

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

GPS 接收儀檢定指標及觀測資料品質之研究



研究生：蔡福利

指導教授：陳春盛

中華民國九十三年六月

A study on the GPS data quality and inspective
indexes of GPS receivers
GPS 接收儀檢定指標及觀測資料品質之研究

研究生：蔡福利

Student : Fu-Li Tsai

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



A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master

in

Civil Engineering

June 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China.

中華民國九十三年六月

GPS 接收儀檢定指標及觀測資料品質之研究

學生：蔡福利

指導教授：陳春盛 博士

國立交通大學土木工程學系

摘 要

為了探討GPS觀測資料品質與基線解算精度間之關聯性，本研究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。

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GPS校正場進行，將六部儀器同時整置在GPS校正基樁上，於2004年1月5日至1月8日連續同步接收72小時。以Bernese 4.2版軟體及Teqc軟體來進行觀測資料品質的解算，並蒐集IGS日本USUD站、台灣TWTF以及內政部北港PKGGM站的GPS觀測資料，約制上述三衛星追蹤站坐標作為主站，以Bernese 4.2版軟體進行不同距離的基線解算。

整體來看，以接收儀內部時鐘頻率穩定度影響定位精度為最大，次之為週波脫落及多路徑效應，最後則為接收儀內部時鐘偏移量。在內部時鐘頻率穩定度及週波脫落這兩項指標上表現較佳的接收儀，其坐標重現性的定位精度也較其它接收儀來得好。

A study on the GPS data quality and inspective indexes of GPS receivers.

Student : Fu-Li Tsai

Advisor : Dr. Chun-Sung Chen

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

For discussing the relation between the data quality and the precision of the baseline. In this project , five indexes are chosen for discussing GPS data quality. They are clock offset, clock stability, multipath on L1, multipath on L2 and observations by cycle slips (o/slips).

For reducing common errors, six types of GPS receivers are chosen and set up at Ultra-Short Distance Network of NML (National Measurement Laboratory, Taiwan) during three days. The first three indicators are calculated by Teqc software and the last two indicators are solved by Bernese software.

Moreover, the observations of three GPS tracking stations are obtained through internet, short baseline (about 25 km), middle baseline (about 150 km) and long baseline (around 2000 km) are processed by Bernese software.

We found that clock stability and o/slips were very important factors for the positioning. Clock offset and multipath effects would not be the critical factors to influence the GPS results. We hope the information is helpful for GPS users when they decide to purchase any GPS receiver and to process GPS data.

誌謝

在交大研究所的這兩年，讓我學到了很多東西，不管是在做學問，或者是做人處世上。而這篇論文的完成，也代表著我的學生生涯告一段落，得踏入現實社會中，還真是有點不捨。這兩年來，有著許多難忘的回憶。首先要感謝的是陳春盛老師、黃金維老師、史天元老師以及李振燾老師在課業上給我們指導。

另外也感謝已畢業的美利姐及蕙菁姐在我研一時，對我課業及事務上的幫忙。還有林進福、支秉榮、郭朗哲、賴子銘、陳威誠、施介嵐、呂誌強、施亘昶、許淑珍以及李宜珊等幾位好同學，大家在這兩年來彼此互相照料，才能熬過這艱辛的兩年。最後還要感謝研一的學弟鄭印淞、鍾易達及粘慕非，謝謝你們在這一年來幫我們二年級的分擔解勞，也希望你們明年可以順利如期畢業。

這篇論文的完成主要感謝我的指導老師 陳春盛教授，也感謝博士班的葉大綱學長這一年來對我的幫忙，對我所提的問題總是有問必答。在儀器借用方面，感謝內政部土地測量局及國防科技大學林思源學長的幫忙；實驗場地方面則感謝新竹工業技術研究院的量測技術發展中心的幫助。最後還要感謝口試委員楊潔豪校長、李振燾老師以及李瓊武博士對本論文的不吝指教。

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章 前言.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 研究方法.....	3
1-3 研究內容.....	6
第二章 理論基礎.....	7
2-1 GPS 相對定位原理.....	7
2-2 資料品質分析指標.....	11
2-2-1 多路徑效應.....	11
2-2-2 周波脫落.....	12

2-2-3 接收器內部時鐘與 GPS 時鐘的平均偏差量.....	13
2-2-4 接收儀內部時鐘頻率穩定度.....	14
2-3 GPS 接收儀量測系統追溯.....	15
第三章 實驗說明及資料處理.....	17
3-1 試驗場地說明.....	17
3-2 實驗步驟說明.....	18
3-3 資料處理.....	21
3-3-1 TEQC 使用簡介.....	21
3-4-2 Bernese 4.2 版軟體介紹及計算流程.....	22
第四章 研究成果及分析.....	26
4-1 GPS 接收儀指標計算與分析.....	26
4-1-1 TEQC 解算資料訊號品質成果.....	26
4-1-2 Bernese 4.2 版解算資料訊號品質成果.....	29
4-2 基線計算與分析.....	32
4-2-1 長距離基線精度分析.....	32
4-2-2 中距離基線精度分析.....	33
4-2-3 短距離基線精度分析.....	34
4-2-4 綜合評估分析.....	35
4-3 三維坐標計算與分析.....	36

4-3-1 長距離相對定位坐標分析.....	36
4-3-2 中距離相對定位坐標分析.....	39
4-3-3 短距離相對定位坐標分析.....	42
4-4 品質指標與相對定位精度之分析.....	46
第五章 結論與建議.....	50
參考文獻.....	53
附錄 A GPS 觀測資料指標解算成果.....	56
附錄 B 長、中、短基線相對定位基線解算成果.....	61
附錄 C 整置樁位坐標解算成果.....	64
附錄 D 長、中、短基線 N、E、h 坐標解算成果.....	67
作者簡歷.....	76

表 目 錄

表 3-1 測試儀器廠牌型式及整置樁位一覽表	19
表 4-1 各種廠牌型號接收儀之 MP1、MP2 及 o/slps	27
表 4-2 各種廠牌型號接收儀內部時鐘的平均偏差量及穩定度	29
表 4-3 各種廠牌型號儀器長距離基線定位精度	32
表 4-4 各種廠牌型號儀器中距離基線定位精度	33
表 4-5 各種廠牌型號儀器短距離基線定位精度	34
表 4-6 各型儀器長距離定位 N、E、h 三軸坐標標準差及三維合成量	36
表 4-7 各型儀器中距離定位 N、E、h 三軸坐標標準差及三維合成量	39
表 4-8 各型儀器短距離定位 N、E、h 三軸坐標標準差及三維合成量	42
表 4-9 4 小時觀測品質指標及長、中、短距離相對定位精度 (一)	46
表 4-10 2 小時觀測品質指標及長、中、短距離相對定位精度	47
表 4-10 4 小時觀測品質指標及長、中、短距離相對定位精度 (二)	48

圖 目 錄

圖 1-1	TWTF 及 PKGM 追蹤站分布圖	4
圖 1-2	USUD 追蹤站分布圖	4
圖 2-1	GPS 衛星相對定位.....	8
圖 2-2	時鐘偏差量及頻率穩定度解算流程圖	14
圖 2-3	GPS 接收儀量測系統追溯圖.....	16
圖 3-1	強制定心樁的定平機制	17
圖 3-2	國家 GPS 校正場平面示意圖.....	18
圖 3-3	測試所採用的儀器	19
圖 3-4	外業觀測情形	19
圖 3-5	Bernese4.2 版處理 GPS 衛星資料的計算流程.....	25
圖 4-1	各種廠牌型號接收儀之 MP1 資料品質	27
圖 4-2	各種廠牌型號接收儀之 MP2 資料品質	28
圖 4-3	各種廠牌型號接收儀之 o/slps 資料品質.....	28
圖 4-4	各種廠牌型號接收儀內部時鐘的平均偏差量	30
圖 4-5	各種廠牌型號接收儀內部時鐘的穩定度	30
圖 4-6	各種廠牌型號儀器長距離基線定位精度	33
圖 4-7	各種廠牌型號儀器中距離基線定位精度	34

圖 4-8 各種廠牌型號儀器短距離基線定位精度	35
圖 4-9 AOA BenchMark 長距離定位的三軸坐標變化量	37
圖 4-10 Javad Odyssey 長距離定位的三軸坐標變化量	37
圖 4-11 Leica SR530 長距離定位的三軸坐標變化量	37
圖 4-12 Leica SR530 長距離定位的三軸坐標變化量	38
圖 4-13 NovAtel 502 長距離定位的三軸坐標變化量	38
圖 4-14 Ashtech Z-Surveyor 長距離定位的三軸坐標變化量	38
圖 4-15 AOA BenchMark 中距離定位的三軸坐標變化量	40
圖 4-16 Javad Odyssey 中距離定位的三軸坐標變化量	40
圖 4-17 Leica SR530 中距離定位的三軸坐標變化量	40
圖 4-18 Leica SR9500 中距離定位的三軸坐標變化量	41
圖 4-19 NovAtel 502 中距離定位的三軸坐標變化量	41
圖 4-20 Ashtech Z-Surveyor 中距離定位的三軸坐標變化量	41
圖 4-21 AOA BenchMark 短距離定位的三軸坐標變化量	43
圖 4-22 Javad Odyssey 短距離定位的三軸坐標變化量	43
圖 4-23 Leica SR530 短距離定位的三軸坐標變化量	43
圖 4-24 Leica SR9500 短距離定位的三軸坐標變化量	44
圖 4-25 NovAtel 502 短距離定位的三軸坐標變化量	44
圖 4-26 Ashtech Z-Surveyor 短距離定位的三軸坐標變化量	44

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，為了達到高精度、高準確度的定位成果，確保測量定位品質，並符合ISO品保要求，其校正追溯性已漸受各界重視【1】【2】。

除此以外，GPS不僅可得到平面座標，同時還有垂直座標，因此亦經常應用在垂直系統之監測與測量，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，原因可能是對流層折射效應不易改正、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【3】【4】。

國家度量衡標準實驗室已完成建置GPS定位校正網，應用高準確度校正網並追溯至國際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方法之一。除了利用坐標比對進行追溯之外，以頻率傳遞的GPS追溯鏈也是可行的方法【5】。

由於全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 自一九七八年發射第一顆試驗衛星以來，歷經二十餘年的研究，無論在硬體或軟體方面皆有長足的進步。而在進行GPS觀測的過程中所得到的觀測數據，會因為某些原因而導致品質不符合需求。這些誤差在經過許多學者的多年研究下，已可經由數學模式使其影響降至最低【6】。不過對於定位精度與觀測資料品質之間關聯性的研究，却較少有聽聞。

所以本研究採用了五項GPS觀測資料品質指標，分別是L1載波的多路徑效應（MP1）、L2載波的多路徑效應（MP2）、『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』（o/slps）、接收器內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量（Offset for Reference Epoch，tp）以及接收儀內部時鐘的穩定度（fp）【7】，來分析GPS觀測資料品質與基線解算精度之相關性，期望能提供未來的使用者在選用GPS量測設備之參考，並期望能透過GPS觀測資料的品質監控，進而提昇GPS量測之精度及可靠度。



1-2 研究方法

在本研究中，為了要探討GPS觀測資料品質與基線解算精度之相關性，吾人在工業技術研究院量測技術發展中心的GPS校正場進行試驗，總共測試了5種廠牌6種型號的儀器：AOA BenchMark（為工研院衛星追蹤站），Leica SR9500（國防科技大學的儀器），Leica SR530，Javad Odyssey，NovAtel 502（以上三台為內政部土地測量局的儀器），Ashtech Z-Surveyor（工研院的儀器）。因為接收地點都在國家GPS校正場，所以各接收儀的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。

本研究的外業於2004年1月5日至2004年1月8日間進行，取樣間隔設定為30秒，衛星接收仰角為15度，接收時間為連續接收72小時；在內業計算上，以4小時（符合內政部一等GPS衛星點測量規範）為一時段，劃分為18個區段，再以UNAVCO所研發的Teqc軟體【8】來進行MP1、MP2及o/slps這三項指標的資料解算，以瑞士伯恩大學所研發的Bernese 4.2軟體【9】來進行接收器內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量及接收儀內部時鐘的穩定度解算。

透過網路下載IGS連續追蹤網中的日本USUD衛星追蹤站、台灣TWTF衛星追蹤站以及內政部北港衛星追蹤站的GPS觀測資料，約制上述三站坐標作為主站，分別對各種廠牌型號儀器進行短距離(25 km，對TWTF站)、中距離（150 km，對北港站）、長距離（2000 km，對USUD站）的基線解算，用以評估各型儀器不同基線距離的定位精度。追蹤站位置與實研場地分布如下圖1-1及1-2，圖中TNML代表新竹實驗場所在地。

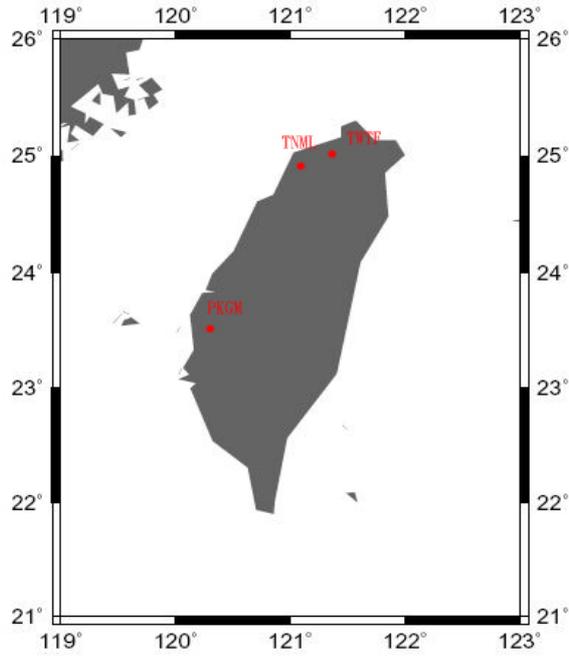


圖1-1 TWTF及PKGM追蹤站分布圖

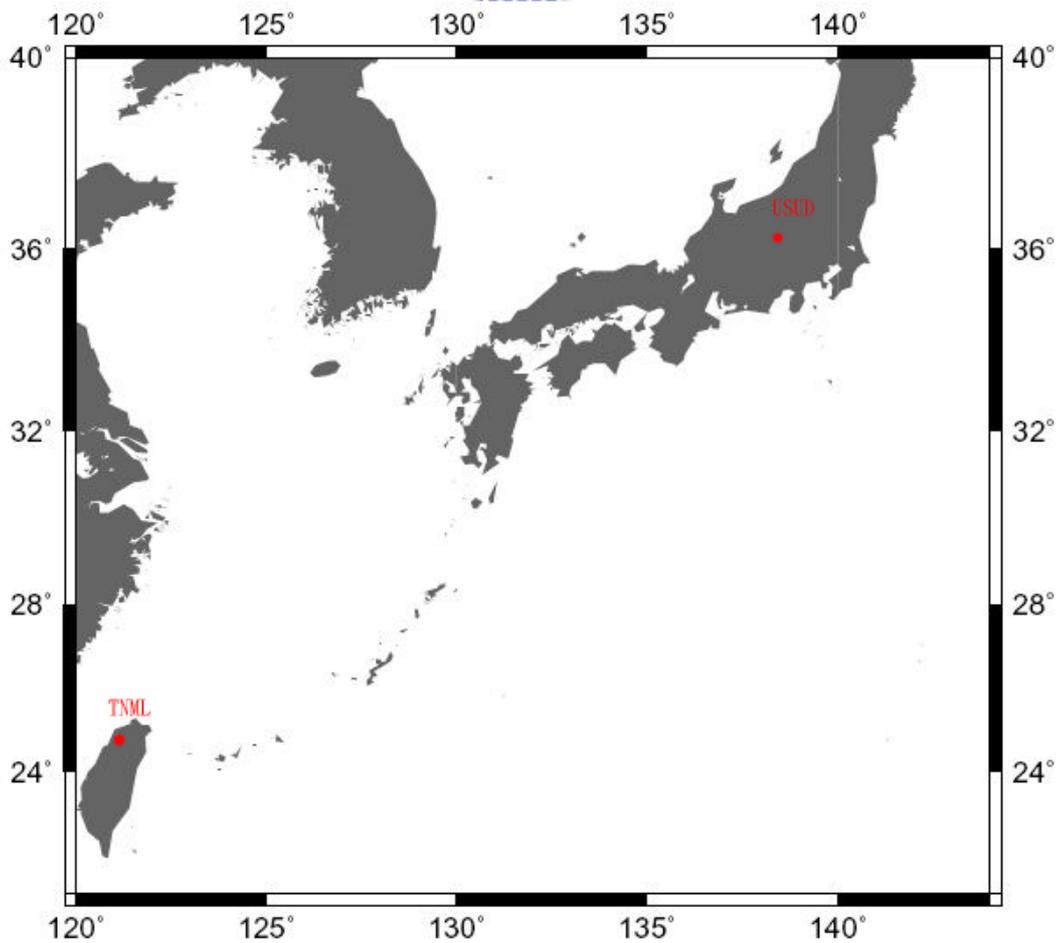


圖1-2 USUD追蹤站分布圖

本論文在資料解算研究上，主要分下列四部分：

第一部分：各種廠牌型號接收儀將所接收到的資料以4小時為一時段，進行上述5項品質指標的解算。

第二部分：各種廠牌型號接收儀將所接收到的資料以4小時為一單位，約制上述三站進行短、中、長距離的基線計算，以求得基線的精度變化。

第三部分：將第二部分所求得的X、Y、Z坐標系統，轉換為台灣2度分帶N、E、H坐標系統，以方便針對平面及高程方向的精度做更進一步的探討。

第四部份：利用第一部分所得的五項指標來分析第二、三部分所解算的成果，來分析GPS觀測資料品質與基線解算精度之相關性。



1-3 研究內容

本文之基本架構共分為五章，各章節的研究內容依序簡要概述如下：

第一章 前言：簡述本研究之主題、研究動機、研究方法及組織架構。

第二章 理論基礎：闡述GPS 相對定位理論及其相關誤差，並介紹接收儀的觀測資料訊號品質指標。

第三章 試驗場及實驗說明：概述本研究的試驗場“新竹工業技術研究院量測中心超短距離基線場”之位置環境概況，說明本研究的實驗步驟及試驗儀器相關資料，並介紹Bernese 軟體及Teqc處理GPS 觀測資料之流程。

第四章 研究成果與分析：首先，評估各種各種廠牌型號接收儀的品質指標；其次，分析短、中、長距離下所解算出來的定位成果差異；最後，再評估不同的品質指標對不同距離基線所造成的影響。

第五章 結論與建議：根據前述之研究過程與結果分析，歸納出數點結論與建議。

第二章 理論基礎

2-1 GPS 相對定位理論

GPS衛星接收儀所記錄的相位觀測量中含有各種誤差，如衛星軌道誤差（Orbit Error）、衛星及接收儀時錶誤差（Clock Error）、電離層延遲誤差（Ionospheric Delay）、對流層延遲誤差（Tropospheric Delay）、固定站座標誤差（Fixed Station Error）、週波脫落（Cycle Slips）、整數週波未定值（Integer Cycle Ambiguity）、雜訊及多路徑效應（Multipath Effect）、天線相位中心變化誤差（Antenna Phase Center Variation）等【10】【11】。

GPS單點定位精度不高的主要原因在於衛星和接收儀的時錶誤差、衛星星曆的誤差，以及大氣層中對流層折射以及電離層折射對於電磁波訊號傳播所造成的時間延遲效應亦影響著GPS測量的定位精度。這些誤差於相對定位時，在每個測站的相位觀測量中也依然存在，但是若兩測站若採取同步觀測，則上述的大部份誤差在進行基線向量計算時，或因誤差大小相同而對消，或因相似而絕大部份已減小，使得殘留下來的誤差已大大減少。因此，相對定位的精度遂大為提高，這也就是相對定位精度會較單點定位為高的主要原因。

GPS相對定位簡單的說，就是求解兩測站之間相對位置的一種定位方法，其目的就是從已知座標之參考點推求出未知點的座標。換句話說，相對定位的目標乃在於決定兩點間之基線向量 ΔR_{AB} ，如圖2-1【12】所示：

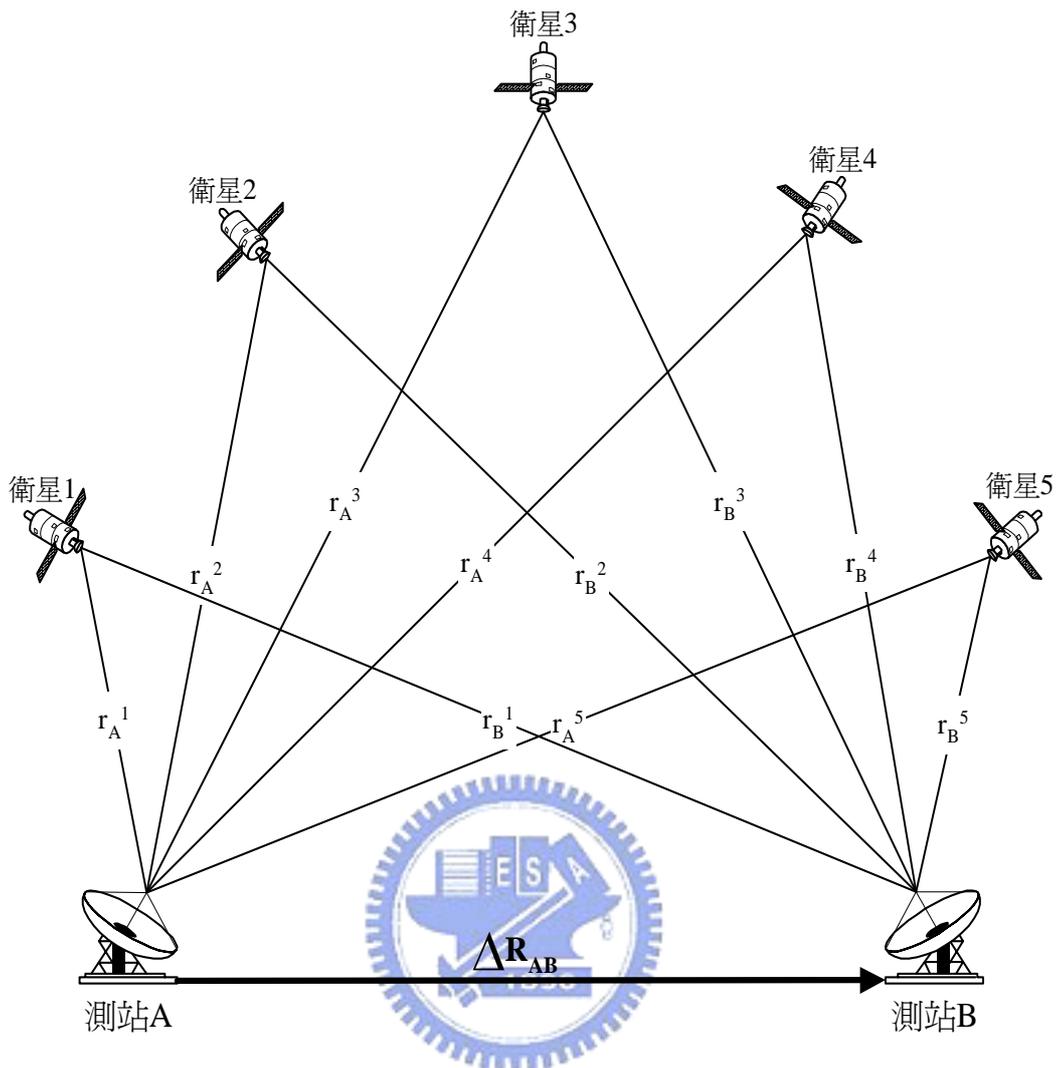


圖 2-1 GPS 衛星相對定位

假設在某一座標系中參考測站A的位置向量 R_A 為已知，若可利用GPS衛星決定出在相同座標系中兩點間的基線向量 ΔR_{AB} ，而根據向量方程式：

$$R_B = R_A + \Delta R_{AB}$$

則可求得在相同座標系中未知測站B的位置向量 R_B ，其中：

$$R_A = R^j - e_A^j r_A^j$$

$$R_B = R^j - e_B^j r_B^j$$

$$\Delta R_{AB} = R_B - R_A = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} = e_A^j r_A^j - e_B^j r_B^j$$

R^j ：為各衛星之位置向量（已知）

e_A^j 、 e_B^j ：為各衛星之單位向量

r_A^j ：為測站 A 至各衛星之距離

r_B^j ：為測站 B 至各衛星之距離

j ：為衛星編號，例如：1、2、3.....

相對定位最有效的方法是在參考點與未知點間作同時觀測，『同時』的意義乃是指參考點與未知點必須有足夠相同時段的觀測時間。而在解算基線向量時，常將原始的相位觀測量進行線性組合而產生新的準觀測量，即所謂的『一次差（Single-Difference）』、『二次差（Double-Difference）』、『三次差（Triple-Difference）』。其主要目的為藉由差分過程來抵銷大部份的系統性誤差，用以提昇求解精度【2】【10】。

基線測量時，接收儀在兩個以上的測站，同時接收相同的GPS衛星之衛星訊號達30分鐘以上到數小時不等。通常基線在10 km 以內者，接收1小時即可，基線愈長則相對其接收時間也需要愈久【1】。基線測量的精度標準誤差小於 $5\text{mm} + 1\text{ppm} * L$ （ L ：距離，單位km），而應用於地殼變動之高精度測量，則要求高達 $0.1\text{ppm} \sim 0.01\text{ppm}$ 之水準【6】。

所以GPS相對定位的優點主要有二：

1. 可消除或減弱一些具有系統性的誤差，如衛星和接收儀的時錶誤差、衛星星曆的誤差、大氣折射誤差等。

2. 可減少平差計算中未知數的數量。

因此，原始觀測量的差分模型在工程應用以及科學研究中，都獲得了廣泛的應用。但是，上述的差分模型也存在著一些值得重視的缺點，主要缺點有三：

1. 原始觀測量原本是獨立的，但經過差分之後，將使得各觀測量間擁有相關性，這種相關性在平差計算中不應被忽視。
2. 在平差計算中，差分法將使得觀測方程式的數目明顯的減少。
3. 在差分的過程中不可避免的將損失一些觀測數據。因此，應用原始觀測量的非差分模型，進行高精度相對定位的研究亦有其應用之價值【10】。



2-2 資料品質分析指標

本研究採用了L1載波的多路徑效應 (MP1)、L2載波的多路徑效應 (MP2)、『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』(o/slps)、接收器內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量 (tp) 以及接收儀內部時鐘的穩定度 (fp) 這五項觀測指標，以它們來分析GPS觀測資料品質與基線解算精度之相關性。這五項指標的說明如下：

2-2-1 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。非直接路徑訊號指的是衛星訊號傳輸過程中經對流層、電離層折射所造成的時間延遲效應(衛星多路徑效應)或接收天線周圍環境經折射干擾造成測站多路徑效應。又可分成L1載波的多路徑效應 (MP1)、L2載波的多路徑效應 (MP2) 兩種【12】。

由於不同路徑長的原因，會使得接收儀天線受到不同路徑訊號之干擾，兩種信號的重疊將會引起相位中心位置的變化，由於直接訊號與反射訊號存在著時間差與相位偏移量，將會導致接收儀無法辨識真正的相位觀測量，嚴重時甚至訊號失鎖產生週波脫落【13】。

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(1)式，此雜訊量在本文中以公尺為單位【12】。
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(2)式，此雜訊量在本文中以公尺為單位【12】。

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

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

上兩式中：

P = 虛擬距離觀測量

Φ = 載波相位觀測量

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

$f_1 = L_1$ 之頻率 = 1575.42MHz

$f_2 = L_2$ 之頻率 = 1227.60MHz

2-2-2 週波脫落

週波脫落簡單的說就是：在相位觀測資料中由於衛星失鎖（Loss oflock）而突然產生的相位跳動。失鎖情況的產生原因可能是：（1）衛星訊號被周遭地物如樹木、建築物……阻隔。（2）由於電離層效應、多路徑效應影響導致訊雜比（Signal-to-Noise Ratio）過低。（3）接收儀本身的問題【13】。

週波脫落現象在載波相位測量中是經常發生的，它對距離觀測的影響和週波未定值的影響相似，在精密的定位處理中是一個非常重要的問題，必須小心加以偵測及修復，目前一般軟體皆具有自動偵測及修復週波脫落之功能【6】。

而吾人所採用的指標為『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，Teqc 採用多項式套合法來偵測週波脫落。其原理是使用一段多項式套應於原始資料、一次差資料、二次差資料、三次差資料或雙頻觀測資料的結合。其方法為先檢查套應點內有無週波脫落的發生，若在多項式套應視窗

內，其次預估下一資料點數值，若大於預設的門檻值，則視為週波脫落。利用此法處理週波脫落需要設立兩種門檻值，其一為偵測週波脫落的發生時段，另一則為預測週波脫落修補值【14】。

2-2-3 接收儀內部時鐘與 GPS 時鐘的平均偏差量

在GPS測量中，均要求衛星時鐘與接收儀時鐘保持嚴密同步，如果接收儀時鐘與衛星時鐘之間的同步誤差為1 μ 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【2】。

對於衛星時鐘的這種偏差，一般可以透過對衛星時錶運行狀況的連續監測而精確地確定，並可以一個二階多項式來描述。而衛星時鐘誤差經此改正後，各衛星時鐘之間的同步誤差可保持在20 ns以內，由此引起的等效距離偏差將不會超過6 m。一般認為時鐘誤差或經改正後的殘差，在相對定位中可以透過觀測量差分的方法消除【14】。

所以吾人針對不同品牌的接收儀內部時鐘做一評估，以了解各種接收儀內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量。要求得此項指標，須利用未差分的GPS相位資料，以推求接收儀時鐘誤差。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rnxsmc程式（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clkrnx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，即可求得接收儀內部時鐘偏移量，在本文中將採用『tp』（以秒為單位）來表示這項指標【9】。

2-3 GPS 接收儀量測系統追溯

近代科學家發明單擺鐘及石英震盪器，利用單擺或石英晶體的震盪週期來計時，只要震盪週期乘上每秒震盪次數就是一秒鐘。但上述計時方式易受環境、溫度、材質、電磁場甚至觀測者觀測角度等影響，並不穩定，須由天體（地球自轉、公轉、月球公轉）的週期來校正。

1960 年以前，CIPM(世界度量衡標準會議)以地球自轉為基礎，定義以平均太陽日之 86400 分之一作為秒定義。即 $1\text{秒} = 1/86400$ 平均太陽日。然而地球自轉並不穩定，會因其他星體引力的牽引而改變。1960~1967 年 CIPM 改以地球公轉為基礎，定義西元1900年為平均太陽年。秒定義更改為：一秒為平均太陽年之 31556925.9747 分之一。

20 世紀中葉，科學家發現原子會吸收或放射特定週期的光子，其週期非常穩定。1967 年舉行的第十三屆國際計量大會 (General Conference on Weights and Measures) 選擇了以銫原子的躍遷做為秒的新定義，即銫原子同位素 ^{133}Cs 基態超精細能階躍遷的 9192631770 個週期所持續的時間定為 1 秒，稱作「原子秒」，新定義使得計時進入了原子時的時代，此秒定義一直維持至今。幾十年來，銫原子鐘、氫原子鐘和銣原子鐘這三種時鐘在空間領域發揮著重要作用，被安裝在衛星上或是在地面控制系統中。

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 (Reference Standard)，而參考標準在計量已知地區或組織內，通常具有最高計量特性的標準，在該處所作的量測均由它所導出。因此，GPS定位校正系統追溯圖整理如圖2-3所示，除了以坐標進行比對之外，仍須追溯至頻率原級標準 (銫原子鐘)，方得以追溯至國際單位制 (Systeme

International, SI) 【16】。

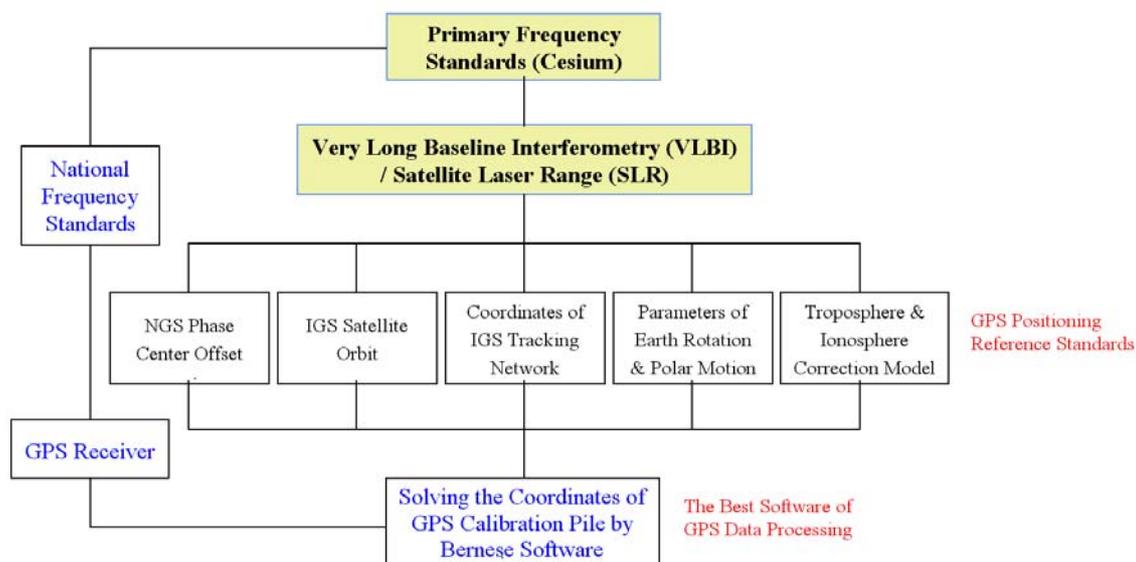


圖 2-3 GPS 接收儀量測系統追溯圖【16】

下面是一些時鐘特性的簡略比較：

1. 晶體鐘：這類時鐘小巧且便宜，短期穩定性能好，但漂移大，準確度低。
2. 鈷原子鐘：與晶體鐘同屬於二級時頻標準，要用一級時頻標準校準，但其性能比晶體鐘好得多。
3. 氫原子鐘：長短期穩定性都特別好，使用壽命長，但頻率準確度不如銫原子鐘，體積大且成本高。
4. 銫原子鐘：國際定義的頻率準確度的一級時頻標準，但其短期穩定性一般說不如高穩定晶體鐘，成本高，壽命較短。

第三章 實驗說明及資料處理

本研究採用了五項觀測資料品質指標，以探討觀測資料品質與定位精度的相關性。為求獲得高精確度的分析結果，特選定於新竹工業技術研究院(以下簡稱工研院)量測技術發展中心頂樓進行外業觀測作業，所使用的儀器共包含AOA BenchMark、Leica SR9500、Leica SR530、Javad Odyssey、NovAtel 502、Ashtech Z-Surveyor等五個廠牌六種型號的接收儀。

在本章中，將針對本研究之試驗場說明、實驗步驟、待測GPS接收儀型式及GPS處理軟體等實驗要項加以詳細說明之。

3-1 試驗場地說明

本研究實驗場地位於工研院量測中心頂樓的國家GPS校正場，此試驗場採用固定式鋼架樁，並裝置工研院量測中心李瓊武博士所設計之強制定心樁(如圖3-1所示)，以減少每次觀測的定心誤差，增加儀器的穩定度。各個測站通視良好且週遭無遮蔽之建築物，將可減少多路徑效應的影響。於此試驗場進行觀測其優點有：

1. 測量作業時，穩定度高。
2. 強制定心及定心板皆已事先調平，故整置儀器迅速，並可減少人為誤差。
3. 強制定心精度為 $\pm 0.03\text{mm}$ ，優於傳統光學定心精度 $\pm 0.2\text{mm}$ 。



圖3-1 強制定心樁的定平機制

3-2 實驗步驟說明

- 一、選定工研院量測中心頂樓的GPS短距離基線校正場(平面示意圖如圖3-2所示)，於NML3至NML7上基點上整置GPS衛星測量接收儀，TNML為工研院所架設之衛星固定站。

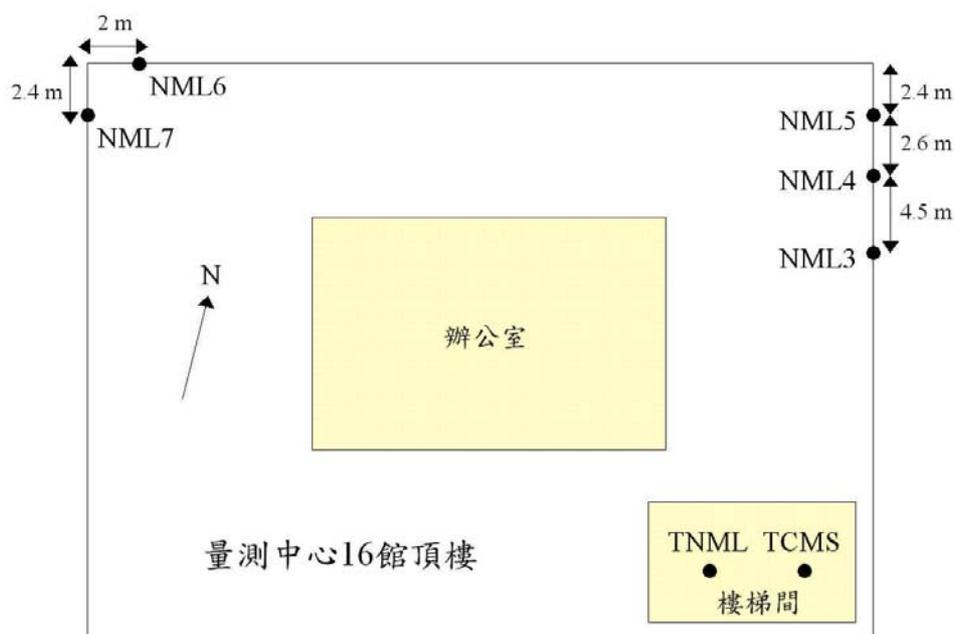


圖 3-2 國家 GPS 校正場平面示意圖

- 二、將五部儀器同時整置在GPS校正基樁上，於2004年1月5日至8日連續72小時同步接收資料，測試儀器廠牌型式及整置樁位如表3-1所示，測試所採用的儀器如圖3-3所示，外業觀測情形如圖3-4所示，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 3-1 測試儀器廠牌型式及整置樁位一覽表

整置樁位	接收儀廠牌型式	天線盤型式	觀測時數	借用單位
TNML	AOA BenchMark	AOAD/M_T	72 小時	工研院
NML3	Ashtech Z-Surveyor	ASH700936E	72 小時	工研院
NML4	NovAtel 502	502	72 小時	土測局
NML5	Javad Odyssey	ODYSSEY_I	72 小時	土測局
NML6	Leica SR530	LEIAT502	72 小時	土測局
NML7	Leica SR9500	LEIAT302-GP	72 小時	國防大學



圖 3-3 測試所採用的儀器



圖 3-4 外業觀測情形

- 三、探討觀測資料品質與長、中、短距離基線相對定位精度的相關性，為求獲得高精確度的分析結果，故連續進行GPS靜態測量72小時，取樣間隔設定為30秒，觀測衛星之最低仰角設定為15度。
- 四、將接收時間切割為每4小時為一期，總共分成18期。以每4小時解算的成果進行坐標重現性分析，計算N、E、h三軸坐標標準差合成量作為定位精度指標。
- 五、以UNAVCO所研發的Teqc軟體解算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)這三項觀測資料品質指標。
- 六、使用瑞士伯恩大學天文所所研發出來的GPS研究軟體Bernese 4.2版進行解算接收器內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量及接收儀內部時鐘的穩定度這兩項觀測資料品質指標，並以其進行短、中、長不同距離基線相對定位精度指標計算。
- 七、將X、Y、Z坐標系統，轉換為台灣2度分帶N、E、H坐標系統，以方便針對平面及高程方向的精度做更進一步的探討。
- 八、利用五項觀測資料品質指標來分析相對定位精度指標，以了解GPS觀測資料品質與基線解算精度之相關性。

3-3 資料處理

在本研究中，觀測資料品質指標由Teqc及Bernese 4.2版學術用軟體進行解算；而相對定位精度指標，則採用Bernese 4.2版學術用軟體來進行解算，現分述如下：

3-3-1 Teqc 使用簡介

Teqc為Translate/Edit/Quality Check之縮寫，是由UNAVCO所提供之免費使用軟體，針對單站之GPS 觀測量進行處理。本程式相關文獻可由下列相關網站取得。Teqc之Quality Check部分可產生繪圖的資料檔案，可配合Qcview軟體展示及產生postscript格式之圖籍。Qcview亦可由UNAVCO網站獲得【17】。

<http://www.unavco.ucar.edu/software/teqc>

其主要功能如下：

1. 格式轉換：由各廠商提供之格式轉入標準格式RINEX。
2. 數據編輯：對RINEX檔案進行編修，擷取等操作。
3. 品質檢核：計算GPS 接收訊號之雜訊比，多路徑效應，電離層延遲等相關之指標。

本研究主要使用Teqc的品質檢核部分。其品質檢核的部分，是源自UNAVCO早期之格式QC，乃使用單測站之觀測量，以線性組合的方式對以下部分進行分析：

1. L1虛擬距離之多路徑效應
2. L2虛擬距離之多路徑效應
3. 電離層對L1載波之相位影響
4. 電離層延遲之變化
5. L1、L2之訊號雜訊比

並輸出一摘要報告，包含鐘錶漂移量等。使用時之基本指令形式如下：

```
teqc +qc TNML005.04o
```

經由 Teqc 軟體檢測，將產生 TNML005.mp1, TNML005.mp2, TNML005.ion, TNML005.iod, TNML005.sn1, TNML005.sn2, TNML005.04s 等七個檔案，其中.04s為摘要文字檔，MP1為L1多路徑效應指標，MP2為L2多路徑效應指標，sn1為L1雜訊比，sn2為L2雜訊比，ion與iod則分別為電離層遲延值及變率。

經由 Teqc 對 GPS 單站之觀測量進行初步之檢核，由 MP1 及 MP2 多路徑偏離值，可以研判是否該測站有多路徑效應之問題。而經由 o/slps (每多少個觀測數產生一個週波脫落) 可判斷該測站受到週波脫落的影響【6】。



3-3-2 Bernese 4.2版軟體介紹及計算流程

在本研究中，相對定位精度指標的解算，是採用由瑞士伯恩大學天文研究所 (Institute of Astronomy, University of Berne) 所研發的 Bernese 4.2 版 GPS 資料處理軟體。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 月再度發表現行的 Bernese 4.2 版。

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。Bernese軟體的特性如下所示：

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. 軟體中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。

目前該軟體普遍應用於地體動力學、板塊運動、極運動、地殼變形等方面之計算，且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【18】。

GPS衛星測量資料計算處理流程，如圖3-5所示，其概略流程如下【6】：

1. 首先將同時段之原始觀測資料轉換為IGS所定義之標準交換格式(Receiver Independent Exchange Format，簡稱RINEX)，再將之轉換成Bernese資料格式。
2. 自IGS精密星曆檔中讀取各衛星之時錶資訊以供後級處理之用。
3. 將精密星曆(Precise Ephemeris)轉成表列格式(Tabular Orbit)，再

組成Bernese格式軌道，作為資料編修與後處理之用。

4. 進行電碼資料之檢查(Code Check)，剔除錯誤之觀測量。
5. 配合精密星曆(IGS)之軌道資料以進行單點定位(Single Point Positioning)，計算測站坐標及接收儀的時錶改正量。
6. 再組成一次差相位觀測量(Single Difference)，即將所有測站組成線性獨立的一次差觀測量。
7. 進一步利用三次差成果以雙站式之L1及L2進行週波脫落(Cycle Slip)之偵測與補償。
8. 以此觀測量組成二次差進行各種參數估算。

而在處理的過程中，所採用的改正模式略述如下【12】：

1. 軌道部份：採用IGS精密星曆。因精密星曆的軌道精度約可達5公分，因此所有軌道參數視為已知，固定而不加以求解。
2. 對流層折射修正：採用Saastamoinen 對流層修正模式，以海平面標準氣象資料，推求各測點的對流層起始改正值。
3. 極運動改正：採用IERS (International Earth Rotation Service) Bulletin B所公佈之值，將UTC與UT1之差值加以修正，並將坐標值由瞬間極之坐標系修正至J2000坐標系上，以作為軌道計算及坐標轉換之用。
4. 引力位模式：採用GEM-T3 (Goddard Earth Model T3)，以作為軌道計算及坐標轉換之用。
5. 相位未定值求解之過程：先以寬巷觀測量求解整數週波未定值，再將解得寬巷之未定值帶入無電離層效應L3之觀測方程式中，分別求解L1及L2未定值，此時測站坐標與未定值是一併求解，每一次累算只固定一個未定值成整數，直到不再有未定值可固定成整數為止。

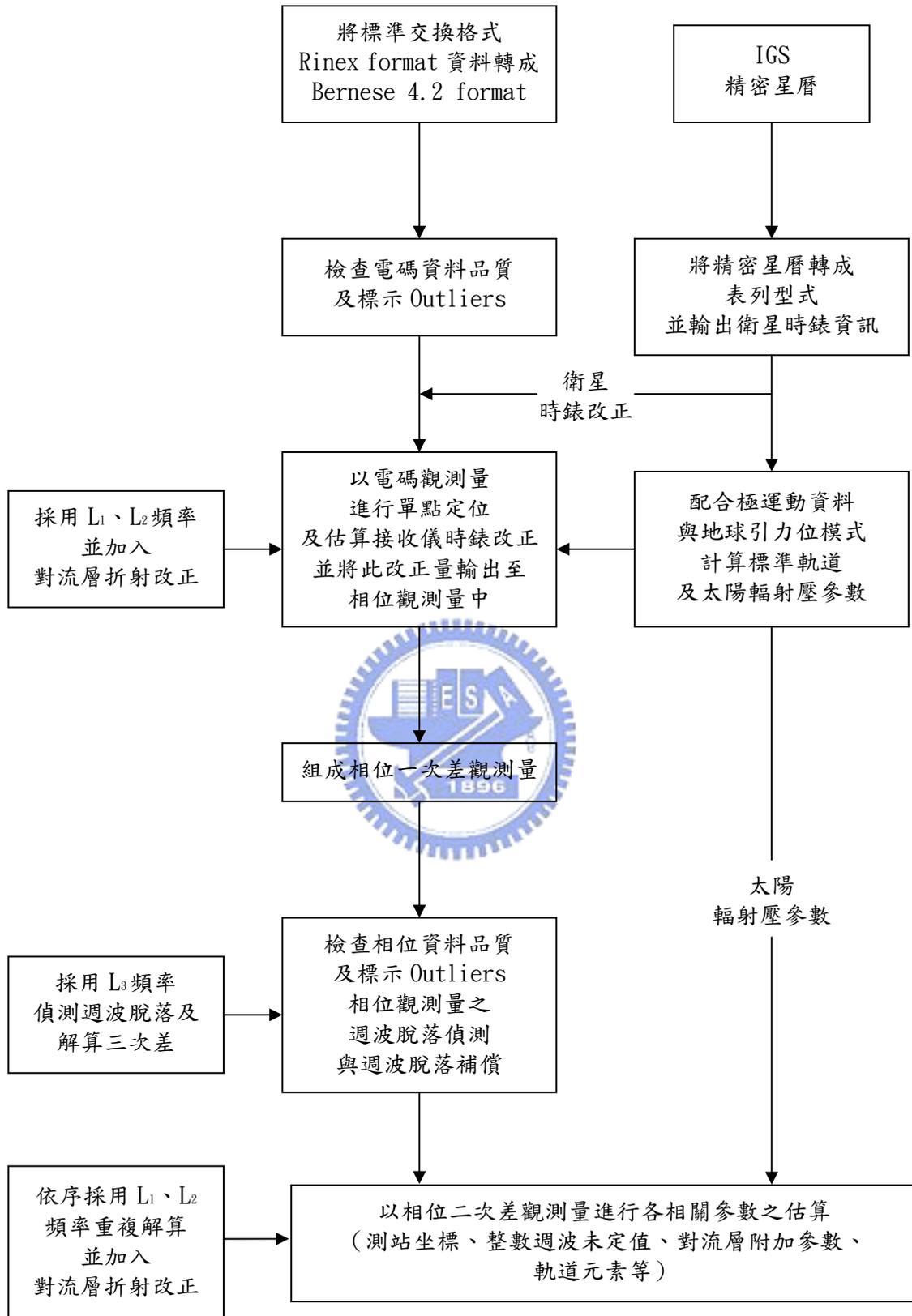


圖3-5 Bernese4.2版處理GPS衛星資料的計算流程【6】

第四章 研究成果及分析

本研究實驗的步驟以及資料處理的方法已如第三章所述，主要的研究軟體為Bernese 4.2版及Teqc，利用這兩種研究軟體來進行GPS衛星測量接收儀資料觀測指標的解算分析。接下來，再以學術研究軟體Bernese 4.2版來進行長、中、短不同基線相對定位的精度解算，藉以評估GPS觀測資料品質與基線解算精度之相關性。

4-1 GPS 接收儀指標計算與分析

將各種廠牌型號接收儀將所接收到的資料以4小時為一單位，進行L1載波的多路徑效應(MP1)、L2載波的多路徑效應(MP2)、『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』(o/slps)、接收器內部時鐘與GPS時鐘的平均偏差量(tp)以及接收儀內部時鐘的穩定度(fp)等5項品質指標的解算。前三項指標是以UNAVCO所研發的TEQC軟體解算而得，而最後二項指標則是以瑞士伯恩大學天文所研發的Bernese 4.2版軟體計算而得。

4-1-1 Teqc 解算資料訊號品質成果

資料來源為2004年1月5日4時至1月8日4時連續72小時的GPS觀測資料，取樣間隔設定為30秒。先將GPS觀測資料以4小時為一時段，共分成18期，再利用本研究之品質檢核軟體Teqc進行解算。所求得之各種廠牌型號接收儀之L1載波的多路徑效應(MP1)、L2載波的多路徑效應(MP2)，『觀測資料的筆數』除以『週波脫落的數目』(o/slps)，如表4-1，這裡僅取平均所示，完整資料解算成果列於附錄A。再將所得的MP1、MP2及o/slps繪製成圖，其結果如圖4-1、4-2及4-3所示。

表 4-1 各種廠牌型號接收儀之 MP1、MP2 及 o/slps

廠牌型號	MP1(m)	MP2(m)	o/slps
AOA BenchMark	0.33	0.35	96
Javad Odyssey	0.49	0.49	3112
Leica SR530	0.05	0.09	2888
Leica SR9500	0.19	0.23	3234
NovAtel 502	0.89	0.62	80
Ashtech Z-Surveyor	0.18	0.20	1144

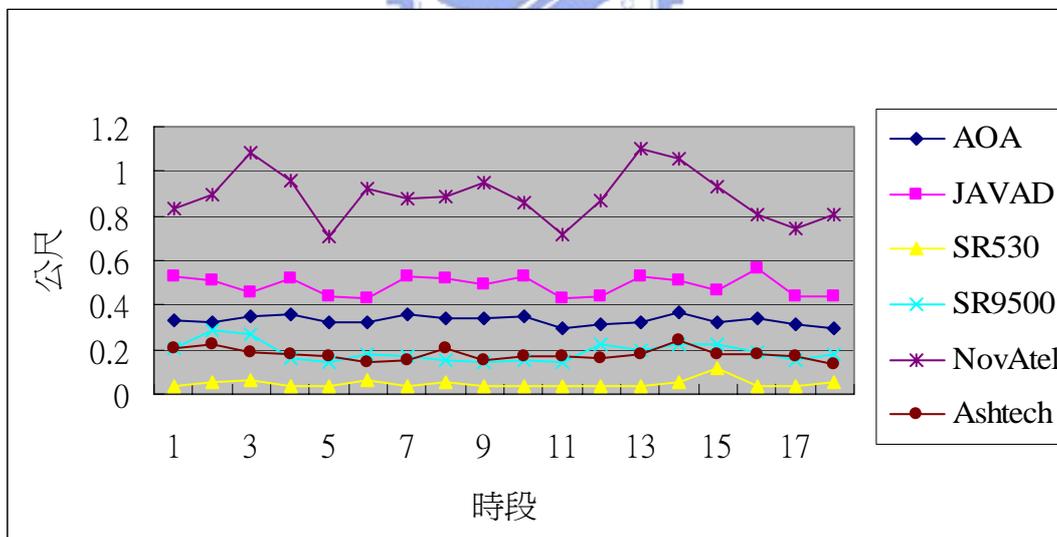


圖 4-1 各種廠牌之 MP1 資料品質

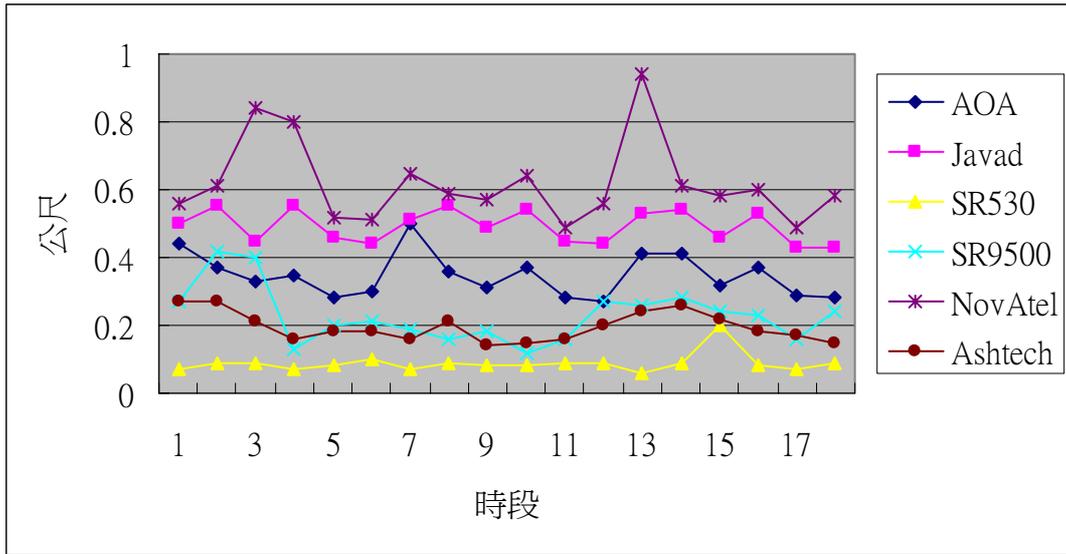


圖 4-2 各種廠牌之 MP2 資料品質

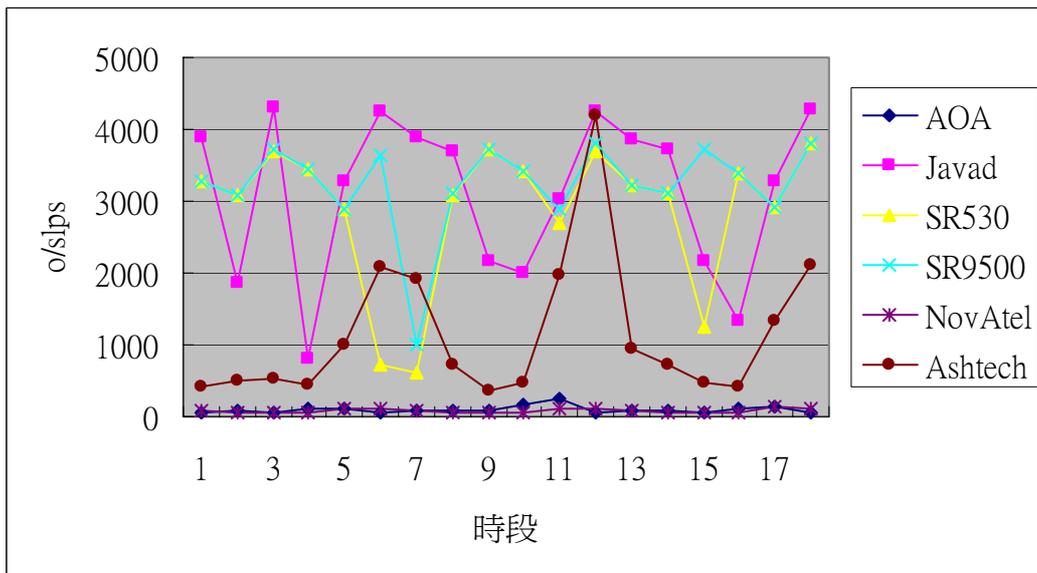


圖 4-3 各種廠牌之 o/slps 資料品質

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Leical SR530的精度較好，以NovAtel 502的精度較差；而在o/slps這項觀測指標上以Leica SR9500的精度較好，以NovAtel 502的精度較差。

4-1-2 Bernese 4.2 版解算資料訊號品質成果

先將GPS觀測資料以4小時為一時段，共分成18期，再利用本研究之品質檢核軟體Bernese 4.2版進行解算。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為標準，本研究中所選擇的是IGS站中美國的AMC2站，此追蹤站位於美國的科羅拉多州的柯泉市，由美國的海軍天文台所管理，GPS接收儀和天文台的氫原子鐘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【19】。

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。所求得的各種廠牌型號接收儀之內部時鐘的平均偏差量（ tp ，以秒為單位）以及內部時鐘的穩定度（ fp ，以秒為單位），如表4-2，僅取平均所示，完整資料解算成果列於附錄A。再將所得的兩項指標繪製成圖，其結果如圖4-4及4-5所示。

表4-2 各種廠牌型號接收儀內部時鐘的平均偏差量及穩定度

廠牌型號	tp (秒)	fp (秒)
AOA BenchMark	9.01E-04	1.29E-09
Javad Odyssey	-1.74E-05	1.27E-09
Leica SR530	-5.04E-09	1.34E-09
Leica SR9500	1.75E-07	1.50E-09
NovAtel 502	-1.28E-08	1.33E-09
Ashtech Z-Surveyor	-6.76E-08	1.34E-09

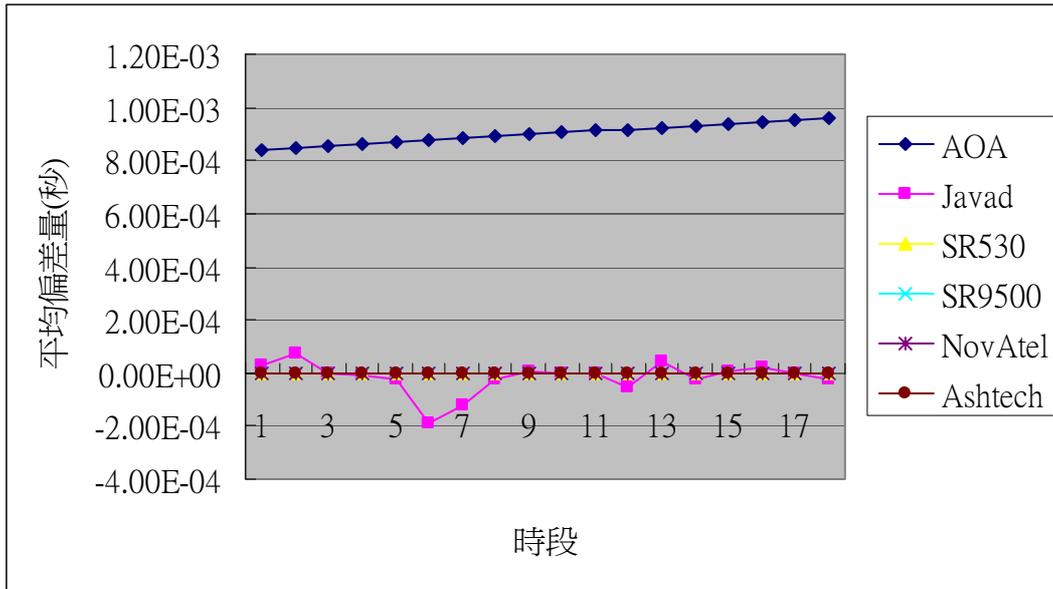


圖 4-4 各種廠牌接收儀內部時鐘的平均偏差量

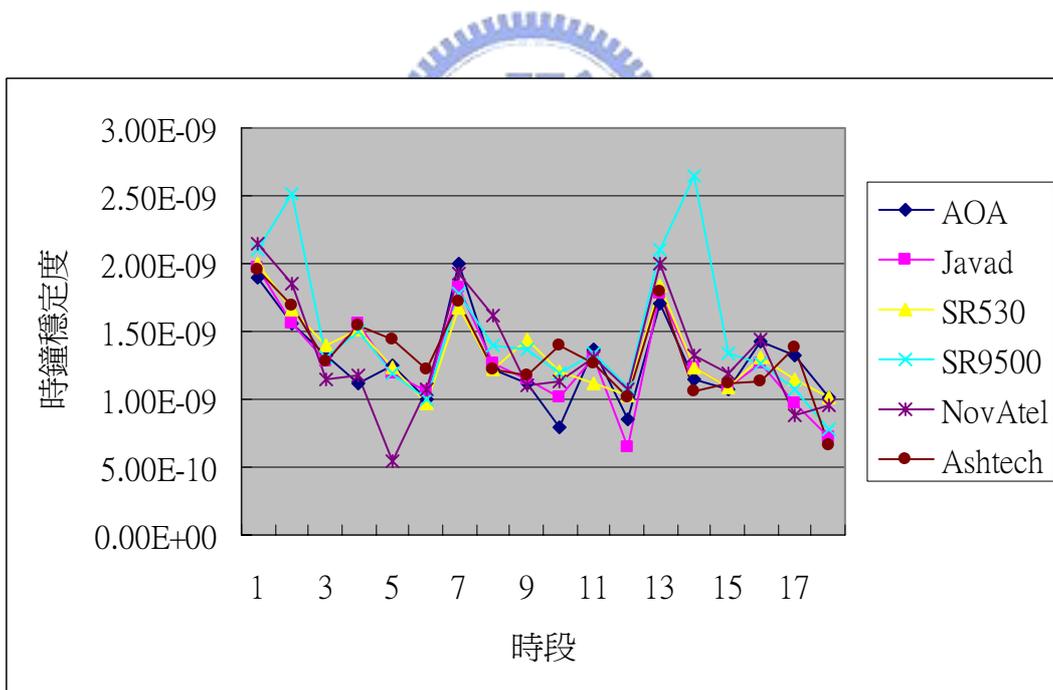


圖 4-5 各種廠牌接收儀內部時鐘的穩定度

由上述資料可看出在內部時鐘的平均偏差量 (tp) 這項觀測指標上，以Leical SR530的精度較好，以AOA BenchMark的精度較差；在內部時鐘的穩定度(fp)這項觀測指標上，平均值方面以Javad Odyssey的精度較好，以Leica SR9500的精度較差。

由4-1的解算成果來說，各種廠牌型號接收儀所接收的GPS觀測資料品質各有其優劣所在。從整體上來看，以Leica SR530的觀測資料品質為最佳，以NovAtel 502的觀測資料品質則較差。



4-2 基線計算與分析

為了評估各型儀器不同基線距離的定位精度，本研究透過網路下載IGS連續追蹤網中的日本USUD衛星追蹤站、台灣TWTF衛星追蹤站以及內政部北港（PKGM）衛星追蹤站的GPS觀測資料，約制上述三站坐標作為主站，分別對各廠牌型號儀器進行短距離（25 km，對TWTF站）、中距離（150 km，對PKGM站）、長距離（2000 km，對USUD站）的基線解算。

4-2-1 長距離基線精度分析

吾人以IGS連續追蹤網中的日本USUD衛星追蹤站為主站，分別對不同儀器進行相對定位計算，所獲得的成果如下表4-3，這裡僅取平均所示，完整資料解算成果列於附錄B。將每一時段計算而得的基線長減去其18時段的平均值，並將成果繪製成圖，將可以得到各基線每時段計算結果的變化量，如圖4-6所示。

表4-3 各種廠牌型號儀器長距離基線定位精度

廠牌型號	平均值(m)	中誤差(m)
AOA BenchMark	2074040.9615	0.0175
Javad Odyssey	2074027.8761	0.0181
Leica SR530	2074058.8776	0.0185
Leica SR9500	2074062.7297	0.0180
NovAtel 502	2074028.4117	0.0187
Ashtech Z-Surveyor	2074028.8961	0.0179

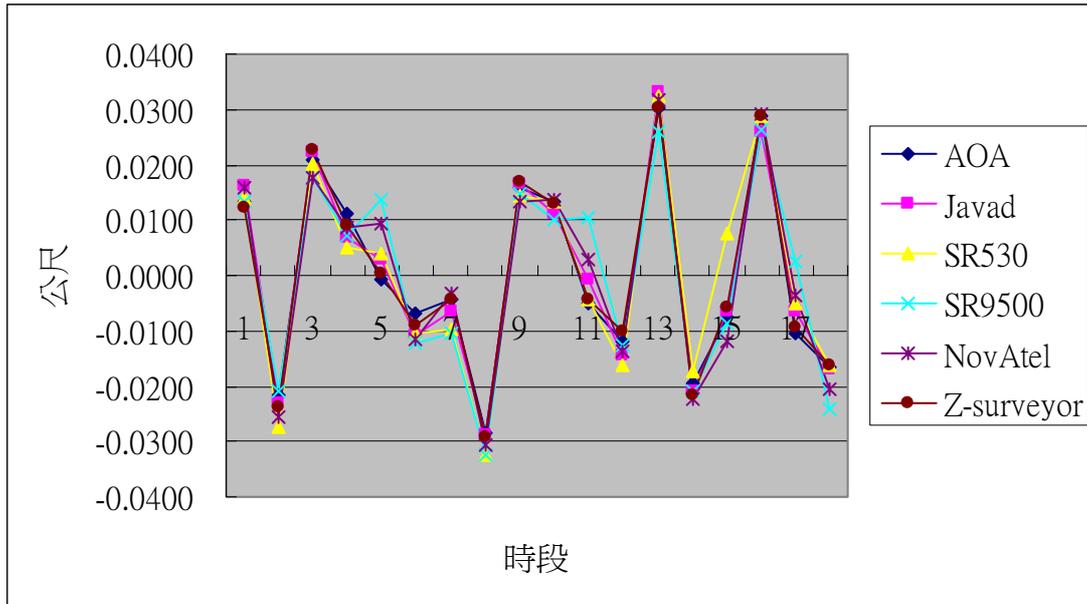


圖 4-6 各種廠牌型號儀器長距離基線定位精度

4-2-2 中距離基線分析

吾人以內政部北港（PKGM）衛星追蹤站為主站，分別對不同儀器進行相對定位計算，所獲得的成果如下表4-4，完整資料解算成果列於附錄B。將每一時段計算而得的基線長減去其18時段的平均值，並將成果繪製成圖，將可以得到各基線每時段計算結果的變化量，如圖4-7所示。

表 4-4 各種廠牌型號儀器中距離基線定位精度

廠牌型號	平均值(m)	中誤差(m)
AOA BenchMark	151657.6579	0.0014
Javad Odyssey	151686.0778	0.0017
Leica SR530	151658.6643	0.0028
Leica SR9500	151654.1658	0.0020
NovAtel 502	151684.1464	0.0020
Ashtech Z-Surveyor	151682.2383	0.0015

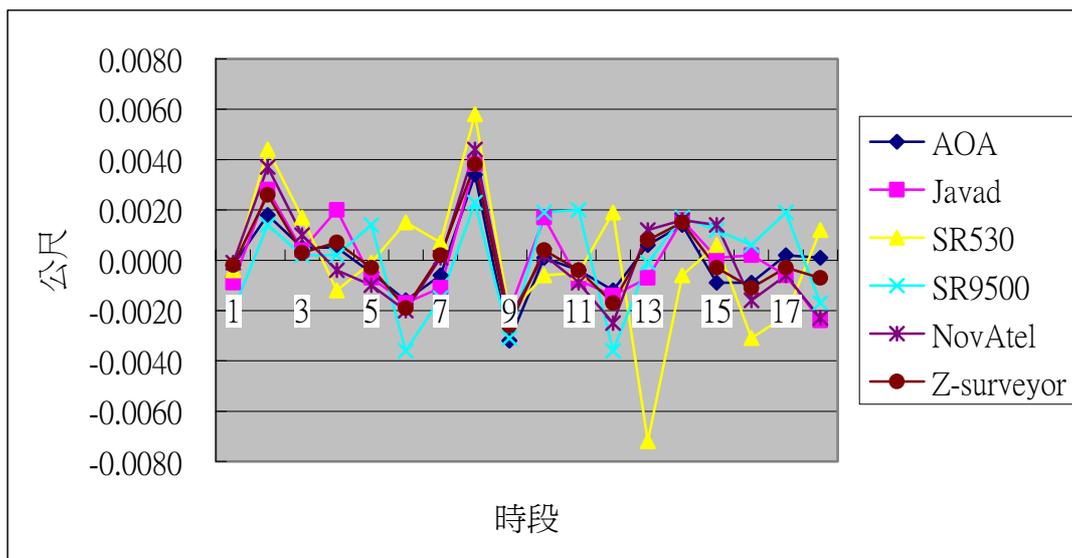


圖 4-7 各種廠牌型號儀器中距離基線定位精度

4-2-3 短距離基線分析

吾人以IGS連續追蹤網中的台灣TWTF衛星追蹤站為主站，分別對不同儀器進行相對定位計算，所獲得的成果如下表4-4，完整資料解算成果列於附錄B。將每一時段計算而得的基線長減去其18時段的平均值，並將成果繪製成圖，將可以得到各基線每時段計算結果的變化量，如圖4-8所示。

表 4-5 各種廠牌型號儀器短距離基線定位精度

廠牌型號	平均值(m)	中誤差(m)
AOA BenchMark	24852.3210	0.0011
Javad Odyssey	24837.7464	0.0016
Leica SR530	24868.8905	0.0027
Leica SR9500	24872.8898	0.0017
NovAtel 502	24838.4423	0.0017
Ashtech Z-Surveyor	24839.1279	0.0013

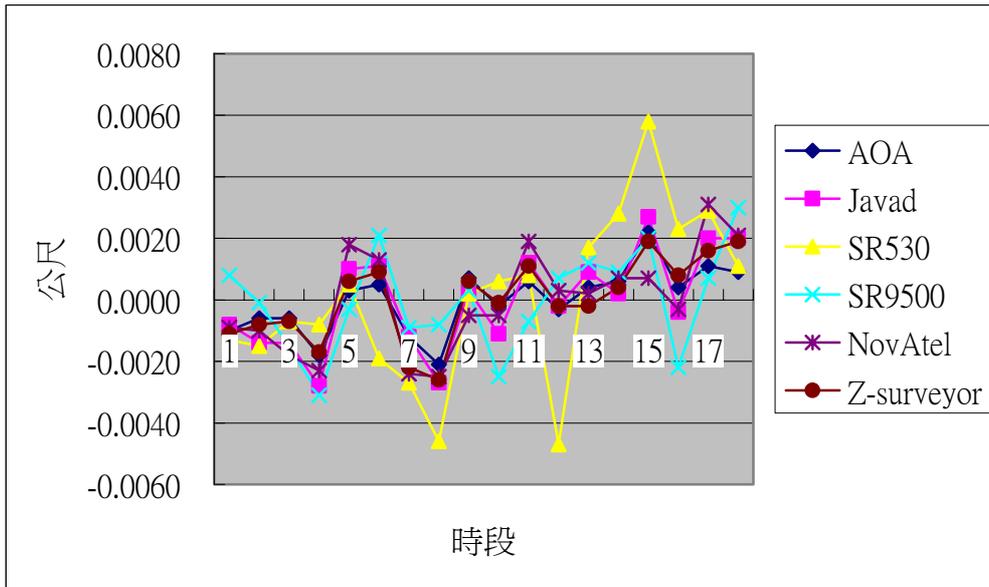


圖 4-8 各種廠牌型號儀器短距離基線定位精度

4-2-4 綜合評估分析

由上述資料可看出，不管是任何距離的基線精度上，都是以AOA BenchMark的精度最好；在長距離基線精度上，則是以NovAtel 502的精度較差；在短、中距離基線精度上，則是以Leica SR530的精度較差。

由4-1的解算成果來說，以Leica SR530的觀測資料品質為最佳，以NovAtel 502的觀測資料品質則較差，但對於基線穩定度來說却沒有太大的關聯。而且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2mm以下，可算是非常的小。因此，吾人進行下一小節的測站坐標分析，將分別針對N、E、h方向進行更深入的精度探討。

4-3 三維坐標計算與分析

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以及高程方向的穩定度做更進一步的探討。與4-2小節相同，吾人亦採用這72小時觀測資料的坐標平均值作為標準值，來進行下一步的資料分析，不同距離基線所求得的坐標見附錄C。

4-3-1 長距離相對定位坐標分析

吾人以IGS連續追蹤網中的日本USUD衛星追蹤站為主站，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，計算各型儀器長距離相對定位N、E、h三軸坐標標準差及其合成量作為定位精度指標，成果如表4-6，這裡僅取平均所示，完整解算成果於附錄D。並將成果繪製成圖，將可以得到各測站坐標分量每時段計算結果的變化量，如圖4-9至圖4-14所示。

表4-7 各型儀器長距離定位N、E、h三軸坐標標準差及三維合成量

廠牌型號	N(cm)	E(cm)	h(cm)	水平(cm)	合成量(cm)
AOA BenchMark	1.05	2.09	3.44	2.34	4.16
Javad Odyssey	1.01	2.26	3.77	2.48	4.51
Leica SR530	1.10	2.34	3.53	2.59	4.37
Leica SR9500	0.95	1.66	5.27	1.92	5.61
NovAtel 502	1.04	2.18	4.31	2.41	4.94
Ashtech Z-surveyor	1.02	2.13	3.13	2.37	3.92

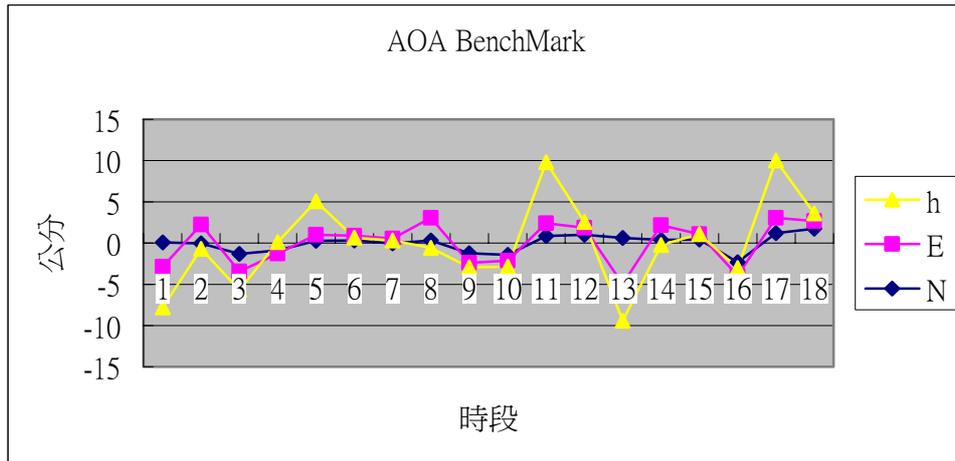


圖 4-9 AOA BenchMark 長距離定位的三軸坐標變化量

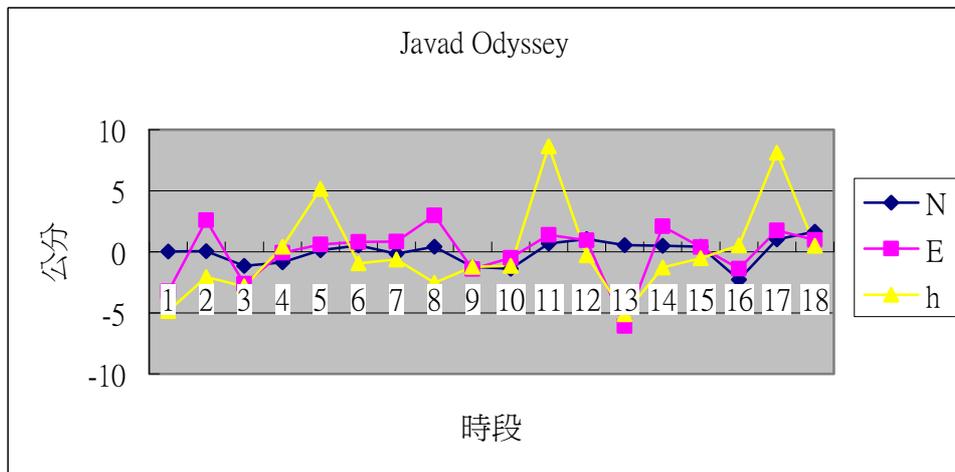


圖 4-10 Javad Odyssey 長距離定位的三軸坐標變化量

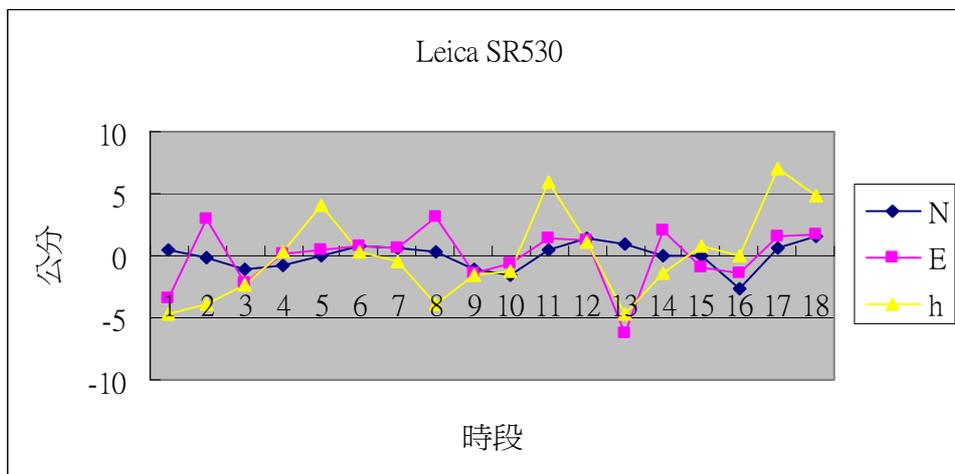


圖 4-11 Leica SR530 長距離定位的三軸坐標變化量

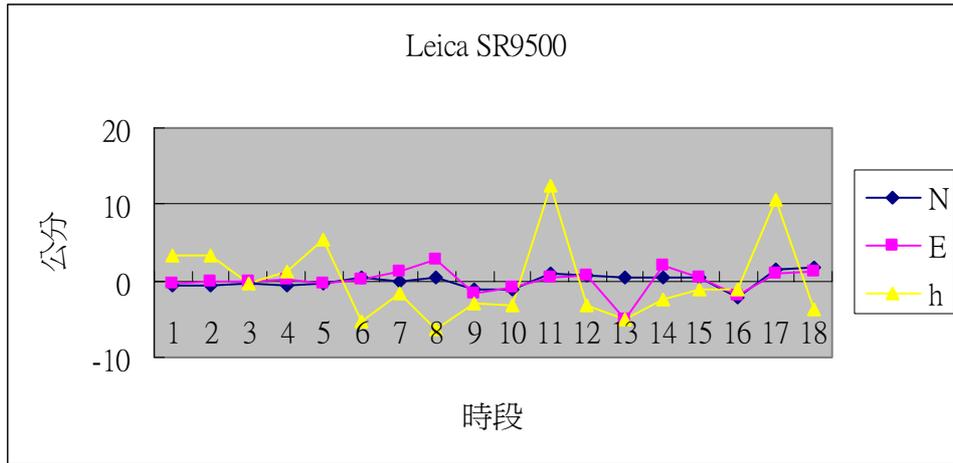


圖 4-12 Leica SR530 長距離定位的三軸坐標變化量

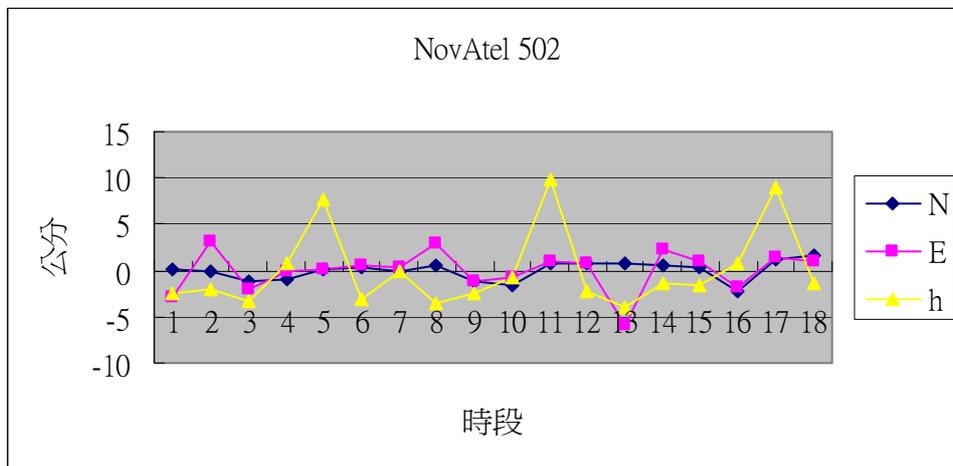


圖 4-13 NovAtel 502 長距離定位的三軸坐標變化量

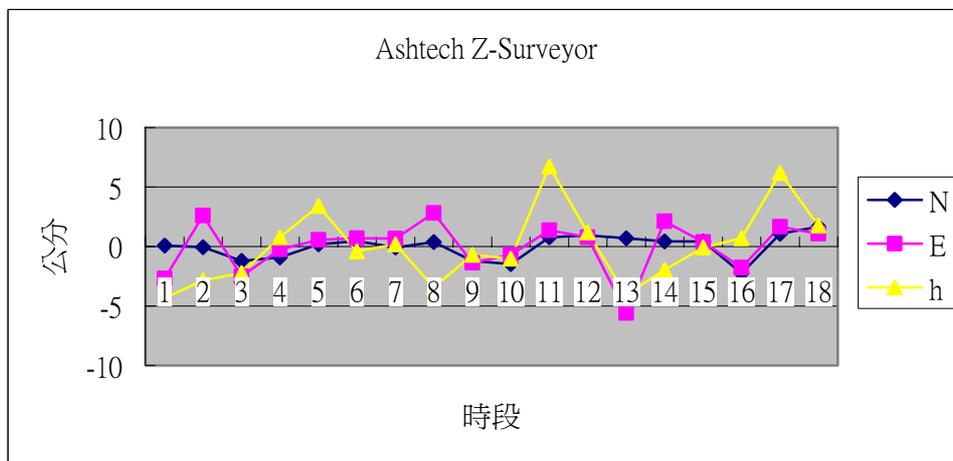


圖 4-14 Ashtech Z-Surveyor 長距離定位的三軸坐標變化量

由上述資料可看出，若以三維合成量精度來看，在長距離相對定位上，以Ashtech Z-surveyor的3.92 cm最好，以Leica SR9500的5.61 cm較差；若從高程方向來看，也是以Ashtech Z-surveyor的3.13 cm最好，以Leica SR9500的5.27 cm較差；若從水平方向來看，反而以Leica SR9500的1.92 cm最好，以Leica SR530的2.59 cm較差。

4-3-2 中距離相對定位坐標分析

吾人以內政部北港（PKGM）衛星追蹤站為主站，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，計算各型儀器中距離相對定位N、E、h三軸坐標標準差及其合成量作為定位精度指標，成果如表4-7，僅取平均所示，完整解算成果於附錄D。並將成果繪製成圖，將可以得到各測站站坐標分量每時段計算結果的變化量，如圖4-15至圖4-20所示。

表4-7 各型儀器中距離定位N、E、h三軸坐標標準差及三維合成量

廠牌型號	N(cm)	E(cm)	h(cm)	水平(cm)	合成量(cm)
AOA BenchMark	0.17	0.21	0.71	0.27	0.76
Javad Odyssey	0.16	0.27	0.88	0.31	0.93
Leica SR530	0.26	0.33	1.05	0.42	1.13
Leica SR9500	0.20	0.21	2.50	0.30	2.52
NovAtel 502	0.20	0.23	1.70	0.31	1.73
Ashtech Z-surveyor	0.16	0.23	0.68	0.28	0.73

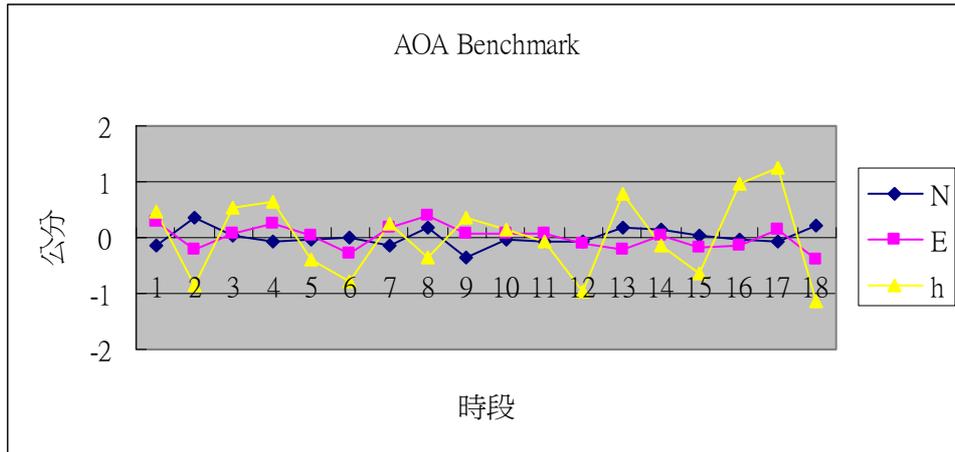


圖 4-15 AOA BenchMark 中距離定位的三軸坐標變化量

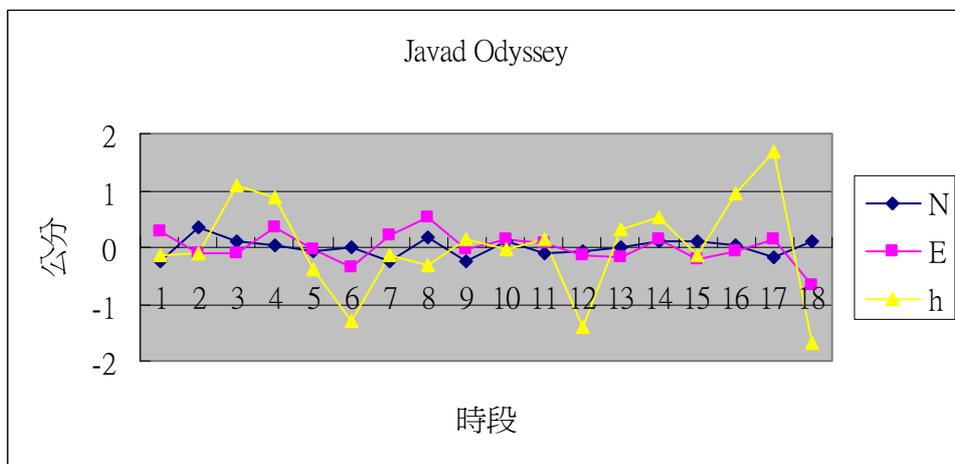


圖 4-16 Javad Odyssey 中距離定位的三軸坐標變化量

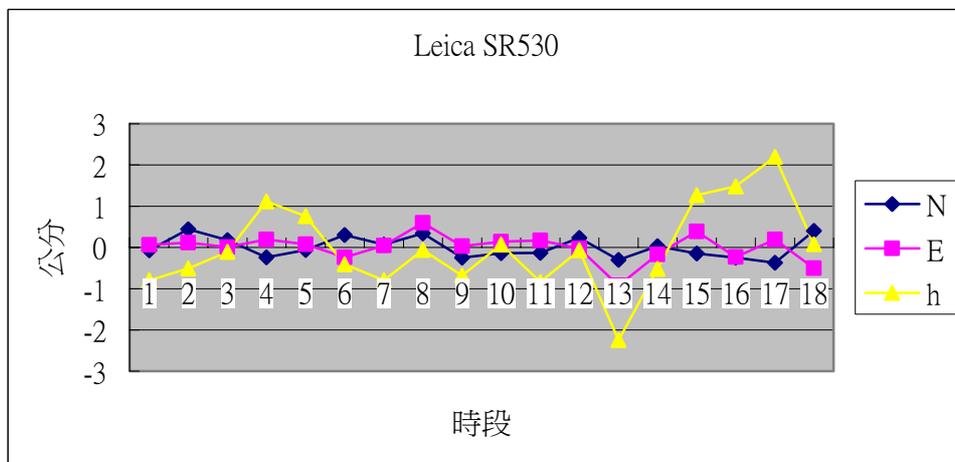


圖 4-17 Leica SR530 中距離定位的三軸坐標變化量

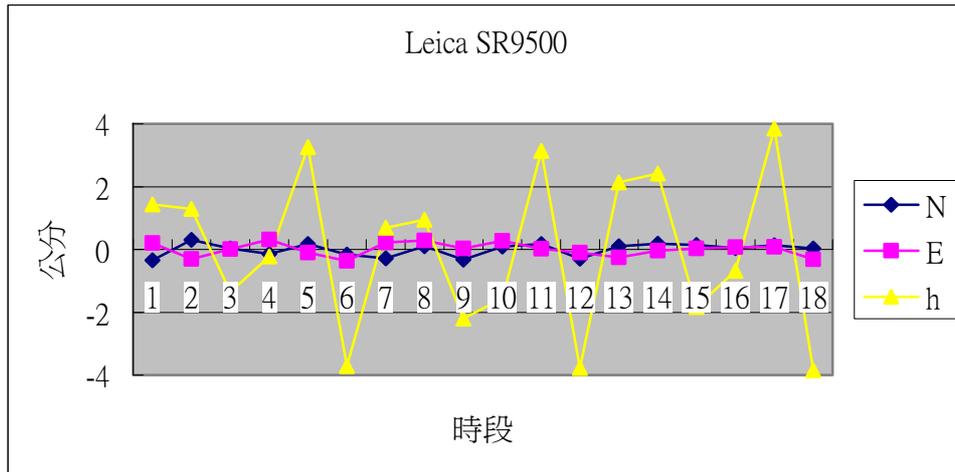


圖 4-18 Leica SR9500 中距離定位的三軸坐標變化量

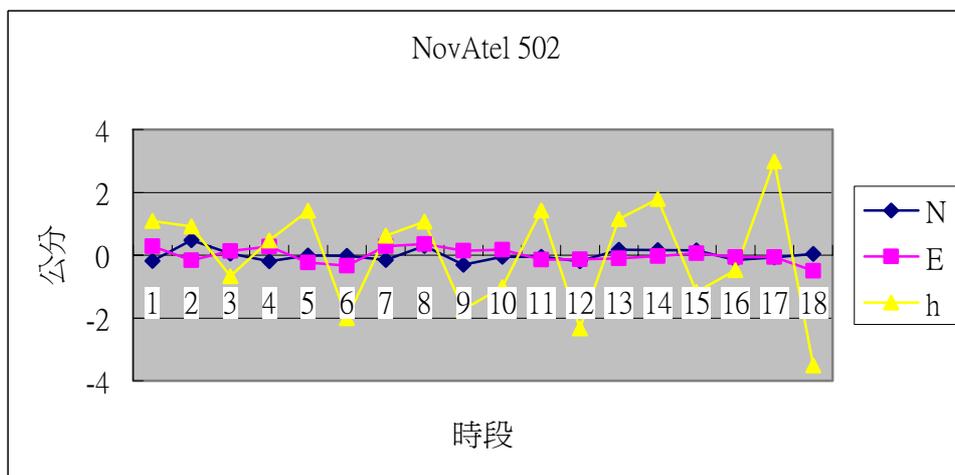


圖 4-19 NovAtel 502 中距離定位的三軸坐標變化量

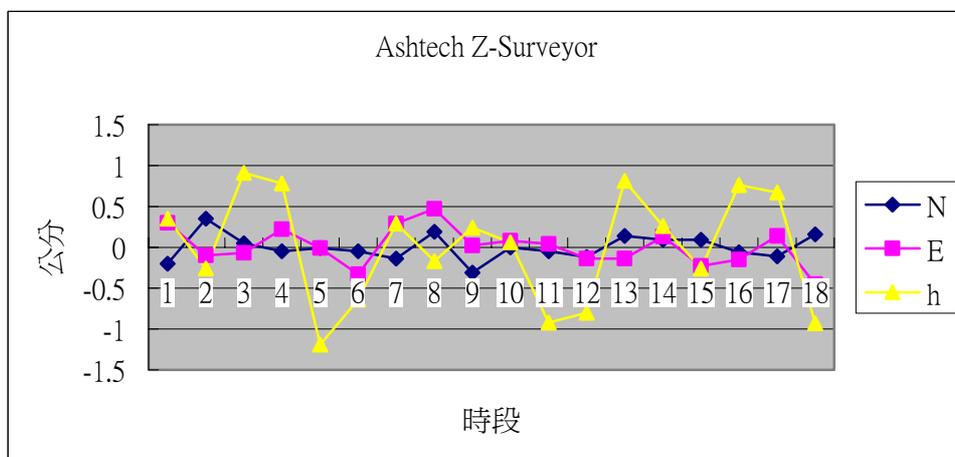


圖 4-20 Ashtech Z-Surveyor 中距離定位的三軸坐標變化量

由上述資料可看出，若以三維合成量精度來看，在中距離相對定位上，以Ashtech Z-surveyor的0.73 cm最好，以Leica SR9500的2.52 cm較差；若從高程方向來看，以Ashtech Z-surveyor的0.68 cm最好，以Leica SR9500的2.50 cm較差；若從水平方向來看，以AOA BenchMark的0.27 cm最好，以Leica SR530的0.42 cm較差，整體來說，各測站水平方向的坐標變化量並無明顯差異。

4-3-3 短距離相對定位坐標分析

吾人以IGS連續追蹤網中的台灣TWTF衛星追蹤站為主站，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，計算各型儀器短距離相對定位N、E、h三軸坐標標準差及其合成量作為定位精度指標，成果如表4-8，僅取平均所示，完整解算成果於附錄D。並將成果繪製成圖，將可以得到各測站坐標分量每時段計算結果的變化量，如圖4-21至圖4-26所示。

表 4-8 各型儀器短距離定位 N、E、h 三軸坐標標準差及三維合成量

廠牌型號	N(cm)	E(cm)	h(cm)	水平(cm)	合成量(cm)
AOA BenchMark	0.13	0.16	0.59	0.21	0.62
Javad Odyssey	0.13	0.20	0.53	0.24	0.58
Leica SR530	0.25	0.23	0.98	0.34	1.03
Leica SR9500	0.17	0.21	2.32	0.27	2.33
NovAtel 502	0.10	0.24	1.63	0.26	1.65
Ashtech Z-surveyor	0.11	0.19	0.70	0.22	0.74

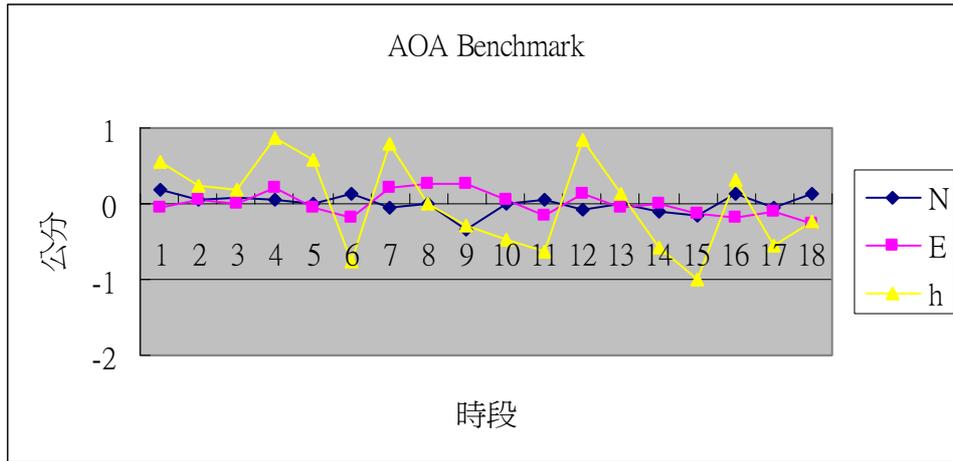


圖 4-21 AOA BenchMark 短距離定位的三軸坐標變化量

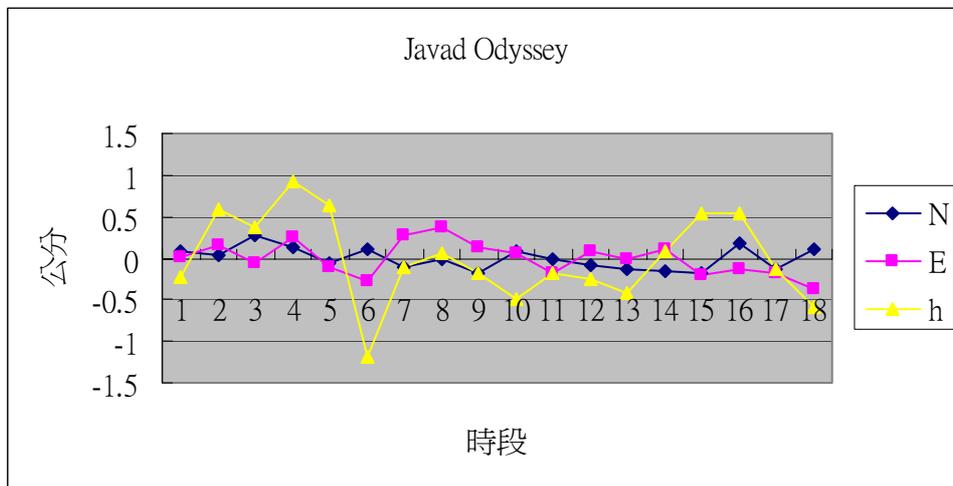


圖 4-22 Javad Odyssey 短距離定位的三軸坐標變化量

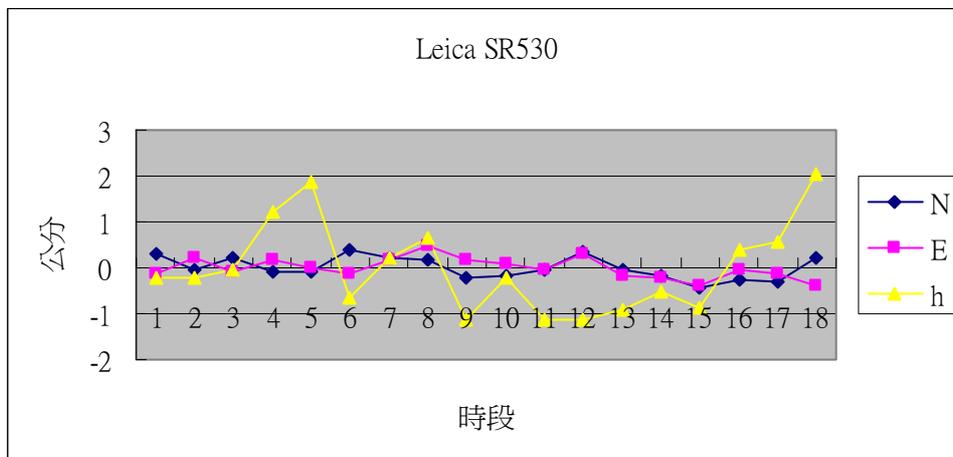


圖 4-23 Leica SR530 短距離定位的三軸坐標變化量

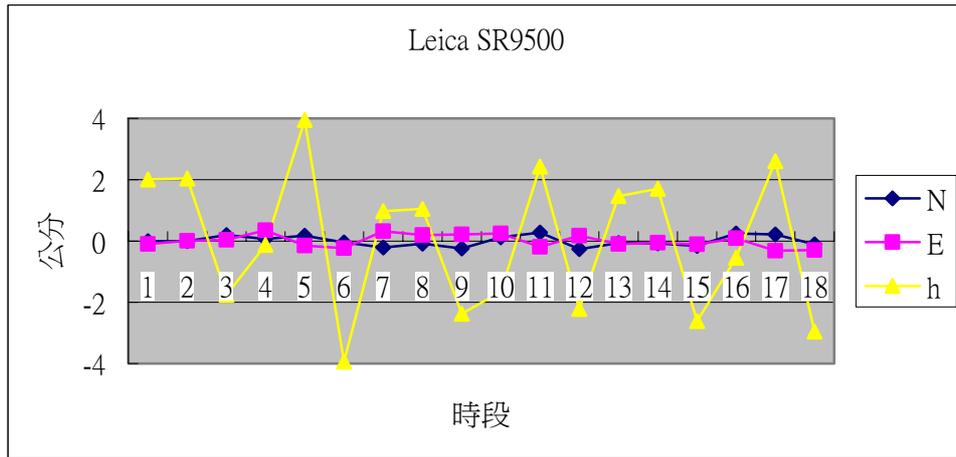


圖 4-24 Leica SR9500 短距離定位的三軸坐標變化量

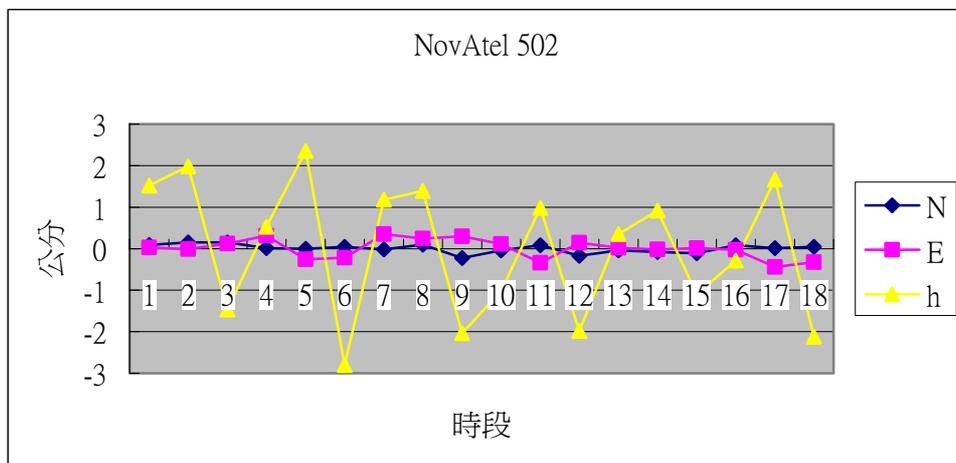


圖 4-25 NovAtel 502 短距離定位的三軸坐標變化量

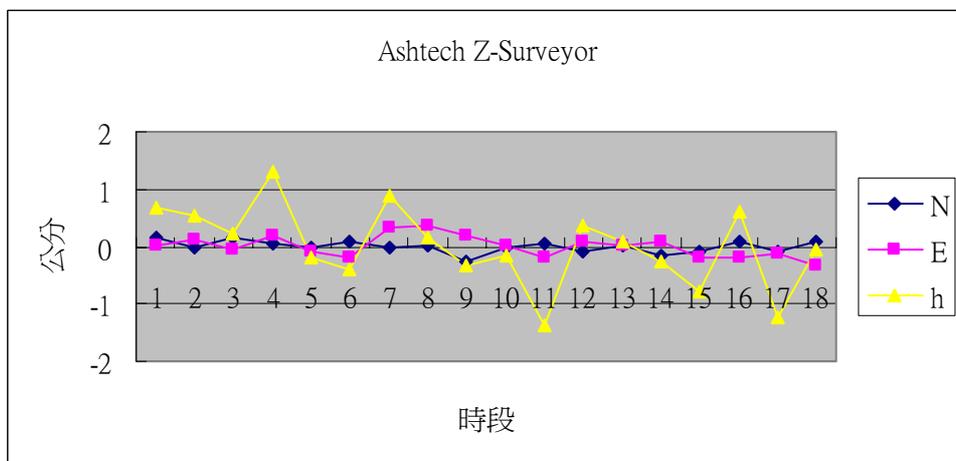


圖 4-26 Ashtech Z-Surveyor 短距離定位的三軸坐標變化量

由上述資料可看出，若以三維合成量精度來看，在短距離相對定位上，以Javad Odyssey的0.58 cm最好，以Leica SR9500的2.33 cm較差；若從高程方向來看，也是以Javad Odyssey的0.53 cm最好，以Leica SR9500的2.32 cm較差；若從水平方向來看，則以AOA BenchMark的0.21 cm最好，以Leica SR530的0.34 cm較差，故整體而言，各測站水平方向的坐標變化量並無明顯差異。



4-4 品質指標與相對定位精度之分析

這一小節將利用4-1的資料品質指標解算成果和4-3的相對定位精度，評估GPS觀測資料品質與相對定位精度之相關性。首先先將各廠牌型號儀器的品質指標及相對定位精度整理成表4-9。另外為了了解不同的觀測時間是否會對品質指標及相對定位精度的關係造成影響，吾人也將觀測時間縮減為2小時（符合內政部二等GPS衛星點測量規範）來做分析，成果如表4-10。

表4-9 4小時觀測品質指標及長、中、短距離相對定位精度（一）

廠牌型號	MP1 m	MP2 m	o/slps	tp 秒	fp 秒	長距離 cm	中距離 cm	短距離 cm
AOA BenchMark	0.33	0.35	96	9.0E-04	1.29E-09	4.16	0.76	0.62
Javad Odyssey	0.49	0.49	3112	-1.7E-05	1.27E-09	4.51	0.93	0.58
Leica SR530	0.05	0.09	2888	-5.0E-09	1.34E-09	4.37	1.13	1.03
Leica SR9500	0.19	0.23	3234	1.7E-07	1.50E-09	5.61	2.52	2.33
NovAtel 502	0.89	0.62	80	-1.3E-08	1.33E-09	4.94	1.73	1.65
Ashtech Z-surveyor	0.18	0.20	1144	-6.8E-08	1.34E-09	3.92	0.73	0.74

表4-10 2小時觀測品質指標及長、中、短距離相對定位精度

廠牌型號	MP1 m	MP2 m	o/slps	tp 秒	fp 秒	長距離 cm	中距離 cm	短距離 cm
AOA BenchMark	0.32	0.34	84	8.53E-04	1.47E-09	7.37	2.63	1.77
Javad Odyssey	0.47	0.48	1824	2.25E-05	1.59E-09	6.92	1.78	1.42
Leica SR530	0.04	0.08	1676	8.41E-10	1.64E-09	6.78	3.24	1.67
Leica SR9500	0.20	0.25	1686	1.64E-07	1.86E-09	11.46	5.84	4.03
NovAtel 502	0.89	0.66	69	-7.43E-09	1.58E-09	9.99	3.43	2.27
Ashtech Z-surveyor	0.17	0.19	690	-6.15E-08	1.62E-09	6.14	1.96	1.30

根據本文之研究結果發現，整體來看在相對定位時，5項觀測指標中以接收儀內部時鐘頻率穩定度（fp）的影響為最大，如AOA BenchMark、Javad Odyssey這兩部儀器的頻率穩定度較好，故其定位精度相較起來也較為突出，而Leica SR9500這台接收儀的頻率精度較差，所以其定位精度在6台儀器中也較差一些。

第二項影響較大的是週波脫落（o/slps），如Leica SR530、NovAtel 502、Ashtech Z-surveyor這三台儀器中的頻率穩定度皆差不多，但以NovAtel 502的週波脫落最為嚴重，故其精度也較差；第三項影響較大的本應為多路徑效應MP1及MP2，但在本實驗看來，多路徑效應較為嚴重的Ashtech Z-surveyor，其定位精度反而比多路徑效應最少的Leica SR530來得更好，且其在長、中距離相對定位精度上也為最好，可能是因為本實驗位於工研院頂樓，所以多路徑效應還未明顯到可以影響定位精度，也或許是因還有會影響GPS定位的指標沒被考慮到。

另外，吾人也蒐集工研院葉大綱先生在2002年4月21日到4月23日所做過的外業資料，其場地也是位於工研院頂樓的GPS校正場。把觀測時間取4小時，經過上述的計算分析後，得到成果整理如下表4-11：

表4-11 4小時觀測品質指標及長、中、短距離相對定位精度（二）

廠牌型號	MP1 m	MP2 m	o/slps	tp 秒	fp 秒	長距離 cm	中距離 cm	短距離 cm
Ashtech Z-surveyor	0.29	0.34	132	-1.4E-07	1.00E-09	5.08	3.29	1.50
Ashtech Z-XII3	0.50	0.50	1560	-1.4E-07	1.00E-09	5.26	2.74	1.26
Leica RS500	0.05	0.06	2290	-5.4E-08	9.84E-10	4.60	2.65	1.73
Trimble 4000SSE	0.14	0.86	95	1.7E-03	1.62E-09	7.62	4.63	7.13
Trimble 5700	0.27	0.35	2255	4.8E-02	9.95E-10	4.80	2.18	2.19

由成果顯示也是以接收儀內部時鐘頻率穩定度（fp）的影響相對定位精度為最大，而影響最小的指標為接收儀內部時鐘偏移量（tp），雖然每個接收儀內部時鐘的偏移量彼此之間差距都甚大，但在定位精度上卻看不出有何影響。

$$\varepsilon = a_0 + a_1(t - t_{oe}) + a_2(t - t_{oe})^2$$

ε ：時間修正量

a_0 ：相對於GPS時的時間偏差（clock bias）

a_1 ：相對於實際頻率的頻率偏差係數（clock drift）

a_2 ：為時鐘頻率的飄移係數（clock drift-rate）

t ：接收儀時間

t_{oe} ：參考時間

我想這是因為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，主要原因可以用上面公式【2】來解釋。因為要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 a_1 並不會紀錄修正。所以要是內部頻率穩定度較差的話，在解算的過程中因為難以有效的修正，故其影響定位之精度較大。

本研究所使用之GPS接收儀出廠的時間並不相同，且儀器維護的好壞不一，AOA BenchMark所安置的樁位對空通視較佳，而Javad Odyssey、Leica SR530及NovAtel 502這三部儀器在進行測試時儀器放置在室外，儀器本身的溫度較高。在定位精度評估時並未將以上這些因素考慮進去，這些差異亦有可能會對於定位成果產生影響。因此，本文所進行的測試僅供使用者對儀器的性能有初步的瞭解，若要做更精確的評估，則需要更多的實驗資料以增進其可靠度。

第五章 結論與建議

在最後結論之前，有幾點必須先說明一下。本研究所使用之 GPS 接收儀出廠的時間不同，儀器新舊程度及其維護的好壞不一。AOA BenchMark 所安置的樁位對空通視較佳，而 Javad Odyssey、Leica SR530 及 NovAtel 502 這三部儀器在進行測試時儀器放置在室外，儀器本身的溫度較高。在定位精度評估時並未將這些因素考慮進去，這些差異亦有可能會對於定位成果產生影響。

雖然本文所使用的儀器在坐標重現性的定位精度有些許的差異，但整體來說各儀器的定位精度皆有符合內政部所訂的 GPS 衛星點測量規範的要求。因此，本文所進行的測試僅供使用者對儀器的性能有初步的瞭解，所獲得的結果也僅僅只是代表本研究的案例，不能代表所有的儀器。若要做更精確的評估，則需要更多的實驗資料以增進其可靠度。

基線重複性	一等衛星控制點	二等衛星控制點
重複觀測基線水平分量	$\leq 10\text{mm}+2\text{ppm}$	$\leq 20\text{mm}+4\text{ppm}$
重複觀測基線垂直分量	$\leq 25\text{mm}+5\text{ppm}$	$\leq 50\text{mm}+10\text{ppm}$

本研究採用了五項 GPS 觀測資料品質指標，來分析 GPS 觀測資料品質與基線解算精度之相關性，依據第四章的資料處理及結果分析，在此提出以下幾項結論及建議：

1. 在 MP1 及 MP2 這兩項觀測指標上，以 Leical SR530 的精度較好，以 NovAtel 502 的精度較差；而週波脫落(o/slps)這項觀測指標上以 Leica SR9500 的精度較好，以 NovAtel 502 的精度較差；在內部時鐘的平均偏差量 (tp) 這項觀測指標上，以 Leical SR530 的精度較好，以 AOA BenchMark 的精度較差。
2. 在內部時鐘的穩定度 (fp) 這項觀測指標上，以 Javad Odyssey 的精度較好，以 Leica SR9500 的精度較差。各種廠牌型號接收儀所接收的 GPS 觀測資料品質各有其優劣所在，但從整體上來看，以 Leica SR530 的觀測資料品質為最佳，以 NovAtel 502 的觀測資料品質則較差。
3. 為了評估各型儀器不同基線距離的定位精度，本研究約制日本 USUD 站、台灣 TWTF 站以及內政部 PKGM 站三站作為主站，分別對各廠牌型號儀器進行短、中、長距離的基線解算。結果發現雖然各接收儀的觀測資料品質各有優缺點，但其影響量反映在基線的解算成果上，相差都在 2 mm 以下，可算是非常的小。
4. 在長距離的坐標解算成果上，從水平方向來看，以 Leica SR9500 的 1.92 cm 較好，以 Leica SR530 的 2.59 cm 較差；而從高程及三維合成量方向來看，皆以 Leica SR9500 及 NovAtel 502 的精度較差，而以 Ashtech Z-surveyor 的精度較好。
5. 在中、短距離的坐標解算成果上，各儀器水平方向的坐標變化量並無明顯差異；而從高程及三維合成量方向來看，皆以 Leica SR9500 及 NovAtel 502 的精度較差，其餘無明顯差異。

6. 整體來看，在本文的所研究的五項指標，以接收儀內部時鐘頻率穩定度 (fp) 影響定位精度為最大，次之為週波脫落 (o/slps) 及多路徑效應 (MP1, MP2)，最後則為接收儀內部時鐘偏移量 (tp)。
7. 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，主要原因是因為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。但若其內部頻率穩定度較差的話，在解算的過程中難以有效的修正，故其影響定位之精度較大。
8. 本研究中各接收儀的定位精度，除了 Ashtech Z-surveyor 在長、中距離精度上較為突出外，大致符合上述規律，這或許是因為還有會影響 GPS 定位的指標沒被考慮到。
9. 本研究中因為實驗場地位於屋頂，所以導致週波脫落及多路徑效應的影響不大。後續研究可考慮在不同的場地架設同型號或不同型號的儀器，如此一來可提高週波脫落及多路徑效應的大小，可以了解大概多大的週波脫落及多路徑效應會對定位精度產生影響，相信對於檢定指標的研究能有更大的幫助。

參考文獻

- 【1】 ISO, 1995. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), 2nd ed., International Organization for Standardization, Switzerland.
- 【2】 曾清涼、儲慶美，1999。“GPS 衛星測量原理與應用”，成功大學衛星資訊研究中心。
- 【3】 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，第 1~10 頁。
- 【4】 Chun-Sung Chen, Ta-Kang 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.
- 【5】 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。
- 【6】 陳春盛，劉美利，2003。“應用零基線原理檢驗接收儀內部雜訊之研究”，第二十二屆測量學術及應用研討會論文集，第 359~368 頁。
- 【7】 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。

- 【8】UCAR UNAVCO Facility, 2002, Boulder, Colorado,
<http://www.unavco.ucar.edu/>.
- 【9】Beutler G., E. Brockmann, R. Dach, P. Fridez, W. Gurtner, U. Hugentobler, J. Johnson, L. Mervart, M. Rothacher, S. Schaer, T. Springer, R. Weber, 2000. Bernese GPS Software Version 4.2, Astronomical Institute, University of Berne.
- 【10】陳春盛，葉大綱，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論文集，第 119~128 頁。
- 【11】陳春盛，蔡豐吉，2002。“利用短基線場檢測 GPS 天線相位中心之研究”，第二十一屆測量學術及應用研討會論文集，第 765~774 頁。
- 【12】陳春盛，李旭志，1999。“多路徑效應對 GPS 定位影響之研究”，第十八屆測量學術及應用研討會論文集，第 87~96 頁。
- 【13】黃德昌，2003。“GPS 多路徑效應行為模式分析之研究”，第二十二屆測量學術及應用研討會論文集，第 537~544 頁。
- 【14】汪俊寰，2001。“GPS 衛星測量接收儀定位精度驗證之研究”，國立交通大學土木工程學系八十九級碩士論文。

- 【15】 James C. Camparo, Leonard S. Cutler, Lute Maleki, William J. Riley, Samuel R. Stein, Claudine Thomas, Fred L. Walls, Joseph D. White, 1999. IEEE Standard Definitions of Physical Quantities for Fundamental Frequency and Time Metrology Random Instabilities.
- 【16】 Ta-Kang Yeh, Chiung-Wu Lee, Gwo-Sheng 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, Teddington, United Kingdom.
- 【17】 劉俊宏、史天元，2000。“單站 GPS 觀測量初步品質分析作業”，第四屆 GPS 衛星科技研討會，第 109~118 頁。
- 【18】 葉大綱、李瓊武，2002。“Bernese 研究軟體應用及基線解算精度研究”，技術報告。
- 【19】 U.S. Naval Observatory, <http://tycho.usno.navy.mil/falcon.html>.

附錄 A GPS 觀測資料指標解算成果

附表 A-1 各型號儀器 MP1 資料指標(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	0.33	0.53	0.04	0.21	0.83	0.21
2	0.32	0.51	0.05	0.29	0.9	0.22
3	0.35	0.46	0.06	0.27	1.08	0.19
4	0.36	0.52	0.04	0.16	0.96	0.18
5	0.32	0.44	0.04	0.14	0.71	0.17
6	0.32	0.43	0.06	0.18	0.92	0.14
7	0.36	0.53	0.04	0.17	0.88	0.15
8	0.34	0.52	0.05	0.15	0.89	0.21
9	0.34	0.49	0.04	0.14	0.95	0.15
10	0.35	0.53	0.04	0.15	0.86	0.17
11	0.3	0.43	0.04	0.14	0.72	0.17
12	0.31	0.44	0.04	0.22	0.87	0.16
13	0.32	0.53	0.04	0.2	1.1	0.18
14	0.37	0.51	0.05	0.22	1.06	0.24
15	0.32	0.47	0.12	0.22	0.93	0.18
16	0.34	0.56	0.04	0.19	0.81	0.18
17	0.31	0.44	0.04	0.15	0.74	0.17
18	0.3	0.44	0.05	0.18	0.81	0.13
平均	0.33	0.49	0.05	0.19	0.89	0.18

附表 A-2 各型號儀器 MP2 資料指標(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	0.44	0.5	0.07	0.27	0.56	0.27
2	0.37	0.55	0.09	0.42	0.61	0.27
3	0.33	0.45	0.09	0.4	0.84	0.21
4	0.35	0.55	0.07	0.13	0.8	0.16
5	0.28	0.46	0.08	0.2	0.52	0.18
6	0.3	0.44	0.1	0.21	0.51	0.18
7	0.5	0.51	0.07	0.19	0.65	0.16
8	0.36	0.55	0.09	0.16	0.59	0.21
9	0.31	0.49	0.08	0.18	0.57	0.14
10	0.37	0.54	0.08	0.12	0.64	0.15
11	0.28	0.45	0.09	0.16	0.49	0.16
12	0.27	0.44	0.09	0.27	0.56	0.2
13	0.41	0.53	0.06	0.26	0.94	0.24
14	0.41	0.54	0.09	0.28	0.61	0.26
15	0.32	0.46	0.2	0.24	0.58	0.22
16	0.37	0.53	0.08	0.23	0.6	0.18
17	0.29	0.43	0.07	0.16	0.49	0.17
18	0.28	0.43	0.09	0.24	0.58	0.15
平均	0.35	0.49	0.09	0.23	0.62	0.20

附表 A-3 各型號儀器 o/slips 資料指標(無單位)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	52	3893	3270	3276	81	428
2	79	1849	3078	3087	45	512
3	68	4293	3707	3716	61	524
4	102	800	3436	3439	56	432
5	111	3286	2876	2886	99	1000
6	62	4255	727	3638	116	2086
7	71	3893	604	1009	90	1915
8	92	3701	3097	3105	46	718
9	89	2155	3717	3724	65	357
10	157	1995	3407	3412	60	474
11	257	3023	2691	2901	107	1970
12	59	4247	3698	3812	108	4188
13	73	3860	3221	3230	86	955
14	83	3718	3111	3121	51	720
15	66	2155	1241	3731	62	466
16	118	1330	3382	3389	51	427
17	127	3270	2910	2918	140	1329
18	67	4289	3804	3814	108	2099
平均	96	3112	2888	3234	80	1144

附表 A-4 各型號儀器內部時鐘偏差 tp 資料指標(單位，秒)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	8.42E-04	2.82E-05	2.51E-08	1.77E-07	-5.29E-09	-7.14E-08
2	8.49E-04	7.36E-05	-2.93E-08	1.16E-07	-3.63E-08	-7.68E-08
3	8.56E-04	-3.59E-06	1.14E-08	1.82E-07	1.06E-08	-4.43E-08
4	8.63E-04	-8.06E-06	-3.85E-09	1.79E-07	1.36E-09	-5.34E-08
5	8.70E-04	-2.32E-05	6.90E-09	1.74E-07	-6.98E-09	-4.67E-08
6	8.77E-04	-1.89E-04	9.81E-10	1.84E-07	-6.84E-09	-8.12E-08
7	8.84E-04	-1.25E-04	2.70E-08	1.78E-07	-2.79E-09	-7.20E-08
8	8.90E-04	-2.51E-05	-6.14E-09	1.82E-07	-5.06E-08	-6.21E-08
9	8.97E-04	2.48E-06	3.81E-09	1.95E-07	-1.75E-08	-4.15E-08
10	9.04E-04	-1.92E-06	-9.96E-09	1.87E-07	-5.32E-09	-5.01E-08
11	9.11E-04	-5.00E-08	-1.16E-08	1.77E-07	-1.26E-08	-5.11E-08
12	9.18E-04	-5.07E-05	-1.30E-08	1.74E-07	-2.14E-08	-1.06E-07
13	9.25E-04	3.96E-05	-1.68E-09	1.79E-07	8.90E-09	-9.58E-08
14	9.32E-04	-2.21E-05	-2.77E-08	1.71E-07	-4.41E-08	-7.89E-08
15	9.38E-04	5.30E-06	-1.19E-08	1.79E-07	-6.40E-09	-6.16E-08
16	9.45E-04	1.75E-05	-1.48E-08	1.77E-07	-1.43E-08	-5.60E-08
17	9.52E-04	-4.11E-06	-6.79E-09	1.77E-07	-3.34E-09	-4.79E-08
18	9.59E-04	-2.60E-05	-2.92E-08	1.60E-07	-1.80E-08	-1.21E-07
平均	9.01E-04	-1.74E-05	-5.04E-09	1.75E-07	-1.28E-08	-6.76E-08

附表 A-5 各型號儀器時鐘頻率穩定度 fp 資料指標(單位，秒)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	1.9E-09	1.97E-09	2E-09	2.1E-09	2.15E-09	1.96E-09
2	1.56E-09	1.55E-09	1.66E-09	2.52E-09	1.85E-09	1.69E-09
3	1.32E-09	1.28E-09	1.4E-09	1.31E-09	1.15E-09	1.28E-09
4	1.12E-09	1.56E-09	1.51E-09	1.51E-09	1.17E-09	1.55E-09
5	1.25E-09	1.19E-09	1.23E-09	1.2E-09	5.4E-10	1.45E-09
6	1E-09	1.07E-09	9.7E-10	1.01E-09	1.07E-09	1.23E-09
7	2E-09	1.82E-09	1.68E-09	1.78E-09	1.93E-09	1.73E-09
8	1.22E-09	1.26E-09	1.22E-09	1.4E-09	1.62E-09	1.23E-09
9	1.12E-09	1.15E-09	1.44E-09	1.36E-09	1.1E-09	1.17E-09
10	7.92E-10	1.01E-09	1.2E-09	1.18E-09	1.13E-09	1.4E-09
11	1.37E-09	1.31E-09	1.11E-09	1.34E-09	1.31E-09	1.26E-09
12	8.57E-10	6.46E-10	1.03E-09	1.09E-09	1.07E-09	1.02E-09
13	1.71E-09	1.78E-09	1.84E-09	2.11E-09	2.01E-09	1.79E-09
14	1.15E-09	1.23E-09	1.24E-09	2.64E-09	1.33E-09	1.06E-09
15	1.07E-09	1.09E-09	1.09E-09	1.34E-09	1.2E-09	1.11E-09
16	1.42E-09	1.26E-09	1.31E-09	1.26E-09	1.44E-09	1.14E-09
17	1.32E-09	9.78E-10	1.15E-09	1.08E-09	8.89E-10	1.39E-09
18	1.01E-09	7.28E-10	1.01E-09	7.74E-10	9.55E-10	6.6E-10
平均	1.29E-09	1.27E-09	1.34E-09	1.5E-09	1.33E-09	1.34E-09

附錄 B 長、中、短基線相對定位基線解算成果

附表 B-1 各型號儀器長距離基線精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	0.0134	0.0162	0.0141	0.0133	0.0160	0.0123
2	-0.0215	-0.0229	-0.0275	-0.0208	-0.0256	-0.0237
3	0.0208	0.0223	0.0202	0.0178	0.0175	0.0227
4	0.0110	0.0069	0.0050	0.0071	0.0086	0.0089
5	-0.0007	0.0030	0.0038	0.0137	0.0095	0.0002
6	-0.0068	-0.0107	-0.0106	-0.0121	-0.0115	-0.0089
7	-0.0045	-0.0064	-0.0096	-0.0106	-0.0031	-0.0044
8	-0.0283	-0.0290	-0.0325	-0.0323	-0.0306	-0.0291
9	0.0158	0.0164	0.0144	0.0149	0.0135	0.0169
10	0.0135	0.0110	0.0133	0.0100	0.0136	0.0131
11	-0.0050	-0.0007	-0.0042	0.0103	0.0029	-0.0044
12	-0.0118	-0.0143	-0.0162	-0.0127	-0.0138	-0.0102
13	0.0301	0.0333	0.0323	0.0261	0.0318	0.0302
14	-0.0196	-0.0210	-0.0172	-0.0209	-0.0223	-0.0218
15	-0.0077	-0.0065	0.0076	-0.0085	-0.0118	-0.0058
16	0.0287	0.0261	0.0287	0.0262	0.0291	0.0290
17	-0.0105	-0.0064	-0.0051	0.0025	-0.0035	-0.0095
18	-0.0167	-0.0171	-0.0161	-0.0240	-0.0204	-0.0161
中誤差	0.0175	0.0181	0.0185	0.0180	0.0187	0.0179

附表 B-2 各型號儀器中距離基線精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	-0.0002	-0.0009	-0.0004	-0.0020	-0.0001	-0.0002
2	0.0018	0.0028	0.0044	0.0014	0.0037	0.0026
3	0.0005	0.0004	0.0017	0.0002	0.0010	0.0003
4	0.0005	0.0020	-0.0012	0.0002	-0.0004	0.0007
5	-0.0005	-0.0007	-0.0001	0.0014	-0.0010	-0.0003
6	-0.0016	-0.0017	0.0015	-0.0036	-0.0020	-0.0019
7	-0.0006	-0.0011	0.0007	-0.0015	0.0001	0.0002
8	0.0034	0.0038	0.0058	0.0023	0.0044	0.0038
9	-0.0032	-0.0020	-0.0021	-0.0031	-0.0023	-0.0026
10	0.0001	0.0017	-0.0006	0.0019	0.0002	0.0004
11	-0.0004	-0.0008	-0.0005	0.0020	-0.0009	-0.0004
12	-0.0012	-0.0014	0.0019	-0.0036	-0.0025	-0.0017
13	0.0006	-0.0007	-0.0072	-0.0001	0.0012	0.0008
14	0.0014	0.0016	-0.0006	0.0017	0.0016	0.0015
15	-0.0009	0.0001	0.0006	0.0012	0.0014	-0.0003
16	-0.0009	0.0002	-0.0031	0.0006	-0.0016	-0.0011
17	0.0002	-0.0006	-0.0022	0.0019	-0.0006	-0.0003
18	0.0001	-0.0024	0.0012	-0.0017	-0.0023	-0.0007
中誤差	0.0014	0.0017	0.0028	0.0020	0.0020	0.0015

附表 B-3 各型號儀器短距離基線精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	-0.0010	-0.0008	-0.0013	0.0008	-0.0009	-0.0011
2	-0.0006	-0.0014	-0.0015	-0.0001	-0.0010	-0.0008
3	-0.0006	-0.0014	-0.0007	-0.0015	-0.0018	-0.0007
4	-0.0018	-0.0028	-0.0008	-0.0031	-0.0023	-0.0017
5	0.0003	0.0010	0.0005	-0.0003	0.0018	0.0006
6	0.0005	0.0011	-0.0019	0.0021	0.0013	0.0009
7	-0.0012	-0.0012	-0.0027	-0.0009	-0.0024	-0.0022
8	-0.0021	-0.0027	-0.0046	-0.0008	-0.0025	-0.0026
9	0.0007	0.0003	0.0002	0.0003	-0.0005	0.0006
10	-0.0002	-0.0011	0.0006	-0.0025	-0.0005	-0.0001
11	0.0006	0.0012	0.0008	-0.0007	0.0019	0.0011
12	-0.0003	-0.0002	-0.0047	0.0007	0.0003	-0.0002
13	0.0004	0.0009	0.0017	0.0012	0.0002	-0.0002
14	0.0006	0.0002	0.0028	0.0009	0.0007	0.0004
15	0.0022	0.0027	0.0058	0.0020	0.0007	0.0019
16	0.0004	-0.0004	0.0023	-0.0022	-0.0003	0.0008
17	0.0011	0.0020	0.0029	0.0007	0.0031	0.0016
18	0.0009	0.0020	0.0011	0.0030	0.0021	0.0019
中誤差	0.0011	0.0016	0.0027	0.0017	0.0017	0.0013

附錄 C 整置樁位坐標解算成果

附表 C-1 各型號儀器長距離定位坐標解算(單位，公尺)

樁位	使用儀器	N	E	h
TNML	AOA BenchMark	2743399.0142	248720.4905	75.8764
NML3	Ashtech Z-surveyor	2743435.3405	248703.8593	70.8190
NML4	NovAtel 502	2743438.6276	248701.6525	70.8918
NML5	Javad Odyssey	2743441.9567	248699.4177	70.6888
NML6	LEICA SR530	2743424.9762	248672.5490	70.7481
NML7	LEICA SR9500	2743420.6123	248671.2016	70.8514

附表 C-2 各型號儀器中距離定位坐標解算(單位，公尺)

樁位	使用儀器	N	E	h
TNML	AOA BenchMark	2743399.1221	248720.2442	76.0975
NML3	Ashtech Z-surveyor	2743435.4481	248703.6127	71.0424
NML4	NovAtel 502	2743438.7344	248701.4052	71.1230
NML5	Javad Odyssey	2743442.0638	248699.1728	70.9133
NML6	LEICA SR530	2743425.0853	248672.3036	70.9742
NML7	LEICA SR9500	2743420.7203	248670.9500	71.0778

附表 C-3 各型號儀器短距離定位坐標解算(單位，公尺)

樁位	使用儀器	N	E	h
TNML	AOA BenchMark	2743399.0084	248720.4943	75.8823
NML3	Ashtech Z-surveyor	2743435.3344	248703.8628	70.8277
NML4	NovAtel 502	2743438.6209	248701.6553	70.9113
NML5	Javad Odyssey	2743441.9503	248699.4231	70.6999
NML6	LEICA SR530	2743424.9716	248672.5536	70.7554
NML7	LEICA SR9500	2743420.6067	248671.2001	70.8653

附錄 D 長、中、短基線 N、E、h 坐標解算成果

附表 D-1 各型號儀器長距離定位 N 方向精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	0.0008	0.0002	0.0049	-0.0057	0.0017	0.0008
2	-0.0004	0.0006	-0.0009	-0.0056	-0.0006	-0.0005
3	-0.0130	-0.0114	-0.0115	-0.0037	-0.0127	-0.0121
4	-0.0091	-0.0087	-0.0080	-0.0049	-0.0093	-0.0092
5	0.0029	0.0014	-0.0007	-0.0039	0.0021	0.0018
6	0.0030	0.0052	0.0080	0.0046	0.0040	0.0047
7	-0.0004	-0.0015	0.0066	-0.0016	-0.0009	-0.0007
8	0.0031	0.0043	0.0039	0.0043	0.0053	0.0038
9	-0.0123	-0.0122	-0.0108	-0.0107	-0.0124	-0.0120
10	-0.0145	-0.0140	-0.0163	-0.0126	-0.0153	-0.0148
11	0.0086	0.0067	0.0054	0.0103	0.0079	0.0078
12	0.0102	0.0104	0.0138	0.0063	0.0076	0.0094
13	0.0061	0.0054	0.0093	0.0044	0.0085	0.0070
14	0.0038	0.0051	0.0001	0.0049	0.0060	0.0042
15	0.0043	0.0043	0.0007	0.0051	0.0043	0.0042
16	-0.0232	-0.0229	-0.0270	-0.0207	-0.0230	-0.0227
17	0.0122	0.0102	0.0068	0.0140	0.0114	0.0107
18	0.0174	0.0164	0.0163	0.0162	0.0156	0.0168
中誤差	0.0105	0.0101	0.0110	0.0095	0.0104	0.0102

附表 D-2 各型號儀器長距離定位 E 方向精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	-0.0295	-0.0325	-0.0336	-0.0025	-0.0284	-0.0268
2	0.0230	0.0258	0.0293	-0.0014	0.0306	0.0260
3	-0.0216	-0.0262	-0.0221	-0.0011	-0.0199	-0.0250
4	-0.0037	-0.0007	0.0012	0.0020	-0.0018	-0.0024
5	0.0072	0.0060	0.0045	-0.0030	0.0020	0.0056
6	0.0061	0.0080	0.0082	0.0017	0.0053	0.0069
7	0.0059	0.0085	0.0063	0.0131	0.0045	0.0068
8	0.0275	0.0298	0.0319	0.0269	0.0289	0.0282
9	-0.0118	-0.0141	-0.0133	-0.0165	-0.0126	-0.0138
10	-0.0070	-0.0050	-0.0062	-0.0086	-0.0068	-0.0070
11	0.0154	0.0140	0.0138	0.0054	0.0109	0.0138
12	0.0085	0.0095	0.0122	0.0057	0.0071	0.0079
13	-0.0556	-0.0607	-0.0619	-0.0492	-0.0590	-0.0558
14	0.0179	0.0210	0.0201	0.0196	0.0219	0.0213
15	0.0066	0.0039	-0.0091	0.0056	0.0089	0.0038
16	-0.0164	-0.0139	-0.0148	-0.0184	-0.0172	-0.0177
17	0.0186	0.0175	0.0162	0.0087	0.0144	0.0168
18	0.0093	0.0098	0.0179	0.0112	0.0105	0.0108
中誤差	0.0209	0.0226	0.0234	0.0166	0.0218	0.0213

附表 D-3 各型號儀器長距離定位 h 方向精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	-0.0493	-0.0485	-0.0473	0.0340	-0.0243	-0.0432
2	-0.0295	-0.0208	-0.0387	0.0343	-0.0195	-0.0286
3	-0.0224	-0.0283	-0.0231	-0.0037	-0.0341	-0.0224
4	0.0141	0.0042	0.0034	0.0126	0.0077	0.0079
5	0.0406	0.0516	0.0408	0.0534	0.0762	0.0342
6	-0.0025	-0.0094	0.0037	-0.0527	-0.0303	-0.0039
7	-0.0024	-0.0062	-0.0044	-0.0166	-0.0015	0.0019
8	-0.0364	-0.0253	-0.0391	-0.0628	-0.0345	-0.0343
9	-0.0055	-0.0123	-0.0158	-0.0308	-0.0249	-0.0069
10	-0.0072	-0.0114	-0.0129	-0.0332	-0.0083	-0.0103
11	0.0740	0.0864	0.0587	0.1246	0.0992	0.0673
12	0.0067	-0.0030	0.0114	-0.0318	-0.0222	0.0119
13	-0.0448	-0.0510	-0.0476	-0.0515	-0.0402	-0.0406
14	-0.0239	-0.0129	-0.0144	-0.0241	-0.0128	-0.0195
15	-0.0001	-0.0052	0.0079	-0.0111	-0.0149	-0.0009
16	0.0092	0.0052	0.0001	-0.0105	0.0082	0.0070
17	0.0693	0.0811	0.0696	0.1069	0.0906	0.0619
18	0.0095	0.0051	0.0478	-0.0368	-0.0147	0.0178
中誤差	0.0344	0.0377	0.0353	0.0527	0.0431	0.0313

附表 D-4 各型號儀器中距離定位 N 方向精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	-0.0016	-0.0024	-0.0007	-0.0035	-0.0018	-0.0020
2	0.0034	0.0036	0.0044	0.0031	0.0048	0.0035
3	0.0002	0.0010	0.0018	0.0003	0.0005	0.0005
4	-0.0008	0.0003	-0.0024	-0.0014	-0.0019	-0.0005
5	-0.0005	-0.0006	-0.0006	0.0017	-0.0001	-0.0001
6	0.0000	0.0000	0.0030	-0.0016	-0.0002	-0.0005
7	-0.0016	-0.0024	0.0007	-0.0029	-0.0015	-0.0014
8	0.0019	0.0016	0.0034	0.0010	0.0030	0.0019
9	-0.0037	-0.0023	-0.0025	-0.0033	-0.0031	-0.0031
10	-0.0002	0.0010	-0.0014	0.0009	-0.0005	0.0000
11	-0.0006	-0.0012	-0.0013	0.0017	-0.0005	-0.0005
12	-0.0006	-0.0006	0.0023	-0.0030	-0.0019	-0.0012
13	0.0017	-0.0001	-0.0030	0.0010	0.0017	0.0014
14	0.0015	0.0010	0.0003	0.0018	0.0016	0.0009
15	0.0002	0.0011	-0.0015	0.0014	0.0015	0.0009
16	-0.0004	0.0004	-0.0025	0.0004	-0.0015	-0.0006
17	-0.0006	-0.0016	-0.0037	0.0013	-0.0007	-0.0011
18	0.0023	0.0009	0.0040	0.0003	0.0004	0.0016
中誤差	0.0017	0.0016	0.0026	0.0020	0.0020	0.0016

附表 D-5 各型號儀器中距離定位 E 方向精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	0.0027	0.0027	0.0006	0.0020	0.0029	0.0030
2	-0.0022	-0.0011	0.0012	-0.0031	-0.0016	-0.0010
3	0.0007	-0.0012	0.0001	0.0001	0.0013	-0.0007
4	0.0025	0.0035	0.0019	0.0032	0.0027	0.0022
5	0.0002	-0.0003	0.0008	-0.0010	-0.0023	-0.0001
6	-0.0030	-0.0034	-0.0024	-0.0037	-0.0034	-0.0033
7	0.0017	0.0022	0.0005	0.0022	0.0029	0.0029
8	0.0040	0.0051	0.0060	0.0029	0.0036	0.0047
9	0.0006	-0.0003	0.0003	0.0003	0.0014	0.0002
10	0.0008	0.0015	0.0014	0.0027	0.0017	0.0008
11	0.0006	0.0006	0.0017	0.0002	-0.0014	0.0004
12	-0.0010	-0.0015	-0.0002	-0.0010	-0.0013	-0.0014
13	-0.0020	-0.0016	-0.0092	-0.0025	-0.0010	-0.0014
14	0.0004	0.0014	-0.0017	-0.0004	-0.0003	0.0013
15	-0.0019	-0.0020	0.0039	0.0003	0.0006	-0.0023
16	-0.0014	-0.0007	-0.0023	0.0007	-0.0006	-0.0015
17	0.0015	0.0014	0.0019	0.0008	-0.0006	0.0014
18	-0.0038	-0.0066	-0.0050	-0.0032	-0.0050	-0.0045
中誤差	0.0021	0.0027	0.0033	0.0021	0.0023	0.0023

附表 D-6 各型號儀器中距離定位 h 方向精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	0.0045	-0.0013	-0.0080	0.0144	0.0109	0.0035
2	-0.0086	-0.0012	-0.0051	0.0129	0.0092	-0.0026
3	0.0055	0.0110	-0.0011	-0.0135	-0.0067	0.0091
4	0.0064	0.0086	0.0112	-0.0022	0.0047	0.0078
5	-0.0041	-0.0040	0.0076	0.0326	0.0141	-0.0119
6	-0.0080	-0.0131	-0.0041	-0.0372	-0.0201	-0.0064
7	0.0026	-0.0014	-0.0080	0.0069	0.0062	0.0029
8	-0.0036	-0.0031	-0.0006	0.0095	0.0107	-0.0017
9	0.0035	0.0015	-0.0068	-0.0220	-0.0173	0.0024
10	0.0015	-0.0002	0.0007	-0.0156	-0.0102	0.0006
11	-0.0007	0.0014	-0.0084	0.0313	0.0143	-0.0092
12	-0.0096	-0.0142	-0.0007	-0.0378	-0.0233	-0.0080
13	0.0080	0.0032	-0.0225	0.0214	0.0115	0.0081
14	-0.0014	0.0054	-0.0052	0.0241	0.0179	0.0026
15	-0.0064	-0.0014	0.0127	-0.0183	-0.0117	-0.0026
16	0.0095	0.0094	0.0148	-0.0068	-0.0048	0.0076
17	0.0124	0.0168	0.0219	0.0385	0.0298	0.0067
18	-0.0116	-0.0170	0.0008	-0.0385	-0.0351	-0.0093
中誤差	0.0071	0.0088	0.0105	0.0250	0.0170	0.0068

附表 D-7 各型號儀器短距離定位 N 方向精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	0.0018	0.0008	0.0032	-0.0001	0.0009	0.0014
2	0.0004	0.0003	-0.0003	0.0000	0.0015	0.0000
3	0.0008	0.0027	0.0020	0.0019	0.0015	0.0016
4	0.0005	0.0013	-0.0009	0.0007	0.0001	0.0006
5	0.0000	-0.0005	-0.0008	0.0017	0.0000	-0.0001
6	0.0012	0.0011	0.0039	-0.0005	0.0004	0.0010
7	-0.0005	-0.0011	0.0023	-0.0021	-0.0002	-0.0001
8	0.0001	-0.0001	0.0016	-0.0009	0.0010	0.0002
9	-0.0035	-0.0018	-0.0023	-0.0024	-0.0023	-0.0027
10	0.0000	0.0009	-0.0017	0.0012	-0.0004	0.0000
11	0.0006	-0.0001	-0.0006	0.0028	0.0008	0.0005
12	-0.0009	-0.0008	0.0035	-0.0027	-0.0017	-0.0007
13	0.0001	-0.0014	-0.0004	-0.0007	-0.0004	0.0002
14	-0.0010	-0.0015	-0.0019	-0.0008	-0.0008	-0.0015
15	-0.0017	-0.0018	-0.0043	-0.0016	-0.0011	-0.0008
16	0.0012	0.0017	-0.0028	0.0024	0.0008	0.0009
17	-0.0004	-0.0012	-0.0032	0.0021	0.0001	-0.0008
18	0.0014	0.0010	0.0020	-0.0011	0.0004	0.0008
中誤差	0.0013	0.0013	0.0025	0.0017	0.0010	0.0011

附表 D-8 各型號儀器短距離定位 E 方向精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	-0.0005	0.0001	-0.0012	-0.0010	0.0003	0.0002
2	0.0006	0.0016	0.0023	0.0001	-0.0001	0.0012
3	0.0001	-0.0007	-0.0010	0.0004	0.0012	-0.0005
4	0.0021	0.0025	0.0019	0.0035	0.0031	0.0018
5	-0.0004	-0.0010	0.0001	-0.0015	-0.0026	-0.0007
6	-0.0019	-0.0027	-0.0012	-0.0023	-0.0022	-0.0020
7	0.0022	0.0027	0.0016	0.0032	0.0035	0.0032
8	0.0027	0.0037	0.0048	0.0019	0.0024	0.0036
9	0.0025	0.0013	0.0019	0.0021	0.0030	0.0019
10	0.0004	0.0007	0.0007	0.0024	0.0011	0.0002
11	-0.0015	-0.0017	-0.0005	-0.0019	-0.0034	-0.0019
12	0.0013	0.0009	0.0032	0.0017	0.0014	0.0010
13	-0.0006	-0.0001	-0.0019	-0.0010	0.0002	0.0002
14	0.0000	0.0011	-0.0021	-0.0006	-0.0002	0.0010
15	-0.0014	-0.0020	-0.0039	-0.0011	0.0001	-0.0019
16	-0.0018	-0.0012	-0.0005	0.0009	-0.0003	-0.0019
17	-0.0011	-0.0017	-0.0011	-0.0032	-0.0044	-0.0013
18	-0.0027	-0.0038	-0.0037	-0.0030	-0.0033	-0.0034
中誤差	0.0016	0.0020	0.0023	0.0021	0.0024	0.0019

附表 D-9 各型號儀器短距離定位 h 方向精度(單位，公尺)

時段	AOA BenchMark	Javad Odyssey	LEICA SR530	LEICA SR9500	NovAtel 502	Ashtech Z-surveyor
1	0.0054	-0.0023	-0.0022	0.0201	0.0152	0.0068
2	0.0024	0.0059	-0.0022	0.0204	0.0198	0.0055
3	0.0019	0.0036	-0.0006	-0.0176	-0.0147	0.0022
4	0.0088	0.0092	0.0123	-0.0013	0.0053	0.0129
5	0.0058	0.0063	0.0185	0.0395	0.0235	-0.0019
6	-0.0076	-0.0118	-0.0064	-0.0394	-0.0280	-0.0041
7	0.0078	-0.0012	0.0023	0.0098	0.0118	0.0090
8	0.0000	0.0006	0.0064	0.0105	0.0139	0.0017
9	-0.0028	-0.0018	-0.0111	-0.0237	-0.0204	-0.0032
10	-0.0047	-0.0050	-0.0022	-0.0165	-0.0102	-0.0017
11	-0.0064	-0.0019	-0.0111	0.0242	0.0098	-0.0139
12	0.0084	-0.0026	-0.0115	-0.0222	-0.0198	0.0036
13	0.0012	-0.0043	-0.0091	0.0147	0.0035	0.0010
14	-0.0057	0.0009	-0.0052	0.0171	0.0092	-0.0026
15	-0.0100	0.0054	-0.0086	-0.0261	-0.0110	-0.0080
16	0.0032	0.0055	0.0037	-0.0055	-0.0029	0.0062
17	-0.0055	-0.0014	0.0056	0.0260	0.0167	-0.0125
18	-0.0023	-0.0059	0.0205	-0.0296	-0.0212	-0.0005
中誤差	0.0059	0.0053	0.0098	0.0232	0.0163	0.0070

作者簡歷

姓名：蔡福利 (Fu-Li Tsai)

籍貫：台灣省高雄縣

生日：民國六十九年五月五日

地址：高雄縣彌陀鄉舊港村舊港橫路魚塭 149 號

學歷：高雄市立高雄高級中學畢業

國立成功大學測量工程學系畢業

國立交通大學土木工程學系碩士班畢業

