播多目標應用系統，07391-0059，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

李瓊武、王傳盛、葉大綱、張明偉，2002。GPS 靜態及動態定位校正系統校正程序，07391-0086，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

游輝欽、葉大綱、李瓊武，2002。GPS 資料庫建立及網路服務，07391-0217，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

葉大綱、李瓊武、游輝欽，2002。GPS 定位追溯性及時頻校正之研究，07391-0273，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

張明偉、葉大綱、李瓊武，2003。利用 GPS 推估大氣濕延遲以提升定位品質，07392-0123，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

李瓊武、葉大綱、張明偉、游輝欽，2003。GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告，07391-0043，第二版，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

李瓊武、葉大綱、游輝欽、張明偉，2003。GPS 靜態及動態定位校正系統校正程序，07391-0086，第二版，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

李瓊武、游輝欽、張明偉、葉大綱，2003。電子測距儀校正系統評估報告，07384-0114，第五版，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

李瓊武、游輝欽、張明偉、葉大綱，2003。電子測距儀校正程序，07381-0007，第六版，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

王傳盛、葉大綱，2004。Bernese軟體BPE自動化計算之研究，07393-0063，工業技術研究院量測技術發展中心技術報告。

