

97 年度全球導航衛星系統 (GNSS)資料聯合處理技術

期末報告確定本

計畫主持人：楊 名 教授

國立成功大學 測量及空間資訊學系

共同主持人：江凱偉 助理教授

國立成功大學 測量及空間資訊學系

委託單位：內政部國土測繪中心

執行單位：國立成功大學 測量及空間資訊學系

中 華 民 國 9 8 年 9 月 1 6 日

摘要

我國目前非常廣泛地使用 GPS 精密定位於國家測量工作，包含靜態與動態定位。隨著 GNSS 的到來，衛星定位使用之硬體設備與軟體計算程式也將大幅改變，對於資料處理之作業技術發展也必須迅速進行。未來的 GNSS 具備多系統多頻率之特性。因此，相關系統建置完成後預期會大幅提升現有不管低精度即時動態單點定位導航模式，或是高精度後處理的動態或靜態基線解算模式之精度。故本年度的計畫首先針對國內外 GNSS 技術發展之現況與 GNSS 相對定位原理提供完整的回顧，同時亦引入精密單點定位技術的理論基礎。就技術發展的貢獻而言，本計畫持需更新多系統 GNSS 軟體模擬器之各項功能、發展動態精密單點定位之軟體並提供其靜態與動態定位精度之效益分析、開發中長基線的網型解算軟體及開發 GNSS 單頻動態基線解算軟體。

本年度研究的成果顯示多系統 GNSS 模擬器可以提供未來不同系統及相關組合之理論性能指標分析，並協助未來多系統觀測量解算模型之開發與測試。而採用精密單點定位技術來進行靜態定位時之平面精度及高程精度皆在 5 公分以內，因此公分級需求之靜態定位已經可以利用精密單點定位來達成，在人力及儀器設備的需求皆可降低。未來若使用 GPS/Galileo 三頻資料進行追蹤站長基線測量，每日解之定位精度可比目前 GPS 雙頻改善約 40% 左右，對地殼變動、坐標系統監控等之科學應用上有者很大的幫助。藉由模擬器產生之雙系統 GPS/Galileo 資料結果顯示，整體而言，未來 GPS/Galileo 雙系統單頻觀測之整數週波值解算效益會是最高的，其次才是目前的 GPS 雙頻系統，最後則是 GPS 單頻系統。未來使用 GPS/Galileo 單頻接收儀取代 GPS 雙頻接收儀作為 e-GPS 移動站的可行性非常高，如此將可大幅降低移動站硬體成本，並有效推廣 e-GPS 服務之工程應用層面。

關鍵字:全球定位系統，全球導航衛星系統、軟體模擬器、週波未定值解算

Abstract

GPS positioning has been widely applied in national surveying missions including static and kinematic positioning. With the presence of future GNSS, the facilities including hardware and software applied for satellite positioning will be undergoing a major renovation process thus the development of related data process strategy has to be conducted rapidly. Future GNSS is composed of at least four major satellite navigation systems and expected to have more than six civil frequencies. Therefore, the accuracies of future GNSS real time navigation applications as well as post-mission static and kinematic positioning applications are expected to be improved significantly. Therefore, this study provides a completed review concerning the latest development of GNSS technology and mathematical models of GNSS relative positioning. In addition, the mathematical models of precise point positioning are introduced. Generally speaking, the technical contributions of this study including upgrading various functions of previously developed GNSS software simulator, the implementation of precise point positioning software as well as its performance analysis, the development of network data processing software suitable for long baseline observations and for single frequency GNSS kinematic baseline observations, respectively.

The preliminary results presented in this study indicate that the GNSS software simulator can provide theoretical performance evaluation as well as assisting the development of multi-system data processing strategy. In addition, the accuracy of static precise point positioning can achieve five centimeters thus it is a practical alternate for centimeter level static positioning applications. On the other hand, the accuracy of daily solutions is expected to be improved to 40% for long baseline data processing with the use of GPS/Galileo three frequencies measurements comparing to the use of current GPS dual frequencies measurements. Such findings are significant for those scientific applications including crust monitoring and reference frame determination. With the use of simulated GPS/Galileo measurements, the performance of dual system with one frequency scenario in term of ambiguity resolution is superior to the use of GPS with two frequencies and single frequency scenarios. Therefore, the chance of using GPS/Galileo single frequency receivers to replace current GPS dual frequencies receiver as the rovers of e-GPS network is high thus the equipment expanses can be further reduced and the inclination of e-GPS service for other engineering applications can be expanded.

Keywords: Global positioning system, Global navigation satellite system, Software simulator, Ambiguity resolution.

目 錄

摘要.....	I
圖目錄.....	5
表目錄.....	12
第一章 前言.....	14
§ 1.1 95 年度計畫執行之回顧.....	14
§ 1.2 96 年度計畫執行之回顧.....	18
§ 1.3 97 年度計畫執行工作項目.....	24
第二章 國內外 GNSS 發展之現況與趨勢.....	26
§ 2.1 GPS 現代化.....	27
§ 2.2 GLONASS 現代化.....	39
§ 2.3 Galileo.....	43
§ 2.4 Compass/Beidou.....	45
§ 2.5 未來的 GNSS.....	46
§ 2.6 WAAS.....	51
§ 2.7 EGNOS	53
§ 2.8 MASA/QZSS.....	54
§ 2.9 GAGAN.....	58
第三章 GNSS 相對定位基本原理.....	65
§ 3.1 系統參數整合問題.....	65
§ 3.1.1 GPS 與 Galileo 觀測量之差異.....	65
§ 3.1.2 單點定位.....	66
§3.1.3 雙系統相對定位.....	68
§3.1.4 雙系統二次差分 (Double-difference)	70
§ 3.2 週波脫落偵測.....	71
§ 3.3 與觀測量仰角相關之給權模式.....	72
§ 3.4 二次差整數週波值之求解.....	72
§ 3.4.1 LAMBDA 低相關化搜尋整數解週波未定值.....	72
§ 3.5 觀測量之偵錯.....	76
§ 3.6 單位權方差之檢驗.....	77

第四章 開發及更新 GNSS 軟體模擬器.....78

§ 4.1 星群模擬功能之更新.....	80
§ 4.1.1 多系統性能展示功能.....	80
§ 4.1.2 衛星動態軌跡展示功能.....	81
§ 4.1.3 顯圖模式品質提升.....	82
§ 4.1.4 YUMA 星曆更新問題.....	84
§ 4.2 系統誤差圖形展示功能.....	84
§ 4.3 接收儀動態模擬功能.....	86
§ 4.4 模擬器操作介面說明.....	87
§ 4.4.1 性能分析操作介面說明.....	87
§ 4.4.2 GNSS 觀測量模擬操作介面說明.....	89
§ 4.4.3 動態軌跡模擬說明.....	93
§ 4.5 多系統 GNSS 模擬器性能分析功能展示與分析.....	94
§ 4.6 模擬系統誤差及延遲量展示.....	111

第五章 開發精密單點定位(PPP)軟體.....116

§ 5.1 無差分精密單點定位數學模型.....	118
§ 5.2 無差分精密單點定位之參數估計.....	120
§ 5.2.1 遞迴式最小二乘法.....	121
§ 5.2.2 卡曼濾波器.....	124
§ 5.2.3 有色雜訊卡曼濾波器.....	130
§ 5.2.4 參數估計.....	133
§ 5.3 無差分精密單點定位方法.....	137
§ 5.3.1 和接收儀、測站有關的誤差來源.....	137
§ 5.3.2 和衛星有關的誤差來源.....	139
§ 5.3.3 和訊號傳播有關的誤差來源.....	141
§ 5.3.4 精密單點定位演算法之架構.....	142
§ 5.4 精密單點定位軟體介面介紹.....	143
§ 5.4.1 軟體介面介紹.....	143
§ 5.4.2 工具列說明與圖示介紹.....	144
§ 5.4.3 狀態列說明介紹.....	145
§ 5.4.4 觀測改正量圖示說明介紹.....	146
§ 5.4.5 衛星運行軌跡圖示介紹.....	147
§ 5.4.6 衛星仰角與方位角欄位說明.....	148
§ 5.4.7 資料解算軌跡.....	148
§ 5.4.8 衛星選取視窗介紹.....	149

§ 5.4.9 參數值視窗	149
§ 5.5 設定參數	151
§ 5.5.1 參數設定	152
§ 5.5.2 天線設定	152
§ 5.5.3 初始坐標設定	153
§ 5.5.4 氣象參數設定	153
§ 5.5.5 衛星選擇設定	154
§ 5.5.6 輸出設定	155
第六章 動態精密單點定位精度及效益分析	156
§ 6.1 外業實驗及資料處理流程	158
§ 6.2 靜態精密單點定位靜態測試	158
§ 6.3 精密單點定位與差分相對定位之比較	176
§ 6.3.1 IGS 最終產品解算成果	177
§ 6.3.2 IGS 快速產品解算成果	185
§ 6.3.3 IGS 超快速產品觀測部分解算成果	193
§ 6.3.4 IGS 超快速產品預估部分解算成果	201
第七章 更新及開發 GNSS 中長基線網解算軟體	210
§ 7.1 GNSS 中長基線網解算軟體	210
§ 7.2 基線計算模型	210
§ 7.2.1 系統誤差改正	210
§ 7.2.2 無電離層線性組合	211
§ 7.2.3 四觀測量線性組合	213
§ 7.2.4 對流層參數	214
§ 7.2.5 函數及隨機模型	214
§ 7.2.6 整數週波值求解策略	219
§ 7.3 基線網形之組成	221
§ 7.4 GNSS 基線網計算軟體介面	222
§ 7.5 網形平差	228
§ 7.6 在未安裝 Matlab 的系統上執行基線網計算程式	229
第八章 開發 GNSS 單頻動態基線解算軟體	231
§ 8.1 動態短基線計算模型	232
§ 8.1.1 動態方程式	232
§ 8.1.2 觀測方程式	233

§ 8.2 OTF 解算整數週波值.....	235
§ 8.3 演算法設計.....	236
§ 8.4 實驗資料.....	238
§ 8.4 GNSS 單頻動態基線解算軟體介面及成果檔.....	238
§ 8.4.1 軟體介面.....	238
§ 8.4.2 成果檔說明.....	241
§ 8.5 實驗與成果分析.....	242
§ 8.5.1 實驗方法設計.....	243
§ 8.5.2 實驗一：GPS 雙頻接收儀之實驗成果分析.....	243
§ 8.5.3 實驗二：GPS 單頻接收儀與虛擬參考站之實驗成果分析.....	245
§ 8.6 GPS/Galileo 模擬資料效益分析.....	250
第九章 辦理科技計畫成果發表會與教育訓練以及提送論文.....	253
§ 9.1 辦理科技計畫成果發表會及教育訓練.....	253
§ 9.2 參與國內外學術會議及提送論文.....	257
第十章 工作期間及進度.....	263
第十一章 結論與建議.....	264
第十二章期中及期末審查委員意見及修正辦理情形.....	266
§ 12.1 期中報告委員意見修正審查情形.....	266
§ 12.2 期末報告委員意見修正審查情形.....	271
參考文獻	274

圖 目 錄

圖 1.1 不同時間長度下不同系統的靜態短基線整數週波值搜尋效益 Ratio 值	16
圖 2.1 GPS III 示意圖 (Lachapelle, 2002)	28
圖 2.2 Modernized GPS 衛星示意圖 (Lachapelle, 2002)	31
圖 2.3 現有 GPS 與 Modernized GPS 的訊號結構比較 (McDonald, 2001)	31
圖 2.4 現代化後 GPS 的民用訊號頻譜及其特性 (Kaplan and Hegarty, 2005)	32
圖 2.5 GPS 星群 (2008 年 11 月 9 日)	32
圖 2.6a 實測之 L2C 訊號 (PRN17)	33
圖 2.6b 實測之 L5 訊號頻譜(摘自 SRI International, http://www.sri.com/)	33
圖 2.7 具備發射 L2C 與 L5 訊號能力之衛星數量變化(Harrington, 2008)	34
圖 2.8 新一代 GPS 的空間及控制段的系統架構圖(Miller, 2007)	35
圖 2.9 GPS 控制段與空間段之演進過程 (Harrington, 2008)	36
圖 2.10 GPSIII 衛星之功能規劃 (Harrington, 2008)	36
圖 2.11 TASS 之構想圖(Miller, 2007)	37
圖 2.12 GPS 服務範圍與地月距離之關係(Miller, 2007)	38
圖 2.13 地月導航及通訊系統 (Miller, 2007)	38
圖 2.14 GLONASS modernization Plan (FSARF, 2005)	40
圖 2.15 GLONASS-M 衛星之性能 (FSARF, 2005)	40
圖 2.16 GLONASS-K 衛星之性能 (FSARF 2005)	41
圖 2.17 GLONASS 衛星數量之變化(1987~2012)(Zinoviev, 2005)	41
圖 2.18 GLONASS IAC 追蹤站之即時追蹤結果(摘自 http://www.glonass-ianc.tau.ru/)	42
圖 2.19 GLONASS PDOP 之全球分布範例(摘自 http://www.glonass-ianc.rsa.ru/)	43
圖 2.20 GPS 之全球 GDOP 分布	48
圖 2.21 Compass 之全球 GDOP 分布	48
圖 2.22 GPS+Compass 之全球 GDOP 分布	49
圖 2.23 GPS+Galileo+GLONASS+Compass 之全球 GDOP 分布	49
圖 2.24 GPS+Galileo 亞洲地區可視衛星分布	50
圖 2.25 Compass 亞洲地區可視衛星分布	50
圖 2.26 WAAS 之系統架構圖 (摘自 FAA 網站)	51
圖 2.27 WAAS 靜止衛星之覆蓋範圍 (摘自 FAA 網站)	52
圖 2.28 WAAS 垂直導航服務之分布 (摘自 FAA 網站)	52
圖 2.29 EGNOS 之系統架構與覆蓋 (摘自 ESA 網站)	53
圖 2.30 EGNOS V3 (摘自 ESA 網)	54
圖 2.31 QZSS 之軌道設計(摘自 JAXA 網站)	55
圖 2.32 QZSS 之系統架構(摘自 JAXA 網站)	55
圖 2.33 QZSS 的衛星可視度 (摘自 JAXA 網站)(10 度仰角)	56
圖 2.34 QZSS 的衛星可視度 (摘自 JAXA 網站) (60 度仰角)	56
圖 2.35 QZSS 於亞洲地區不同城市之透空圖 (摘自 JAXA 網站)	57
圖 2.36 計畫中的日本區域導航衛星系統之效能 (摘自 JAXA 網站)	57
圖 2.37 東京銀座地區之導航衛星可得度分析 (摘自 JAXA 網站)	58

圖 2.38 IRNSS 之系統架構(Singh and Saraswati, 2006).....	59
圖 2.39 IRNSS 之星群(Singh and Saraswati, 2006).....	59
圖 2.40 2GEOs+4GSOs 之地跡 (Merino <i>et al.</i> , 2007).....	60
圖 2.41 2GEOs+4GSOs 之衛星數量分布 (Merino <i>et al.</i> , 2007).....	61
圖 2.42 台灣地區所設計之區域導航衛星系統之範例.....	61
圖 2.43 IRNSS 與 QZSS 之星下點軌跡.....	62
圖 2.44 GPS - PDOP 值[可視仰角 10-40 度]	63
圖 2.45 台灣區域導航衛星系統 - PDOP 值[可視仰角 10-30 度]	64
圖 3.1 衛星單點定位示意圖.....	67
圖 3.2 雙系統空中一次差分示意圖.....	68
圖 3.3 雙系統地面一次差分示意圖.....	69
圖 3.4 雙系統二次差分示意圖.....	70
圖 4.1 GNSS 軟體模擬器之架構圖.....	80
圖 4.2 星群模擬算流程.....	81
圖 4.3 各式性能指標計算流程.....	81
圖 4.4 多系統星群靜態軌跡展示功能.....	81
圖 4.5 多系統星群動態軌跡展示功能.....	82
圖 4.6 95 年版模擬器顯圖成果.....	82
圖 4.7 96 年版模擬器顯圖成果.....	83
圖 4.8 97 年(本年度) 版模擬器顯圖成果.....	83
圖 4.9 連線網頁更新星曆.....	84
圖 4.10 系統誤差圖形展示範例.....	86
圖 4.11 產生 GNSS 模擬觀測量之流程.....	86
圖 4.12 主視窗.....	88
圖 4.13 執行模擬視窗.....	89
圖 4.14 關閉視窗.....	89
圖 4.15 GNSS 觀測量模擬程式主視窗.....	90
圖 4.16 模擬參數設定.....	90
圖 4.17 觀測量選擇與設定.....	91
圖 4.18 系統誤差設定.....	92
圖 4.19 輸出設定.....	92
圖 4.20 操作選單.....	93
圖 4.21 動態模擬軌跡.....	94
圖 4.22 儲存之平面坐標位置.....	94
圖 4.23 全球 GPS 可視衛星數量.....	95
圖 4.24 全球 GPS+Galileo 可視衛星數量.....	95
圖 4.25 全球 GPS+Galileo+GLONASS 可視衛星數量.....	96
圖 4.26 全球 GPS+Galileo+GLONASS+Compass 可視衛星數量.....	96
圖 4.27 全球 GPS 的 PDOP 值.....	97

圖 4.28 全球 GPS+Galileo 的 PDOP 值.....	97
圖 4.29 全球 GPS+Galileo+GLONASS 的 PDOP 值.....	98
圖 4.30 全球 GPS+Galileo+GLONASS+Compass 的 PDOP 值.....	98
圖 4.31 全球 GPS 的 GDOP 值.....	99
圖 4.32 全球 GPS+Galileo 的 GDOP.....	99
圖 4.33 全球 GPS+Galileo+GLONASS 的 GDOP 值.....	100
圖 4.34 全球 GPS+Galileo+GLONASS+Compass 的 GDOP 值.....	100
圖 4.35 台灣區域 GPS+Galileo 內可靠度值.....	101
圖 4.36 台灣區域 GPS+Compass 內可靠度值.....	101
圖 4.37 台灣區域 Galileo+Compass 內可靠度值.....	102
圖 4.38 台灣區域 GPS+Galileo 外可靠度值.....	102
圖 4.39 台灣區域 GPS+Compass 外可靠度值.....	103
圖 4.40 台灣區域 Galileo+Compass 外可靠度值.....	103
圖 4.41 單點 GPS+Galileo+GLONASS 衛星可視數量.....	104
圖 4.42 單點 GPS+GLONASS+Compass 衛星可視數量.....	104
圖 4.43 單點 GPS+Galileo+Compass 衛星可視數量.....	105
圖 4.44 單點 Galileo+GLONASS+Compass 衛星可視數量.....	105
圖 4.45 單點 GPS+GLONASS+Galileo+Compass 的 PDOP 值.....	106
圖 4.46 單點 GPS+GLONASS+Galileo+Compass 的 GDOP 值.....	106
圖 4.47 全球 GPS 衛星動態軌跡.....	107
圖 4.48 全球 GPS+Galileo 衛星動態軌跡.....	107
圖 4.49 全球 GPS+GLONASS+Galileo 衛星動態軌跡.....	108
圖 4.50 全球 GPS+GLONASS+Galileo+Compass 衛星動態軌跡.....	108
圖 4.51 單點 GPS 衛星動態軌跡.....	119
圖 4.52 單點 GPS+Galileo 衛星動態軌跡.....	119
圖 4.53 單點 GPS+GLONASS+Galileo 衛星動態軌跡.....	110
圖 4.54 單點 GPS+GLONASS+Galileo+Compass 衛星動態軌跡.....	110
圖 4.55 測站一 Klobuchar 模型的電離層延遲量.....	111
圖 4.56 測站二 Klobuchar 模型的電離層延遲量.....	112
圖 4.57 測站一 IGS 球諧網格模型的電離層延遲量.....	112
圖 4.58 測站二 IGS 球諧網格模型的電離層延遲量.....	113
圖 4.59 測站一台灣球諧網格模型的電離層延遲量.....	113
圖 4.60 測站二台灣球諧網格模型的電離層延遲量.....	114
圖 4.61 測站一、二的修正 Hopfield 模型(MHM)對流層延遲量.....	114
圖 4.62 測站一、二的具備台灣地區空間相關性之 MHM 對流層延遲量.....	115
圖 4.63 以一階高斯馬可夫模型產生的軌道誤差量(表現於距離延遲量).....	115
圖 5.1 IGS 之觀測網(摘自 http://igsb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html).....	116
圖 5.2 精密單點定位演算法之資料處理流程.....	142

圖 5.3 精密單點定位處理器主視窗系統畫面.....	144
圖 5.4 精密單點定位處理器下拉式(menu)選單介紹.....	145
圖 5.5 精密單點定位處理器按鈕式(button)選單介紹.....	145
圖 5.6 精密單點定位處理器狀態列介紹.....	146
圖 5.7 衛星觀測量改正數介紹.....	146
圖 5.8 處理進度視窗介紹.....	147
圖 5.9 衛星軌跡運行圖介紹.....	147
圖 5.10 資料解算時的衛星仰角與方位角.....	148
圖 5.11 資料解算時的靜態軌跡(左)與動態軌跡(右).....	149
圖 5.12 衛星選取的結果.....	149
圖 5.13 精密單點定位處理器參數解算成果介面.....	150
圖 5.14 參數設定欄位.....	152
圖 5.15 天線設定介面.....	152
圖 5.16 初始坐標設定介面.....	153
圖 5.17 氣象參數設定介面.....	153
圖 5.18 衛星選擇設定介面.....	154
圖 5.19 PPP 精密產品設定介面.....	154
圖 5.20 PPP 資料輸出選擇介面.....	155
圖 6.1 本研究架設參考主站之二等衛星控制點(S810).....	156
圖 6.2 電子基準站及 S810 位置示意圖(藍色三角形為電子基準站，紅色三角形為 S810 二等衛星控制點，綠色圓形為 GPS 標).....	158
圖 6.3(a) 2009 年 1 月 9 日 CIME(七美站)PPP 靜態定位誤差.....	160
圖 6.3(b) 2009 年 1 月 9 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化.....	160
圖 6.3(c) 2009 年 2 月 5 日 CIME(七美站)PPP 靜態定位誤差.....	161
圖 6.3(d) 2009 年 2 月 5 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化.....	161
圖 6.3(e) 2009 年 2 月 23 日 CIME(七美站)PPP 靜態定位誤差.....	162
圖 6.3(d) 2009 年 2 月 23 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化.....	162
圖 6.4(a) 2009 年 1 月 9 日 CISH(旗山站)PPP 靜態定位誤差.....	163
圖 6.4(b) 2009 年 1 月 9 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化.....	163
圖 6.4(c) 2009 年 2 月 5 日 CISH(旗山站)PPP 靜態定位誤差.....	164
圖 6.4(d) 2009 年 2 月 5 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化.....	164
圖 6.4(e) 2009 年 2 月 23 日 CISH(旗山站)PPP 靜態定位誤差.....	165
圖 6.4(f) 2009 年 2 月 23 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化.....	165
圖 6.5(a) 2009 年 1 月 9 日 KASH(高雄港站)PPP 靜態定位誤差.....	166
圖 6.5(b) 2009 年 1 月 9 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化.....	166
圖 6.5(c) 2009 年 2 月 5 日 KASH(高雄港站)PPP 靜態定位誤差.....	167
圖 6.5(d) 2009 年 2 月 5 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化.....	167
圖 6.5(e) 2009 年 2 月 23 日 KASH(高雄港站)PPP 靜態定位誤差.....	168

圖 6.5(f) 2009 年 2 月 23 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	168
圖 6.6(a) 2009 年 1 月 9 日 PKGM(北港站)PPP 靜態定位誤差	169
圖 6.6(b) 2009 年 1 月 9 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	169
圖 6.6(c) 2009 年 2 月 5 日 PKGM(北港站)PPP 靜態定位誤差	170
圖 6.6(d) 2009 年 2 月 5 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	170
圖 6.6(e) 2009 年 2 月 23 日 PKGM(北港站)PPP 靜態定位誤差	171
圖 6.6(f) 2009 年 2 月 23 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	171
圖 6.7(a) 2009 年 1 月 9 日 WIAN(外垵站)PPP 靜態定位誤差	172
圖 6.7(b) 2009 年 1 月 9 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	172
圖 6.7(c) 2009 年 2 月 5 日 WIAN(外垵站)PPP 靜態定位誤差	173
圖 6.7(d) 2009 年 2 月 5 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	173
圖 6.7(e) 2009 年 2 月 23 日 WIAN(外垵站)PPP 靜態定位誤差	174
圖 6.7(f) 2009 年 2 月 23 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	174
圖 6.8(a) 2009 年 1 月 9 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)	177
圖 6.8(b) 2009 年 1 月 9 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	178
圖 6.8(c) 2009 年 2 月 5 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)	178
圖 6.8(d) 2009 年 2 月 5 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	179
圖 6.8(e) 2009 年 2 月 23 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)	179
圖 6.8(f) 2009 年 2 月 23 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	180
圖 6.8(g) 2009 年 5 月 13 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)	180
圖 6.8(h) 2009 年 5 月 13 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	181
圖 6.8(i) 2009 年 5 月 14 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)	181
圖 6.8(j) 2009 年 5 月 14 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	182
圖 6.8(k) 2009 年 5 月 15 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)	182
圖 6.8(l) 2009 年 5 月 15 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	183
圖 6.9(a) 2009 年 1 月 9 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)	185
圖 6.9(b) 2009 年 1 月 9 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	186
圖 6.9(c) 2009 年 2 月 5 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)	186
圖 6.9(d) 2009 年 2 月 5 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	187
圖 6.9(e) 2009 年 2 月 23 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)	187
圖 6.9(f) 2009 年 2 月 23 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	188
圖 6.9(g) 2009 年 5 月 13 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)	188
圖 6.9(h) 2009 年 5 月 13 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	189
圖 6.9(i) 2009 年 5 月 14 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)	189
圖 6.9(j) 2009 年 5 月 14 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	190
圖 6.9(k) 2009 年 5 月 15 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)	190
圖 6.9(l) 2009 年 5 月 15 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	191
圖 6.10(a) 2009 年 1 月 9 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	193

圖 6.10(b) 2009 年 1 月 9 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	194
圖 6.10(c) 2009 年 2 月 5 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	194
圖 6.10(d) 2009 年 2 月 5 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	195
圖 6.10(e) 2009 年 2 月 23 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	195
圖 6.10(f) 2009 年 2 月 23 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	196
圖 6.10(g) 2009 年 5 月 13 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	196
圖 6.10(h) 2009 年 5 月 13 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	197
圖 6.10(i) 2009 年 5 月 14 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	197
圖 6.10(j) 2009 年 5 月 14 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	198
圖 6.10(k) 2009 年 5 月 15 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	198
圖 6.10(l) 2009 年 5 月 15 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	199
圖 6.11(a) 2009 年 1 月 9 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	201
圖 6.11(b) 2009 年 1 月 9 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	202
圖 6.11(c) 2009 年 2 月 5 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	202
圖 6.11(d) 2009 年 2 月 5 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	203
圖 6.11(e) 2009 年 2 月 23 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	203
圖 6.11(f) 2009 年 2 月 23 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	204
圖 6.11(g) 2009 年 5 月 13 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	204
圖 6.11(h) 2009 年 5 月 13 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	205
圖 6.11(i) 2009 年 5 月 14 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	205
圖 6.11(j) 2009 年 5 月 14 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	206
圖 6.11(k) 2009 年 5 月 15 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)	206
圖 6.11(l) 2009 年 5 月 15 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化	207
圖 7.1 觀測量方差-協方差矩陣	218
圖 7.2 TurboNet 基線格式	222
圖 7.3 基線網計算程式主視窗	223
圖 7.4 GNSS 天線盤相位中心定義檔輸入格式	223
圖 7.5 獨立基線互動式選擇介面	224
圖 7.6 使用者定義互動式選擇介面	224
圖 7.7 PART 2 (真實短基線模式)	225
圖 7.8 PART 2 (真實長基線模式)	225
圖 7.9 PART 2 (模擬資料短基線模式)	226
圖 7.10 PART 2 (模擬資料長基線模式)	226
圖 7.11 計算程式 PART 3	227
圖 7.12 計算執行選單	227
圖 7.13 網型平差介面視窗	228
圖 7.14 網形平差成果輸出格式	229
圖 7.15 產生之獨立 Geomatics.exe	230

圖 7.16 執行 Geomatics.exe 之情形.....	230
圖 8.1 卡曼濾波動態方程式以及觀測方程式遞迴計算示意圖.....	232
圖 8.2 動態基線解算流程圖.....	238
圖 8.3 GNSS 單頻動態基線解算軟體介面.....	239
圖 8.4 觀測資料訊息.....	239
圖 8.5.....	240
圖 8.6 執行選項.....	240
圖 8.7 基線分量定位成果圖.....	241
圖 8.8 觀測資料示意.....	241
圖 8.9 處理參數示意.....	242
圖 8.10 定位成果意.....	242
圖 8.11 CKSV 及 CKGM 追蹤站示意圖.....	244
圖 8.12 一天平均 Ratio 值 (AVR 值) 變化圖.....	244
圖 8.13 ACC TU820 示意圖.....	245
圖 8.14 TRIMBLE R3 示意圖.....	246
圖 8.15 Leica SR 530 示意圖.....	246
圖 8.16 國土測繪中心 e-GPS 電子基準站網.....	247
圖 8.17 測試點位分布示意圖.....	248
圖 8.18 一天平均 Ratio 值 (AVR 值) 之變化圖.....	248
圖 8.19 一天平均 Ratio 值 (AVR 值) 之變化圖.....	250
圖 9.1 測繪科技成果發表暨研討會專題研討及系統展示現況.....	255

表目錄

表 1.1 採用真實資料之成大-歸仁每日基線解算值與平均坐標值之較差與 STD 值	15
表 1.2 採用 GNSS 模擬資料之單系統及雙系統相對定位誤差 RMS 值	15
表 1.3 台灣地區使用 GNSS 三頻觀測量進行單一時刻即時動態短基線整數週波值求解成功率	16
表 1.4 GNSS 觀測量系統誤差模型	18
表 1.5 CKSV-LSB0 基線成果比較(m)	19
表 1.6 FLNM-YMSM 基線成果比較(m)	20
表 1.7 TSKB-FLNM 基線成果比較(m)	20
表 1.8 五種 GNSS 情況的模擬資料定位精度 (TSKB-FLNM 基線)	22
表 1.9 CKSV-LSB0 快速靜態相位整數週波值求解效益表	23
表 2.1 現代化之步驟時間表(Miller, 2007)	30
表 2.2 2009 年 7 月 8 日的 GLONASS 星群(摘自 http://www.glonass-ianc.rsa.ru/)	42
表 2.3 Compass 預計使用的頻率(Merino <i>et al.</i> , 2007)	46
表 2.4 未來各衛星系統的比較表(Huang and Tasi, 2008)	47
表 2.5 GSO 或 GEIO 衛星之相關參數	60
表 4.1 GNSS 觀測量系統誤差模型	85
表 5.1 三種 PPP 模型之比較	120
表 5.2 IGS 各項產品之精度(摘自 http://igs.cb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html)	140
表 5.3 為 PPP 搭配 IGS 產品之精度(摘自 Shen and Gao (2002))	141
表 5.4 衛星狀況圖示說明	147
表 5.5 參數值意義說明	151
表 6.1 實驗日期及 GPS 觀測時間	157
表 6.2 電子基準站之已知 ITRF2005 坐標	157
表 6.3 靜態精密單點定位精度(單位:公尺)	159
表 6.4 台灣 e-GPS 電子基準站觀測品質指標	176
表 6.5 動態精密單點定位精度(使用 IGS 最終產品)	184
表 6.6 動態精密單點定位精度(使用 IGS 快速產品)	192
表 6.7 動態精密單點定位精度(使用 IGS 超快速產品觀測部分)	200
表 6.8 動態精密單點定位精度(使用 IGS 超快速產品預估部分)	209
表 7.1 長基線系統誤差處理對應策略	211
表 7.2 三頻 GPS 以及 Galileo 下之無電離層組合比較	212
表 7.3 三頻 GPS 以及四頻 Galileo 下之四觀測量組合比較	213

表 8.1 搭配 VRS 觀測量之動態基線系統誤差處理對應策略.....	237
表 8.2 GPS 接收儀設置說明.....	248
表 8.3 觀測量品質檢驗表.....	249
表 8.4 模擬資料誤差設定.....	250
表 8.5 定位成果精度.....	251
表 9.1 測繪科技成果發表暨研討會說明.....	253
表 9.2 測繪科技成果發表暨研討會議程表.....	254
表 9.3 97 年度全球導航衛星系統 (GNSS)資料聯合處理技術研習班.....	256
表 9.4 參與國內外學術會議及提送期刊論文情況.....	257

第一章 前言

§ 1.1 95 年度計畫執行之回顧

本計畫於第一年(95 年度)執行期間針對國內外相關 GNSS 發展的現況及趨勢做深入的文獻回顧。不同於其他文獻所提供的回顧方式，本計畫針對 GNSS 相關技術的發展以歷史的角度剖析其演化的過程；並提供未來的發展趨勢的分析。同時，我們希望彰顯測量界在 GNSS 發展中不可忽視的角色。

有鑒於歐洲的 Galileo 系統尚未建置完成，故國外先進研究機構目前關於 GNSS 聯合處理技術之開發皆仰賴模擬器提供相關的觀測量。當然，目前亦尚未有成熟之 GPS+Galileo 聯合資料處理商用軟體可供測量界使用。故本案於第一年執行期間投注大量心力於未來 GNSS 軟體模擬器之研發。本案所發展的軟體模擬器具備星群模擬器及系統誤差模擬器，故它針對 GPS+Galileo 可以提供理論效能分析及產生模擬觀測量以供實務效能分析。

本研究團隊曾針對雙系統及三系統之組合評估衛星數量、各類 DOP 值及單點即時定位精度之效能。研究成果顯示 GPS+Galileo 之雙系統組合較任何一個單一系統皆能於各式指標提供大幅度之性能提昇 (50%~80%)，而三系統之組合對於上述雙系統組合之性能提升除了衛星數量外並不顯著(楊名、江凱偉，2007)。同時 GPS 與 Galileo 的觀測量是相容的，故建議未來 GNSS 相關的研究課題應針對 GPS+Galileo 之組合進行。

本計畫第一年的研究重點之一為發展一套 GNSS 靜態短基線計算軟體，研究中對於短基線的定義為假設大氣層的影響可經由二次差分完全消除因此不需要解算大氣誤差參數，故程式中的未知參數設定目前僅包含位置參數以及載波週波未定值參數。

為了驗證所開發之短基線計算軟體可以正確地處理 GPS 真實觀測資料，連續使用了 6 天的 GPS 雙頻觀測資料，計算出 6 天的成大-歸仁站的坐標基線分量 ΔX ΔY ΔZ 及其標準偏差 (STD) 值，如表 1.1 所示。

表 1.1 採用真實資料之成大-歸仁每日基線解算值與平均坐標值之較差與 STD 值

	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
Day 1	-6260.661	-1091.456	-5206.316
Day 2	-6260.647	-1091.463	-5206.311
Day 3	-6260.656	-1091.468	-5206.319
Day 4	-6260.656	-1091.434	-5206.289
Day 5	-6260.655	-1091.437	-5206.286
Day 6	-6260.647	-1091.462	-5206.301
STD	± 0.006	± 0.014	± 0.014

同時，也利用所開發之靜態短基線計算程式針對 GNSS 模擬載波相位觀測量進行相對定位精度分析，如表 1.2 所示。

表 1.2 採用 GNSS 模擬資料之單系統及雙系統相對定位誤差 RMS 值

	平面(m)	高程(m)	3D(m)
GPS	± 0.015	± 0.043	± 0.045
Galileo	± 0.013	± 0.049	± 0.051
GPS+Galileo	± 0.010	± 0.038	± 0.039

在 95 年度的研究中亦利用此短基線計算軟體針對未來 GNSS 之整數週波未定值解算效益進行分析。模擬資料的分析研究結果顯示台灣地區在未來加入 Galileo 系統之後，短基線整數週波值搜尋效益可獲得非常顯著的提升，尤其在使用 GNSS 雙系統載波相位觀測資料時可以在 2 筆資料的時間內即獲得足夠大的 Ratio 值以及 100% 的 Success Rate 值(圖 1.1)。這代表未來雙系統快速靜態(Rapid Static)短基線計算之整數週波值求定可以非常快速地完成(楊名、江凱偉，2007)。甚至若是再加入了 P-code 虛擬距離觀測量的使用後，在正常狀況下(≤ 30 度時)使用 GNSS 三頻觀測量的單一時刻(single epoch)即時動態(real-time kinematic)短基線整數週波值求定成功率將接近 100%(表 1.3)。

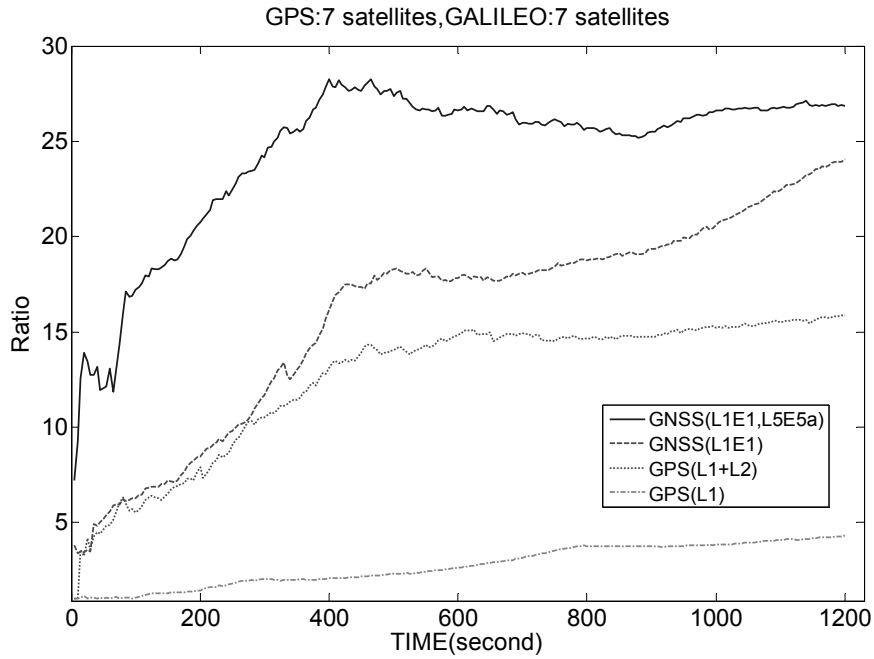


圖 1.1 不同時間長度下不同系統的靜態短基線整數週波值搜尋效益 Ratio 值

表 1.3 台灣地區使用 GNSS 三頻觀測量進行單一時刻即時動態短基線整數週波值求解成功率 (資料長度：24 小時)

衛星遮仰角(deg) (GNSS 衛星平均顆數)	10 (17.1)	20 (13.4)	30 (10.2)	40 (7.4)
±0.3 m	100%	100%	100%	96.8%
±0.6 m	100%	100%	100%	96.1%
P-code 精度				
±1.2 m	100%	100%	100%	94.7%
±1.8 m	100%	100%	100%	93.9%
±2.4 m	100%	100%	100%	92.4%

§ 1.2 96 年度計畫執行之回顧

本計畫於第二年(96 年度)執行計畫期間持續地追蹤 GNSS 國內外發展之現況與外來的發展趨勢。現階段 GPS 現代化的過程進行地相當順利；目前運作中具備雙頻民用電碼之 GPS IIR-M 系列之衛星有七顆(PRN 17、PRN 31、PRN12、PRN15、PRN29、PRN7 與 PRN01)，而首顆具備三頻民用電碼之 GPS IIR-M 衛星亦預計將於 2009 年第三季發射升空。

而 GPS 目前的主要競爭對手 GLONASS 亦緊鑼密鼓地進行現代化的計畫。目前共有 16 顆為現代化具備雙頻民用訊號的 M 系列衛星現代化的衛星。同時俄羅斯政府有意在未來 K 系列衛星之 L1CR 及 L5R 播送碼分多址 (Code Division Multiple Access, CDMA) 的訊號；如此一來，未來包含 GPS、GLONASS、Galileo 與 Compass 衛星皆會播送碼分多址的訊號，這有助於硬體製造商設計價格更為低廉但精度更高之多系統接收儀，同時軟體設計者亦能利用共頻相容的多系統訊號設計有效的聯合資料處理演算法。

Galileo 的原始計畫分為三期：第一期 (2001 迄今) 主要為研發階段；除了完成相關系統的設計外，最重要的是衛星驗證 (In-Orbit Validation, IOV)。而 IOV 的主要步驟原為於 2005 年底發射 30 顆衛星中的 4 顆以驗證相關系統；然而發展期間不可抗力之經費及技術發展問題等致使第一期的計畫有所延誤。如前所述，第一顆 Galileo 測試衛星 (GIOVE-A) 延遲至 2005 年 12 月 28 日成功發射升空，而第二顆測試衛星 (GIOVE-B) 已於 2008 年 4 月 27 日完成發射。第二期主要為完成衛星剩餘 26 顆衛星的發射與地面相關硬體設施的建設。第三期為完成整個系統設置並開始提供商業運轉。但因第一期計畫的延誤導致整個計畫達到全面商業運轉的時程會延至 2013 年。

北斗衛星導航定位系統 (Compass/Beidou)，是中國研發的區域性三維衛星定位與通信系統 (CNSS)。該系統由三顆 (兩顆工作衛星、一顆備用衛星) 北斗定位衛星 (北斗一號)、地面控制中心為主的地面部份、北斗用戶終端三部分組成。在北斗一號成功的基礎上中國政府已決定投注大量資源發展類似 GPS 或 Galileo 自主的全球導航衛星系統，稱為北斗二號。與北斗一號以 3 顆衛星提供區域的導航服務之功能相較之下，未來的北斗二號衛星之數量預計將達到 35 顆，這些衛星群將由 5 顆靜止衛星、30 顆的中軌道衛星與傾斜軌道衛星所組成。

在 95 年度所發展成功之 GNSS 軟體模擬器為基礎上，96 年度主要針對星群模擬模組、系統誤差模擬模組及動態觀測量產生模組進行性能提升的工作。本案於 96 年度計畫中星群模擬功能之模組完成下列項目如下：

1. 線上更新 GPS YUMA 星曆之功能
2. 內外可靠度分析指標
3. 動態衛星軌跡展示
4. 色階不連續問題

同時本案於 96 年度針對系統誤差模擬模組進行軌道誤差、電離層延遲及對流層延遲等項目進行相關研究，已完成工作項目如下：

1. 發展使用一階高斯馬可夫模型之軌道誤差模型
2. 發展電離層延遲模型
 - (1) Klobuchar 模型與美國 FAA 之 WAAS 所使用的映射函數
 - (2) 球諧函數(Spherical harmonics, SPHA)模型與網格模型(Grid model)結合
 - (3) 台灣區域性電離層模型
3. 發展對流層延遲的空間相關性模擬功能

在電離層模式方面，對台灣地區而言，區域球諧網格模型與球諧加網格模型的精度表現明顯優於 IGS 球諧網格模型。在對流層方面，以陽明山追蹤站(YMSM) 的氣象觀測資料作為精度檢核。實測的 2006 年 3 到 12 月的平均溫度、溼度、氣壓與利用台灣地區各氣象站觀測資料經由內插所得結果之比較。透過 MHM(修正的 Hopfield 模型)分別計算得到天頂延遲量。經過比較，兩者的天頂延遲量平均較差為 4.96 公分。

為配合動態定位之需求，本案於 96 年度針對動態軌跡模擬及動態觀測量產生功能等模組進行相關的研究並已完成初步的動態觀測量模擬功能。表 1.4 比較本研究 95 年度與 96 年度計畫中已完成之系統誤差模型。詳細工作內容請參閱(楊名、江凱偉，2008)。

表 1.4 GNSS 觀測量系統誤差模型

主要系統誤差	95 年設定模型	96 年完成模型
軌道誤差	隨機誤差：GPS = ± 5 m , Galileo = ± 2 m	一階高斯馬可夫模型
對流層延遲	修正的 Hopfield 模型 (MHM)	<ul style="list-style-type: none"> ■ MHM + B&E 的映射函數 ■ 具備空間相關性之台灣地區 MHM 模式
電離層延遲	Klobuchar 模型	<ul style="list-style-type: none"> ■ Klobuchar 模型 ■ IGS 全球球諧網格模型 ■ 台灣區域球諧網格模型
多路徑效應	Colored-noised model	不變
接收儀時鐘誤差	隨機誤差： ± 300 m	不變
系統時間偏差 (GGTO)	100 ns	不變

本研究在 95 年度完成一套短基線計算軟體，因此 96 年度計畫的研究重點為發展一套 GNSS 靜態長基線計算軟體。相較於短基線模式中假設大氣層的影響可經由二次差分完全消除，長基線模式中無法以二次差分之方法消除電離層以及對流層延遲之影響，另外加上軌道誤差以及多路徑效應，這些系統性的誤差會大幅影響基線計算之軟體設計，因此要如何正確模式化其影響為 96 年度計畫之重要探討項目之一。

基線計算中所採取之模式屬於傳統靜態定位之方法，藉由最小二乘法方程式迭加，將基線計算初始時段到結束時段所收集之觀測量逐步累加最後統一求解所有未知參數。觀測量處理模式以採用二次差分為主。短基線之定義，在於基線兩端環境影響相當時，利用二次差分近乎可以消去大部分之系統誤差。反之長基線之定義在基線距離增長之情況下，兩站環境差異逐漸變大，因此必須考慮電離層、對流層、衛星質量中心改正、天線相位中心改正、地球固體潮效應、海洋負載效應等影響方可達到公分級定位精度，並使用電碼輔助計算。基線距離越長，二次差觀測量所受到之系統誤差影響就更為顯著。

為了驗證真實資料使用下 GNSS 基線計算軟體的正確性，使用 Bernese GPS 科學軟體計算之成果進行比對。為求完整，實驗場分別使用了三條不同的基線，分別是 CKSV-LSB0 (135km)、FLNM-YMSM (158km)、TSKB-FLNM (2243km) 並計算出其 2007/07/01~2007/07/07 共 7 天之基線分量、均值以及標準偏差，解算成果如下表 1.5~1.7 所示。

表 1.5 CKSV-LSB0 基線成果比較(m)

	Bernese			GNSS		
	dx(m)	dy(m)	dz(m)	dx(m)	dy(m)	dz(m)
day1	10588.132	65462.846	-117217.429	10588.126	65462.850	-117217.423
day2	10588.121	65462.880	-117217.416	10588.117	65462.883	-117217.417
day3	10588.134	65462.839	-117217.442	10588.139	65462.842	-117217.430
day4	10588.117	65462.863	-117217.422	10588.137	65462.850	-117217.429
day5	10588.125	65462.853	-117217.422	10588.122	65462.851	-117217.424
day6	10588.129	65462.853	-117217.416	10588.125	65462.862	-117217.422
day7	10588.124	65462.857	-117217.409	10588.124	65462.863	-117217.417
Mean	10588.126	65462.856	-117217.422	10588.127	65462.858	-117217.423
STD	0.006	0.013	0.011	0.008	0.013	0.005
3D STD		0.018			0.016	

表 1.6 FLNM-YMSM 基線成果比較(m)

	Bernese			GNSS		
	dx(m)	dy(m)	dz(m)	dx(m)	dy(m)	dz(m)
day1	23283.382	-61387.286	143388.503	23283.386	-61387.291	143388.500
day2	23283.389	-61387.308	143388.495	23283.386	-61387.301	143388.499
day3	23283.395	-61387.308	143388.492	23283.390	-61387.311	143388.489
day4	23283.386	-61387.301	143388.498	23283.394	-61387.307	143388.500
day5	23283.396	-61387.298	143388.500	23283.412	-61387.314	143388.494
day6	23283.407	-61387.306	143388.489	23283.412	-61387.313	143388.493
day7	23283.407	-61387.319	143388.491	23283.407	-61387.324	143388.492
Mean	23283.395	-61387.304	143388.495	23283.398	-61387.309	143388.495
STD	0.010	0.010	0.005	0.012	0.010	0.004
3D STD		0.015			0.016	

表 1.7 TSKB-FLNM 基線成果比較(m)

	Bernese			GNSS		
	dx(m)	dy(m)	dz(m)	dx(m)	dy(m)	dz(m)
day1	-909107.917	-1672934.586	1185066.633	-909107.915	-1672934.578	1185066.633
day2	-909107.922	-1672934.585	1185066.622	-909107.925	-1672934.578	1185066.628
day3	-909107.909	-1672934.591	1185066.626	-909107.919	-1672934.577	1185066.636
day4	-909107.925	-1672934.580	1185066.630	-909107.925	-1672934.581	1185066.631
day5	-909107.903	-1672934.597	1185066.635	-909107.900	-1672934.606	1185066.634
day6	-909107.884	-1672934.602	1185066.617	-909107.909	-1672934.590	1185066.634
day7	-909107.904	-1672934.593	1185066.625	-909107.909	-1672934.596	1185066.631
Mean	-909107.909	-1672934.591	1185066.627	-909107.915	-1672934.587	1185066.632
STD	0.014	0.008	0.006	0.009	0.011	0.003
3D STD		0.017			0.015	

利用統計測試檢驗 GNSS 程式之成果與 Bernese 之成果是否有顯著性差異，由表 1.5~1.7 之數值分別得到三條基線之基線分量在 $\alpha = 0.01$ (99%信心區間) 下測試結果都為接受 H_0 ，因此可以判斷利用 Bernese 以及 GNSS 計算三條基線的成果沒有顯著的差異。另就相對精度而言，兩個程式都可達到 0.1~0.01 ppm 的長基線解算精度，均沒有顯著的差異。

96 年度計畫中亦分析連續追蹤站每日觀測長基線的精度變化。因此模擬產生 TSKB 及 FLNM 兩站(基線長度為 2243 公里)的 GPS 及 Galileo 觀測資料,並且加入各項系統誤差(包含電離層效應、對流層延遲、軌道誤差、時鐘誤差、多路徑效應、觀測量雜訊等)。在產生連續 7 天之 24 小時模擬觀測量後,經由 GNSS 程式進行每日基線解算,基線解算時所估計的未知參數依舊包含坐標值、週波值未定值及對流層參數,再將基線計算成果與模擬時使用之真值進行比較後計算每日定位成果精度(3D RMS 值),如表 1.8。

表 1.8 五種 GNSS 情況的模擬資料定位精度 (TSKB-FLNM 基線)

L1/L2 (GPS)			E1/E5b/E5a (Galileo)			L1/L2 E1/E5b (GPS+Galileo)		
dx(m)	dy(m)	dz(m)	dx(m)	dy(m)	dz(m)	dx(m)	dy(m)	dz(m)
909107.914	1672934.604	-1185066.632	909107.921	1672934.583	-1185066.643	909107.922	1672934.590	-1185066.640
909107.915	1672934.599	-1185066.633	909107.907	1672934.580	-1185066.637	909107.915	1672934.590	-1185066.638
909107.917	1672934.603	-1185066.633	909107.925	1672934.580	-1185066.638	909107.923	1672934.589	-1185066.639
909107.923	1672934.598	-1185066.638	909107.914	1672934.591	-1185066.633	909107.921	1672934.594	-1185066.635
909107.921	1672934.597	-1185066.638	909107.899	1672934.593	-1185066.634	909107.916	1672934.596	-1185066.638
909107.929	1672934.595	-1185066.640	909107.911	1672934.581	-1185066.641	909107.924	1672934.588	-1185066.643
909107.925	1672934.597	-1185066.638	909107.917	1672934.584	-1185066.631	909107.917	1672934.592	-1185066.634
3D RMS(m) 0.016			3D RMS(m) 0.012			3D RMS(m) 0.010		
E1/E5b (Galileo)			L1/L2/L5 E1/E5b/E5a (GPS+Galileo)					
dx(m)	dy(m)	dz(m)	dx(m)	dy(m)	dz(m)			
909107.923	1672934.585	-1185066.642	909107.922	1672934.588	-1185066.639			
909107.901	1672934.582	-1185066.637	909107.918	1672934.587	-1185066.638			
909107.930	1672934.575	-1185066.642	909107.922	1672934.590	-1185066.637			
909107.911	1672934.595	-1185066.628	909107.924	1672934.588	-1185066.638			
909107.901	1672934.598	-1185066.633	909107.917	1672934.594	-1185066.638			
909107.912	1672934.578	-1185066.646	909107.923	1672934.587	-1185066.641			
909107.919	1672934.585	-1185066.631	909107.919	1672934.588	-1185066.635			
3D RMS(m) 0.016			3D RMS(m) 0.009					

定位精度分析共分為單系統雙頻 L1/L2 (GPS)以及 E1/E5b(Galileo)、單系統三頻 E1/E5b/E5a (Galileo)、雙系統雙頻 L1/L2/E1/E5b (GPS/Galileo)、雙系統三頻 L1/L2/L5/E1/E5b/ E5a (GPS/Galileo) 五種情況。相較於單系統雙頻，雙系統雙頻的定位精度可提升約 35%；相較於單系統三頻，雙系統三頻定位精度可提昇約 25%；這顯示出在定位精度上，衛星幾何強度的增強確可提升定位精度。另外相較於目前的 GPS 單系統雙頻情況，未來 GPS/Galileo 雙系統三頻定位精度約可提升 40%。這代表未來台灣地區電子基準站的每日資料計算，在更新至接收三頻 GNSS 資料之後，也將可獲得定位精度的提升，對於台灣坐標系統之維護工作將具有重要的價值(楊名、江凱偉，2008)。

由 96 年度的週波值解算效益分析中得知，中長基線定位時使用雙系統三頻觀測後可以有效提升週波值求解的效能，一般情況下 Ratio 以及 Success rate 可在短時間內(30 分鐘內)分別達到 >2 以及 100%的效益，這說明了未來雙系統三頻長基線快速靜態是可行的。以下例子的測試實驗場為 CKSV-LSB0(135km)的基線一天中每 30 分鐘間隔之模擬資料，一整天共有 48 個時段，經加入各項系統誤差(電離層、對流層、軌道、時鐘、觀測量雜訊、多路徑效應等) 時之整數週波值求解效益如表 1.9 所示。

表 1.9 CKSV-LSB0 快速靜態相位整數週波值求解效益表

Ratio value	>1.5	>2	>2.5	>3	>3.5
百分比	90%	81.2%	37.5%	27%	16.6%

§ 1.3 97 年度計畫執行工作項目

根據國土測繪中心服務建議徵求書，以及前二年度的執行成果，本計畫 97 年度(第三年)執行的工作項目如下：

- 一、 持續蒐集國內外 GNSS 發展現況
- 二、 開發及更新 GNSS 軟體模擬器(至少需增加包含 GLONASS 及 Compass 系統)
 - (1) 系統誤差圖形展示功能。
 - (2) 接收儀動態模擬功能。
 - (3) 衛星動態軌跡展示功能。
 - (4) 多系統性能展示功能。

- 三、 開發動態精密單點定位 (PPP) 軟體
 - (1) PPP 動態定位解算數學模式。
 - (2) PPP 觀測資料輸入及輸出設定。
 - (3) PPP 動態定位系統參數設定。
 - (4) PPP 動態定位解算軟體(需能處理國土測繪中心 e-GPS 站資料)。

- 四、 動態精密單點定位精度及效益分析

- 五、 更新及開發 GNSS 中長基線網解算軟體
 - (1) 可同時處理至少 8 個站基線網 (以時段為主觀念)。
 - (2) 可獨立在 WINDOWS XP 或 VISTA 作業系統執行。
 - (3) 須包含大氣修正模式及相位中心改正。
 - (4) 基線計算成果輸出須為國土測繪中心指定之 TurboNet 格式。

- 六、 開發 GNSS L1 動態基線解算軟體
 - (1) 使用國土測繪中心將提供 3 部單頻接收儀供測試使用，此軟體需能處理所提供單頻接收儀接收資料。
 - (2) 可獨立在 WINDOWS XP 或 VISTA 作業系統執行。

- 七、 教育訓練：最晚須於繳交期末報告確定版後 30 日內辦竣，提供包含基本理論、實習等相關課程 9 小時，並自行負擔講師鐘點費及交通費用，並在國土測繪中心或提供可容納 20 人次以上教室實施，參訓人員由測繪中心指定。

- 八、 辦理科技計畫成果發表會：舉行科技計畫成果發表會，提供 200 人次 (含) 以上場地及相關資料，內容至少包含 GNSS 發展趨勢成果、離島高程連測作業、海底大地測量、平面海水面監測、空載光達成果等，論文至少 6 篇，應廣邀國內外相關政府機關、研究機構、學校、學者專家及業界參與，成果發表會時間至少 1 天，預計時程如下：
 - (1). 2~3 月擬定相關議程及製作海報。
 - (2). 4~5 月寄發成果發表會海報及邀請貴賓。
 - (3). 6 月會場佈置規劃及開始接受報名。
 - (4). 預計 7 月 16 日 於成功大學經緯廳舉辦成果發表會。

(5). 最晚須在 98 年 7 月 31 日前辦竣，議程及正確日期需經測繪中心同意後方得實施。

九、 提送國際期刊（SCI/EI）學術論文 1 篇（含）以上，繳交研討會或期刊論文文稿至少一篇（至少 8 頁）。

第二章 國內外 GNSS 發展現況及趨勢

我國自 81 年開始採用全球衛星系統 (Global Positioning System, GPS) 技術進行國家基本測量，於台灣本島及金門、馬祖外島設立 8 個永久性 GPS 電子基準站，陸續完成一、二、三等衛星控制點的測量工作，據以定義新的台灣大地基準 (TWD97)，並且於 89 年正式公告 TWD97 作為國家測量基準。

GPS 為美國自 1970 年代末期開始發展的導航衛星定位系統，目前有 30-32 顆衛星運行於距離地球表面約 2 萬公里的軌道中。由於設計至今已有約 30 年的時間，其定位精度已漸漸無法滿足日益升高的使用需求，因此美國已經著手進行 GPS 系統之現代化，增加新的、改善品質的電碼觀測量，以及更重要地，將原有的雙頻觀測系統提升為三頻觀測系統。

與 GPS 同時期發展的 GLONASS 系統目前正積極地執行類似 GPS 現代化的計畫。該計畫除了預計發展新一代的導航衛星逐漸取代現有老化的衛星之外並計畫將現有雙頻觀測系統提升至三頻觀測系統。目前 GLONASS 系統現代化的進度已逐漸超越美國 GPS 現代化的進度。除此之外，未來現代化的 GLONASS 將會提供與 GPS、Galileo 與 Compass 相容的碼分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)之編碼方式。

在此同時，歐盟也預計將於 2013 年布置完成 30 顆衛星的 Galileo 衛星系統，同樣會提供三個頻率的觀測量，並且其訊號與 GPS 完全相容。Galileo 的第二顆測試衛星已於 2008 年 4 月 27 日順利升空。中國也順利於 2003 年發射區域性的三維衛星定位與通信系統，稱為北斗衛星導航及定位系統(Beidou/Compass)，同時在 2015 年前要將之擴充為全球尺度的北斗二代定位系統，目前已有一顆中軌道衛星(MEO)與一顆靜止衛星發射升空。

如此一來此聯合的系統，稱為全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite Systems, GNSS)，將會提供較現有 GPS 系統加倍的衛星、更多的測量頻率、以及更好的訊號品質，從而進一步提升現有 GPS 衛星定位的精度、可靠度、以及效率。屆時這四個全球尺度的 GNSS 將會成為未來多頻率多系統的 GNSS 之主要核心。

此外美國及歐盟分別針對 GPS 及 Galileo 發展使用同步衛星的廣域輔助衛星系統以傳播差分改正量並提供具備 L1 的測距功能；分別稱為 Wide Area Augmentation System (WAAS) 及 European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)。這些輔助系統的服務區域皆侷限於美洲及歐洲本土，目前其他國家發展中輔助系統包含印度的 GPS Aided GEO Augmented Navigation (GAGAN)、日本的 Quazi Zenith Satellite System (QZSS)。這些以使用同步衛星為主的輔助系統皆通稱為衛星輔助導航系統(Satellite Based Augmentation System, SBAS)。

我國目前非常廣泛地使用 GPS 精密定位於國家測量工作，包含靜態與動態定位。隨著 GNSS 的到來，衛星定位使用之硬體設備與軟體計算程式也將大幅改變，對於資料處理之作業技術發展也必須迅速進行。國際 GPS 服務組織已正式改名為國際 GNSS 服務組織，名稱簡稱依舊為 IGS。

未來的 GNSS 正逐漸演進為具備多系統多頻率之特性。因此，相關系統建置完成後預期會大幅提升現有不管低精度即時動態單點定位導航模式，或是高精度後處理的動態或靜態基線解算模式之精度。然而，就如同一般多感測器整合所可能遭遇的課題一樣，未來 GNSS 相關應用的發展亦遭逢的硬體及演算法的不同層次的整合課題。故本章首先簡要地提供針對包含 GPS、GLONASS、Galileo、Compass 及各國 SBAS 等未來各式衛星導航系統發展現況之回顧及未來發展趨勢之討論。

§ 2.1 GPS 現代化

GPS 現代化的計畫主要是要延伸第一代 GPS 在過去三十年所獲得的重大成功。而該計畫的主要目的在除了提升軍用系統抵抗干擾能力及導航定位精度之外，亦著手規劃對民用系統提供性能提升的相關設計。

整個 GPS 現代化的計畫始於 2000 年 SA 效應的關閉；接下來即為將一個新的軍用訊號 (M-code) 及第二個民用訊號 (L2C) 加到 L2 頻率上；最後一步則是將第三個民用訊號加到 L5 頻率上。目前這一階段並不考慮將現有 L1 上的 C/A 電碼提升至 (L1C)。下一個的現代化計畫則是設計及發射新一代的衛星 (GPS III) 以提供從 2010 年至 2030 年符合高精度軍用及民用系統之需求 (Miller, 2004)，如圖 2.1 所示。表 2.1 所示為現代化的時間表。

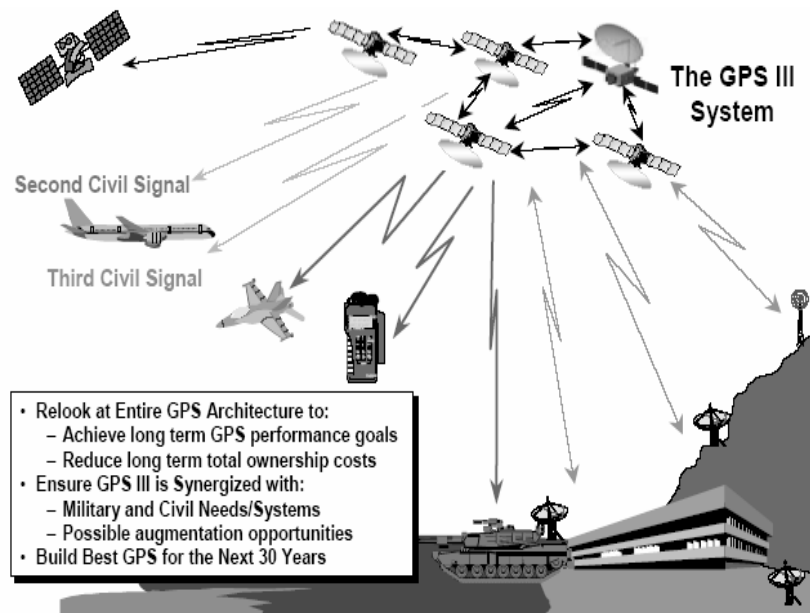


圖 2.1 GPS III 示意圖 (Lachapelle, 2002)

GPS 系統現代化之具體實現則於 2005 年展開，該年 9 月發射的最新 GPS Block IIR-M 衛星已經開始傳送 L2C 觀測量。此觀測量為調制在 L2 頻道的最新電碼觀測量，除了可以幫助地面接收儀對於 L2 載波觀測量的連續接收、減少由訊號失鎖所產生的週波脫落之外，更提供了訊號強度較 L1 C/A 電碼觀測量更強、品質更好的 L2 電碼觀測量以消滅電離層效應，提昇定位精度。GPS Block IIR-M 系列之衛星是 Block IIR 的第二部份；總共包含了 8 顆衛星(Misra and Enge, 2001)。目前已有 7 顆 Block IIR-M 衛星正在運作中 (PRN 17、PRN 31、PRN12、PRN15、PRN29、PRN7 與 PRN01)。最近一次發射時間為 2009 年 3 月 24 日發射，而剩餘的 1 顆(IIR-21M) 預定於 2009 年 8 月 17 日發射，這二顆衛星將具備發射 L5 訊號之能力，此一設計將為下一系列之衛星，Block IIF，提供相關相關系統率定與測試分析。然而 3 月發射的 PRN1(IIR-20M)據指出目前有訊號失真的現象，故目前之狀態尚未啟動至”USEABLE”。

該衛星於 2009 年 3 月 24 日發射入軌，例行的早期軌道校驗程序發現 GPS IIR-20(M)衛星的信號與其他 GPS IIR-M 衛星信號的運行不一致。因為該衛星尚處於早期的軌道校驗階段，而且並未被納入到 GPS 運營星座中，因此世界範圍的 GPS 用戶沒有受到影響。由美國空軍和承包商專家成立的專門反應小組正全力對故障原因進行調查。廣泛的在軌信號性能測試和地面試驗表明，GPS IIR-20(M)所出現的情況與用於 L5 示範訊號埠有關。此示範訊號埠現在已經開啟並按計畫運行，成功地開始使用 L5 國際通信聯盟頻率，以確保該頻率分配可用於支持未來的 L5 用戶。

美國空軍小組已經識別出 GPS IIR-20 (M) 導航信息的幾個參數，這些參數經過調試後可修正誤差，並使 GPS IIR-20 (M) 衛星與 GPS 性能標準保持一致。在未來幾個月，專門小組還將測試、分析並評估修正動作可能給軍隊和民用 GPS 用戶裝置帶來的任何潛在影響。測試策略採用工程分析、建模和模擬，盡可能廣泛地測試真實的 GPS 接收裝置，確保不會因疏忽而影響 GPS 用戶。美國空軍期望在 2009 年 10 月左右完成測試，如果接收器測試中沒有出現重大問題，GPS IIR-20 (M) 屆時將作為一顆健康衛星被引入到運營星座中。用戶可以通過標準的導航星用戶通告諮詢 (NANU) 信息獲知 GPS IIR-20(M) 衛星的狀態。美國空軍確信剩餘的 GPS IIR 衛星或即將發射的 GPS IIR-21(M) 衛星不會受到影響，美國空軍正在為 GPS IIR-21(M) 2009 年 8 月的發射做準備工作。

第二步的重大改變是發展 GPS Block IIF 衛星，此系列目前規劃總共包含至少 12 顆衛星 (Harrington, 2008)。目前美國波音公司將原訂於 2008 年 8 月由 Delta IV 火箭發射之計畫因故推遲至今年，詳細發射月份尚未確認。目前預計於 2009 年內發射完 5 顆 GPS Block IIF 衛星，並分別 2010 與 2011 年各發射 3 顆，最後於 2012 年陸續完成發射第 12 顆。GPS Block IIF 衛星將傳送第三個頻率 L5(1176.45MHz) 的觀測量，屆時 GPS 將正式由雙頻觀測躍升為三頻觀測系統 (Misra and Enge, 2001)。此一改變將會大幅改變現有相對定位基線計算的資料處理方式，改變確定載波觀測量週波未定值之計算方法，藉由三頻觀測量之線性組合大幅提昇目前雙頻基線計算的求解效率(楊名、江凱偉，2007)。

圖 2.2 顯示此二系列衛星的相關參數。而現代化計畫中第三步的改變是預計於 2013 年開始發射的 GPS Block III 衛星，此系列的衛星將傳送 L1C 觀測量，以提供訊號強度及品質可與 L2C 觀測量匹配的 L1 電碼觀測量，進一步提昇定位效能(Misra and Enge, 2001)。現代化 GPS 與現有 GPS 訊號的比較可由圖 2.3 說明之；而現代化 GPS 之訊號特性示於圖 2.4。

目前可使用的民用訊號調制在 L1 上；當現代化的計畫完成時，調制於 L2 及 L5 上新的民用訊號也將無限制地提供一般使用者使用。對於目前廣大使用即時 GPS 動態單點定位者而言，這三頻的觀測量能夠增加訊號的多餘觀測量並藉由消除電離層干擾大幅提昇單點定位精度；除此之外，現代化的 GPS 並針對訊號的可靠度、完整性、連續性及抗干擾性等性能做大幅的提升。而對使用差分定位的應用而言，這增加的第三個頻率可以更有效的估計電離層效應並提供基線求解之用(Chiang *et al.*, 2008)。

表 2.1 現代化之步驟時間表(Miller, 2007)

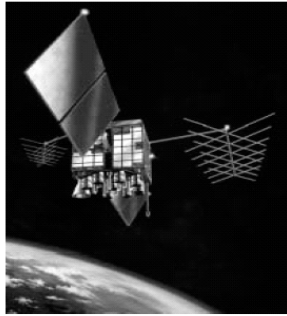
相關措施	實施時間
取消 SA	2000 年 5 月
<ul style="list-style-type: none"> ● GPS IIR-M 衛星性能提升項目 <ul style="list-style-type: none"> ■ 新的 L2 民用電碼(L2C) ■ L1 & L2 之軍用碼(M) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2005 年 9 月 26 日發射第一顆播送 L2C 之 GPS IIR-M 衛星 ■ 預計 2014 年完成 24 顆衛星播送 L2C 訊號之計劃
<ul style="list-style-type: none"> ● GPS IIF 衛星性能提升項目 <ul style="list-style-type: none"> ■ 新的 L2 民用電碼(L2C) ■ L1 & L2 之軍用碼(M) ■ 新的 L5 民用電碼 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 預計於 2008 年 8 月發射第一顆播送 L5 及 L2C 之 GPS IIF 衛星 ■ 預計 2016 年完成 24 顆衛星播送 L2C 及 L5 訊號之計劃
<ul style="list-style-type: none"> ● GPS III-衛星性能提升項目 <ul style="list-style-type: none"> ■ 新的 L2 民用電碼(L2C) ■ 增強軍用碼(M)之功率 ■ 新的 L5 民用電碼 ■ 新的 L1 民用電碼(L1C) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 預計於 2013 年發射第一顆播送 L5、L2C 及 L1C 之 GPS III 衛星 ■ 預計 2021 年完成 24 顆衛星播送 L1C 訊號之計劃

當然，三頻的觀測量能夠提供更多的線性組合並進一步的提升週波未定值解算的能力。圖 2.5 顯示為 2008 年 11 月 9 日的 GPS 星群，圖中顯示共有 6 顆 IIR-M 衛星(PRN 17、PRN 31、PRN12、PRN15、PRN29 與 PRN7)，目前於 2009 年 3 月發射的 PRN1(IIR-20M)衛星尚未啟動故目前的星群分布與圖 2.5 相同。圖 2.6a 所示為實測得之 L2C 訊號(PRN17)而圖 2.6b 為美國 SRI International (<http://www.sri.com/>)公司所提供之 L5 展示訊號之頻譜。

Block IIR 現代化

現代化前

- 舊訊號
 - L1 C/A
 - L1, L2 P(Y)
- 壽命
 - 10 Years



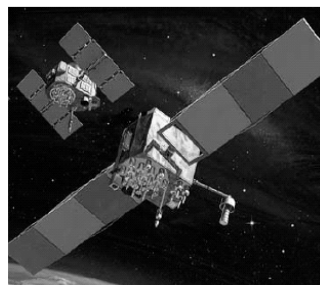
現代化前

- 新訊號
 - Higher Power
 - L1 C/A, L2C*
 - L1, L2 P(Y)
 - L1, L2 M-Code
- 壽命
 - 10 Years

Block IIF 現代化

現代化前

- 舊訊號
 - L1, L2 C/A
 - L1, L2 P(Y)
- 壽命
 - 15 Years



現代化前

- 新訊號
 - Similar Power
 - L1 C/A, L2C*
 - L1, L2 P(Y)
 - L1, L2 M-Code
 - L5 Third Civil**
- 壽命
 - 12 Years
 - 10 Year MMD

圖 2.2 Modernized GPS 衛星示意圖 (Lachapelle, 2002)

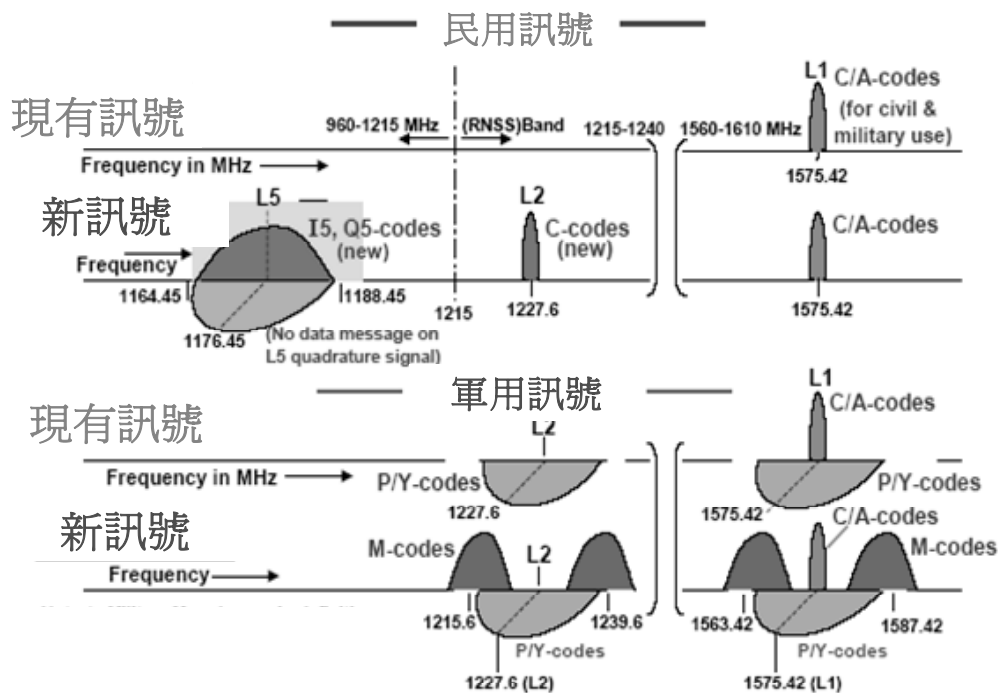
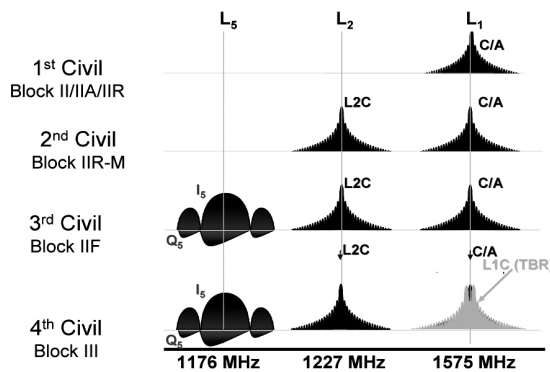
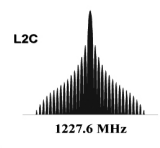


圖 2.3 現有 GPS 與 Modernized GPS 的訊號結構比較 (McDonald, 2001)

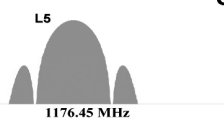


L2C Second Civil Signal



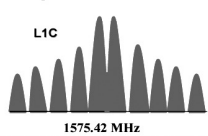
- Benefits of L2C**
 - Improves PNT for ~ 50,000 current scientific/commercial dual frequency users
 - Extends safety-of-life, single-frequency E-911 applications
 - Provides better protection (24 dB) than C/A against code cross correlation and continuous wave (CW) interference
 - Improved data structure for enhanced data demodulation (5 dB better than C/A)

L5 Third Civil Signal



- Improves signal structure for enhanced performance**
 - Higher power (-154.9 dBW)
 - Wider bandwidth (24 MHz)
 - Longer spreading codes in the navigation message
- Aeronautical Radio-navigation Services band**
 - Co-primary allocation at WRC-2000 (1164-1215MHz)
- L5 signal definition in IS-GPS-705**

New L1C Signal Improvements



- Tech solutions exist to add a modernized L1 civil signal**
- Implementation will provide C/A code to ensure backward compatibility**
- Assured of 1.5 dB increase in minimum C/A code power to mitigate any noise floor increase**
- Enables greater civil interoperability with Galileo**

圖 2.4 現代化後 GPS 的民用訊號頻譜及其特性 (Kaplan and Hegarty, 2005)

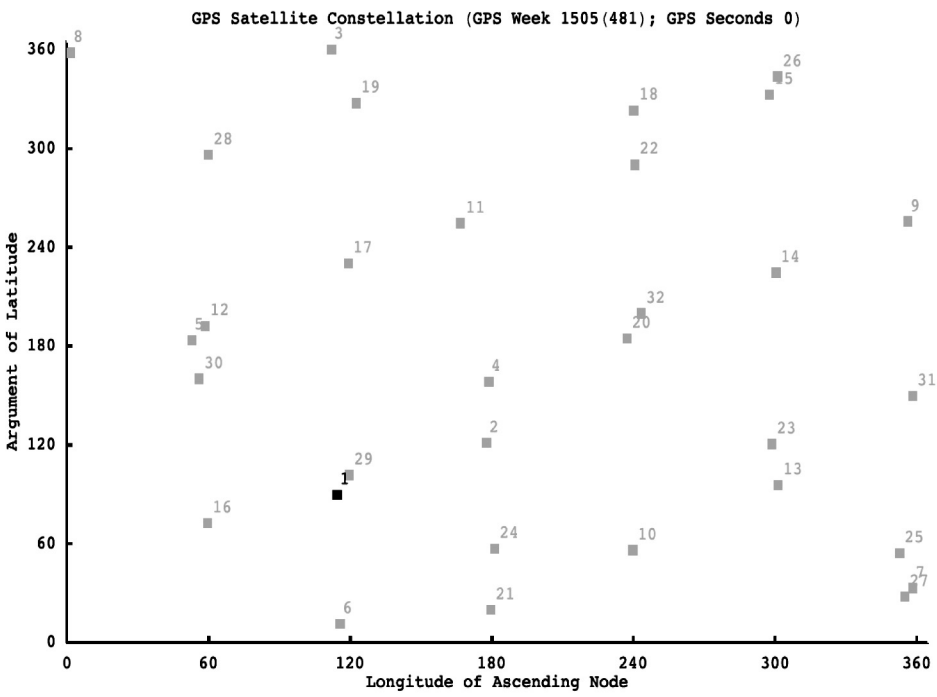


圖 2.5 GPS 星群 (2008 年 11 月 9 日)

L2C 訊號擷取結果

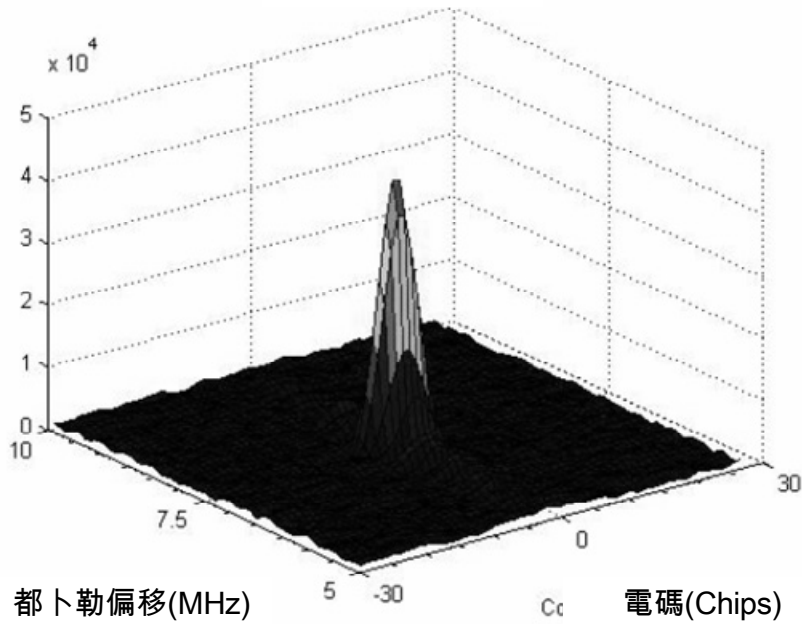


圖 2.6a 實測之 L2C 訊號(PRN17)

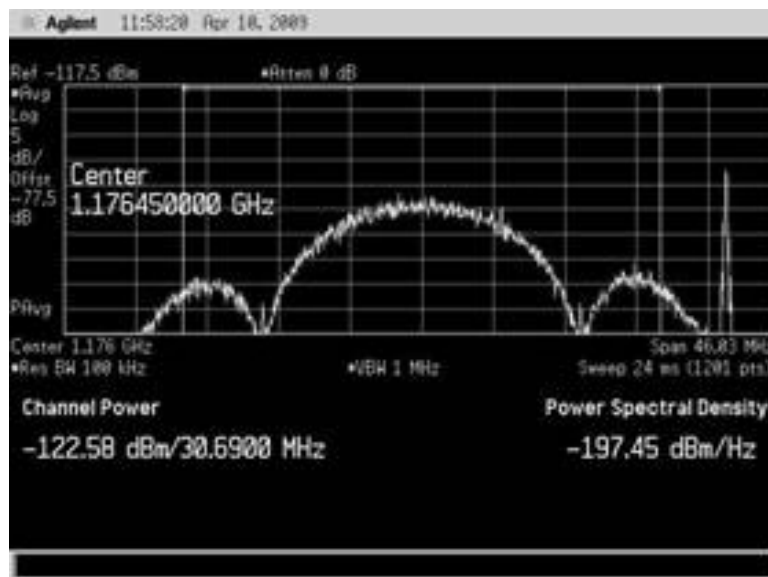


圖 2.6b 實測之 L5 訊號頻譜(摘自 SRI International, <http://www.sri.com/>)

圖 2.7 所示為現代化計畫實施後具備發射 L2C(藍線)與 L5(粉紅線)訊號能力之衛星數量變化。故屆時 (2011 年) 預計將具有 28 顆發射 L2C 訊號之衛星(藍線)與 18 顆發射 L5 訊號之衛星(粉紅線)。

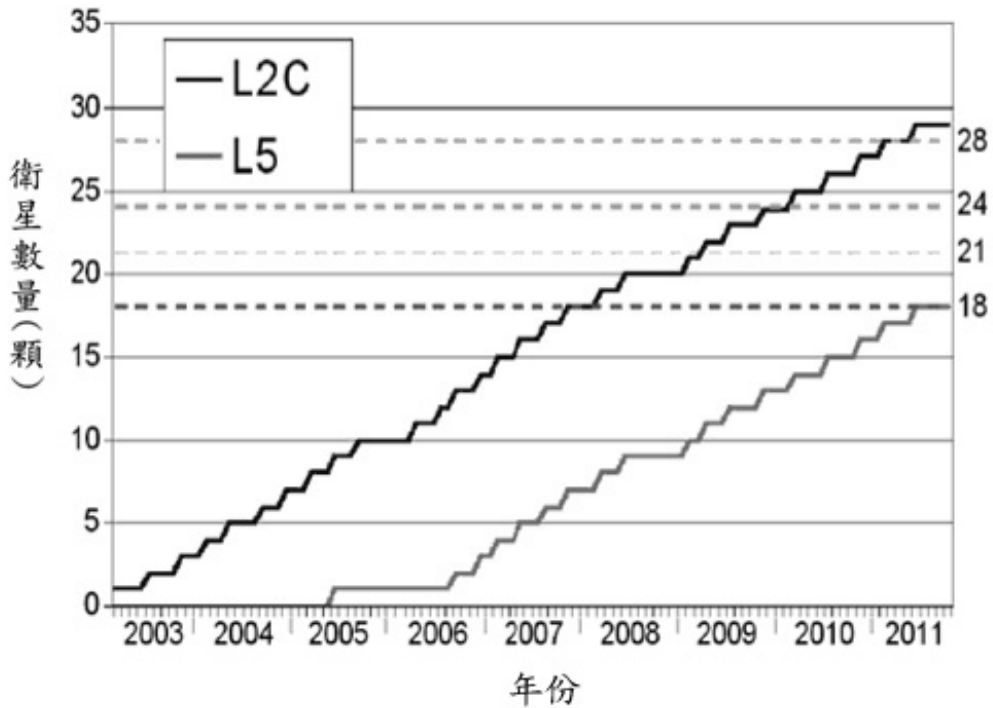


圖 2.7 具備發射 L2C 與 L5 訊號能力之衛星數量變化(Harrington, 2008)

目前美國國防部將精確的 P 電碼鎖碼組成所謂的 Y 電碼以供軍方及少數獲授權的使用者使用以達較高精度之即時單點定位成果並同時提供 AS(Anti-Spoofing)保護。根據 McDonald (2001)，目前 P/Y 碼將持續的使用直到新的 M 碼的可得度(Availability)增加。目前預估 M 電碼將於 2015 年達到全面使用的階段；但這個時間可能因發展過程中不可抗力的因素受到延遲。新的 M 碼亦具備相似的安全機制；但相較於現有 P/Y 電碼之下，其主要的優勢在於性能的提升且可以被直接的使用。關於 M 碼的頻譜特徵與其他現代化過程中民用訊號之演進、特性及比較請參考(楊名、江凱偉，2007)。

對於一般使用者而言，除導航系統精度 (accuracy) 及可用性 (availability) 的考量之外，使用者如何藉由使用者自主地決定導航訊息的有效性 (validity) 及完整性 (integrity) 是相當重要的 (McDonald, 2002)。GPS 接收儀必須要具備判斷衛星是否出問題並產生超過容許值之誤差之功能。四顆衛星已足夠提供使用者之位置解；但對於航空安全而言，使用者必須接收超過六顆衛星才能決定達高信心水準的系統完好度。這個偵錯及除錯 (Fault and detection, FDE) 之過程一般稱為接收儀自主完好度監測 (Receiver autonomous integrity motoring, RAIM) (Miller, 2004)。移除 SA 效應除了大幅增加單點定位的精度之外亦大幅提升了 FDE 之效能。

目前 GPS 衛星的規劃主要是針對軍方使用者而設計的，但對其他民用生命安全 (Safety of life) 及訊號的完好度相關應用而言，訊號的可得度會因為遮蔽效應而大幅降低。故在現代化的規劃中有一提案為未來可能將衛星顆數增加至 30 或 36 顆，但此案尚未正式公佈。目前的作法為藉由輔助系統的方式提供額外的訊號、差分改正量、完好度及電離層改正量以提升系統之精度、可靠度及完好度。除此之外，現代化計畫中亦包含地面監測站設施之更新以提供更佳的衛星星群及完好度監測之功能。圖 2.8 所示為新一代 GPS 的空間及控制段的系統架構圖。圖 2.9 所示為 GPS 的空間及控制段的系統發展演進圖。由此二圖中吾人可知，在新一代的 GPS 使用之空間段部分將包含 GPS IIR-M，IIF 與 III 等不同系列之衛星。在 GPSIII 系列之衛星將具備增強抗干擾能力三頻之民用訊號以提供較現有系統為佳之定位精度。當然。同時在控制段亦大幅更新相關硬體設施已完成整體系統之現代化。

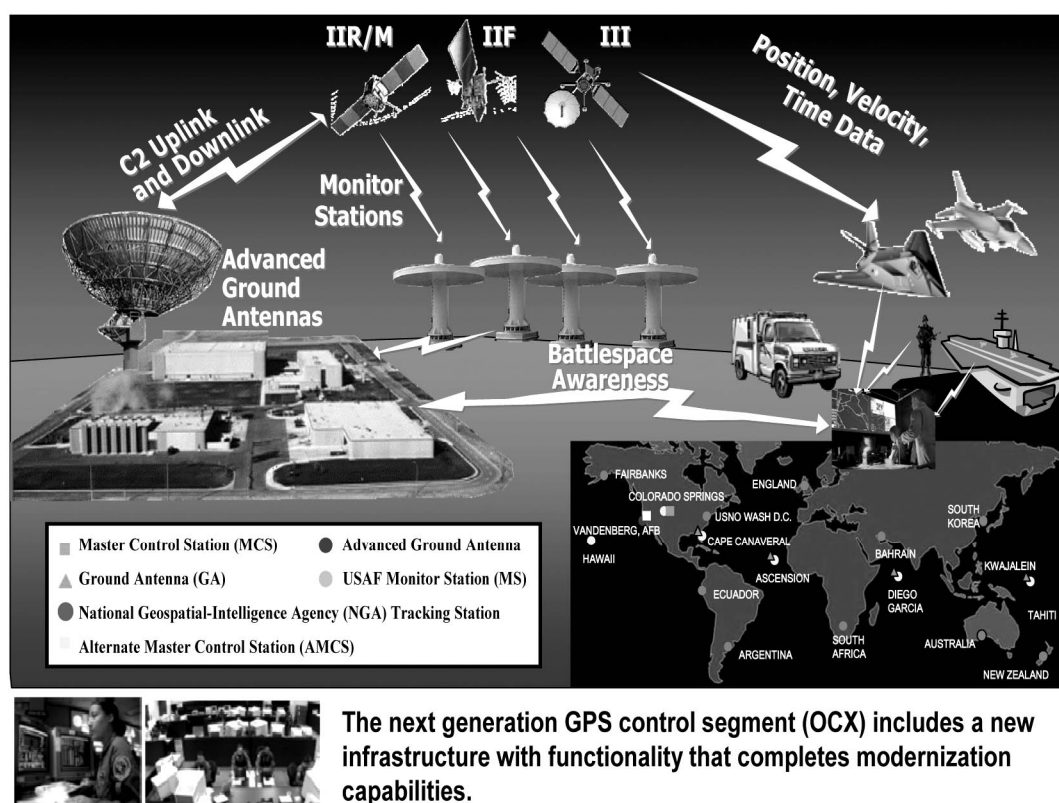


圖 2.8 新一代 GPS 的空間及控制段的系統架構圖(Miller, 2007)

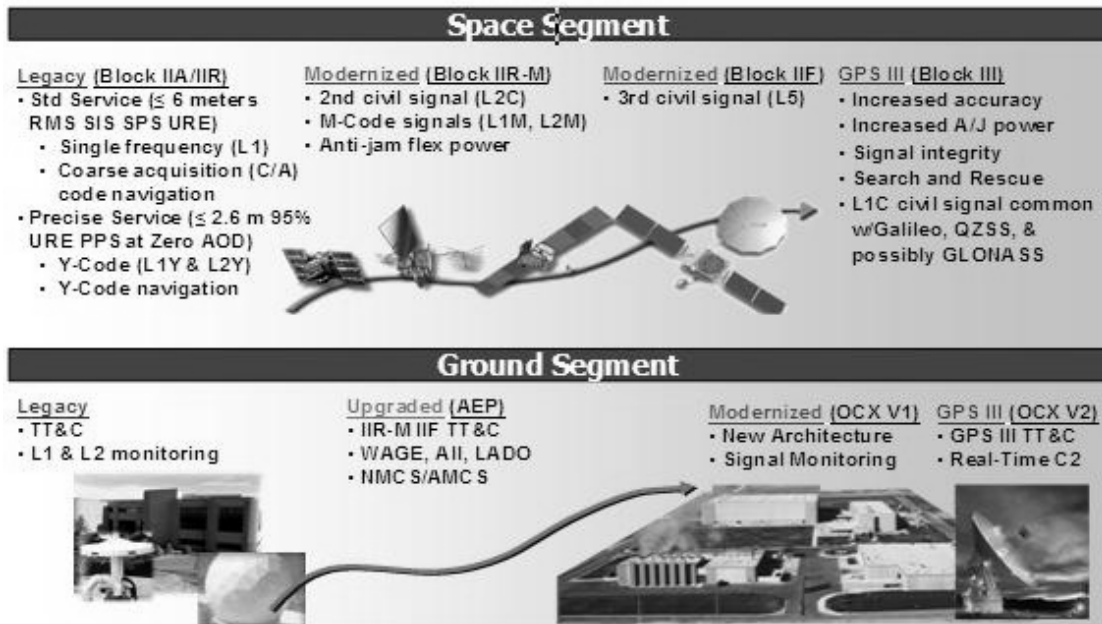


圖 2.9 GPS 控制段與空間段之演進過程 (Harrington, 2008)

目前 GPSIII 之衛星發展計畫依功能演進分為 Block IIIA、Block IIIB 與 Block IIIC 三個批次，如圖 2.10 所示。其中 Block IIIA 可視為 GPS 現代化系統與 GPSIII 系統之媒介。目前第一顆 Block IIIA 之衛星預計於 2013 至 2014 年間發射 (Harrington, 2008)。

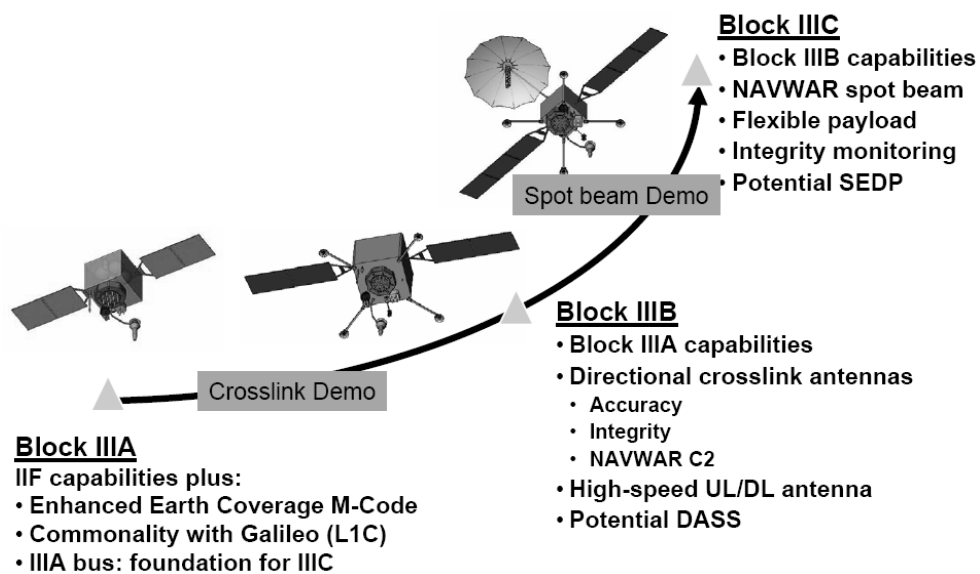


圖 2.10 GPSIII 衛星之功能規劃 (Harrington, 2008)

GPS 現代化之後除了提升地球表層 (含海陸空)之導航及定位需求外並致力於太空任務之應用。圖 2.11 所示為美國太空總署與國防部協議發展的太空導航衛星增強系統 (TDRS Augmentation Service for Satellites, TASS)。其概念類似於地球表層的增強系統；除了運用 GPS 星群提供其他衛星定位之外，利用追蹤及資料傳輸衛星 (Tracking and Data Relay Satellite, TDRS) 傳送全球 DGPS(Global Differential GPS, GDGPS) 之改正量。

TDRS 衛星為美國太空總署所使用的通訊衛星，其所扮演的角色如同 WASS 之靜止衛星。美國太空總署希望藉由此系統增加衛星定軌之精度。圖 2.12 中較低層為一般低軌衛星，中層為 GPS 衛星而最高層則為 TDRS 衛星。未來希望以目前有 3 顆 TDRS 衛星(H,I,J)搭配現代化的 GPS 以提供未來更精準的”衛星定位”。除了近地球衛星之定軌外，美國太空總署正研究如何將 GPS 應用在月球探測的任務上。圖 2.12 顯示 GPS 之訊號足以提供 4/5 地月距離之定位服務。事實上月球表面是可以收到 GPS 訊號，但目前的接收儀技術尚無法處理如此微弱的訊號。

- TDRS Augmentation Service for Satellites (TASS) provides Global Differential GPS (GDGPS) corrections via TDRSS satellites
- Integrates NASA's Ground and Space Infrastructures
- Provides user navigational data needed to locate the orbit and position of NASA user satellites

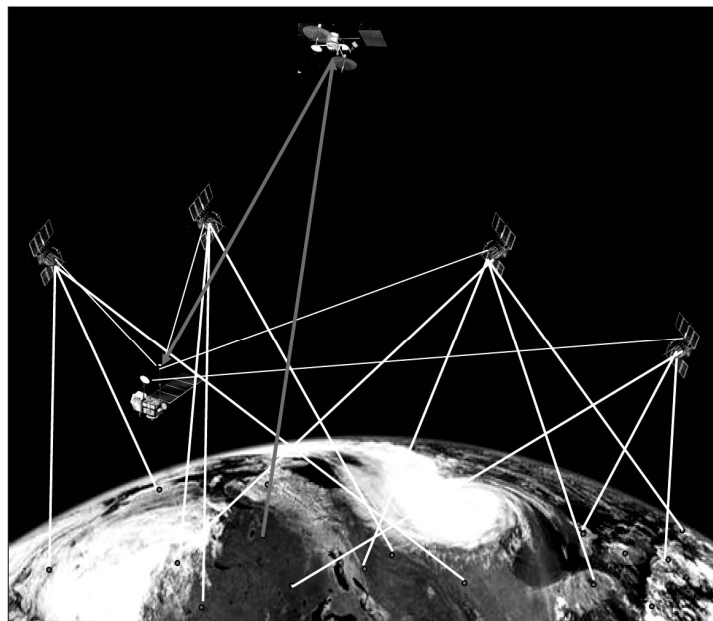
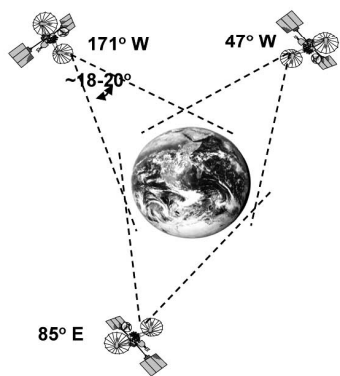


圖 2.11 TASS 之構想圖(Miller, 2007)

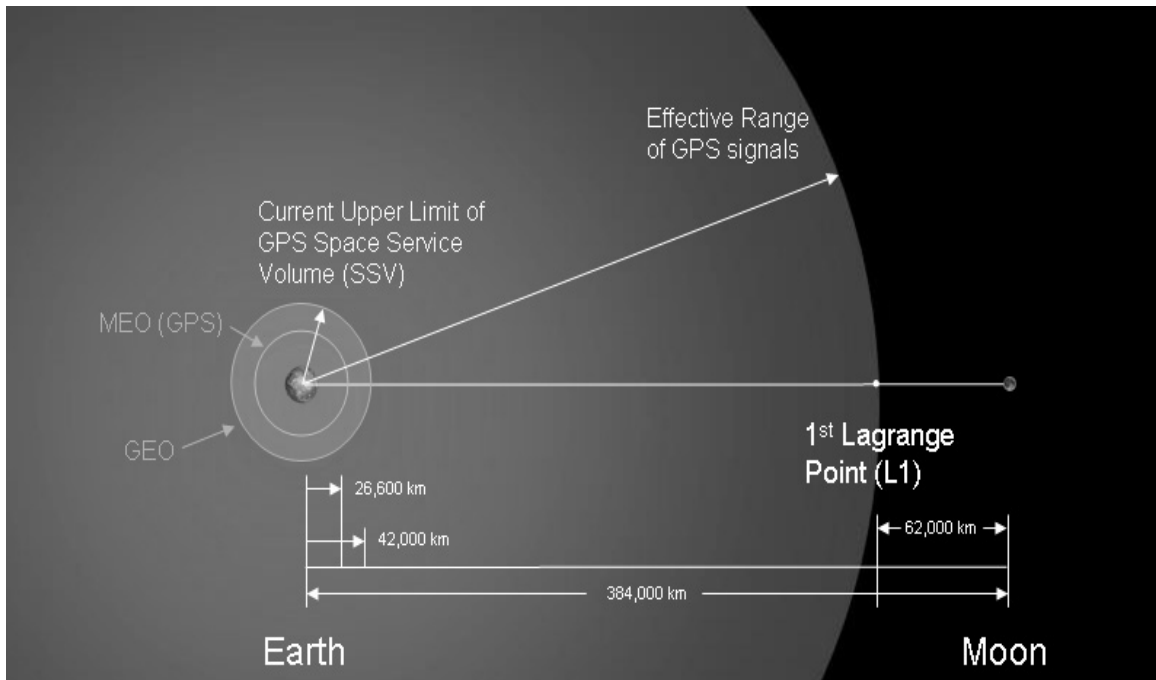


圖 2.12 GPS 服務範圍與地月距離之關係(Miller, 2007)

故發展中的地月通訊及導航網路包含了地球的追蹤系統、GPS、環月的似 GPS 定位系統與設置於月球表面的虛擬衛星，如圖 2.13 所示。

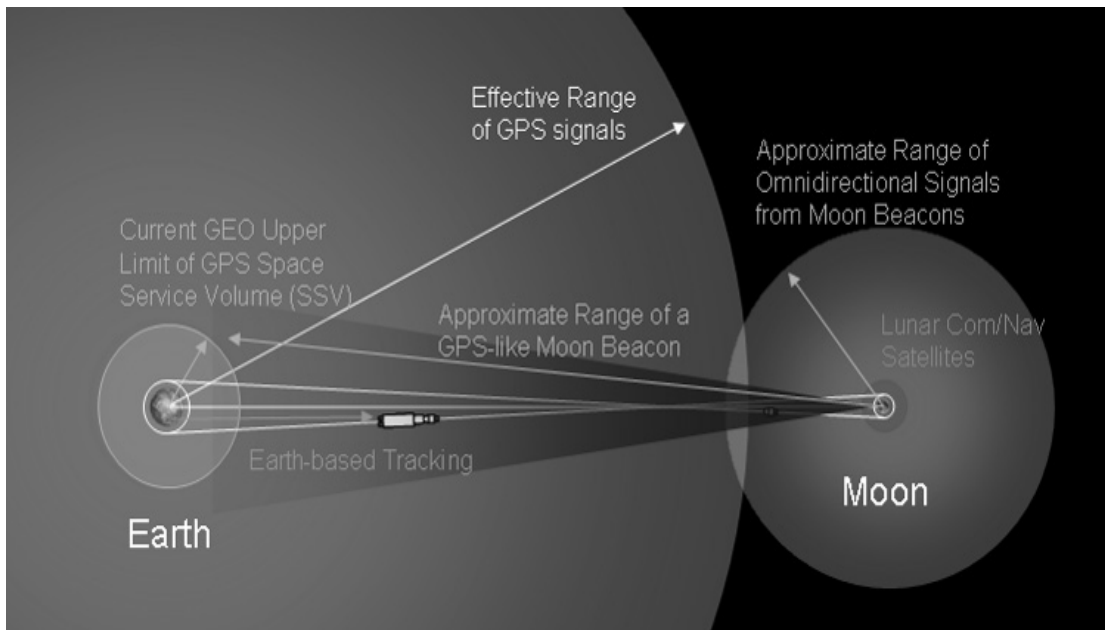


圖 2.13 地月導航及通訊系統 (Miller, 2007)

§ 2.2 GLONASS 現代化

由俄羅斯發展的 GLONASS 導航衛星系統曾於 1995 年完成部署，隨後由於衛星生命期只有三年與俄羅斯政府財力不足的問題，衛星數目由 1995 年的 26 顆直線下降至 2001 年的 7 顆。但是自 2001 年起俄羅斯政府決定繼續維持 GLONASS 之運作並提出類似 GPS 現代化之計畫，如圖 2.14 所示(FSARF, 2005)。

該計畫第一步為在 2003 年後所發射的 GLONASS-M 衛星中將第二個民用訊號調制在 L2 頻率中以增加定位精度；接下來則是在 2008 年後所發射的 GLONASS-K 衛星中將第三個民用訊號調制在 L3 頻率以進一步提升新一代 GLONASS 的性能。GLONASS-M 及 K 之性能如圖 2.15 及圖 2.16 所示。

該計畫預計在 2010 年將衛星數量提昇 24 顆以提供全球覆蓋的高精度導航服務。除了致力於 GLONASS 的性能提升之外，俄羅斯當局並與美國與歐盟針對未來整合涵蓋 GPSIII, Galileo 及 GLONASS 的未來 GNSS 達成相關技術合作與交流的協議(FSARF, 2005)。圖 2.17 所示為 GLONASS 現代化過程中其衛星數量變化的情形。

如同現代化的 GPS 一樣，未來的 GLONASS 可以提供三頻民用訊號以供高精度導航、定位及時間等相關應用領域之用。如同 GPS 一樣，GLONASS 為一包含軍用及民用等雙重用途之系統。整合 GPS 及 GLONASS 之接收儀在 1995 年前後已有成熟的產品問世，過去的相關文獻亦證明整合現有 GPS 及 GLONASS 之系統能夠提供較任一系統為高之定位精度及全球覆蓋率(Zinoviev, 2005)。因此未來如果 GLONASS 能夠成為穩定的信號來源，整合 Modernized GPS 及 GLONASS 的多頻率 GNSS 應能較現有的 GPS/GLONASS 系統具備更高的定位精度(Zinoviev, 2005)。

GLONASS 現代化計畫

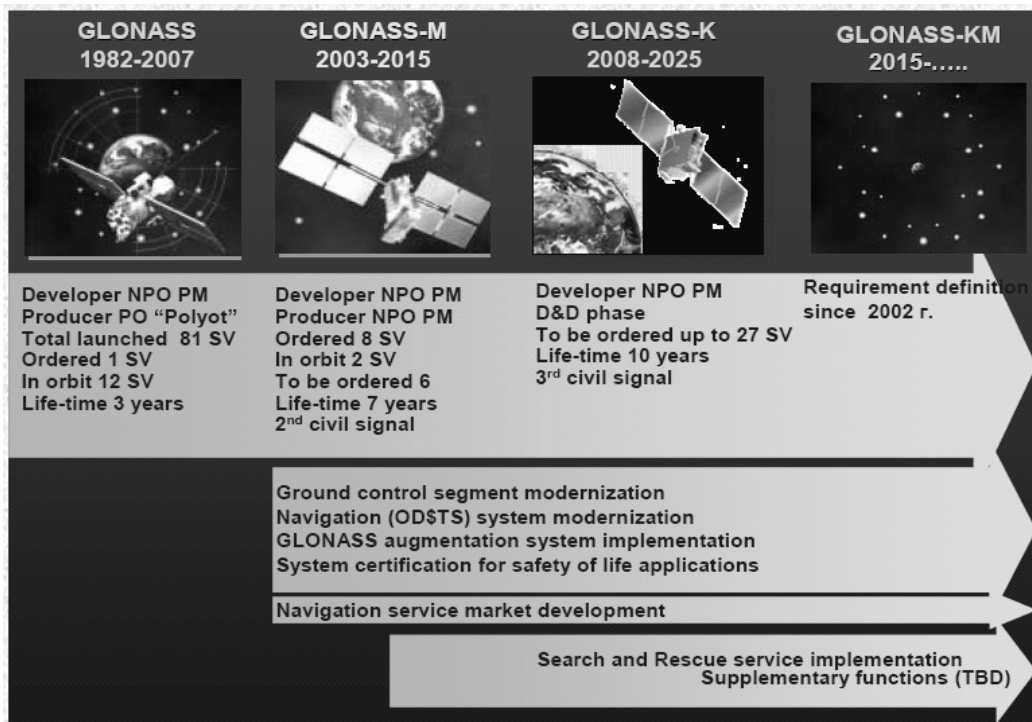
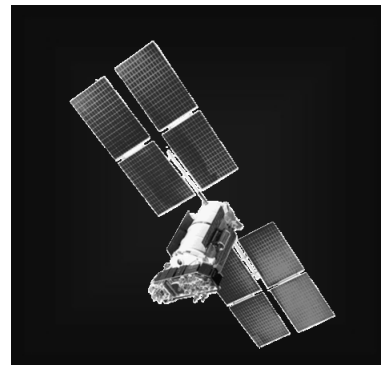


圖 2.14 GLONASS 現代化計畫 (FSARF, 2005)

GLONASS- M 效能

- 壽命 7 years
- 衛星重量 1 415 kg
- 電源 1 450 W
- 導航酬載
 - 衛星重量 250 kg
 - 電源 580 W
- 時鐘穩定度(24小時) $1 * 10^{-13}$
- 姿態控制精度 0.5 deg
- 太陽能板指向精度 2 deg



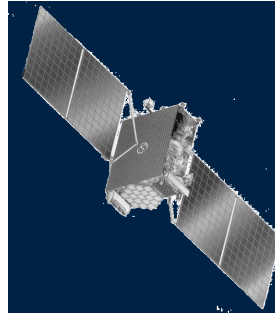
- GLONASS- M 新功能
- 延長壽命
 - L2訊號
 - 提升時鐘穩定度
 - 提升太陽能板指向精度
 - 提升的動態模型以增加衛星控制之精度



圖 2.15 GLONASS-M 衛星之性能 (FSARF, 2005)

GLONASS- K 效能

- 壽命 10 years
- 衛星重量 850 kg
- 電源 1 270 W
- 導航酬載
 - 衛星重量 260 kg
 - 電源 750 W
- 時鐘穩定度(24小時) $1 \cdot 10^{-13}$
- 姿態控制精度 0.5 deg
- 太陽能板指向精度 1 deg



GLONASS- M 新功能

- 延長壽命
- L3訊號
- 提升各種效能
- SAR功能

Group launch by SOYUZ

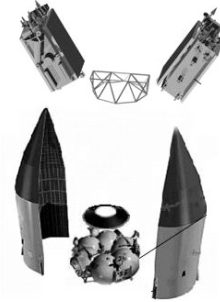


圖 2.16 GLONASS-K 衛星之性能 (FSARF, 2005)

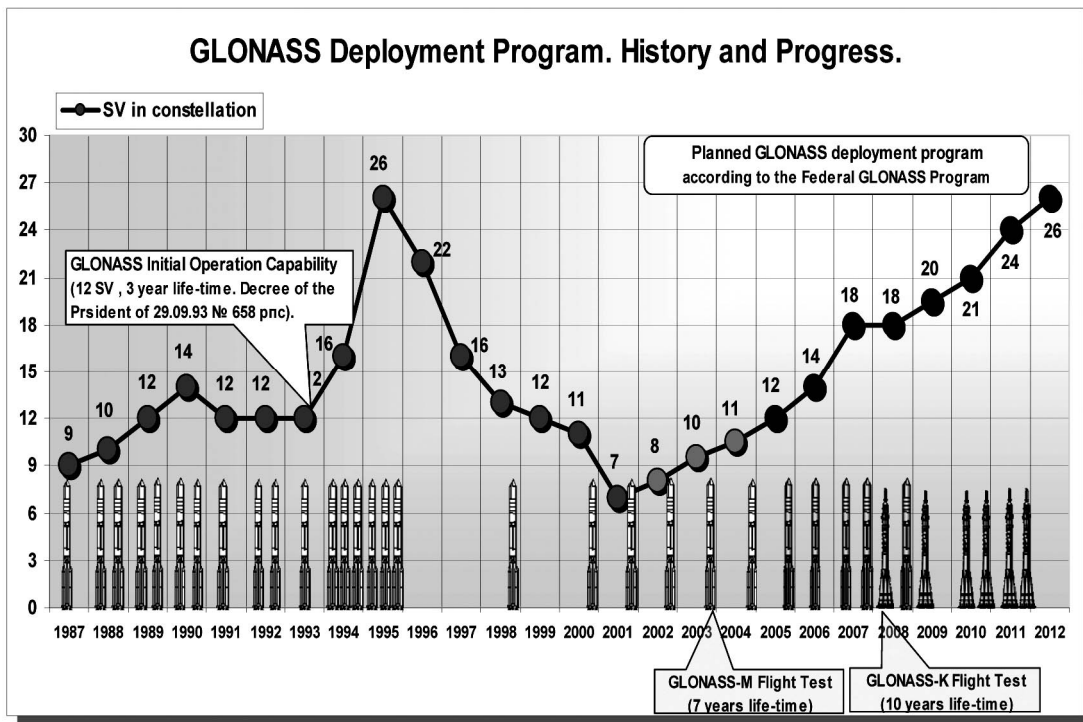


圖 2.17 GLONASS 衛星數量之變化(1987~2012)(Zinoviev, 2005)

表 2.2 顯示為 2009 年 7 月 8 日的 GLONASS 星群。表中顯示目前有 20 顆 GLONASS 衛星，目前共有 19 顆為現代化具備雙頻民用訊號的 M 系列衛星現代化的衛星(除 795 外)，目前可使用的衛星有 18 顆，其餘 2 顆在維修狀態。而最近的 GLONASS 衛星三星發射的時間為 2008 年 12 月 25 日 (衛星編號分別為 727、728 及 729)。

表 2.2 2009 年 7 月 8 日的 GLONASS 星群(摘自 RSA 網站)

Orb. pl.	Orb. slot	RF chnl	# GC	Launched	Operation begins	Operation ends	Life-time (months)	Satellite health status		Comments
								In almanac	In ephemeris (UTC)	
I	2	01	728	25.12.08	20.01.09		6.4	+	+ 01:00 08.07.09	In operation
	3	05	727	25.12.08	17.01.09		6.4	+	+ 01:30 08.07.09	In operation
	4	06	795	10.12.03	29.01.04	01.05.09	67.0	-	- 23:21 22.05.09	Maintenance
	6	01	701	10.12.03	08.12.04	18.06.09	67.0	-	- 09:33 06.07.09	Maintenance
	7	05	712	26.12.04	07.10.05		54.4	+	+ 03:01 08.07.09	In operation
	8	06	729	25.12.08	12.02.09		6.4	+	+ 01:30 08.07.09	In operation
II	9	-2	722	25.12.07	25.01.08		18.4	+	+ 01:30 08.07.09	In operation (L1 only)
	10	-7	717	25.12.06	03.04.07		30.4	+	+ 01:30 08.07.09	In operation
	11	00	723	25.12.07	22.01.08		18.4	+	+ 01:30 08.07.09	In operation
	13	-2	721	25.12.07	08.02.08		18.4	+	+ 02:00 08.07.09	In operation
	14	-7	715	25.12.06	03.04.07		30.4	+	+ 03:00 08.07.09	In operation
	15	00	716	25.12.06	12.10.07		30.4	+	+ 03:00 08.07.09	In operation
III	17	04	718	26.10.07	04.12.07		20.4	+	+ 01:30 08.07.09	In operation
	18	-3	724	25.09.08	26.10.08		9.4	+	+ 01:30 08.07.09	In operation
	19	03	720	26.10.07	25.11.07		20.4	+	+ 01:31 08.07.09	In operation
	20	02	719	26.10.07	27.11.07		20.4	+	+ 03:00 08.07.09	In operation
	21	04	725	25.09.08	05.11.08		9.4	+	+ 03:00 08.07.09	In operation
	22	-3	726	25.09.08	13.11.08		9.4	+	+ 03:00 08.07.09	In operation
	23	03	714	25.12.05	31.08.06		42.4	+	+ 03:07 08.07.09	In operation
	24	02	713	25.12.05	31.08.06		42.4	+	+ 01:30 08.07.09	In operation

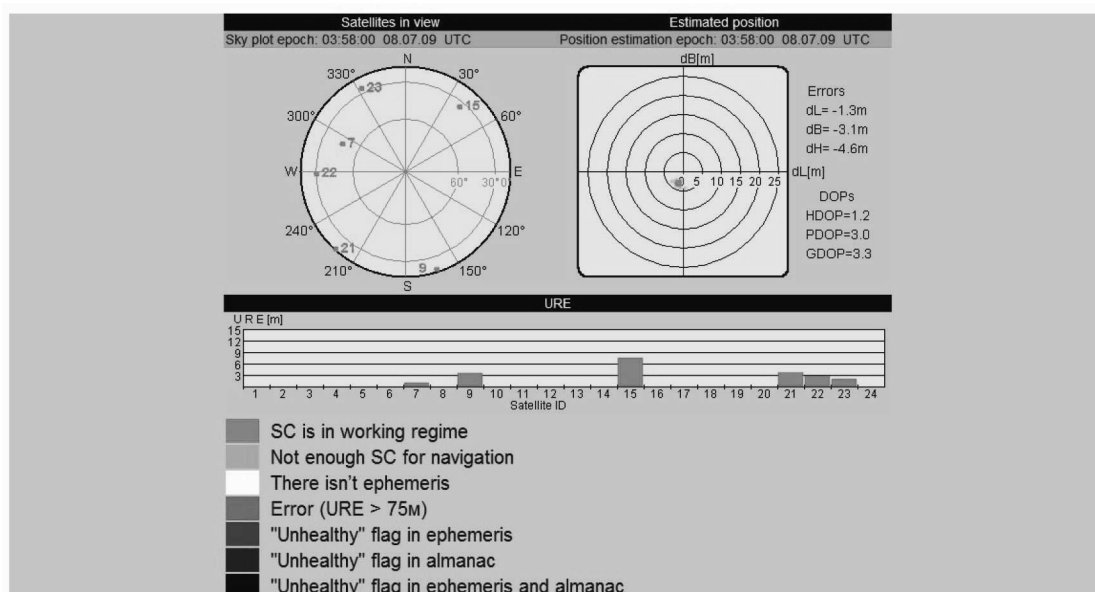


圖 2.18 GLONASS IAC 追蹤站之即時追蹤結果(摘自 RSA 網站)

將圖 2.17 與表 2.2 相較之下吾人可發現 GLONASS 之現代化計畫進展的相當迅速。下二次三星發射的時程預計為 2009 年 9 月與 12 月。圖 2.18 所示為台北時間 2009 年 7 月 8 日 11 點 58 分 00 秒於 GLONASS IAC 追蹤站之即時追蹤結果。圖 2.19 所示為台北時間 2009 年 7 月 8 日 11 點 40 分 47 秒的 GLONASS PDOP 之全球分布。台灣地區於此時刻之 PDOP 值大於 6。預計 GLONASS 於明年 (2010) 可以提供 24 顆衛星的星群以提供完整的定位與導航服務。

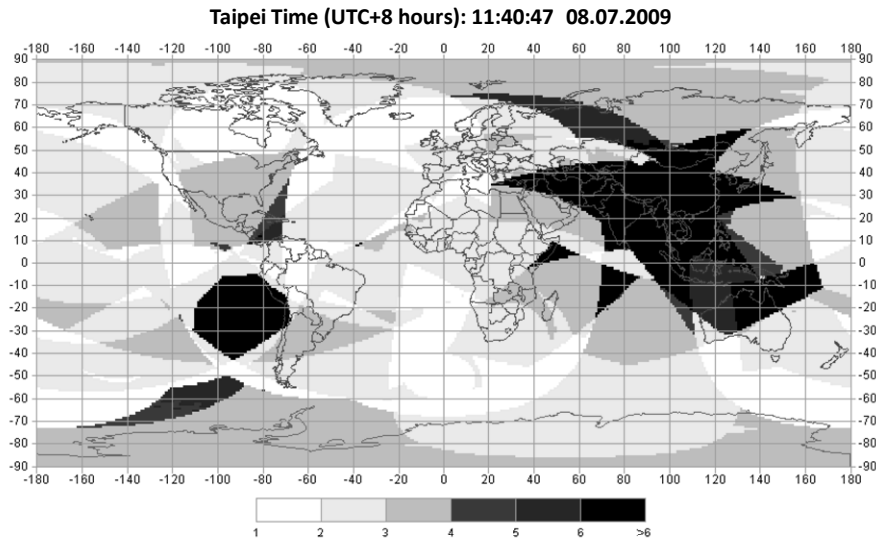


圖 2.19 GLONASS PDOP 之全球分布範例(摘自 RSA 網站)

在 2007 年 9 月 26 日於美國德州沃斯堡舉辦的 Civil GPS Service Interface Committee (CGSIC)會議中，來自俄羅斯太空總署 PNT 資訊中心的副主席，Revnivykh 先生提及該國有意在未來 K 系列衛星之 L1CR 及 L5R 播送碼分多址 (CDMA) 的訊號。如此未來包含 GPS、GLONASS、Galileo 與 Compass 皆會播送碼分多址 (CDMA) 的訊號，這有助於硬體製造商設計價格更為低廉但精度更高之多系統接收儀，同時軟體設計者亦能利用共頻的多系統訊號設計更為有效的聯合資料處理演算法。第一顆 K 系列衛星預計於 2009 年至 2010 年間發射升空。

§ 2.3 Galileo

前面所提及的 GPS 及 GLONASS 皆為由軍方所控制的導航系統。相較之下，歐盟正大力發展中的 Galileo 系統主要則是提供民用導航之用。早在 1990 初期歐盟即開始發展針對歐洲北部提供較佳定位精度的衛星導航系統。歐洲太空總署 (European Space Agency, ESA) 並於 1998 年針對發展一個獨立於 GPS 及

GLONASS 且主要為民用之導航系統展開一系列的研究並於 3 年之後公佈所使用的衛星訊號結構 (Hein *et al.*, 2002)。至此整個 Galileo 計畫的實施正式進入緊鑼密鼓的發展階段。歐盟的交通運輸委員會並於 2002 年公佈整個計畫發展的步驟。為了達成與 GPS 訊號的相容性，ESA 於 2002 年修正 Galileo 的訊號與頻率 (Hein *et al.*, 2002) 並於 2004 年完成最終的衛星軌道設計並由歐盟交通運輸委員會於同年 12 月正式公佈。

Galileo 的原始計畫可分為三期 (Hein *et al.*, 2002)：第一期 (2001 迄今) 主要為研發階段；除了完成相關系統的設計外，最重要的是衛星驗證(In-Orbit Validation, IOV)。而 IOV 的主要步驟原為於 2005 年底發射 30 顆衛星中的 4 顆以驗證相關系統；然而發展期間不可抗力之經費及技術發展問題等致使第一期的計畫有所延誤。如前所述，第一顆 Galileo 衛星 (GIOVE-A) 延遲至 2005 年 12 月 28 日成功發射升空。第二期主要為完成衛星剩餘 26 顆衛星的發射與地面相關硬體設施的建設。第三期為完成整個系統設置並開始提供商業運轉(European Commission, 2003)。但因第一期計畫的延誤導致整個計畫達到全面商業運轉的時程會延至 2013 年。第二顆測試衛星 (GIOVE-B) 於 2006 年完成組裝並於 2008 年 4 月 27 日完成發射。

目前歐盟已選定 11 家公司以評選參與建立全導航能力 (FOC)Galileo 所需各項設施之工程，預計 2009 年 9 月完成選商與發包。在此時程下，剩餘的 2 顆測試衛星將於 2010 完成發射；且整個系統所需之 30 顆衛星將於 2013 年前完成發射之工作。

Galileo 衛星的頻率設計分為 4 種頻率，分別為 E5a (1176.45MHz=GPS L5)、E5b (1207.14MHz)、E6 (1278.75MHz)、以及 E1 (1575.42MHz)頻率。預計實際開放給一般使用者使用的公開頻率將只有 3 個，而只有付費使用的商業服務才可使用到第 4 個頻率 (Hein,2000)。因此未來的大地測量型 GNSS 接收儀應當是以接收 3 頻為主。

Galileo 商業服務之主要目的在於提供較公開服務更高等級的付費增值服務。其主要的實施方式為在公開服務的訊號之外提供二組鎖碼的訊號，這個鎖碼的程序將由未來的 Galileo 管理機構負責。經過付費及獲得授權之後，使用者方可使用接收儀搭配一個解碼的硬體鑰匙來解碼並使用商業服務所提供之訊號。商業服務所提供之增值服務包括藉由廣播的方式提供精確的授時服務、電離層改正

模型、及區域的差分改正以符合更高精度的定位及導航需求。截至目前為止，尚不知道使用是否需要使用特殊設計的接收儀才可使用加值的商業服務。目前市面上的 GPS/Galileo 整合接收儀皆以使用公開服務的訊號為主。

對於一般使用者而言，使用 GPS/Galileo 雙頻 (L1/E1, L5/E5a) 的效能預期將與純粹使用 Galileo 之商業服務之效能旗鼓相當，甚至有過之而無不及。GPS/Galileo 具備將近 60 顆的衛星而 Galileo 只有 30 顆衛星。故不論從經濟效益或效能的觀點，商業服務對導航及測量的使用者而言應該不具備吸引力。況且目前 GNSS 接收儀的大廠皆是美國的公司，故從美國立場而言，它可以支持使用公開服務之 GPS/Galileo 雙系統之發展；但基於經濟及軍事的考量，它應不會大量支援 Galileo 之商業服務。就系統發展的時程而言，一般的使用者至少要等到 IOV 完成之後，整個計畫進入第二階段時才可能取得合法的觀測量。

如前所述，目前美國及歐盟是以運行中的 GNSS 輔以如 WAAS 及 EGNOS 等廣域星基輔助系統 (SBAS) 以提供最佳化的完好度服務。然而在 Galileo 系統設計期間即考慮到完好度對相關應用之重要性，故除了建置包含 30 顆衛星(二十七顆加三顆備用衛星)的空間段之外，Galileo 可藉由遍布全球達 40 站的感測器監測網追蹤衛星的狀況。整個地面完好度監測設施包含 Galileo 感測器監測站 (Galileo Sensor Station, GSS)，任務指令上傳站(Mission Uplink Station, MLS)及全球的通訊網路以監測完好度的資訊。

藉由相關的觀測量可偵測出某些衛星軌道或時鐘的異常並使用完好度旗標 (Integrity Flag, IF) 通知使用者。使用者再依照區域的完好度風險評估以採取重要行動。整個完好度監測性能的設計除了最高階的需求外亦考慮到如地面段的異常或資料損毀等特殊性能異常指標。故就整體系統而言，Galileo 較 GPS 提供更完整的完好度監測及預警的軟硬體設施。整體而言，Galileo 與現代化的 GPS 藉由提升完好度的監測以提升飛航安全，除此之外，上述系統亦透過星基增強系統的輔助提升了高程定位的精度以符合飛機進場降落之規範。

§ 2.4 Compass/Beidou

北斗衛星導航定位系統 (Compass/Beidou)，是中國研發的區域性三維衛星定位與通信系統 (CNSS)。該系統由 3 顆 (2 顆工作衛星、1 顆備用衛星) 北斗定位衛星 (北斗一號)、地面控制中心為主的地面部份、北斗用戶終端三部分組成。

可向用戶提供全天候、二十四小時的即時定位服務，三維定位精度約幾十米。三顆導航定位衛星的發射時間分別為；2000年10月31日；2000年12月21日與2003年5月25日，第三顆是備用衛星。

在北斗一號成功的基礎上中國政府已決定投注大量資源發展類似 GPS 或 Galileo 自主的全球導航衛星系統，稱為北斗二號(Compass Navigation Satellite System, CNSS)。與北斗一號以3顆衛星提供區域的導航服務之功能相較之下，未來的北斗二號衛星之數量預計將達到35顆，這些衛星群將由5顆靜止衛星、30顆的中軌道衛星與傾斜軌道衛星所組成(Huang and Tsai, 2008)。中國官方目前規劃於2010年完成發射10顆衛星之計畫，同時完整的30⁺星群將於2015年建置完成。

未來的 Compass 將提供五種免費的公開服務(Open service)與5種授權服務(Authorized service)。該系統之第一顆 MEO 衛星(Compass-M1)已於2007年4月17日發射升空。而該系統第一顆靜止衛星已於2009年4月14日發射。目前北斗二號衛星導航系統預計使用的頻率示於表 2.3。該系統預計採用碼分多址之編碼方式。

表 2.3 Compass 預計使用的頻率(Merino *et al.*, 2007)

頻率	北斗註記	編碼
1561.10(E2')	B-1	QPSK(2)
1589.74(E1')	B1-2	QPSK(2)
1268.52(E6)	B3	QPSK(10)
1207.14(E5b)	B2	QPSK(10)+ QPSK(2)

§ 2.5 未來的 GNSS

根據上述各系統發展的時程，預計在2015年之後一般使用者可以無限制使用4個衛星導航系統所提供的多頻觀測量已獲致更高的即時單點定位精度；未來不論是即時導航或高精度測量定位皆可使用雙系統或叁系統的接收儀以提高定位精度。表 2.4 所示為未來 GNSS 各式參數的比較表。

表 2.4 未來各衛星系統的比較表(Huang and Tasi, 2008)

	GPS	Galileo	GLONASS	Compass/Beidou
衛星數量 (2015 年)	28	30	26	35
軌道面(度)	6	3	3	MEO : 3
傾角(度)	55	56	64.9	MEO : 55
軌道高度 (公里)	20200	23230	19100	MEO : 21500 GEO : 35785
運行週期	11 小時 56 分	14 小時 05 分	11 小時 15 分	MEO : 12 小時 50 分 GEO : 24 小時 00 分
使用頻率 (民用) (MHz)	L1 : 1575.42 L2 : 1227.60 L5 : 1176.45	E1 : 1575.42 E5b : 1207.14 E5a : 1176.45	G1 : 1602~1616 G2 : 1246~1257 3rd : 未定	B-1 : 1561.10 B1-2 : 1589.74 B3 : 1268.52 B2 : 1207.14
參考坐標框架	WGS-84	GTRF	PZ-90	Beijing 1954 coordinate system
時間系統	GPST	GST	UTC(SU)	Chinese coordinated universal time
傳輸方式	CDMA (碼分多址)	CDMA (碼分多址)	FDMA/CDMA (頻/碼分多址)	CDMA (碼分多址)

圖 2.20 至 2.23 分別表示 GPS、Compass、GPS+Compass 及 GPS+GLONASS+Galileo+Compass 之全球平均 GDOP 值之分布。若單就台灣地區而言，Compass 可以較 GPS 提升近 30% 之定位精度。就四系統而言，吾人可發現其 GDOP 值之分布相當均勻且較現行 GPS 提升近 50% 之精度。圖 2.24 與 2.25 分別顯示 GPS+Galileo 與 Compass 24 小時內於亞洲地區可視衛星數量的平均值。一般而言，Compass 之數量與雙系統平均只差 2 至 3 顆。故未來 Compass 的影響不容忽視且其發展過程值得吾人持續地關注。

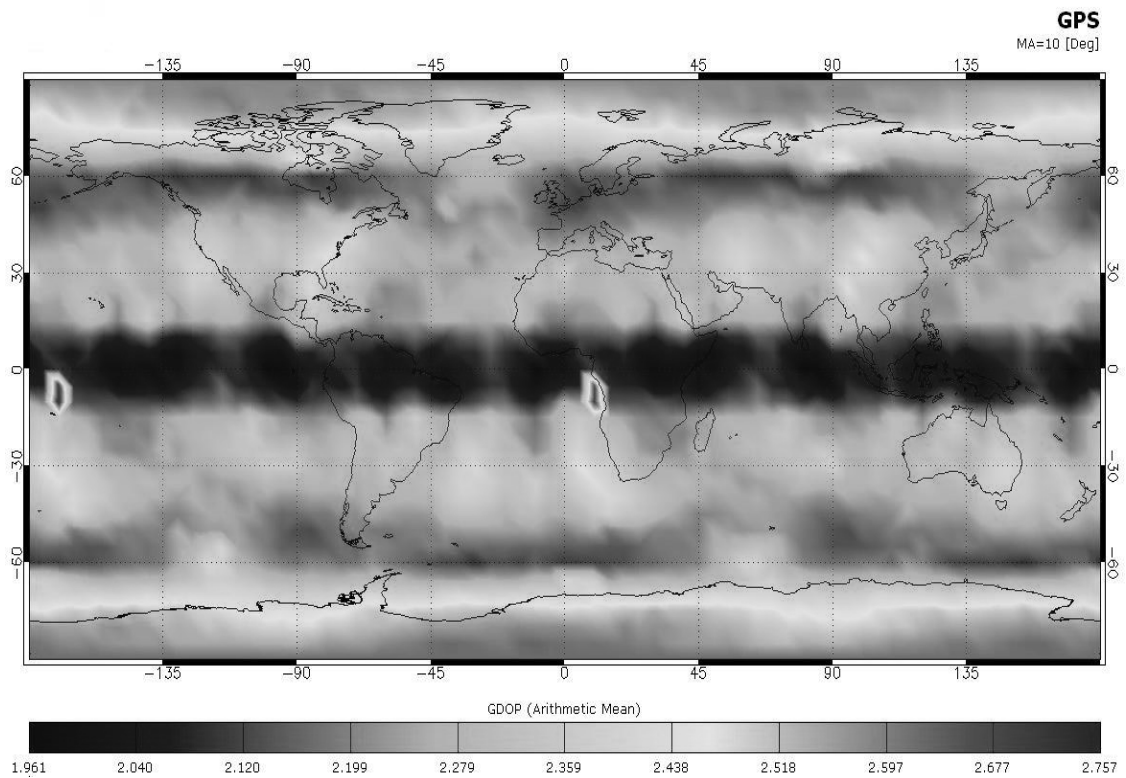


圖 2.20 GPS 之全球 GDOP 分布

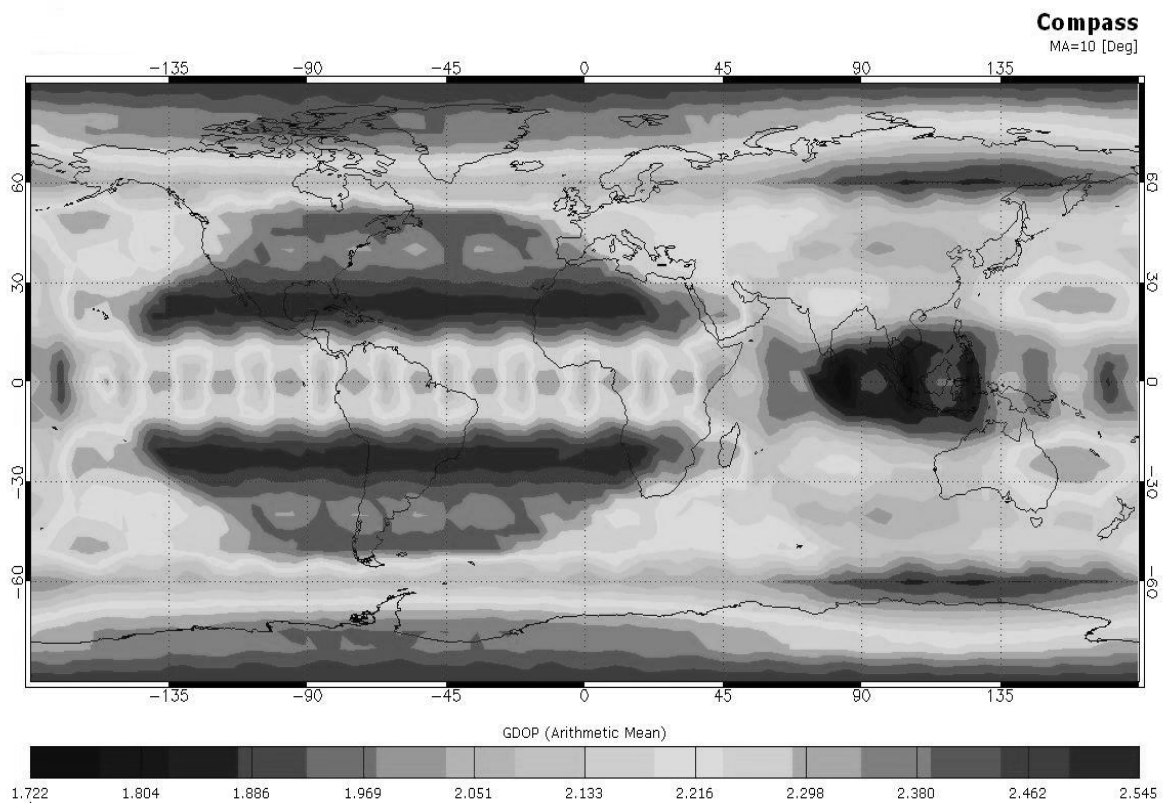


圖 2.21 Compass 之全球 GDOP 分布

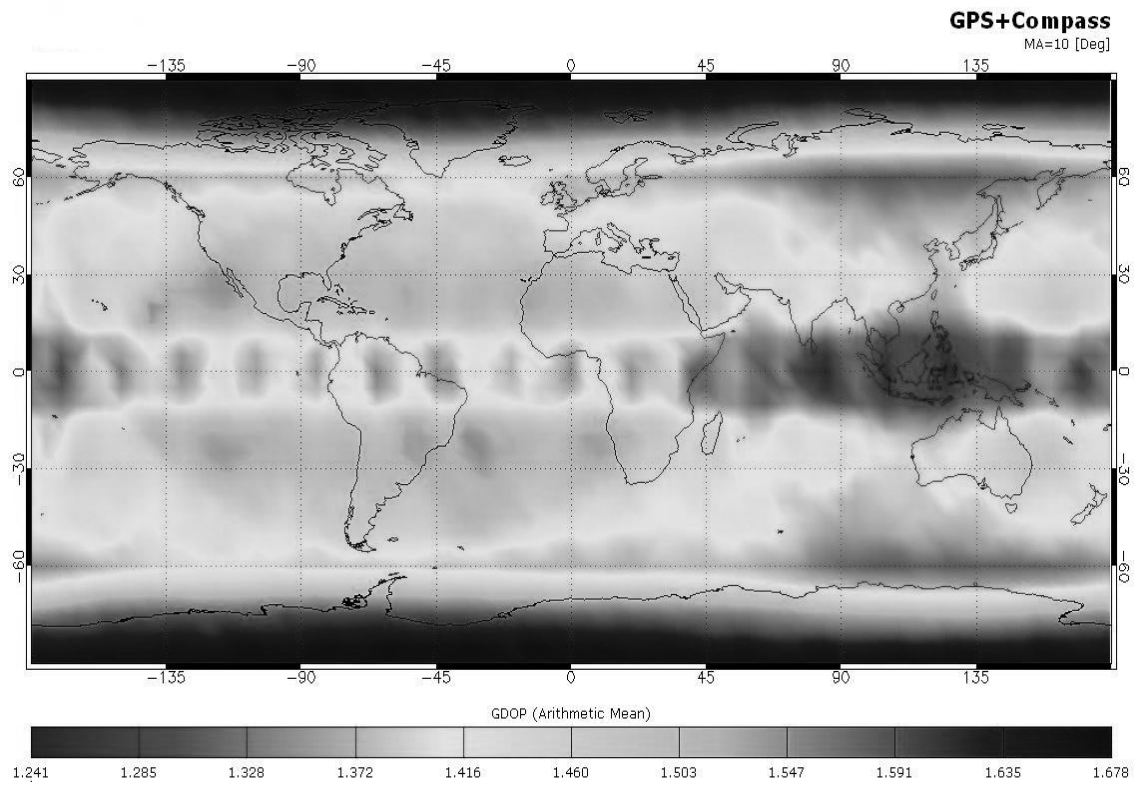


圖 2.22 GPS+Compass 之全球 GDOP 分布

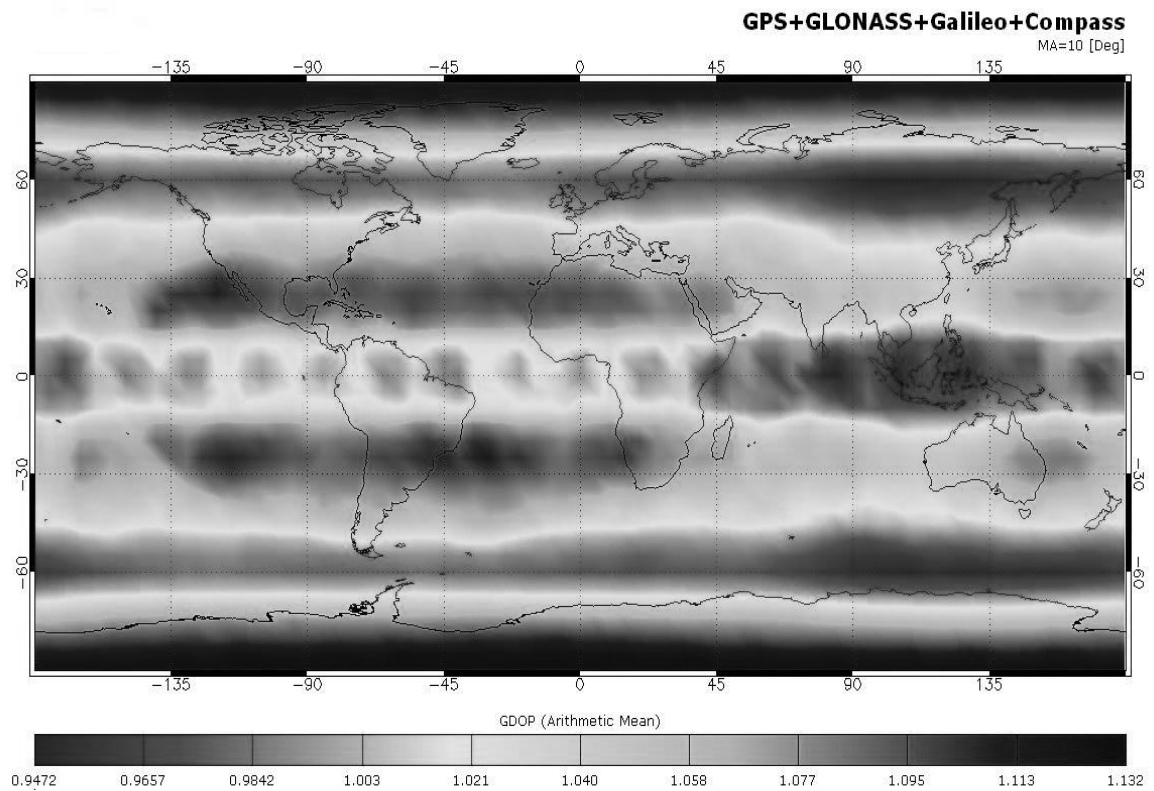


圖 2.23 GPS+Galileo+GLONASS+Compass 之全球 GDOP 分布

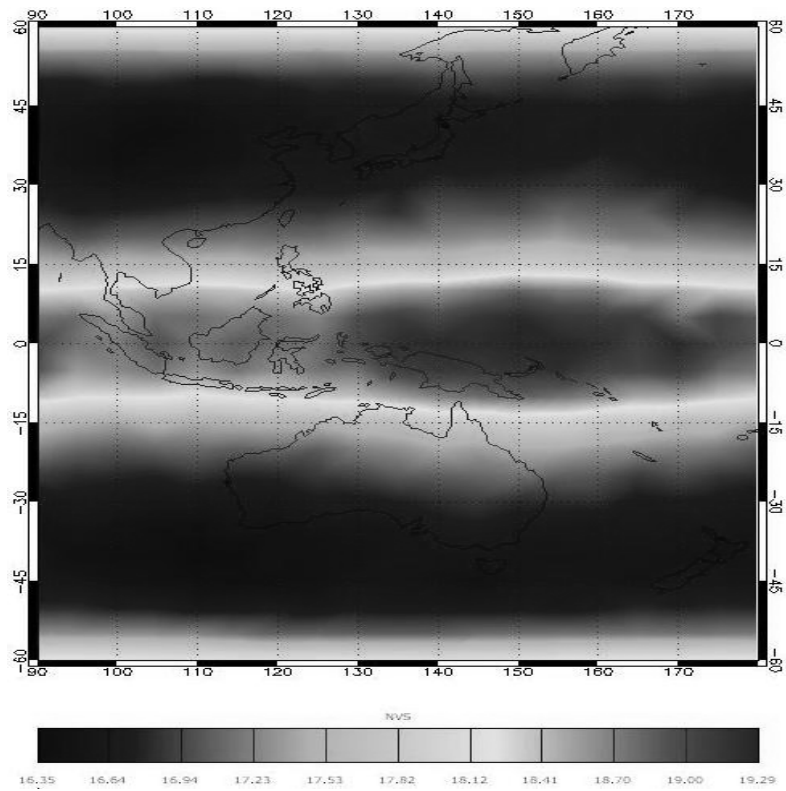


圖 2.24 GPS+Galileo 亞洲地區可視衛星分布

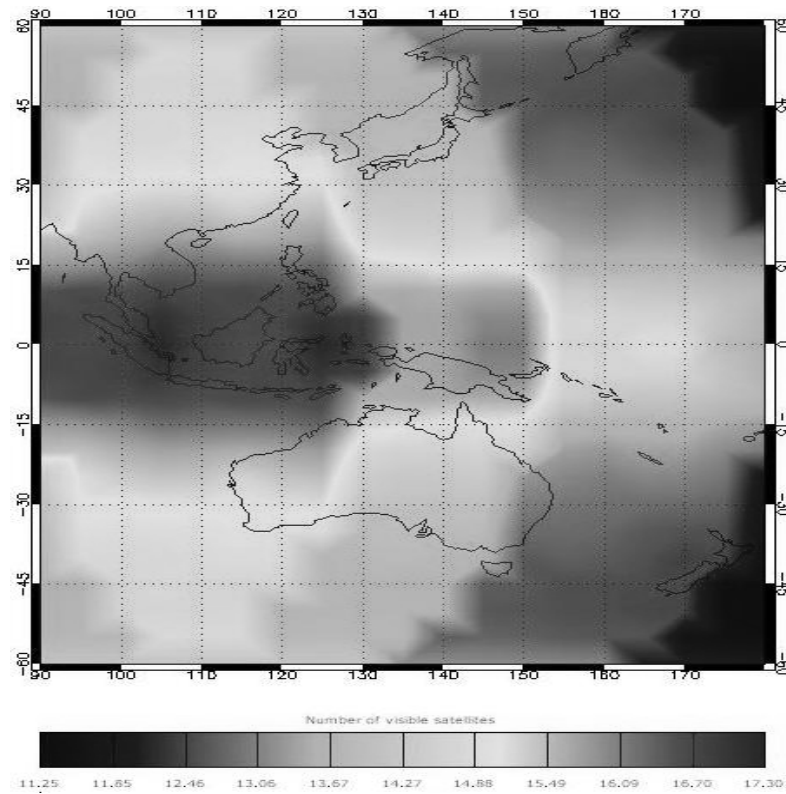


圖 2.25 Compass 亞洲地區可視衛星分布

§ 2.6 WAAS

WAAS 為由美國航空管理委員會 (FAA)所發展。主要目的為藉由使用同步衛星 (Geostationary satellites, GEO) 對所有的 GPS 使用者傳播顯示衛星健康狀況之衛星完好度(Integrity)資訊、藉由使用一系列地面參考站的所提供之廣域差分 GPS 之改正量並額外提供與 GPS 相同使用 L1 頻率之測距電碼 (C/A code)以提供即時的飛行器定位精度及可靠度。

現行的 GPS 接收儀只需稍事修改即可接收 WAAS 訊號。足夠數量的同步衛星即可提供足夠的輔助訊息以維持導航精度及可靠度的需求。圖 2.26 及圖 2.27 分別顯示 WAAS 之系統架構及覆蓋範圍。圖 2.27 中所示為目前 WAAS 所使用二顆靜止衛星 (GEO) 之覆蓋範圍，虛線及實線分別顯示 5 度及 7 度仰角時此二顆衛星於美洲地區之覆蓋範圍。圖 2.28 所示為 WAAS 垂直導航服務範圍已擴展至加拿大與墨西哥。

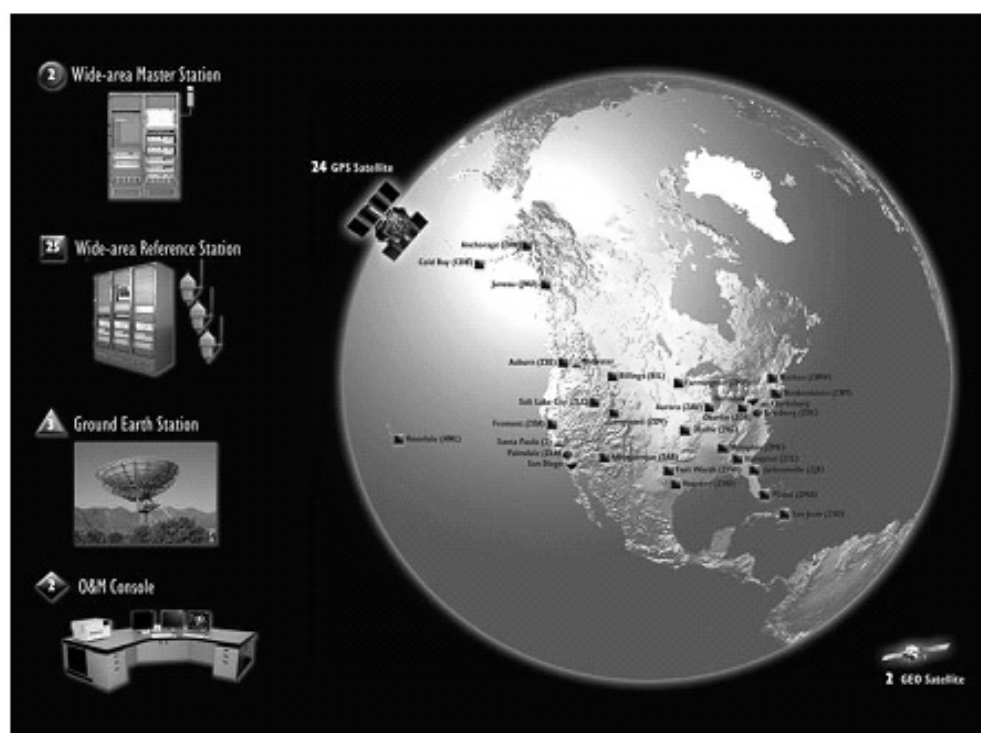


圖 2.26 WAAS 之系統架構圖 (摘自 FAA 網站)

WAAS GEO 衛星高度分佈
實線=5度 虛線=75度

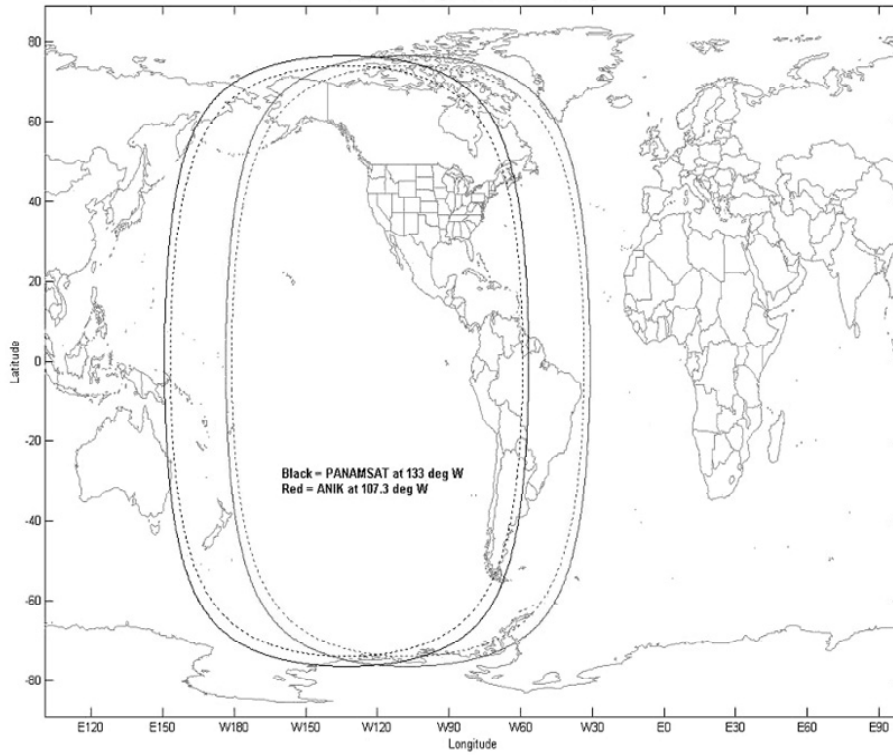


圖 2.27 WAAS 靜止衛星之覆蓋範圍 (摘自 FAA 網站)

目前WAAS 之服務範圍

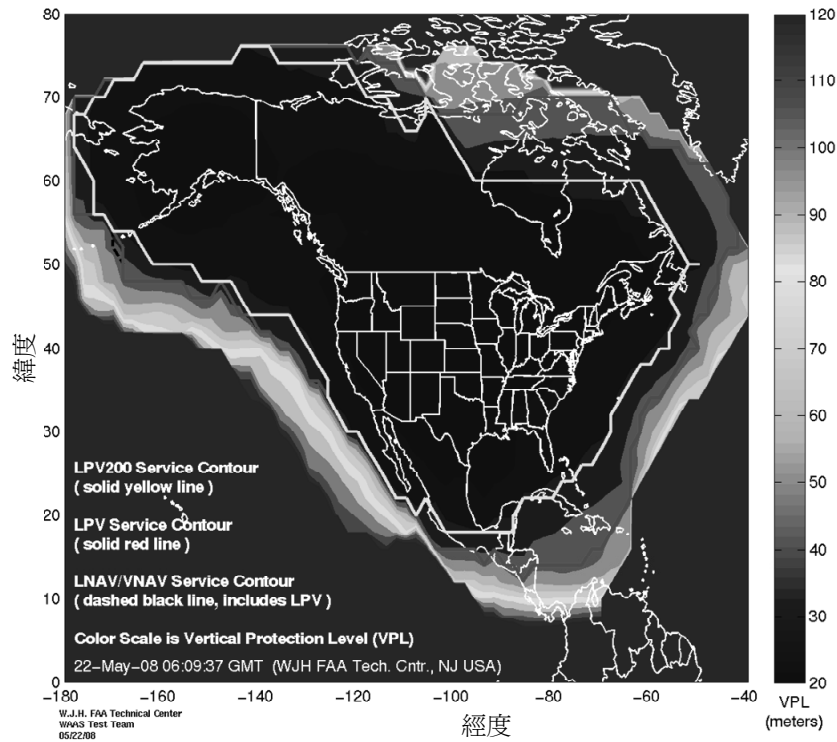


圖 2.28 WAAS 垂直導航服務之分布 (摘自 FAA 網站)

§ 2.7 EGNOS

EGNOS 是由歐洲嘗試發展衛星導航技術的試金石故其代號為 (GNSS-1)，而目前發展中的 Galileo 稱為 (GNSS-2)。其主要的目的在於整合現有軍用的 GPS 及 GLONASS 以類似 WAAS 之架構提供更安全的導航環境。EGNOS 由 3 個同步衛星及一系列的地面觀測網路所組成，其功能與 WAAS 相似。未來 EGNOS 會與緊密的 Galileo 系統結合在一起以提供一個完全由歐洲主導發展的 GNSS。圖 2.29 顯示為 EGNOS 發展之概念 (a)、系統架構 (b) 與三顆同步衛星之覆蓋區域(c)。圖 1.30 所顯示為 ESA 未來擬建構包含 GPS III、Galileo、GLONASS 及 SBAS 之區域多系統的第三代 EGNOS(Hein, 2000)。

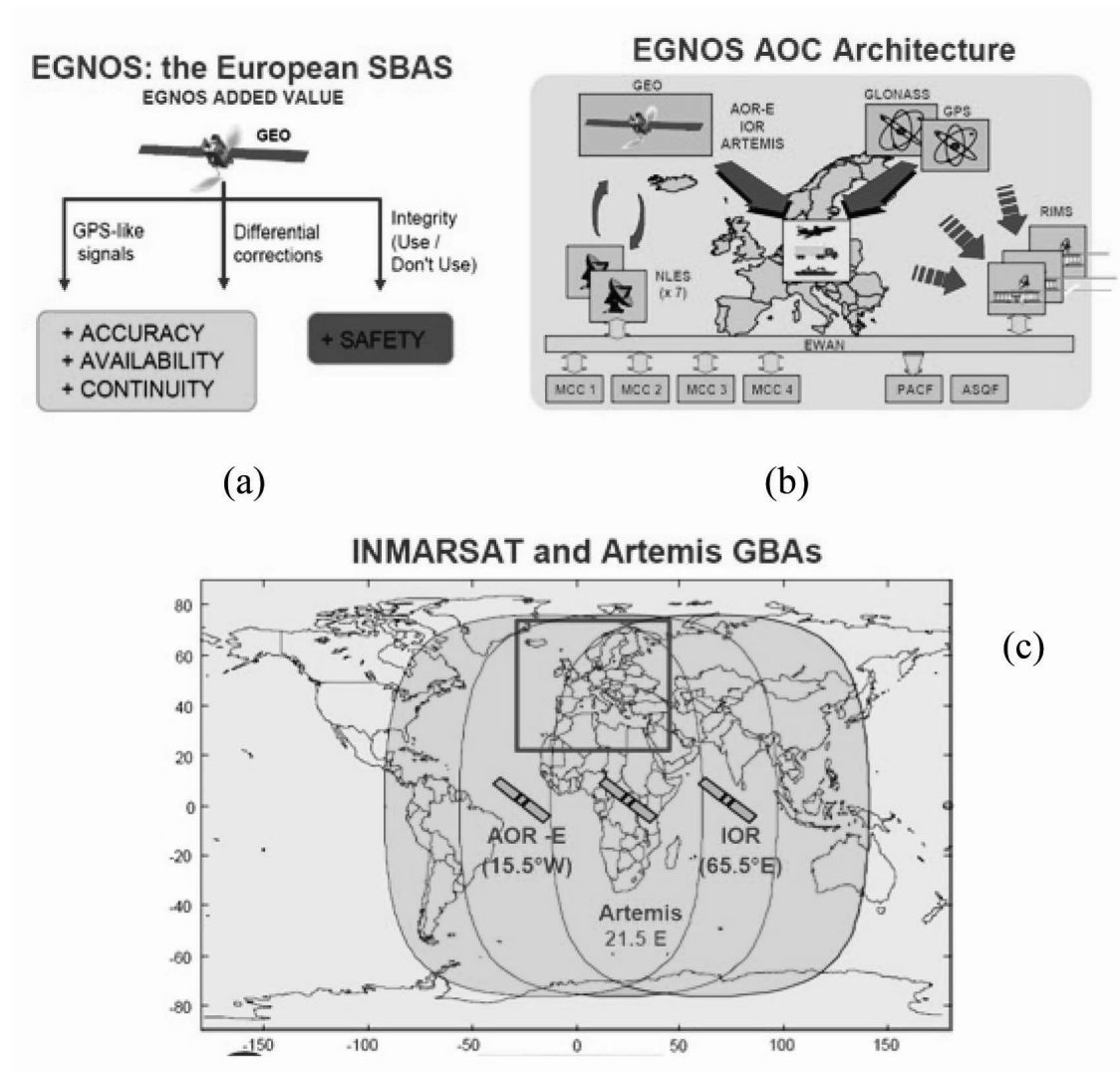


圖 2.29 EGNOS 之系統架構與覆蓋 (摘自 ESA 網站)

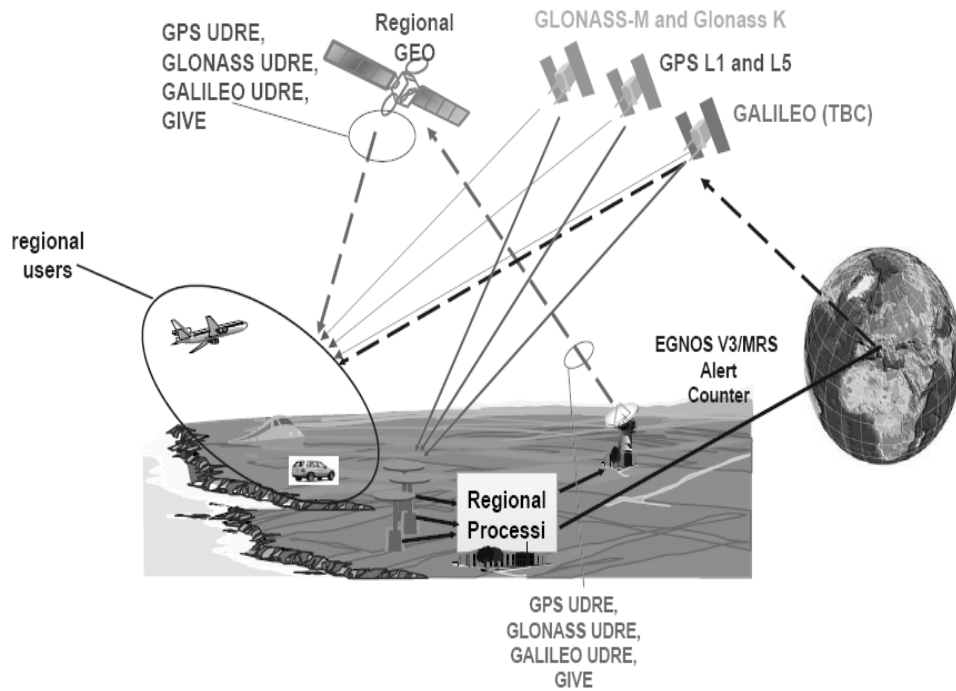


圖 2.30 EGNOS V3 (摘自 ESA 網站)

§ 2.8 MASA/QZSS

為了克服在都市地區 GPS 訊號遮蔽之效應並提高導航系統精度及可靠度，日本政府花了近六年的時間研究類似 WAAS 的區域輔助系統，該系統為 Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS) 之一部分。

該系統將支援行動通訊與 GPS 輔助導航功能。其中最主要的設計為 QZSS，準天頂衛星系統。其星群預計包含三顆衛星而其特殊的 8 字型軌道設計保證任何時刻會有至少一顆衛星在使用者的天頂，如圖 2.31 所示。而 QZSS 之系統架構如圖 2.32 所示。QZSS 之衛星與 WASS 衛星相似具備廣播差分 GPS 改正量與調制於 L1 之測距電碼。整個 MSAS 計畫預計分為二個階段：第一階段即為前述的 QZSS 建設階段，而第二階段則將在 QZSS 的基礎上多設置一顆同步衛星，以增大該系統在亞洲地區之覆蓋範圍。

QZSS星群與軌道

- QZSS星群保證至少三顆衛星中的一顆衛星出現在日本的天頂
- 這三顆衛星使用高傾角的橢圓軌道，其地跡相同

($a=42,164\text{km}$, $e=0.099$, $i=45\text{deg}$, $\Omega = 120\text{deg}$ apart)

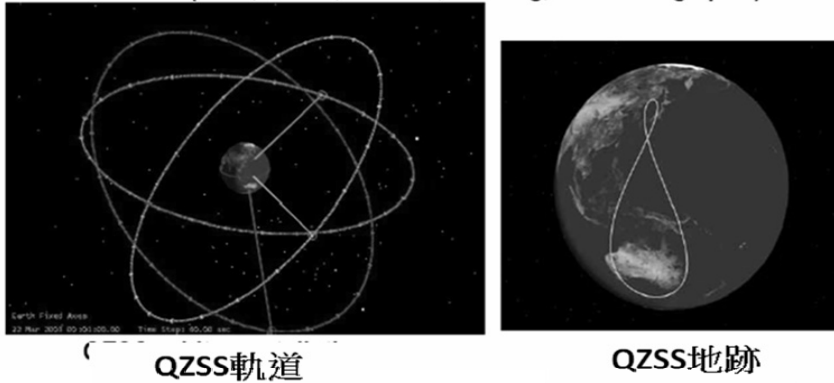


圖 2.31 QZSS 之軌道設計(摘自 JAXA 網站)

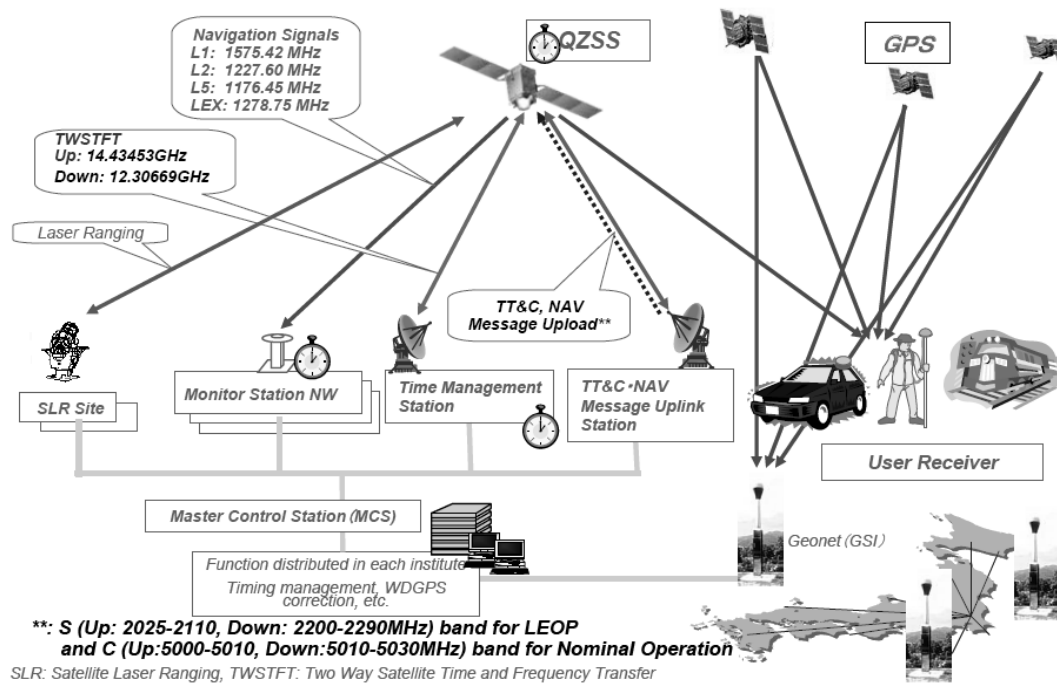


圖 2.32 QZSS 之系統架構(摘自 JAXA 網站)

圖 2.33 顯示為至少有一顆可視 QZSS 衛星之機率，圖中顯示在亞洲地區在仰角 10 度的狀況下保證任一時刻至少有一顆可視的 QZSS 衛星。

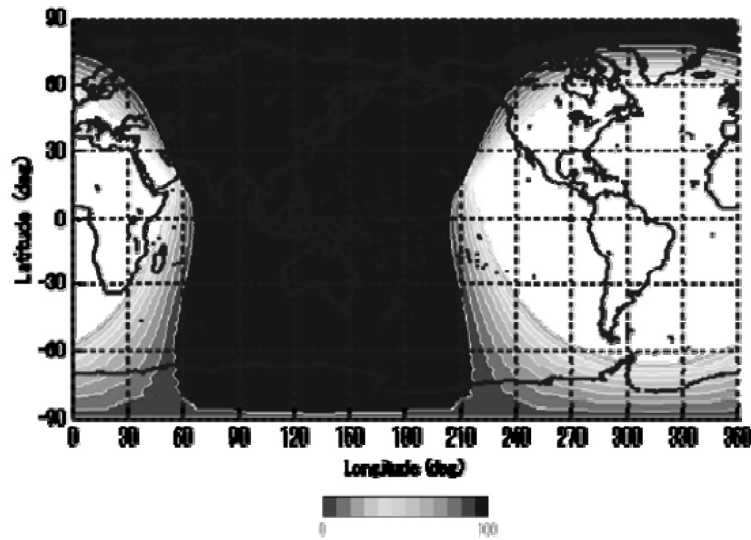


圖 2.33 QZSS 的衛星可視度 (摘自 JAXA 網站)(10 度仰角)

圖 2.34 顯示為在仰角 60 度狀況下至少有一顆可視 QZSS 衛星之機率。由本圖可知，台灣北部可受益於 QZSS 衛星之機率略高於南部。圖 2.35 顯示則為 QZSS 衛星在亞洲地區不同城市之透空圖。

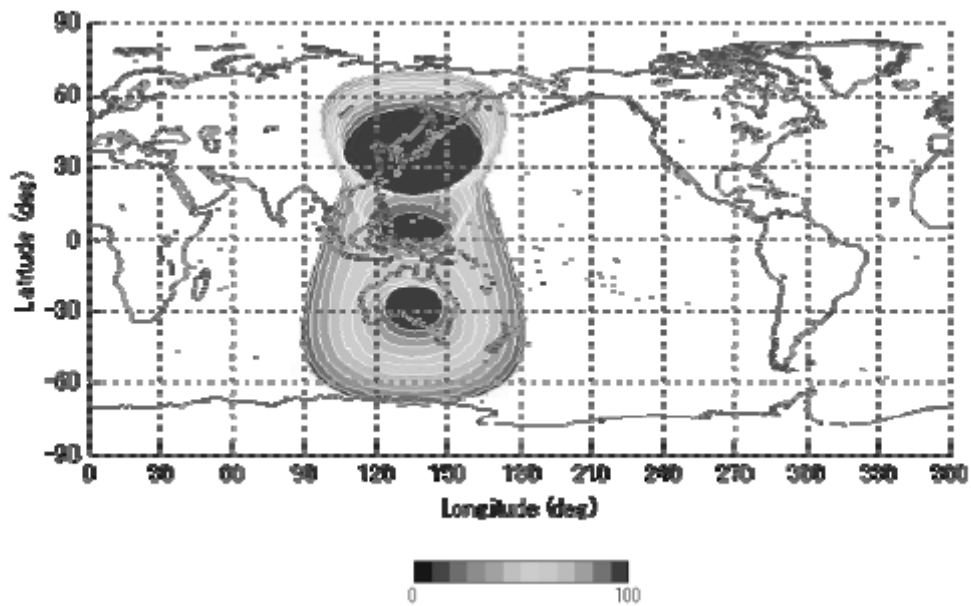


圖 2.34 QZSS 的衛星可視度 (摘自 JAXA 網站)(60 度仰角)

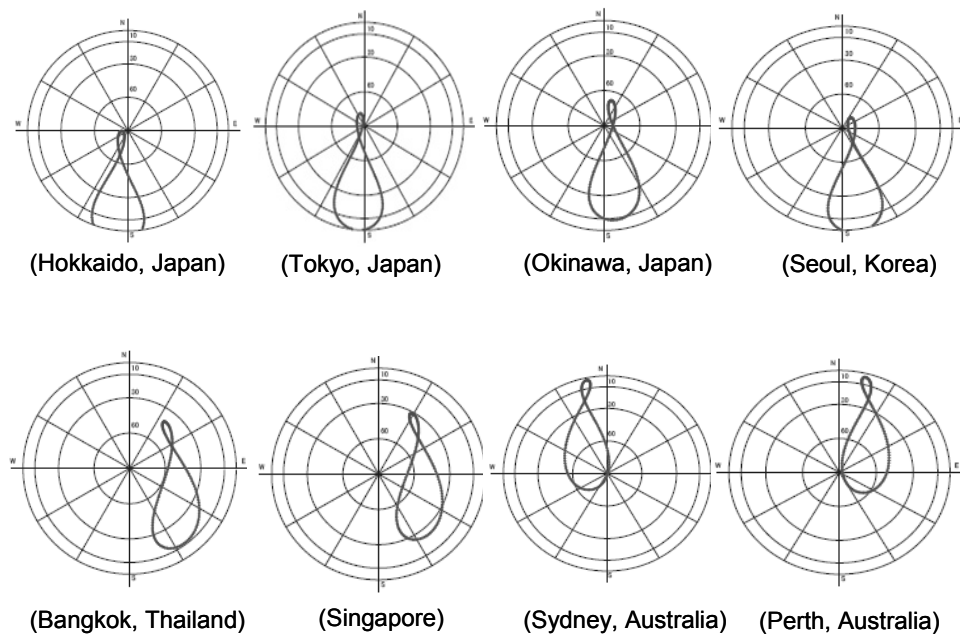


圖 2.35 QZSS 於亞洲地區不同城市之透空圖 (摘自 JAXA 網站)

目前日本亦開始評估將 QZSS 從增強系統擴充為區域導航系統之可行性。目前的規劃擬將計畫中的 3 顆 QZSS 衛星搭配若干的傾斜軌道之地球同步衛星 (GSO 或 Geosynchronous Eccentric and Inclined Orbits, GEIO) 構成由 6 顆至 8 顆衛星所組成之星群。圖 2.36 所示以 8 顆衛星為主的區域系統於亞洲主要城市的 PDOP 值分布。

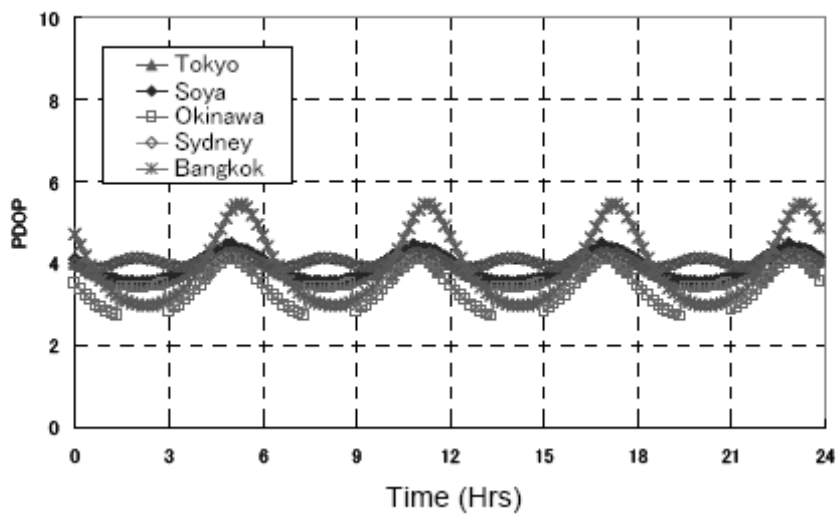


圖 2.36 計畫中的日本區域導航衛星系統之效能 (摘自 JAXA 網站)

圖 2.37 所示為 GPS、GPS+Galileo、GPS+QZSS 與 GPS+Galileo+QZSS 在東京銀座地區之系統可得度分析。當然，GPS+Galileo+QZSS 可提供最顯著的效能提升

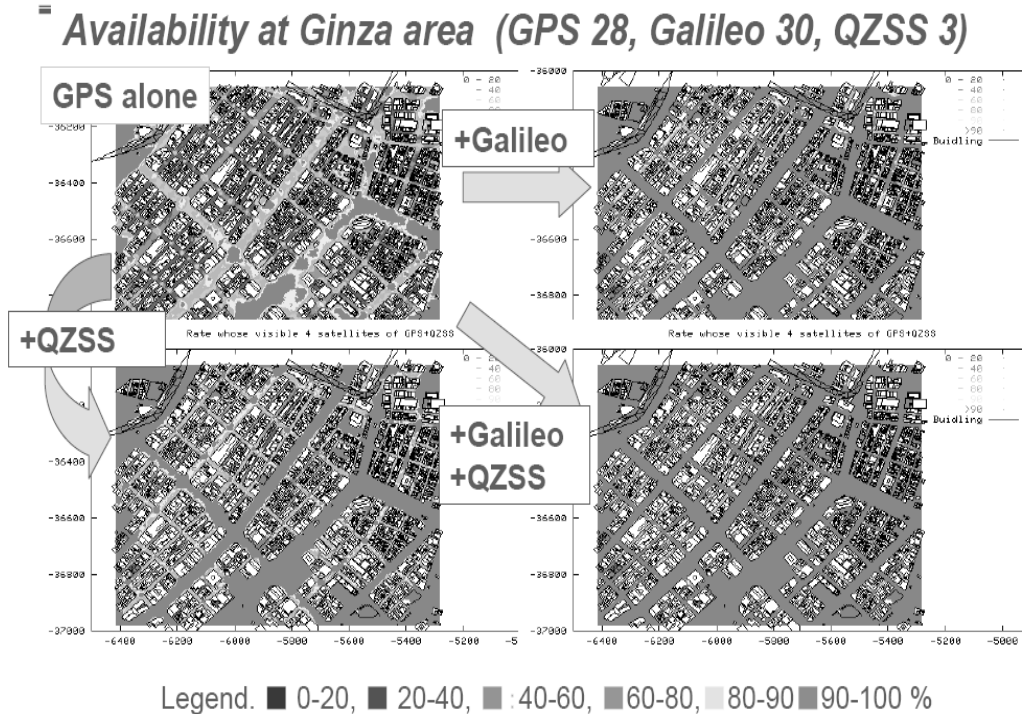


圖 2.37 東京銀座地區之導航衛星可得度分析 (摘自 JAXA 網站)

§ 2.9 GAGAN

GAGAN 為由印度政府所開發與 GPS 緊密結合在一起的衛星導航輔助系統。其架構使用類似 WAAS 之概念以同步衛星提供區域性的導航輔助資訊。該系統預計將於 2007 年中發射具備 C 頻通訊及 L 頻測距功能的同步衛星。目前相關的地面觀測站、衛星設計及相關主控站之建置正進入緊鑼密鼓的系統整合階段。除此之外，印度政府已正式公告該國未來將投入大量之資源將上述之星基衛星導航輔助系統 (GAGAN) 擴充為具備區域自主導航能力的區域導航衛星系統 (Indian Regional Navigation Satellite System, IRNSS)。

目前該系統預計由 3 顆分別位於東經 34 度、83 度及 132 度之靜止衛星及 4 顆軌道傾角為 29 度並橫越東經 55 度及 11 度之同步衛星所組成 (Singh and Saraswati, 2006)，圖 2.38 所示為其系統架構。本系統預計於 2009 年中發射第一顆衛星；而整個系統將於 2011 年完成建置。圖 2.39 所示為 IRNSS 之星群。

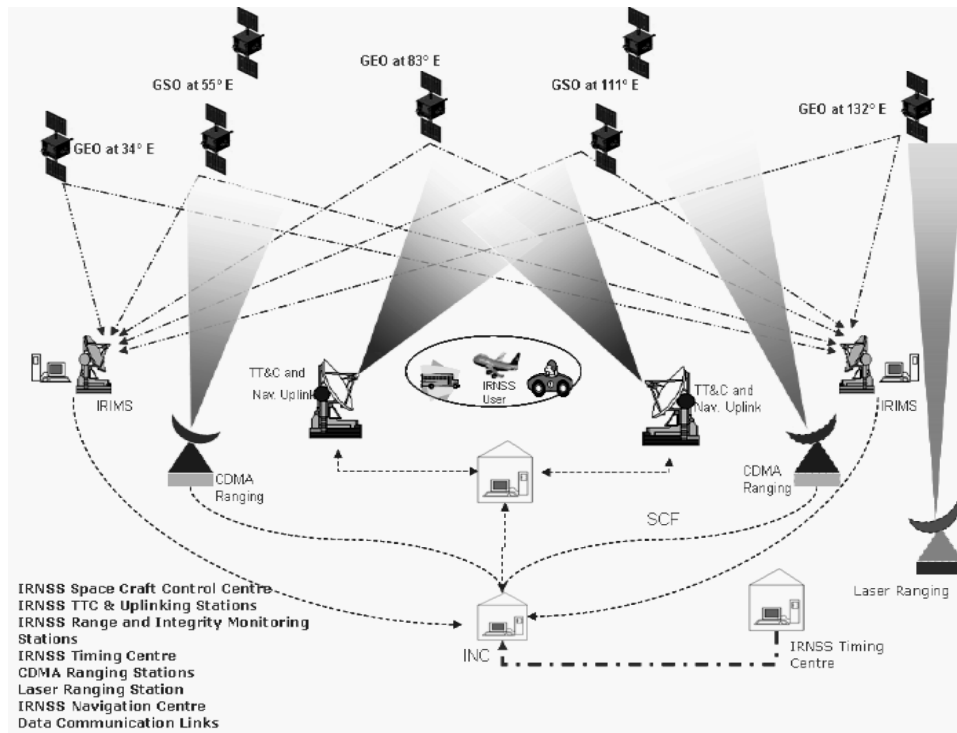


圖 2.38 IRNSS 之系統架構(Singh and Saraswati, 2006)

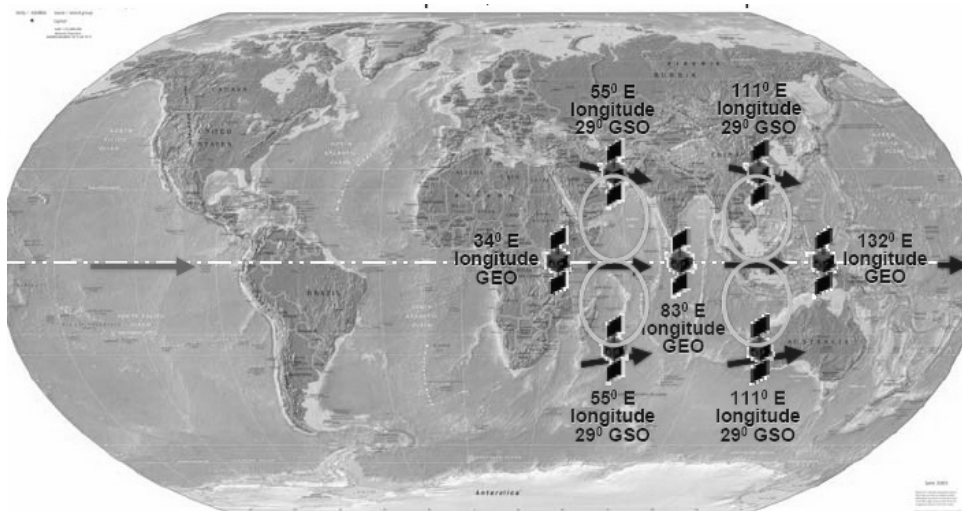


圖 2.39 IRNSS 之星群(Singh and Saraswati, 2006)

目前除了 Galileo 之發展速度受歐盟各國政治因素之干擾而稍有延宕之外，其餘 GPS 現代化、GLONASS 現代化及中國 Compass 系統之發展皆尚屬順利。其中中國的 Compass 系統在最近幾年內有可能在 Galileo 之前部署完並完成運轉，這點值得我們注意。

發展全球尺度的 GNSS 所費不貲，但基於政治或軍事的原因我們必須發展自主的導航衛星科技。故近年來有些國家開始思考發展區域尺度的導航系統，其中最具體的代表為印度的 IRNSS。如前所述，該系統預計使用三顆靜止衛星 (GEO) 及四顆傾斜軌道之地球同步衛星 (GSO 或 GEIO)。若不考量發射衛星的技術，透過上述的組合的確可以滿足區域導航衛星之需求且整個系統發展成本也較為低廉。表 2.5 所示為 GSO 或 GEIO 衛星之相關參數。

表 2.5 GSO 或 GEIO 衛星之相關參數。

軌道參數	數值
長軸(Semimajor Axis)	42165 公里
離心率(Eccentricity)	0 – 0.846
軌道傾角(Inclination)	-90 – 90 度
近地點變異(Argument of perigee)	0 – 360 度

圖 2.40 所示為二顆靜止衛星加上四顆 GSO 衛星之地跡 (Ground track)。而圖 2.41 所示為其衛星數量分布 (Merino *et al.*, 2007)。以歐洲為例，在絕大部分的歐洲地區皆有至少五顆可視衛星之分布。故利用此種組合即可發展較為廉價的區域導航衛星系統，此一發展模式值得台灣思考 (Huang *et al.*, 2007)。

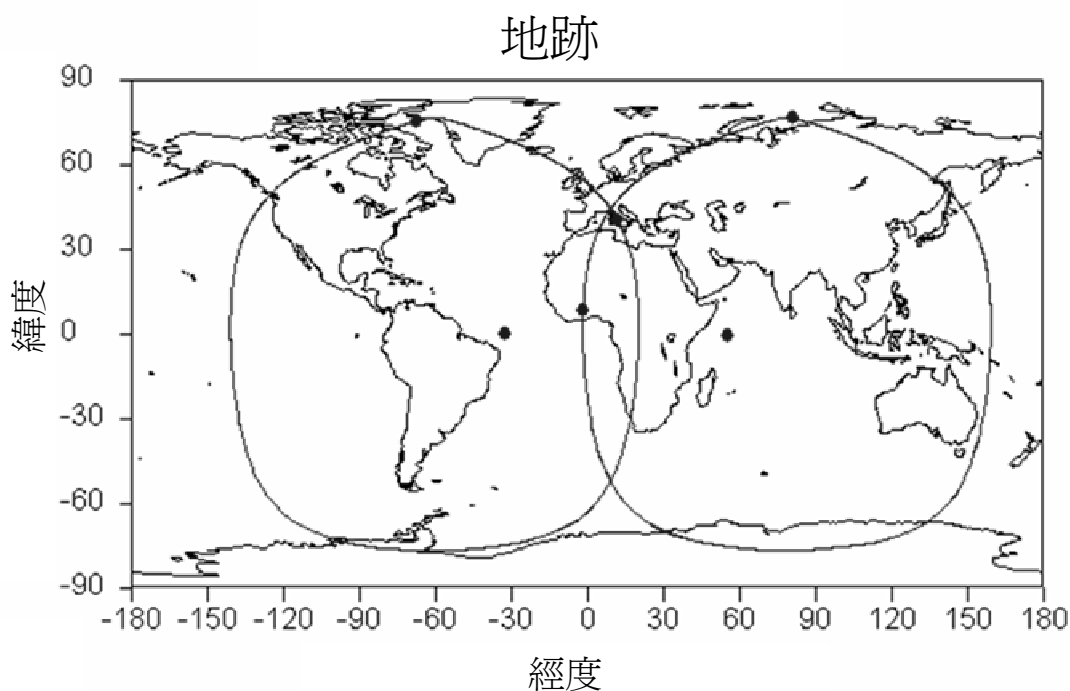


圖 2.40 2GEOs+4GSOs 之地跡 (Merino *et al.*, 2007)

衛星數量

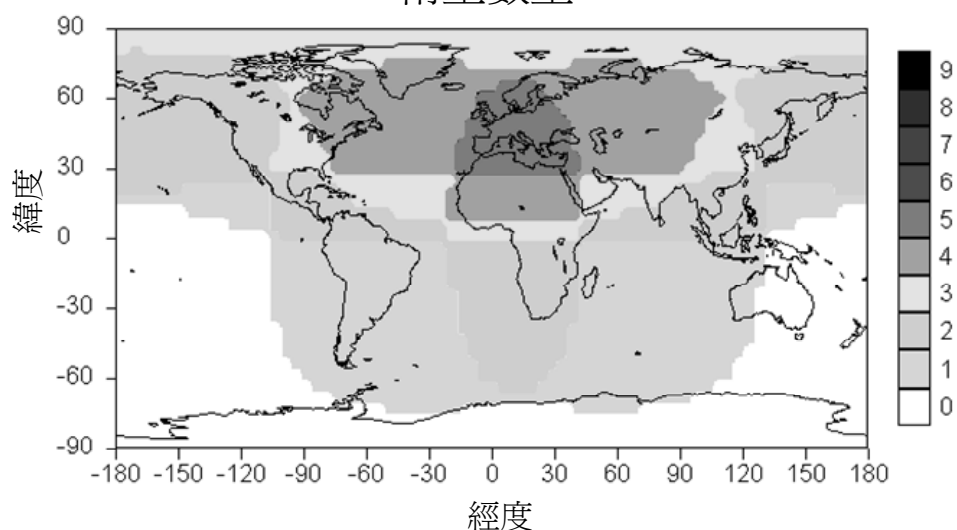


圖 2.41 2GEOs+4GSOs 之衛星數量分布 (Merino *et al.*, 2007)

圖 2.42 所示為根據本系自行研發的衛星星群設計工具箱使用二顆靜止衛星 (GEO)，四顆傾角與離心率同時不為零之同步衛星 (GEIO)，與三顆傾角不為零之傾斜軌道之地球同步衛星 (IGSO) 為台灣地區所設計之區域導航衛星系統範例。圖 2.43 所示為利用本系自行研發的衛星星群設計工具所繪出 IRNSS 與 QZSS 之星下點軌跡。本工具箱可提供使用者依不同軌道特性所設計之星群，同時使用者透過相關的克卜勒元素設定進行星下點之評估、衛星軌跡、星群之動態模擬、DOP 值之評估、可視衛星數量評估與系統覆蓋評估等功能。

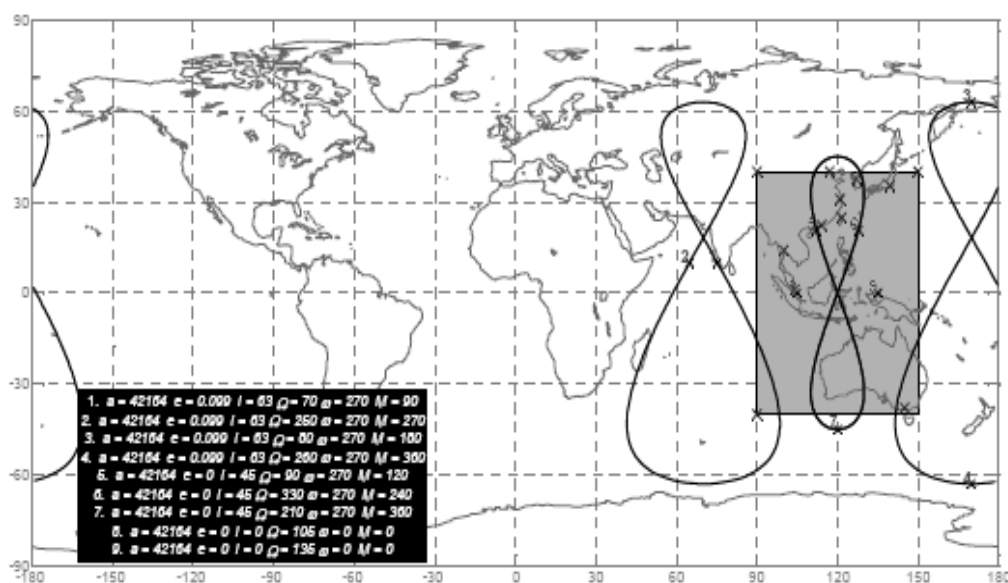


圖 2.42 台灣地區所設計之區域導航衛星系統之範例

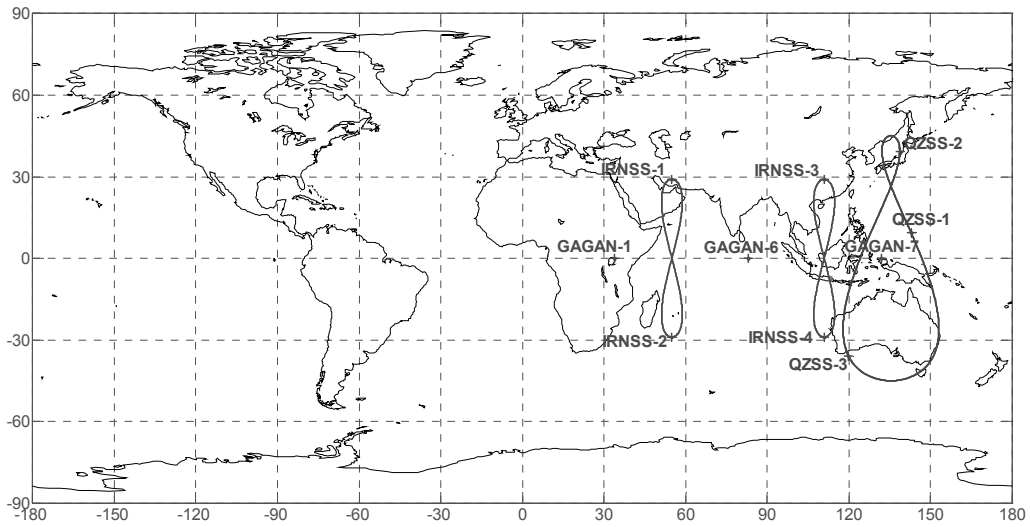


圖 2.43 IRNSS 與 QZSS 之星下點軌跡

圖 2.44 所示為 GPS 之 PDOP 於亞洲地區在可視仰角為 10 到 40 度的情況下之結果，並可從 120 度經線剖面圖得，在可視仰角為 10 度時其值皆在兩極及赤道附近較佳，而在中緯度地區較差，但隨著可視仰角升高到 40 度此現象顛倒。圖 2.45 為區域導航衛星系統之 PDOP 在可視仰角為 10 度、20 度及 30 度之情況下的結果。從 120 度經線剖面圖得，在可視仰角為 10 度時其值皆在赤道附近較佳。以可視仰角 30 度為例，區域導航衛星系統較 GPS 於台灣地區更能提供穩定的 PDOP 之分布。

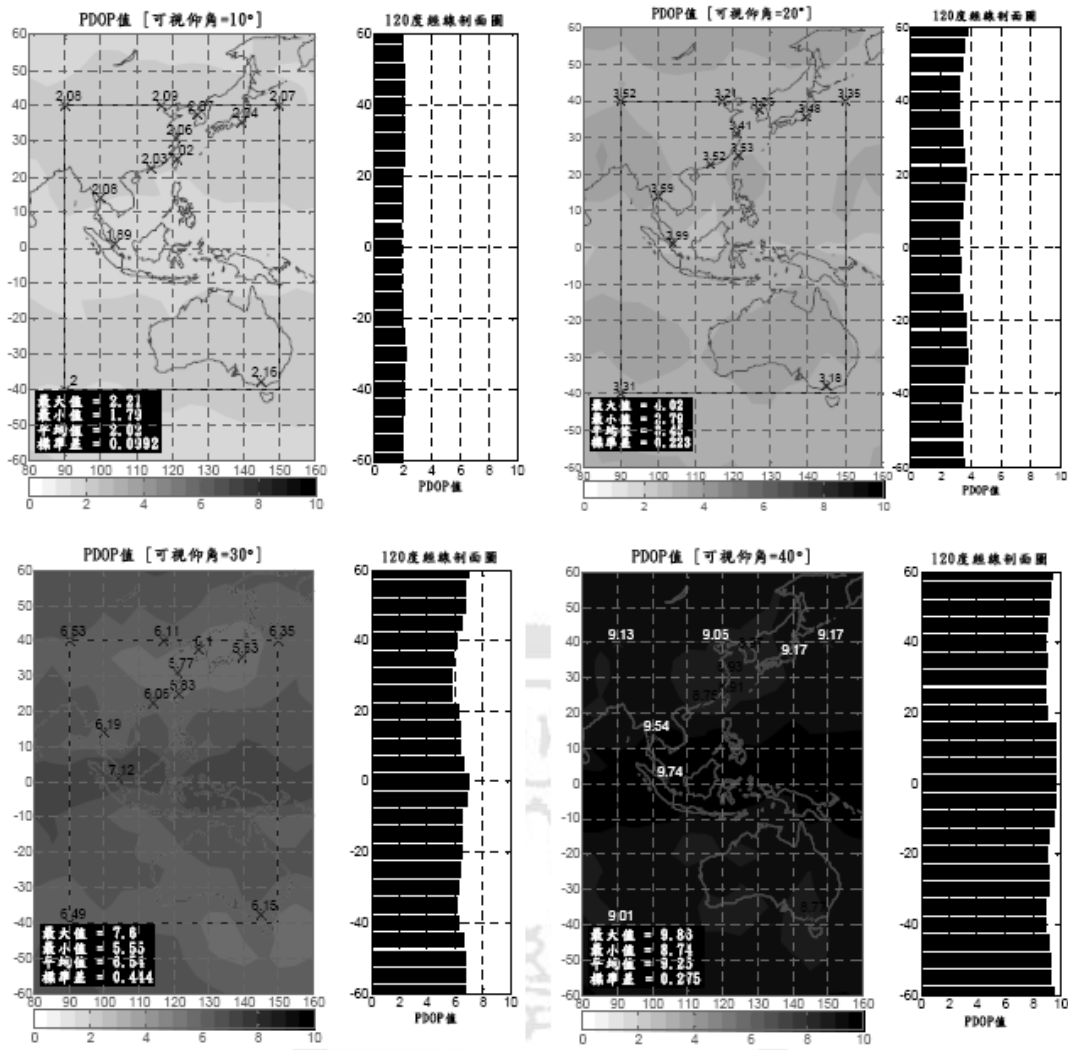


圖 2.44 GPS - PDOP 值[可視仰角 10-40 度]

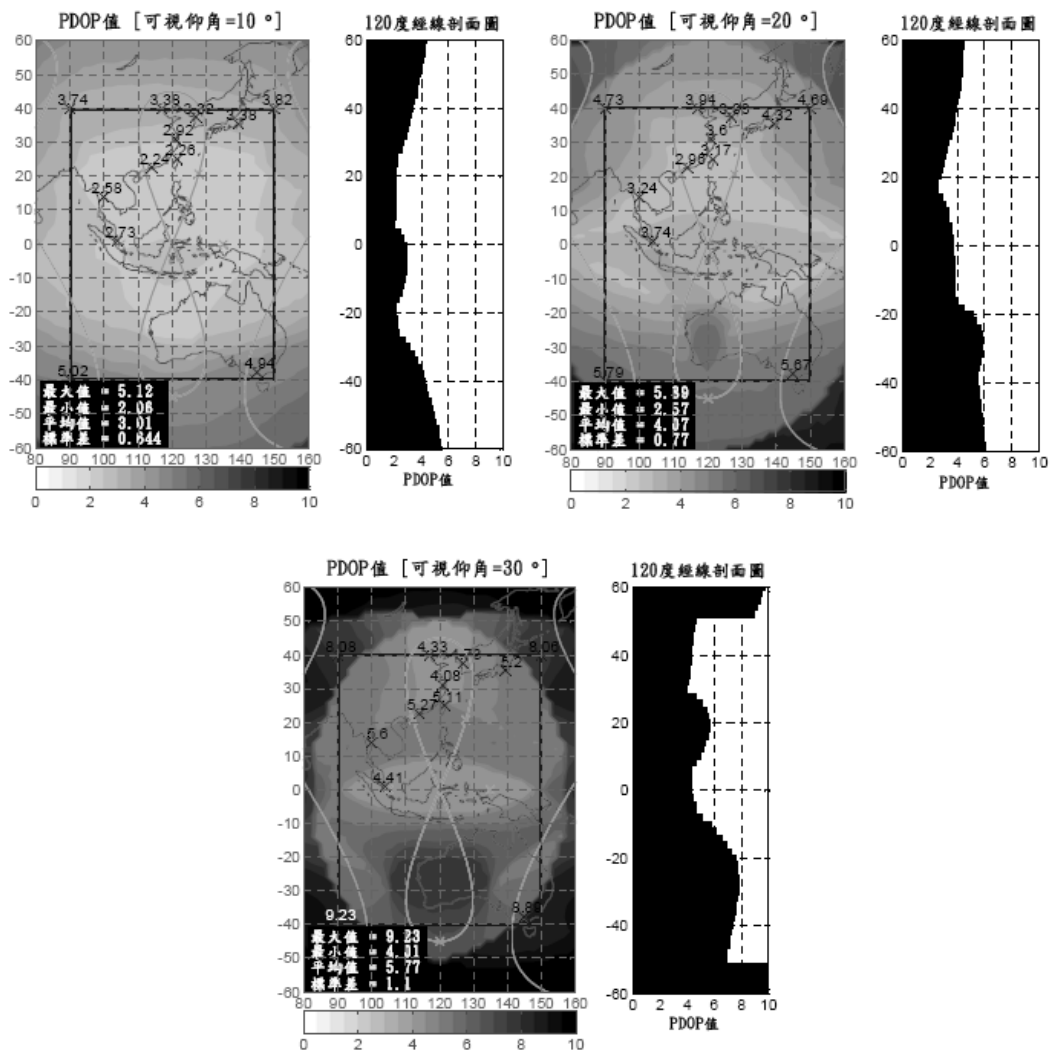


圖 2.45 台灣區域導航衛星系統 - PDOP 值[可視仰角 10-30 度]

第三章 GNSS 相對定位基本原理

GNSS 衛星訊號來定位之方式分為單點定位以及相對定位兩種。單點定位是利用單一測站之觀測量處理而得到該點相對於地心之坐標，由於受到各種系統誤差之影響，因此無法滿足精密大地測量的要求。相對定位(基線測量)則是由兩部接收儀同時接收衛星訊號，因此可藉由差分處理來消滅系統誤差之影響。但是隨著基線長度之增加系統誤差之影響會越明顯。

§ 3.1 系統參數整合問題

GPS 所使用的坐標系統為 WGS84，其為 ITRF 的具體實現之一。為了獨立運作的理由，Galileo 採行與 WGS-84 不同的 ITRF 具體實現；稱為 Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)(Hein *et al.*, 2002)。預計 GTRF 與 WGS-84 之間的差別將會被約制在 2 公分左右，遠小於廣播星曆的誤差量，也小於精密精曆的誤差，因此這系統性的微小差異對絕大多數的使用者而言是可以忽略的。未來這二個坐標系統間的轉換參數也會由一 Galileo 外部的專責的大地參考服務機構提供。

現今在雙系統合併使用的情況下必須多加考慮兩者的系統時間偏差(GPS-Galileo Time Offset, GGTO)，目前對 GGTO 的估計值為數十奈秒(nanoseconds)的量級(Bossche *et al.*, 2004)。針對於此，吾人必須在 GPS 與 Galileo 之觀測方程式中加以考慮。

§ 3.1.1 GPS 與 Galileo 觀測量之差異

由於必須考慮雙系統下 GGTO 的影響，今假設一參數 τ 代表此項之誤差，並將此項誤差包含在 Galileo 觀測方程式內。可列寫出 GPS 以及 Galileo 載波相位及虛擬電碼觀測方程式如下(Leick, 1995；楊名、江凱偉，2008)：

GPS =>

$$\Phi = \lambda\varphi = \rho - \frac{I}{f^2} + T + \lambda N + c(dt_i - dt) + \varepsilon_{\Phi} \quad (3.1)$$

$$P = \rho + \frac{I}{f^2} + T + c(dt_i - dt) + \varepsilon_p \quad (3.2)$$

Galileo =>

$$\Phi = \lambda\varphi = \rho - \frac{I}{f^2} + T + \lambda \cdot N + c[dt_i - (dt + \tau)] + \varepsilon_\Phi \quad (3.3)$$

$$P = \rho + \frac{I}{f^2} + T + c[dt_i - (dt + \tau)] + \varepsilon_p \quad (3.4)$$

其中

τ : GGTO

P : 電碼觀測量 (虛擬距離)

φ : 載波相位觀測量

ρ : 衛星與接收儀之幾何距離

I/f^2 、 T : 電離層延遲與對流層延遲

f : 載波頻率

N : 整數週波未定值

λ : 載波波長

c : 光速

dt_i 、 dt : 分別為接收儀與衛星的時鐘誤差

ε_Φ : 載波觀測量的雜訊。

ε_p : 電碼觀測量的雜訊。

§ 3.1.2 單點定位

■ 單一系統單點定位

同時觀測四顆衛星以上，並由各顆衛星的星曆計算出各顆衛星所在之空間位置，就可利用虛擬距離解算出接收儀所在之量測位置(圖 3.1)。

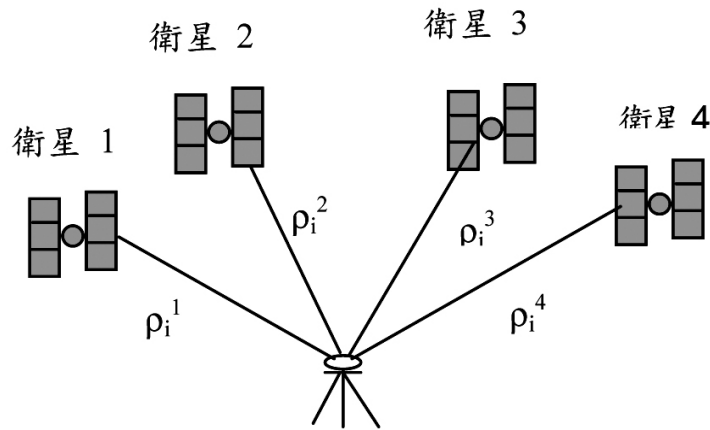


圖 3.1 衛星單點定位示意圖

由於衛星時鐘誤差可由廣播星曆得知，因此公式(3.2)虛擬距離的觀測量中不需考慮 dt^k 項，(3.2)式中 ρ 的幾何距離可表示如下：

$$\rho = \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2} \quad (3.5)$$

其中 (X^s, Y^s, Z^s) 衛星發射訊號時坐標

(X_r, Y_r, Z_r) 接收儀接收訊號時坐標

因此結合(3.2)及(3.5)且不考慮大氣影響的情況下，單點定位觀測方程式便可表示如下 4 參數之觀測方程式(Seeber, 1993 ; Leick, 1995)：

$$P = \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2} + cdt_i + \varepsilon_p \quad (3.6)$$

4 參數分別表示了接收儀坐標 (X_r, Y_r, Z_r) 以及接收儀時鐘誤差 dt_i ，因此在進行最小二乘解算單點定位時至少需要 4 顆衛星。

■ 雙系統單點定位

由公式(3.6)我們可以得知若進行單點定位最少必須要 4 顆以上的衛星觀測量才可以成功求解出未知 4 參數。但若是在進行雙系統單點定位時根據(3.3)可以得知必須多考慮一個雙系統間的時間偏差量 GGTO，因此必須將此一誤差項利用一附加參數來 τ 吸收，於是改寫公式(3.6)為：

$$P = \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2} + cdt + c\tau \quad (3.7)$$

其中 τ 僅對於 Galileo 觀測量有效應。

§3.1.3 雙系統相對定位

■ 空中一次差 (Between satellite single-difference)

GNSS 一次差分針對雙系統合併使用之情況，在相同時刻 t 、相同觀測量頻率的情形下，接收器接受到來自不同衛星的訊號，將兩組觀測量相減即可得空中一次差(圖 3.2)。

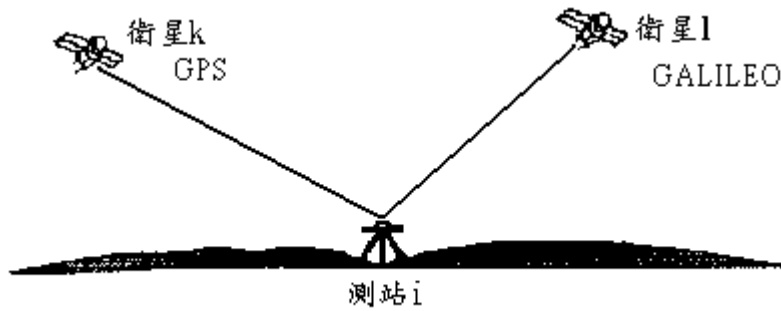


圖 3.2 雙系統空中一次差分示意圖

根據(3.2)與(3.4)可知在測站 i 時

GPS =>

$$\Phi_i^k = \rho_i^k - \frac{I_i^k}{f^2} + T_i^k + \lambda N_i^k + c(dt_i - dt_i^k) + \varepsilon_\Phi^k \quad (3.8)$$

Galileo =>

$$\Phi_i^l = \rho_i^l - \frac{I_i^l}{f^2} + T_i^l + \lambda N_i^l + c[dt_i - (dt_i^l + \tau)] + \varepsilon_\Phi^l \quad (3.9)$$

組成之空中一次差分如下

$$\Phi_i^{kl} = \rho_i^{kl} - \frac{I_i^{kl}}{f^2} + T_i^{kl} + \lambda N_i^{kl} + c[(dt_i^l + \tau) - dt_i^k] + \varepsilon_\Phi^{kl} \quad (3.10)$$

假設在另一測站 j 組成空中一次差分，可得到

$$\Phi_j^{kl} = \rho_j^{kl} - \frac{I_j^{kl}}{f^2} + T_j^{kl} + \lambda N_j^{kl} + c[(dt_j^l + \tau) - dt_j^k] + \varepsilon_\Phi^{kl} \quad (3.11)$$

可知空中一次差在合併使用雙系統下與單系統一樣可以消去接收儀時鐘誤差。

■ 地面一次差 (Between receiver single-difference)

基線兩端的接收器在相同時刻 t 同時收到來自相同衛星(GPS or Galileo)的訊號，將兩組觀測量相減即可得地面一次差(圖 3.3)。

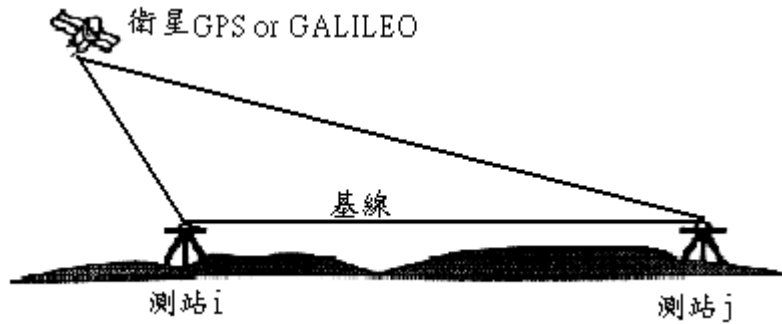


圖 3.3 雙系統地面一次差分示意圖

根據(3.2)與(3.4)可知在測站 i 與測站 j 時可得到

GPS =>

$$\Phi_i^k = \rho_i^k - \frac{I_i^k}{f^2} + T_i^k + \lambda N_i^k + c(dt_i - dt_i^k) + \varepsilon_\Phi^k \quad (3.12)$$

$$\Phi_j^k = \rho_j^k - \frac{I_j^k}{f^2} + T_j^k + \lambda N_j^k + c(dt_j - dt_j^k) + \varepsilon_\Phi^k \quad (3.13)$$

Galileo =>

$$\Phi_i^l = \rho_i^l - \frac{I_i^l}{f^2} + T_i^l + \lambda N_i^l + c[dt_i - (dt_i^l + \tau)] + \varepsilon_\Phi^l \quad (3.14)$$

$$\Phi_j^l = \rho_j^l - \frac{I_j^l}{f^2} + T_j^l + \lambda N_j^l + c[dt_j - (dt_j^l + \tau)] + \varepsilon_\Phi^l \quad (3.15)$$

當衛星為 GPS 衛星時，可組成地面一次差如下

$$\Phi_{ij}^k = \rho_{ij}^k - \frac{I_{ij}^k}{f^2} + T_{ij}^k + \lambda N_{ij}^k + c(dt_{ij}) + \varepsilon_\Phi^k \quad (3.16)$$

當衛星為 Galileo 衛星時，組成地面一次差如下

$$\Phi_{ij}^l = \rho_{ij}^l - \frac{I_{ij}^l}{f^2} + T_{ij}^l + \lambda N_{ij}^l + c(dt_{ij}) + \varepsilon_\Phi^l \quad (3.17)$$

兩系統衛星的時鐘誤差 dt^k 、 dt^l 在兩測站觀測量中的影響量為一致，因此可以利用地面一次差的方式消除衛星時鐘誤差。

§3.1.4 雙系統二次差分 (Double-difference)

基線兩端的接受器同時接收兩顆衛星相同頻率的訊號，則可藉由地面一次差分 and 空中一次差分的組合組成二次差分，因此二次差分可以同時消除衛星時鐘誤差和接收器時鐘誤差，如圖 3.4 為 GPS 及 Galileo 組成二次差之示意圖。

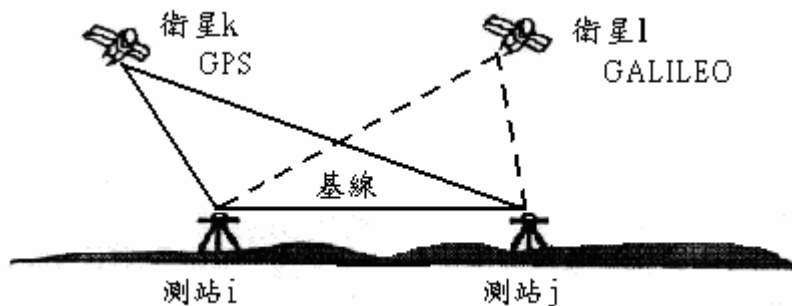


圖 3.4 雙系統二次差分示意圖

可將二次差分分為下列三種情況：

(一) GPS-GPS：根據(3.1)式，將兩顆 GPS 衛星的地面一次差(衛星 k1、k2)組成二次差觀測量如下

$$\Phi_{ij}^{k1k2} = \rho_{ij}^{k1k2} - \frac{I_{ij}^{k1k2}}{f^2} + T_{ij}^{k1k2} + \lambda N_{ij}^{k1k2} + \varepsilon_{\Phi}^{k1k2} \quad (3.18)$$

(二) Galileo-Galileo：根據(3.3)式，將兩顆 Galileo 衛星的地面一次差(衛星 l1、l2)組成二次差觀測量如下

$$\Phi_{ij}^{l1l2} = \rho_{ij}^{l1l2} - \frac{I_{ij}^{l1l2}}{f^2} + T_{ij}^{l1l2} + \lambda N_{ij}^{l1l2} + \varepsilon_{\Phi}^{l1l2} \quad (3.19)$$

(三) GPS-Galileo：將公式(3.1)及(3.3)兩個空中一次差組成二次差觀測方程式如下

$$\Phi_{ij}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} - \frac{I_{ij}^{kl}}{f^2} + T_{ij}^{kl} + \lambda N_{ij}^{kl} + \varepsilon_{\Phi}^{kl} \quad (3.20)$$

由上述公式中可以知道在二次差的情況下無論是單系統下各自組二次差分或是雙系統組二次差分的成果是一致的，利用二次差分可以將接收儀時鐘誤差、衛星時鐘誤差、以及兩系統間的時間偏差 GGTO 消除掉。

(楊名、江凱偉，2008)。

§ 3.2 週波脫落偵測

本研究使用電碼測距與相位虛擬測距觀測量兩者之時變差值作為判斷有無週波脫落之依據 (Xu, 2003)。

$$\Delta_t R_j = \Delta_t \Phi_j - \lambda_j \Delta_t N_j + \varepsilon \quad (3.21)$$

其中 Δ_i 為時段差計算元、 j 代表不同的頻率。此法使用當無週波脫落發生時 $\Delta_i N_j$ 應接近於 0 之原理來偵測。但是利用此偵測法將會受到電碼雜訊之影響。

§ 3.3 與觀測量仰角相關之給權模式

觀測量在低仰角時較會受到對流層以及多路徑效應的影響，但若完全剔除低仰角觀測量可能會造成高程方向以及對流層附加參數精度降低。為了最佳化低仰角觀測量之使用，可將衛星觀測量根據仰角給予不同的權值。GNSS 基線計算軟體中將衛星原始觀測量之權值乘以一個權函數 (Rothacher *et al.*, 1997)，如下：

$$w(e) = \sin^2(e) \quad (3.22)$$

其中

e ：衛星仰角

§ 3.4 二次差整數週波值之求解

本研究採用 LAMBDA (Least-Squares AMBIGUITY Decorrelation Adjustment)，數學模式分別介紹如下。

§ 3.4.1 LAMBDA 低相關化搜尋整數解週波未定值

利用最小二乘模型估算出之週波值為實數解，但實際上週波值為整數值，因此本計畫使用 LAMBDA 搜尋最有可能之整數解。LAMBDA 是一種離散之搜尋之技巧，主要是利用實數解以及實數解之方差-協方差高相關性的矩陣進行低相關化之計算，主要特點如下所描述 (deJonge and Tiberius, 1996)：

對實數週波未定值進行低相關化，實現之方式為利用實數解 \hat{a} 和其方差-協方差矩陣 $Q_{\hat{a}}$ 求解一個整數轉換矩陣 Z^T ，以降低原週波未定值間之相關性：

$$\hat{z} = Z^T \times \hat{a} \quad , \quad Q_{\hat{z}} = Z^T Q_{\hat{a}} Z \quad (3.23)$$

\hat{z} 及 $Q_{\hat{z}}$ 為低相關化轉換後的實數解及其方差-協方差矩陣，為了找出整數轉換矩陣 Z^T 因此將 $Q_{\hat{a}}$ 進行對角線化 LDL^T ，如下：

$$Q_{\hat{z}} = Z^T Q_{\hat{a}} Z = Z^T LDL^T \approx D, Z^T \approx L^{-1} \quad (3.24)$$

其中 L 則是取最接近的整數。

(3.23) 式中求解整數轉換矩陣 Z^T 之方法是採用連續約制最小二乘估計的概念，作法是先保留第一個週波未定值不變，而將第二個週波未定值對第一個週波未定值進行解相關，消除與前一個週波未定值之間的相關性(在第一個週波未定值為整數 a_1 的約制下得到的第二個週波未定值的估值)；將第三個週波未定值對前兩個進行解相關，消除與前兩個週波未定值間的相關性(在第一個及第二個週波未定值為整數 a_1 、 a_2 的約制下得到的第三個週波未定值的估值，最後推導如下(Teunissen, 1995)：

$$\hat{a}_{i|I} = \hat{a}_i - \sum_{j=1}^{i-1} \sigma_{i,j|J} \sigma_{j|J}^{-1} (\hat{a}_{j|J} - a_j) \quad (3.25)$$

上式可改寫為

$$(\hat{a}_i - a_i) = (\hat{a}_{i|I} - a_i) + \sum_{j=1}^{i-1} \sigma_{i,j|J} \sigma_{j|J}^{-1} (\hat{a}_{j|J} - a_j) \quad (3.26)$$

(3.26) 式利用誤差傳播得到 (3.14) 式 (Teunissen, 1995)：

$$(\hat{a} - a) = L(\hat{a}_{i|I} - a) \text{ 以及 } Q_{\hat{a}} = LDL^T \quad (3.27)$$

其中

$$D = \text{diag} \left[\sigma_1^2 \quad \sigma_{2|1}^2 \quad \cdots \quad \sigma_{i|i-1, \dots, 1}^2 \right]$$

$$L_{i,j} = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ \sigma_{2,1|1} \sigma_{1|1}^2 & 1 & & & & \\ \sigma_{3,1|1} \sigma_{1|1}^2 & \sigma_{3,2|1} \sigma_{2|1}^2 & 1 & & & \\ \vdots & \vdots & & \ddots & & \\ \sigma_{i,1|1} \sigma_{1|1}^2 & \sigma_{i,2|1} \sigma_{2|1}^2 & \cdots & \sigma_{i,j|J} \sigma_{j|J}^2 & 1 & \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

低相關化可以使超扁誤差橢球變得近似圓球狀，進而可以提高搜尋效率並且可以提高轉換後週波未定值之精度，因此相當有利於整數週波值之搜尋，搜尋動作如下式：

$$(\hat{z} - \bar{z}) Q_{\hat{z}}^{-1} (\hat{z} - \bar{z}) = \sum_{i=1}^m \frac{(\hat{z}_{i|I} - \bar{z})^2}{\sigma_{i|I}^2} \leq \chi^2 \quad (3.29)$$

其中 m 為週波未定值數目， $\hat{z}_{i|I}$ 、 $\sigma_{i|I}^2$ 是指在前 $i-1$ 個週波未定值約制下的第 i 個週波值的估值和其變方。最後以 m 為的例子來說，根據 (3.29) 可以推出各別整數週波值之範圍 (Teunissen, 1995)：

$$(\hat{z}_{i|I} - \bar{z}_i)^2 \leq \sigma_{\hat{z}_{i|I}}^2 \left[\chi^2 - \sum_{j=1}^{i-1} (\hat{z}_{j|J} - \bar{z}_j)^2 / \sigma_{\hat{z}_{j|J}}^2 \right], \quad i=1, \dots, m \quad (3.30)$$

搜尋範圍大小 χ^2 是根據轉換後的實數解 \hat{z} 向量 ($m \times 1$)，可以組成 $m+1$ 個維度為 ($m \times 1$) 的向量，記為 $z, z_1 \dots z_m$ 則 z 向量元素為實數解向量最 \hat{z} 鄰近整數， z_1 向量元素的第一個元素為實數解 \hat{z} 向量第一個元素的次鄰近整數，其餘元素皆為最鄰近整數， z_2 向量元素的第二個元素為實數解 \hat{z} 向量第二個元素的次鄰近整數，其餘元素皆為最鄰近整數，以此類推 z_m 向量元素的第 m 個元素為實數解 \hat{z} 向量第 m 個元素的次鄰近整數，其餘元素皆為最鄰近整數，這樣便可獲得 $m+1$ 個整數向量，最後利用 $(\hat{z} - \bar{z}) Q_{\hat{z}}^{-1} (\hat{z} - \bar{z})$ 計算出 $m+1$ 個 χ^2 值，經由小至大排序後會根據需要的候選整數解(candidates)之數目按順序給予不同的 χ^2 ，比如當 candidates 數目為 2 時程式以第二小的 χ^2 為搜尋範圍。當 candidates 數目等於 n 且大於 $m+1$ 時則是利用下式產生一個橢球體積 E_n 當作搜尋空間 (deJonge and Tiberius, 1996)，如 (3.31) 式：

$$E_n = \chi^n \sqrt{|Q_{\hat{z}}|} V_n, \quad V_n = \frac{2}{n} \frac{\pi^{n/2}}{\Gamma(n/2)}, \quad n = \hat{z} \text{ 向量個數} \quad (3.31)$$

最後再將低相關轉換之整數解 \tilde{z} 進行逆轉換回 \tilde{a} ，可由 (3.32) 式進行反轉換 (deJonge and Tiberius, 1996)：

$$\tilde{a} = \tilde{z} \times Z^{-1} \quad (3.32)$$

\tilde{a} 即為我們最後所需之整數週波值，並利用每組求出之 $(\hat{a} - \tilde{a})Q_{\hat{a}}^{-1}(\hat{a} - \tilde{a})$ 值來判別最佳解以及次佳解， $(\hat{a} - \tilde{a})Q_{\hat{a}}^{-1}(\hat{a} - \tilde{a})$ 值最小則為最佳解，其餘以此類推。為了判別整數解週波未定值之好壞，我們可以利用 Ratio 值以及週波未定值成功率(Success rate)兩種方法來判別，分別敘述如下：

a) Ratio test

Ratio 值代表了經由整數搜尋後次佳解以及最佳解單位權方差之比值，同時也是整數值搜尋成果好壞的分辨能力，Ratio 值定義如下 (Koch, 1999; Leick, 1995)：

$$Ratio = \frac{\Delta \hat{\sigma}_{2nd \ best}^2}{\Delta \hat{\sigma}_{best}^2} \quad (3.33)$$

其中， $\Delta \hat{\sigma}_{best}^2$ 為最佳組整數週波值為約制條件帶入最小二乘計算中所計算出之後驗單位權方差變化量。 $\Delta \hat{\sigma}_{2nd \ best}^2$ 為次佳組整數週波值為約制條件帶入最小二乘計算中所計算出之後驗單位權方差變化量。Ratio 值若越高代表搜尋到之最佳解正確機率越高，一般 GPS 軟體都在高自由度之情況下定義 $Ratio > 3$ 為可接受之程度 (Leick, 1995)。

b) 週波未定值成功率(Success rate)

計算週波未定值 Success rate 的目的是為了得到我們可以獲得正確整數解週波未定值之機率，利用了統計機率方法來計算其正確之機率，主要影響 Success rate 的因素有下列三個 (Teunissen, 1998)：

1. 觀測方程式(函數模型)。
2. 觀測量之先驗精度(隨機模型)。
3. 週波未定值整數估計法的選定。

週波未定值 Success rate 之定義為正確週波值可估計出之機率 $P(\tilde{a} = a)$ ，相當於實數週波未定值之密度機率函數 P_a 在某個範圍內之積分值。可利用下式計算出其 lower bound (LB) 值 (Teunissen, 1998)。

$$LB = \prod_{i=1}^n \left[2\Phi\left(\frac{1}{2\sigma_{iI}}\right) - 1 \right] \leq P(\tilde{a} = a) \quad \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz \quad (3.34)$$

Φ 是標準常態分布機率函數， σ_{iI} 是經過低相關化後的第 i 個週波未定值之精度值，週波未定值之精度值可由先驗精度以及函式模型獲得。由此可知 Ratio 值是屬於後驗 (*a posteriori*) 測試，而 Success rate 則是屬於先驗 (*a priori*) 測試。

§ 3.5 觀測量之偵錯

粗差若不能在平差中正確的被發現、消除，勢必會損害平差的成果，使預期精度成果無法實現，因此基線計算中粗差的剔錯為十分必要的步驟。

本研究採用傳統 Data Snooping 方法，利用標準化殘差 W_i 作為測試值，決定觀測量是否為接受或剔除。Data Snooping 法的基本假設是觀測量只存在一個粗差，且已知觀測量的先驗權單位中誤差 (Baarda, 1968)，其測試值如下：

$$W_i = \frac{V_i \sqrt{P_i}}{\sqrt{(Q_{VV} P_{ii})_{ii}} \sigma_0}; \quad W_i \sim N(0,1) \quad (3.35)$$

其中

$$Q_{VV} = Q_{ii} - AN^{-1}A^T$$

V：觀測量殘差

P：觀測量權矩陣

σ_0 ：觀測量先驗精度

i ：第 i 個觀測量

上式中 W_i 為標準化後之改正數， P_i 為第 i 個觀測量的權， $(Q_{VV} P_{ii})_{ii}$ 為局部多於觀測數。因為 W_i 為一常態分布，對於觀測量的剔錯可以針對 W_i 進行零假說

統計測試，以雙尾測試為例，當 $\sigma_0=1$ ，信心水準 $\alpha=0.05$ 時，若 $W_i>3$ 的觀測量則當做粗差剔除。

§ 3.6 單位權方差之檢驗

平差是在給定函數模型以及隨機模型下進行的。在所給定的模型中所建立的關係可能不完善，定權可能不正確等，這些都將導致平差成果遭到歪曲。為了保證平差成果的正確性，必須對各種有可能的影響正確性的原因透過統計假設檢驗方法予以查明，然後再改善平差模型。

本研究利用後驗以及先驗單位權方差做統計測試檢驗。目的在觀測量偵錯後進一步分析平差過程中函數模型以及隨機模型是否合理。

統計原理假設在函數模型以及隨機模型正確無誤且觀測量先驗精度也為正確，則後驗以及先驗之單位權方差應在一定信心區間內一致，因方差是屬於 χ^2 分布 (chi-square distribution)，因此檢驗 σ_0^2 以及 $\hat{\sigma}_0^2$ 是否一致可用 χ^2 測試，在信心水準 α 下應滿足下式：

$$\chi_{1-\alpha/n-u}^2/(n-u) \leq \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \leq \chi_{\alpha/n-u}^2/(n-u) \quad (3.36)$$

其中 $n-u$ 為平差中自由度， χ^2 值可以藉由查表得知。若檢驗不通過則代表觀測量的先驗精度估計不正確或函數模型以及隨機模型中有誤。若檢驗不通過，但是在確定函數模型以及隨機模型無誤情況下，可以藉由迭代計算改變觀測量的先驗單位權方差方式來進行調整。

第四章 開發及更新 GNSS 軟體模擬器

本研究於過去三年內發展一套具備性能分析與觀測量模擬功能的模擬器，成功能逐年整理如下：

■ 95 年度

1. 提供使用者選擇使用單一或雙系統之模擬
2. 模擬範圍功能提供使用者選擇單點、區域或全球進行模擬檢測
3. 衛星可視數量
4. DOP 值
5. 衛星運行軌跡
6. 衛星分布圖
7. 完成 Klobuchar 電離層誤差模型
8. 完成修正的 Hopfield 對流層誤差模型
9. 完成隨機函數的軌道誤差模型
10. 完成加入 Colored-noised 的多路徑性效應模型
11. 完成接收儀時鐘誤差模型
12. 完成系統時間偏差模型
13. 產生靜態觀測量

■ 96 年度

1. 內外可靠度指標分析
2. 衛星動態軌跡
3. 線上更新 GPS 衛星 YUMA 星曆之功能
4. 色階不連續問題進行改善
5. 區域球諧網格電離層延遲模型
6. 區域對流層延遲的空間相關性分析
7. 以一階高斯馬可夫模型表示之軌道誤差
8. 廣播星曆軌道誤差分析
9. 產生動態模擬觀測量

■ 97 年度(本年度)

1. 系統選擇為四系統(GPS、Galileo、GLONASS、Compass)
2. 範圍為單點、區域或全球模擬
3. 性能指標包含衛星可視數量、PDOP 值、GDOP 值、內可靠度、外可靠度、衛星分布圖、衛星運行軌跡、衛星動態軌跡模擬
4. 提升顯圖模式之品質

GNSS 為一可提供全球衛星、地面參考站、使用者設備相對於全球的分布位置。藉由發展 GNSS 對於測量與製圖技術的進步與發展有著重大的影響改變，但為了避免使用複雜且昂貴的硬體設施，藉由軟體模擬器取代硬體設施。隨著美國 GPS、俄羅斯 GLONASS 歐盟 Galileo 與中國大陸 Compass 等系統的發展，以開發結合上述主要 GNSS 之軟體模擬器為發展之主要目標。先進國家在發展衛星導航技術過程中皆視模擬器為先期研究之必需工具硬體模擬器昂貴，且目前無多系統的硬體模擬器問世。軟體模擬器的價格低廉且具備彈性多系統之軟體模擬器設計較為簡單。

一個完整的 GNSS 軟體模擬器必須能夠模擬未來 GNSS 完整的衛星分布、所有的誤差來源、使用者平台的動態軌跡。由於 GNSS 的誤差決定了測試系統的精度，故在發展模擬器過程中，必須針對電離層、對流層、軌道誤差、多路徑效應等系統誤差，發展符合的誤差模型模擬器。這些誤差模型的正確程度將直接影響模擬結果的精度。故一個成功的軟體模擬器必須能夠模擬與真實 GNSS 誤差具備相似特性的誤差。因為所有的基線測量都是利用差分 GNSS 的方式進行，故本研究在未來會針對 GNSS 誤差的空間及時間相關特性進行的探討。

除了系統誤差模型的模擬器之外，第二個主要功能就是 GNSS 衛星分布模擬器。根據各系統公佈的衛星及軌道參數，吾人可以模擬 GNSS 衛星的位置，以提供相應之電碼及載波相位之觀測量及其他與衛星高度有關之誤差。而第三個主要的功能就是具備動態軌跡模擬功能的軌跡模擬器。基於未來的任務考量，本研究發展的動態軌跡模擬器可以模擬空載平台及陸基平台，以提供未來動態基線模擬之用。圖 4.1 所示為本計畫發展中 GNSS 軟體模擬器所具備之架構。由於 Galileo 系統完成布設的時程為 2013 年，故本模擬器的生命週期約可維持 4 年。本章以下就過去三年度在 GNSS 軟體模擬器完成之各分項工作計畫進行說明。

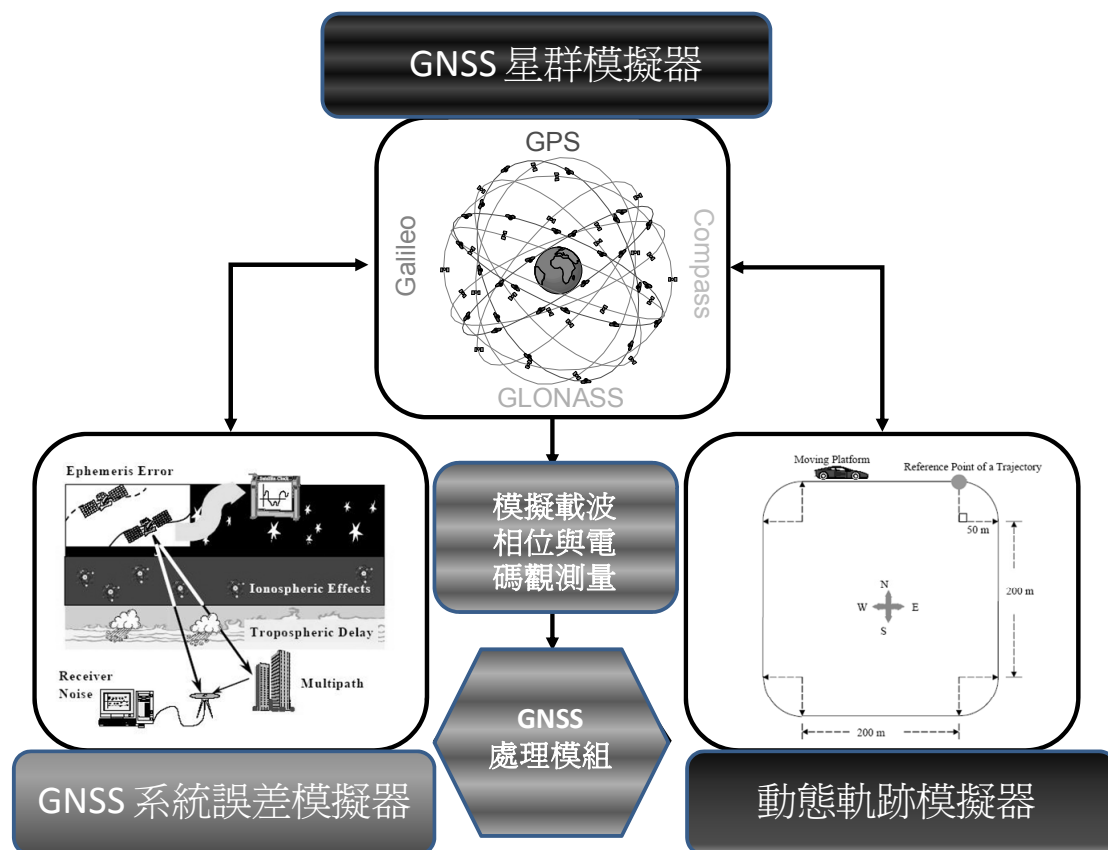


圖 4.1 GNSS 軟體模擬器之架構

§ 4.1 星群模擬功能

本年度星群模擬更新的工作項目包含多系統性能展示功能與衛星動態軌跡展示功能，以下各節分就各分項工作項目進行介紹。

§ 4.1.1 多系統性能展示功能

根據第一章闡述之各系統發展時程，預計在 2015 年之後一般使用者可以無限制使用四個衛星導航系統所提供的多頻觀測量已獲致更高的即時單點定位精度；未來不論是即時導航或高精度測量定位皆可使用雙系統或參系統的接收儀以提高定位精度。本研究將未來四個衛星導航系統之星群資料加入星群模擬之功能，藉由使用模型軌道參數或 YUMA 計算使用者指定模擬期間之衛星坐標，將衛星坐標與使用者坐標結合，可以進行諸多性能指標之評估以提供後續發展之依據。圖 4.2 與圖 4.3 分別為星群模擬計算與不同組合系統各式性能指標之評估與分析流程圖。相關性能指標分析於第 4.5 章節進行討論。

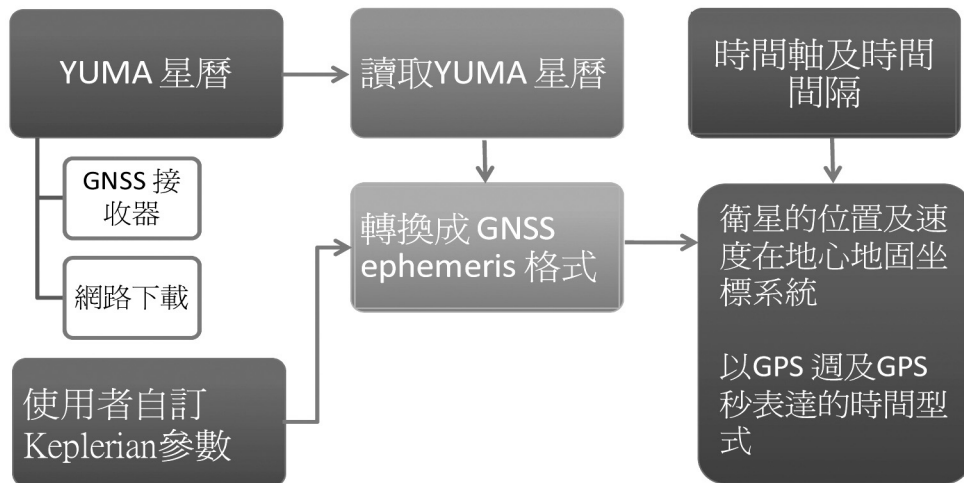


圖 4.2 星群模擬計算流程

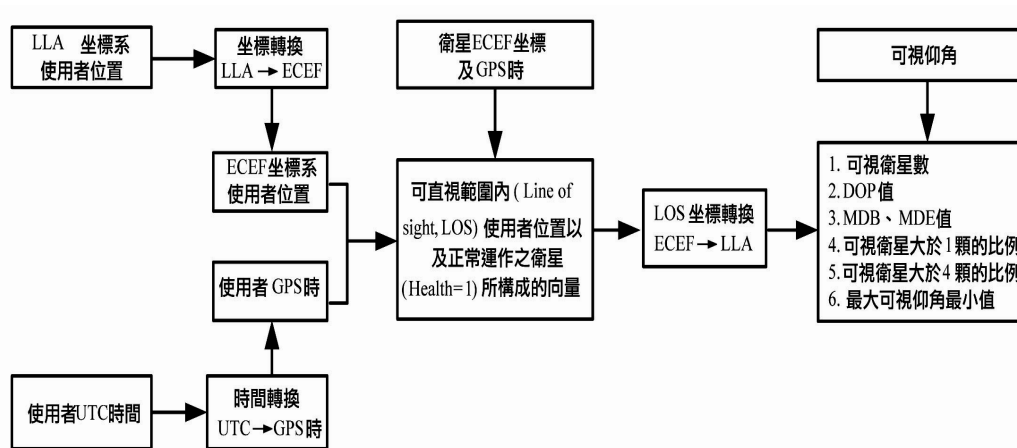


圖 4.3 各式性能指標計算流程

§ 4.1.2 衛星動態軌跡展示功能

96 年度計畫中已完成簡易的衛星動態軌跡展示功能，本年度則進一步更新多系統星群靜態與動態軌跡展示功能，如圖 4.4 與 4.5 所示。

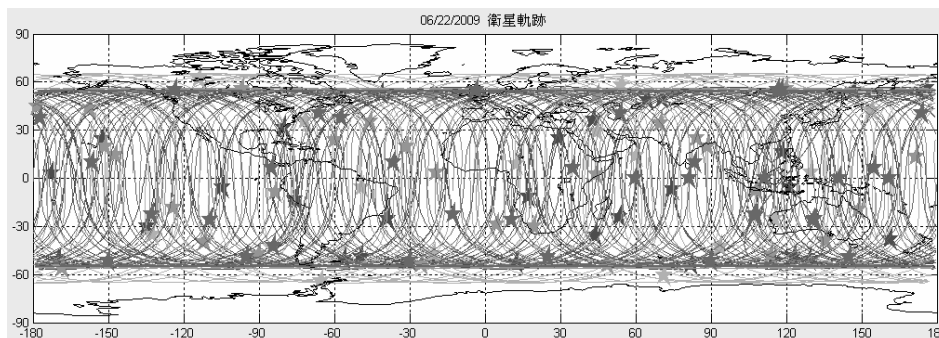


圖 4.4 多系統星群靜態軌跡展示功能

06/22/2009 衛星動態軌跡

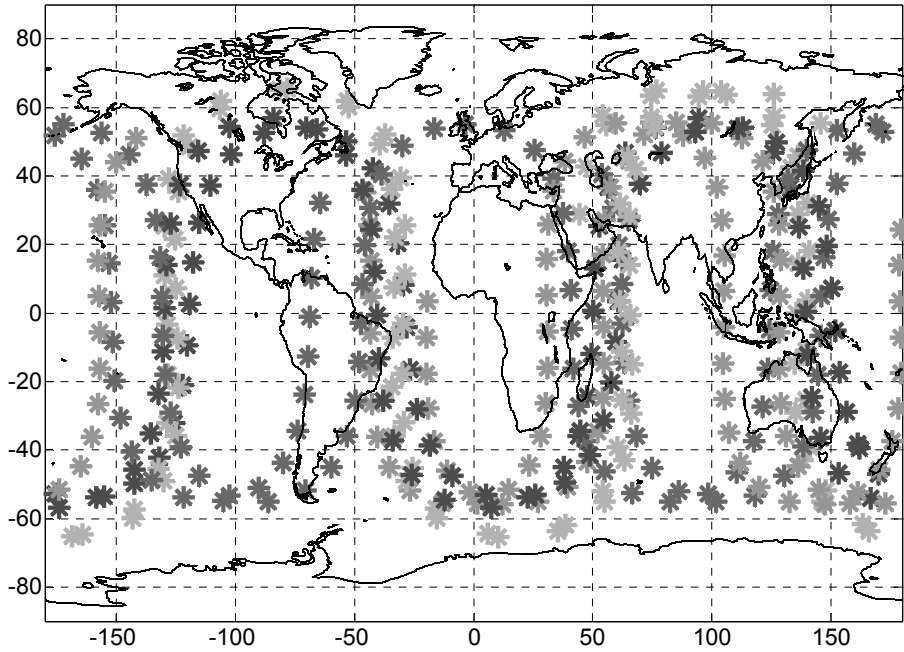


圖 4.5 多系統星群動態軌跡展示功能

§ 4.1.3 顯圖模式品質提升

圖 4.6、4.7、4.8 分別為 95、96、97 年度所發展不同版本模擬器之顯圖成果，95 年版本之圖中顏色較不連續，96 年版本改善因解析度及內插模式所導致之部分色階不連續問題，97 年(本年度)版本更進一步將顯圖模式進行提升。

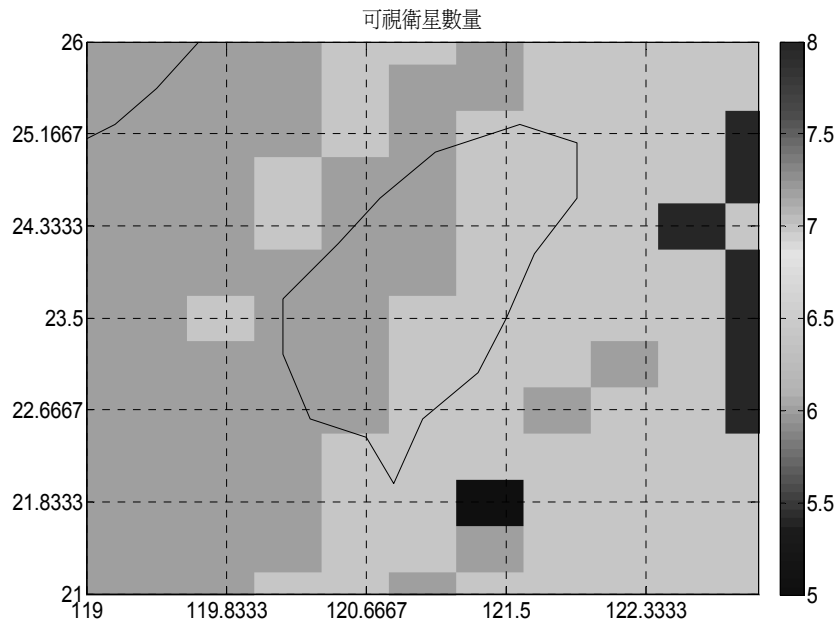


圖 4.6 95 年版模擬器顯圖成果

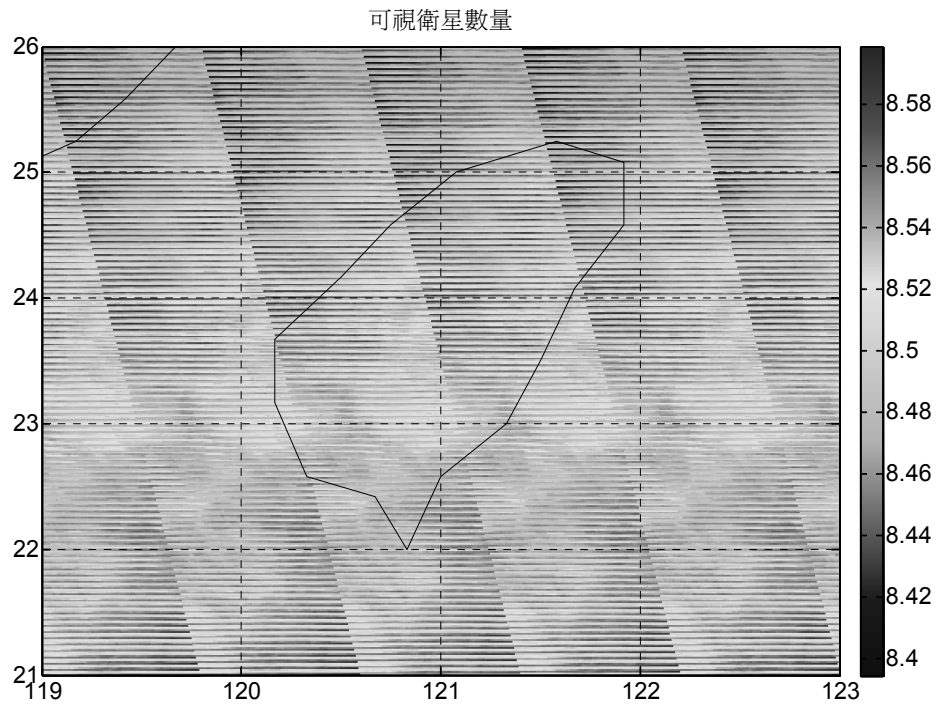


圖 4.7 96 年版模擬器顯圖成果

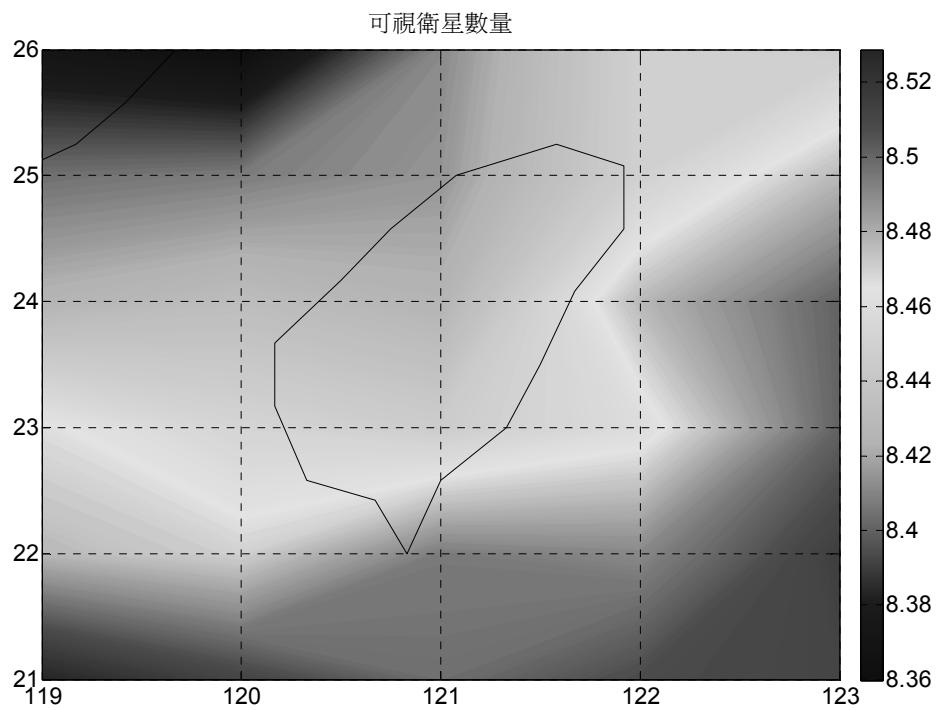


圖 4.8 97 年(本年度) 版模擬器顯圖成果

§ 4.1.4 YUMA 星曆更新問題

目前 GPS 衛星 YUMA 星曆資料，可由下列網址所提供真實衛星星曆下載取得(<http://www.navcen.uscg.gov/ftp/GPS/almanacs/Yuma/GPS>)，於 96 年度完成提供線上更新功能。Galileo 衛星星曆由歐洲太空總署所提供。GLONASS 與 Compass 衛星星曆分別由相關文獻載明之克卜勒元素，藉由本模擬器提供之功能轉換計算可得 YUMA 星曆。未來當這些衛星系統的真实 YUMA 星曆如同 GPS 般可由網路下載時，亦可將下載的星曆取代目前由模擬產生的星曆。圖 4.9 所示為連線網頁更新星曆。

2009					
Jan	Jan 04 (0489)	Jan 11 (0490)	Jan 18 (0491)	Jan 25 (0492)	
	0489.061440	0490.061440	0491.061440	0492.061440	
	0489.147456	0490.147456	0491.147456	0492.147456	
	0489.233472	0490.233472	0491.233472	0492.233472	
	0489.319488	0490.319488	0491.319488	0492.319488	
	0489.405504	0490.405504	0491.405504	0492.405504	
Feb	Feb 01 (0493)	Feb 08 (0494)	Feb 15 (0495)	Feb 22 (0496)	
	0493.061440	0494.061440	0495.061440	0496.061440	
	0493.147456	0494.147456	0495.147456	0496.147456	
	0493.233472	0494.233472	0495.233472	0496.233472	
	0493.319488	0494.319488	0495.319488	0496.319488	
	0493.405504	0494.405504	0495.405504	0496.405504	
Mar	Mar 01 (0497)	Mar 08 (0498)	Mar 15 (0499)	Mar 22 (0500)	Mar 29 (0501)
	0497.061440	0498.061440	0499.061440	0500.061440	0501.061440
	0497.147456	0498.147456	0499.147456	0500.147456	0501.147456
	0497.233472	0498.233472	0499.233472	0500.233472	0501.233472
	0497.319488	0498.319488	0499.319488	0500.319488	0501.319488
	0497.405504	0498.405504	0499.405504	0500.405504	0501.405504
Apr	Apr 05 (0502)	Apr 12 (0503)	Apr 19 (0504)	Apr 26 (0505)	
	0502.061440	0503.061440	0504.061440	0505.061440	
	0502.147456	0503.147456	0504.147456	0505.147456	
	0502.233472	0503.233472	0504.233472	0505.233472	
	0502.319488	0503.319488	0504.319488	0505.319488	
	0502.405504	0503.405504	0504.405504	0505.405504	

圖 4.9 連線網頁更新星曆

§ 4.2 系統誤差圖形展示功能

除了上述模擬衛星分布外，一套完整 GNSS 軟體模擬器需能模擬各種衛星誤差來源；主要誤差為電離層延遲、對流層延遲、軌道誤差、多路徑效應等。一個有效的 GNSS 系統誤差模型對模擬結果的可信度及準確度有決定性的影響。換言之，一個 GNSS 模擬器必須要能產生與真實 GNSS 系統具備相似統計特性的系統誤差。這些誤差的統計特性必須使用在不同環境下所採集到數據透過繁複的

理論分析與統計測試才可獲得。所有的參數必須要具備可調整之特性以提供完整之測試與分析並考慮可能的大氣資料、電離層活動與使用者之位置資訊，表 4.1 所示為 95、96 年發展的誤差模型。本計畫於 97 年度針對部分系統誤差項目進行之工作項目為自動展示系統誤差之功能。

本年度計畫在觀測量模擬模組中加入自動顯示加入各衛星模擬觀測量之各式模擬系統誤差。目前的 GNSS 軟體模擬器中之觀測量模擬功能中是透過黑盒子的方式直接逐步地將各式模擬的系統誤差加入無誤差的模擬觀測量，最後再將相關檔案以 RINEX 3.0 的格式寫出。這種做法雖然相當人性化，但是對於偵錯與對模擬器運作的觀點而言是較為不足的。

故本年度列入發展自動地展示各項系統誤差的工作項目，如圖 4.10 所示為在模擬的時段中加入模擬觀測量的軌道誤差。如此的功能將提供使用者一個了解模擬器運作模式的進階選項，同時亦提供一個較為容易偵錯的環境。

表 4.1 GNSS 觀測量系統誤差模型

主要系統誤差	95 年度設定模型	96 年度設定模型
軌道誤差	隨機誤差模型： GPS = ± 5 m , Galileo = ± 2 m	一階高斯馬可夫模型
對流層延遲	修正的 Hopfield 模型 (MHM)	1. MHM + B&E 映射函數 2. 具備台灣地區空間相關性之 MHM 模型
電離層延遲	Klobuchar 模型	1. Klobuchar 模型 2. IGS 全球球諧網格模型 3. 台灣區域球諧網格模型
多路徑效應	Colored-noised model	不變
接收儀時鐘誤差	隨機誤差： ± 300 m	不變
系統時間偏差 (GGTO)	100 ns	不變

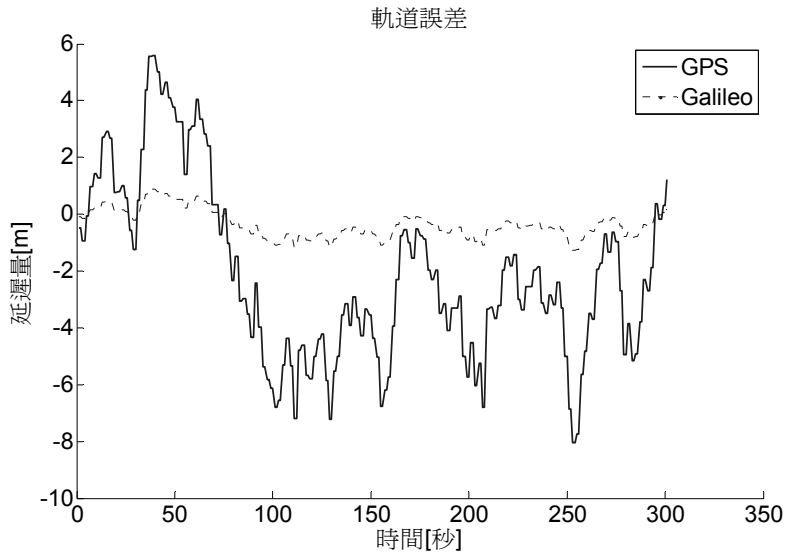


圖 4.10 系統誤差圖形展示範例

圖 4.11 為產生 GNSS 模擬觀測量之流程圖，利用圖 4.11 與表 4.1，吾人即可將使用者與特定衛星之真實距離與載波相位加入各類系統誤差後，產生虛擬距離及含整數週波未定值之載波相位模擬觀測量供後續計算與分析用。

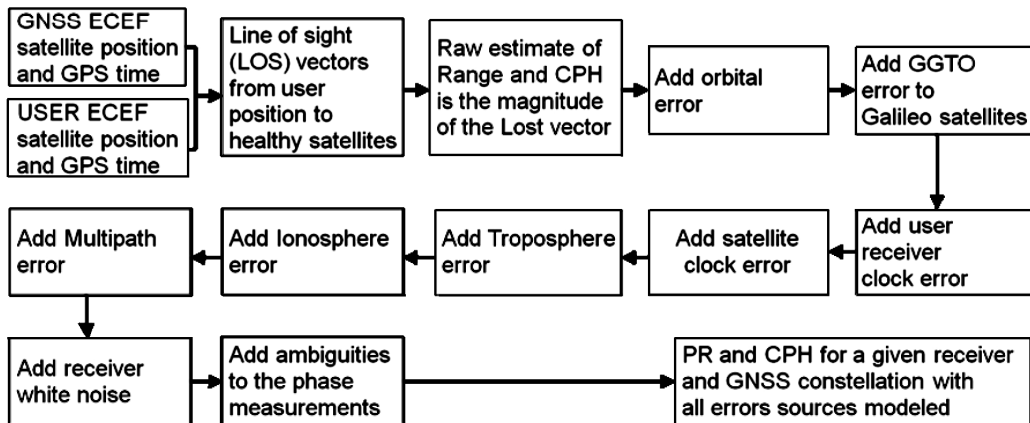


圖 4.11 產生 GNSS 模擬觀測量之流程

§ 4.3 接收儀動態模擬功能

為配合動態定位軟體功能之開發，本年度持續地將開發接收儀動態模擬功能之開發。

配合 96 年度已經完成的包含路基(ground-based)及空載(airborne)兩種模式的動態軌跡產生器，本年度之主要任務為將根據產生的動態軌跡，記錄每個時刻載體的坐標以逐點進行產生動態的 GNSS 模擬觀測量。針對輸出的格式，本計畫決

定以最新公佈的 RINEX 3.00 版作為輸出模擬觀測資料的標準格式，選擇這版本的理由有以下幾點：

1. 符合未來真實觀測資料的儲存格式，支援各型號接收儀的資料。
2. 未來新的訊號可能是由不同頻道或不同系統所產生的電碼和相位觀測量，新版本能夠紀錄不同屬性的觀測量。
3. 提供特定的服務與用途，支援不同精度要求的領域作應用。

§ 4.4 模擬器操作介面說明

本章節主要針對軟體模擬器之操作介面提供簡要的介紹與說明。目前所開發的模擬器支援 Modernized GPS、Galileo、GLONASS 與 Compass。此軟體模擬器藉由上述元件除了提供多系統的性能模擬之外，更可提供各系統之模擬觀測量以供後續分析計算之用。

§ 4.4.1 性能分析操作介面說明

如圖 4.12 所示，主視窗選單有執行模擬效能分析、產生模擬觀測量、基線計算、關閉可供選擇。此軟體模擬器提供諸如區域或單點模式之衛星可視度(數量)、區域或單點之 GDOP 與 PDOP 值、衛星軌跡計算等性能模擬功能、內外可靠度分析、及線上更新星曆。除此之外，此模擬器亦能過透過使用者設定方式產生靜態單系統或雙系統之模擬觀測量。選擇執行模擬效能分析後系統自動開啟新視窗，如圖 4.13 所示，於圖面點選滑鼠左鍵可放大範圍，左鍵縮小，並有下列之項目可供設定：

1. 衛星系統：藉由不同使用者的需求，選擇 GPS、Galileo、GLONASS 與 Compass，並可勾選兩個以上成為雙系統或多系統，預設為 GPS。
2. 開始與結束日期、時間：格式為 月/日/年 時:分，輸入欲模擬的起始與結束時間，預設為開啟 toolbox 當天日期之 00 時 00 分至 24 時 00 分。
3. 觀測時間間隔：設定模擬時間內，多少秒為一間隔，進行模擬計算，預設為 300 秒。
4. 位置設定：選擇欲模擬範圍，為全球、區域、單點，預設為全球。
 - 地圖點選：設定為單點或區域時，藉由滑鼠點選圖面，進行計算。
 - 鍵盤輸入：設定為單點或區域時，鍵盤輸入經緯度範圍，進行計算。

- 經度1、2：預設為119與123度，單位為度。
 - 緯度1、2：預設為21與26度，單位為度。
5. 解析度：若位置設定為全球，預設為 5 度；區域，預設為 1 度；單點則無需設定。
 6. 衛星遮仰角：設定選擇計算位置可視衛星最低仰角，預設為 10 度。
 7. 測站高：設定測站位置的高，預設為 0 公尺。
 8. 輸出選擇：可視衛星數量、PDOP、GDOP 值、衛星軌跡、內可靠度、外可靠度、及衛星動態軌跡。
 9. 輸出結果於新視窗：由於選單上輸出之圖表較小，因此可點選另開啟視窗輸出成果圖表。
 10. 儲存檔：可選取將成果輸出儲存成另一檔案，為 *.mat 檔。
 11. 執行模擬按鈕：進行模擬計算。

若選取還原預設按鈕，則回到系統最初預設之值；關於程式按鈕說明程式的介紹；星曆下載按鈕可連結網頁，自行下載最新的星曆檔；最後點選關閉視窗按鈕即可回到主視窗(圖4.12)。

最後於主視窗選擇結束程式，會出現是否確定結束 GNSS 軟體模擬器，如圖4.14所示，選擇是(Y)即可關閉、選擇否(N)則跳回主視窗。相關性能分析之成果展示將列於第4.5章節。



圖 4.12 主視窗

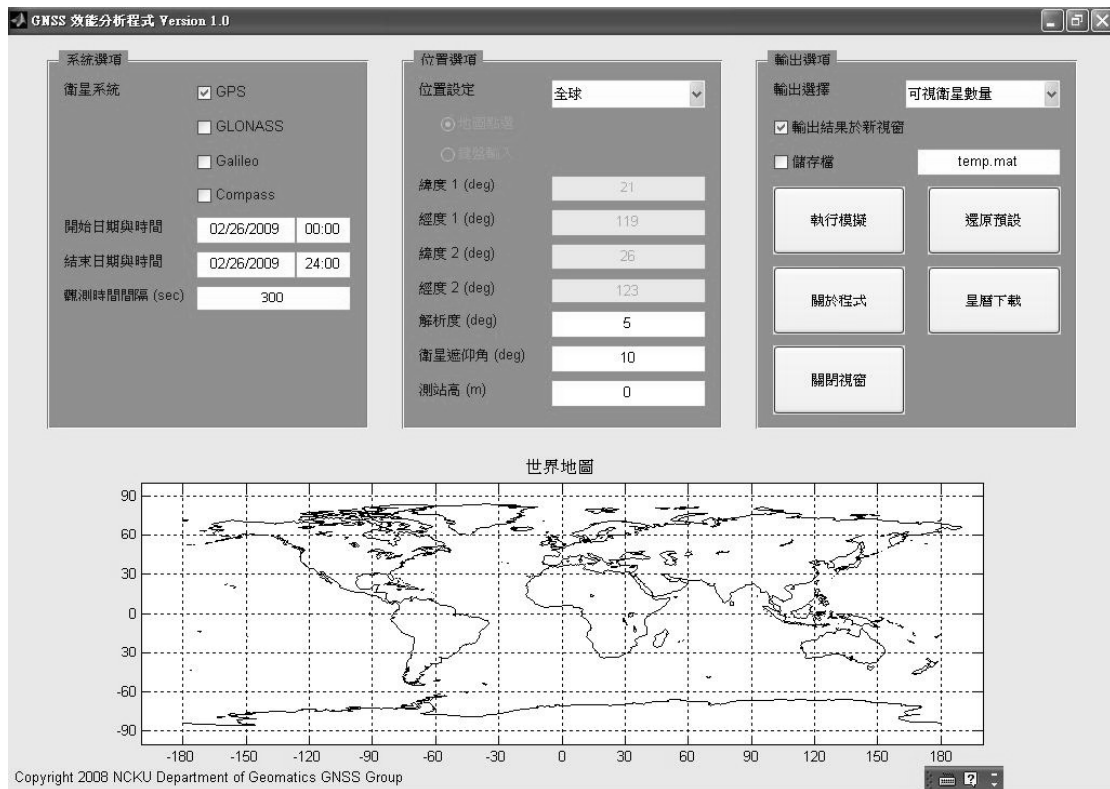


圖 4.13 執行模擬視窗



圖 4.14 關閉視窗

§ 4.4.2 GNSS 觀測量模擬操作介面說明

圖 4.15 所示為 GNSS 觀測量模擬之操作介面。程式中僅模擬開放一般給民間使用訊號之觀測量，包括載波相位及虛擬距離。模擬資料輸出觀測檔格式則採用 RINEX version 3.0，其格式說明可從 IGS 之 ftp 站下載 (<ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/data/format/rinex300.pdf>)。

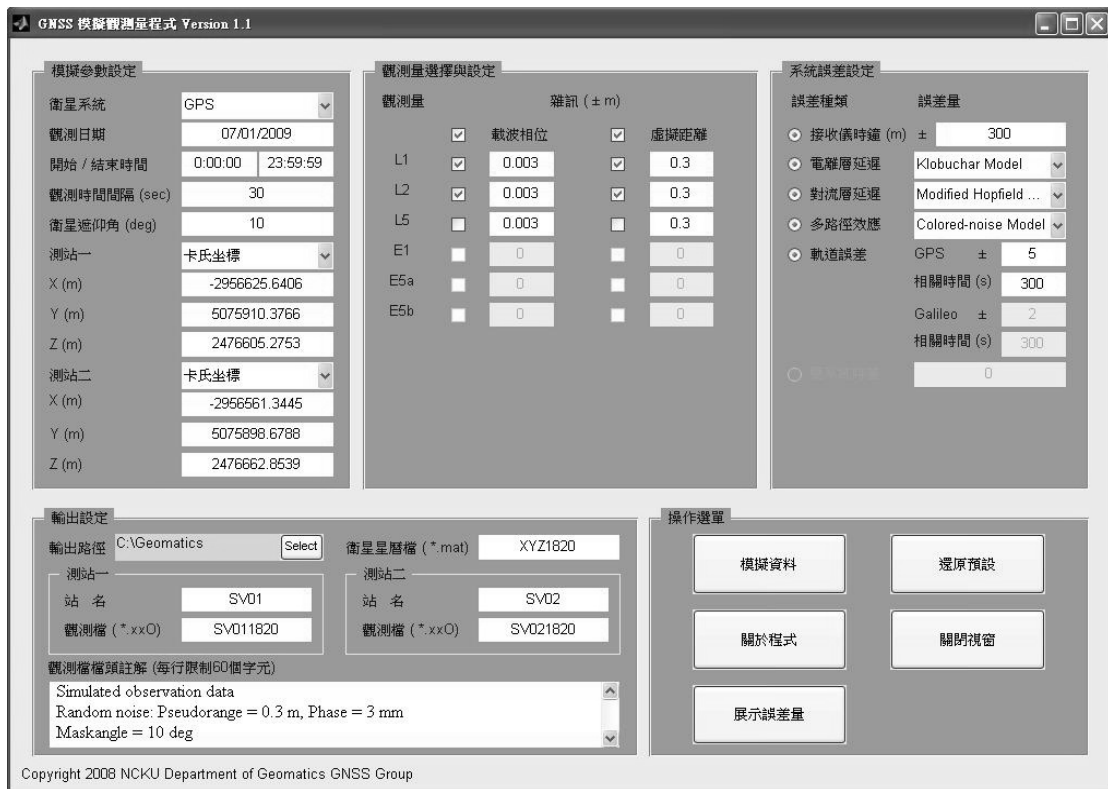


圖 4.15 GNSS 觀測量模擬程式主視窗

程式介面包括五大部分，其功能概述如下：

■ 模擬參數設定(圖 4.16)

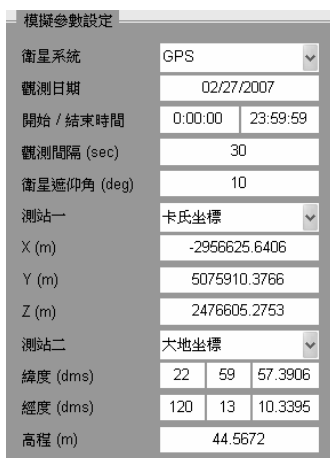


圖 4.16 模擬參數設定

1. **衛星系統**：藉由不同使用者的需求，可選擇GPS或Galileo單系統以及GPS+Galileo的雙系統，預設為GPS單系統。
2. **觀測日期**：格式為 月/日/年，預設為當天日期。
3. **開始與結束時間**：格式為 時:分:秒，預設為0時0分0秒至23時59分59秒。
4. **觀測間隔**：設定多少時間模擬一筆觀測量，預設為30秒。
5. **衛星遮仰角**：設定模擬可視衛星最低仰角，預設為10度。
6. **測站坐標**：可選擇卡氏坐標或大地坐標，預設為卡氏坐標。當選擇為卡氏坐標時，輸入X、Y、Z坐標，單位為公尺。當選擇為大地坐標時，輸入緯度 ψ 、經度 λ 和高程h，單位分別為度、分、秒和公尺。

■ **觀測選擇與設定(圖 4.17)**

觀測量	載波相位	雜訊 (± m)	虛擬距離	雜訊 (± m)
L1	<input checked="" type="checkbox"/>	0.003	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3
L2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.003	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3
L5	<input type="checkbox"/>	0.003	<input type="checkbox"/>	0.3
E1	<input type="checkbox"/>	0.003	<input type="checkbox"/>	0.3
E5a	<input type="checkbox"/>	0.003	<input type="checkbox"/>	0.3
E5b	<input type="checkbox"/>	0.003	<input type="checkbox"/>	0.3

圖 4.17 觀測量選擇與設定

1. 觀測量有 L1、L2、L5、E1、E5a、E5b。當系統選擇為 GPS 時，可勾選 L1、L2、L5；選擇為 Galileo 時，可勾選 E1、E5a、E5b；當衛星系統選擇為 GPS+Galileo 時，皆可勾選。
2. 載波相位與虛擬距離觀測量雜訊：選擇觀測量後，輸入值才有效用，預設分別為 0.003 與 0.3 公尺。將該二值視為常態分布之變方並利用產生隨機函數之功能即可產生載波相位與虛擬距離觀測量雜訊。

■ **系統誤差設定(圖 4.18)**

1. **接收儀時鐘誤差**：預設為 300 公尺。
2. **電離層延遲**：提供 Klobuchar Model、IGS Spherical harmonics and Grid Model (SPHA)與 Taiwan SPHA 三種選擇，預設為 Klobuchar Model。
3. **對流層延遲**：提供 Modified Hopfield Model 與 Taiwan Region Model 兩種選擇，預設為 Modified Hopfield Model。

4. 多路徑效應：預設為 Colored-noise Model (low-pass Butterworth filter)。
5. 軌道誤差：加入相關時間選項，使用者可輸入變方 σ^2 與相關時間 τ ，由建立描述星曆誤差的一階高斯馬可夫模型得到軌道誤差。GPS = ± 5 m, Galileo = ± 2 m, $\tau_{gps}=300$ (seconds)(預設) $\tau_{galileo}=300$ (seconds)(預設)。
6. 雙系統時差：當系統選擇為 GPS+Galileo 雙系統時，可勾選此選項，預設為 30 公尺，相當於 100 奈秒。

以上系統誤差和隨機雜訊於程式執行時預設勾選，以符合真實觀測量狀態。



圖 4.18 系統誤差設定

■ 輸出設定(圖 4.19)

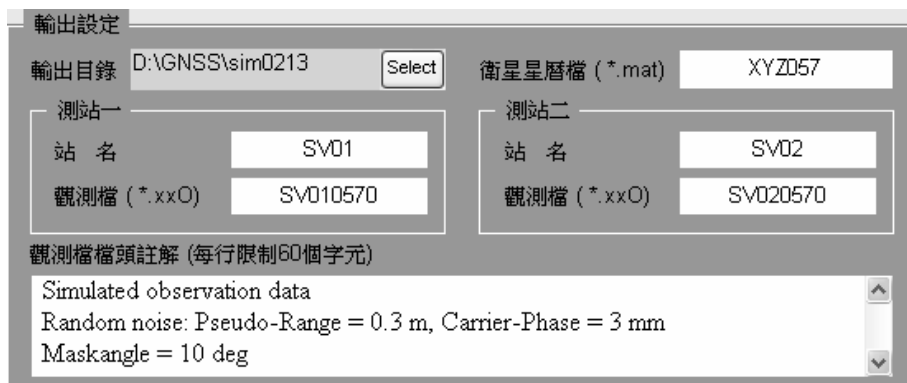


圖 4.19 輸出設定

1. **輸出目錄**：選擇儲存欲輸出星曆檔與觀測檔之目錄，預設為程式檔之工作目錄。
2. **衛星星曆檔**：儲存模擬衛星之 WGS84 坐標，格式為 *.mat 檔(matlab binary format)。
3. **測站站名**：根據參數設定選單輸入之測站站名，請優先於觀測檔名輸入，檔名將隨站名改變而不同，故建議輸入四個字元的測站名稱，以符合觀測量檔名格式。
4. **觀測檔**：在輸入站名後可再更改檔名，其格式為 abcd0010.xxO，其中 abcd(4 碼)為站名，001(3 碼)為 day of year，0(1 碼) 為流水號可自行更改，xx(2 碼) 為西元年，O(1 碼)表觀測檔。
5. **觀測檔檔頭註解**：提供給使用者記錄模擬資訊於觀測檔檔頭，為符合觀測檔格式，請注意每行註解為 60 個字元數之限制。

■ **操作選單(圖 4.20)**



圖 4.20 操作選單

1. **模擬資料**：輸入完成後，執行模擬計算。
2. **還原預設**：還原系統最初設定值。
3. **關於程式**：顯示程式版本與其他相關資訊。
4. **結束程式**：關閉 GNSS 觀測量模擬程式。

§ 4.4.3 動態軌跡模擬說明

圖 4.21 為模擬之測站接收儀軌跡，繪出軌跡後，可將逐點坐標儲存至 *.mat 檔，圖 4.22 為部分的儲存坐標位置，第一、二行分別為 x 軸與 y 軸的平面坐標值，藉由逐點輸入模擬觀測量介面產生動態的模擬觀測量。

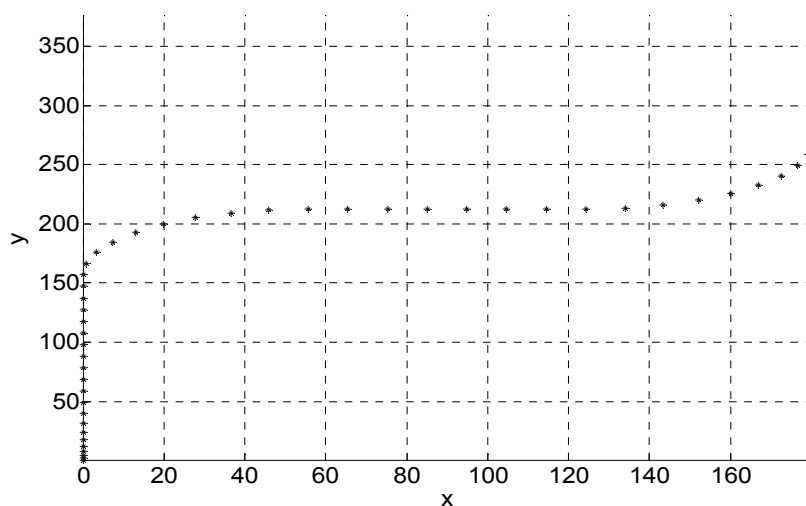


圖 4.21 動態模擬軌跡

0	78.48
0	88.29
0	98.10000000000001
0	107.91
0	117.72
0	127.53
0	137.34
0	147.15
0	156.96
0.845224833723272	166.62096405704975
3.355217606024809	175.98838460990976
7.453713456635846	184.77763732522487
13.016181663074569	192.7216652068167
19.873609443633022	199.57909298737516
27.81763732522484	205.14156119381386
36.60689004053998	209.24005704442493
45.97431059339997	211.75004981672646
55.63527465044972	212.59527465044974
65.44527465044972	212.59527465044974
75.2552746504497	212.59527465044974
85.06527465044971	212.59527465044974
94.87527465044971	212.59527465044974
104.6852746504497	212.59527465044974
114.49527465044969	212.59527465044974

圖 4.22 儲存之平面坐標位置

§ 4.5 多系統 GNSS 模擬器性能分析功能展示與分析

本節將提供軟體模擬器性能分析功能之成果展示與說明。圖4.23、4.24、4.25與 4.26 所示為全球 GPS、GPS+Galileo、GPS+GLONASS+Galileo、GPS+GLONASS+Galileo+Compass之可視衛星數量。模擬時間設定為2009年06月22日00時00分至24時00分，觀測時間間隔設定為300秒，解析度設定為5度，仰角設定為10度。GPS 衛星星曆選用(Yuma711.txt)，為第441週GPS衛星星曆資料。

資料來源為下列網址(<http://www.navcen.uscg.gov/ftp/GPS/almanacs/Yuma/GPS>)，Galileo衛星星曆由歐洲太空總署所提供。GLONASS與Compass衛星星曆分別由相關文獻載明之克卜勒元素，藉由本模擬器提供之功能轉換計算可得Yuma星曆。未來當這些衛星系統的真實Yuma星曆如同GPS般可由網路下載時，亦可將下載的星曆取代目前由模擬產生的星曆。由目前成果可得GPS可視衛星數量分布為8.5至10顆，GPS+Galileo為17至20.5顆，三系統為21至25.5顆，而四系統為30至40顆。

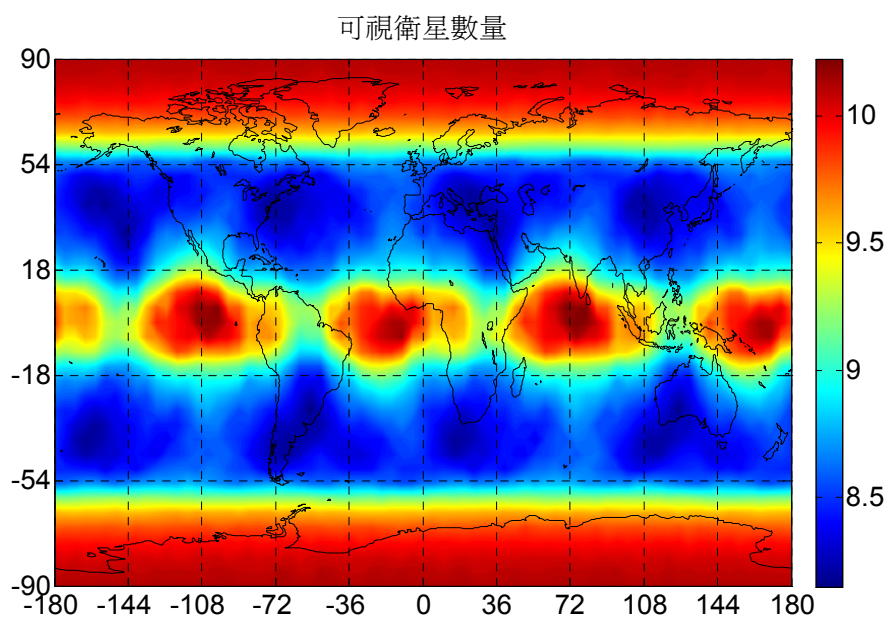


圖 4.23 全球 GPS 可視衛星數量

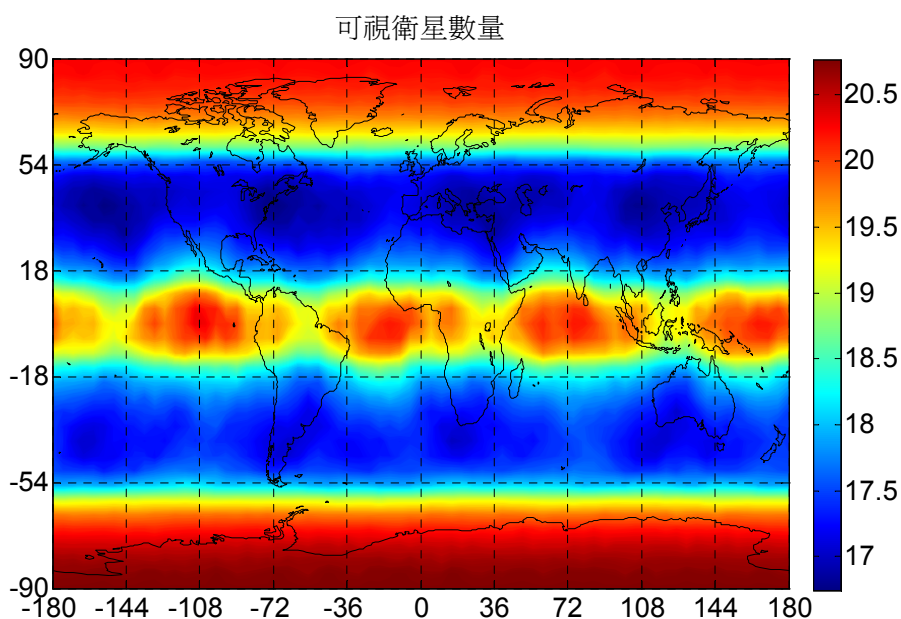


圖 4.24 全球 GPS+Galileo 可視衛星數量

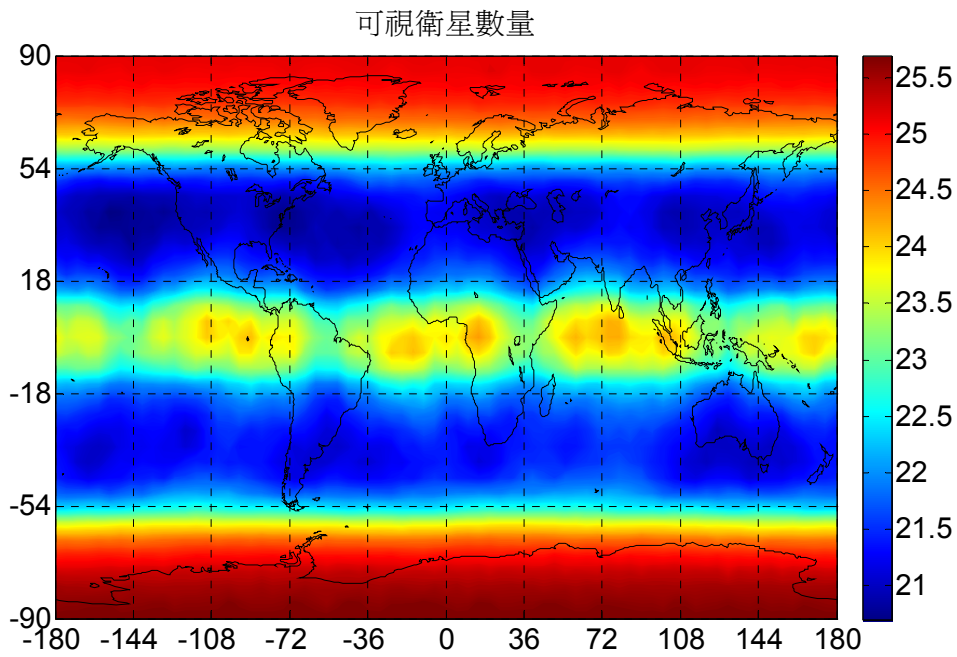


圖 4.25 全球 GPS+Galileo+GLONASS 可視衛星數量

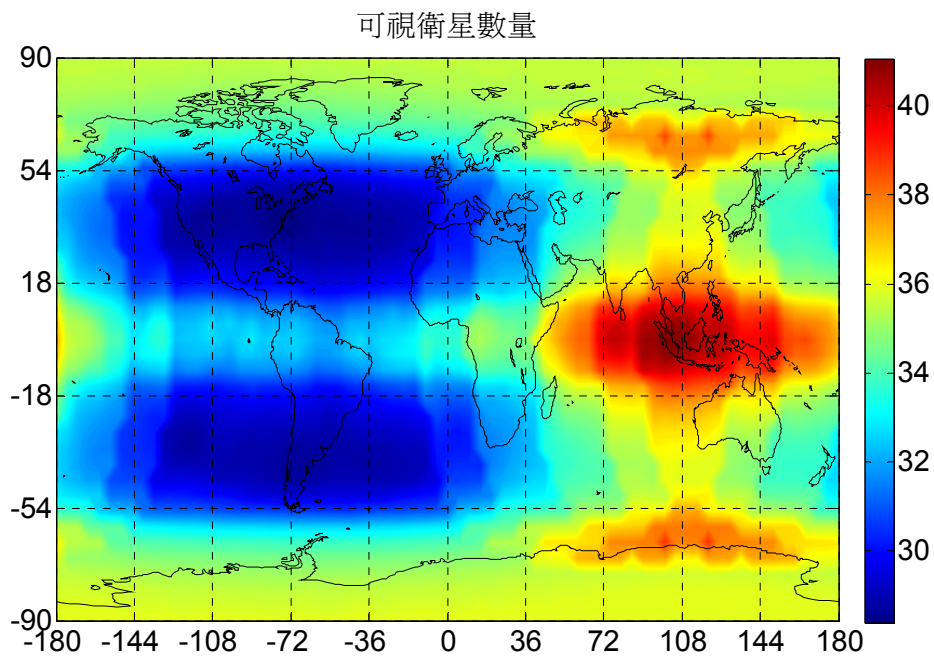


圖 4.26 全球 GPS+Galileo+GLONASS+Compass 可視衛星數量

圖 4.27、4.28、4.29 與 4.30 所示為全球 GPS、GPS+Galileo、GPS+GLONASS+Galileo、GPS+GLONASS+Galileo+Compass 的 PDOP 值。模擬時間設定為 2009 年 06 月 22 日 00 時 00 分至 24 時 00 分，觀測時間間隔設定為 300 秒，解析度設定為 5 度，仰角設定為 10 度。由成果吾人可得全球 GPS 的 PDOP 值為 1.9 至 2.4，GPS+Galileo 為 1.25 至 1.5，三系統為 1.1 至 1.25，四系統為 0.8 至 1.05。

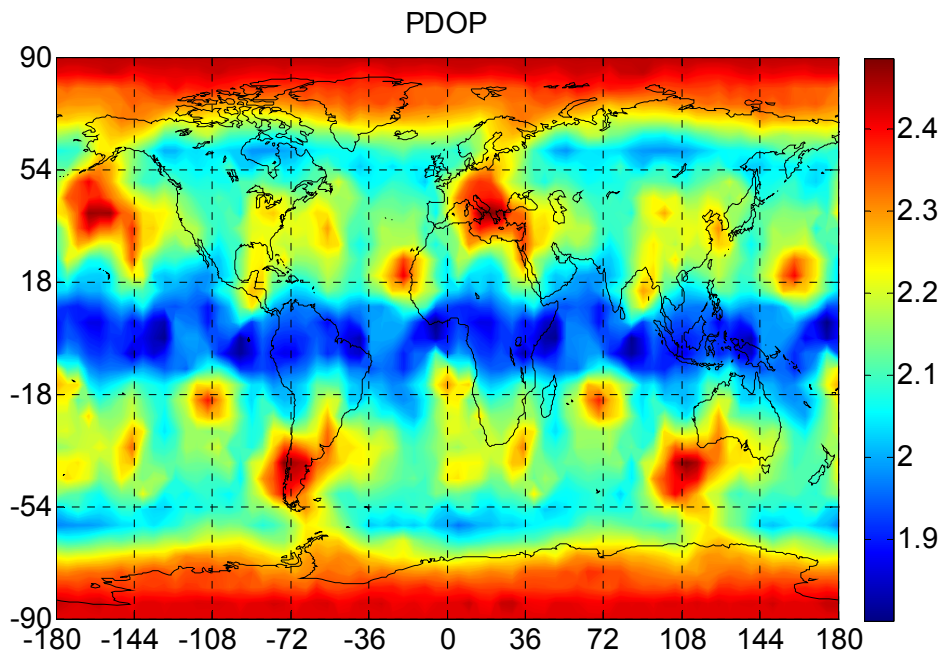


圖 4.27 全球 GPS 的 PDOP 值

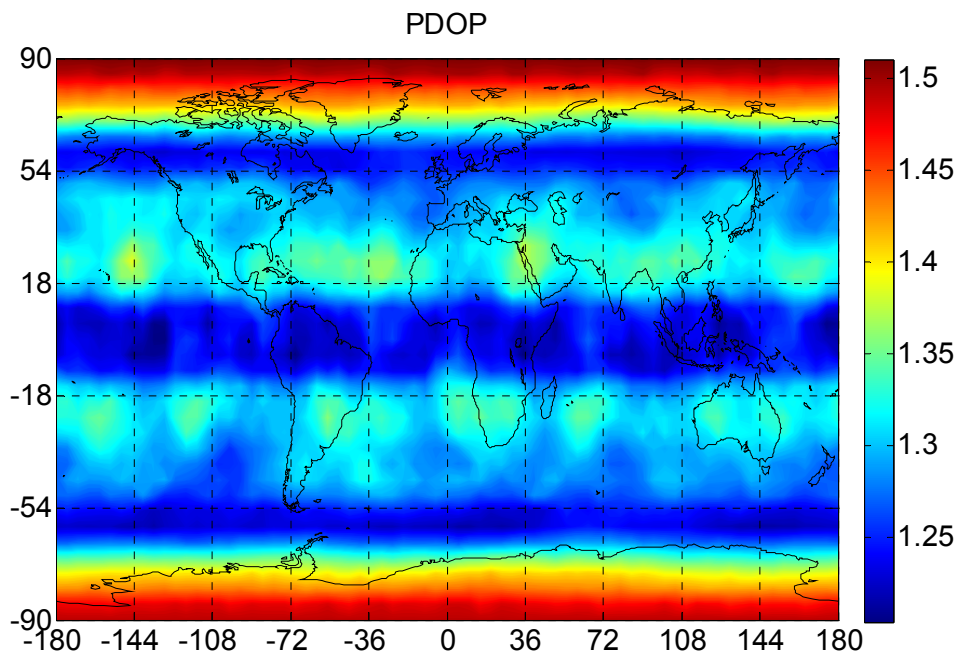


圖 4.28 全球 GPS+Galileo 的 PDOP 值

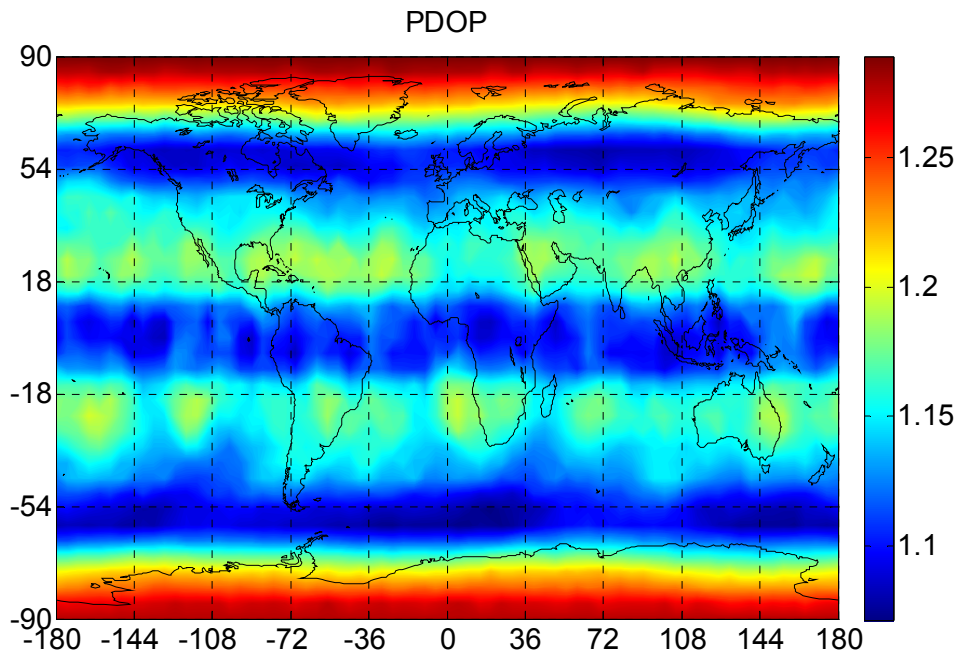


圖 4.29 全球 GPS+Galileo+GLONASS 的 PDOP 值

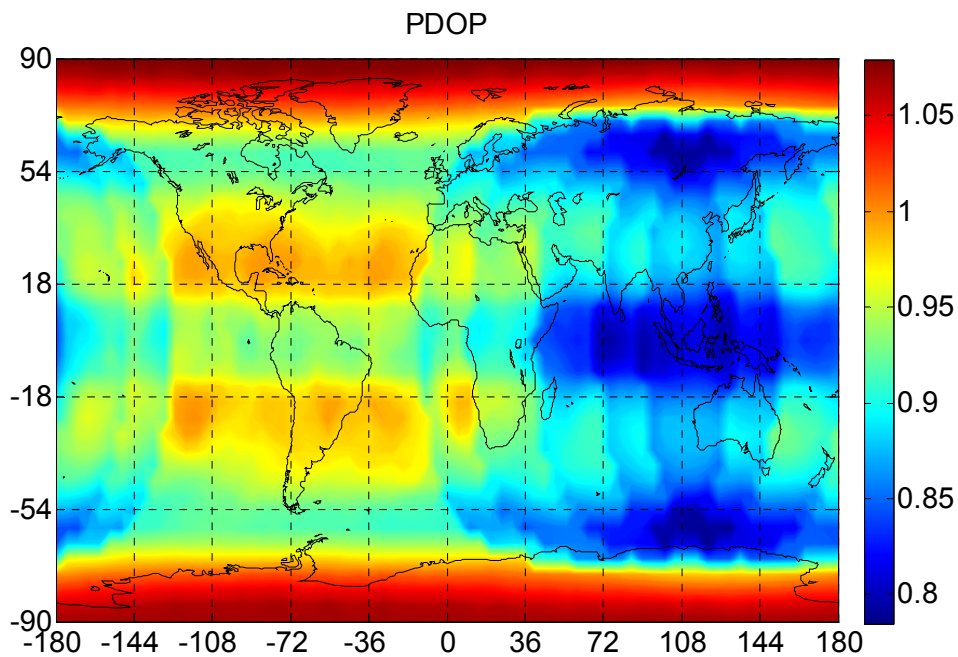
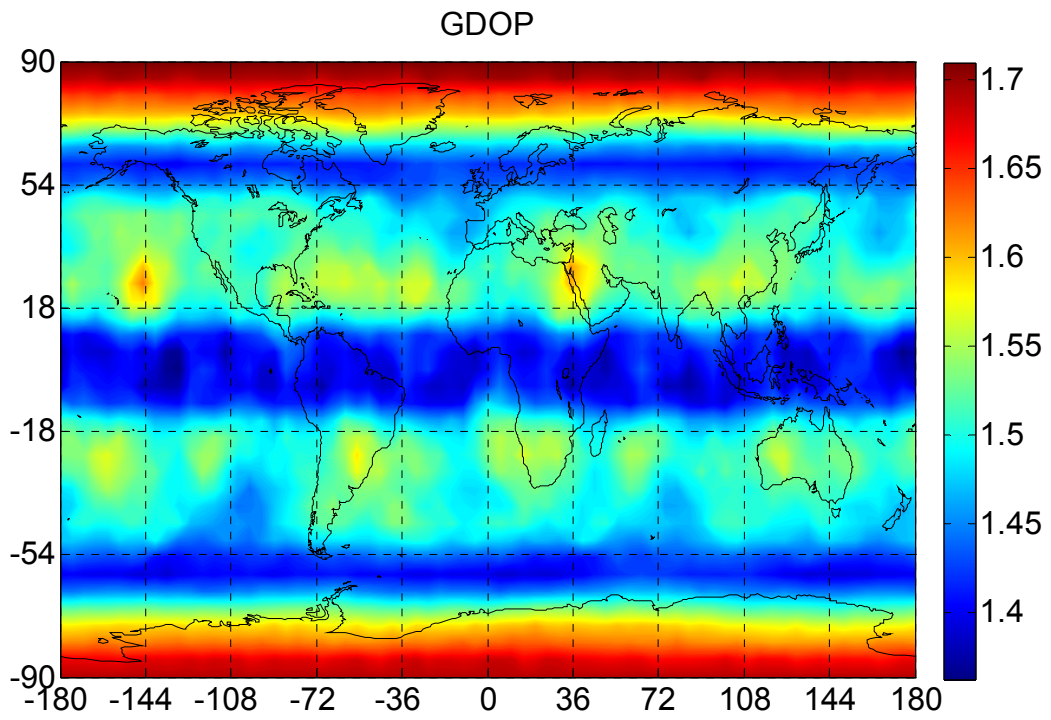
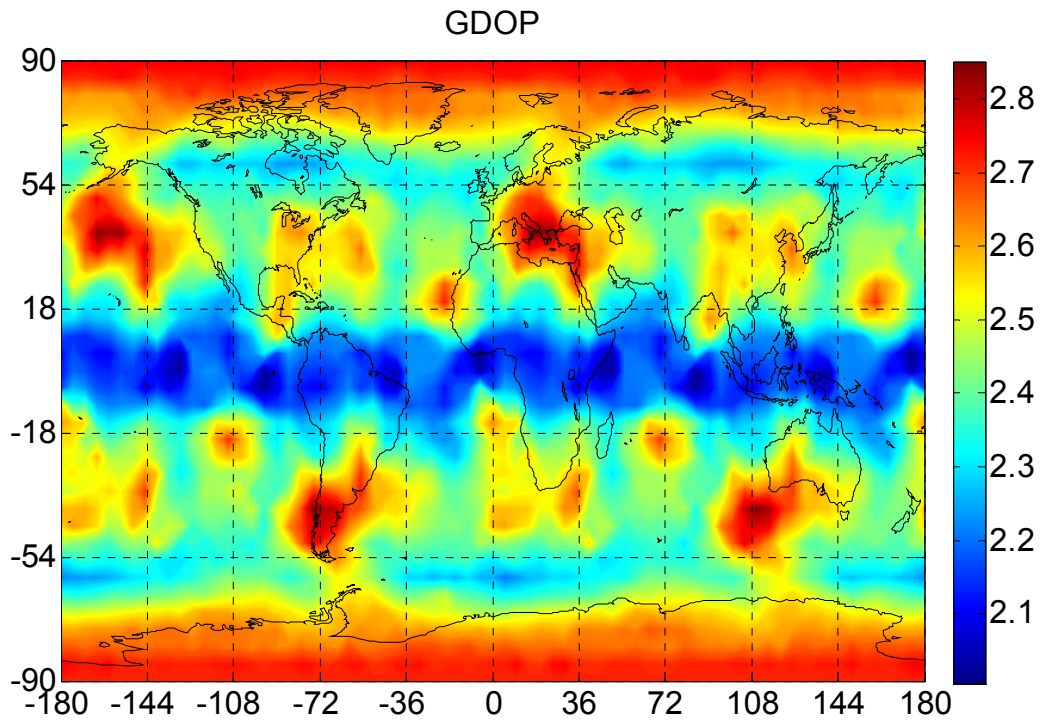


圖 4.30 全球 GPS+Galileo+GLONASS+Compass 的 PDOP 值

圖 4.31、4.32、4.33 與 4.34 所示為全球 GPS、GPS+Galileo、GPS+GLONASS+Galileo、GPS+GLONASS+Galileo+Compass 的 GDOP 值。模擬時間設定為 2009 年 06 月 22 日 00 時 00 分至 24 時 00 分，觀測時間間隔設定為 300 秒，解析度設定為 5 度，仰角設定為 10 度。由成果吾人可得全球 GPS 的 GDOP 值為 2.1 至 2.8，GPS+Galileo 為 1.4 至 1.7，三系統為 1.25 至 1.45，四系統為 0.95 至 1.2。



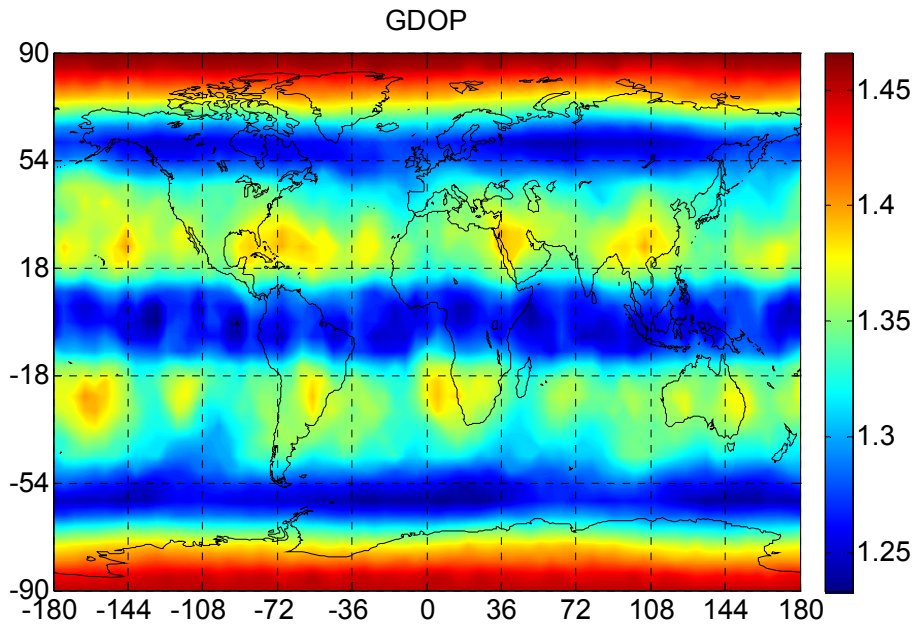


圖 4.33 全球 GPS+Galileo+GLONASS 的 GDOP 值

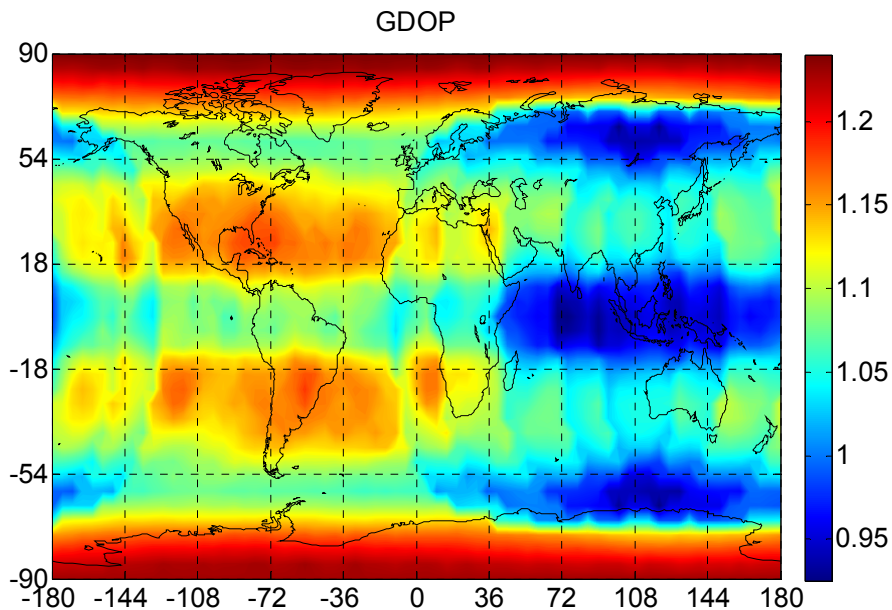


圖 4.34 全球 GPS+Galileo+GLONASS+Compass 的 GDOP 值

圖 4.35、4.36 與 4.37 所示為台灣區域 GPS+Galileo、GPS+Compass、Galileo+Compass 的內可靠度值。模擬時間設定為 2009 年 06 月 22 日 00 時 00 分至 24 時 00 分，觀測時間間隔設定為 300 秒，模擬點位坐標為東經 119 至 123 度，北緯 21 至 26 度，解析度設定為 1 度，仰角設定為 10 度。由成果吾人可得台灣區域 GPS+Galileo 衛星內可靠度值為 2.058 至 2.07，GPS+Compass 為 2.006 至 2.012，Galileo+Compass 為 1.994 至 2.003。

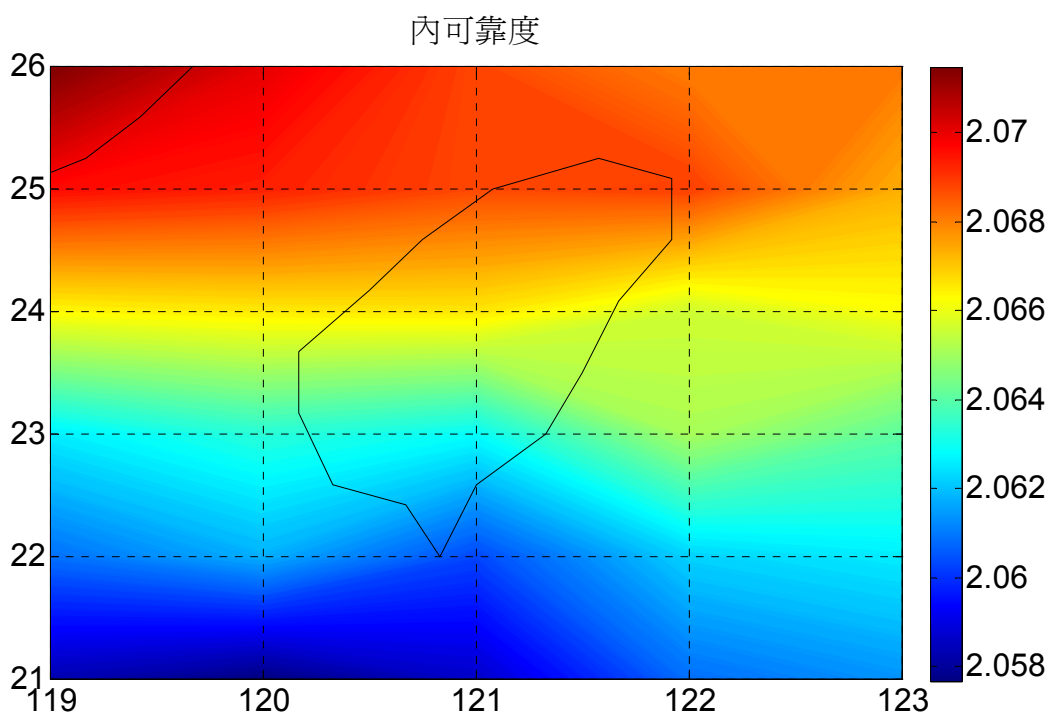


圖 4.35 台灣區域 GPS+Galileo 內可靠度值

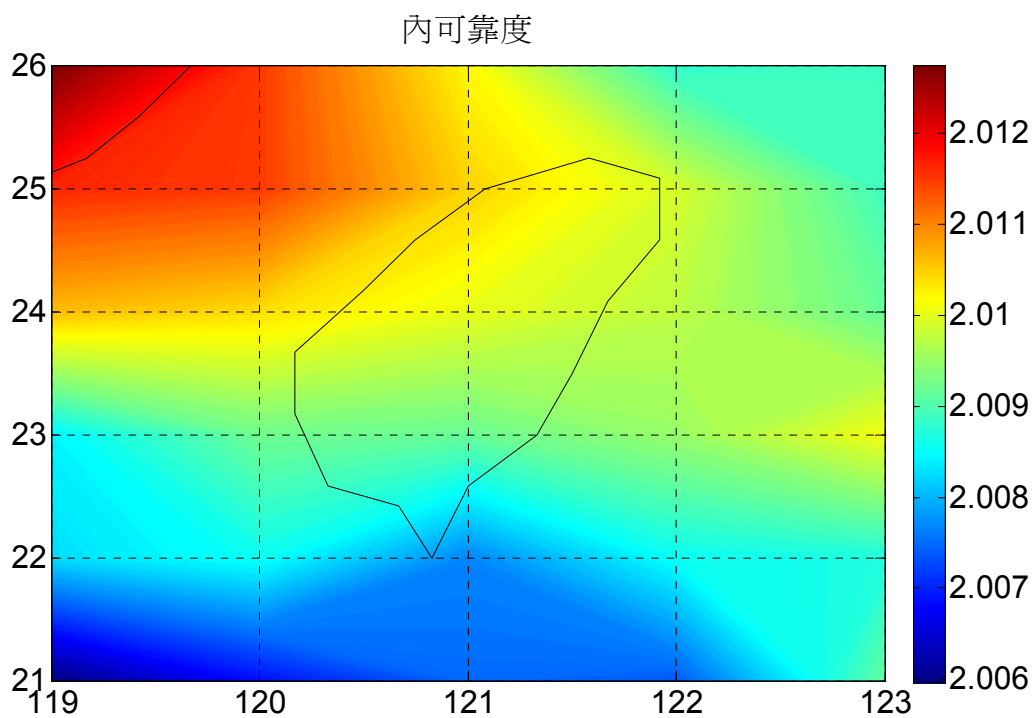


圖 4.36 台灣區域 GPS+Compass 內可靠度值

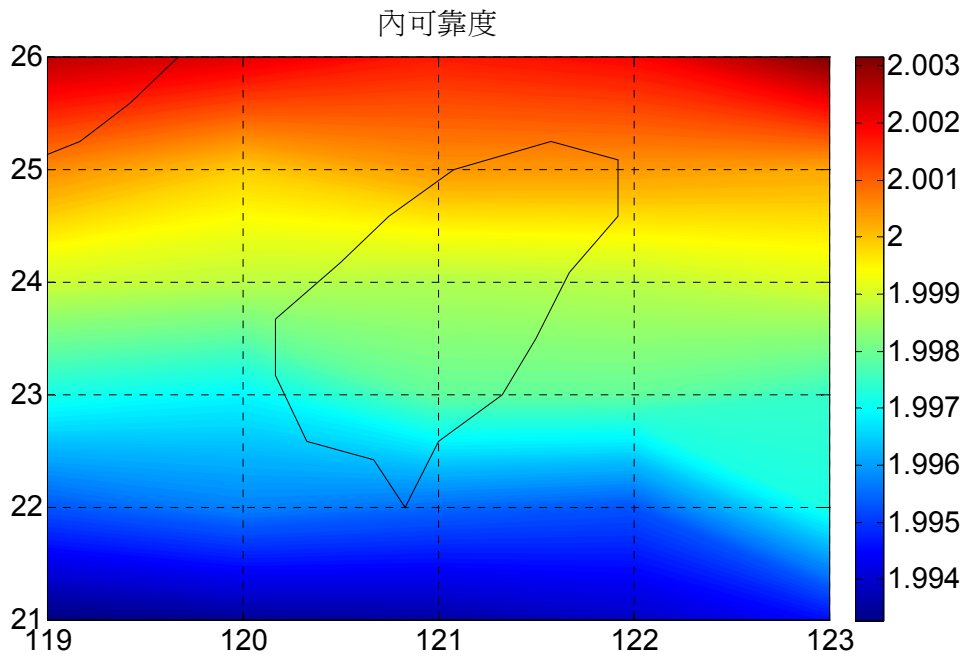


圖 4.37 台灣區域 Galileo+Compass 內可靠度值

圖 4.38、4.39 與 4.40 所示為台灣區域 GPS+Galileo、GPS +Compass、Galileo+Compass 的外可靠度值。模擬時間設定為 2009 年 06 月 22 日 00 時 00 分至 24 時 00 分，觀測時間間隔設定為 300 秒，範圍為東經 119 度至 123 度，北緯 21 度至 26 度，解析度設定為 1 度，仰角設定為 10 度。由成果吾人可得台灣區域 GPS+Galileo 外可靠度值約為 0.316 至 0.328，GPS+Compass 約為 0.216 至 0.225，Galileo+Compass 約為 0.182 至 0.192 左右。

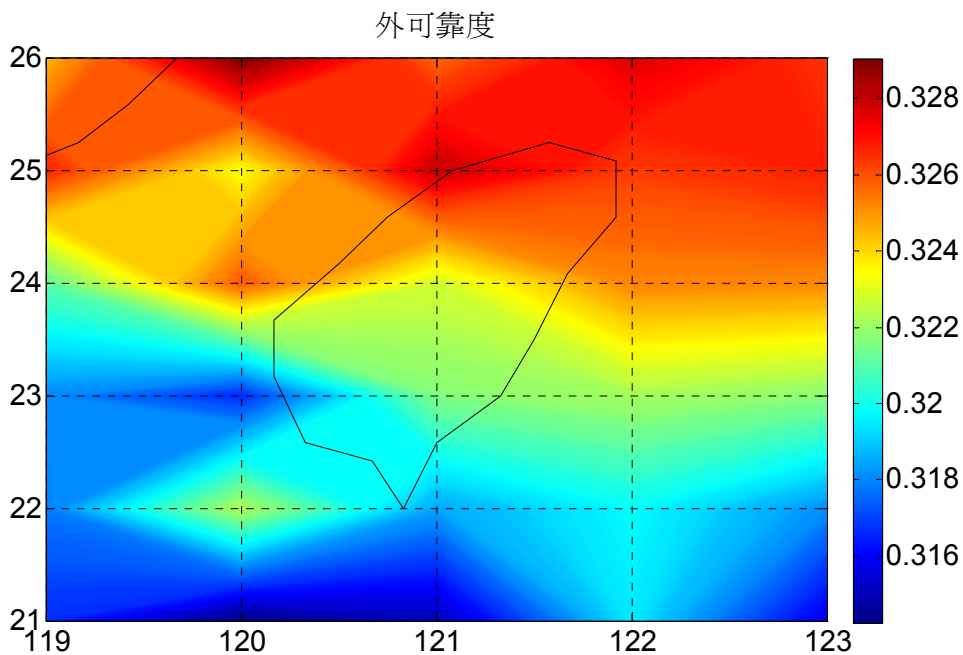


圖 4.38 台灣區域 GPS+Galileo 外可靠度值

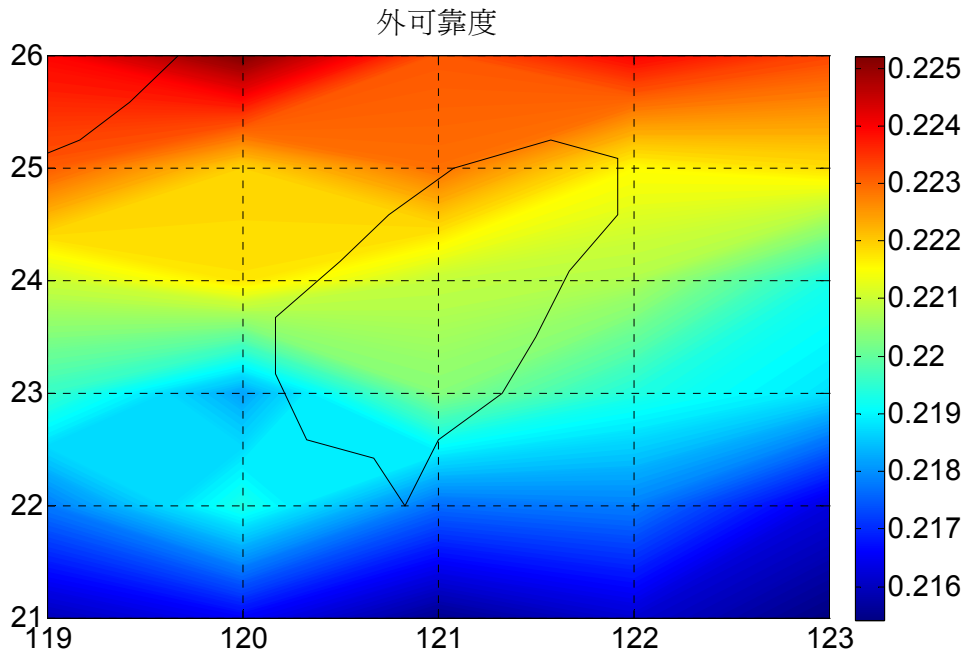


圖 4.39 台灣區域 GPS+Compass 外可靠度值

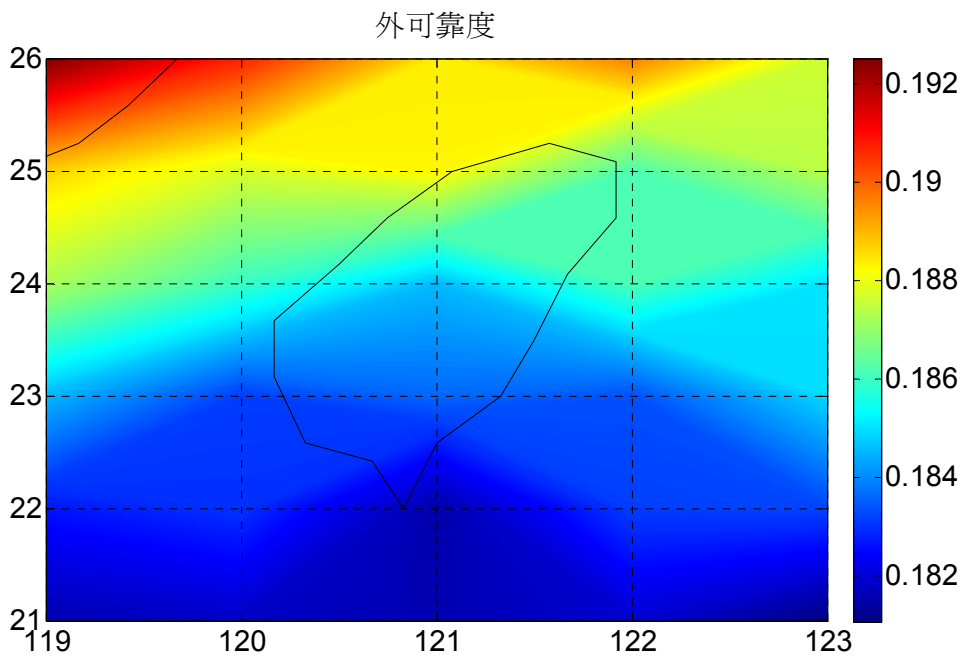


圖 4.40 台灣區域 Galileo+Compass 外可靠度值

圖 4.41、4.42、4.43 與 4.44 所示為單點 GPS+Galileo+GLONASS、GPS+GLONASS+Compass、GPS+Galileo+Compass、Galileo+GLONASS+Compass 之衛星可視數量。模擬時間設定為 2009 年 06 月 22 日 00 時 00 分至 24 時 00 分，觀測時間間隔設定為 300 秒，模擬點位坐標為東經 121 度，北緯 23 度，解析度設定為 1 度，仰角設定為 10 度。由成果吾人可得模擬單點

GPS+Galileo+GLONASS 之衛星可視數量為 16 至 27 顆，GPS+GLONASS+Compass 為 23 至 34 顆，GPS+Galileo+Compass 為 26 至 39 顆，Galileo+GLONASS+Compass 為 21 至 35 顆。

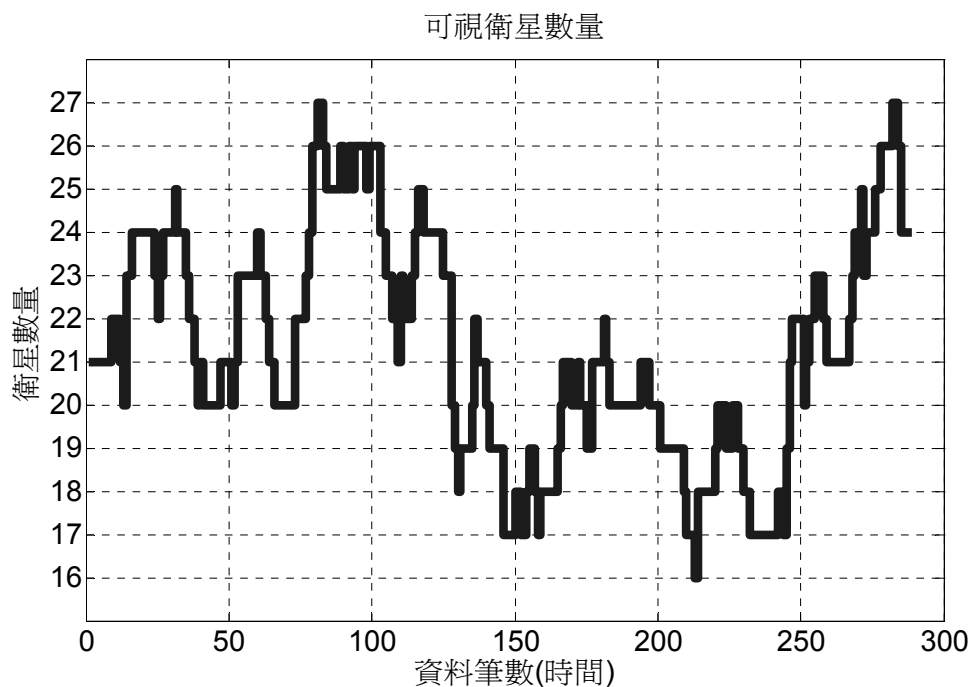


圖 4.41 單點 GPS+Galileo+GLONASS 衛星可視數量

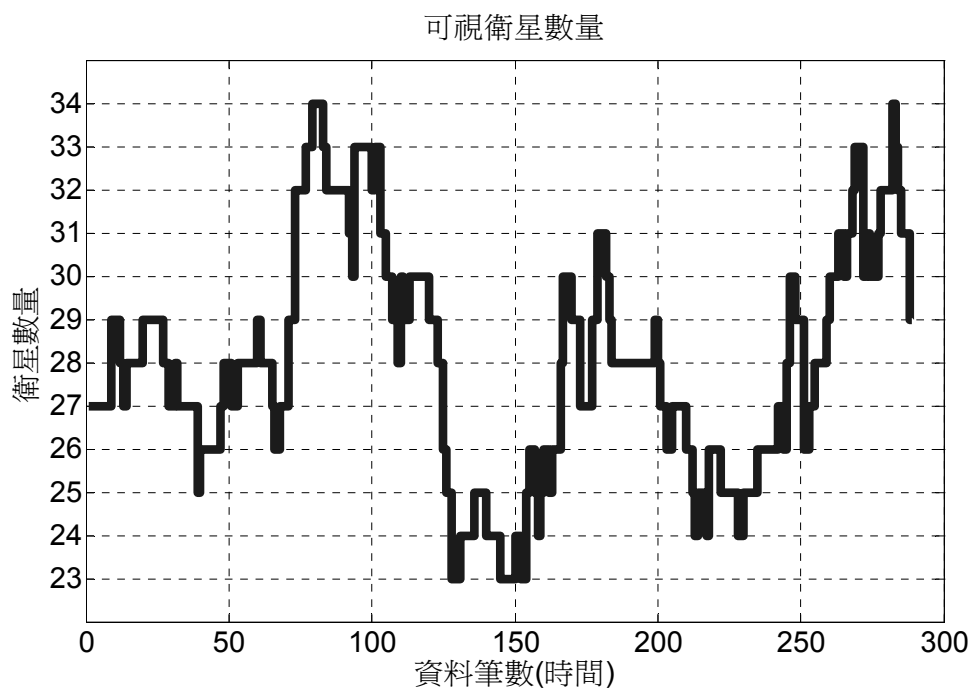


圖 4.42 單點 GPS+GLONASS+Compass 衛星可視數量。

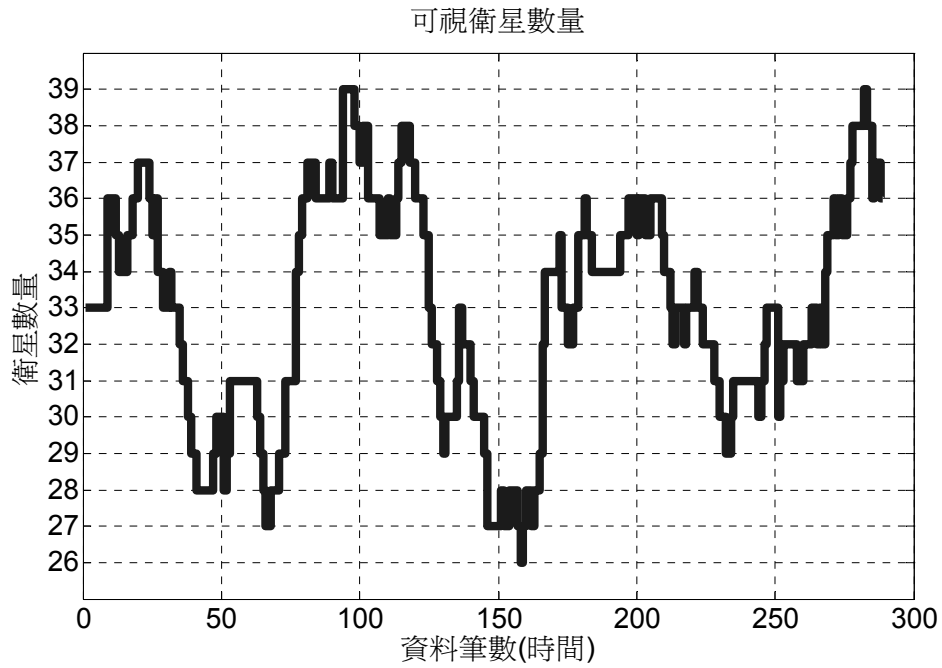


圖 4.43 單點 GPS+Galileo+Compass 衛星可視數量。

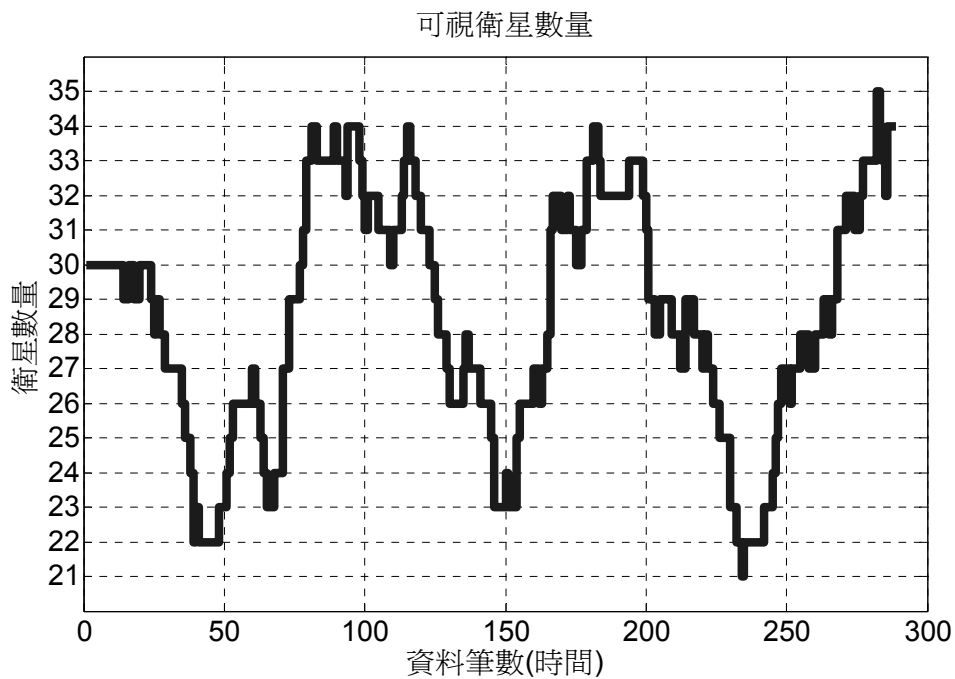


圖 4.44 單點 Galileo+GLONASS+Compass 衛星可視數量。

圖 4.45 與 4.46 分別顯示單點 GPS+Galileo+GLONASS+Compass 的 PDOP 與 GDOP 值。模擬時間設定為 2009 年 06 月 22 日 00 時 00 分至 24 時 00 分，觀測時間間隔設定為 300 秒，模擬點位坐標為東經 121 度，北緯 23 度，解析度設定為 1 度，仰角設定為 10 度。由成果吾人可得模擬單點四個系統的 PDOP 值約為 0.7294 至 1.12，GDOP 值約為 0.855 至 1.33 左右。

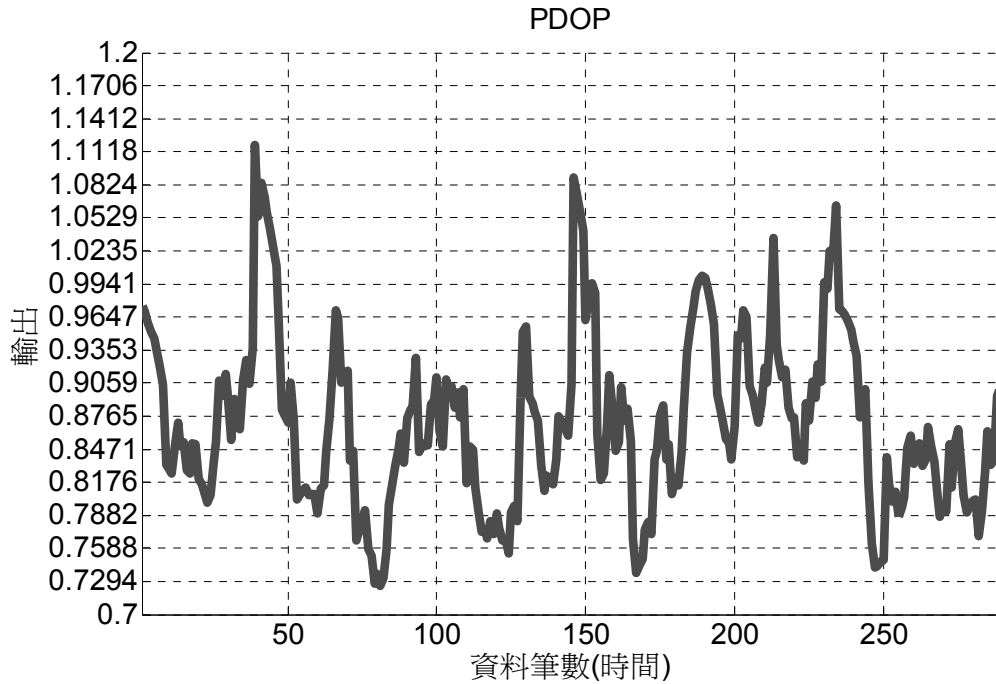


圖 4.45 單點 GPS+GLONASS+Galileo+Compass 的 PDOP 值

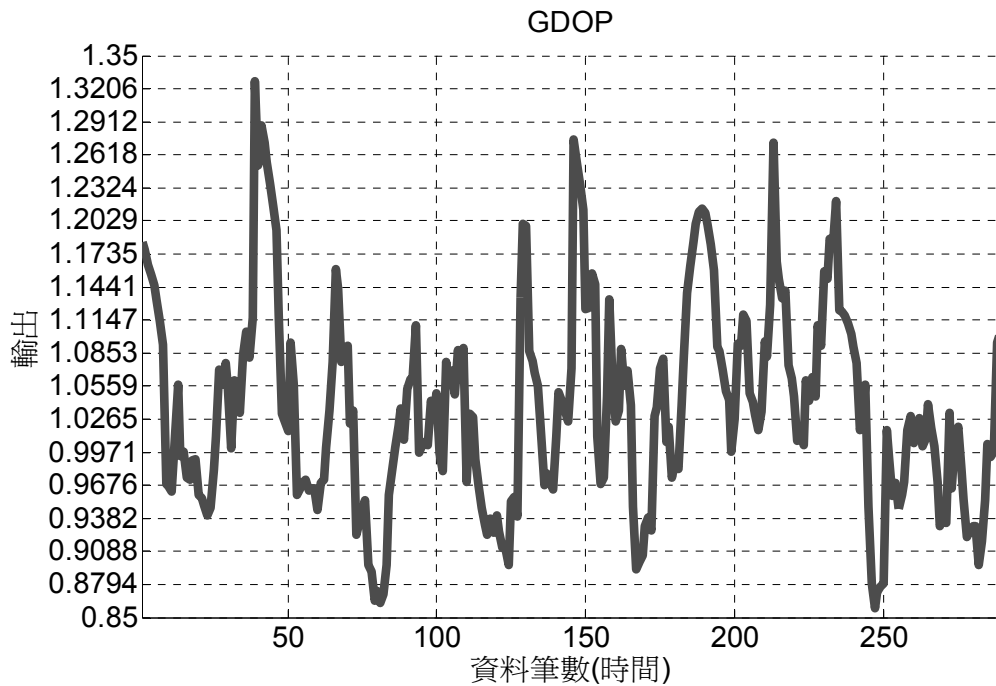


圖 4.46 單點 GPS+GLONASS+Galileo+Compass 的 GDOP 值

圖 4.47、4.48、4.49 與 4.50 分別為全球 GPS、GPS+Galileo、GPS+GLONASS+Galileo、GPS+GLONASS+Galileo+Compass 衛星動態軌跡。模擬時間設定為 2009 年 06 月 22 日 00 時 00 分至 24 時 00 分，每 1800 秒為間隔輸出。由於電腦硬體設備計算時間效率，因此各系統只選用 2 顆衛星輸出。

06/22/2009 衛星動態軌跡

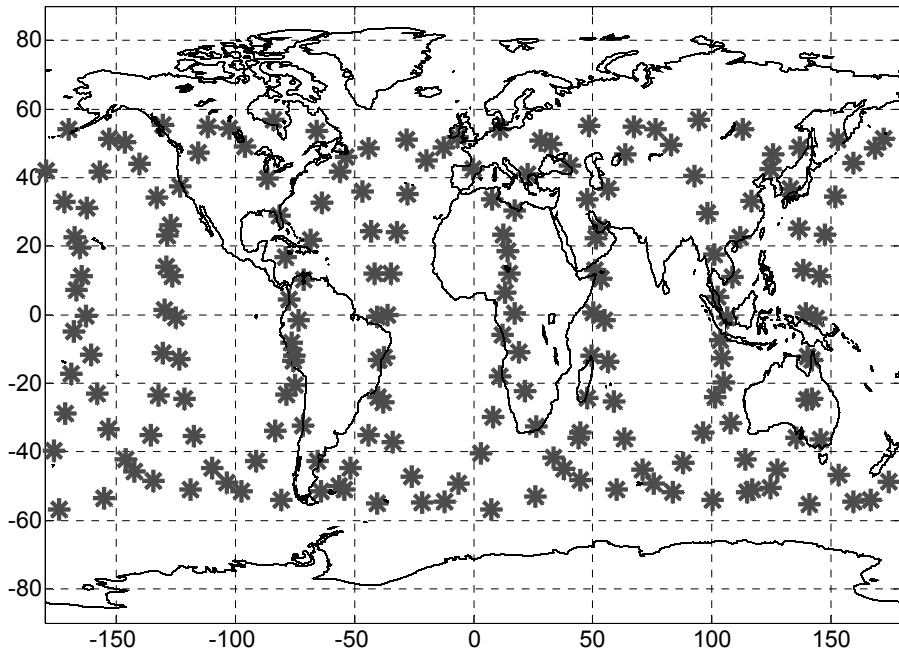


圖 4.47 全球 GPS 衛星動態軌跡

06/22/2009 衛星動態軌跡

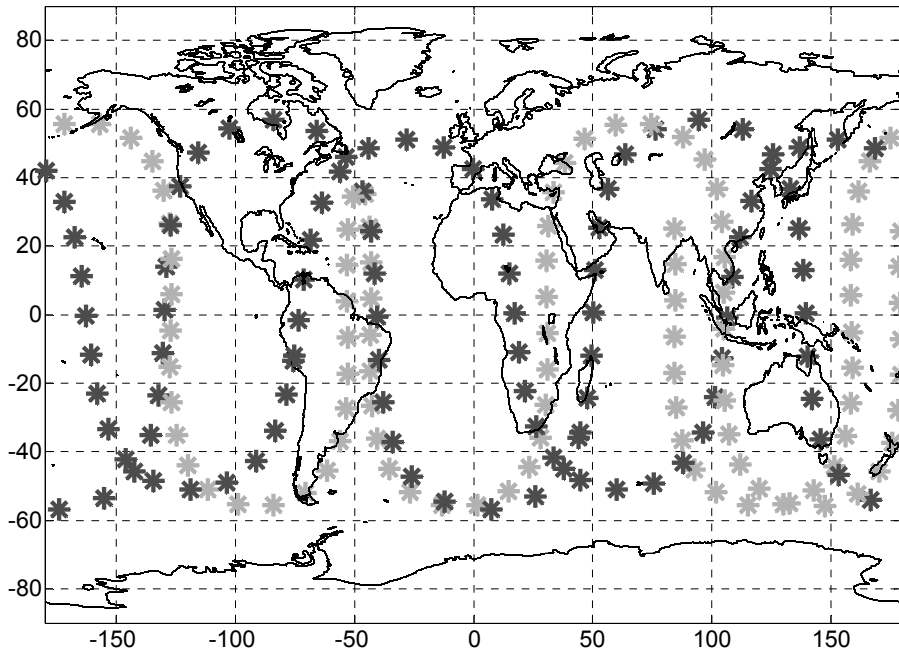


圖 4.48 全球 GPS+Galileo 衛星動態軌跡

06/22/2009 衛星動態軌跡

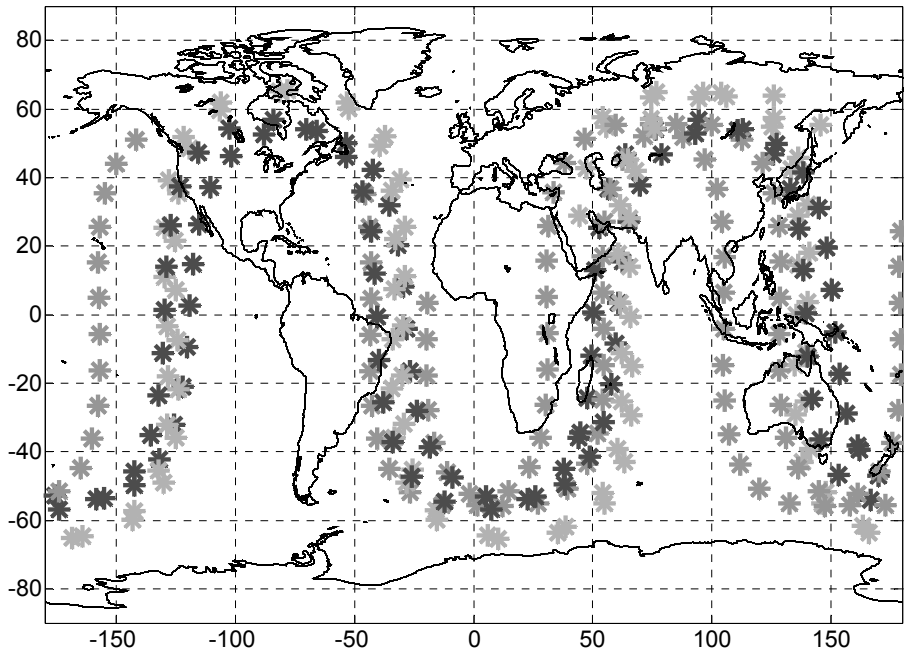


圖 4.49 全球 GPS+GLONASS+Galileo 衛星動態軌跡

06/22/2009 衛星動態軌跡

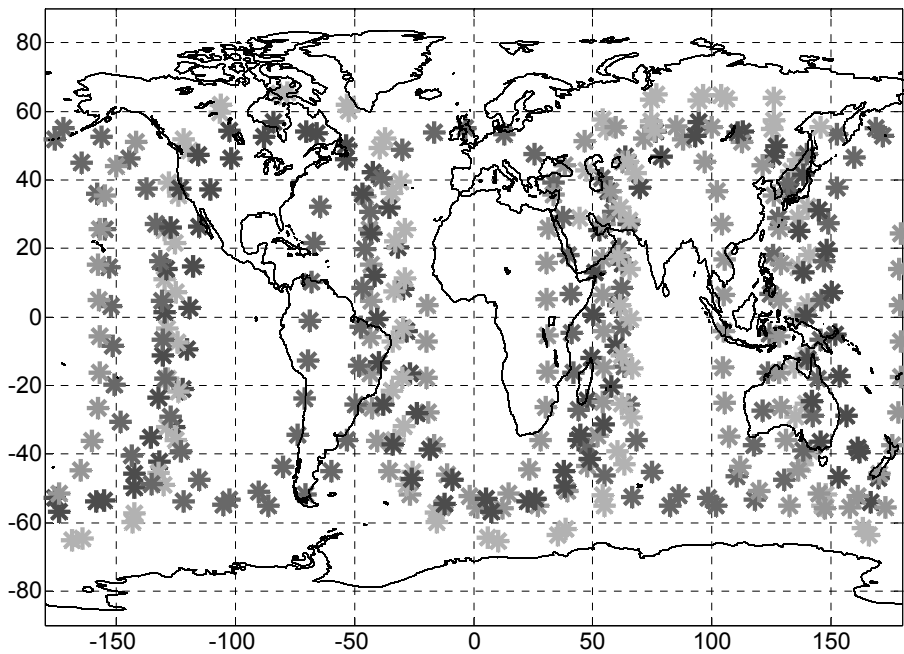


圖 4.50 全球 GPS+GLONASS+Galileo+Compass 衛星動態軌跡

圖 4.51、4.52、4.53 與 4.54 分別為單點之 GPS、GPS+Galileo、GPS+GLONASS+Galileo、GPS+GLONASS+Galileo+Compass 衛星動態軌跡。模擬時間設定為 2009 年 06 月 22 日 00 時 00 分至 02 時 00 分，每 300 秒為間隔輸出，模擬點位坐標為東經 121 度，北緯 23 度。由於軟體輸入的限制，GLONASS 於命名時，衛星編號於百位數加上 1；Galileo 於命名時，衛星編號於百位數加上 2；Compass 於命名時，衛星編號於百位數加上 3 代替。

使用者於經度 121 度, 緯度 23 度可視衛星飛行軌跡

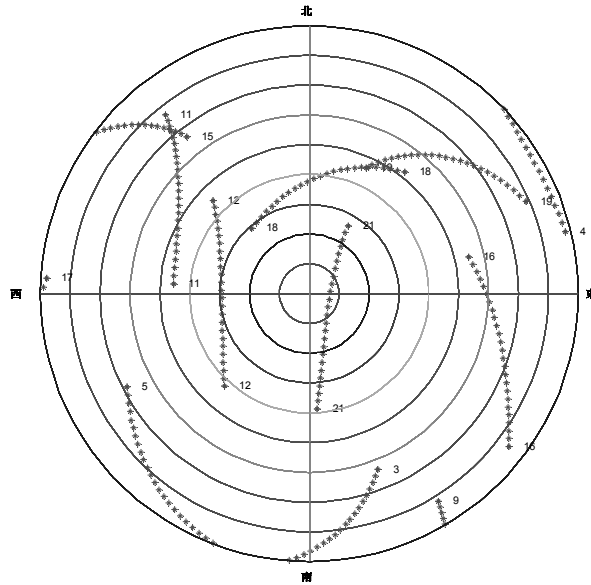


圖 4.51 單點 GPS 衛星動態軌跡

使用者於經度 121 度, 緯度 23 度可視衛星飛行軌跡

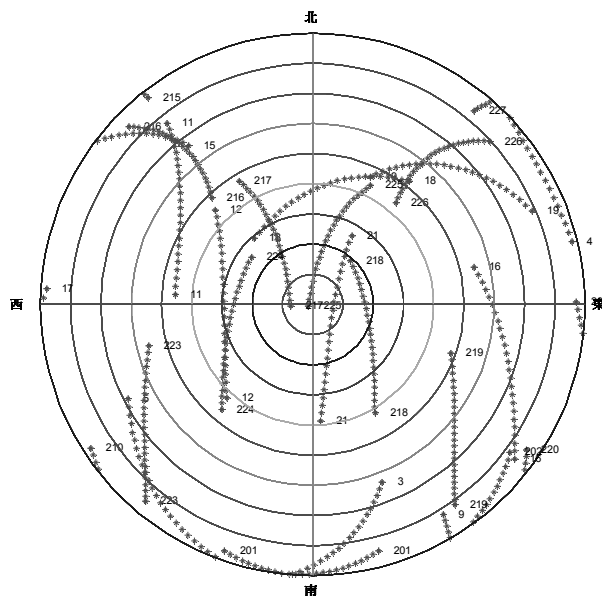


圖 4.52 單點 GPS+Galileo 衛星動態軌跡

§ 4.6 模擬系統誤差及延遲量展示

以下為產生模擬觀測量時，選擇不同的系統誤差設定，加入的系統誤差延遲量成果展示，模擬時間為 2009 年 06 月 22 日 20 時 00 分 00 秒到 20 時 05 分 00 秒，觀測時間間隔為 1 秒，衛星遮仰角為 10 度，測站一(主站)坐標位置為北緯 22 度 59 分 55.1283 秒、東經 120 度 13 分 12.0837 秒、高程 61.1641 公尺，測站二(測站)坐標位置為北緯 22 度 59 分 57.3906 秒、東經 120 度 13 分 10.3395 秒、高程 44.5672 公尺，選擇系統為 GPS 系統。圖 4.55 與 4.56 所顯示為電離層 Klobuchar 模型的延遲量、圖 4.57 與 4.58 所顯示為電離層 IGS 球諧網格模型的延遲量、圖 4.59 與 4.60 所顯示為電離層台灣球諧網格模型的延遲量、圖 4.61 所顯示為對流層修正 Hopfield 模型(MHM)的延遲量、圖 4.62 所顯示為具備台灣地區空間相關特性之 MHM 對流層延遲量、圖 4.63 所顯示為 GPS 與 Galileo 系統軌道誤差的延遲量。

電離層與對流層計算出的天頂位置延遲量，乘上映射函數即為路徑延遲量。然而衛星在不同時間相對於同一測站位置，仰角連續性的改變，從成果可得延遲量會呈現連續性的變化。但電離層選用球諧網格模型時有部分不連續性的情況發生，原因為穿透點位置的改變，產生內插計算時選用點位的不同，即穿透點位置原位於某一網格點內，隨著衛星的移動，穿透點位置移動到另一網格點內，因此延遲量產生不連續的情況。

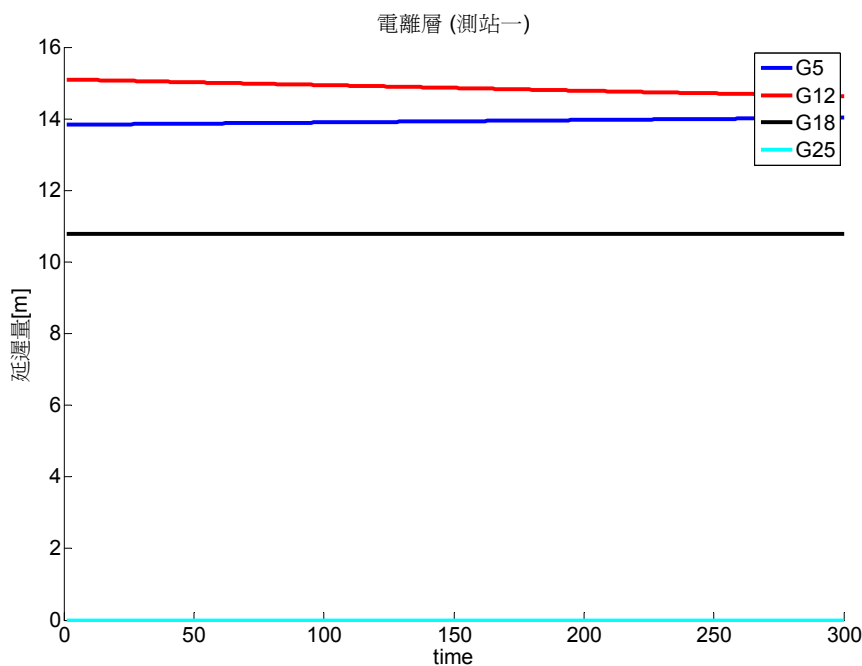


圖 4.55 測站一 Klobuchar 模型的電離層延遲量

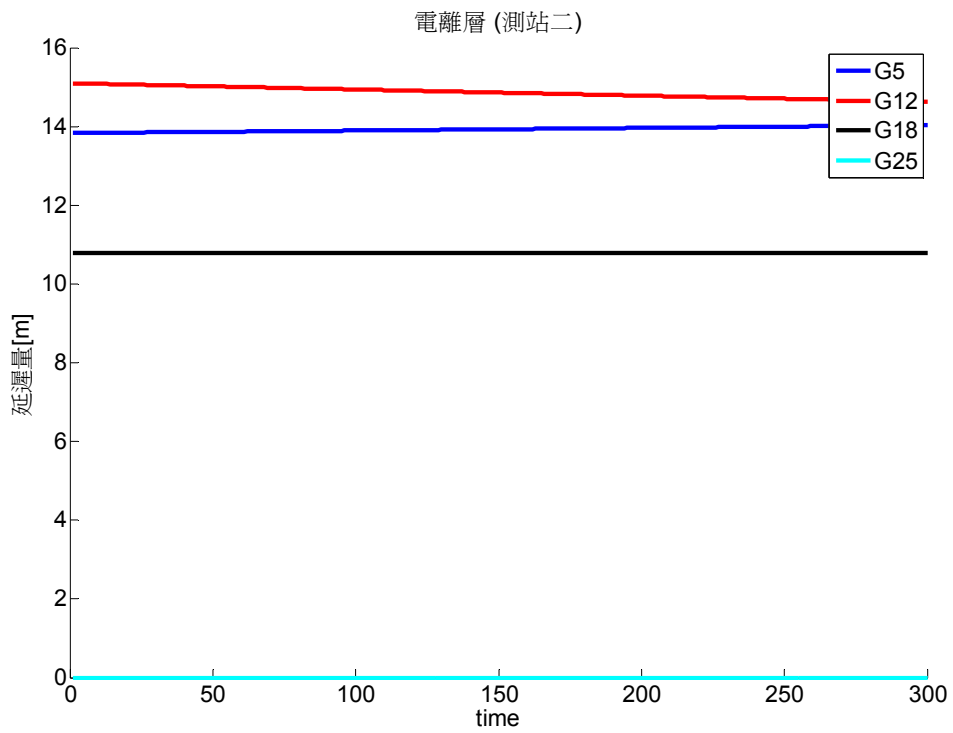


圖 4.56 測站二 Klobuchar 模型的電離層延遲量

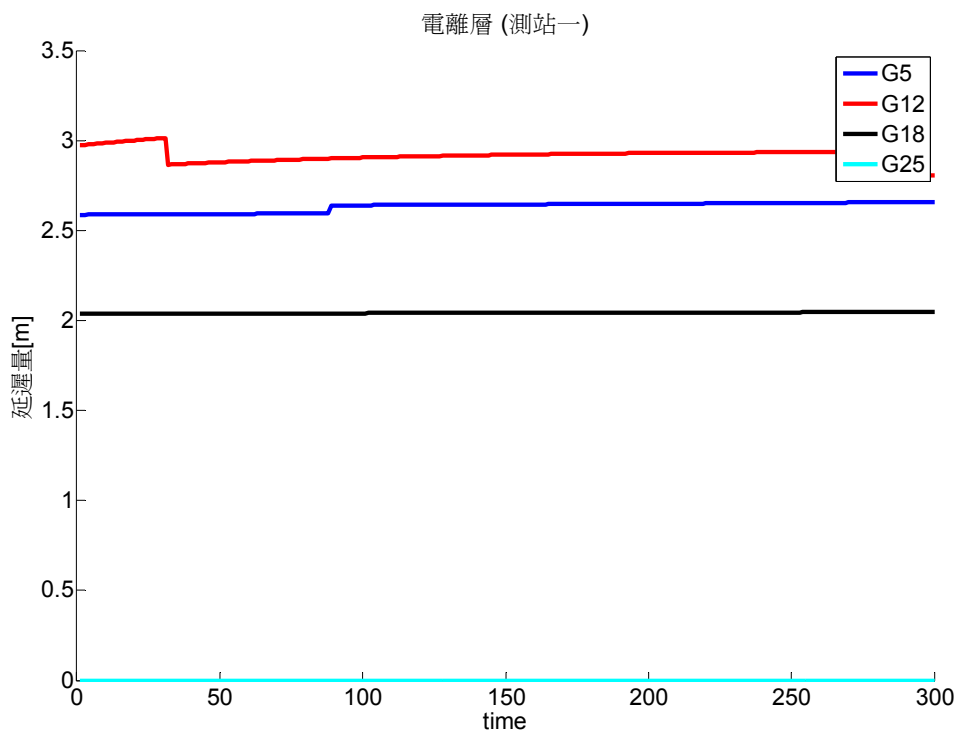


圖 4.57 測站一 IGS 球諧網格模型的電離層延遲量

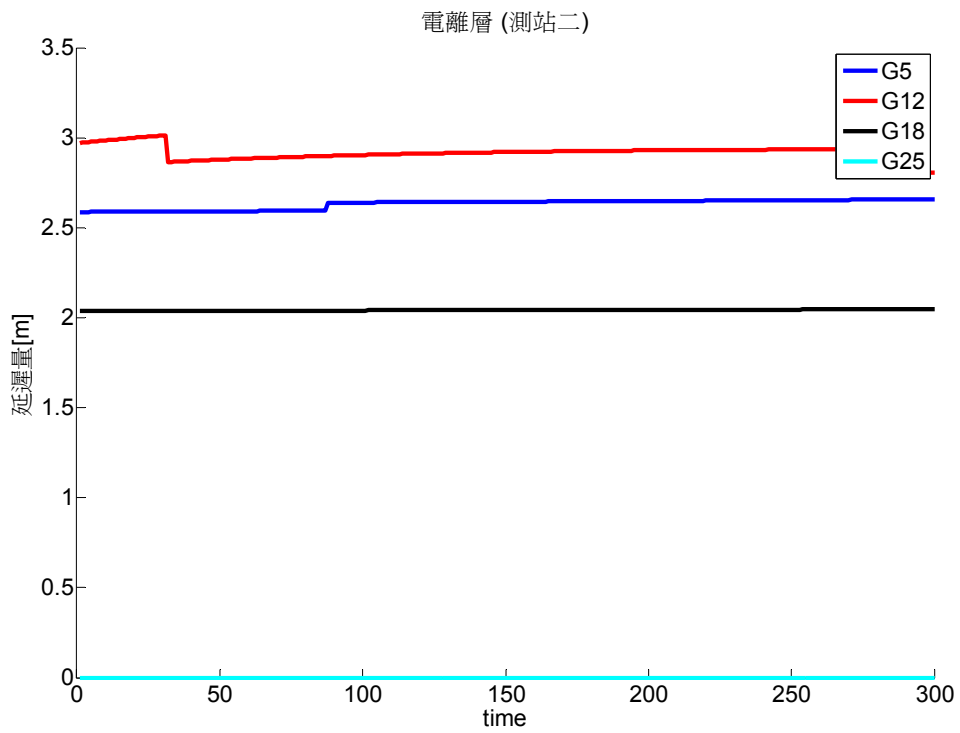


圖 4.58 測站二 IGS 球諧網格模型的電離層延遲量

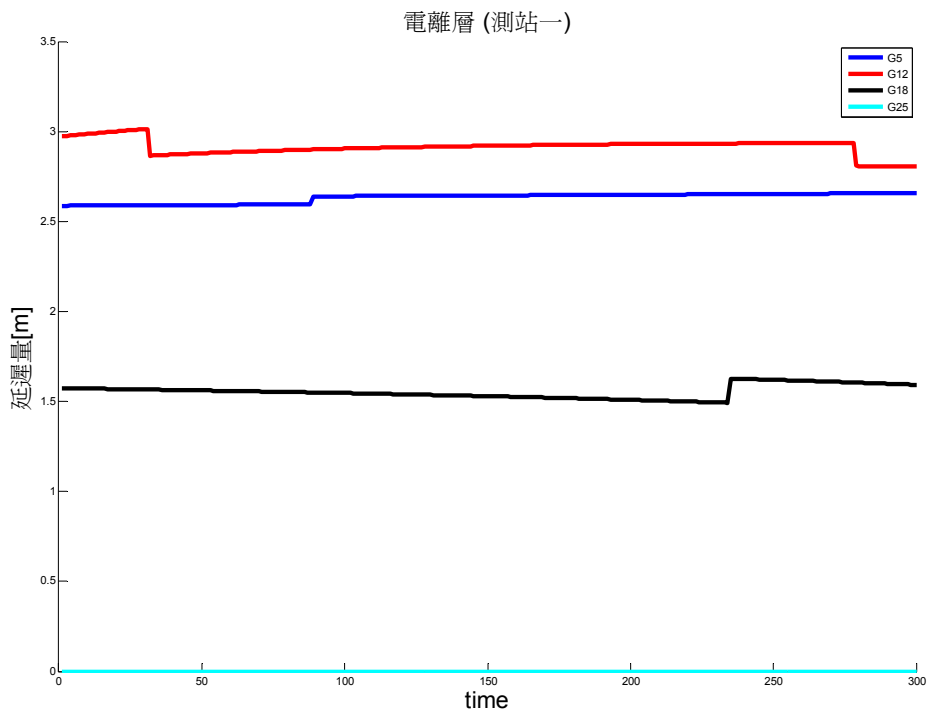


圖 4.59 測站一台灣球諧網格模型的電離層延遲量

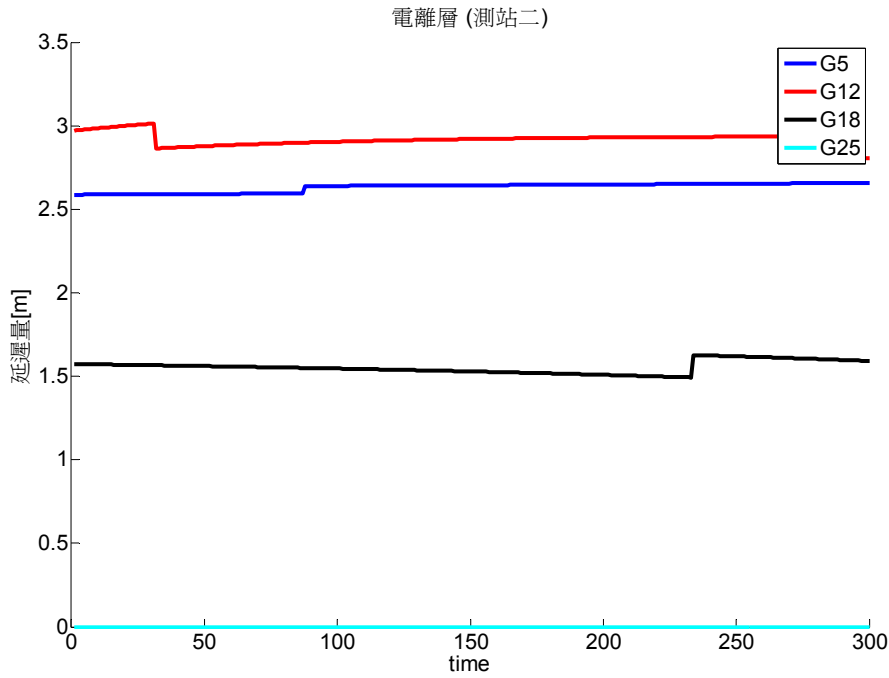


圖 4.60 測站二台灣球諧網格模型的電離層延遲量

圖 4.55、圖 4.57 與圖 4.59 中顯示對於同一測站而言，不同模式電離層延遲差異甚大，延遲量由 10-15m (Klobuchar) 改變為 2-3m (IGS 球諧或台灣球諧)。此原因乃為 Klobuchar 模型為廣播星曆提供之模型，其精度較低，故其誤差量級與 IGS 球諧或台灣球諧模型之差異較大。反之，對於同一測站而言 IGS 球諧或台灣球諧模型所模擬之電離層延遲較為一致。

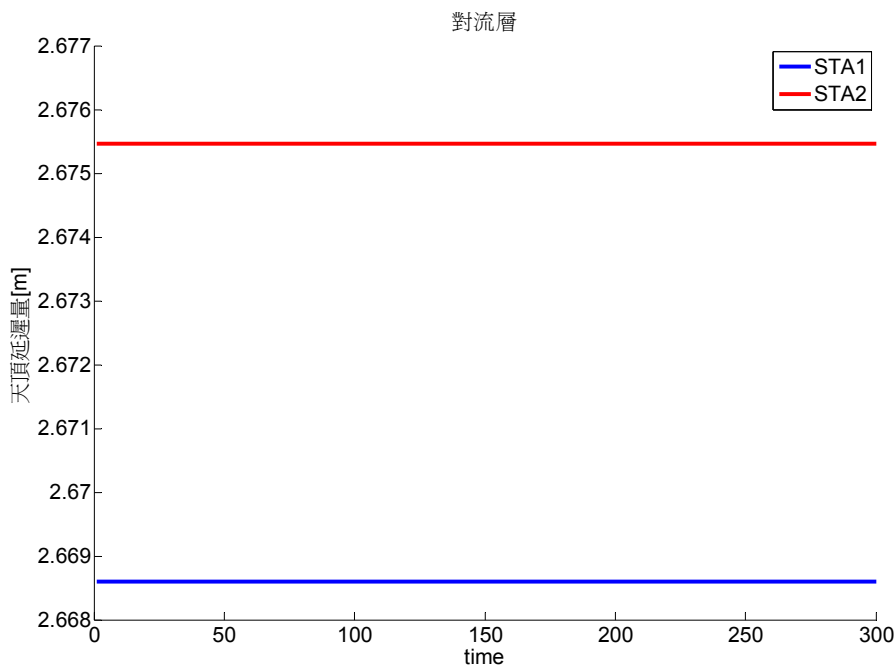


圖 4.61 測站一、二的修正 Hopfield 模型(MHM)對流層延遲量

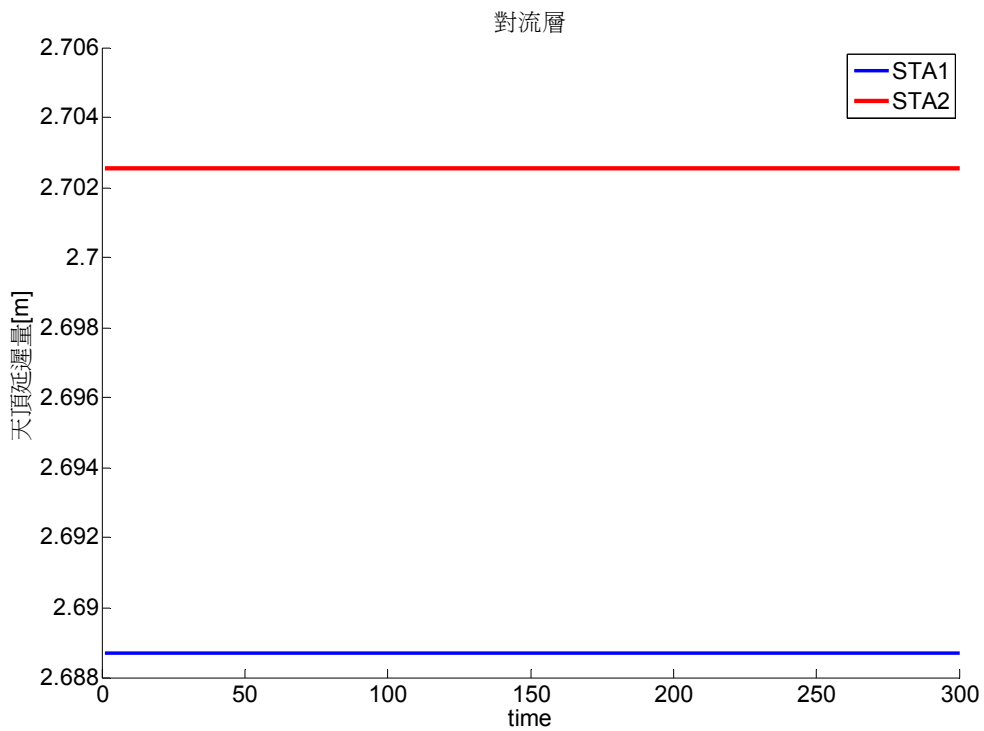


圖 4.62 測站一、二的具備台灣地區空間相關性之MHM 對流層延遲量

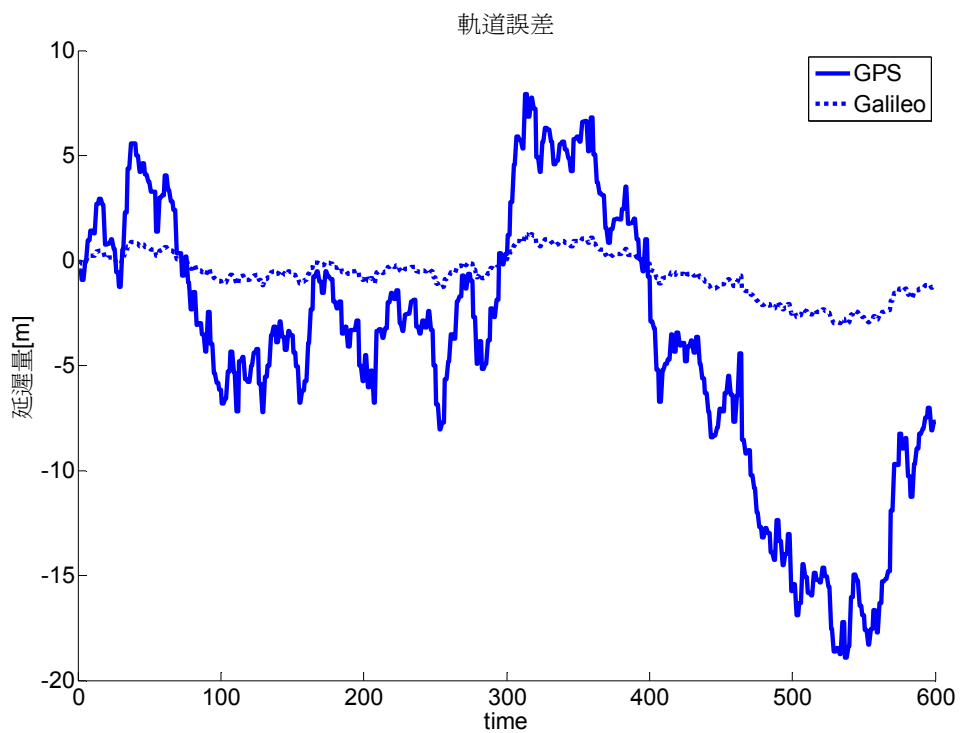


圖 4.63 以一階高斯馬可夫模型產生的軌道誤差量(表現於距離延遲量)

第五章 開發精密單點定位 (PPP) 軟體

傳統的 GPS 的電碼單點定位 (Single Point Positioning, SPP) 精度僅能達到公尺級，很難滿足高精度定位的要求。因此利用載波相位觀測量進行差分的作法應運而生，藉由差分的方式可以消除或消除大部分的接收儀時鐘差、衛星時鐘差、對流層延遲……等影響，並可以達到公分級的高精度。因此載波相位差分定位的方法在高精度靜態測量領域獲得肯定。不過，它需要建立基準站和移動站，且受限於基準站與移動站的作業距離影響，導致精度不均勻的影響，也直接衝擊了 GPS 定位的作業效率與精度。

精密單點定位 (Precise Point Positioning, PPP) 是利用高精度的 GPS 衛星星曆和衛星時鐘差，以及單台接收儀的雙頻載波相位觀測值進行定位，此一觀念最初是由噴射推進實驗室 (Jet Propulsion Laboratory, JPL) Zumberge 等人 (1997) 所提出，並在他們所開發的數據處理軟體上與以實現。而 PPP 定位方法僅利用單台接收儀即可在全球範圍內進行靜態或動態定位作業，再利用國際 GNSS 服務組織 (International GNSS Service, IGS) 所提供的精密星曆，實現了全球都可以使用高精度定位結果。IGS 之觀測網如圖 5.1 所示。因此，精密單點定位在現在高精度的測量工程和動態高精度的導航定位都具有無可限量的應用前景。隨著 GLONASS、Galileo 與 Compass 等 GPS 之外的全球導航定位系統相繼投入，因此可以預見未來精密單點定位在 GPS 導航定位領域上，帶來一次新的技術革命。



2008 Feb 25 16:52:47

圖 5.1 IGS 之觀測網

(摘自 <http://igsceb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html>)

GPS 精密單點定位技術相較於傳統差分定位技術具有顯著的優勢。第一，過去許多 GPS 用戶需要通過其他高精度靜態數據處理軟體，並同永久 IGS 追蹤站進行較長時間的聯測才能獲取高精度的 ITRF 起算坐標；且對許多具有需求的人來說，能夠熟悉高精度軟體的處理並非易事；現在商用軟體也僅能處理數十公里以內的基線。採用精密單點定位就可以解決上述問題 (Kouba and Héroux, 2000)。

IGS 有許多不同的數據處理中心，每天處理全球幾十個甚至幾百個永久 GPS 追蹤站的數據，計算並發佈高精度的衛星軌道和衛星鐘表產品 (Parkinson and Spilker, 1996)。即用戶可以直接利用 IGS 的產品，基於精密單點定位技術就可以實現在 ITRF 框架下的高精度。第二，採用精密單點定位可以大大降低用戶購買接收儀的成本，因為精密單點定位技術只需要單台接收儀就可以實現高精度的靜態或動態定位。且在未來 Galileo 與現有正在進行現代化的俄國 GLONASS 與快速發展中的中國 Compass 等系統，空中也就多了精密單點定位可運用的衛星，將大大提升精密單點定位的精度和可靠性。此外，由於精密單點定位是基於非差分模型，沒有在衛星間求差，所以在多系統組合定位中，處理過程比二次差分模型簡單，沒有觀測值間求差，模型中保留了所有的信息，這對於從事大氣、氣象和潮汐等相關領域的研究也具有優勢。

目前國外導航及動態定位領域相關之產學界對於 PPP 技術的發展與相關應用之推廣。美國導航學會所主辦之 GNSS 年會亦曾於 2003 及 2004 年連續二年提供 PPP 之議程；如此足見該技術發展之重要性。加拿大 NovAtel 公司針對 PPP 技術進行五次空載系統之動態定位所做之測試；結果顯示其三維定位之均方根誤差(與導航級 INS/GPS 定位系統搭配載波相位差分定位所產生達 5 公分級精度的動態軌跡相較)可達 5 公分。在靜態定位測試方面亦利用 IGS 之追蹤站資料進行 24 小時觀測資料之計算；與已知檢核坐標相較之下其 3 維精度可達 2 公厘至 5 公厘。詳細資料請參考該公司網站。

故本年度擬研究無差分精密單點定位技術與理論；分析實現該技術所面臨之挑戰，並研究相關參數估計、誤差隨機模型求定、精密衛星時鐘差求定、無差分精密定位資料之預處理。同時並討論使用 IGS 後處理精密星曆與時鐘差及即時精密單點定位模型。唯受限於即時精密星曆之取得不易(付費)，本年度所發展之精密單點定位程式只侷限於使用 IGS 後處理精密星曆與時鐘差。相關的研究重點請見後續之章節。

§ 5.1 無差分精密單點定位數學模型

經過這幾年的發展，常用的 PPP 數學模型可列舉如下：

1. 傳統模型；使用雙頻載波相位與虛擬距離觀測量根據公式 (5.1) 與 (5.3) 所組成之無電離層模型 (Zumberg *et al.*, 1997)，其公式簡化如下：

$$\begin{aligned} P_{IF} &= \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} p_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} p_2 = \rho + cdl + d_{trop} + \varepsilon(p_{IF}) \\ \Phi_{IF} &= \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_2 = \rho + cdl + d_{trop} + B_{IF} + \varepsilon(\Phi_{IF}) \end{aligned} \quad (5.1)$$

其中 P_{IF} 為虛擬距離 P_1 與 P_2 之無電離層線性組合； Φ_{IF} 為載波相位 Φ_1 與 Φ_2 無電離層線性組合； f_1^2 為載波頻率； $B_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_1 N_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_2 N_2$ 為無電離層組合之週波未定值； $\varepsilon(P_{IF})$ 與 $\varepsilon(\Phi_{IF})$ 分別為虛擬距離及載波相位觀測量之觀測量雜訊及未被模型化的誤差。

2. U of C 模型；加拿大卡加利大學空間資訊工程系所發展之模型 (Shen and Gao, 2002)。該模型與傳統模型不太一樣；除了採用無電離層相位組合外亦採用 L1 與 L2 二個頻率的電碼與相位的平均形式組合，如此的組合亦有降低電離層效應之功效。相關的公式列舉如下：

$$\begin{aligned} P_{IFL1} &= \frac{1}{2}(p_1 + \Phi_1) = \rho + cdl + d_{trop} + \frac{1}{2} \lambda_1 N_1 + \varepsilon(p_{IFL1}) \\ P_{IFL2} &= \frac{1}{2}(p_2 + \Phi_2) = \rho + cdl + d_{trop} + \frac{1}{2} \lambda_2 N_2 + \varepsilon(p_{IFL2}) \\ \Phi_{IF} &= \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_2 = \rho + cdl + d_{trop} + B_{IF} + \varepsilon(\Phi_{IF}) \end{aligned} \quad (5.2)$$

其中 P_{IFL1} 與 P_{IFL2} 分別為 L1 與 L2 二個頻率上虛擬距離與載波相位組合之觀測量； Φ_{IF} 為載波相位 Φ_1 與 Φ_2 無電離層線性組合； $\varepsilon(P_{IFL1})$ 、 $\varepsilon(P_{IFL2})$ 與 $\varepsilon(\Phi_{IF})$ 分別為三種觀測量之觀測量雜訊及未被模型化的誤差。

3. 無週波未定值模型；與上述二種模型不同，此種模型採用無電離層虛擬距離組合觀測量與時刻差分的載波相位觀測量(對前後時刻的無電離層載波相位線性組合求差)。相關公式列舉如下：

$$\begin{aligned}
 P_{IF} &= \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} p_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} p_2 = \rho + cdl + d_{trop} + \varepsilon(p_{IF}) \\
 \Phi_{IF} &= \Phi_{IF}(i) - \Phi_{IF}(i-1) \\
 &= \rho(i) - \rho(i-1) + c(dl(i) - dl(i-1)) + d_{trop}(i) - d_{trop}(i-1) + \varepsilon(\Delta\Phi_{IF}) \quad (5.3) \\
 &= \Delta\rho + c\Delta dl + \Delta d_{trop} + \varepsilon(\Delta\Phi_{IF})
 \end{aligned}$$

為無電離層線性組合之時刻差分； $\Delta\rho$ 、 $c\Delta dl$ 與 Δd_{trop} 分別為二個相鄰時刻之幾何距離差、接收儀時鐘誤差與對流層延遲之差。觀測量之觀測量雜訊及未被模型化的誤差。 ε 為組合觀測量之觀測量雜訊及未被模型化的誤差。

到目前為止，傳統模型（見公式(5.1)）式三種模型中應用最廣泛的一種，然其在實際應用中也有不足之處。首先就由無電離層相位組合觀測值中的組合週波未定值只能以實數參數進行估計。故無法利用週波未定值的整數特性。未知參數的估值只能隨著觀測量的累積與幾何的變化逐步地區於收斂。其次，組合觀測值的雜訊被放大了。公式 (5.1) 中的觀測雜訊項皆為原始電碼和載波相位觀測量雜訊的 3 倍。雜訊越大，則收斂的位置誤差也越大，故計算過程中趨於收斂所需的時間也越長。

U of C 模型中的電碼和載波相位的這種組合不但可以消除一階電離層的影響，它還有效地降低組合觀測量中的雜訊。與原始的電碼觀測雜訊相比，組合觀測值的雜訊只有前者的一半，這點是相當重要的。如果觀測量雜訊與未被模型化的殘差之和越小，則未知參數的估計收斂越快，估值也越精確。此模型不同於傳統模型，其最大特點就是可以分別估計 L1 與 L2 之整數週波未定值，進行週波未定值的虛擬固定 (Ambiguity pseudo fixing)(Gao and Shen, 2001)，從而可以加速解算過程的收斂。

無週波未定值模型採用前後觀測時刻之相位差來消除初始相位週波未定值，如此可以有效地降低對電腦資源的需求。相位差觀測量只能求解位置差，而無法得到使用者的絕對位置解。可由電碼確定位置再由相位觀測量確定位置差，將每個時刻的位置和位置差組合起來即可獲得接收儀的動態軌跡。時刻相位差是針對同一顆衛星的二個相位觀測量來求差的，若前後時刻追蹤的衛星有改變，則

這些衛星的相位觀測值實際上沒被利用，從而造成觀測資料的使用率相對較低。此外，相位差觀測值雖消除了週波未定值參數，但卻增加觀測值間的數學相關性。實際應用的過程中，為了數據處理的方便，這種相關性一般是被忽略的。

綜上所述，此三種模型最主要的區別為週波未定值之處理策略，表 5.1 比較這三種模型之週波未定值處理策略、優點及缺點。

表5.1 三種PPP模型之比較

比較項目\模型	傳統模型	Uof C模型	無週波未定值模型
週波未定值之處理策略	迭代計算週波未定值之實數解	估計 L1 與 L2 之整數週波未定值，進行週波未定值的虛擬固定	無週波未定值求解
優點	簡單	雜訊變小，收斂速度快	處理速度快，無週波未定值求解問題
缺點	雜訊放大3倍，速度較慢	較耗資源	相關性，無法直接求得絕對坐標

本研究將以前二種模型為主發展無差分精密單點定位軟體。除此之外，本研究將針對無差分、一次差分、二次差分及三次差分之定位模型進行理論上的分析與比較。與其他差分定位技術相比，無差分定位模型具有可觀測值多、保留了所有觀測訊息、能直接得到測站站坐標、不同測站的觀測值不相關、測站之間的距離無限制等優點，但其不利之處及為參數眾多且無法透過差分的方法消除，此時得依賴嚴密的改正模式。

§ 5.2 無差分精密單點定位之參數估計

在無差分精密單點定位中，被估計之參數可分為二類；一為不變參數，如坐標及整數週波未定值；另一為隨機參數，如對流層延遲及時鐘差。所使用的最佳化推估工具除了最小二乘法之外亦引入卡曼濾波器之方法。在處理 GPS 數據時，除須考慮參數模型外亦需顧及其隨機模型。

在無差分精密單點定位之數據處理過程中，主要考慮對流層延遲及時鐘差之隨機模型。由於大氣層中水蒸氣分布隨時間不規則地變化，故其影響具備較大之隨機性。意即透過模型改正後仍有無法消除之殘差。這些殘差並非單純的白雜訊；事實上這些殘差可被認定為一系列時間相關的隨機過程的疊加，故對流層延遲之隨機模型可使用一階高斯馬可夫模型或是隨機遊走模型(Random walk)。

在差分相對定位中，一般可使用二次差分方式消除時鐘差之影響，故可以省略時鐘差之隨機模型。然而在精密單點定位中，時鐘差是當作未知參數處理，此時需顧及其隨機模型。可以採用多項式表示時鐘差變化及其漂移植，多項式的階數取決於時鐘的穩定度。因時鐘差變化較大，故須使用高階多項式，如此整個模型較為複雜。故亦可考慮使用白雜訊過程來描述時鐘差之隨機過程，此法較為簡單，且其等同於二次差分定位中消除時鐘差之方式。本年度將針對無差分精密單點定位之隨機參數估計方法進行理論的研究以利精密單點定位演算法之開發與軟體之發展。

§ 5.2.1 遞迴式最小二乘法

在測量、通訊與控制等領域中，為了決定某些參數，常常需要進行一系列的觀測。由於條件的限制，往往只能對未知量的某些函數進行觀測，且觀測一定含有雜訊。估計理論實際上就是根據一定的準則，利用這些受到雜訊污染的觀測值，對參數進行最佳化估計。參數最佳化估計可區分為參數估計和狀態估計。參數和狀態的基本區別在於前者隨時間保持不變或只發生緩慢變化，而後者是隨時間變化之時間變量，及隨機過程。故一般認定參數估計是靜態估計而狀態估計為動態估計。此二者之關係緊密，吾人可透過把靜態估計的方法與動態隨機過程之內不規律結合起來就可以得到動態估計方法。

關於隨機觀測量的處理方法可以追溯到高斯 (C. F. Gauss)。他在西元 1800 年左右提出了最小二乘法，並用於天體軌道之計算。到了 1940 年代，維納 (N. Wiener) 對於狀態估計問題做了大量的研究工作，他為了解決防空系統的問題推導出連續時間的平穩隨機過程。這些理論在控制與通訊等領域得到了廣泛的應用。但其理論不足之處在於求解複雜與無法即時處理。無法藉由觀測時間的增加而適應新的情況，不適用於向量和非穩態狀態之濾波。隨著空間定位技術的發展，這些推估工具就略顯不足。

到了 1960 代，卡曼 (R. E. Kalman) 首先採用狀態空間的概念，從而改變了對濾波問題的一般描述。它不是直接給出信號過程的二階特性或頻譜密度函數，而是把訊號過程視為在白色雜訊作用下一個線性系統之輸出，而此種輸入輸出之關係可用一個狀態方程式來描述。如此所研究的訊號可以是平穩的靜態隨機過程亦包含非穩態的向量隨機過程。從而克服了經典濾波的缺點。其次，卡曼將機率論與數理統計領域的新成果結合，提出了一種嶄新的線性遞迴式濾波方法。藉由此法，不需要儲存過去的觀測數據，當新的數據被觀測後，只要根據新的數據和前一時刻的狀態估值，借助於適當的狀態轉移矩陣，如此即可估計新的狀態。隨著觀測時間的增加，它可以適應新的情況並大量減少對計算機的儲存量與計算量，如此增加即時應用之潛力。

在精密單點定位之計算過程中會使用到遞迴式最小二乘法與卡曼濾波器等最佳化推估工具。最小二乘估計是測量數據處理基本的數學工具。最小二乘估計可以不考慮觀測值的任何統計特性，僅根據觀測值及其觀測數學模型即可確定參數：

$$f(x) = Ax = l + v \quad (5.4)$$

其中 x 為被估計參數， $f(x)$ 觀測模型， A 為係數矩陣， l 為觀測值， v 為觀測誤差。根據誤差平方和 $v^T v$ 最小準則估計出參數：

$$x = (A^T A)^{-1} l \quad (5.5)$$

若觀測值的變方-協變方矩陣 Q 已知，則可得參數的加權最小二乘估計解：

$$x = (A^T P A)^{-1} l \quad (5.6)$$

其中 $P = Q^{-1}$ 。

如果還已知參數的先驗變方-協變方矩陣 Q_x ，則可得參數的最小二乘估計：

$$x = (A^T P A + P_x)^{-1} l \quad (5.7)$$

$$P_x = Q_x^{-1} \quad (5.8)$$

對於 GPS 即時動態定位情況，還需考慮其計算所佔用的時間。因此，為簡化計算，可採用最小二乘估計遞迴算法：

$$P_{K+1} = P_K - P_K A_{K+1}^T (A_{K+1} P_K A_{K+1}^T + r_{K+1})^{-1} A_{K+1} P_K \quad (5.9)$$

$$\hat{X}_{K+1} = \hat{X}_K + P_{K+1} A_{K+1}^T r_{K+1}^{-1} (l_{K+1} - A_{K+1} \hat{X}_K) \quad (5.10)$$

相應的初值為

$$P_0 = (A_0^T r_0^{-1} A_0)^{-1} \quad (5.11)$$

$$\hat{X}_0 = P_0 A_0^T r_0^{-1} l_0 \quad (5.12)$$

式中 A_{k+1} 為第 $k+1$ 次觀測的系數矩陣

l_{k+1} 為第 $k+1$ 次觀測的觀測值

r_{k+1} 為第 $k+1$ 次觀測誤差變方矩陣

\hat{X}_{k+1} 為 $k+1$ 次觀測後的估值

P_{k+1} 為其相應的變方矩陣

可以看出，新的估計是由前 k 次觀測估計 \hat{X}_K 和根據新的觀測數據 l_{k+1} 對 \hat{X}_K 進行修正而得到 $k+1$ 次觀測後估計 \hat{X}_{K+1} ，這樣計算新的估計就不必儲存過去的測量數據，降低了對計算機資源的要求，而且大大提高了處理速度。若令

$$K_{K+1} = P_K A_{K+1}^T (A_{K+1} P_K A_{K+1}^T + r_{K+1})^{-1} \quad (5.13)$$

則

$$\hat{X}_{K+1} = \hat{X}_K - K_{K+1} (l_{K+1} - A_{K+1} \hat{X}_K) \quad (5.14)$$

$$P_{K+1} = [I - K_{K+1} A_{K+1}] P_K \quad (5.15)$$

以上即是遞迴最小二乘估計的計算公式。但一般最小二乘算法沒有考慮參數的狀態方程及狀態參數的先驗信息。若把狀態方程及狀態參數的先驗信息轉化為

相應的觀測方程，又存在狀態參數的每次實現都要作為未知參數，從而需要大量的甚至無法滿足的計算機內存。因此，需要考慮更有效的卡曼濾波算法。

§ 5.2.2 卡曼濾波器

物體的運動可以用兩種模型來表示，一種為動力 (Dynamic) 模型，它根據作用於物體上的作用力由牛頓第二運動定律來表示。另一種稱為動態(Kinematic)(狀態) 模型，它基於物體的運動狀態參數的變化來表達。利用最小二乘方法處理 GPS 數據的特點是模型簡單，無需了解 GPS 接收儀位置及各種誤差因子的狀態特徵。在 GPS 觀測中，不同時刻的觀測存在一定的相關關係，如未發生周跳情況下，整周未知數保持不變；對流層影響按一定的規律緩慢變化等等。最小二乘方法難以充分利用這些規律和相互關係。卡曼濾波是 1960 年由卡曼提出的一種線性最小變方估計。它引入了狀態空間估值。卡曼濾波具有如下特點：

- (1) 算法是遞推的，使用狀態空間法在時域內設計濾波器，所以卡曼濾波適用於對多維隨機過程估計。
- (2) 採用動態方程即狀態方程描述被估計量的動態變化規律，被估計量既可以是平穩的，也可以是非平穩的。

卡曼濾波器不但廣泛用於 GPS 動態定位，而且也可在靜態定位中應用。在靜態情況下，它相當於遞迴式平差。卡曼濾波器還常用於週波脫落檢測以及週波未定值分解。

假設線性離散系統的狀態方程和觀測方程為：

$$X_{K+1} = \Phi_{K+1,K} X_K + \Gamma_K W_K \quad (5.16)$$

$$z_{K+1} = H_{K+1} X_{K+1} + v_{K+1} \quad (5.17)$$

式中 X_K 為 n 維狀態向量

$\Phi_{K+1,K}$ 為 $n \times n$ 維的一步狀態轉移矩陣，它是一個具有以下性質的非異矩陣：

- (1) $\Phi_{K,K} = I$ ($n \times n$ 維單位矩陣)
- (2) $\Phi_{K+1,K} \Phi_{K,K+1}^{-1}$
- (3) $\Phi_{K+1,K} \Phi_{K,K-1} = \Phi_{K+1,K-1}$

Γ_K 為 $n \times p$ 維動態雜訊驅動矩陣

w_K 為 p 維系統動態雜訊向量， $\{w_K\}$ 為零均值白雜訊序列，即

$$E\{w_K\} = 0 \quad (5.18)$$

$$E\{w_K \bullet w_i^T\} = Q_K \delta_{KI} \quad (5.19)$$

其中 Q_K 為一已知的非負矩陣， δ_{KI} 為克羅尼克 δ 函數

z_{K+1} 為 m 維觀測向量

H_{K+1} 為 $m \times n$ 觀測矩陣

v_{K+1} 為 m 維觀測雜訊向量， $\{v_K\}$ 為與系統動態雜訊 $\{w_K\}$ 不相關的零均值白雜訊序列

$$E\{v_K\} = 0 \quad (5.20)$$

$$E\{v_K \bullet v_i^T\} = R_K \delta_{KI} \quad (5.21)$$

$$E\{w_K \bullet v_k^T\} = 0 \quad (5.22)$$

R_K 為一已知的非負矩陣

利用線性離散系統的狀態方程和觀測方程，即可進行卡曼遞迴估計，卡曼濾波的基本計算過程歸結為預測、濾波增益和濾波計算三步。

(1) 預測的計算

首先根據前一次濾波值 $\hat{X}(k-1/k-1)$ (或初值) 計算預測值：

$$\hat{X}(k/k-1) = \Phi(k, k-1) \hat{X}(k-1/k-1) \quad (5.23)$$

根據前一次得到的濾波誤差變方矩陣 $P(k-1/k-1)$ (或初值) 及系統雜訊的變方矩陣 Q_K 計算預測誤差變方矩陣：

$$P(k/k-1) = \Phi(k, k-1) P(k-1/k-1) \Phi^T(k, k-1) + \Gamma(k-1) Q(k-1) \Gamma^T(k-1) \quad (5.24)$$

(2) 計算卡曼濾波增益

其濾波增益矩陣為：

$$K(k) = P(k-1/k-1)H^T(k)[H(k)P(k/k-1)H^T(k) + R(k)]^{-1} \quad (5.25)$$

根據新的觀測值 $z(k)$ 得到

$$v(k) = z(k) - H(k)\hat{X}(k/k-1) \quad (5.26)$$

(3) 濾波估計值計算

計算濾波估計：

$$\hat{X}(k/k) = \hat{X}(k-1/k-1) + K(k)v(k) \quad (5.27)$$

計算濾波誤差變方矩陣：

$$P(k/k) = [I - K(k)H(k)]P(k/k-1) \quad (5.28)$$

將濾波估計存入計算機，等待下一時刻得到新的觀測值，重覆上述計算過程。可以看出，濾波過程是以不斷地“預測 - 修正”的遞推方式進行計算，先進行預測值計算，再根據觀測值得到的新信息和卡曼增益(加權項)，對預測值進行修正。由濾波值可以得到預測值，又由預測值得到濾波值，其預測和濾波相互作用，並不要求儲存任何觀測數據，就可以進行即時估計。

從理論上來看，隨著觀測數據的增多通過卡曼濾波可以得到更為精確的狀態估計，但有時由濾波所得的狀態估值與實際狀態之間的誤差遠遠超過按公式計算的變方所確定的範圍(例如三倍中誤差)。按公式計算的變方可以逐漸趨於零，而實際估計誤差可能趨於無窮大。這樣就使濾波失去了應有的作用，出現了濾波發散現象。

濾波發散的原因主要有以下幾種：(1)由於對物理系統了解不精確，因而用於推導濾波公式的數學模型與實際物理系統不相吻合，或者對物理模型是了解的但所取的數學模型過於複雜，在簡化數學模型時，例如將非線性系統線性化，由

於處理不當帶來了明顯的系統誤差；(2)對系統雜訊和觀測雜訊的統計特性缺乏了解，因而雜訊模型取得不適當；(3)計算時計算位數的限制，造成每步遞推計算總存在捨入誤差，從而使所計算的估計誤差協變方矩陣失去正定性，導致計算發散。當採用雙精度數進行標準卡曼濾波計算時不會引起任何數值計算問題。因而採用雙精度計算時主要考慮第(1)、(2)種原因引起的濾波發散。

針對上述討論的引起濾波發散的原因，可以採用如下一些方法，來克服濾波發散現象：

(1) 限定下界法：

引起濾波發散的一個直接原因，是濾波變方矩陣 P 隨著 k 的增加而很快趨於零。於是增益矩陣 K 隨著 k 的增加而迅速變小，使得新得到的觀測數據在濾波中的修正作用越來越小，從而產生所謂數據飽和現象。據此原因，克服這類發散現象的方法之一，就是強使增益矩陣 K 在過了一定時間以後不再下降，使它不隨 k 的無限增長而趨於零。這就是限定下界法。

(2) 擴充狀態法

如果模型誤差是一個未知輸入，那麼這時就可以把未知輸入看作是由白雜訊激勵的一個線性系統的輸出，並且將它作為系統擴充狀態的一部分來處理。

(3) 漸消記憶(衰減記憶)濾波

為了消除模型誤差所引起的濾波發散現象，一個很直觀的想法是：設法加大新觀測數據的作用，而相對地減小過老數據對濾波的影響。

(4) 限定記憶濾波

前面討論的最佳濾波是一種增長記憶濾波，也就是說，在求 $X(k)$ 的最佳濾波時，用的是在 k 時刻之前的所有觀測數據 $Y[k] = (Y[i]) (i = 1, 2, \dots, k)$ ，因而當 k 增大時，用到的觀測數據的數目也隨之增長。當模型取得不正確時，這種濾波方程顯然並不適合。因為模型誤差的存在，”過老”的觀測數據將對現時的狀態估計產生不良影響。上面介紹的漸消記憶濾波就是為了逐步消除”過老”數據對現實狀態估計的影響。它是在求 $X(k)$ 的最佳濾波時，只利用離 k 時刻最近的前 n 個觀測數據 $Y(k-n+1), Y(k-n+2), \dots, Y(k)$ ，而把其餘的觀測數據全部丟掉。這裡的 n 是根據具體對象選定的記憶長度。

(5) 自適應濾波

所謂自適應濾波，就是在利用觀測數據進行濾波時，不斷地對未知的或不確切知道的系統模型參數和雜訊的統計特性進行估計並修正，以減小模型誤差。在設計濾波器時，往往會遇到這樣的問題：系統模型和觀測模型精確已知(即狀態轉移矩陣和觀測矩陣已知)，但雜訊的統計特性(均值和協變方未知)。針對這一情況，Sage 提出了極大後驗估計器(或稱為 Sage 自適應濾波)(Gelb, 1974)。

考慮動態系統：

$$X_K = \Phi_{K,K-1} X_{K-1} + w_{K-1} \quad (5.29)$$

$$z_K = H_K X_K + v_K \quad (5.30)$$

式中 $X \in R^n$ ， $Z \in R^m$ ， $\Phi_{K+1,K}$ ， H_{K+1} 為已知矩陣， w_{K-1} 、 v_K 為獨立的正態白雜訊。

$$E\{w_K\} = q \quad E\{v_K\} = r \quad (5.31)$$

$$E\{w_K w_l^T\} = Q \delta_{kl} \quad E\{v_K v_l^T\} = R \delta_{kl} \quad (5.32)$$

式中雜訊均值 q 、 r 和協變方矩陣 Q 、 R 是未知的，Sage 自適應濾波的問題是基於觀測 $\{z_0, z_1, \dots, z_k\}$ 求雜訊統計特性的估計並求得狀態估值 X_k 。

假設雜訊的統計特性已知，則式 (5.29) 和 (5.30) 所對應的卡曼濾波方程為：

$$\hat{X}_{K,K-1} = \Phi_{K,K-1} \hat{X}_{K-1,K-1} + q \quad (5.33)$$

$$P_{K,K-1} = \Phi_{K,K-1} P_{K-1,K-1} \Phi_{K,K-1}^T + Q \quad (5.34)$$

$$K_K = P_{K,K-1} H_K^T (H_K P_{K,K-1} H_K^T + R)^{-1} \quad (5.35)$$

$$\hat{X}_{K,K} = \hat{X}_{K,K-1} + K_K \varepsilon_K \quad (5.36)$$

$$\varepsilon_K = z_K - H_K \hat{X}_{K,K-1} - r \quad (5.37)$$

$$P_{K,K} = (I - K_K H_K) P_{K,K-1} \quad (5.38)$$

當 q 、 r 、 Q 、 R 未知時，可利用極大後驗 (MAP) 方法求得其值 \hat{q} 、 \hat{r} 、 \hat{Q} 、 \hat{R} 及狀態估值 \hat{X}_K 。因此，最後 Sage 濾波 MAP 值計為：

$$\hat{q}_{K+1} = \frac{1}{k+1} (k\hat{q}_K + \hat{X}_{K+1,K+1} - \Phi_{K+1,K} \hat{X}_{K,K}) \quad (5.39)$$

$$\hat{Q}_{K+1} = \frac{1}{k+1} (k\hat{Q}_K + K_{K+1} \varepsilon_{K+1} \varepsilon_{K+1}^T K_{K+1}^T - P_{K+1,K+1} - \Phi_{K+1,K} P_{K,K} \Phi_{K+1,K}^T) \quad (5.40)$$

$$\hat{r}_{K+1} = \frac{1}{k+1} (k\hat{r}_K + z_{K+1} - H_{K+1} \hat{X}_{K+1,K}) \quad (5.41)$$

$$\hat{R}_{K+1} = \frac{1}{k+1} (k\hat{R}_K + \varepsilon_{K+1} \varepsilon_{K+1}^T - H_{K+1} P_{K+1,K} H_{K+1}^T) \quad (5.42)$$

由式 (5.33) ~ (5.38) 及 (5.39) ~ (5.42) 可交替估計雜訊統計特性及狀態參數，但 (5.34) 和 (5.35) 中的 Q 、 R 分別要以其前一時刻估計 \hat{Q}_{K-1} 、代替。上述公式是在假設雜訊統計特性是非時變的前提下推導的，當雜訊為時變時，即：

$$E\{w_k\} = q_k \quad E\{v_k\} = r_k \quad (5.43)$$

$$Cov\{w_k, w_l^T\} = Q_k \delta_{kl} \quad Cov\{w_k, w_j^T\} = R_k \delta_{kl} \quad (5.44)$$

在這種情況下，進行估計時，估值應逐漸剔除過於陳舊數據的作用，這可利用加權的方法實現。選擇加權係數：

$$\beta_i = \beta_{i-1} b; \quad 0 < b < 1; \quad \sum_{i=0}^k \beta_i = 1 \quad (5.45)$$

式中 b 為遺忘因數，易知遞降概率分布：

$$\beta_i = d_k b^2; \quad d_k = (1-b)/(1-b^{k+1}); \quad i = 0, 1, \dots, k \quad (5.46)$$

按照以上指數加權方法可得 q_{k+1} 、 Q_{k+1} 、 r_{k+1} 、 R_{k+1} 的次優無偏 MAP 估計：

$$\begin{aligned} \hat{q}_{k+1} &= (1-d_k)q_k + d_k(\hat{X}_{k+1,k+1} - \Phi_{k+1,k}\hat{X}_{k,k}) \\ \hat{Q}_{k+1} &= (1-d_k)\hat{Q}_k + d_k(K_{k+1}\varepsilon_{k+1}\varepsilon_{k+1}^T K_{k+1}^T + P_{k+1,k+1} - \Phi_{k+1,k}P_{k,k}\Phi_{k+1,k}^T) \\ \hat{r}_{k+1} &= (1-d_k)\hat{r}_k + d_k(z_{k+1} - H_{k+1}\hat{X}_{k+1,k}) \\ \hat{R}_{k+1} &= (1-d_k)\hat{R}_k + d_k(\varepsilon_{k+1}\varepsilon_{k+1}^T - H_{k+1}P_{k+1}H) \end{aligned} \quad (5.47)$$

§ 5.2.3 有色雜訊卡曼濾波器

前面討論狀態估計問題時，假設模型雜訊 $\xi(k)$ 為離散高斯白雜訊，分別表示為 $\xi(k) \sim N(0, R_l)$ ，這符合一類實際情況。但在實際應用中，還存在另一類情況，即 $\xi(k)$ 和 $\eta(k)$ 為有色雜訊，如估計天頂對流層延遲參數情況。

考慮 $\xi(k)$ 是均值為零和協變方陣為

$$R_\xi(k, l) = E\{\xi(k)\xi^l(l)\} \quad (5.48)$$

的隨機序列，且 $R_\xi(k, l)$ 為正定陣。如果 $R_\xi(k)$ 可由狀態方程

$$\xi(k+1) = \Phi_\xi(k+1, k)\xi(k) + v(k) \quad (5.49)$$

描述，式中 $v(k)$ 為白雜訊序列，與 $\xi(k)$ 相互獨立，則稱狀態方程式 (5.49) 為隨機序列 $\xi(k)$ 的成形濾波器。

根據上述條件，有：

(1) 由 $E\{\xi(k)\} = 0$ 可得

$$E\{v(k)\} = 0 \quad (5.50)$$

$$\begin{aligned}
(2) \text{ 由 } R_{\xi}(k+1, k) &= E\{\xi(k+1)\xi'(k)\} \\
&= E\{[\Phi_{\xi}(k+1, k)\xi(k) + v(k)]\xi'(k)\} \\
&= \Phi_{\xi}(k+1, k)R(k, k)
\end{aligned} \tag{5.51}$$

可導出

$$\Phi_{\xi}(k+1, k) = R_{\xi}(k+1, k)R_{\xi}^{-1}(k) \tag{5.52}$$

(3) $v(k)$ 的變方陣

$$\begin{aligned}
R_v(k) &= E\{v(k)v'(k)\} \\
&= E\{[\xi(k+1) - \Phi_{\xi}(k+1, k)\xi(k)][\xi(k+1) - \Phi_{\xi}(k+1, k)\xi(k)]^T\} \\
&= E\{[\xi(k+1)\xi'(k+1)]\} - E\{\xi(k+1)\xi'(k)\}\Phi_{\xi}^T(k+1, k) \\
&\quad - \Phi_{\xi}(k+1, k)E\{\xi(k)\xi'(k+1)\} + \Phi_{\xi}(k+1, k)E\{\xi(k)\xi'(k)\}\Phi_{\xi}^T(k+1, k) \\
&= R_{\xi}(k+1) - R_{\xi}(k+1, k)R_{\xi}^{-1}(k)R_{\xi}^T(k+1, k) \\
&\quad - R_{\xi}(k+1, k)R_{\xi}^{-1}(k)R_{\xi}(k, k+1) + R_{\xi}(k+1, k)R_{\xi}^{-1}(k)R_{\xi}(k)R_{\xi}^{-1}(k)R_{\xi}^T(k+1, k) \\
&= R_{\xi}(k+1) - R_{\xi}(k+1, k)R_{\xi}^{-1}(k)R_{\xi}(k, k+1)
\end{aligned} \tag{5.53}$$

下面討論模型雜訊 $\xi(k)$ 或量測雜訊 $\eta(k)$ 為成形濾波器式 (5.49) 描述的有色雜訊時的狀態估計問題。

系統的狀態方程及模型雜訊的成形濾波器方程為：

$$\begin{aligned}
X(k+1) &= \Phi X(k) + \xi(k) \\
y(k) &= \Theta X(k) + \eta(k) \\
\xi(k+1) &= \Phi_{\xi}\xi(k) + v(k)
\end{aligned} \tag{5.54}$$

式中 $X(k)$ 為 $nx1$ 狀態向量； $y(k)$ 為 $mx1$ 量測向量； Φ 為 nxn 狀態轉移矩陣； Θ 為 mxn 量測矩陣； Φ_{ξ} 為 nxn 成形濾波器狀態轉移陣； $\xi(k)$ 為 $nx1$ 模型有色雜訊； $\eta(k)$ 為 $mx1$ 量測白雜訊 $N(0, R_{\eta})$ ； $v(k)$ 為 $nx1$ 白雜訊。

假設 $X(k)$ 、 $\xi(k)$ 、 $\eta(k)$ 相互獨立，由於 $X(k_0)$ 、 $\xi(k)$ 、 $\eta(k)$ 是高斯的，使得 $X(k)$ 和 $y(k)$ 也是高斯的。進一步假設 $v(k)$ 和 $X(k)$ 、也是相互獨立，由式 (4.50)~(4.53) 分別為：

$$\begin{aligned} \Phi_{\xi}(k+1, k) &= R_{\xi}(k+1, k)R_{\xi}^{-1}(k) \\ m_v &= 0 \\ R_v(k) &= R_{\xi}(k+1) - R_{\xi}(k+1, k)R_{\xi}^{-1}(k)R_{\xi}(k, k+1) \end{aligned} \quad (5.55)$$

對上述問題，可利用擴充狀態法求解狀態估計問題。由式 (5.54) 組成擴充狀態方程

$$\begin{bmatrix} X(k+1) \\ \xi(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi(k+1, k) & I \\ 0 & \Phi_{\xi}(k+1, k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X(k) \\ \xi(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ v(k) \end{bmatrix} \quad (5.56)$$

$$\bar{X}(k+1) = \bar{\Phi}(k+1, k)\bar{X}(k) + \bar{\xi}(k) \quad (5.57)$$

式中

$$\bar{X}(k) = \begin{bmatrix} X(k) \\ \xi(k) \end{bmatrix} \quad (5.58)$$

$$\bar{\Phi}(k+1, k) = \begin{bmatrix} \Phi(k+1, k) & I \\ 0 & \Phi_{\xi}(k+1, k) \end{bmatrix} \quad (5.59)$$

$$\bar{\xi}(k) = \begin{bmatrix} 0 \\ v(k) \end{bmatrix} \quad (5.60)$$

$$E\{\bar{\xi}(k)\} = 0, \quad R_{\bar{\xi}}(k) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & R_v(k) \end{bmatrix} \quad (5.61)$$

相應地，將量測方程也寫成擴充狀態 $\bar{X}(k)$ 的量測方程：

$$y(k) = [\Theta \quad 0] \begin{bmatrix} X(k) \\ \xi(k) \end{bmatrix} + \eta(k) \quad (5.62)$$

$$y(k) = \bar{\Theta} \bar{X}(k) + \eta(k)$$

式中

$$\bar{\Theta} = [\Theta \quad 0] \quad (5.63)$$

導出最後的遞推擴充狀態濾波方程為：

$$\hat{X}(k+1|k+1) = \bar{\Phi} \hat{X}(k|k) + \bar{K}(k+1|k+1)[y(k+1) - \bar{\Theta} \bar{\Phi} \hat{X}(k|k)] \quad (5.64)$$

$$\bar{K}(k+1|k+1) = \bar{P}(k+1|k) \bar{\Theta}^T [\bar{\Theta} \bar{P}(k+1|k) \bar{\Theta}^T + R_\eta]^{-1} \quad (5.65)$$

$$\bar{P}(k+1|k) = \bar{\Phi} \bar{P}(k|k) \bar{\Phi}^T + R_\xi \quad (5.66)$$

$$\bar{P}(k+1|k+1) = [(I - \bar{K})(k+1|k+1) \bar{\Theta}] \bar{P}(k+1|k) \quad (5.67)$$

$$\hat{X}(0|0) = E\{\bar{X}_0\} = \begin{bmatrix} m_0 \\ \Phi_\xi m_0 \end{bmatrix} \quad (5.68)$$

$$\bar{P}(0|0) = R(\bar{X}_0) = \begin{bmatrix} R_0 & 0 \\ 0 & R_0 \end{bmatrix} \quad (5.69)$$

m_0 、 R_0 為 $X(0)$ 的初值和初始變方。

§ 5.2.4 參數估計

處理 GPS 資料時，除了需要考慮參數的函數模型外，還需顧及其隨機模型。在無差分數據處理中主要考慮對流層和時鐘差這兩種時變參數的隨機模型。故本節面對這兩種參數的隨機模型做一些討論。處理 GPS 資料時，需要考慮各種誤差因素的影響，如對流層由於大氣層中水蒸汽分布隨時間的不規則變化，使得其影響具有較大的隨機性。即使利用模型改正後，還存在一部分殘差無法消除。這些殘差可認為是一系列時間相關的隨機過程的疊加，故可以採用一階高斯馬可夫過程、隨機遊走過程等模擬。下面對這些方法做一些討論。

連續的一階高斯馬可夫過程類似的狀態方程為：

$$\frac{d\rho(t)}{dt} = -\frac{\rho(t)}{\tau_{GM}} + w(t) \quad (5.70)$$

其中

τ_{GM} 為相關時間， $w(t)$ 為變方 σ_w 的零均值白雜訊，即

$E\{w(t)\} = 0$, $E\{w(t)w(\tau)\} = \sigma_w^2 \delta(t-\tau)$ ， $E\{\bullet\}$ 表示其期望。

(5.70) 式的離散化解為：

$$\rho(t + \Delta t) = m\rho(t) + (1 - m^2)^{1/2} w_{GM}(t) \quad (5.71)$$

其中；

$$m = \exp(-\Delta t / \tau_{GM}) \quad (5.72)$$

其自相關函數為：

$$R(\tau) = \sigma_{GM}^2 \exp(-\tau / \tau_{GM}) \quad (5.73)$$

σ_{GM} 為一階高斯馬可夫過程的穩態變方，其滿足差分方程：

$$\frac{d}{dt} \sigma_{GM}^2(t) = -(2/\tau_{GM}) \sigma_{GM}^2(t) + \sigma_w^2 \quad (5.74)$$

變方 σ_{GM} 與相關時間 τ_{GM} 存在關係：

$$\sigma_{GM}^2 = \tau_{GM} \sigma_w^2 / 2 \quad (5.75)$$

當 $\tau_{GM} \rightarrow \infty$ ，一階高斯馬可夫過程即變為隨機遊走過程：

$$\frac{dp(t)}{dt} = w(t) \quad (5.76)$$

其離散化方程：

$$p(t + \Delta t) = p(t) + \sqrt{\Delta t} w_{rw}(t) \quad (5.77)$$

隨機遊走過程的變方滿足方程：

$$\frac{d}{dt} \sigma_{rw}^2(t) = \sigma_w^2 \quad (5.78)$$

顯然，隨機遊走過程的變方不是保持為一常數，其隨時間而變化。這也說明隨機遊走過程是非平穩的。在隨機模型的實際應用中，觀測值按曆元分批次處理，在每一批，過程雜訊參數作為分段參數模型化。在一批結束後，過程雜訊時間校正將雜訊加到協變方陣中，這樣，引起隨機參數隨時間變化。第 j 批的過程雜訊時間校正將隨機參數估值和協變方陣映設到第 $j+1$ 批：

$$P_{j+1} = MP_j + W_j \quad (5.79)$$

式中

P_j 為一隨機參數向量， M 為一對角過程雜訊映射矩陣， M 的對角線項元素為：

$$M_{ij} = \exp(-\Delta t / \tau_{ij}) \quad (5.80)$$

其中 $\Delta t = t_{j+1} - t_j$ ， t_{j+1} 和 t_j 分別為第 $j+1$ 批和第 j 批的開始時間， τ_{ij} 為第 j 批和 i 個隨機參數的時間參數與相關時間。

w_j 為一隨機誤差，其均值为零，

$$E\{w_j w_k^T\} = Q \delta_{jk} \quad (5.81)$$

協變方矩陣 Q 對應的對角項的元素為：

$$q_{ij} = \exp(1 - m_{ij}^2) \sigma_{iss}^2 \quad (5.82)$$

這裡 σ_{iss}^2 為第 I 個隨機參數的穩態 σ ，即當 $\Delta t \ll \tau_{ij}$ 時不受擾動影響所達到的雜訊水平。隨機參數的離散時間變化變方為：

$$\begin{aligned} \sigma_{p_{i+1}}^2 &= m_i^2 \sigma_{p_i}^2 + q_i \\ &= m_i^2 \sigma_{p_i}^2 + (1 - m_i^2) \sigma_{ss}^2 \end{aligned} \quad (5.83)$$

對於隨機遊走過程，相關時間 $\tau \rightarrow \infty$ ， $m=1$ ，M 為單位矩陣，過程沒有穩態， σ_{ss} 無界， q_i 在極限意義上的定義為：

$$q_i = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\sigma_{ss}^2}{\tau} \quad (5.84)$$

實際應用說明，對於對流層隨機遊走模型， $\sqrt{q_i/\Delta t}$ 取 $2 \sim 4 \times 10^{-7} \text{ km} \cdot \text{s}^{-1/2}$ 比較合適 (Maybeck, 1979)。

在 GPS 差分相對定位中，一般都採用二次差分(雙差)的方法消除時鐘誤差的影響，可以不考慮時鐘誤差的隨機模型。而在衛星時鐘誤差估計或精密單點定位中，時鐘誤差是作為未知參數處理，這時必須顧及時鐘誤差的隨機模型。可以採用多項式形式描述時鐘誤差變化，多項式的係數為待確定的鐘偏、鐘速及鐘漂等，多項式的階數取決於時鐘的穩定程度，或採用白雜訊過程模擬時鐘差變化過程。考慮到時鐘差變化較大，需要利用高階多項式類比其變化，比較複雜。而採用白雜訊過程描述時鐘差隨機過程，比較簡單且有效，其等同於差分相對定位中利用雙差消除時鐘差方法。因此，本文採用了白雜訊模擬時鐘差變化的方法，即在每個曆元，時鐘差值與其他曆元值不相關，時鐘差參數與其他參數一起解算。考慮式 (5.70)，當 $\tau_{GM} = 0$ 時，一階高斯馬可夫過程即變為白雜訊過程：

$$T(t) = w(t) \quad (5.85)$$

在實際應用中，其也可採用與隨機遊走過程類似的方法處理，但對於白雜訊

過程， $\tau = 0$ ， $m = 0$ ，過程雜訊參數的先驗協變方在每一批結束時完全重置，及非對角線項元素置零，對角線項元素置為先驗變方 q 。在每一批過程是獨立的，與其他批過程不相關 (Maybeck, 1979)。

§ 5.3 無差分精密單點定位方法

傳統 GPS 單點定位是透過虛擬距離與廣播星曆的衛星軌道參數和時鐘差進行改正。由於虛擬距離的觀測雜訊達數十公分、廣播星曆的軌道精度為數米、衛星時鐘差的改正精度為數十奈秒，加上公尺級的電離層及對流層延遲之影響，這種單點定位技術之精度只可達十公尺等級。

而精密單點定位是先利用全球若干 IGS 追蹤站算出精密衛星軌道參數與時鐘差，再利用所求得的衛星軌道參數與衛星時鐘差對單台接收儀採集的虛擬距離與相位觀測量進行無差分的定位處理。如前所述，精密單點定位是利用無差分的觀測量進行定位，故其誤差無法透過差分的方式消除，只能利用模型或和位置參數一起估計的方式消除其影響。故週波脫落之偵測與修復之問題都較差分定位模式困難，故資料之預處理是相當重要的。

在無差分精密單點定位之數據處理中，主要考慮三類之誤差來源：

1. 和衛星有關:衛星時鐘差、軌道誤差、衛星天線相位中心變化
2. 和訊號傳播有關:對流層延遲、電離層延遲、相對論效應與多路徑效應
3. 和接收儀、測站有關:接收儀時鐘誤差、接收儀天線相位中心偏差、固體潮改正、大洋負荷改正與地球自轉。

§ 5.3.1 和接收儀、測站有關的誤差來源

精密單點定位過程中所考慮與接收儀及測站有關之誤差來源如下：

1. 衛星時鐘差:由於接收儀內的晶體振盪器的漂移引起的接收儀時鐘誤差與 GPS 標準時之差值。接收儀一般使用高精度的石英鐘，其穩定度為 10^{-9} 。對於無差分精密單點定位而言，因無法利用差分方式消除接收儀時鐘誤差的影響，故計算過程中必須考慮其對定位結果的影響。在無差分的數據處理中，必須顧及接收儀時鐘誤差對衛星坐標計算與使用者與衛星間之幾何距離

計算之影響。對於前者吾人可先用一般之電碼虛擬距離定位求出時鐘差之概略值，接下來再透過數據處理過程與其他參數一併計算，以消除其對定位精度之影響。

2. 接收儀天線相位中心之變化:在 GPS 測量中，觀測值皆是接收儀天線的相位中心為準的，理論上天線的相位中心與其幾何中心應保持一致。而實際上，天線的相位中心隨著衛星訊號輸入的強度與方向的不同而有變化，及觀測時相位中心的瞬時位置與理論上的相位中心有所不同，二者之差值可達數公厘至公分。在無差分精密單點定位之過程中，可利用事先率定的模型來消除其影響。
3. 固體潮改正：攝動天體(月球及太陽)對彈性地球的引力作用，使地球表面產生週期的漲落，稱為固體潮現象。它在地球地心與攝動天體之連線方向上拉長，與連線垂直方向趨於扁平。固體潮對測站之影響包含與緯度有關的長期偏移與主要由日週期和半日週期組成之週期項。若靜態觀測 24 小時，週期項大部分影響可以平滑消除。但長期項無法透過此方式消除，即使透過長時間觀測，其殘餘影響在徑向達 12 公分，在水平方向可達 5 公分。對於 GPS 短於 100 公里之基線而言，二測站之固體潮可視為一致；但對長基線而言，就必須考慮適合的改正模式。對無差分的精密單點定位而言，由於它是直接求解測站坐標，無法透過差分方式消除，故必須透過使用改正模式以消除固體潮之影響，相關改正公式請參考(Parkinson and Spilker, 1996)。
4. 大洋負荷改正:大洋負荷潮產生的原因為潮汐的週期性漲落，大洋負荷潮與固體潮的影響類似，主要由日週期和半日週期組成，但是它的影響比固體潮小一級。對單一時刻的觀測量而言，其影響為 5 公分。對 24 小時的觀測而言，其影響為公厘級。與固體潮一樣，對無差分的精密單點定位而言，由於它是直接求解測站坐標，無法透過差分方式消除，故必須透過使用改正模式以消大洋負荷之影響，相關改正公式請參考 (Parkinson and Spilker, 1996)。
5. 地球自轉:由於地固坐標系統為非慣性坐標系，它隨地球自轉而變化。故訊號發射與接收時刻的地固坐標系統是不同的，故計算衛星到接收儀的幾何距離必須考慮地球自轉的效應。無差分的精密單點定位而言，由於它是直接求解測站坐標，故必須透過使用改正模式，相關改正公式請參考 (Parkinson and Spilker, 1996)。

§ 5.3.2 和衛星有關的誤差來源

精密單點定位過程中所考慮與衛星有關之誤差來源如下：

1. 衛星時鐘差：衛星時鐘頻率漂移所引起的衛星時鐘時間與 GPS 標準時間的差值稱為衛星時鐘差。GPS 系統透過地面監測站對衛星監測，確定衛星時鐘差，並用二項式模擬衛星時鐘的變化，但此法只能保證衛星時鐘與 GPS 標準時同步時間在 20 奈秒之內。在無差分的數據處理中，必須顧及衛星時鐘差對衛星坐標計算與使用者與衛星間之幾何距離計算之影響。由於不同衛星的時鐘差不同，在無差分精密定位求解過程中無法如接收儀時鐘誤差般當未知數處理。必須事先估計其大小，然後代入觀測方程式以消除其影響。公分級的精密單點定位要求衛星時鐘的改正精度要達奈秒級。故在精密單點定位中，確定衛星時鐘差是一件相當重要的工作。目前 IGS 與其分析中心為了滿足精密單點定位及精密時間傳遞等需要，也提供 5 分鐘或 30 秒的事後精密衛星時鐘差。表5.2 所示為 IGS 各項產品之精度。
2. 精密星曆：衛星星曆是 GPS 定位中的重要起算數據。衛星軌道誤差是指衛星星曆鐘表示的衛星軌道與真正軌道之不符值。軌道誤差取決於軌道計算之數學模型、所用的軟體、所採用追蹤網的規模、追蹤站的分布與追蹤站數據觀測時間的長短。目前廣播星曆的精度大約 5~10 公尺，事後精密星曆的精度大約為 3~5 公分的精度。與衛星時鐘差一樣，精密單點定位計算中，衛星軌道誤差會影響測站與衛星間之幾何距離，從而產生定位誤差。因此在精密單點定位中必須使用精密星曆，而無法使用廣播星曆。
3. 天線相位變化：衛星天線質量中心與相位中心間的變化。由於衛星定軌所使用的軌道模型參數式相應於質心，IGS 精密星曆與時鐘差也是相應於質心的。但觀測值是對應於接收儀天線相位中心與衛星相位天線中心。因此在精密單點定位中就必須顧及衛星天線質量中心與相位中心之變化。
4. 相對論效應：相對論效應是由於衛星時鐘和接收儀時鐘誤差所處的狀態(運動速度與重力位)不同而引起的衛星時鐘與接收儀時鐘誤差產生相對時鐘差所引起的。GPS 時鐘會走得比地面時鐘快，每秒約差 0.45 毫秒，消除的方法使將GPS 鐘的標準頻率減少約 0.0045MHz 。但由於地球的運動和衛星軌道的變化，以及地球重力場的變化，相對論的影響並非常數，經上述改正

仍有殘差，故在精密單點定位中必須引用相對論效應改正模型，相關改正公式請參考 (Parkinson and Spilker, 1996)。

對精密單點定位之計算而言，目前 IGS 最終 (final) 及快速 (rapid) 之產品皆符合精度之需求，唯這些產品分別需要 13 天與 17 小時之處理流程。對於近即時的應用而言，IGS 超快速 (ultra rapid) 產品中之平差後的產品 (adjusted) 符合精密單點定位計算之要求，這項產品需要 3 個小時之處理流程。最後一個產品為預估值，目前精度上不符合公分級之精密單點定位計算之要求，但其優點為即時可得。除了 IGS 之外，加拿大自然資源研究中心 (NRCan) 亦致力發展即時或近即時之產品。

表5.2 IGS各項產品之精度

(摘自 <http://igsb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html>)

Product	IGS Final	IGS Rapid	IGS Ultra Rapid	
			Adjusted	Predicted
Updates	Weekly	Daily	4 times daily	4 times daily
Delay	~13 days	17 hours	3 hours	Real-time
GPS Orbits	< 5 cm	< 5 cm	< 5 cm	~ 10 cm
GPS Satellite Clocks	< 0.1 ns	0.1 ns	~0.2 ns	~ 5 ns
Station Clocks	< 0.1 ns	0.1 ns		
GLONASS Orbits	15 cm			
Polar Motion /LOD	0.05 mas	< 0.1 mas	0.1 mas	0.3 mas
LOD	0.02 ms/day	0.03 ms/day	0.03 ms/day	0.06 ms/day
Station Coordinates (h/v)	3 mm / 6 mm			
Ionospheric TEC grid	2-8 TECU	2-9 TECU		
Tropospheric zenith path delay	4 mm		6 mm	

有鑑於觀測技術與預測演算法之進步，未來數年內 IGS 超快速產品不管平差後與預測之產品精度皆可符合目前後處理產品之精度。故未來若搭配無線上網之技術至 IGS 自動下載相關之產品，則所謂的公分級的單點即時動態定位 (Point-RTK) 是可預見的。這種精度也許尚未符合高等級控制測量之規範，但它絕對可以滿足 70%~80% 的測量應用。尤其是空載製圖系統及路基的移動製圖系統等國外空間資訊領域正在測試的新設備與演算法，精密動態單點定位之技術必然可以簡化人力與硬體之成本，且可以提供符合精度需求之點位坐標或是動態軌跡，表5.3顯示目前精密單點定位技術與 IGS 產品搭配下所能獲得之精度。

表 5.3 為 PPP 搭配 IGS 產品之精度(摘自 Shen and Gao (2002))

Receiver	Observation Processed	PPP Mode	Precision (cm)		
			Latitude	Longitude	Height
Dual Frequency	Code & Carrier	Static	1	1	2
		Kinematic	5	4	10
Single Frequency	Code Only ⁽¹⁾	Static	10	10	100
		Kinematic	50	50	150
Single Frequency	Code & Carrier ⁽²⁾	Static	2	3	4
		Kinematic	25	25	50

Notes (1): Quoted PPP code-only performance is for surveying grade receivers. Performance may vary for other types of receiver

(2): $(\Phi_l/2 + P_l/2)$ (not currently available with CSRS-PPP)

§ 5.3.3 和訊號傳播有關的誤差來源

1. 對流層延遲：對流層延遲主要有兩個延遲誤差影響；這些誤差分別為乾燥大氣層延遲與水蒸氣影響。前者對於對流層延遲影響非常大，在合理預估範圍內其值約為 2.3 公尺，其並與當地氣溫與大氣壓力之變化呈現緩慢且可預測的改變；後者對於整體而言影響較小，其值在天頂方向約為 1 至 80 公分。儘管後者的效應較前者約為前者的十分之一，但是由於大氣層中水蒸氣含量變化很大導致溼延遲較難藉由地表的觀測量進行預估。對流層延遲主要為因訊號傳輸時，受到大氣層折射影響，使得傳輸速度低於光速，造成延遲現象。因此，對流層延遲對於差分衛星定位有著重大的影響，許多研究將此影響視為重要發展對象。

對流層延遲模型主要包含兩部分，垂直對流層延遲模型與映射函數。垂直對流層延遲模型之代表為 Saastamoinen 模型 (Saastamoinen, 1972) 以及修正的 Hopfield 模型 (Hopfield, 1972)，在映射函數方面則有 Black and Eisner (B&E)(Black and Eisner, 1984) 函數作為代表。在精密單點定位的解算過程中，對流層延遲的影響首先可透過模型改正，乾分量的部分達公分級，濕分量部分的殘餘影響較大。故必須將對流層延遲的影響當作參數估計。一般可透過一階高斯馬可夫模型與隨機遊走模型進行對流層殘餘影響之估計。

2. 電離層延遲：從地面 70 公里向上直到大氣層頂部為電離層分布範圍，在這一層中，由於太陽的作用，使大氣發生電離，因此導致電磁波在傳遞過程發生延遲。由於一階項的電離層延遲效應與電磁波頻率平方成反比，故可透過 GPS 雙頻觀測量以線性組合之方式消除電離層效應之影響。在前述 3 種常用精密單點定位的數學模型中皆利用此特性來消除電離層效應之影響，剩餘高階的影響約為 2~4 公分。

3. 多路徑效應：多路徑效應對於衛星定位為一主要誤差。衛星發射訊號，有的被天線直接接收，有的因地面物反射而被天線間接收，因而產生多路徑效應。由於多路徑效應不會因測站間的差分而消除，因此相對於其他衛星誤差來源較不易被預估。目前可以透過硬體與軟體方式減低多路徑效應之影響。精密單點定位的解算過程中，會將之與雜訊之效應合併估算。

§ 5.3.4 精密單點定位演算法之架構

精密單點定位有如下之關鍵之處：

1. 衛星軌道精度需達公分級，故吾人須使用 IGS 提供精度達 3~5 公分之精密星曆。
2. 衛星時鐘差的改正需達奈秒級，除 JPL 提供 30 秒間隔之時鐘差外，IGS 及其他分析中心均提供五分鐘間隔的時鐘差。
3. 解算過程須考慮固體潮、大洋負荷、衛星天線相位變化等誤差的改正模型。
4. 在定位過程中採用無差分觀測量，同時虛擬距離觀測量在初始階段作為輔助觀測值參加解算。
5. 精密單點定位無法固定整數週波未定值，計算過程中需要一段收斂的過程。

故本年度針對這些無差分精密單點定位之誤差來源及改正模型進行理論的研究以利精密單點定位演算法之開發與軟體之發展。圖 5.2 顯示為精密單點定位演算法之資料處理流程。

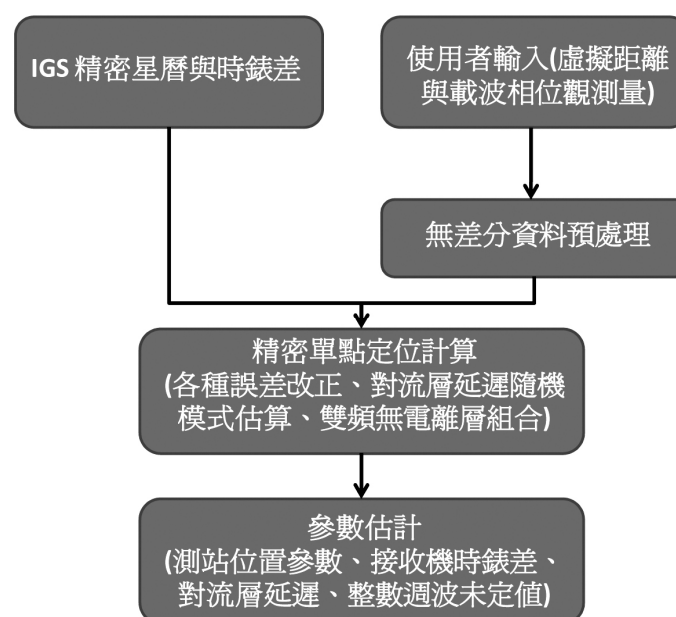


圖 5.2 精密單點定位演算法之資料處理流程

目前發展中的精密單點定位軟體將具備處理動態與靜態觀測量之能力；同時它具備處理 e-GPS 所提供觀測資料之能力。軟體的靜態定位精度分析將透過使用 e-GPS 站所提供之觀測量搭配 IGS 所提供之精密星曆與衛星時鐘差進行靜態點位之計算；並將之與檢核用之已知坐標進行精度指標之計算。同時軟體的動態定位精度分析將以 GPS 浮標進行不同方法之動態定位比較。

本研究於期中報告中已完成發展動態精密單點定位軟體之工作項目列舉如下：

1. 相關文獻蒐集與回顧。
2. PPP 動態定位解算數學模式。
3. PPP 觀測資料輸入及輸出設定。
4. 精密單點定位軟體的靜態定位精度分析(處理國土測繪中心e-GPS站資料)。

而本研究於期末報告中已完成發展動態精密單點定位軟體之工作項目列舉如下：

1. PPP 動態定位解算軟體（處理國土測繪中心 e-GPS 站資料）。
2. PPP 動態定位精度分析。
3. 圖形化介面之設計。

§ 5.4 精密單點定位軟體介面介紹

本研究開發一套利用精密單點定位靜態與動態的 GPS 解算軟體，目前已完成的功能列表如下：

1. 設計軟體主要介面
2. PPP 觀測資料輸入與輸出設定
3. 解算坐標結果

相關的精度分析將於列舉於第六章。

§ 5.4.1 軟體介面介紹

本節著重於軟體開發之功能簡介及操作步驟流程說明，以下就各分項工作項目及介面進行介紹，此軟體並可獨立在 Windows XP 作業系統執行。如圖 5.3 所示，當開啟主程式之後，即進入主視窗系統畫面，內容包含選單系統、設定參數、

處理模式、視窗縮放及求助等下拉式選單可供選擇。軟體主視窗系統畫面包含下列項目：

1. 軟體標題
2. 衛星在天空運行的狀態
3. 工具列
4. 個別參數值視窗
5. 觀測改正量視窗
6. 運算軌跡
7. 衛星選取視窗
8. 狀態列
9. 衛星仰角與方位角

以下並逐一說明各項目的操作步驟及用途。

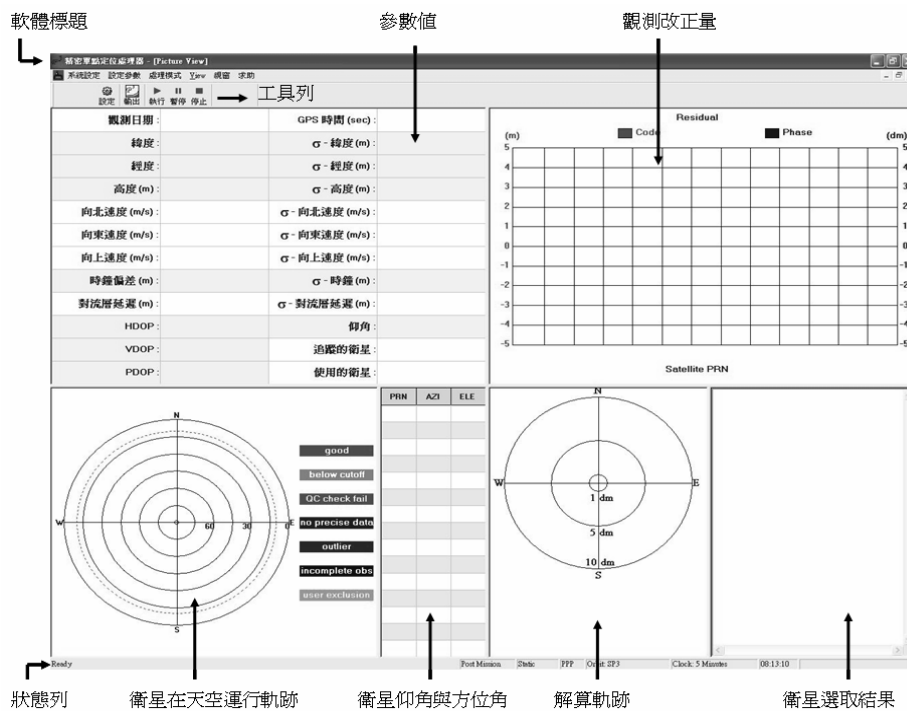


圖 5.3 精密單點定位處理器主視窗系統畫面

§ 5.4.2 工具列說明與圖示介紹

如圖 5.4 與圖 5.5 所示，工具列項目包含有系統設定、設定參數、處理模式、View 與視窗縮放，其圖示內容包含設定、輸出、執行、暫停與停止。以下逐一說明其用途：

1. 系統設定：選擇處理方式進行解算，由於本研究目前著重於後處理計算，因此此項目只有一個選項可供選擇。
2. 設定參數：設定解算參數，包含基本參數設定、天線設定、坐標設定、氣象參數、衛星選擇等參數可供調整，將稍後詳細說明。
3. 處理模式：選擇精密單點定位模式，本研究著重精密單點定位後處理模式，因此此部分只有一個選項可供選擇。
4. View：工具列與狀態列顯示，可選擇工具列或狀態列是否要顯示於畫面。
5. 視窗：可選擇畫面放大或縮小。

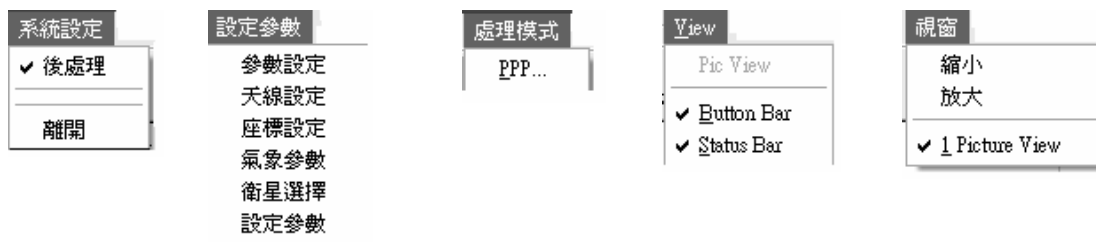


圖 5.4 精密單點定位處理器下拉式(menu)選單介紹



圖 5.5 精密單點定位處理器按鈕式(button)選單介紹

6. 設定：設定解算參數，包含基本參數設定、天線設定、坐標設定、氣象參數、衛星選擇等參數可供調整，與工具列第二項選項功能相同。
7. 輸出：選擇輸出資訊，可選擇欲輸出的資訊，例如：位置坐標、時間等。
8. 執行：軟體解算的執行鍵，當參數設定完成後，按下此鍵即可進行運算。
9. 暫停：軟體解算中，如欲暫停，可按此鍵。
10. 停止：軟體解算中，欲中途離開停止解算，可按此鍵。

§ 5.4.3 狀態列說明介紹

圖 5.6 所示為狀態列說明訊息。

1. 顯示系統已準備完成，可以進行解算動作。
2. 系統設定模式，本系統僅有後處理模式。
3. 解算模式，可分為動態與靜態。

4. 處理模式。
5. 精密軌道選擇，有 igs、mit、cod 等選擇，可在 IGS 網站下載。
6. 精密時鐘選擇，有 igs、mit、cod 等選擇，可在 IGS 網站下載。
7. 系統目前時間。

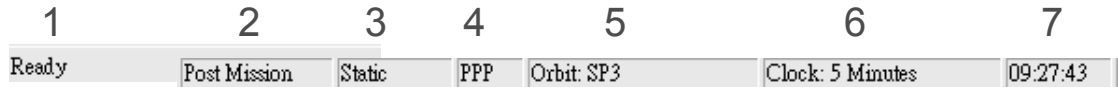


圖 5.6 精密單點定位處理器狀態列介紹

§ 5.4.4 觀測改正量圖示說明介紹

這細節是系統將已接收選取的衛星觀測量(選擇狀況良好的衛星)執行最小二乘平差法 (least square adjustment) 計算。解算範例如圖 5.7，橫軸為衛星 PRN，縱軸為電碼與相位計算的改正量結果，藍色為載波相位資料，紅色為電碼資料。透過此關係圖，吾人即可以了解衛星在某時刻的狀態情形，對定位結果是否有顯著影響。

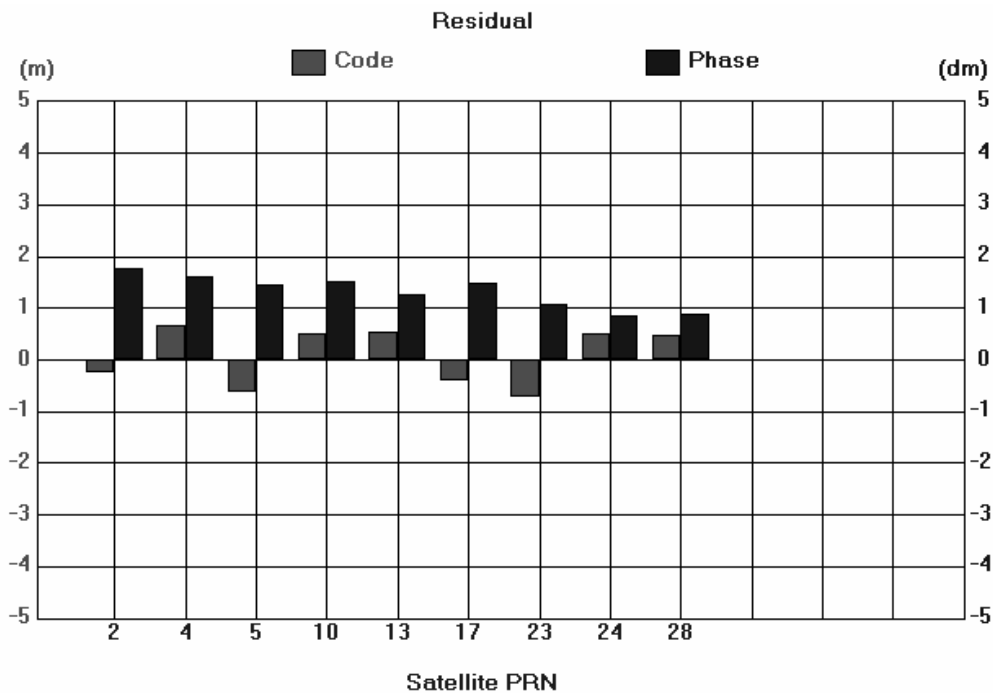


圖 5.7 衛星觀測量改正數介紹

在資料進行解算時，吾人可以透過處理進度視窗，如圖 5.8 所示，獲得資料處理的進度。左邊為起始時間，中間為目前資料處理時間，右邊為資料處理結束時間。

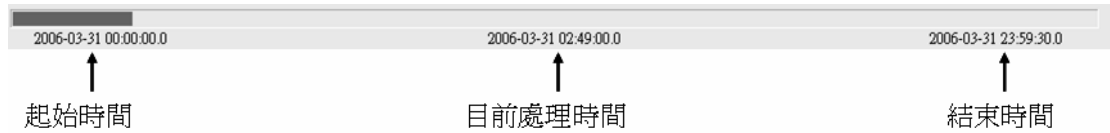


圖 5.8 處理進度視窗介紹

§ 5.4.5 衛星運行軌跡圖示介紹

當資料進行解算時，吾人可以透過圖 5.9，觀察衛星在天空運行中的軌跡，圖示上面的數字為 PRN 碼，軌跡中心為機接收儀所給定的初始坐標，可由參數設定-->坐標設定所給定；紅色虛線為吾人所設定的衛星仰角，此圖示設定為 10 度。右側圖示為衛星運行狀況，可分成七大類，可由表 5.4 得知各種顏色所代表的意義。

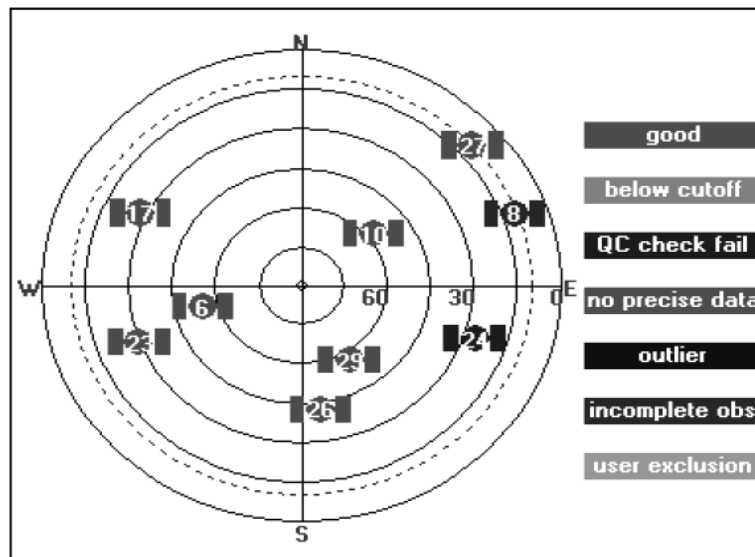


圖 5.9 衛星軌跡運行圖介紹

表 5.4 衛星狀況圖示說明

Status	意義說明
Good	衛星狀況良好，可被納入計算。
Below cutoff	衛星位在給定的衛星仰角之下。
QC check fail	衛星資料無法通過改正數檢定。
No precise data	精密資料在特定時間無法被取得。
Outlier	目前衛星觀測量不良。
Incomplete obs	一顆或多顆衛星在目前情況資料不足。
User exclusion	使用者所選定要排除的衛星。

§ 5.4.6 衛星仰角與方位角欄位說明

圖 5.10 為顯示衛星在天空運行中的仰角與方位角之欄位，PRN 為衛星編號碼、AZI 為衛星的方位角、ELE 為衛星的仰角。當資料在進行解算時，衛星運行的路徑隨時在變動，仰角與方位角亦隨時變動，因此吾人可藉由此欄位觀察衛星的方位角與仰角。

PRN	AZI	ELE
6	256.0	55.2
27	48.1	10.3
29	149.4	56.7
8	69.8	11.2
24	108.7	26.4
17	296.4	28.5
26	171.8	42.3
23	248.7	30.1
10	52.5	58.3

圖 5.10 資料解算時的衛星仰角與方位角

§ 5.4.7 資料解算軌跡

圖 5.11 所表達的是靜態(左)與動態(右)的軌跡圖，精密單點定位處理器會將每筆資料進行解算，並以紅點顯示每筆資料的結果。在靜態模式，紅點為軟體計算出來得到的坐標解，坐標中心為使用者所給定的初始坐標，如果紅點未出現在中心的位置，可能是初始坐標給定較不精確，但是亦不會影響到解算的工作；如果初始坐標與真實坐標相差太遠，則軟體內的卡曼濾波器可能將不會收斂，因此會造成無解的情形發生，一般而言，吾人使用處理資料內的初始坐標設定即可。在動態模式，可顯示載體的運行軌跡，橫軸代表的是經度，縱軸代表的是緯度，網格最大值與最小值皆以度-分-秒來表示，坐標前項為緯度，後項為經度，紅色軌跡即為載體運行的路徑，似呈線條形狀。圖示中有 1dm、5dm 及 10dm，表示位置解算離初始坐標的距離，圖示中亦可顯示全部資料離初始坐標範圍內的百分比，以圖 5.15 為例，有 69%在 1dm 內，98%在 5dm 內，100%在 10dm 內。

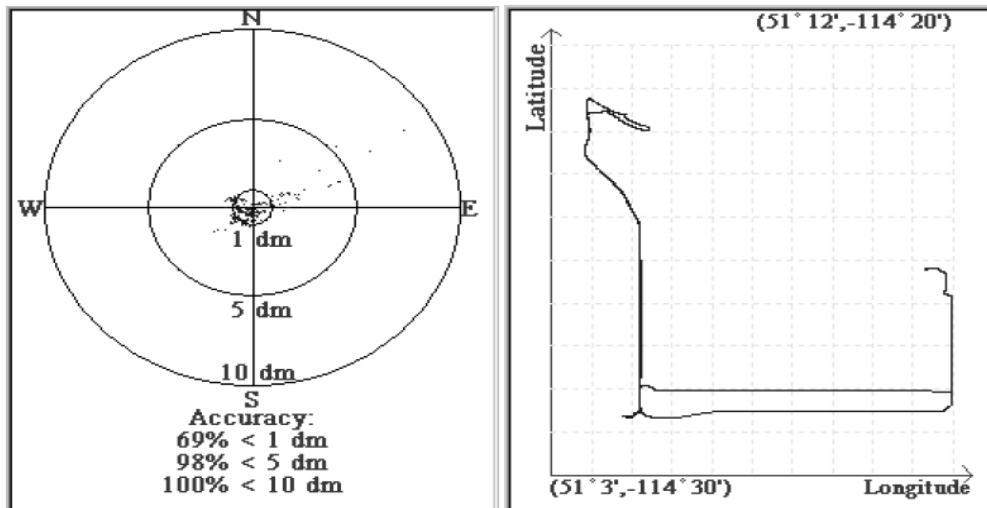


圖 5.11 資料解算時的靜態軌跡(左)與動態軌跡(右)

§ 5.4.8 衛星選取視窗介紹

衛星選取結果介面的目的是顯示在進行解算時候，在每一筆觀測資料中，所接受的衛星編號、拒絕的衛星編號或顯示衛星的狀態，可能情形如表 5.4 所列，皆顯示於此視窗內，如圖 5.12 所示。

```

Accept PRN17
Accept PRN23
Accept PRN24
Accept PRN28

2006 3 31 2:48:30.0
Latitude = 23 34 47.61791
Longitude= 120 18 19.81285
Height = 42.816
Accept PRN2
Accept PRN4
Accept PRN5
Accept PRN10
Accept PRN13
Accept PRN17
Accept PRN23
Accept PRN24
Accept PRN28

2006 3 31 2:49:0.0
Latitude = 23 34 47.61785
Longitude= 120 18 19.81274
Height = 42.817
Accept PRN2
Accept PRN4
Accept PRN5
Accept PRN10
Accept PRN13
Accept PRN17
Accept PRN23
Accept PRN24
Accept PRN28

```

圖 5.12 衛星選取的結果

§ 5.4.9 參數值視窗

如圖 5.13 所示，參數值視窗所展現的是資料解算過程中，每一筆的資料各別參數值以及單位皆會顯示出來，而參數的意義列於表 5.5 解釋。

觀測日期 :	2006-03-31	GPS 時間 (sec) :	453570.0
緯度 :	23°34' 47.6155"	σ - 緯度 (m) :	0.003
經度 :	120°18' 19.8083"	σ - 經度 (m) :	0.005
高度 (m) :	43.213	σ - 高度 (m) :	0.005
向北速度 (m/s) :	0.000	σ - 向北速度 (m/s) :	0.000
向東速度 (m/s) :	0.000	σ - 向東速度 (m/s) :	0.000
向上速度 (m/s) :	0.000	σ - 向上速度 (m/s) :	0.000
時鐘偏差 (m) :	-86923.922	σ - 時鐘 (m) :	4.581
對流層延遲 (m) :	0.173	σ - 對流層延遲 (m) :	0.000
HDOP :	1.276	仰角 :	10°
VDOP :	1.905	追蹤的衛星 :	8
PDOP :	2.293	使用的衛星 :	8

圖 5.13 精密單點定位處理器參數解算成果介面

表 5.5 參數值意義說明

參數值	意義描述
觀測日期	觀測資料的日期。
緯度	GPS 接收儀的緯度位置。
經度	GPS 接收儀收儀的經度位置。
高度(m)	GPS 接收儀的高度位置。
向東速度(m/s)	GPS 接收儀在向東的速度。
向北速度(m/s)	GPS 接收儀在向北的速度。
向上速度(m/s)	GPS 接收儀在向上的速度。
時鐘偏差(m)	接收儀時鐘偏差。
對流層延遲(m)	估算對流層總延遲量。
HDOP	衛星在平面位置的幾何強度。
VDOP	衛星在垂直位置的幾何強度。
PDOP	衛星在三維空間的幾何強度。
GPS 時間(s)	計算中的 GPS 時間。
σ -緯度(m)	緯度的標準差。
σ -經度(m)	經度的標準差。
σ -高度(m)	高度的標準差。
σ -向東速度(m/s)	向東速度的標準差。
σ -向北速度(m/s)	向北速度的標準差。
σ -向上速度(m/s)	向上速度的標準差。
σ -時鐘	接收儀時鐘的標準差。
σ -對流層延遲	對流層延遲量的標準差。
仰角	衛星設定仰角。
追蹤的衛星	在接收儀上方所觀測到的衛星數目。
使用的衛星	被用來求解計算所使用的衛星數目。

§ 5.5 設定參數

設定參數項目主要有參數設定、天線設定、坐標設定、氣象參數、衛星選擇五大部分，由於設定參數為解算過程中最關鍵之步驟，因此吾人必須謹慎處理，以免造成往後成果的疏失及不便。

§ 5.5.1 參數設定

首先要介紹參數設定，如圖 5.14 所示，此設定項目包含觀測間隔以及 GPS UTC 時間偏差，吾人亦可以設定衛星仰角，去除不良的衛星訊號，以免有嚴重的多路徑效應發生；吾人可以設定觀測量標準差，藉由標準差的門檻，達到資料品質一致的標準；軟體解算時的資料檔案必須被儲存，以便後續再需要此筆資料時，即可以立即讀入，選取所需的資訊，不必再消耗時間重新執行一次。



圖 5.14 參數設定欄位

§ 5.5.2 天線設定

如圖 5.15 所示，天線設定主要是給予天線相位中心垂直偏差的量，如果已知其偏差量，吾人可以輸入至系統，以供解算結果更加精準；吾人亦可以使用 IGS 所提供的 PCV 檔案，PCV 檔案包含廠牌與型號，吾人只要選擇接收儀的廠牌與型號及可以自動改正其偏差量；否則，解算結果可能與預期的結果會有些許誤差。



圖 5.15 天線設定介面

§ 5.5.3 初始坐標設定

如圖 5.16 所示，坐標設定方面，吾人必須先設定坐標系統與坐標基準，避免後續處理會產生困擾；由於此軟體是透過卡曼濾波器預估收斂，因此吾人必須給定初始坐標以供收斂，因此，如果初始坐標與真實坐標範圍相差太遠，可能造成無法收斂完成，會導致無解的狀況發生；因此，吾人可以透過觀測檔(.O 檔)來給予初始坐標，避免發生不必要的錯誤。



圖 5.16 初始坐標設定介面

§ 5.5.4 氣象參數設定

由於未來要估算對流層延遲量，而對流層延遲量與氣象參數息息相關，因此吾人事先建立氣象參數設定欄位，以供未來後續發展所使用，在此不做詳細說明。



圖 5.17 氣象參數設定介面

§ 5.5.5 衛星選擇設定

如圖 5.18 所示，如果吾人已知衛星在當天執行任務時，部分衛星狀況不良或是衛星本身參數不良，吾人可以透過衛星選擇部份對衛星做刪除的動作，即在解算的過程中，放棄使用狀況不良的衛星，以提升解算的可靠度與精度。

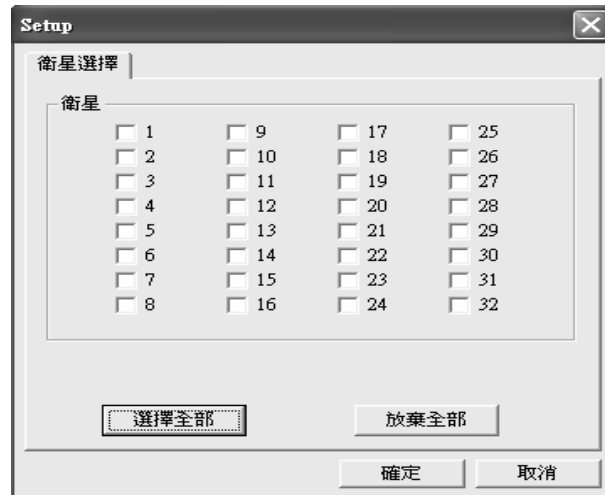


圖 5.18 衛星選擇設定介面

如圖 5.19 所示，PPP 設定方面主要是輸入觀測檔案、精密星曆和精密時鐘，並且選擇適合的模型與模式，無人選擇精密軌道為 SP3，時鐘選擇可以選 SP3 內的時鐘設定，亦可選擇 5 minutes 的檔案(CLK)，觀測檔案為 .O 檔。模型部份有傳統模型與 UoC 模型，UoC 模型是由加拿大卡加利大學 Dr. Gao Yang 研究團隊所創立的，有別於傳統模型，UoC 模型可以改善傳統模型的缺點，例如:收斂時間、雜訊放大等，讓解算過程趨近快速穩定。此設定欄位亦可選擇靜態模式或動態模式，依照資料本身的特性選取適當的模式即可。

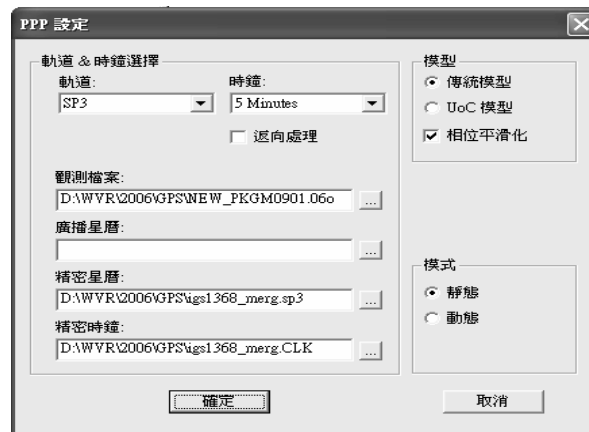


圖 5.19 PPP 精密產品設定介面

當所有一切設定完成後，即可按下執行鍵，精密單點定位就可以算出定位解。

§ 5.5.6 輸出設定

計算完成後，吾人可以輸出欲得到的資訊，目前有三項輸出資料可供選擇：
GPS Time、XYZ 坐標以及 UTC Time，如圖 5.20 所示。



圖 5.20 PPP 資料輸出選擇介面

第六章 動態精密單點定位精度及效益分析

本計畫進行二項實驗分析：第一項為靜態精密單點定位靜態測試；第二項為精密單點定位方法與差分相對定位方法進行動態觀測量成果之比較。

§ 6.1 外業實驗及資料處理流程

本研究外業施測地點為台南市安平潮位站，利用與潮位站相距約 2 至 3 公尺之 GPS 浮標進行不同方法之動態定位比較。本研究選定 GPS 參考主站為台南地政事務所樓頂之二等衛星控制點(S810)，如圖 6.1 所示，距離 GPS 浮標約為 1.5 公里，符合差分動態定位之距離限制。而外業施測所使用之 GPS 天線盤、接收儀型號皆與 GPS 浮標相同，接收頻率皆設定為 1Hz。



圖 6.1 本研究架設參考主站之二等衛星控制點(S810)

本實驗共進行了 6 次外業實驗，實驗日期分別為 2009 年 1 月 9 日、2009 年 2 月 5 日、2009 年 2 月 23 日、2009 年 5 月 13 日、2009 年 5 月 14 日以及 2009 年 5 月 15 日，表 6.1 為外業 GPS 觀測時間。

表 6.1 實驗日期及 GPS 觀測時間

2009 年	GPS 浮標觀測時間	經過時間	參考主站觀測時間	經過時間
1 月 9 日	09:27:24 ~ 17:38:35	08:11:11	08:34:50 ~ 17:03:08	08:28:18
2 月 5 日	08:48:47 ~ 17:07:27	08:18:40	08:35:05 ~ 16:47:35	08:12:30
2 月 23 日	08:52:45 ~ 15:01:04	06:08:19	08:14:04 ~ 15:13:39	06:59:35
5 月 13 日	08:47:56 ~ 17:38:30	08:50:34	08:17:24 ~ 16:20:40	08:03:16
5 月 14 日	08:48:54 ~ 17:33:26	08:44:32	08:21:24 ~ 16:56:31	08:35:07
5 月 15 日	08:40:24 ~ 15:04:47	06:24:23	08:16:24 ~ 16:52:37	08:36:13

如圖 6.2 所示，為了得到 S810 點位之坐標，邱士銘(2008)利用台灣 e-GPS 電子基準站之金門站(KMNM)當作固定站，網型解算出外垵站(WIAN)、七美站(CIME)、北港站(PKGM)、旗山站(CISH)、高雄港站(KASH)之坐標，並且利用七美站(CIME)與高雄港站(KASH)來解算出 S810 在 ITRF2005 參考系統下的坐標，如表 6.2 所示。

表 6.2 電子基準站之已知 ITRF2005 坐標

	緯度	經度	橢球高(m)
CIME	23 度 12 分 16.702246 秒	119 度 25 分 47.927226 秒	54.8731
CISH	22 度 53 分 22.535680 秒	120 度 28 分 52.435806 秒	90.8799
KASH	22 度 36 分 52.186762 秒	120 度 17 分 18.069263 秒	25.6421
PKGM	23 度 34 分 47.615025 秒	120 度 18 分 19.810233 秒	42.7740
WIAN	23 度 34 分 03.126585 秒	119 度 28 分 50.886968 秒	45.0170
S810	22 度 59 分 26.766685 秒	120 度 10 分 57.108706 秒	41.3517

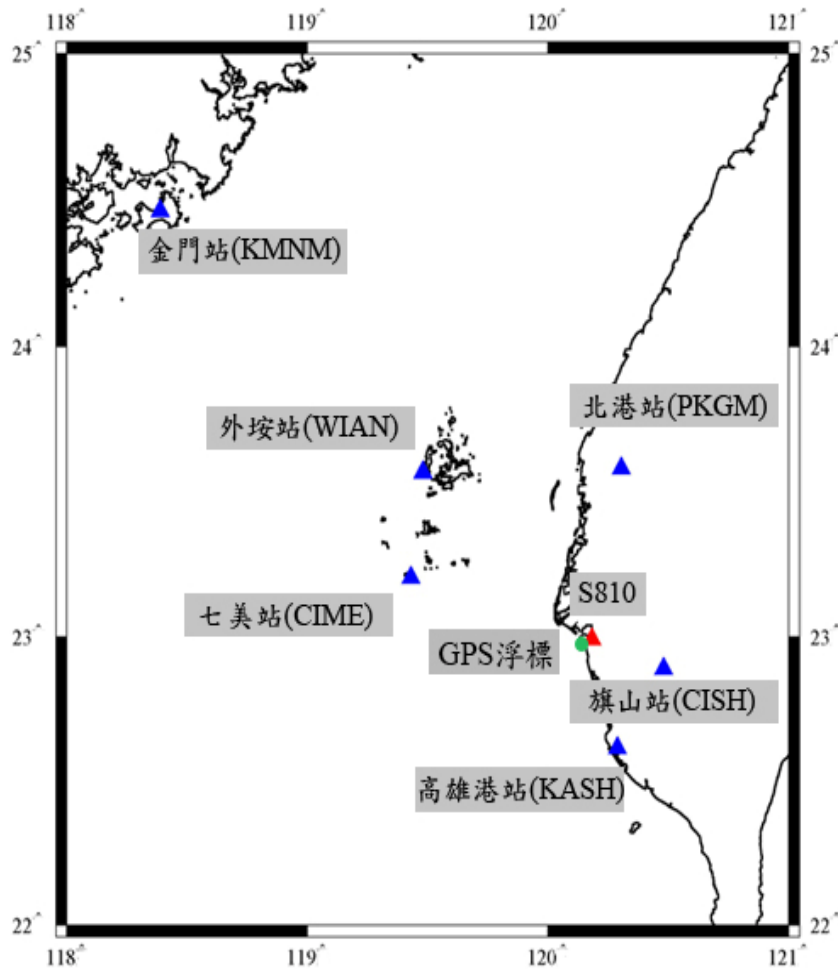


圖 6.2 電子基準站及 S810 位置示意圖(藍色三角形為電子基準站，紅色三角形為 S810 二等衛星控制點，綠色圓形為 GPS 浮標)

§ 6.2 靜態精密單點定位靜態測試

本計畫取得了 2009 年 1 月 9 日、2009 年 2 月 5 日以及 2009 年 2 月 23 日之台灣 e-GPS 電子基準站觀測檔(接收頻率為 1 Hz)，故先針對各個電子基準站 24 小時資料進行精密單點定位解算，衛星仰角設為 15 度，精密星曆及精密衛星時鐘改正資料皆採用 IGS 發布之最終產品(final product)，每日計算坐標值與已知坐標之比較如表 6.3 所示。圖 6.3(a)~圖 6.7(f)為各 e-GPS 電子基準站的靜態定位誤差圖與衛星 PDOP 值。

表 6.3 靜態精密單點定位精度(單位：公尺)

1 月 9 日	E	N	U	2D RMS	3D RMS
CIME	-0.00957	0.00404	0.00048	0.01039	0.01040
CISH	-0.04013	0.00285	-0.00101	0.04023	0.04025
KASH	-0.03956	-0.01501	0.00140	0.04231	0.04233
PKGM	0.00950	0.01616	-0.02022	0.01875	0.02757
WIAN	0.01706	0.00740	-0.02078	0.01860	0.02789
2 月 5 日	E	N	U	2D RMS	3D RMS
CIME	0.02841	0.00550	0.01022	0.02894	0.03069
CISH	-0.03645	0.00231	0.00687	0.03652	0.03716
KASH	-0.03675	-0.01841	0.00728	0.04111	0.04175
PKGM	0.01687	0.01268	-0.02478	0.02110	0.03255
WIAN	0.02428	0.00487	-0.00393	0.02477	0.02508
2 月 23 日	E	N	U	2D RMS	3D RMS
CIME	0.02371	0.00593	0.02527	0.02444	0.03516
CISH	-0.03661	-0.00336	0.01658	0.03676	0.04033
KASH	-0.03586	-0.01973	0.02090	0.04093	0.04596
PKGM	0.01583	0.01159	-0.01455	0.01962	0.02443
WIAN	0.02620	0.00403	0.01290	0.02651	0.02948

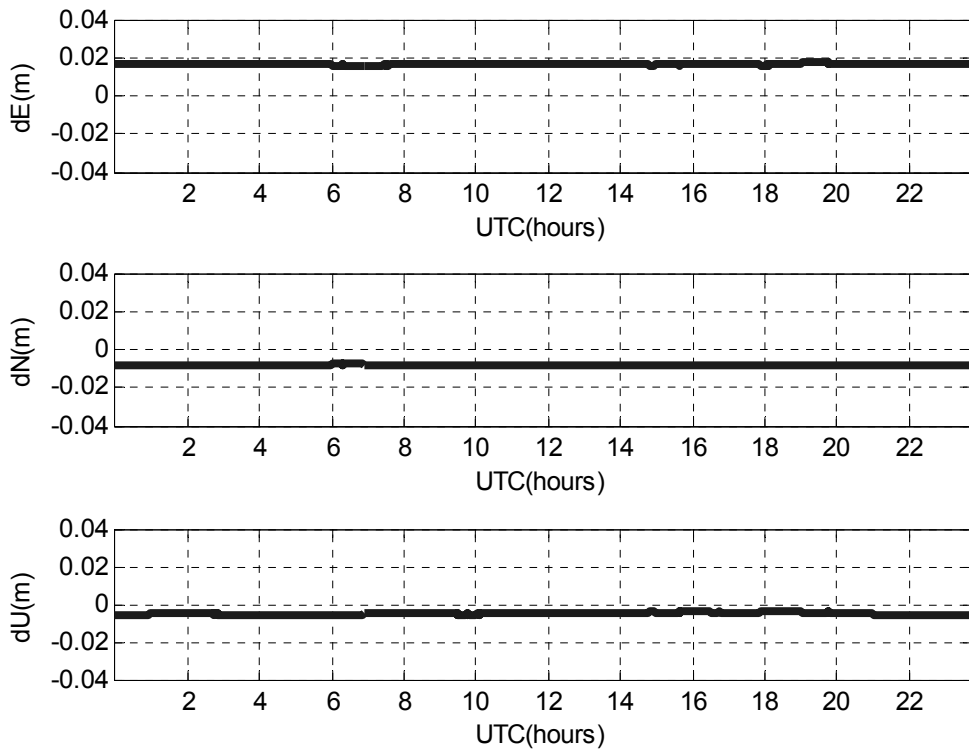


圖 6.3(a) 2009 年 1 月 9 日 CIME(七美站)PPP 靜態定位誤差

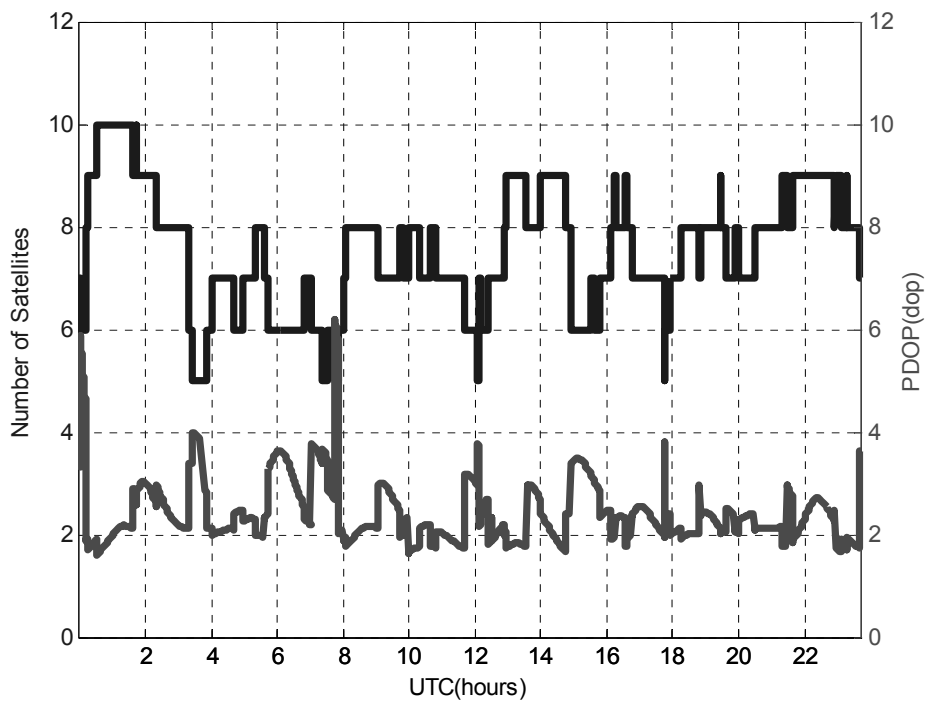


圖 6.3(b) 2009 年 1 月 9 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

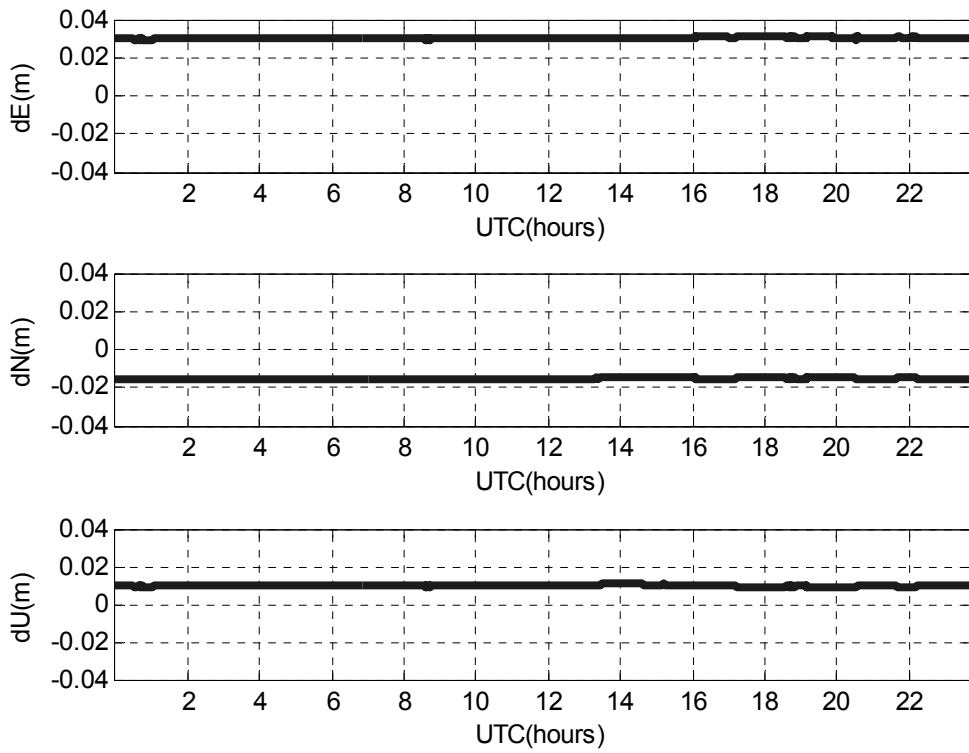


圖 6.3(c) 2009 年 2 月 5 日 CIME(七美站)PPP 靜態定位誤差

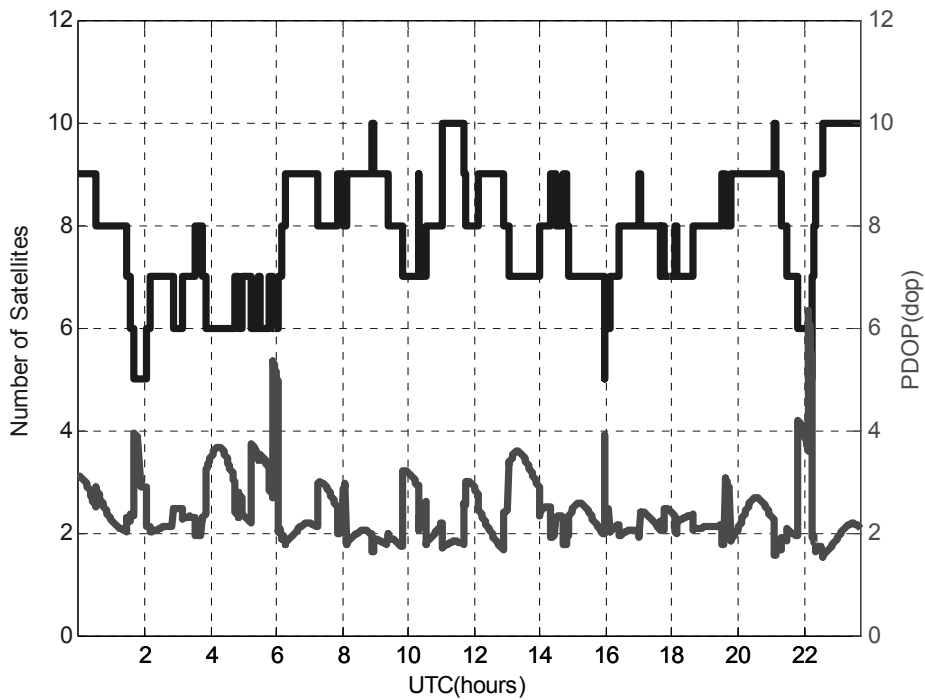


圖 6.3(d) 2009 年 2 月 5 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

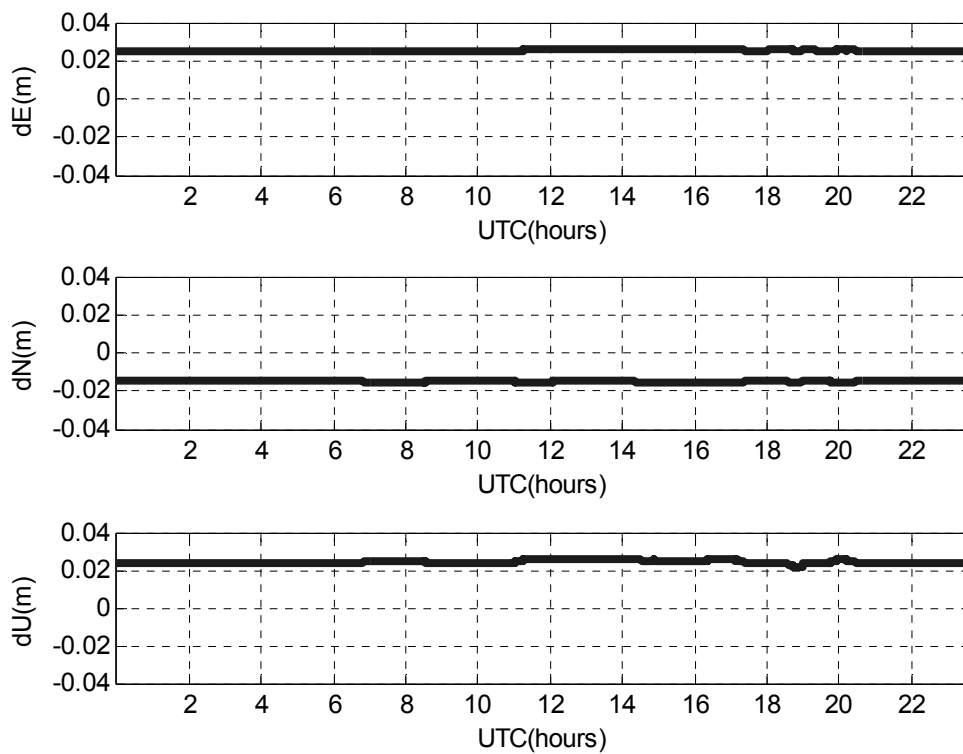


圖 6.3(e) 2009 年 2 月 23 日 CIME(七美站)PPP 靜態定位誤差

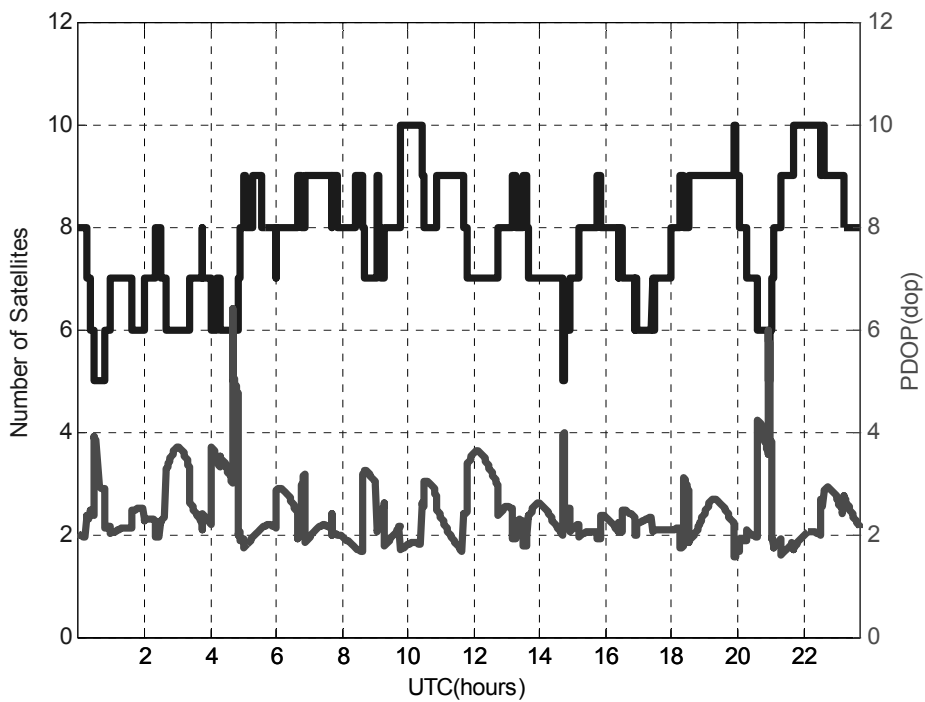


圖 6.3(d) 2009 年 2 月 23 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

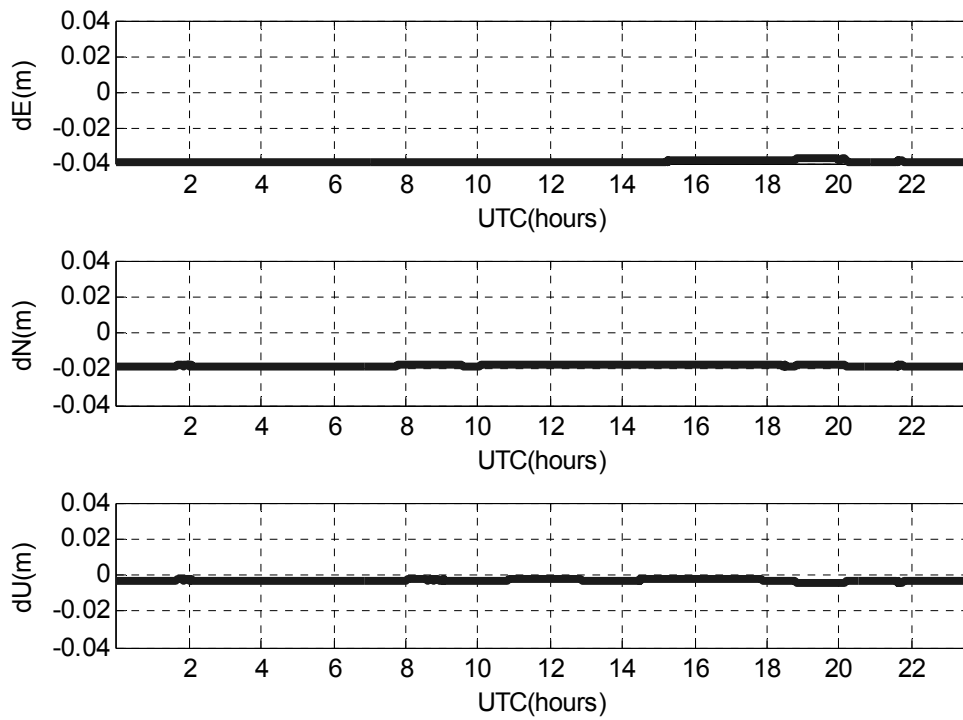


圖 6.4(a) 2009 年 1 月 9 日 CISH(旗山站)PPP 靜態定位誤差

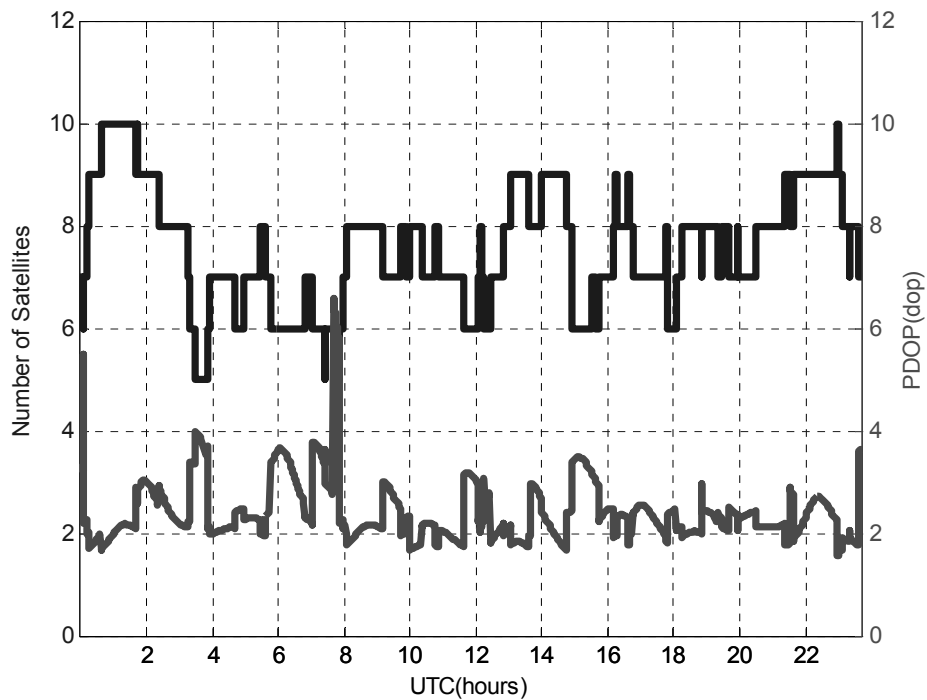


圖 6.4(b) 2009 年 1 月 9 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

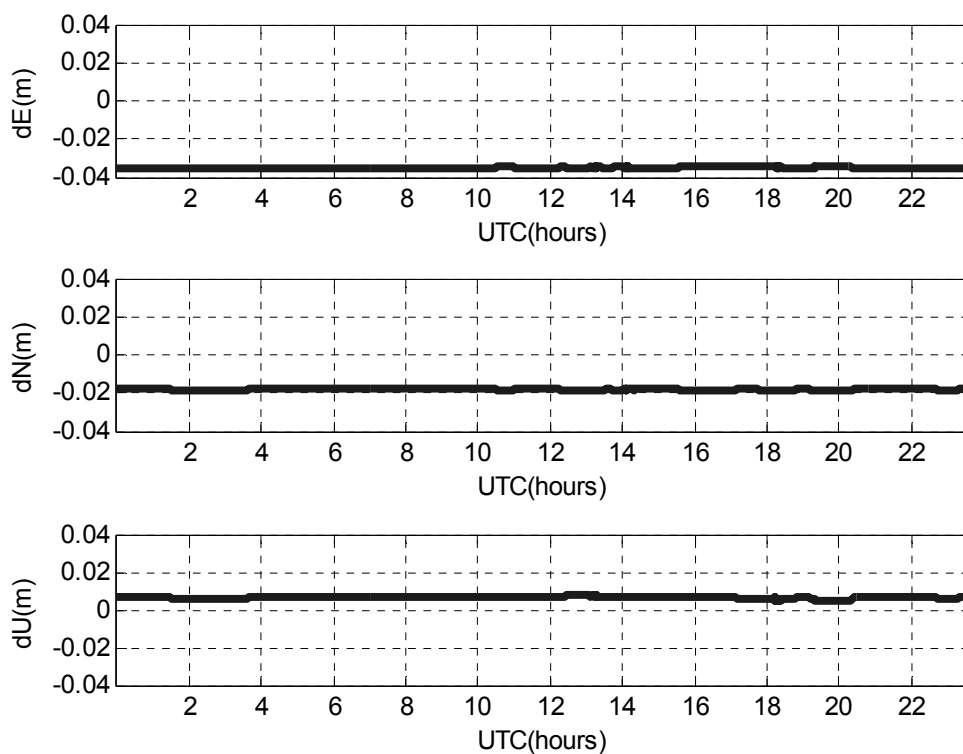


圖 6.4(c) 2009 年 2 月 5 日 CISH(旗山站)PPP 靜態定位誤差

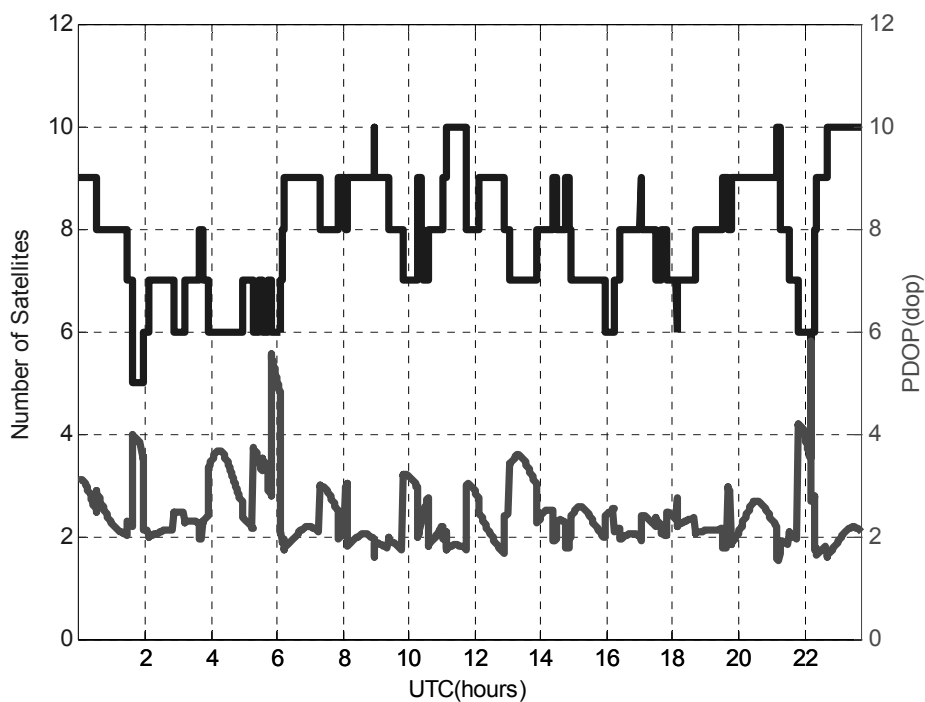


圖 6.4(d) 2009 年 2 月 5 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

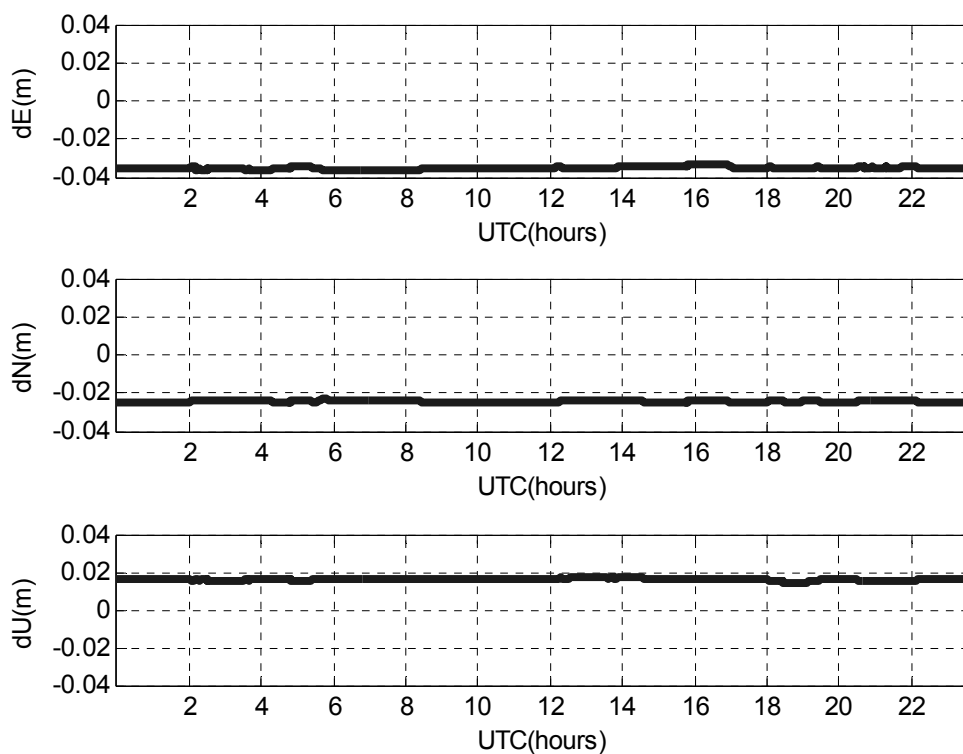


圖 6.4(e) 2009 年 2 月 23 日 CISH(旗山站)PPP 靜態定位誤差

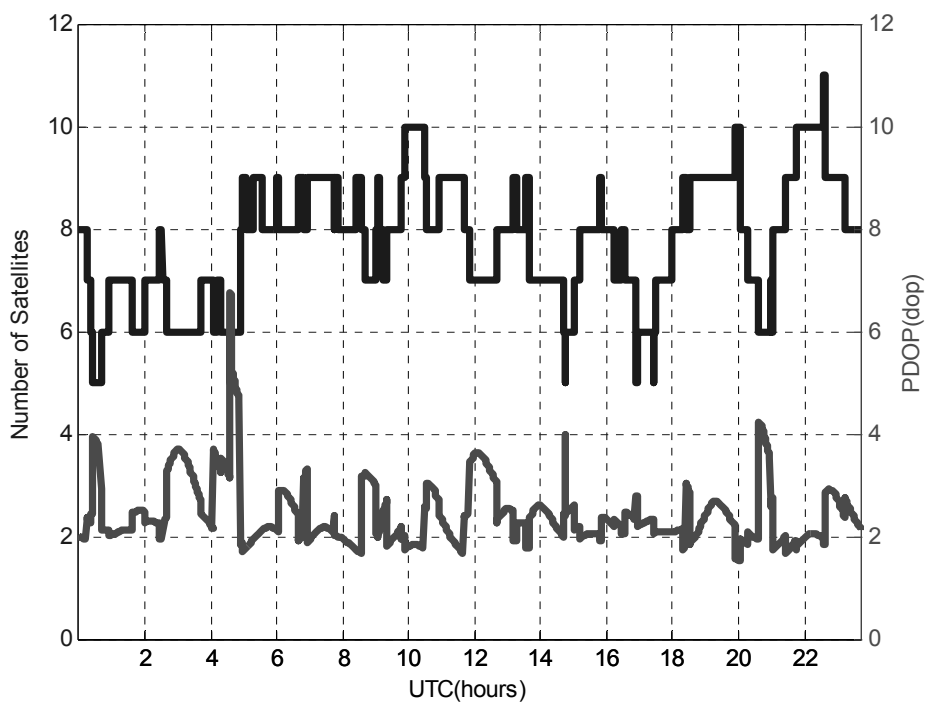


圖 6.4(f) 2009 年 2 月 23 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

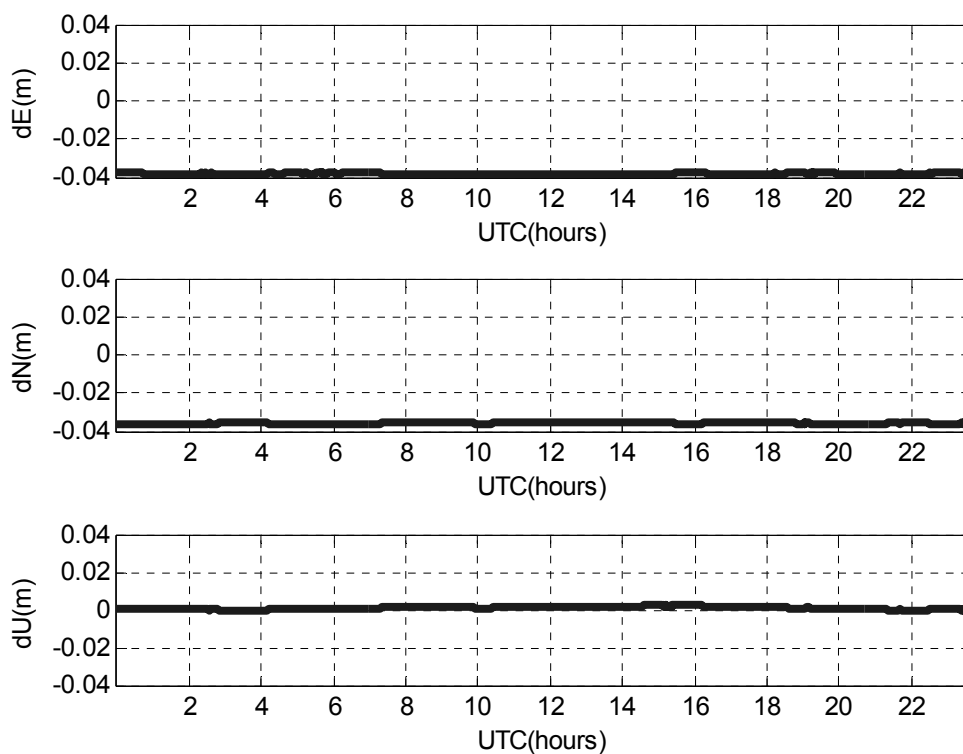


圖 6.5(a) 2009 年 1 月 9 日 KASH(高雄港站)PPP 靜態定位誤差

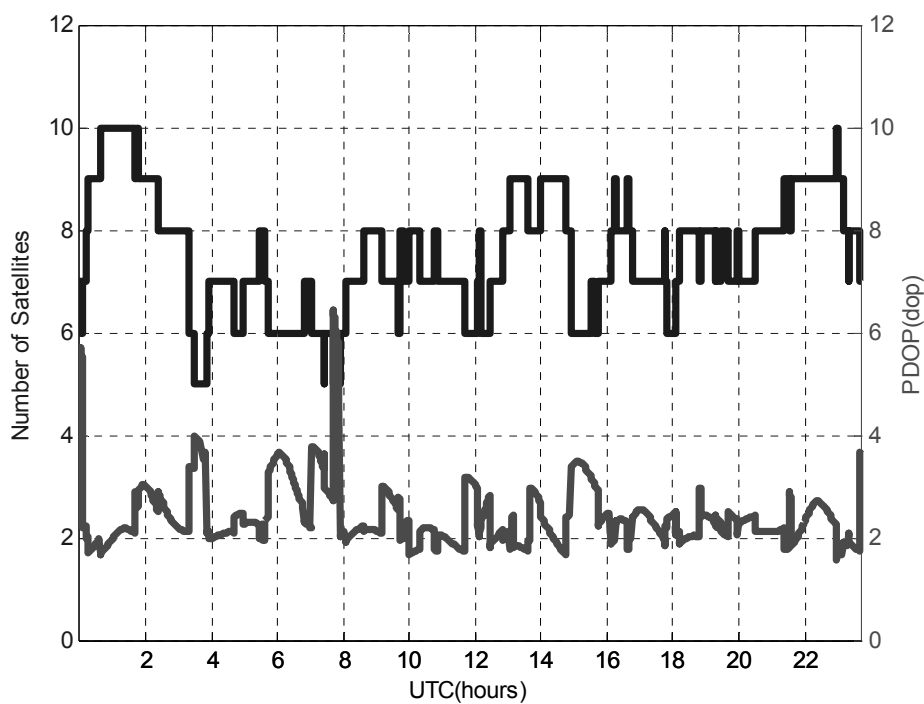


圖 6.5(b) 2009 年 1 月 9 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

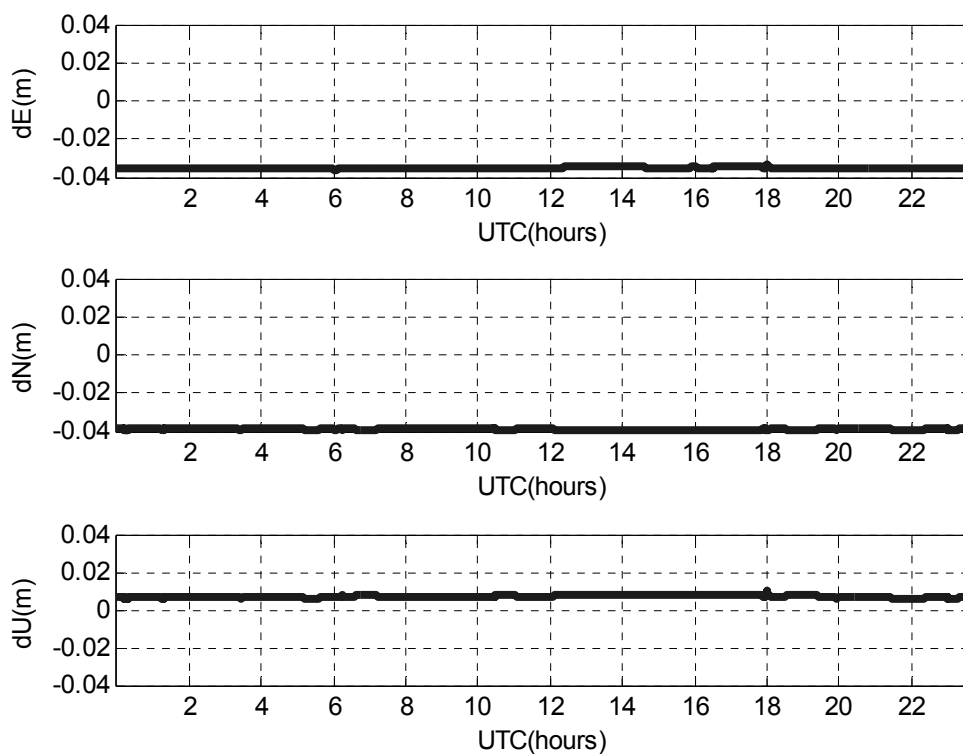


圖 6.5(c) 2009 年 2 月 5 日 KASH(高雄港站)PPP 靜態定位誤差

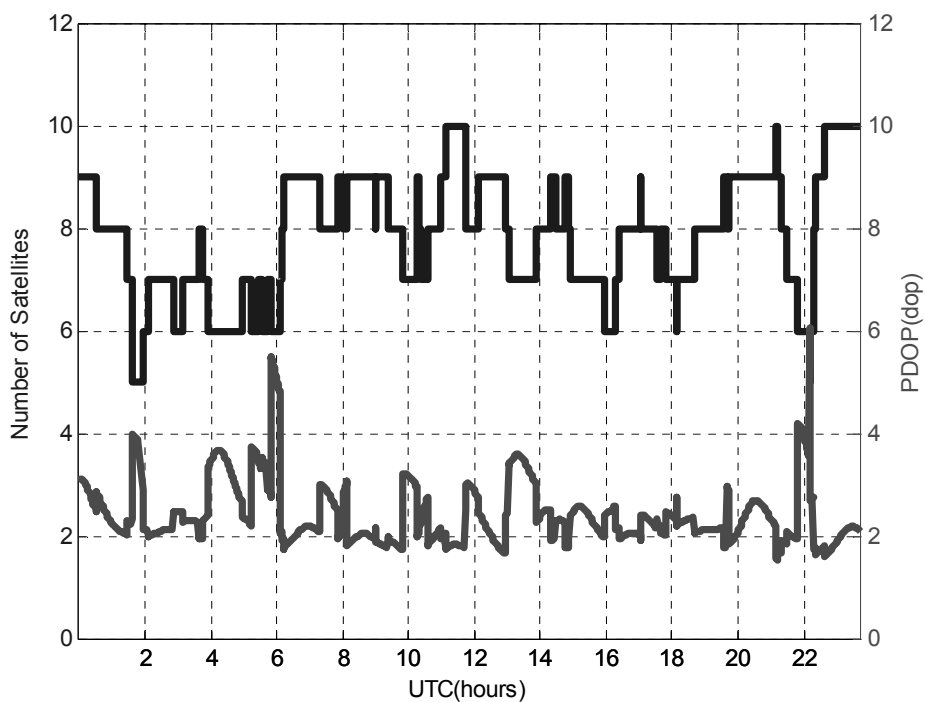


圖 6.5(d) 2009 年 2 月 5 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

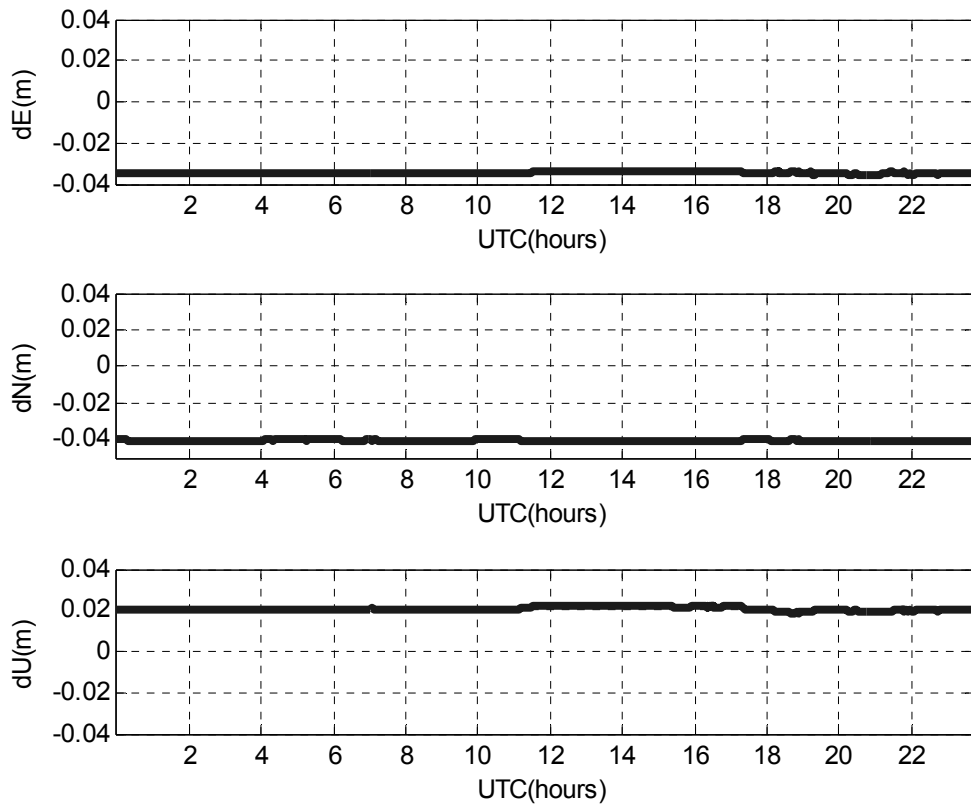


圖 6.5(e) 2009 年 2 月 23 日 KASH(高雄港站)PPP 靜態定位誤差

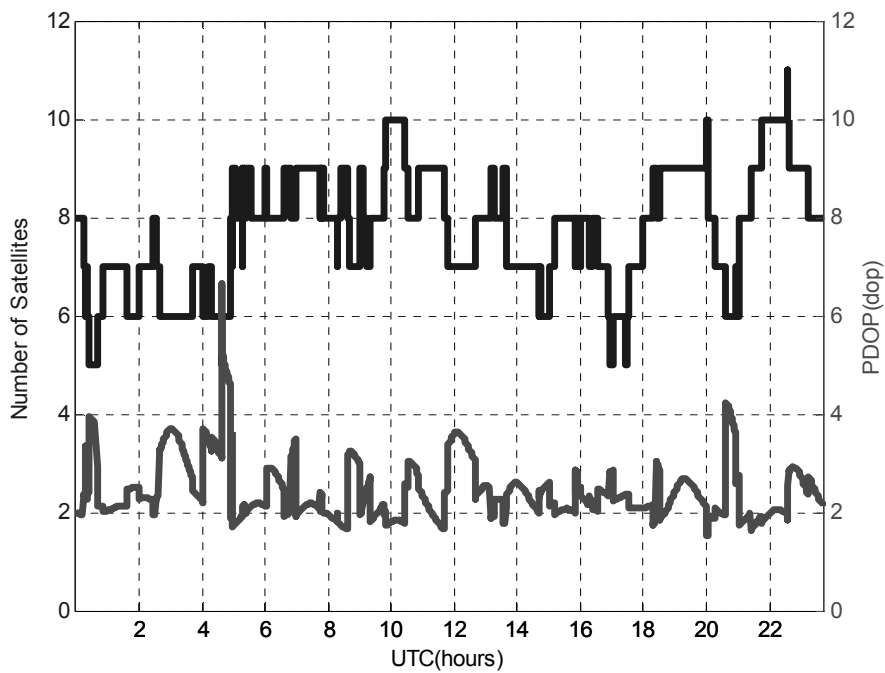


圖 6.5(f) 2009 年 2 月 23 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

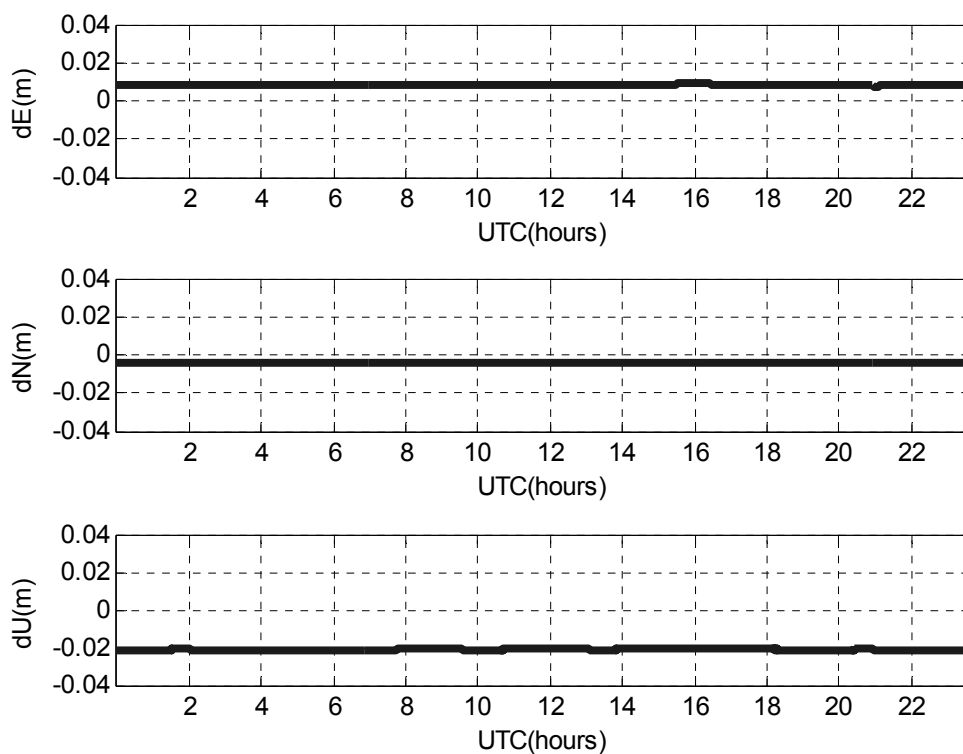


圖 6.6(a) 2009 年 1 月 9 日 PKGM(北港站)PPP 靜態定位誤差

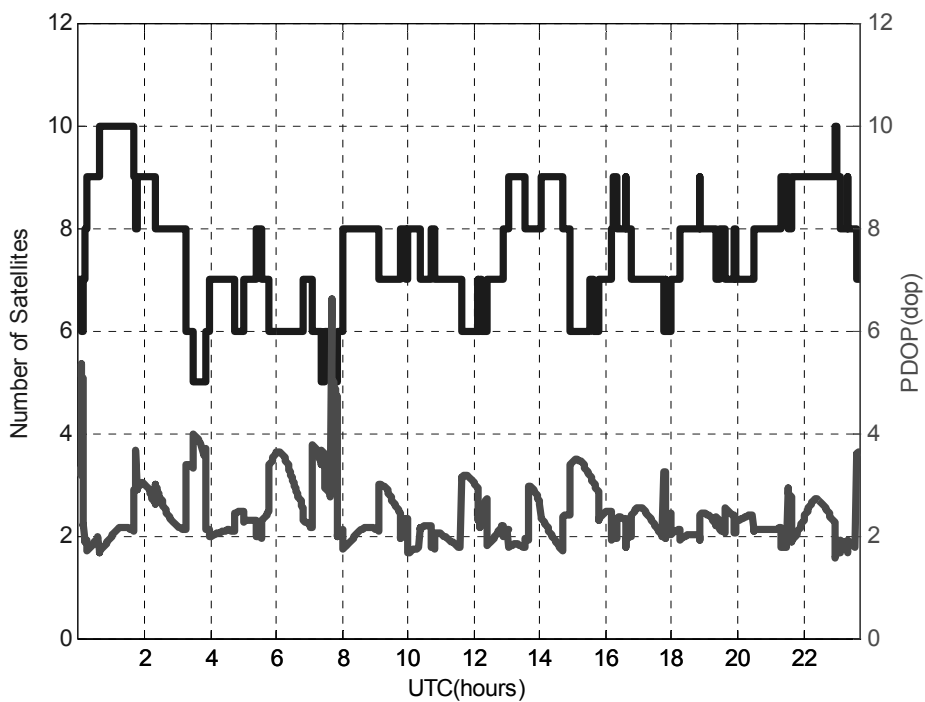


圖 6.6(b) 2009 年 1 月 9 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

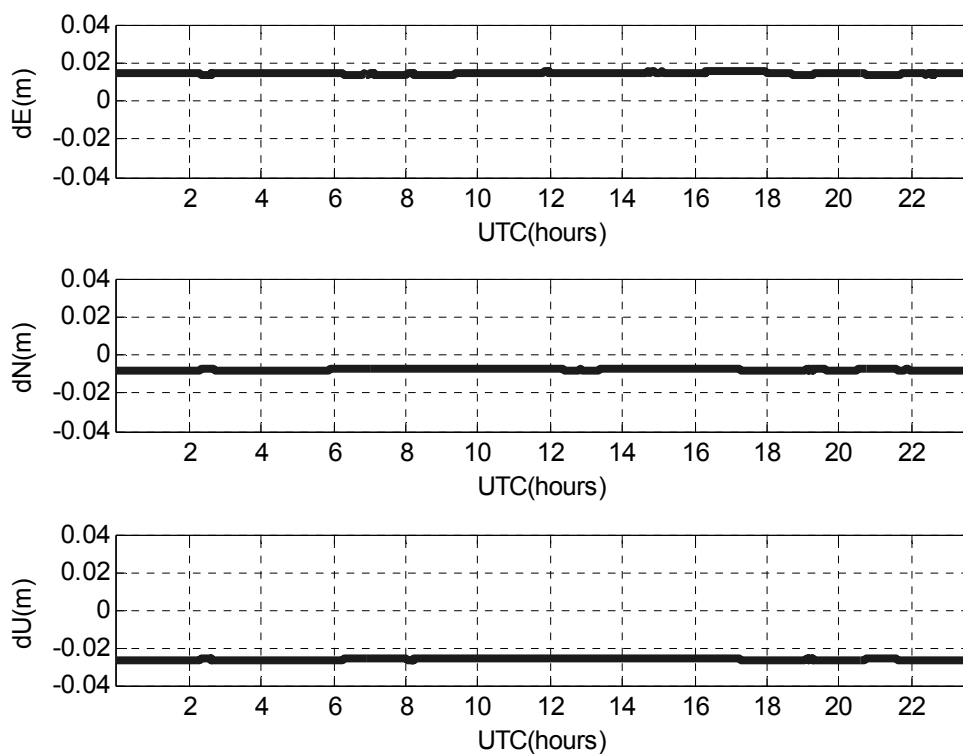


圖 6.6(c) 2009 年 2 月 5 日 PKGM(北港站)PPP 靜態定位誤差

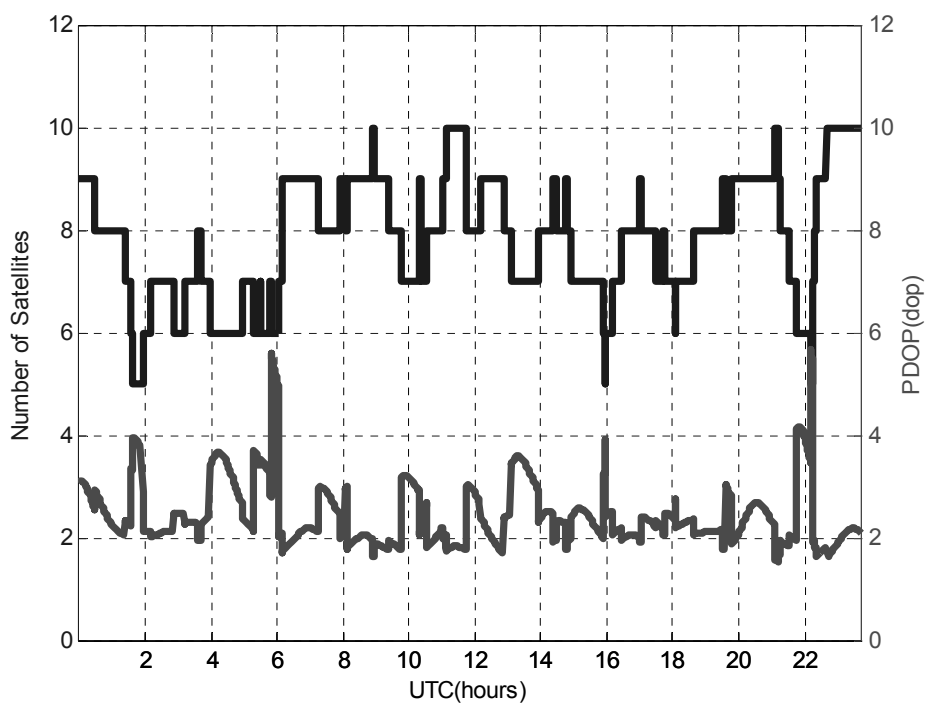


圖 6.6(d) 2009 年 2 月 5 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

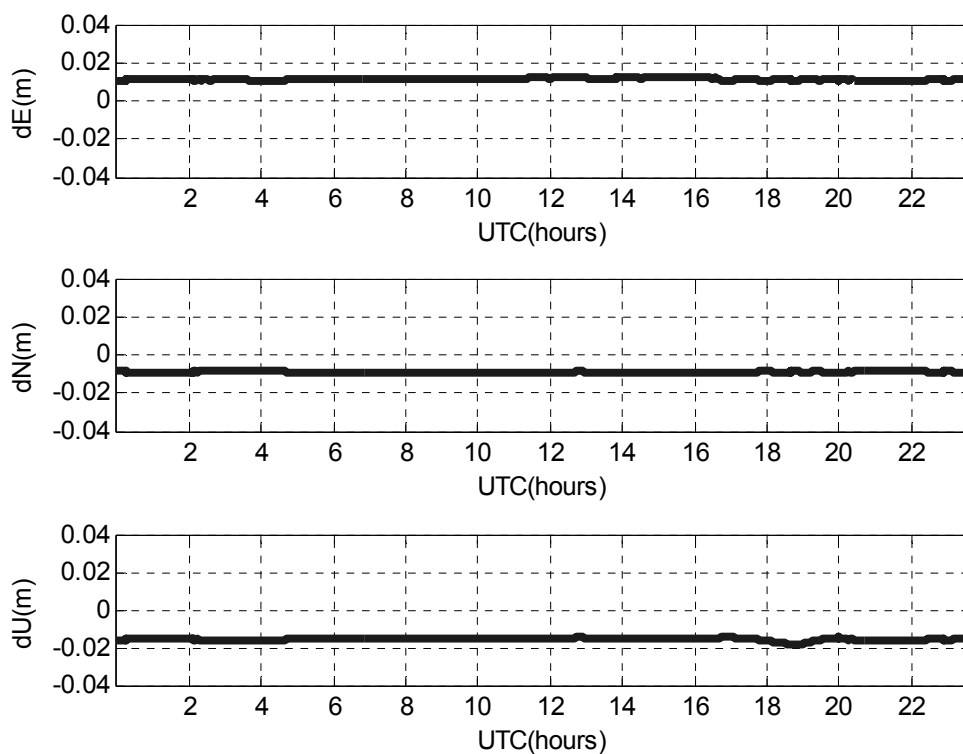


圖 6.6(e) 2009 年 2 月 23 日 PKGM(北港站)PPP 靜態定位誤差

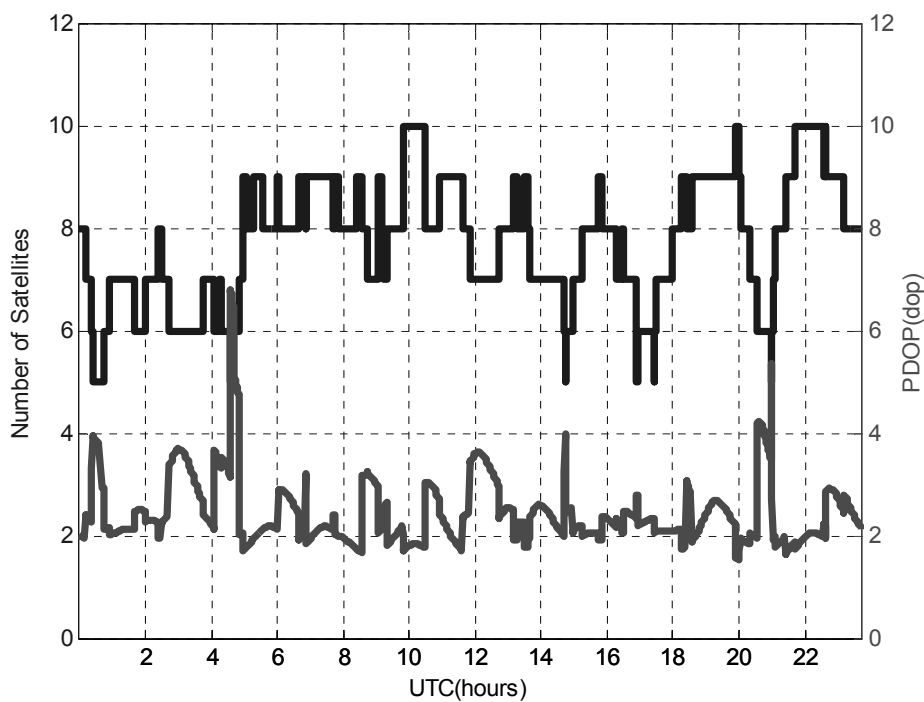


圖 6.6(f) 2009 年 2 月 23 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

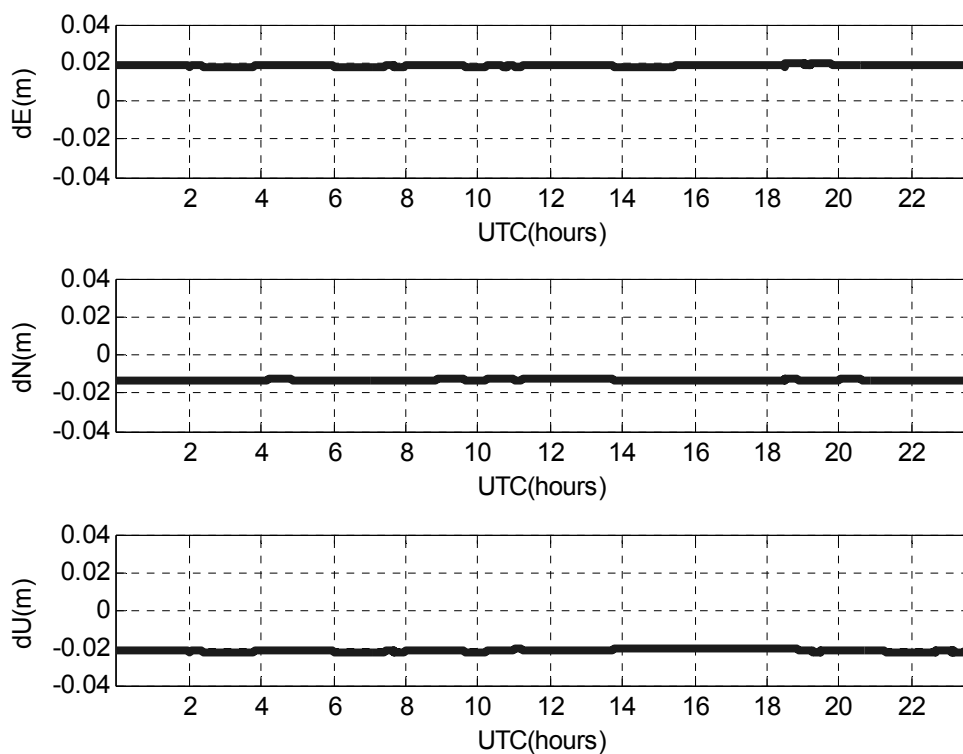


圖 6.7(a) 2009 年 1 月 9 日 WIAN(外垵站)PPP 靜態定位誤差

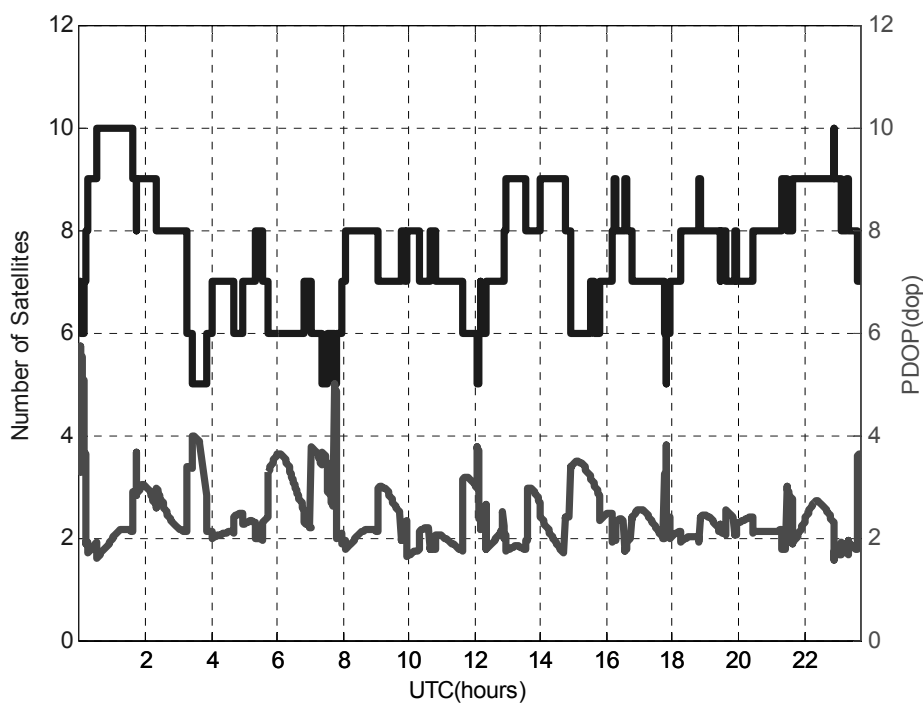


圖 6.7(b) 2009 年 1 月 9 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

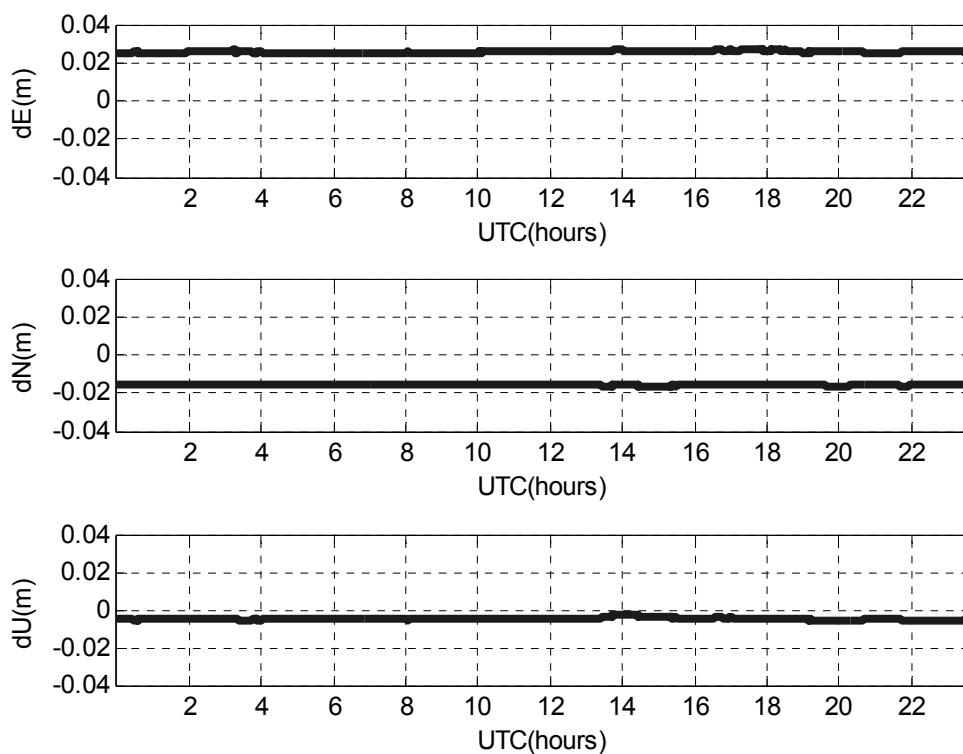


圖 6.7(c) 2009 年 2 月 5 日 WIAN(外垵站)PPP 靜態定位誤差

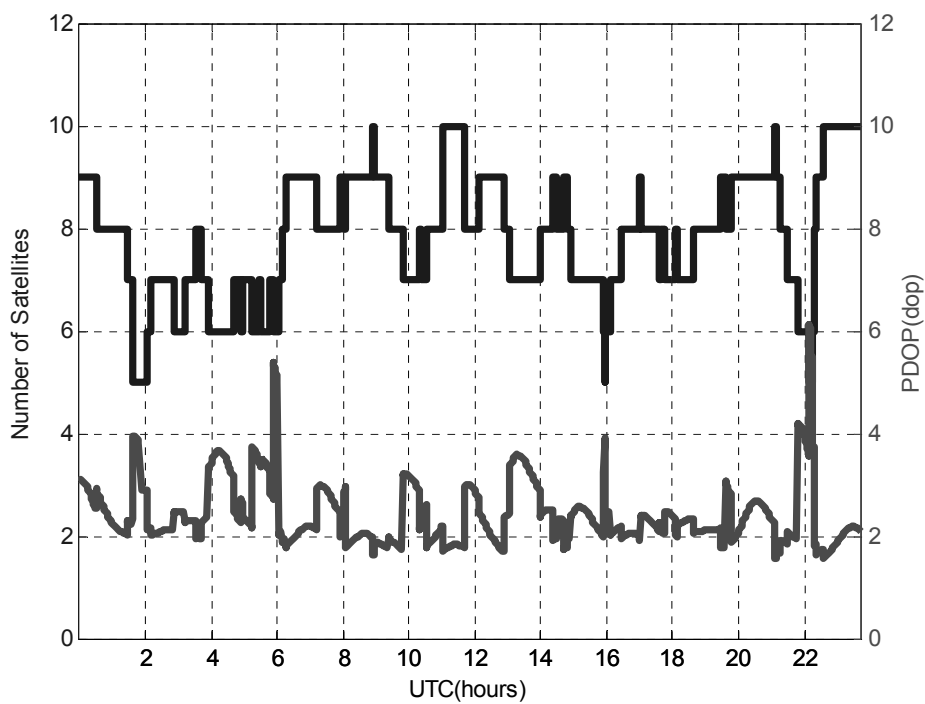


圖 6.7(d) 2009 年 2 月 5 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

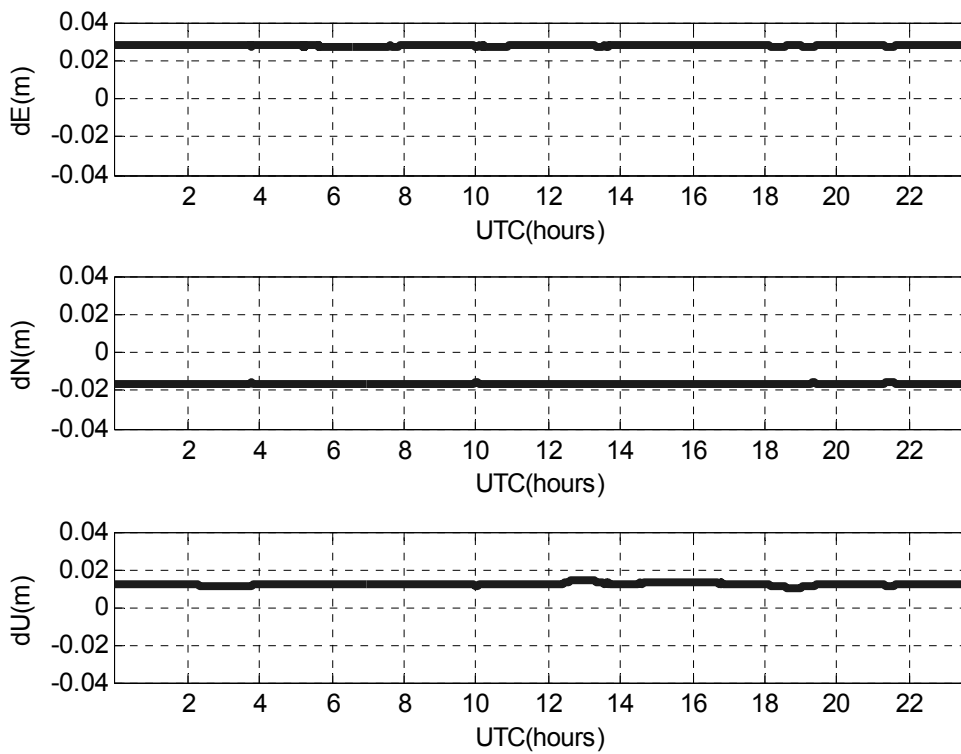


圖 6.7(e) 2009 年 2 月 23 日 WIAN(外垵站)PPP 靜態定位誤差

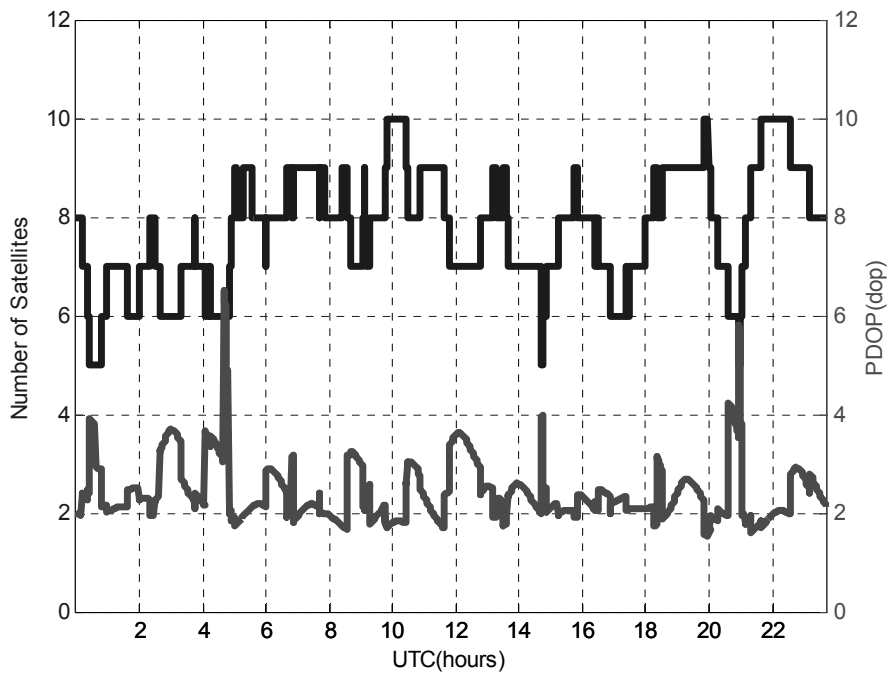


圖 6.7(f) 2009 年 2 月 23 日解算過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

由表 6.3 可以發現，利用精密單點定位技術來進行靜態定位時，5 個電子基準站之平面精度及高程精度皆在 5 公分以內，因此公分級需求之靜態定位已經可以利用精密單點定位來獲得，且在人力及儀器設備的需求皆可降低。除了進行上述比較外，為了瞭解每個站點的觀測環境、觀測數據，本實驗使用了 UNAVCO(University NAVSTAR Consortium)提供的 TEQC(Translate, Edit, Quality Check)數據處理工具檢查各個電子基準站的觀測資料情形，TEQC 是一套專門針對 GPS / GLONASS / Galileo / SBAS 各種不同衛星定位系統觀測數據檢測、編輯的工具，擁有格式轉換、編輯以及品質檢測的功能。觀測檔(O 檔) 主要品質檢測項目有 o/slps、mp1、mp2 三個指標。O/slps 為觀測量-週波脫落比，即為總觀測量數除以總週波脫落數，代表的意義為每幾筆資料會發生一次週波脫落，此值越大代表觀測品質越好；mp1、mp2 則分別代表 L_1 、 L_2 載波相位上的多路徑效應對虛擬距離和載波相位的綜合指標，單位為公尺。

將兩天每個電子基準站的觀測檔(O 檔)經過此工具檢測後的數據如表 6.4 所示。我們可以發現表 6.3 中高雄港站(KASH)進行精密單點定位成果三天的 3D RMS 皆為最高，誤差量最大，此情形可以由其 o/slps 數值明顯低於其他站來解釋之。另旗山站(CISH)站之 o/slps 數值明顯高於高雄港站(KASH)，然其定位精度卻與高雄港站(KASH)相似，約為 4 公分等級。其主要成因推測可能為這些測試站之參考坐標主要由金門站(KMNM)當作固定站，使用網型解算出外坵站(WIAN)、七美站(CIME)、北港站(PKGM)、旗山站(CISH)、高雄港站(KASH)之坐標。由幾何關係吾人可知，旗山站(CISH)、高雄港站(KASH)相對其他站而言距離金門站(KMNM)是較遠的，故其經由平差計算後所得參考坐標之精度可能受基線長度之影響而有所降低。另一個可能原因為 2008 迄本實驗之觀測時刻，南台灣陸續發生幾次規模較大之地震，故此二點位現有坐標較 2008 獲得之參考坐標產生系統系之偏移。由表 6.3 吾人可知這三次的實驗結果顯示此二站較大的誤差都出現在東西向(約 4 公分)。

表 6.4 台灣 e-GPS 電子基準站觀測品質指標

2009 年 1 月 9 日	CIME	CISH	KASH	PKGM	WIAN
o/slps	4539	23377	313	38944	2118
mp1(m)	0.36	0.33	0.31	0.40	0.37
mp2(m)	0.42	0.41	0.32	0.44	0.41
2009 年 2 月 5 日	CIME	CISH	KASH	PKGM	WIAN
O/slps	5321	12310	299	49201	4484
mp1(m)	0.36	0.33	0.31	0.43	0.31
mp2(m)	0.41	0.42	0.31	0.46	0.33
2009 年 2 月 23 日	CIME	CISH	KASH	PKGM	WIAN
O/slps	2883	4324	262	26607	8506
mp1(m)	0.44	0.34	0.36	0.44	0.30
mp2(m)	0.52	0.43	0.47	0.47	0.32

§ 6-3 精密單點定位與差分相對定位之比較

為了得到精密單點定位與差分相對定位應用於 GPS 浮標定位的比較，本研究在安平潮位站旁進行了 6 次 GPS 浮標實驗，分別利用不同發布時間延遲的精密星曆及精密時鐘誤差來進行 GPS 浮標精密單點定位；而距離 GPS 浮標 1.5 公里之 S810 二等衛星控制點進行相對差分相對定位之解算成果理論上已將系統誤差等影響降至最低，本研究將其視為參考解或正確解。由於精密單點定位屬於直接定位，解算後得到 GPS 浮標天線盤相位中心之絕對坐標；而差分相對定位解算的是參考主站到 GPS 浮標天線盤相位中心的基線，再由參考主站之坐標推算出 GPS 浮標之坐標。故我們進行兩種成果之比較時必須謹慎考慮兩種定位方法的坐標系統是否一致，研究中需將所有解算成果進行坐標轉換至同一坐標系統。

在進行精密單點定位解算時，考慮到其待估參數較多，故需要之衛星數較多，但低角度之衛星訊號延遲較嚴重的情形下，吾人將兩種方法解算的衛星仰角皆設為 10 度；而在此種簡易型 GPS 浮標的設計下非常貼近海水面，多路徑效應誤差也可降至最低。

§ 6.3.1 IGS 最終產品解算成果

IGS 最終產品(final product)為目前可以取得之最精準之星曆、時鐘改正資料，發布延遲時間約為 13 天，本研究使用之精密時鐘改正資料時間間隔為 30 秒，計算時會將其改正資料內插為 GPS 浮標接收頻率(1 Hz)，當使用時間間隔越長之改正資料時，其內插的精度將會下降，圖 6.8(a) ~ 圖 6.8(l)分別為 6 次 GPS 浮標實驗之精密單點定位解算成果與參考解之 ENU 方向誤差比較、衛星顆數變化、PDOP 值變化。

6 天 GPS 浮標 ENU 方向誤差之平均值(Mean)、均方根(RMS)及標準差(STD)如表 6.5 所示。由圖 6.8(a) ~ 圖 6.8(l)可以發現，當衛星顆數、幾何分布變化時會導致 PDOP 值突然上升，精密單點定位的精度會突然變差，尤其是高程方向更為明顯。故進行單點定位時 PDOP 值與定位精度是息息相關的。如表 6.5 所示，使用 IGS 最終產品(final product)進行動態精密單點定位時，平面方向 RMS 可以達到 3~5 公分左右；高程方向 RMS 則在 10 公分左右，在高變動率的海上進行測量時，這樣的精度已可滿足大部分的定位需求。

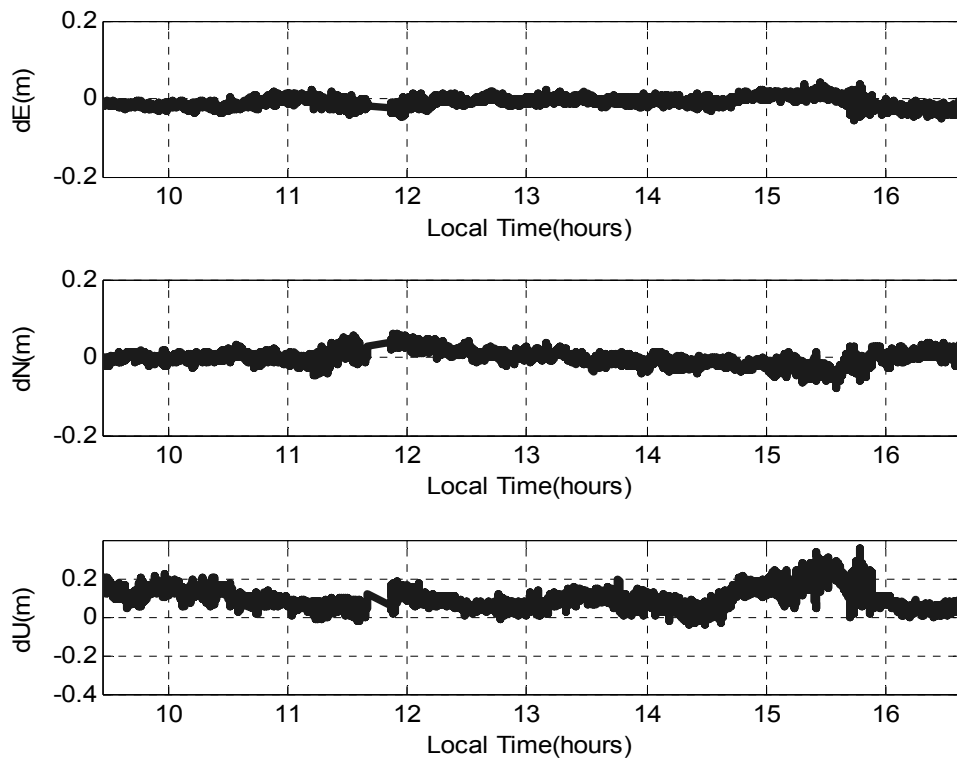


圖 6.8(a) 2009 年 1 月 9 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)

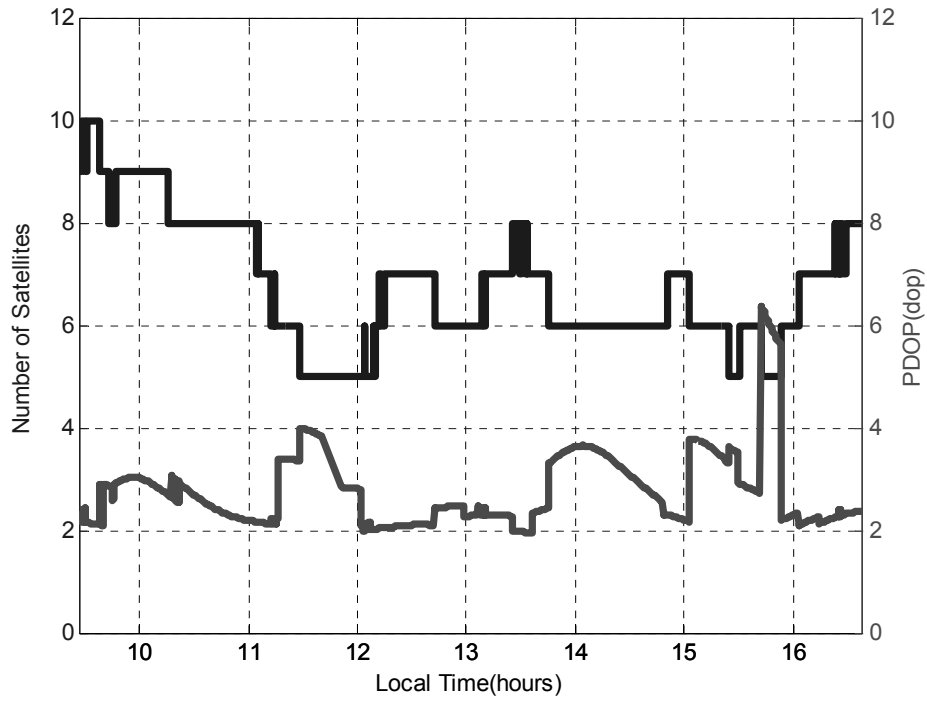


圖 6.8(b) 2009 年 1 月 9 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

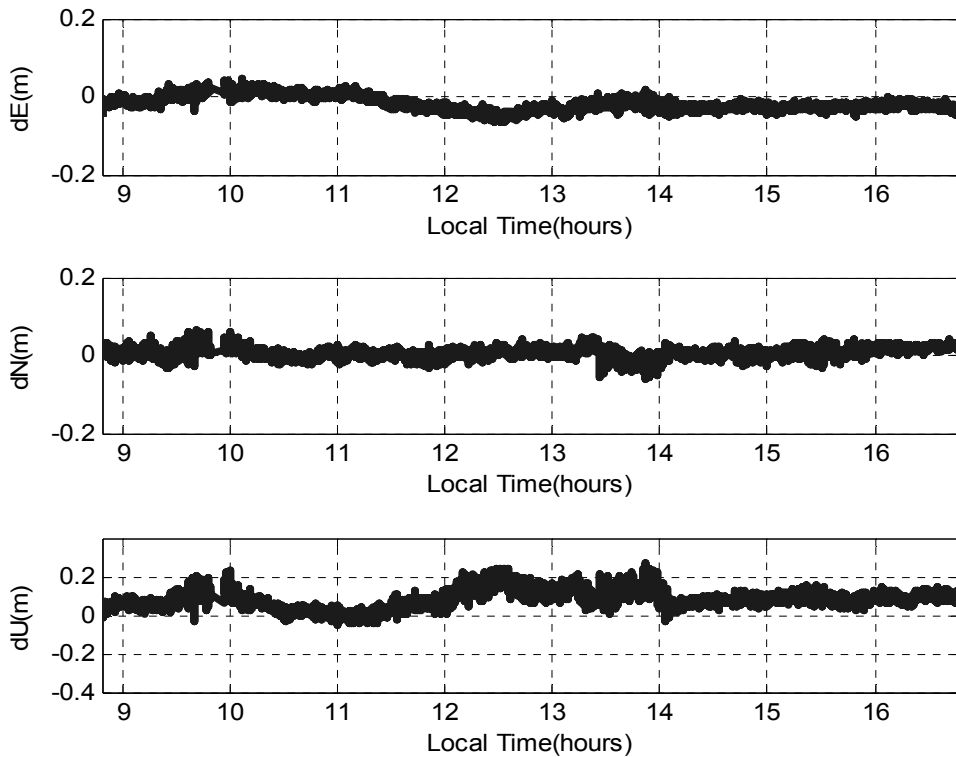


圖 6.8(c) 2009 年 2 月 5 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)

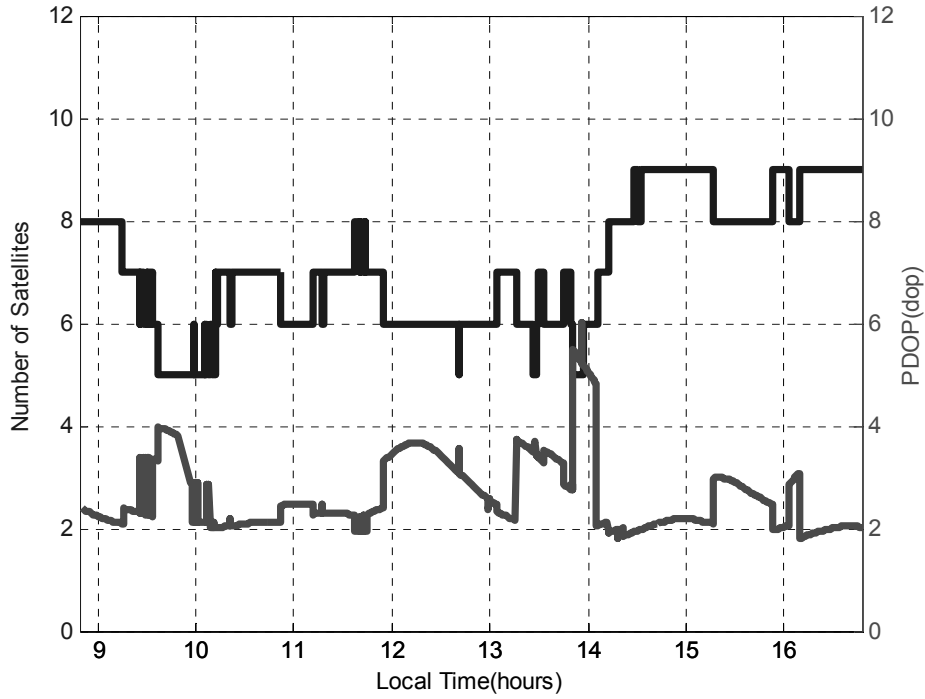


圖 6.8(d) 2009 年 2 月 5 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

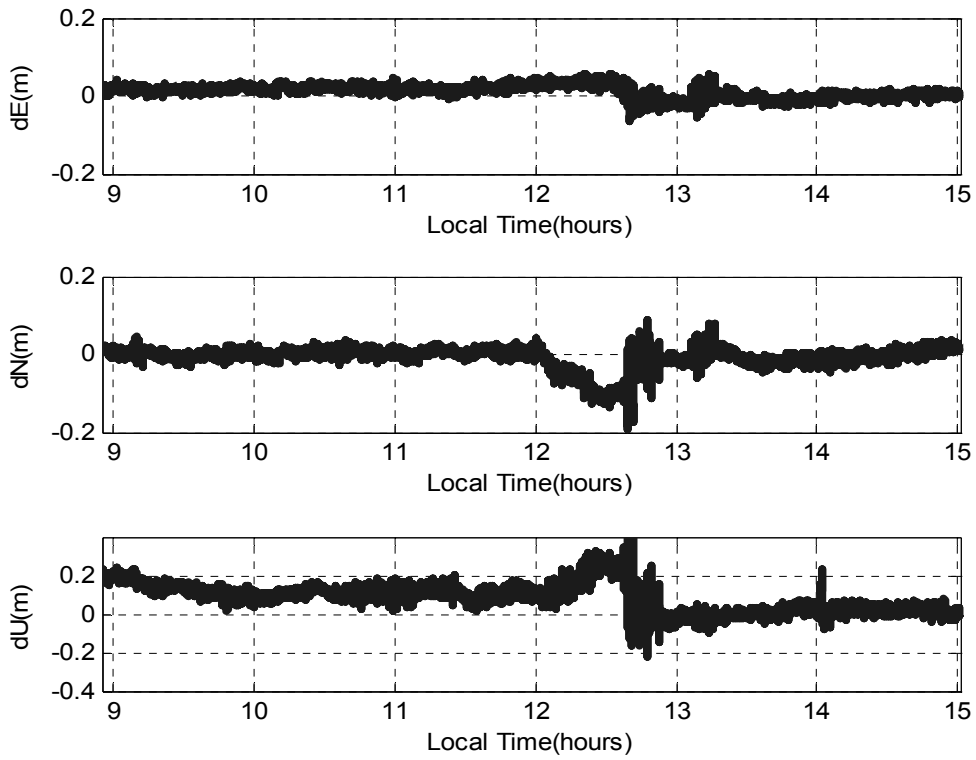


圖 6.8(e) 2009 年 2 月 23 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)

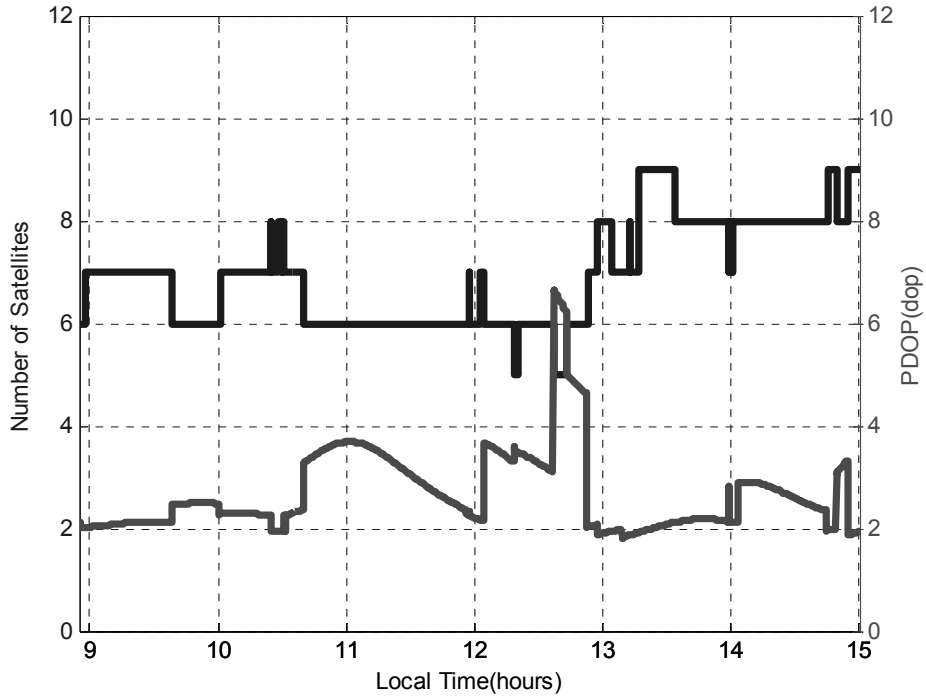


圖 6.8(f) 2009 年 2 月 23 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

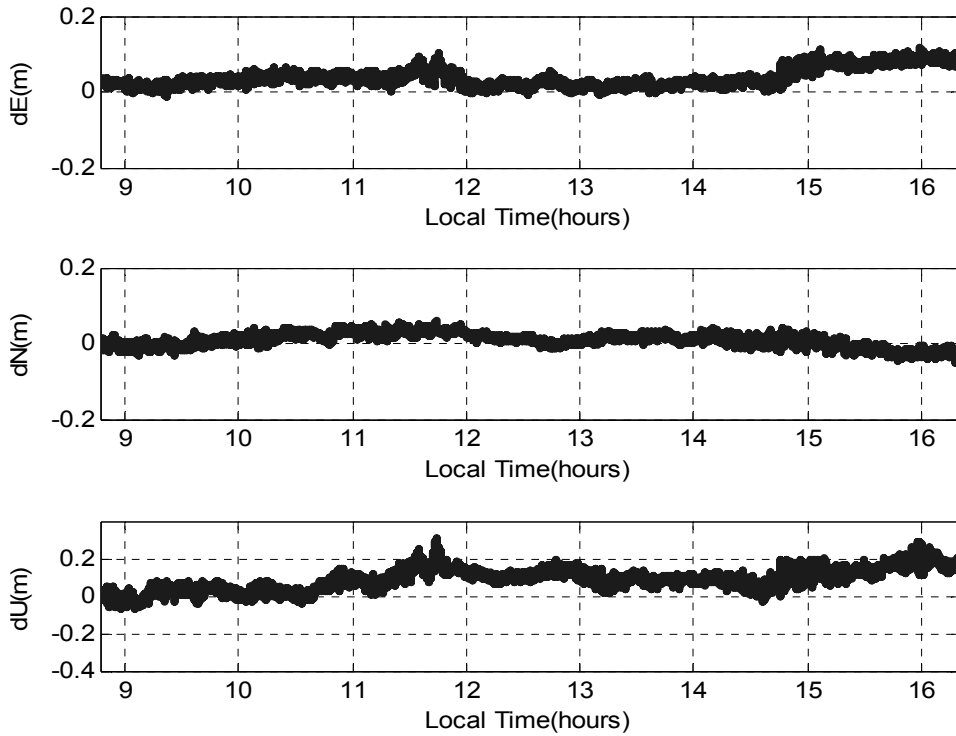


圖 6.8(g) 2009 年 5 月 13 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)

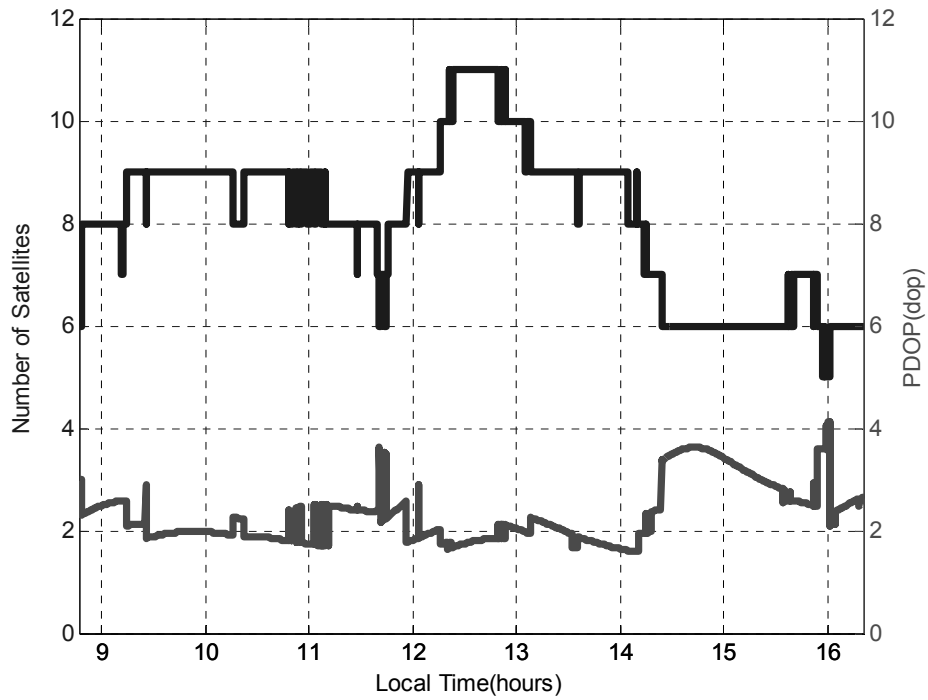


圖 6.8(h) 2009 年 5 月 13 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

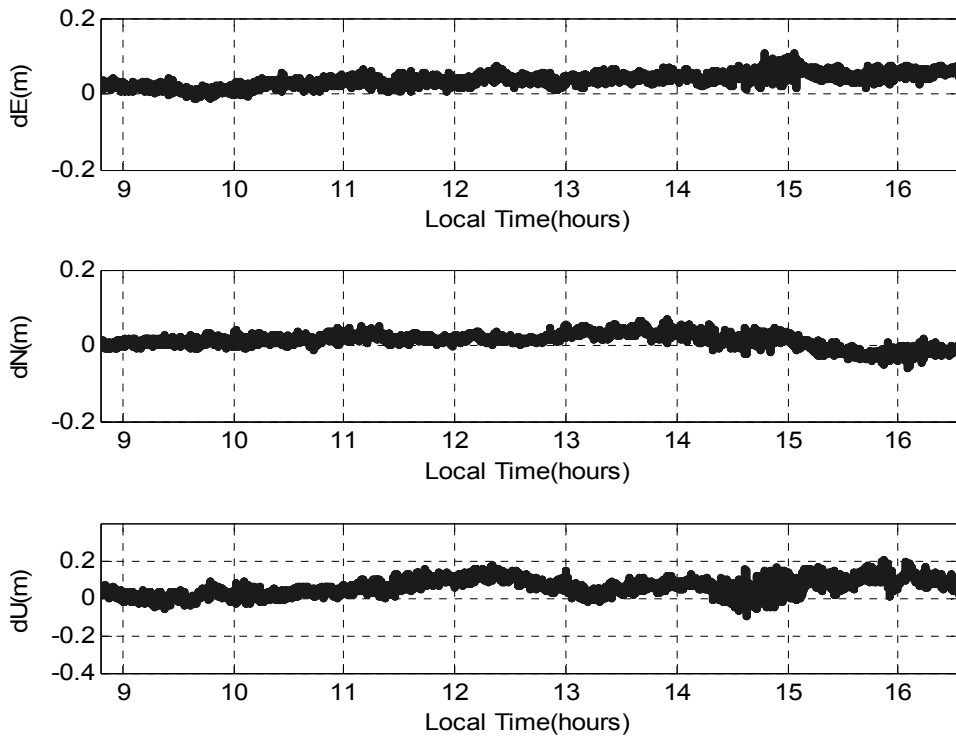


圖 6.8(i) 2009 年 5 月 14 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)

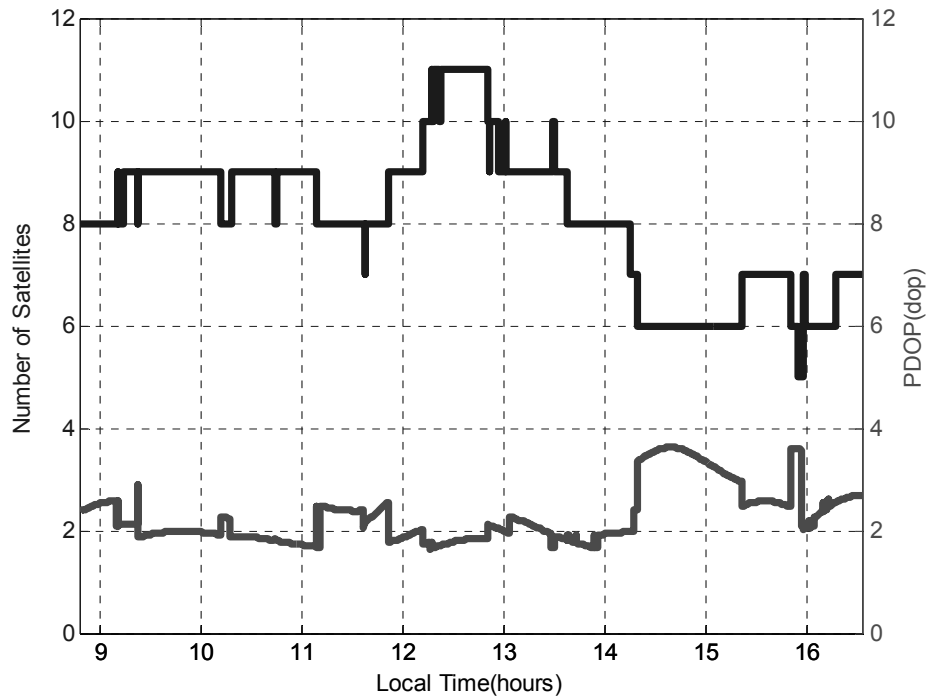


圖 6.8(j) 2009 年 5 月 14 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

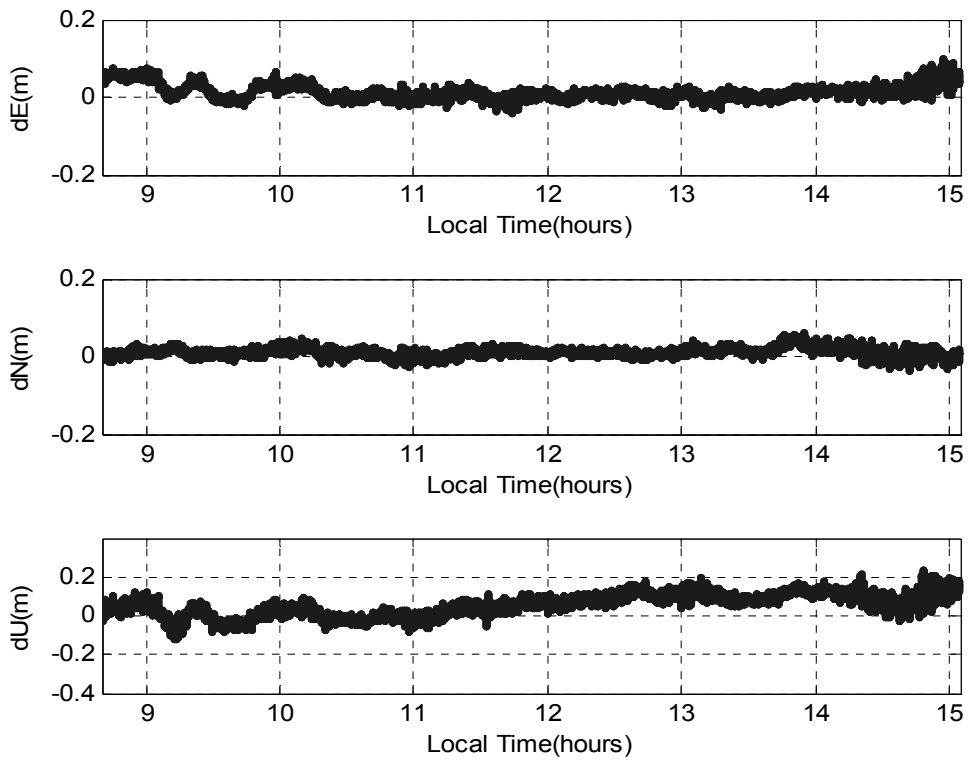


圖 6.8(k) 2009 年 5 月 15 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 最終產品)

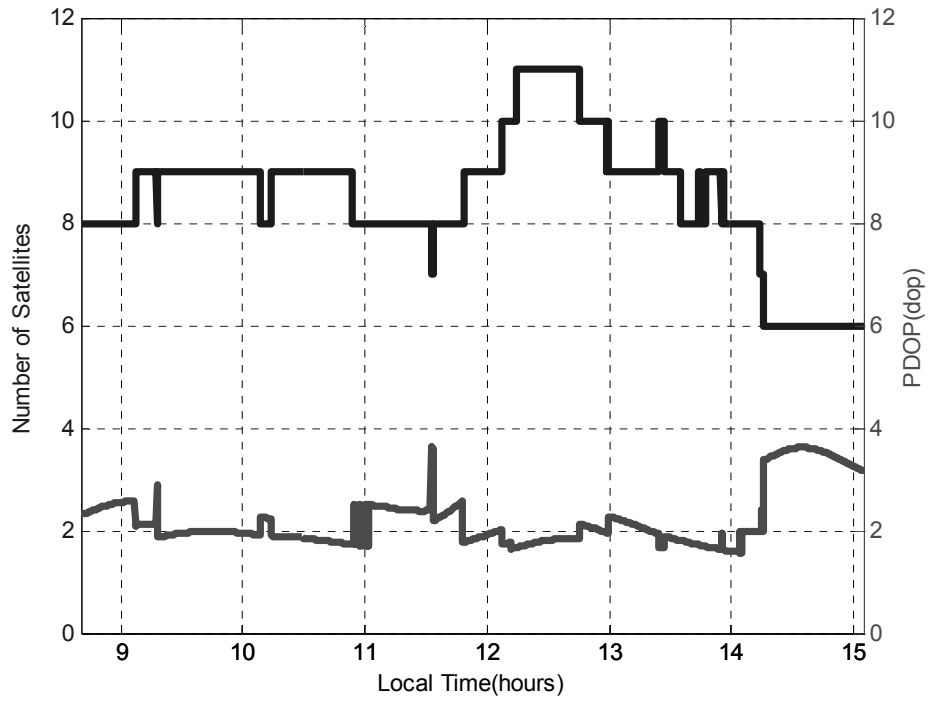


圖 6.8(1) 2009 年 5 月 15 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

表 6.5 動態精密單點定位精度(使用 IGS 最終產品)

2009-01-09	E	N	U
Mean(m)	-0.008	-0.002	0.096
RMS(m)	0.015	0.019	0.111
STD(m)	0.013	0.019	0.056
2009-02-05	E	N	U
Mean(m)	-0.018	0.006	0.084
RMS(m)	0.025	0.016	0.097
STD(m)	0.018	0.014	0.048
2009-02-23	E	N	U
Mean(m)	0.011	-0.008	0.084
RMS(m)	0.020	0.029	0.113
STD(m)	0.016	0.028	0.075
2009-05-13	E	N	U
Mean(m)	0.037	0.008	0.088
RMS(m)	0.045	0.020	0.106
STD(m)	0.025	0.018	0.060
2009-05-14	E	N	U
Mean(m)	0.037	0.013	0.059
RMS(m)	0.041	0.022	0.074
STD(m)	0.017	0.018	0.044
2009-05-15	E	N	U
Mean(m)	0.013	0.010	0.055
RMS(m)	0.024	0.016	0.079
STD(m)	0.020	0.012	0.057

§ 6.3.2 IGS 快速產品解算成果

IGS 快速產品(rapid product)之精度為第二等級之星曆、時鐘改正資料，發布延遲時間約為 17 小時，相較於 IGS 最終產品(final product)此種星曆較符合測量之需求，可以於進行 GPS 浮標觀測當天解算出成果，但缺點是犧牲掉了精密星曆、精密時鐘改正資料的精度。IGS 最終產品(final product)與 IGS 快速產品(rapid product)的精密星曆(衛星軌道誤差)精度都在 5 公分以內；精密時鐘改正資料 IGS 最終產品(final product)精度小於 0.1 奈秒，但 IGS 快速產品(rapid product)精度約在 0.1 奈秒，且時間間隔皆為 5 分鐘，故內插至 GPS 浮標接收頻率(1 Hz)時精度也會較低。

圖 6.9(a)~ 圖 6.9(l)分別為 6 次 GPS 浮標實驗之精密單點定位解算成果與參考解之 ENU 方向誤差比較、衛星顆數變化、PDOP 值變化。6 天 GPS 浮標 ENU 方向誤差之平均值(Mean)、均方根(RMS)及標準差(STD)如表 6.6 所示。

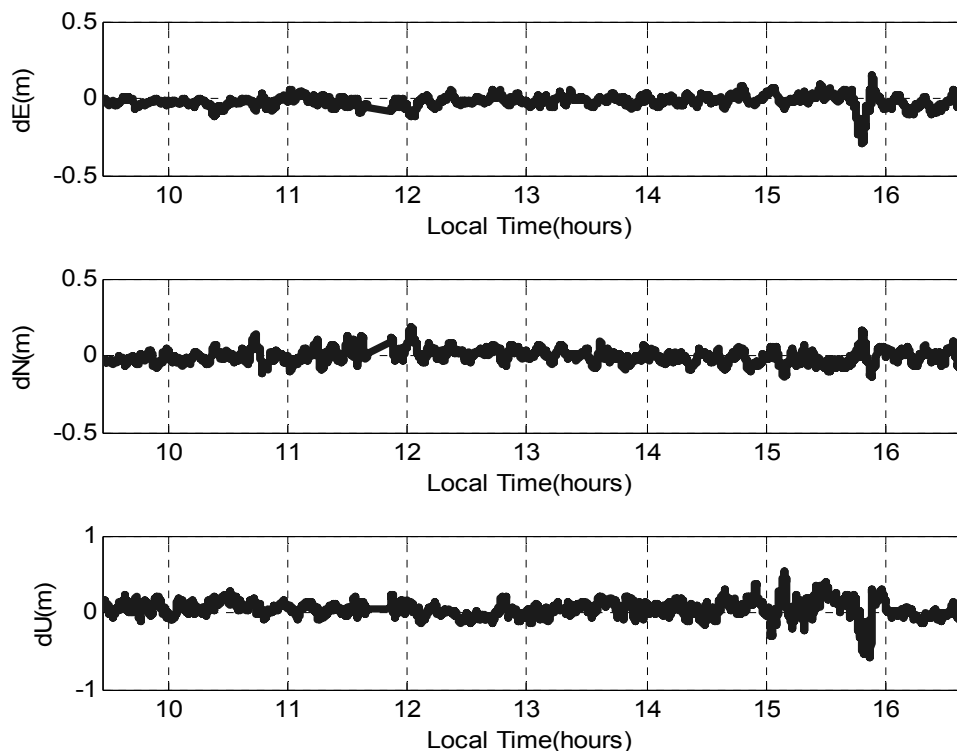


圖 6.9(a) 2009 年 1 月 9 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)

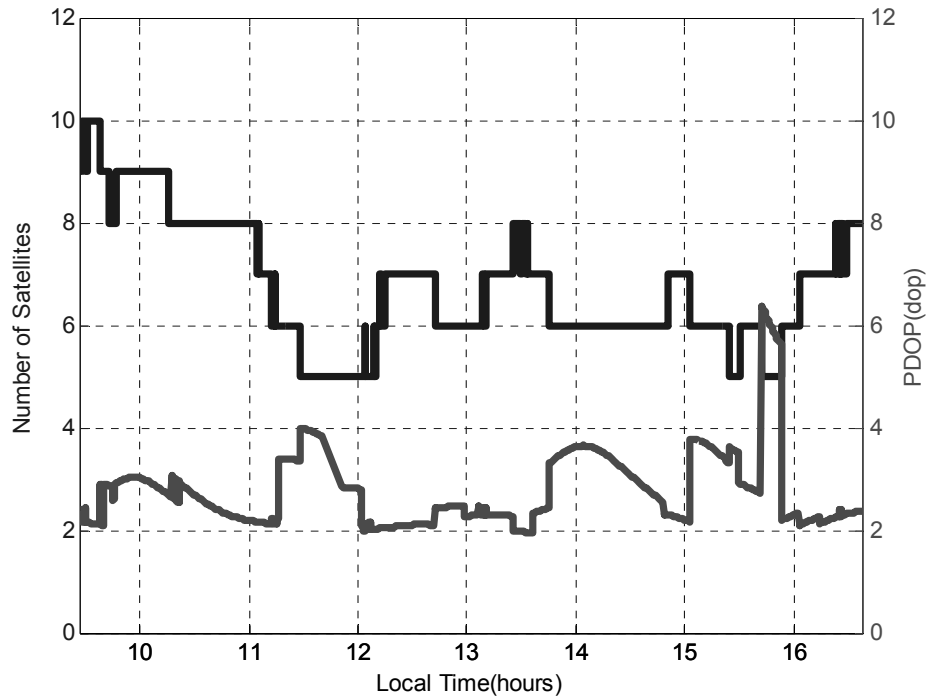


圖 6.9(b) 2009 年 1 月 9 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

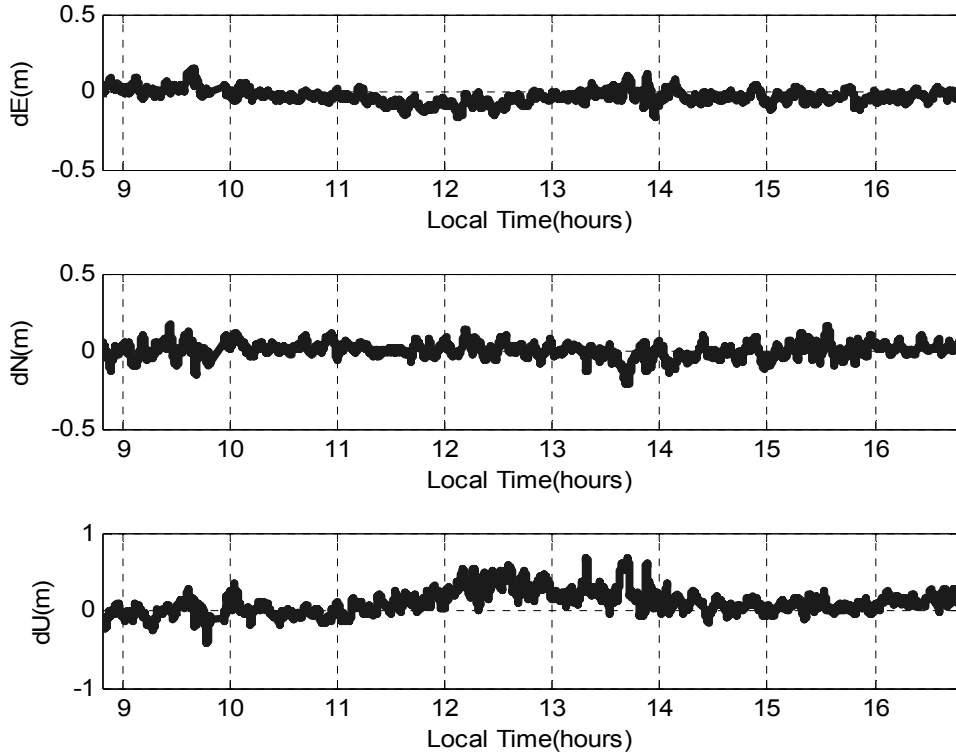


圖 6.9(c) 2009 年 2 月 5 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)

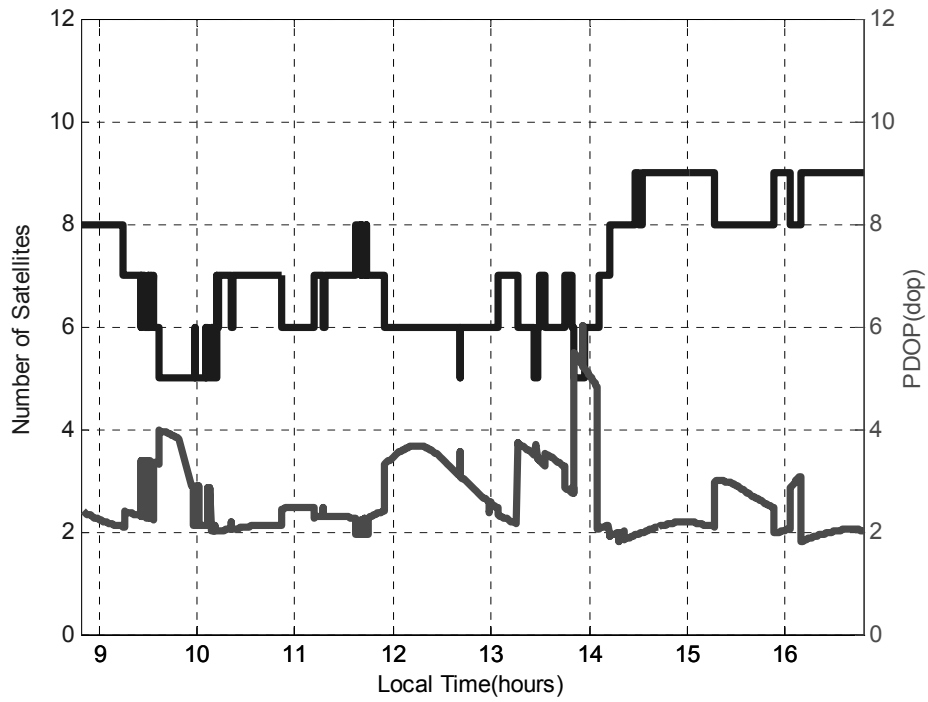


圖 6.9(d) 2009 年 2 月 5 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

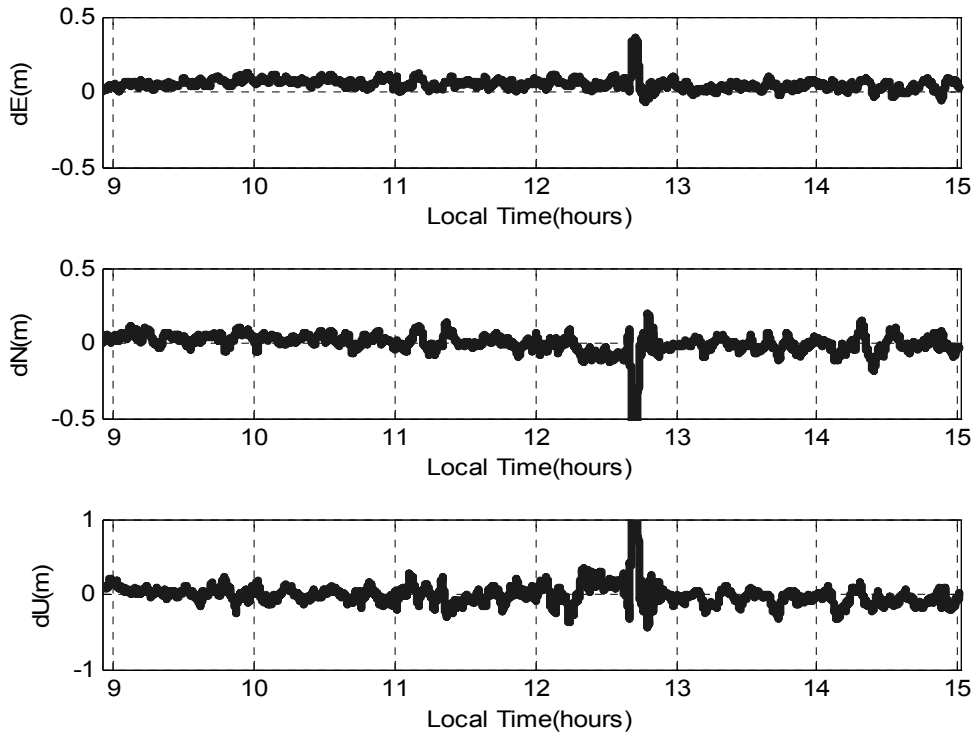


圖 6.9(e) 2009 年 2 月 23 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)

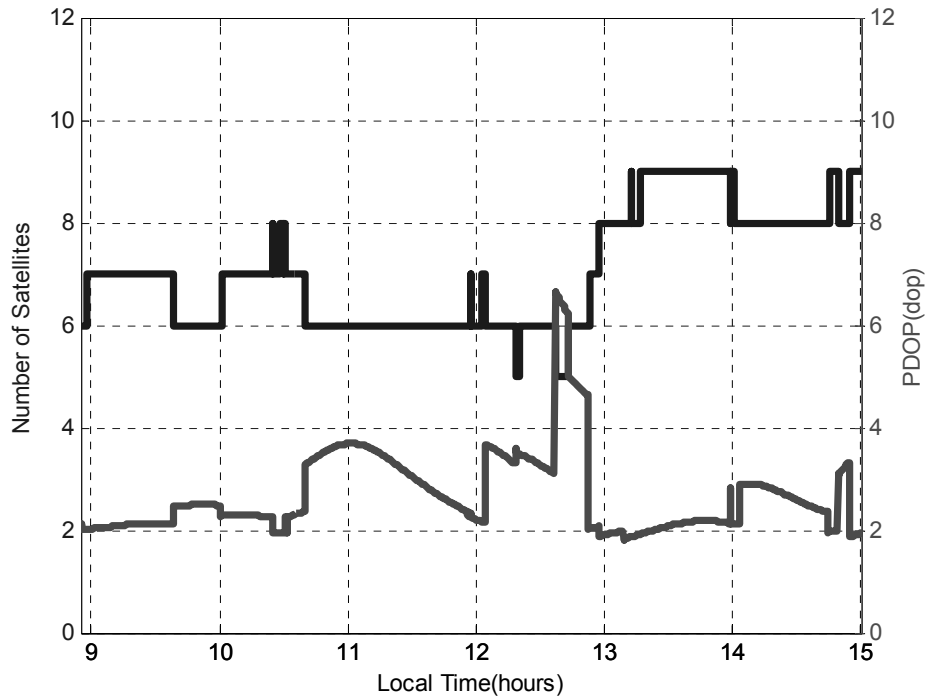


圖 6.9(f) 2009 年 2 月 23 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

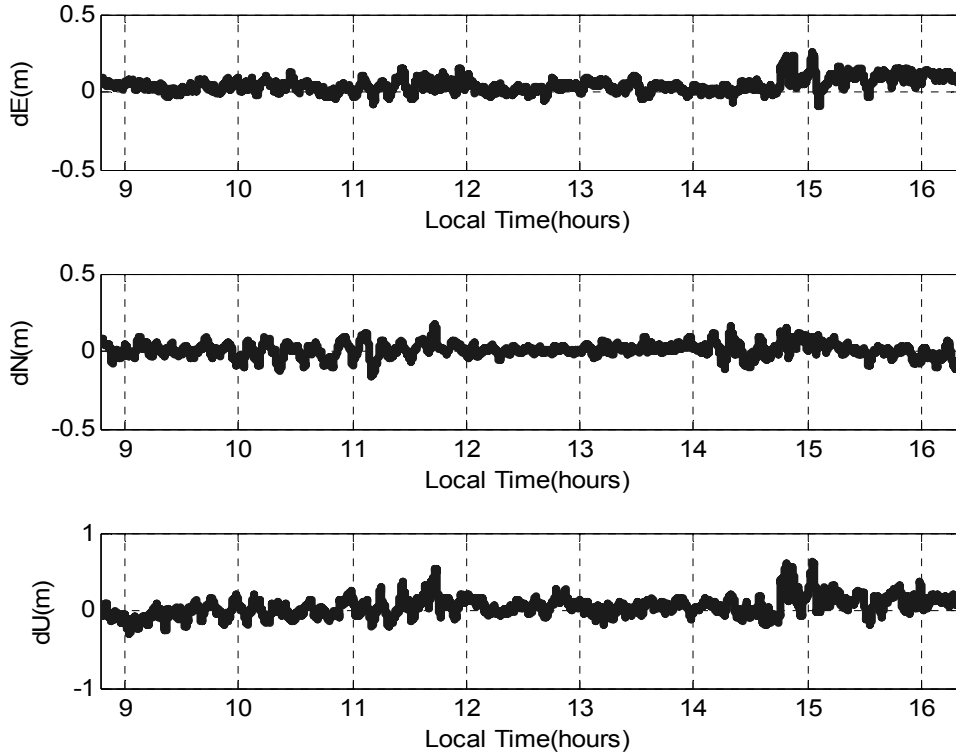


圖 6.9(g) 2009 年 5 月 13 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)

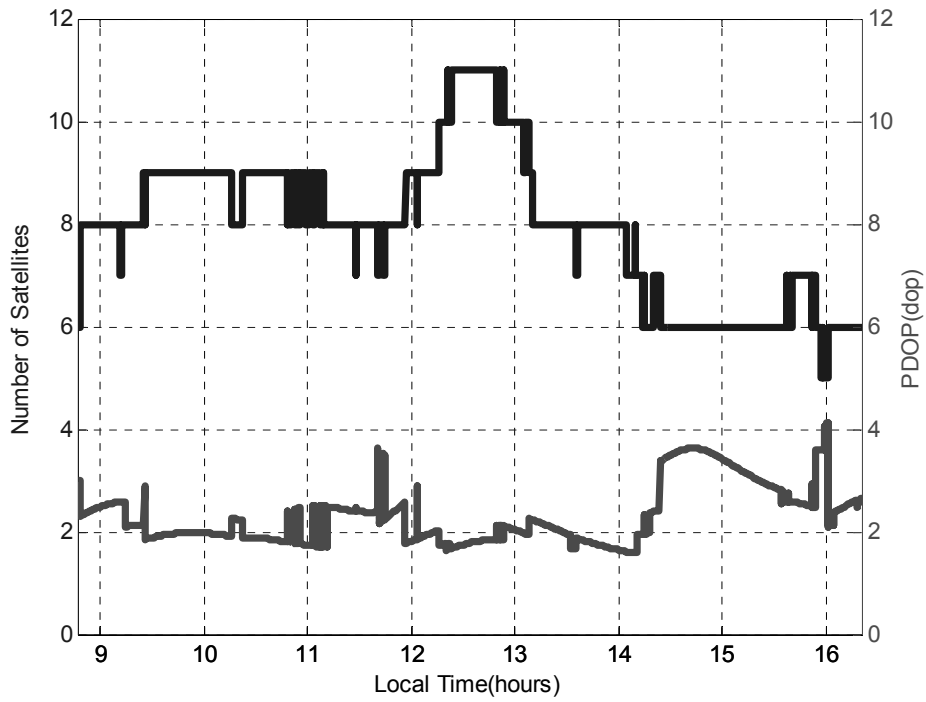


圖 6.9(h) 2009 年 5 月 13 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

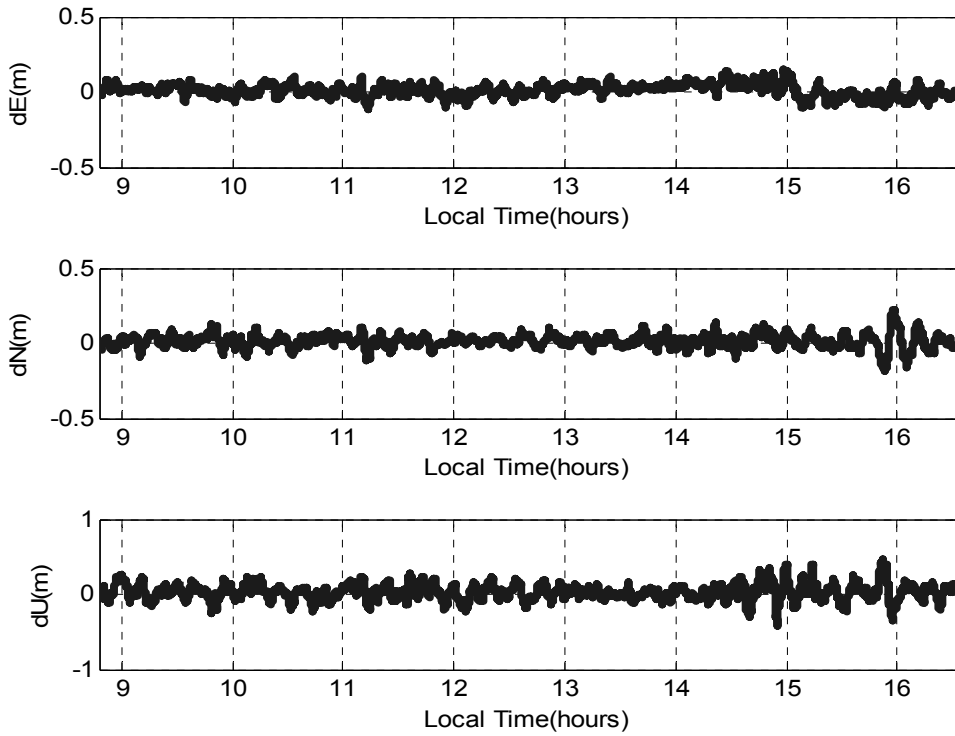


圖 6.9(i) 2009 年 5 月 14 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)

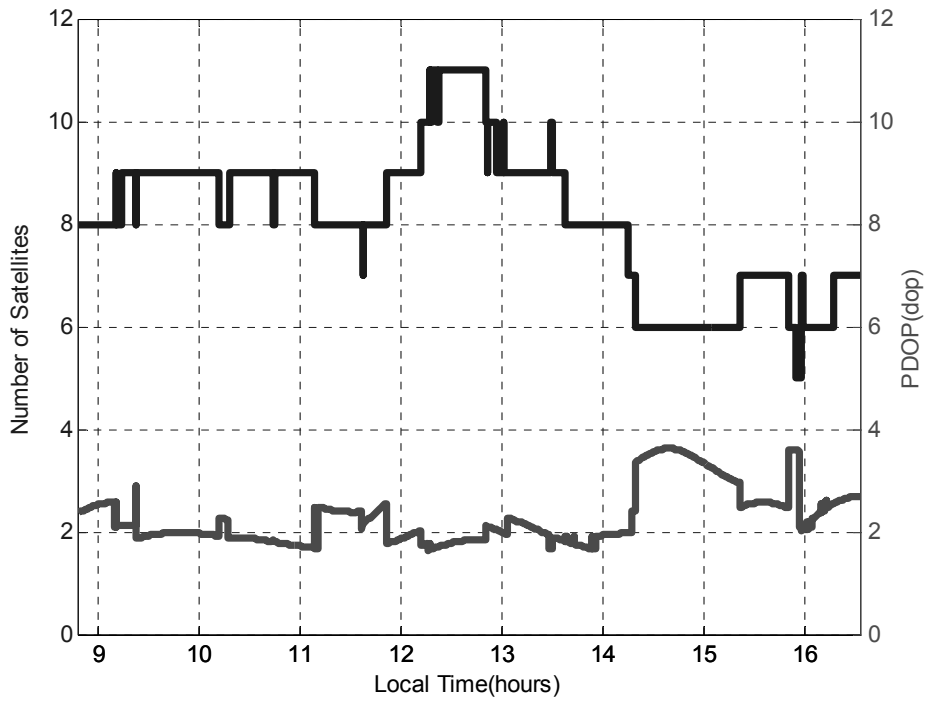


圖 6.9(j) 2009 年 5 月 14 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

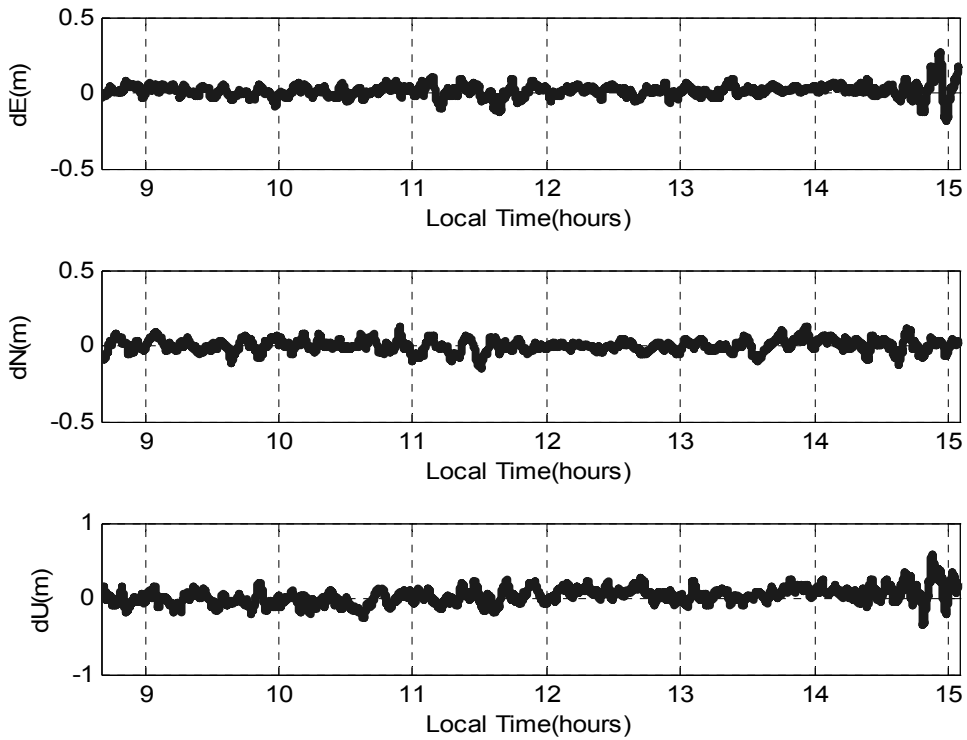


圖 6.9(k) 2009 年 5 月 15 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 快速產品)

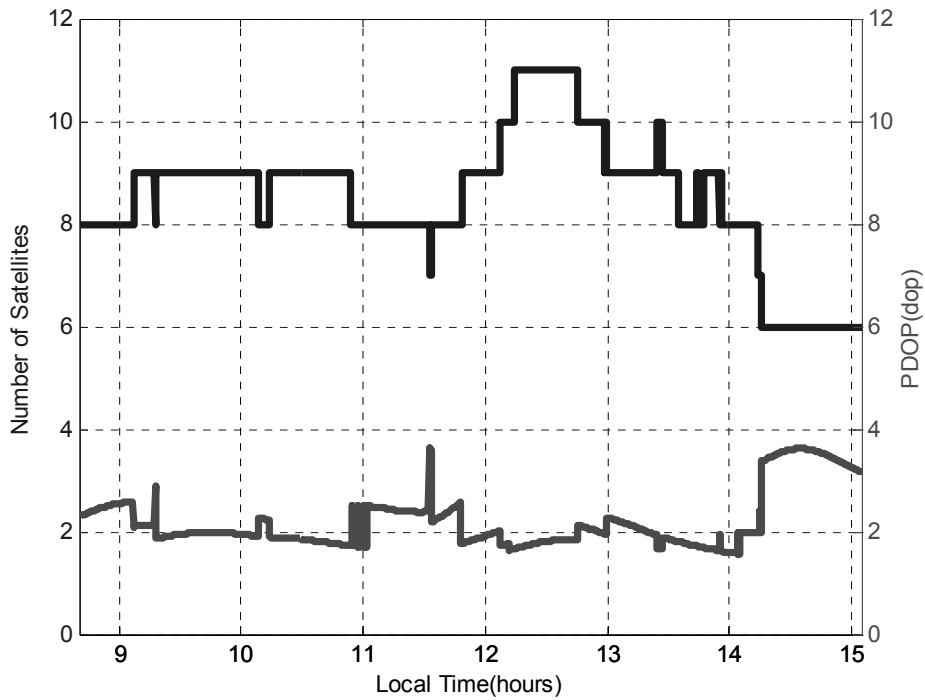


圖 6.9(l) 2009 年 5 月 15 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

由圖 6.9(a) ~ 圖 6.9(l)可以發現，使用 IGS 快速產品(rapid product)誤差較大，而 PDOP 值之變化對定位結果之影響非常明顯，而當發生 PDOP 值劇烈變化時，造成的誤差較大，重新收斂的時間也較久。如表 6.6 所示，使用 IGS 快速產品(rapid product)進行動態精密單點定位時，平面方向 RMS 可以達到 6~8 公分左右；高程方向 RMS 則在 15 公分左右，此定位精度仍可滿足部分定位應用之需求。

表 6.6 動態精密單點定位精度(使用 IGS 快速產品)

2009-01-09	E	N	U
Mean(m)	-0.018	-0.005	0.048
RMS(m)	0.042	0.044	0.114
STD(m)	0.038	0.044	0.104
2009-02-05	E	N	U
Mean(m)	-0.028	0.007	0.105
RMS(m)	0.053	0.050	0.185
STD(m)	0.045	0.049	0.152
2009-02-23	E	N	U
Mean(m)	0.052	-0.003	-0.003
RMS(m)	0.065	0.075	0.180
STD(m)	0.038	0.075	0.180
2009-05-13	E	N	U
Mean(m)	0.044	0.008	0.049
RMS(m)	0.064	0.046	0.133
STD(m)	0.046	0.045	0.123
2009-05-14	E	N	U
Mean(m)	0.011	0.013	0.028
RMS(m)	0.043	0.047	0.110
STD(m)	0.042	0.045	0.106
2009-05-15	E	N	U
Mean(m)	0.013	0.000	0.035
RMS(m)	0.043	0.040	0.112
STD(m)	0.041	0.040	0.106

§ 6.3.3 IGS 超快速產品觀測部分解算成果

IGS 超快速產品(ultra-rapid product)有兩個部份，第一種為觀測部分(observed half)，第二種為預估部分(predicted half)。此小節將使用前者觀測部分(observed half)來進行精密單點定位，其精度為第三等級之星曆、時鐘改正資料，發布延遲時間約為 3 小時；此產品精密星曆(衛星軌道誤差)精度小於 5 公分，而精密時鐘改正資料精度約為 0.2 奈秒。

即時(real time)處理與應用為時間延遲在 1 小時以內(Bar-Sever and Dow, 2002)。而他們也提出“即時(real time)”的限制太過嚴苛，故傾向使用“近即時(near real time)”(NRT)此一較有彈性的概念，其時間延遲的範圍在 0~6 小時。基於本研究目的為利用單一個接收儀之 GPS 浮標偵測出海水面高度方向的變化，精密單點定位解算時使用 IGS 最終產品(final product)與 IGS 快速產品(rapid product)皆可達到偵測海水面高程方向變化的精度；然而使用 IGS 超快速產品(ultra-rapid product)此種能達到近即時處理的定位是否能達到可接受的精度，將是本研究期望達成的。

圖 6.10(a)~ 圖 6.10(l)分別為 6 次 GPS 浮標實驗之精密單點定位解算成果與參考解之 ENU 方向誤差比較、衛星顆數變化、PDOP 值變化。6 天 GPS 浮標 ENU 方向誤差之平均值(Mean)、均方根(RMS)及標準差(STD)如表 6.7 所示。

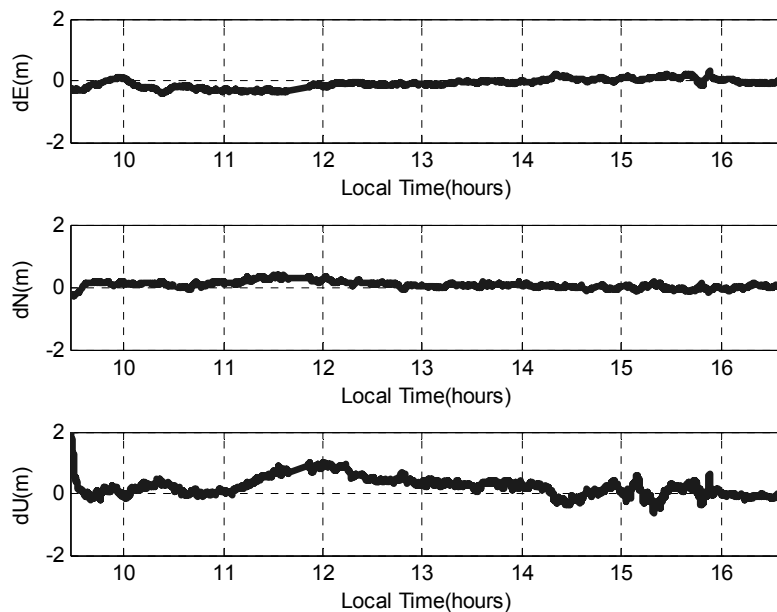


圖 6.10(a) 2009 年 1 月 9 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

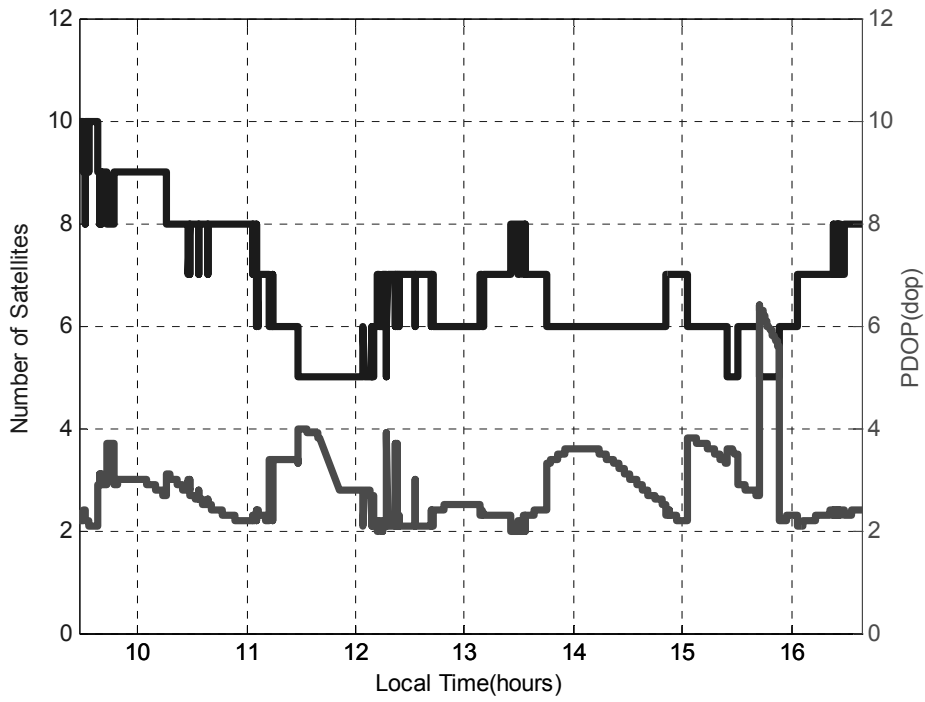


圖 6.10(b) 2009 年 1 月 9 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

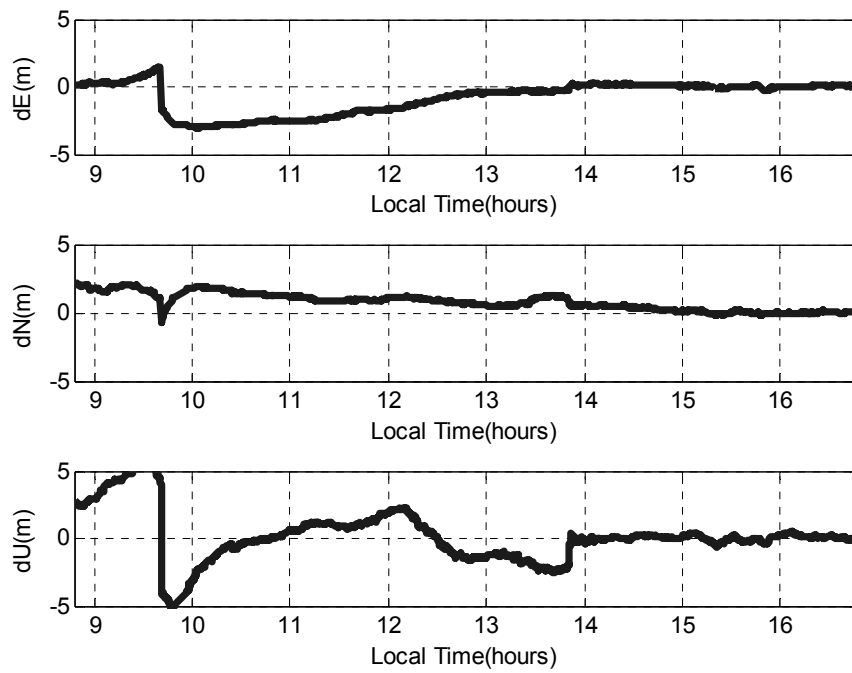


圖 6.10(c) 2009 年 2 月 5 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

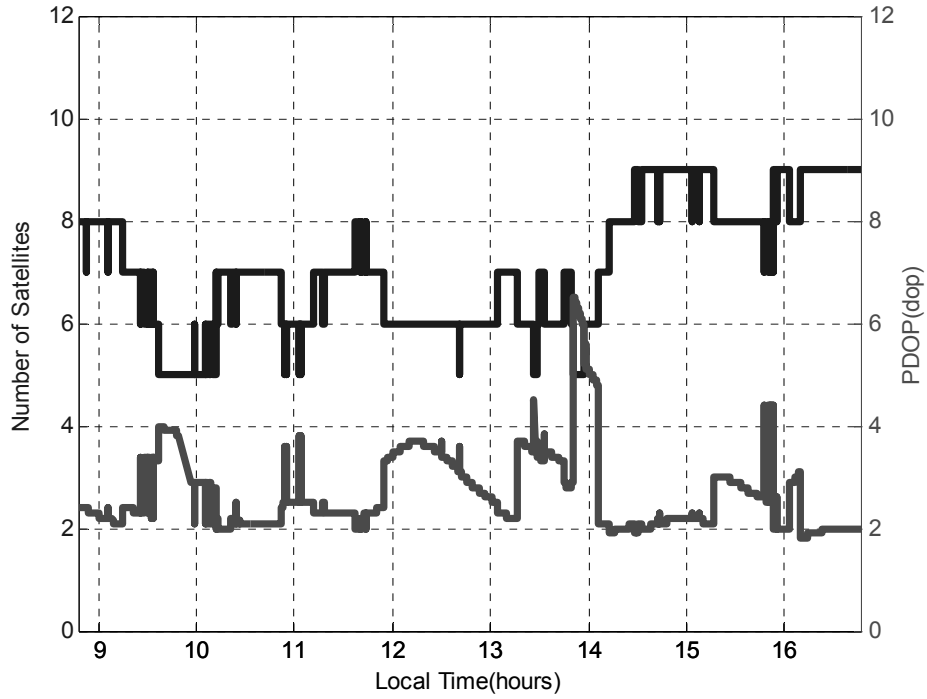


圖 6.10(d) 2009 年 2 月 5 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

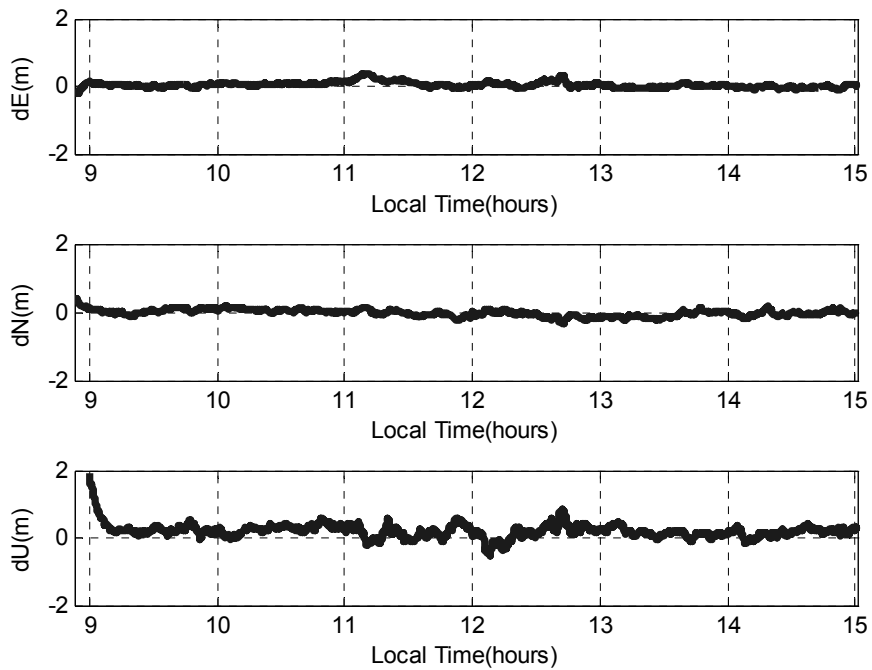


圖 6.10(e) 2009 年 2 月 23 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

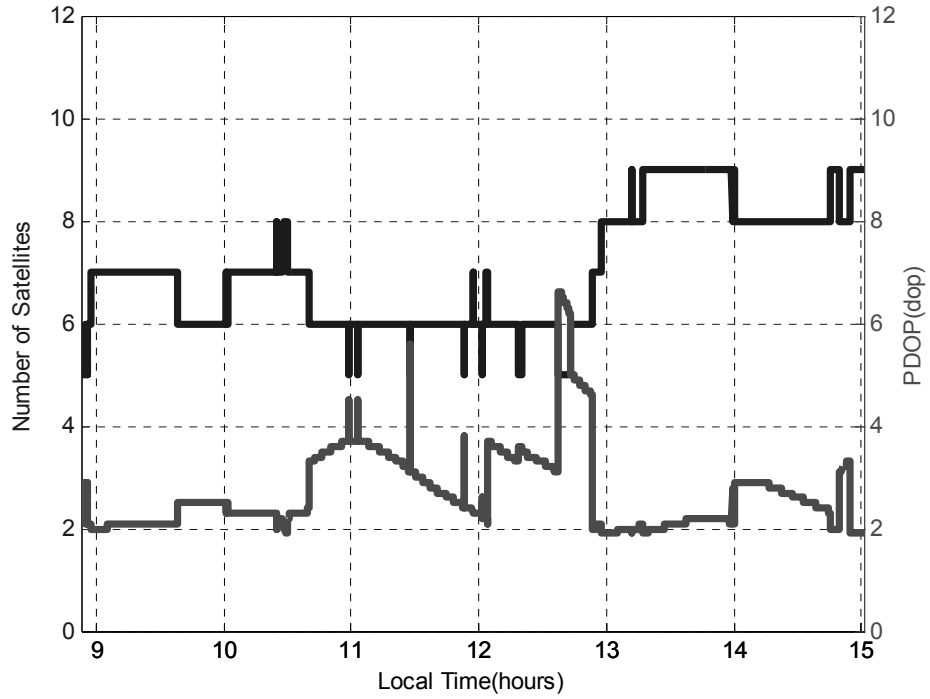


圖 6.10(f) 2009 年 2 月 23 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

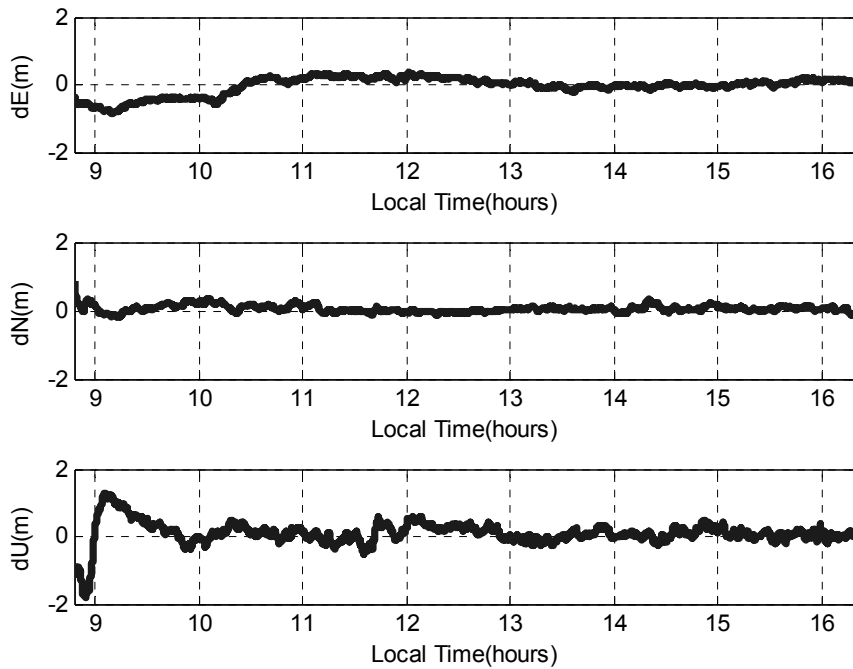


圖 6.10(g) 2009 年 5 月 13 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

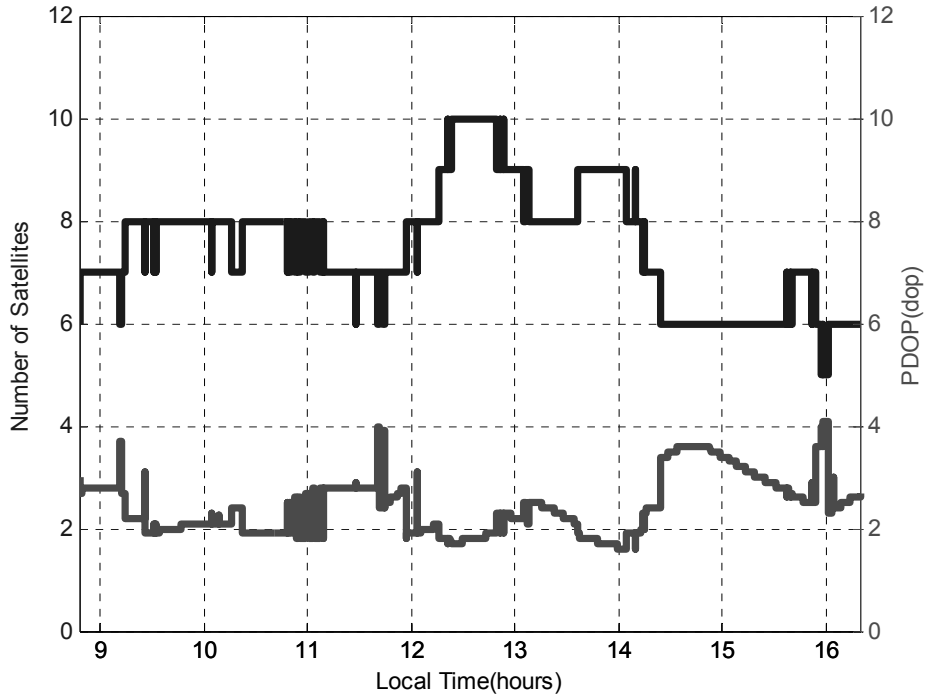


圖 6.10(h) 2009 年 5 月 13 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

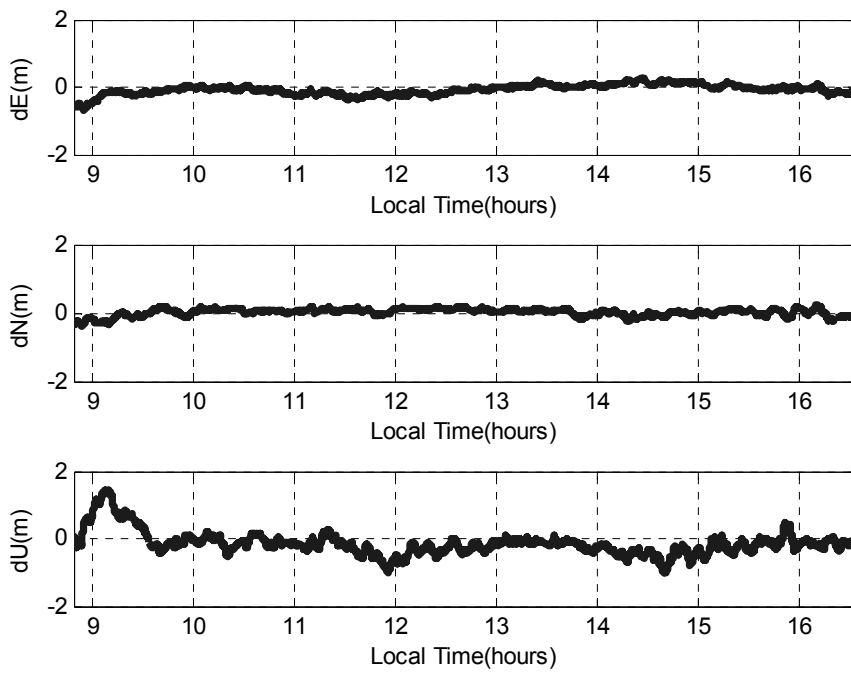


圖 6.10(i) 2009 年 5 月 14 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

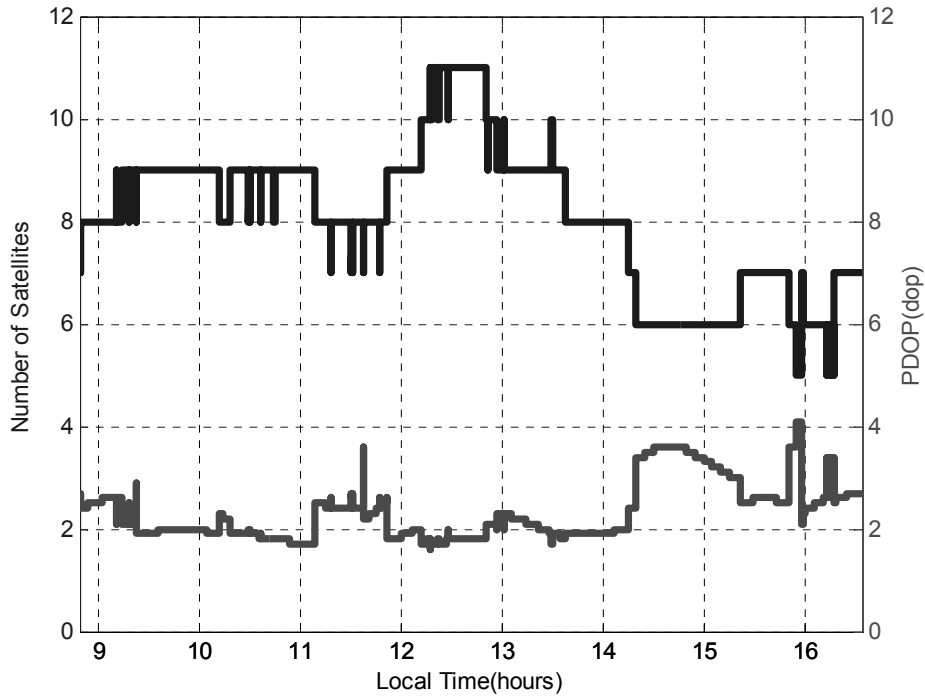


圖 6.10(j) 2009 年 5 月 14 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

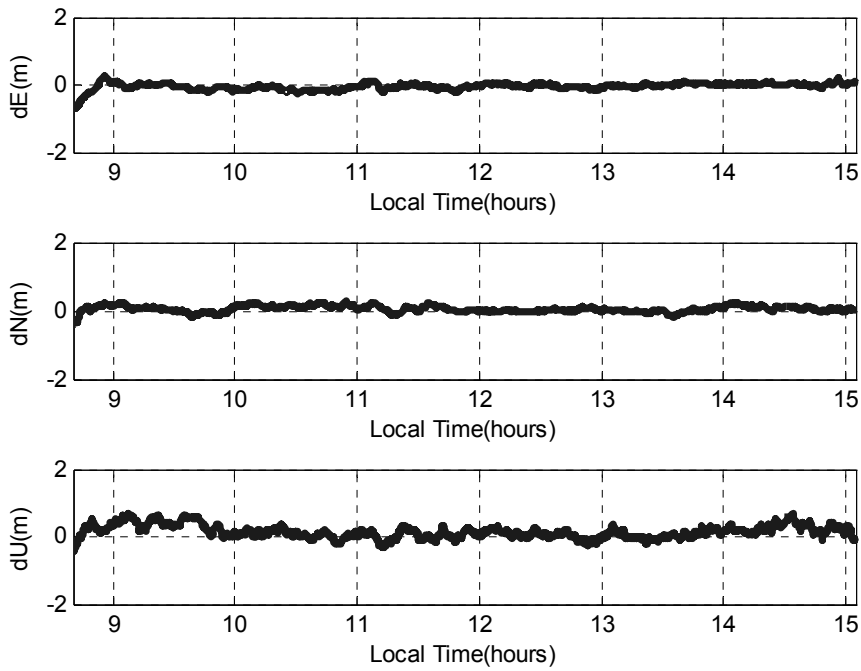


圖 6.10(k) 2009 年 5 月 15 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

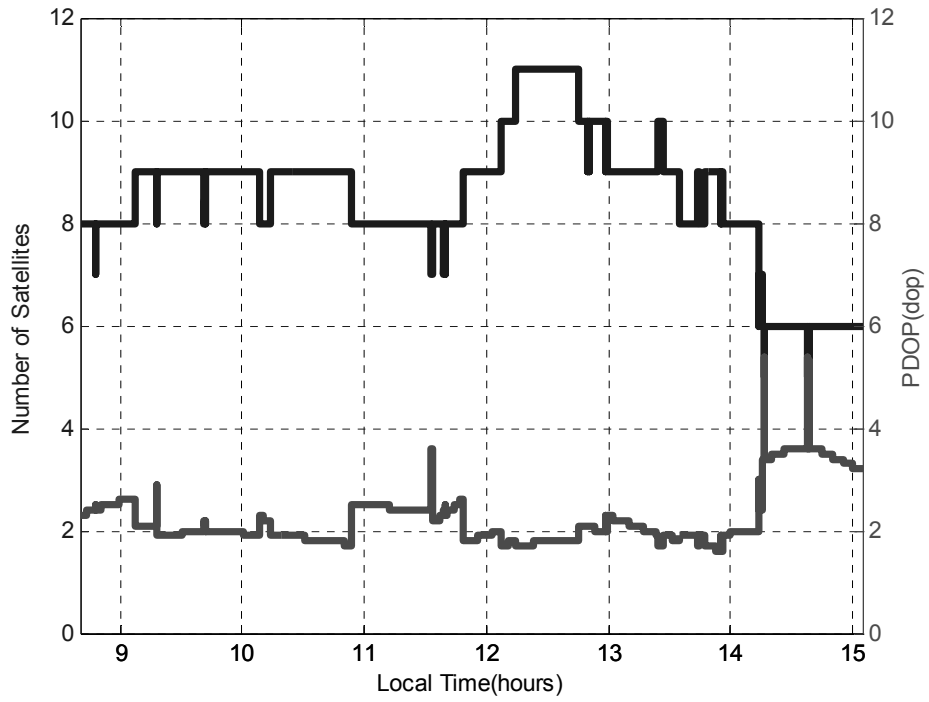


圖 6.10(l) 2009 年 5 月 15 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

表 6.7 動態精密單點定位精度(使用 IGS 超快速產品觀測部分)

2009-01-09	E	N	U
Mean(m)	-0.090	0.066	0.221
RMS(m)	0.171	0.124	0.380
STD(m)	0.145	0.105	0.309
2009-02-05	E	N	U
Mean(m)	-0.756	0.791	0.247
RMS(m)	1.375	1.007	1.847
STD(m)	1.149	0.623	1.831
2009-02-23	E	N	U
Mean(m)	0.042	-0.022	0.248
RMS(m)	0.093	0.104	0.444
STD(m)	0.084	0.102	0.368
2009-05-13	E	N	U
Mean(m)	-0.040	0.057	0.097
RMS(m)	0.272	0.115	0.357
STD(m)	0.269	0.100	0.344
2009-05-14	E	N	U
Mean(m)	-0.074	0.016	-0.145
RMS(m)	0.170	0.110	0.389
STD(m)	0.153	0.108	0.360
2009-05-15	E	N	U
Mean(m)	-0.047	0.054	0.144
RMS(m)	0.114	0.106	0.238
STD(m)	0.104	0.092	0.190

由圖 6.10(a) ~ 圖 6.10(l)可以發現，不僅進行精密單點定位時初始收斂所需要的時間拉長，且當衛星顆數較少或 PDOP 值的劇烈變化時，其定位誤差更為明顯，收斂速度也明顯下降。如表 6.7 所示，平面方向 RMS 可以達到 15~20 公分左右；高程方向 RMS 則在 30~40 公分左右。在其他條件不變之下，吾人可以發現使用不同精密星曆及衛星時鐘資料對精密單點定位成果為主要影響因素。

§ 6.3.4 IGS 超快速產品預估部分解算成果

本節將使用 IGS 超快速產品(ultra-rapid product)之預估部分(predicted half)，其為精度為第四等級之星曆、時鐘改正資料，但優點為其為即時(real time)的資料；此產品精密星曆(衛星軌道誤差)精度約 10 公分，而精密時鐘改正資料精度約為 5 奈秒。

圖 6.11(a)~ 圖 6.11(l)分別為 6 次 GPS 浮標實驗之精密單點定位解算成果與參考解之 ENU 方向誤差比較、衛星顆數變化、PDOP 值變化。6 天 GPS 浮標 ENU 方向誤差之平均值(Mean)、均方根(RMS)及標準差(STD)如表 6.8 所示。

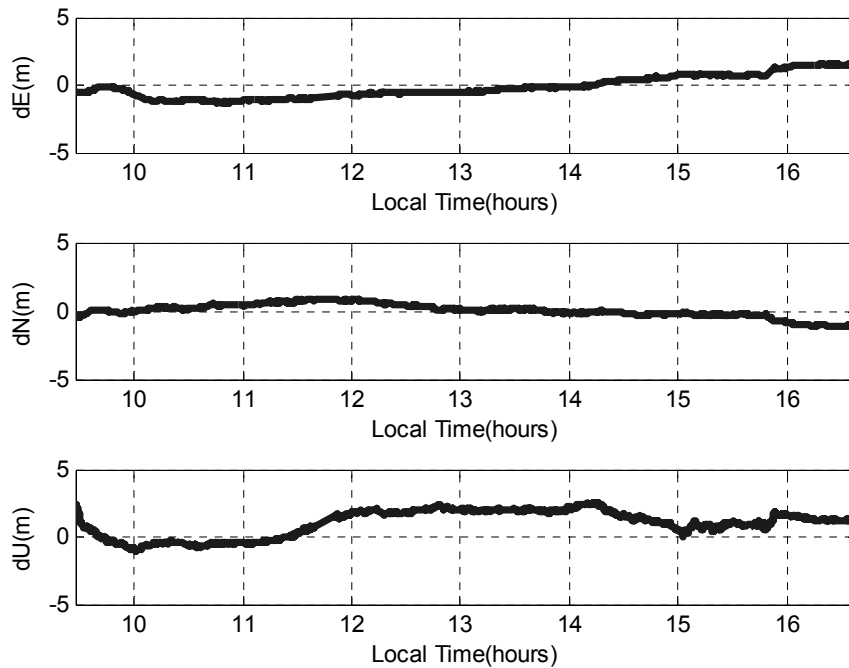


圖 6.11(a) 2009 年 1 月 9 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

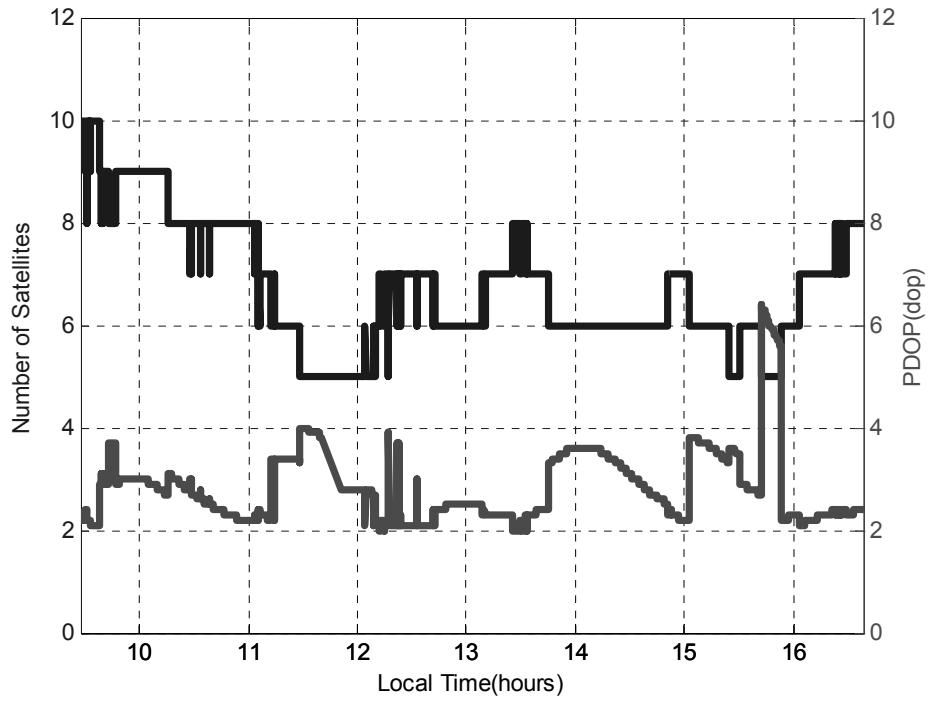


圖 6.11(b) 2009 年 1 月 9 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

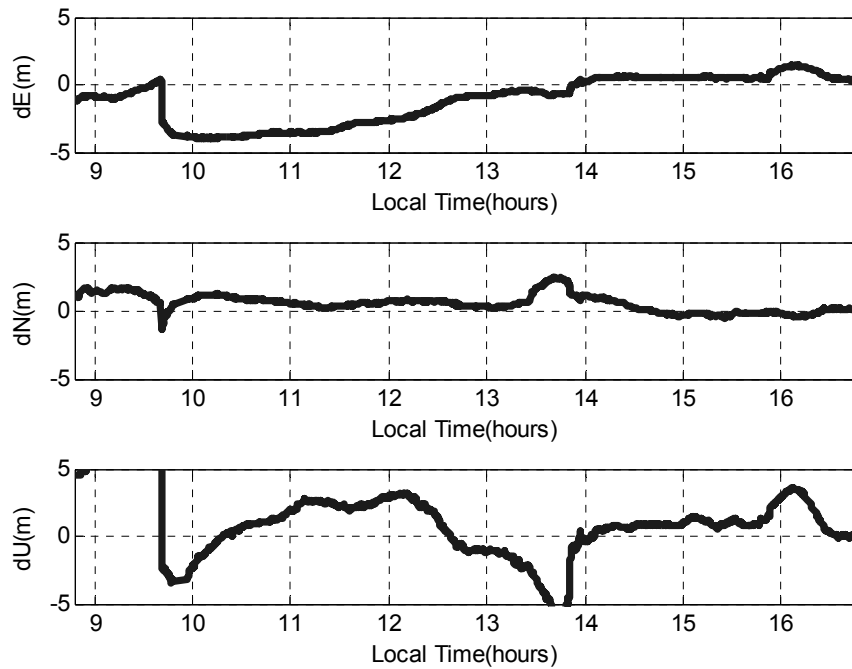


圖 6.11(c) 2009 年 2 月 5 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

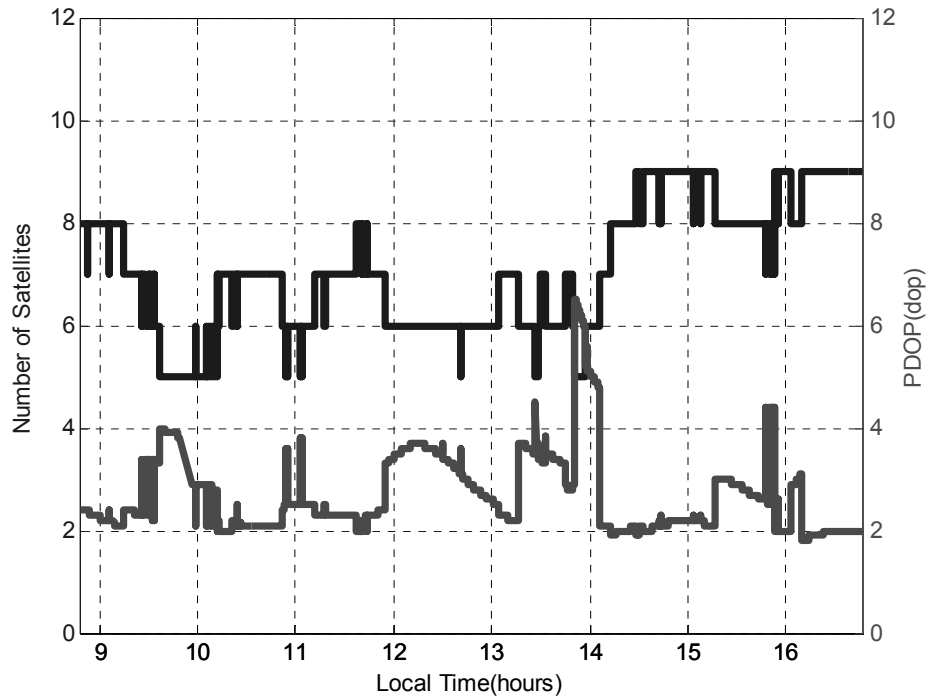


圖 6.11(d) 2009 年 2 月 5 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

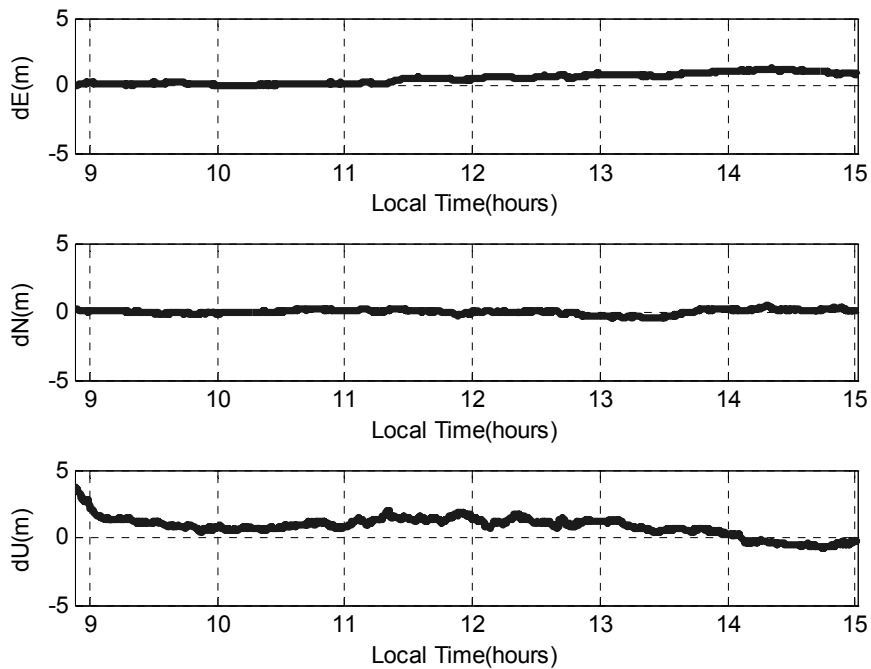


圖 6.11(e) 2009 年 2 月 23 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

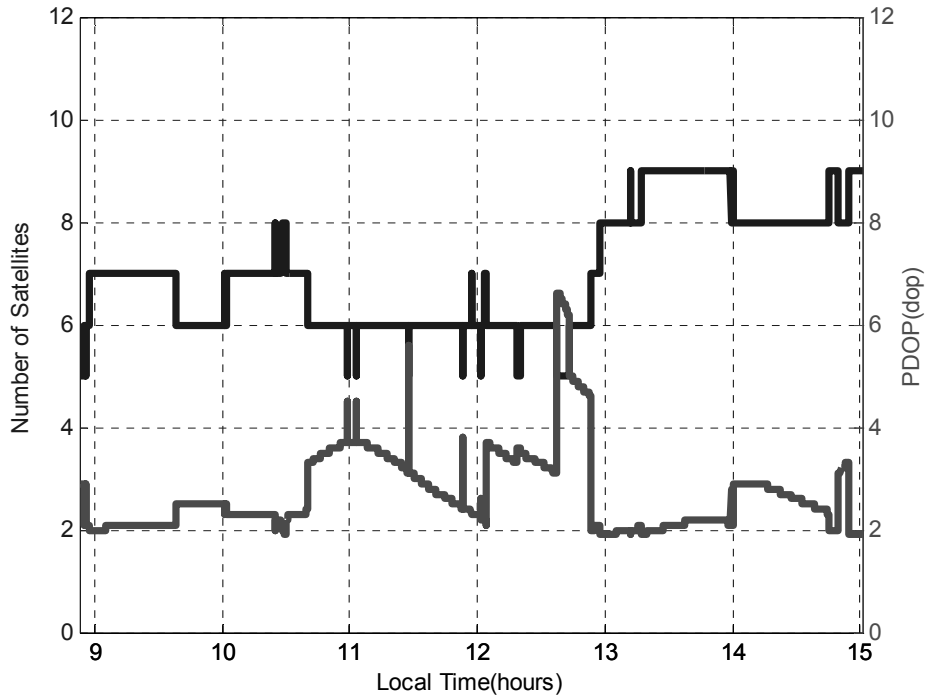


圖 6.11(f) 2009 年 2 月 23 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

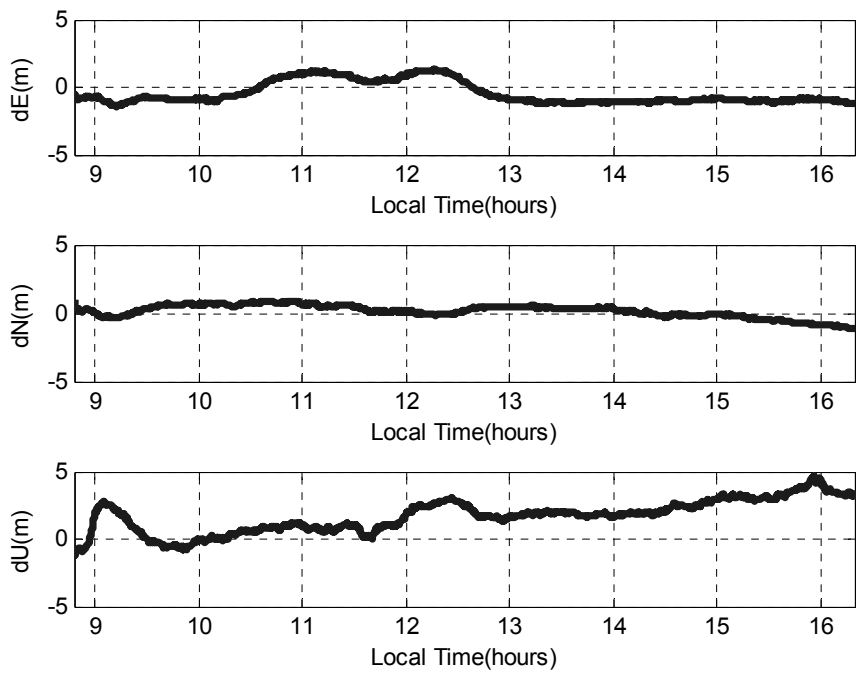


圖 6.11(g) 2009 年 5 月 13 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

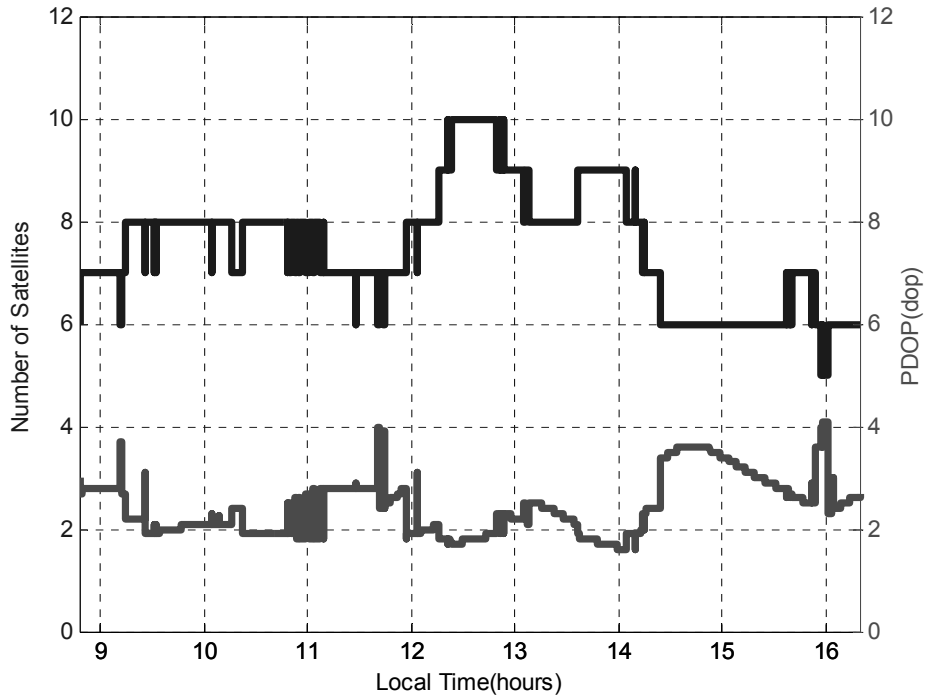


圖 6.11(h) 2009 年 5 月 13 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

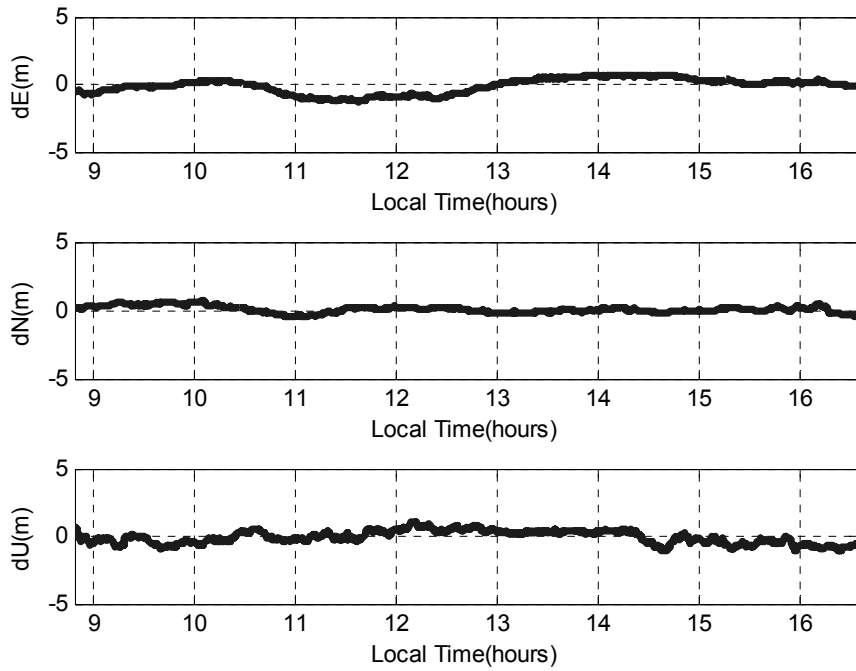


圖 6.11(i) 2009 年 5 月 14 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

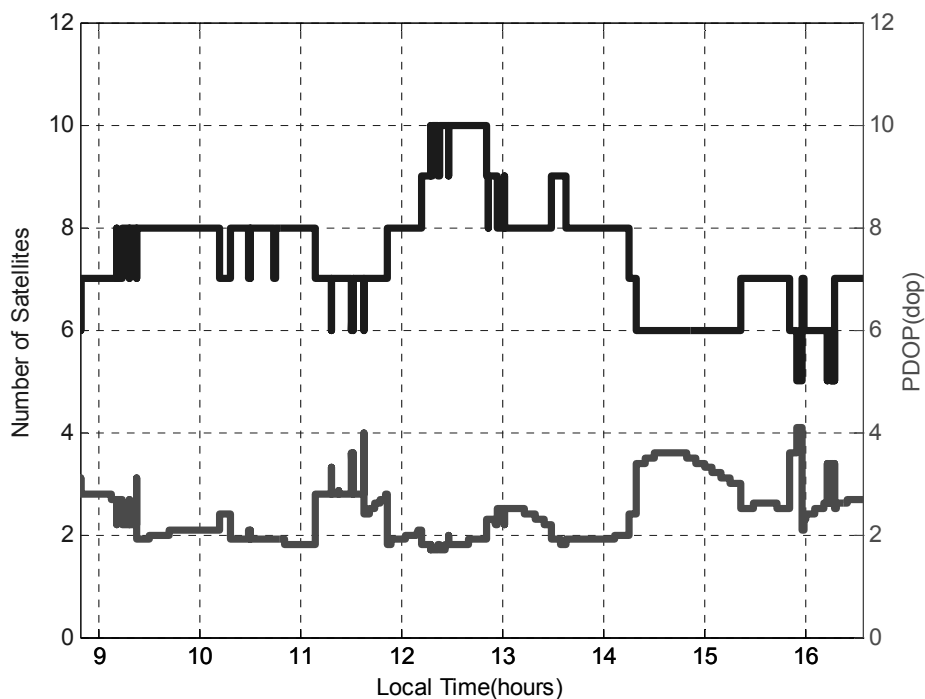


圖 6.11(j) 2009 年 5 月 14 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

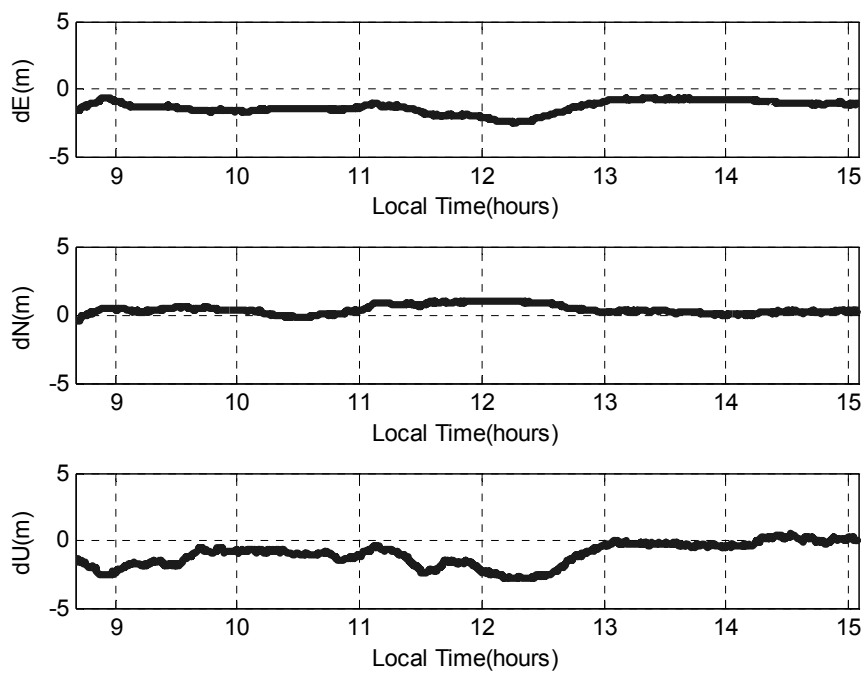


圖 6.11(k) 2009 年 5 月 15 日 PPP 定位誤差(使用 IGS 超快速產品)

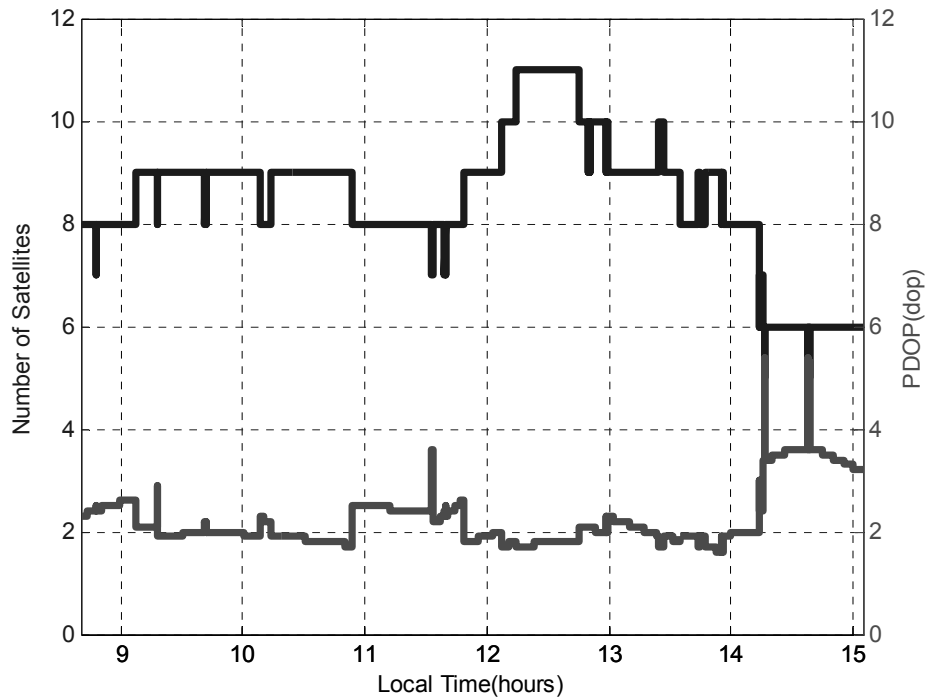


圖 6.11(l) 2009 年 5 月 15 日實驗過程中衛星顆數及 PDOP 值變化

由圖 6.11(a)~ 圖 6.11(l)及表 6.8 可以發現,此等級的精確星曆及衛星時鐘資料目前動態定位精度在平面及高程方向皆為 1~2 公尺,雖然對導航等相關應用此精度已足夠,但對於利用 GPS 浮標偵測海水面高程變化來說精度仍不甚理想。綜合上述之結果,吾人發現使用最終產品之 PPP 動態定位精度對 PDOP 值或衛星幾何變化是最敏感的。任何瞬間較為顯著的衛星幾何變化都會影響該時刻的定位精度。此種效應隨著使用快速與超快速產品時之 PPP 動態定位精度減低而減緩。同時對於使用超快速產品之 PPP 動態定位精度而言,因時錶與星曆造成需要長時間收斂影響之效應遠大於衛星幾何變化。

本研究在台南安平潮位站旁進行 6 次 GPS 浮標施測,首先利用與 GPS 浮標距離不同之 GPS 參考主站來進行差分定位,分析基線距離對 GPS 浮標定位成果的影響,由實驗結果可得出基線越長則定位準確度(accuracy)越低;再以 IGS 提供之最終產品(final product)、快速產品(Rapid product)、超快速產品(Ultra-Rapid product)之觀測部分(observed half)、超快速產品(Ultra-Rapid product)之預估部分(predicted half)四種不同發布延遲時間的精確星曆與精確時錶改正資料對 GPS 浮標進行精確單點定位解算,與傳統差分相對定位方法定位結果進行比較後,得出使用最終產品之平面方向均方根誤差可達 3~5 公分,而高程方向均方根誤差可達 10 公分;快速產品之平面方向均方根誤差可達 6~8 公分,而高程方向均方根誤

差可達 15 公分；超快速產品觀測部分之平面方向均方根誤差可達 15~20 公分，而高程方向均方根誤差可達 30~40 公分；超快速產品預估部分之平面方向均方根誤差可達 2~3 公尺，而高程方向均方根誤差可達 3~4 公尺。

總結來說，本研究所獲得之 PPP 靜態定位精度(使用最終產品)之定位精度約在 5 公分以內，而動態定位精度(使用最終產品)在 30 公分以內，此於國外的文獻一致。對於靜態定位之應用而言，5 公分的精度的確有提升的空間，然就動態定位而言，30 公分之定位精度可以符合絕大部分航測、光達、海測、空載與車載直接定位系統等應用。相對於 DGPS 定位精度隨空間關係遞減之特性，PPP 的定位精度是相對穩定的。加上其具備單一接收儀作業之特性，PPP 未來對於動態定位之許多應用而言是符合成本效益的一個替代方案。

國土測繪中心現有的 e-GPS 可以提供較 PPP 略佳的動態定位精度，唯使用者必須身處服務網格可涵蓋之範圍內，這點對海測、航測、光達空載直接定位之應用而言是有限制的。同時使用者付費的機制與需額外的通訊機制都凸顯使用單機作業 PPP 之實用性。故以路測(動態定位)應用而言，e-GPS 服務之優勢在於精度，然而，PPP 在實用性、便利性與成本考量之下略佔優勢。況且 e-GPS 的精度之穩定性取決於服務網格之完整性，若一但受電力、地震或其它不可抗力之外在因素影響導致部分基準站之服務中斷時，e-GPS 服務之完整性就產生限制。相反的，PPP 在這些條件下仍可持續提供合理之動態定位精度。

不同的等級的測量任務有不同的精度需求，PPP 的出現可以提供測量從業人員一個合乎成本的作業模式。當然，對於靜態定位而言，傳統的差分定位技術仍是不可取代的。唯 IGS 對星曆與時錶估計之精度逐漸提升，且其時效性也越來越有競爭力。事實上目前已有付費的服務提供與 IGS 快速產品精度相仿之即時產品，故技術上的問題始可以克服的。同時加上 Galileo、GLONASS 與北斗之星群，未來五年內 PPP 靜態定位之精度必然可以提升至 1 公分以內，而預估其動態定位精度亦可提升至 10 公分內。如此 PPP 的實用性可進一步獲得肯定。

表 6.8 動態精密單點定位精度(使用 IGS 超快速產品預估部分)

2009-01-09	E	N	U
Mean(m)	-0.134	0.013	1.008
RMS(m)	0.837	0.479	1.414
STD(m)	0.827	0.479	0.992
2009-02-05	E	N	U
Mean(m)	-1.078	0.530	1.164
RMS(m)	2.021	0.832	2.811
STD(m)	1.710	0.641	2.559
2009-02-23	E	N	U
Mean(m)	0.523	-0.015	0.836
RMS(m)	0.645	0.175	1.093
STD(m)	0.378	0.174	0.704
2009-05-13	E	N	U
Mean(m)	-0.454	0.148	1.691
RMS(m)	0.934	0.490	2.078
STD(m)	0.816	0.467	1.207
2009-05-14	E	N	U
Mean(m)	-0.122	0.070	-0.073
RMS(m)	0.574	0.252	0.475
STD(m)	0.561	0.243	0.469
2009-05-15	E	N	U
Mean(m)	-1.348	0.380	-1.056
RMS(m)	1.425	0.505	1.367
STD(m)	0.462	0.332	0.869

第七章 更新及開發 GNSS 中長基線網解算軟體

§ 7.1 GNSS 中長基線網解算軟體

本年度計畫的研究重點為發展靜態中長基線網計算軟體，目的為針對同時段、多測站間組成之多重基線作自動化的計算，並產生 TurboNet 格式的基線輸出成果。在功能面上，今年度之基線網計算軟體將以處理內政部與內政部國土測繪中心實測之 GPS 雙頻觀測資料為主要工作項目並進行完整測試；但因為軟體同時具有處理 95 及 96 年度開發的 GNSS 模擬器所產生的 GPS 與 Galileo 三頻模擬觀測資料的能力，將可以因應未來 Galileo 系統正式運轉後的立即需求。

在基線網自動化計算部分，同一時段中可讀入之測站數以至少 8 站為原則，以自動化之方式計算測站間基線組合的基線分量，並且將每一條基線之解算成果以國土測繪中心指定之 TurboNet 的格式自動輸出。此基線網計算軟體將是以獨立執行檔之方式在 Windows XP 或 Vista 的作業環境下進行，不需額外安裝其他系統程式。

GNSS 基線計算程式中所採取之數學模式屬於傳統靜態定位之方法，分別使用二次差分載波相位及虛擬距離觀測量，藉由最小二乘平差法累加法方程式，將基線計算中自初始時段到結束時段所收集之觀測量，逐步累加到最後一併求解各項未知參數，包含基線分量、週波值、以及對流層參數，如下小節詳述。

§ 7.2 基線計算模型

在基線計算數學模式部份，將包含相位中心改正的計算，以及考慮大氣層效應的影響。大氣模型將分別考慮電離層以及對流層延遲部分，電離層延遲將以無電離層線性組合消去其一階影響量，而在對流層延遲部分加入則附加參數吸收其影響。

§ 7.2.1 系統誤差改正

在基線網計算軟體中對於 GPS 資料的系統誤差處理方法以及對應策略如表 7.1 所示。

表 7.1 長基線系統誤差處理對應策略

系統誤差	對應策略
接收儀時鐘誤差	使用二次差分方式消滅
衛星時鐘差	使用二次差分方式消滅
系統時間偏差	使用二次差分方式消滅
電離層延遲	組成無電離層線性組合觀測量消除一階影響量
對流層延遲	1. 採用仰角 15° 以上之衛星觀測量 2. 估計各測站天頂對流層附加參數 3. 依據仰角改變觀測量權值
軌道誤差	1. 使用 SP3 精密星曆 2. 進行衛星質心改正
天線盤相位中心變化	1. 進行絕對相位中心改正 2. 天線盤資訊 http://geodesy.noaa.gov/ANTCAL/
固體潮改正	進行地球固體潮改正
多路徑效應	1. 採用 15° 以上之衛星觀測量 2. 依據仰角改變觀測量權值

§ 7.2.2 無電離層線性組合

無電離層觀測量可由雙頻或三頻之觀測量組成，根據(1)以及(3)，相位無電離層觀測量組合可以根據公式 (7.1)~(7.4) (Han and Rizos, 1999; Feng, 2008)：

$$\Phi_{i,j,k} = \lambda_{i,j,k} \varphi_{i,j,k} = \frac{i \cdot f_1 \cdot \Phi_1 + j \cdot f_2 \cdot \Phi_2 + k \cdot f_3 \cdot \Phi_3}{i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3} \quad (7.1)$$

$$f_{i,j,k} = i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3 \quad (7.2)$$

$$\lambda_{i,j,k} = c / f_{i,j,k} \quad (7.3)$$

$$N_{i,j,k} = i \cdot N_1 + j \cdot N_2 + k \cdot N_3 \quad (7.4)$$

其中 i 、 j 、 k 分別為對應各頻率之係數， $f_{i,j,k}$ 、 $\lambda_{i,j,k}$ 、 $N_{i,j,k}$ 為組合後之有效頻率、波長以及週波值。在雜訊部份，假設每個相位雜訊為 $\pm \sigma_0$ (m)，組合後之雜訊 $\pm \sigma_{i,j,k}$ (m) 可利用下式獲得：

$$\sigma_{i,j,k} = \sqrt{\left(\frac{i}{\lambda_1}\right)^2 + \left(\frac{j}{\lambda_2}\right)^2 + \left(\frac{k}{\lambda_3}\right)^2} \cdot \lambda_{i,j,k} \cdot \sigma_0 = A_{i,j,k} \cdot \sigma_0 \quad (7.5)$$

其中 $A_{i,j,k}$ 代表雜訊放大因子。而電離層延遲一階放大尺度因子 $\beta_{i,j,k}$ 可由下式(7.6)獲得。

$$\beta_{i,j,k} = \frac{f_1^2(i/f_1 + j/f_2 + k/f_3)}{i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3} \quad (7.6)$$

下表 7.2 為三頻 GPS 以及 Galileo 下之無電離層組合比較。在三頻情況下共可以組出三種無電離層線性組合，可是此三種線性組合觀測量卻會是兩兩相依的 (Teunissen and Odijk, 2003)。由於不同組合的觀測量雜訊可由表 7.2 中係數藉由誤差傳播獲得，因此在基線計算時，兩種衛星系統都選用誤差傳播後雜訊較小的兩種無電離層線性組合觀測量；亦即，GPS 為 $\Phi_{L1/L2}$ 、 $\Phi_{L1/L5}$ ；而 Galileo 為 $\Phi_{E1/E5b}$ 、 $\Phi_{E1/E5a}$ 。此外，無電離層觀測量之週波值若要保留其原始整數性質 (N1、N2、N5) 必須有額外之觀測條件輔助，否則會導致秩缺 (rank defects) 現象發生 (Teunissen and Odijk, 2003)。

表 7.2 三頻 GPS 以及 Galileo 下之無電離層組合比較

		i	j	k	$\lambda_{i,j,k}$ (m)	$\beta_{i,j,k}$	$A_{i,j,k}$
GPS	$\Phi_{L1/L2}$	77.000	-60.000	0	0.006	0	2.98
	$\Phi_{L1/L5}$	154.000	0	-115.000	0.003	0	2.59
	$\Phi_{L2/L5}$	0	24.000	-23.000	0.125	0	16.64
Galileo	$\Phi_{E1/E5b}$	77.000	0	-59.000	0.006	0	2.81
	$\Phi_{E1/E5a}$	154.000	0	-115.000	0.003	0	2.59
	$\Phi_{E5a/E5b}$	0	-115.000	118.000	0.042	0	27.47

因此，本研究使用了額外的輔助條件，此條件為四觀測量線性組合 (Four-measurement combination, FM)。四觀測量線性組合同時使用了相位以及電碼觀測量，此組合可以消去幾何距、電離層延遲、對流層延遲以及時鐘誤差。如下式表示 (Beutler et al., 2007; Goad and Yang, 1997)：

§ 7.2.3 四觀測量線性組合

由於單只使用無電離層相位觀測量在最小二乘計算時將使得法方程式在解算整數週波解時產生秩虧的情況，因此可將電碼觀測量組成額外之約制條件以輔助最小二乘計算。在中長基線計算軟體中採用了四觀測量線性組合來獲得對於整數週波值之輔助條件，四觀測量線性組合共使用了雙頻之相位以及電碼四種觀測量，四觀測量線性組合如下式表示 (Beutler et al., 2007; Goad and Yang, 1997)：

$$Nc_{ij} = \frac{1}{f_i - f_j} (f_i \Phi_i - f_j \Phi_j) - \frac{1}{(f_i + f_j)} (f_i P_i + f_j P_j) + \varepsilon_{Nc} \cong \lambda_{ij} (N_i - N_j) \quad (7.7)$$

$$\lambda_{ij} = c / (f_i - f_j) \quad (7.8)$$

其中 i, j 分別表示不同之頻率， λ_{ij} 為組合後之有效波長。若假設所有頻率之相位以及電碼頻率都相同且分別為 $\pm \sigma_{o,\phi}$ (m) 以及 $\pm \sigma_{o,P}$ (m)，而在 $\sigma_{o,P} = 100 \sigma_{o,\phi}$ 下，組合後之雜訊 $\pm \sigma_{Nc_{ij}}$ (m) 可如下式表示：

$$\begin{aligned} \sigma_{Nc_{ij}} &= \sqrt{\left(\frac{f_i}{f_i - f_j}\right)^2 \cdot 10^{-4} + \left(\frac{f_i}{f_i - f_j}\right)^2 \cdot 10^{-4} + \left(\frac{f_i}{f_i + f_j}\right)^2 + \left(\frac{f_j}{f_i + f_j}\right)^2} \cdot \sigma_{o,P} \\ &= A_{ij} \cdot \sigma_{o,P} \end{aligned} \quad (7.9)$$

其中 A_{ij} 為電碼雜訊放大因子，並且得知此因子主要是受到電碼雜訊影響。此組合有效波長 λ_{ij} 與寬項組合波長相同，表 7.3 為 GPS 以及 Galileo 三頻四觀測量組合在波長以及雜訊比較。

表 7.3 三頻 GPS 以及四頻 Galileo 下之四觀測量組合比較

	i	j	λ_{ij} (m)	A_{ij}
GPS	L1	L2	0.86	0.72
	L1	L5	0.75	0.72
	L2	L5	5.86	0.78
Galileo	E1	E5b	0.81	0.72
	E1	E5a	0.75	0.72
	E5b	E5a	9.77	0.90
	E5b	E6	4.19	0.75

§ 7.2.4 對流層參數

對流層影響折射延遲量可以透過映射函數將該點天頂方向之對流層延遲量透過映射函數而得，如下式：

$$T_i^k = T_i^{Zenith} \cdot MF(e_i^k) \quad (7.10)$$

其中 T_i^{Zenith} 為天頂方向之對流層延遲量， $MF(e_i^k)$ 為映射函數，假設大氣層球狀對稱的情況下映射函數只與仰角有關而不與方位角有關 (Leick, 1995)。程式中目前使用的映射函數如下 (Xu, 2003)：

$$MF(e^k) = \frac{1}{\sin(e^k)} \quad (7.11)$$

由於對流層影響會隨者空間以及時間的不同變化 (Leick, 1995)，因此(7.10)加上時間的變化後並以二次差分表示如下：

$$T_{ij}^{kl}(t) = [T_i^{Zenith}(t) \cdot MF(e_i^k) - T_j^{Zenith}(t) \cdot MF(e_j^k)] - [T_i^{Zenith}(t) \cdot MF(e_i^l) - T_j^{Zenith}(t) \cdot MF(e_j^l)] \quad (7.12)$$

其中

$T_i^{Zenith}(t)$ ： i 測站天頂方向對流層延遲量 (時刻 t)

$T_j^{Zenith}(t)$ ： j 測站天頂方向對流層延遲量 (時刻 t)

MF ：映射函數

e ：衛星仰角

§ 7.2.5 函數及隨機模型

中長基線網程式中所使用之函數以及隨機模型如下。

1. 函數模型：

以雙系統三頻為例，在一組衛星 k 、 l 以及接收儀 i 、 j 情況下，根據 (7.1)， $\Phi_{ij}^{kl} = \lambda \cdot \varphi_{ij}^{kl}$ 代表無電離層二次差分觀測量，以及根據 (7.7) ~ (7.8)， Nc_{ij}^{kl} 代表四觀測量線性組合之二次差分觀測量。最小二乘模型表示如下 (Koch, 1999)：

$$\Phi_{ij, L1/L2}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} + \lambda_{77, -60, 0} (77 \cdot N_{ij, L1}^{kl} - 60 \cdot N_{ij, L2}^{kl}) + T_{ij}^{kl} + \varepsilon_{\Phi_{ij, L1/L2}^{kl}} \quad (7.13)$$

$$\Phi_{ij, L1/L5}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} + \lambda_{77, 0, -115} (154 \cdot N_{ij, L1}^{kl} - 115 \cdot N_{ij, L5}^{kl}) + T_{ij}^{kl} + \varepsilon_{\Phi_{ij, L1/L5}^{kl}} \quad (7.14)$$

$$\Phi_{ij, E1/E5b}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} + \lambda_{77, -59, 0} (77 \cdot N_{ij, E1}^{kl} - 59 \cdot N_{ij, E5b}^{kl}) + T_{ij}^{kl} + \varepsilon_{\Phi_{ij, E1/E5b}^{kl}} \quad (7.15)$$

$$\Phi_{ij, E1/E5a}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} + \lambda_{154, 0, -115} (77 \cdot N_{ij, E1}^{kl} - 115 \cdot N_{ij, E5a}^{kl}) + T_{ij}^{kl} + \varepsilon_{\Phi_{ij, E1/E5a}^{kl}} \quad (7.16)$$

$$Nc_{ij, L1L2}^{kl} = \lambda_{L1L2} (N_{ij, L1}^{kl} - N_{ij, L2}^{kl}) + \varepsilon_{Nc_{ij, L1L2}^{kl}} \quad (7.17)$$

$$Nc_{ij, L1L5}^{kl} = \lambda_{L1L5} (N_{ij, L1}^{kl} - N_{ij, L5}^{kl}) + \varepsilon_{Nc_{ij, L1L5}^{kl}} \quad (7.18)$$

$$Nc_{ij, E1E5a}^{kl} = \lambda_{E1E5a} (N_{ij, E1}^{kl} - N_{ij, E5a}^{kl}) + \varepsilon_{Nc_{ij, E1E5a}^{kl}} \quad (7.19)$$

$$Nc_{ij, E1E5b}^{kl} = \lambda_{E1E5b} (N_{ij, E1}^{kl} - N_{ij, E5b}^{kl}) + \varepsilon_{Nc_{ij, E1E5b}^{kl}} \quad (7.20)$$

其中 ε 包含了二次差分後殘留之多路徑以及軌道誤差之影響以及觀測量雜訊、 ρ_{ij}^{kl} 為觀測量之二次差分後之幾何距， T_{ij}^{kl} 如 (7.12) 所示。線性化後以矩陣形式表示之如下：

■ 觀測量向量：

$$L = [\Phi_{ij, L1/L2}^{kl} \cdots \Phi_{ij, L1/L5}^{kl} \cdots \Phi_{ij, E1/E5b}^{kl} \cdots \Phi_{ij, E1/E5a}^{kl} \cdots Nc_{ij, L1L2}^{kl} \cdots Nc_{ij, L1L5}^{kl} \cdots Nc_{ij, E1E5b}^{kl} \cdots Nc_{ij, E1E5a}^{kl}]^T \quad (7.21)$$

■ 未知參數向量：

$$X = [dX \ dY \ dZ \ N_{ij, L1}^{kl} \ N_{ij, L2}^{kl} \ N_{ij, L5}^{kl} \ N_{ij, E1}^{kl} \ N_{ij, E5a}^{kl} \ N_{ij, E5b}^{kl} \ T_i^{zenith} \ T_j^{zenith}]^T \quad (7.22)$$

■ 設計矩陣：

$$A = \begin{bmatrix} a_{L1/L2} & b_{L1/L2} & C_i & C_j \\ a_{L1/L5} & b_{L1/L5} & C_i & C_j \\ a_{E1/E5a} & b_{E1/E5a} & C_i & C_j \\ a_{E1/E5b} & b_{E1/E5b} & C_i & C_j \\ 0 & b_{L1/L2} & 0 & 0 \\ 0 & b_{L1/L5} & 0 & 0 \\ 0 & b_{E1/E5a} & 0 & 0 \\ 0 & b_{E1/E5b} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.23)$$

其中

$$a_{L1L5} = \begin{bmatrix} \partial\Phi_{ij,L1L5}^{kl}/\partial X & \partial\Phi_{ij,L1L5}^{kl}/\partial Y & \partial\Phi_{ij,L1L5}^{kl}/\partial Z \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$a_{L1L2} = \begin{bmatrix} \partial\Phi_{ij,L1L2}^{kl}/\partial X & \partial\Phi_{ij,L1L2}^{kl}/\partial Y & \partial\Phi_{ij,L1L2}^{kl}/\partial Z \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$a_{E1E5a} = \begin{bmatrix} \partial\Phi_{ij,E1E5a}^{kl}/\partial X & \partial\Phi_{ij,E1E5a}^{kl}/\partial Y & \partial\Phi_{ij,E1E5a}^{kl}/\partial Z \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$a_{E1E5b} = \begin{bmatrix} \partial\Phi_{ij,E1E5b}^{kl}/\partial X & \partial\Phi_{ij,E1E5b}^{kl}/\partial Y & \partial\Phi_{ij,E1E5b}^{kl}/\partial Z \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$b_{L1L2} = \begin{bmatrix} \lambda_{77,-60,0} \cdot 77 & \lambda_{77,-60,0} \cdot -60 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$b_{L1L5} = \begin{bmatrix} \lambda_{154,0,-115} \cdot 154 & 0 & \lambda_{154,0,-115} \cdot -115 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$b_{E1E5b} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \lambda_{77,-59,0} \cdot 77 & \lambda_{77,-59,0} \cdot -59 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$b_{E1E5a} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \lambda_{154,-115,0} \cdot 154 & 0 & \lambda_{154,-115,0} \cdot -115 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$C_i = \begin{bmatrix} MF_i^k - MF_i^l \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$C_j = \begin{bmatrix} MF_j^k - MF_j^l \\ \vdots \end{bmatrix}$$

此模型計算以最小二乘法(Least-Square)為基礎來估計所需之參數，包括基線向量、週波值以及對流層天頂參數。在單一時刻下可表示公式 (7.24)~(7.25) (Koch, 1999)，其中 Q_c 是觀測量之方差-協方差矩陣，可如下節所述。

$$L + V = AX \quad (7.24)$$

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T Q_c^{-1} L \quad (7.25)$$

2. 隨機模型：

雖然 GPS 及 Galileo 的原始觀測量相互獨立，但無電離層線性組合以及四觀測量線性組合皆為相關之觀測量，因此需要利用誤差傳播獲得最小二乘計算中所需之觀測量方差-協方差矩陣 Q_c 。

以 GPS 三頻觀測量線性組合為例，在不同頻率的原始二次差分觀測量方差-協方差矩陣 Q 中，各觀測量為互不相關的：

$$Q = \begin{bmatrix} \sigma_{\Phi_{ij,L1}}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\Phi_{ij,L2}}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\Phi_{ij,L5}}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{P_{ij,L1}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{P_{ij,L2}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{P_{ij,L5}}^2 \end{bmatrix} \quad (7.26)$$

將 (7.1) 式對觀測量 Φ_{L1} 、 Φ_{L2} 、 Φ_{L5} 線性化便可得到 B 矩陣：

$$B = \begin{bmatrix} \frac{77 \cdot \lambda_{77,-60,0}}{\lambda_{L1}} & \frac{-60 \cdot \lambda_{77,-60,0}}{\lambda_{L2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 154 \cdot \lambda_{154,0,115} & 0 & \frac{-115 \cdot \lambda_{154,0,115}}{\lambda_{L5}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\lambda_{L1}}{f1} & \frac{f2}{f1-f2} & 0 & \frac{-f1}{(f1+f2)} & \frac{-f2}{(f1+f2)} & 0 \\ \frac{f1}{f1-f5} & 0 & \frac{f5}{f1-f5} & \frac{-f1}{(f1+f5)} & 0 & \frac{-f5}{(f1+f5)} \end{bmatrix} \quad (7.27)$$

於是兩個無電離層觀測量以及兩個四觀測量線性組合觀測量的方差-協方差矩陣 Q_c 可以利用下式獲得。

$$Q_c = B \cdot Q \cdot B^T = \begin{bmatrix} \sigma_{\Phi_{ij, L1/L2}^{kl}}^2 & \sigma_{\Phi_{ij, L1/L2}^{kl} \Phi_{ij, L1/L5}^{kl}} & \sigma_{\Phi_{ij, L1/L2}^{kl} Nc_{ij, L1/L2}^{kl}} & \sigma_{\Phi_{ij, L1/L2}^{kl} Nc_{ij, L1/L5}^{kl}} \\ \sigma_{\Phi_{ij, L1/L5}^{kl} \Phi_{ij, L1/L2}^{kl}} & \sigma_{\Phi_{ij, L1/L5}^{kl}}^2 & \sigma_{\Phi_{ij, L1/L5}^{kl} \Phi_{ij, L1/L2}^{kl}} & \sigma_{\Phi_{ij, L1/L5}^{kl} Nc_{ij, L1/L5}^{kl}} \\ \sigma_{Nc_{ij, L1/L2}^{kl} \Phi_{ij, L1/L2}^{kl}} & \sigma_{Nc_{ij, L1/L2}^{kl} \Phi_{ij, L1/L5}^{kl}} & \sigma_{Nc_{ij, L1/L2}^{kl}}^2 & \sigma_{Nc_{ij, L1/L2}^{kl} Nc_{ij, L1/L5}^{kl}} \\ \sigma_{Nc_{ij, L1/L5}^{kl} \Phi_{ij, L1/L2}^{kl}} & \sigma_{Nc_{ij, L1/L5}^{kl} \Phi_{ij, L1/L5}^{kl}} & \sigma_{Nc_{ij, L1/L5}^{kl} Nc_{ij, L1/L2}^{kl}} & \sigma_{Nc_{ij, L1/L5}^{kl}}^2 \end{bmatrix} \quad (7.26)$$

上述之 Q_c 為但系統 (GPS only) 之情況，若擴展至含有雙系統間 (GPS/Galileo) 下，必須注意雙系統間觀測量是互相獨立，但是在各系統中下之無電離層以及四觀測量組合觀測量是維持彼此相依的，因此，透上述所介紹過方差-協方差傳撥後之雙系統 Q_c 矩陣如下圖 6.1，IF 代表無電離層觀測量、FM 代表四觀測量線性組合。

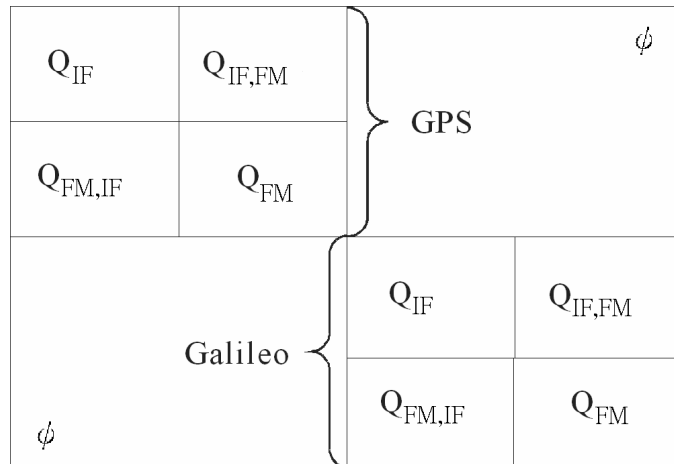


圖 7.1 觀測量方差-協方差矩陣

§ 7.2.6 整數週波值求解策略

週波值解算成果是 GNSS 高精度相對定位的重要關鍵。尤其對於快速或即時定位而言。一旦成功地獲得了週波值整數解，即可確定基線成果之正確性。通常，週波值解算策略可分為完整解以及部分解兩種 (Teunissen et al., 2000)。

1. 週波值完整解(Full Ambiguity Resolution, FAR)

使用荷蘭 Delft University of Technology 所提供之子程式 lambda1.m 計算，需要輸入經由最小二乘求解出之實數解週波值之方差-協方差矩陣、以及週波值實數解向量。實數解向量已由最小二乘解算出；週波值之方差-協方差矩陣的獲得可根據公式 (7.26) 中將係數矩陣 A 分為 A_1 及 A_2 ， A_1 為週波值以外之未知參數之設計矩陣、 A_2 為只包含週波值未知參數之設計矩陣。未知數向量也分為 X_1 及 X_2 兩部份， X_1 為週波值以外之未知參數之估值， X_2 為週波值未知參數實數解之估值，如下表示 (Koch, 1999)：

$$l + v = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \quad (7.26)$$

未知參數之估值

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_1 \\ \hat{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1^T P A_1 & A_1^T P A_2 \\ A_2^T P A_1 & A_2^T P A_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_1^T P l \\ A_2^T P l \end{bmatrix} \quad (7.27)$$

其中

$$\begin{bmatrix} A_1^T P A_1 & A_1^T P A_2 \\ A_2^T P A_1 & A_2^T P A_2 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} N^{-1} + N^{-1} A_1^T P A_2 M^{-1} A_2^T A_1 N^{-1} & -N^{-1} A_1^T A_2 M^{-1} \\ -M^{-1} A_2^T A_1 N^{-1} & M^{-1} \end{bmatrix} \quad (7.28)$$

且

$$N = A_1^T P A_1 \quad (7.29)$$

$$M = A_2^T P A_2 - A_2^T A_1 N^{-1} A_1^T A_2 \quad (7.30)$$

(7.28) 中 M^{-1} 代表為全體的週波值未知參數之方差-協方差矩陣； $N^{-1} + N^{-1} A_1^T P A_2 M^{-1} A_2^T A_1 N^{-1}$ 為其它未知參數之方差-協方差矩陣，在長基線模式程序中包含了位置向量以及對流層參數。最後將 M^{-1} 以及 \hat{X}_2 帶入 LAMBDA 進行整數搜尋。經搜尋後，我們可將所獲得之最佳及次佳兩組整數解以約制條形式件分別帶回先前之觀測方程式中，分別計算出兩組之後驗單位權方差變化量 $\Delta \hat{\sigma}_0^2$ ，再根據 (3.37)、(3.38) 計算 Ratio 值以及 Success Rate。Ratio 值越高代表最佳組以及次佳組在搜尋空間中離實數解幾何距離差異越大，差異越大代表 LAMBDA 搜尋出的最佳組為正確之機率越高。

2. 週波值部分解(Partial Ambiguity Resolution, PAR)

雖然達到週波值完整解是最好的基線計算成果，但在長基線下要達到週波值完整解通常需要足夠長時間的觀測以及良好品質的觀測量。在真實環境下觀測量容易受到環境因素影響，因此可能只有部分的週波值在統計上有者切確的正確性。週波值部分解之目的在於只搜尋某一部份週波值之子集合整數解，其餘的週波值則仍以實數解表示之。在計算成果上以週波值完整解最好，週波值部分解次之，實數解則為最後 (Teunissen et al., 2000)；在本研究中，週波值部分解的演算方式如下。

根據 (7.1) 式，每一個無電離層觀測量都由兩個頻率的觀測量所組成， $N1$ 代表 L1 頻率之週波值、 $N2$ 代表 L2 頻率之週波值，而 $N1$ 以及 $N2$ 即為一個週波值對 (Beutler et al., 2007)，因此後續在尋找部分週波值子集合都以週波值對為最小單位。接下來，由 (7.27)、(7.28) 可獲得整體的週波值實數解 \hat{X}_2 以及整體的週波值未知參數之方差-協方差矩陣 M^{-1} ，且令 $\hat{Q}_a = M^{-1}$ ， $\hat{X}_a = \hat{X}_2$ ；由 \hat{Q}_a 以及 \hat{X}_a 中找出所有週波值對方差-協方差矩陣 $\hat{Q}_{a,pair(1)}$ 、

$\hat{Q}_{a,pair(2)} \dots \hat{Q}_{a,pair(n)}$ 以及週波值對實數解 $\hat{X}_{a,pair(1)}$ 、 $\hat{X}_{a,pair(2)} \dots \hat{X}_{a,pair(n)}$ 。將獲得所有 n 對週波值資訊各別帶入 LAMBDA 程序中進行搜尋，透過搜尋， n 個週波值對可以獲的 n 組週波值對之最佳以及次佳整數解，分別再將 n 組週波值對之最佳以及次佳整數解以約制條件方式帶回原先之觀測方程式獲得每組之 Ratio 值，並只保留通過 Ratio 門檻值的週波值對。最後將 Ratio 值最高的一個週波值對約制住且重新進行一次最小二乘計算，同理進行迭代計算直到所有剩餘的週波值對都無法通過門檻值為止。

週波值部分解中由於每一個週波值對的自由度比週波值完整解小了許多，因此必需使用較週波值完整解高的 Ratio 門檻值。當自由度小時，Leick(1995) 建議之 Ratio 門檻值介於 5~10 之間。

§ 7.3 基線網形之組成

本年度計畫開發及更新基線解算程式，使之可以一次讀入同時段 (session)、多測站 (至少 8 個測站) 的觀測檔，並自動化的形成基線組合後逐條進行基線計算。組成所有基線後，在每一條基線計算部分中分析處理其兩端測站觀測檔中相同時段的觀測資訊，並輸出其成果檔。程式依照基線網組成方式逐步算出每一條基線之成果後方完成。基線網的組成方式可分為三類：

一、全組合(total combination)基線網

包含所有測站可連結的基線，若有 n 個測站則會有 C_2^n 條基線，選用此方式的並不能考慮到彼此基線是否獨立。

二、獨立(independent)基線網

組出所有測站包含之獨立基線，若有 n 個測站則會有 $n-1$ 條獨立基線，此 GNSS 基線網計算軟體的選取原則是所有獨立基線長度總和為最短。

三、使用者定義(user define)基線網

使用者自由選擇欲使用之基線，GNSS 基線網計算軟體會給所有的基線供使用者選擇，此法中，使用者必須要考慮到基線彼此間是否為獨立。

在基線網成果輸出檔案目錄中每一條基線都有自己本身之成果輸出檔，且每一個檔案中都擁有組成基線兩站之名稱以及基線計算成果資訊。輸出檔案格式如圖 7.2 所示，即為國土測繪中心目前所使用之 TurboNet 網形平差軟體之輸入格式。

```

baseline          LINECOMP          Version: WAVE 2.00b
E:\YU\0551\00011461.SSF
Date when the file was created  14:39          Size  4372 Bytes
$glweight  1.000000000000
input data file  1 : CKSV0280.mat
Station ID:CKSV
Station (mark)  1          -2956615.000          5075894.000          2476624.000
Receiver serial # =          TOPCON EG3
antenna height (m)  0.000
Atm meas p (mb) t (C) rh (%)  1010.0  20.0  50.0
input data file  1 : ckgm0280.mat
Station ID:CKGM
Station (mark)  1          -2956619.918          5075891.359          2476621.402
Receiver serial # =          LEICA SR530
antenna height (m)  0.000
Atm meas p (mb) t (C) rh (%)  1010.0  20.0  50.0
Group Header Record and Data Media Identifier follows
B21-JL-5 020621-JL-5 0318 1LINECOMP1.00  BROAD  2          0 0 5
a339JA
Vector  2 <---  1          -4.918          -2.641          -2.598
row  1  9.342943387743e-009
row  2 -7.013456127056e-009  1.747823587598e-008
row  3 -2.759673039295e-009  5.045369304770e-009  7.755097955740e-009
Ratio sum-of-squares(2) to sum-of-squares(1)  1.0
Epoch interval (seconds): 30.000000
Measure of geometry: 0.005084          Wavelength = 0.190294 (m/cycle)
num meas = 1200          num_used = 1200          rms_resid = .001325(m)
#EOFSUM

```

圖 7.2 TurboNet 基線格式

§ 7.4 GNSS 基線網計算軟體介面

GNSS 基線網計算軟體是利用第三章以及第五章中所述之定位原理進行開發，可解算單系統 (GPS-only 或是 Galileo-only) 以及雙系統 (GPS+Galileo) 在不同頻率下短基線以及長基線兩種模式。短基線模式不考慮大氣影響，此模式較適用於 RTK、快速靜態測量等工程上應用；長基線模則可慮了大氣之影響，較適用於板塊監測、坐標系統定義等大地測量領域應用。

程式介面主要分為 PART 1(觀測資料設定)、PART 2(觀測量選擇)、PART 3(計算參數設定)三個部份，如圖 7.3。PART 1 為觀測資料之讀入部分，負責讀入不同測站觀測檔以及星曆檔、相位中心改正定義檔，以及基線網組成方式選擇。觀測檔案可輸入資料格式為 *.O 或 *.mat 檔，*.O 檔為接收儀所產生之觀測檔案也就 RINEX 格式，在此，本程式支援現有版本 RINEX 2.1 以及將來加入雙系統之新版本 RINEX 3.0 之檔案格式讀入；另一種格式 *.mat 檔是將 *.O 檔轉換成 Matlab 軟體專有之 binary 格式，*.mat 檔的產生會在成功的讀入 *.O 檔之後，目的是使後續的讀入檔案更快速。

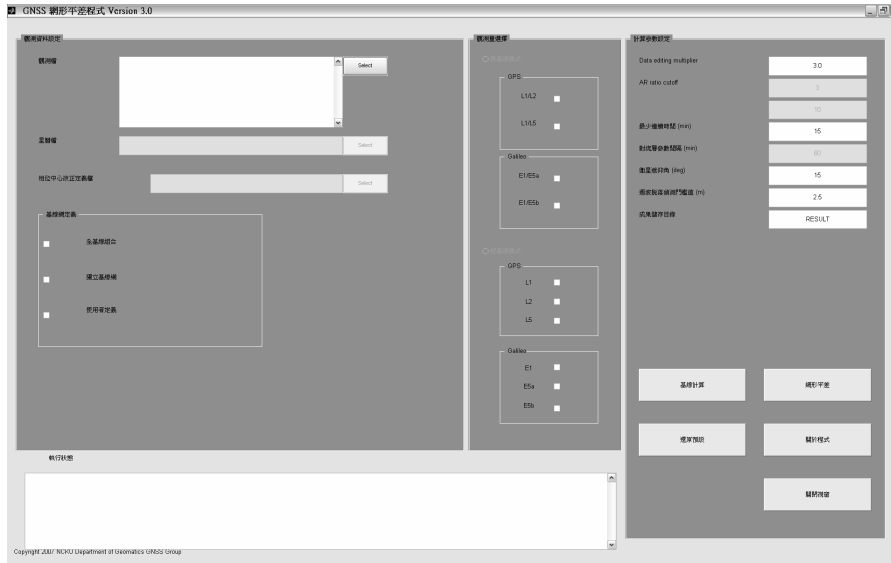


圖 7.3 基線網計算程式主視窗

星曆檔的部份則可輸入廣播星曆 *.yyN、精密星曆 *.SP3、模擬星曆 *.mat 三種格式。*.yyN 以及 *.SP3 為真實資料使用，而 *.mat 為模擬資料使用。模擬星曆 *.mat 檔暫時不能輸出成 *.yyN 檔或 *.SP3 檔是由於目前尚未得知新版 RINEX 3.0 之導航檔格式。

相位中心定義檔內容以天線盤之相位中心改正資訊為主，可由 NGS 網站 <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.shtml> 上獲得所適用天線盤之相位中心改正之資訊，輸入格式如圖 6.4 所示。

```

[kant_info.003>                                     <CBL-05/08/03=181>
ANTENNA ID      DESCRIPTION                          DATA SOURCE (# OF TESTS) YR/MO/DY
|AVE = # in average
| L1 Offset (mm)
| L1 Phase at
| Elevation (mm)
| L2 Offset (mm)
| L2 Phase at
| Elevation (mm)
NONE           NONE                                 NGS ( 0) 99/10/04
  0.0          0.0 0.0 0.0
  0.0 0.0     0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
  0.0 0.0     0.0 0.0
  0.0 0.0     0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
  0.0 0.0     0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
AERAT2775-42   Marine III +CR adaptor                NGS ( 4) 05/05/31
  0.5          -3.1 46.9
  0.0 1.0     1.1 0.6 -0.3 -1.5 -2.8 -4.1 -5.0 -5.5
 -5.4 -5.0   -3.8 -2.2 0.2 3.3 7.4 0.0 0.0
  -0.2        -1.0 85.7
  0.0 -0.4    -0.9 -1.6 -2.2 -3.0 -3.7 -4.5 -5.1 -5.6
 -5.6 -5.3   -4.6 -3.4 -1.8 0.1 2.6 0.0 0.0
AERAT2775_160 L1/L2                                             NGS ( 3) 02/01/29
 -1.0         2.3 3.5
  0.0 1.4     1.8 1.5 0.7 -0.3 -1.4 -2.3 -2.9 -3.1
 -2.8 -2.1   -1.0 0.3 2.0 3.9 6.2 0.0 0.0
  -1.7        5.5 22.3
  0.0 4.0     5.9 6.4 5.7 4.4 2.7 0.9 -0.6 -1.6
 -1.8 -1.2   0.3 2.6 5.7 9.4 13.5 0.0 0.0

```

圖 7.4 GNSS 天線盤相位中心定義檔輸入格式

當觀測資料輸入完畢，程式會自動判讀出有幾種載波相位頻率之觀測量可使用且在 PART 2 部分顯示出，PART 2 主要分為兩大選項，短基線以及長基線之選擇。短基線計算模型使用原始二次差分觀測量、長基線模型則使用無電離層二次差分觀測量。

在目前真實 GPS 真實資料下短基線模式目前只有 L1 以及 L2 兩種頻率觀測量可使用、長基線模式只有一組 L1/L2 無電離層線性組合可以使用，如圖 7.7、7.8 所示。若使用 GNSS 模擬資料可以框選更多不同頻率觀測量如圖 7.9、7.10 所示，在此，由於本年度計畫以真實 GPS 雙頻資料為主要工作項目，因此在沒有 Galileo 觀測資訊時，Galileo 觀測量選取部份因缺乏資訊而不能選取；在觀測量選取完畢後便可進入 PART 3 部分設定計算時所需參數後進入基線計算。

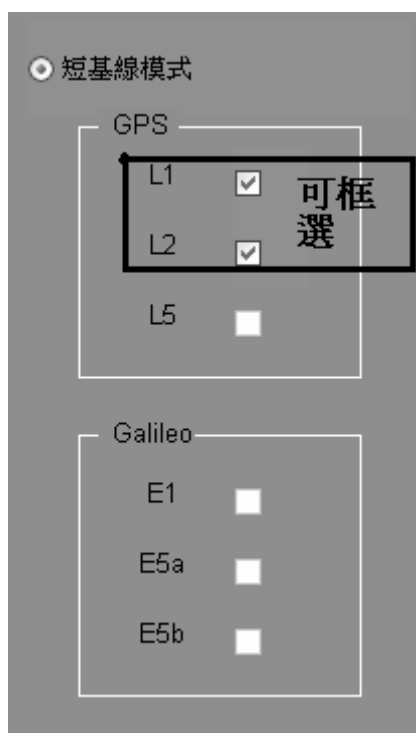


圖 7.7 PART 2 (真實短基線模式)



圖 7.8 PART 2 (真實長基線模式)

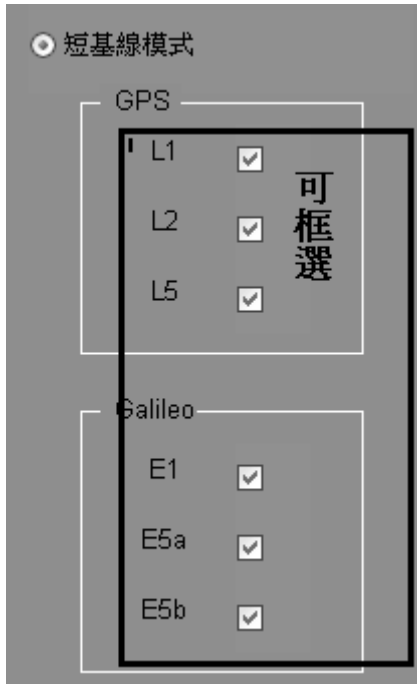


圖 7.9 PART 2
(模擬資料短基線模式)

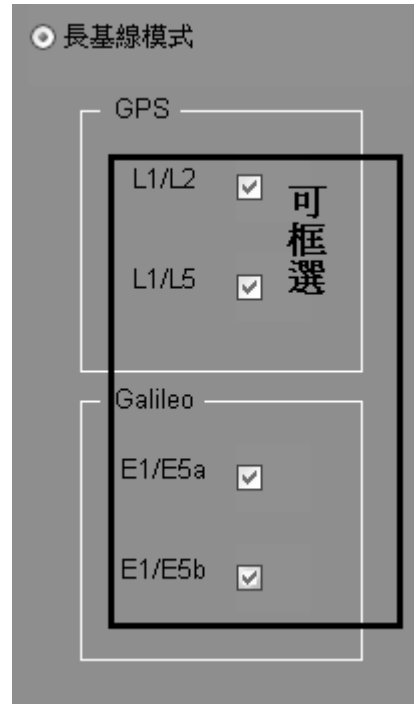


圖 7.10 PART 2
(模擬資料長基線模式)

PART 3 為計算所需之參數設定如圖 7.11，別為 Data editing multiplier、AR ratio cutoff、最少連續時間間隔、衛星遮仰角、週波脫落偵測門檻值、對流層參數間隔、成果輸出檔名七項，詳述如下：

1. **Data editing multiplier**: 觀測量剔錯門檻值，預設值為 3.0 倍的 Data Snooping 檢驗量，超過此檢驗量之觀測量則予以剔除。
2. **AR ratio cutoff**: 整數週波值之 ratio 值通過門檻，分為上下兩隔表示，上格代表週波值完整解之 ratio 通過門檻 (Ratio>=3)、下格則為週波值部分解的 ratio 通過門檻 (Ratio>=10)。
3. **最少連續時間間隔**: 連續接收同一顆衛星的最短接收時間，若某顆衛星觀測量連續觀測時間少於輸入時間段的話則不予採用，預設值為 15 分鐘。
4. **對流層參數間隔**: 長基線計算模式專用，在固定時間區間內給予各測站之天頂對流層 (Zenith Path Delay) 參數，輸入單位為分鐘，預設為 60 分鐘。
5. **衛星遮仰角**: 選用衛星仰角大於所輸入之角度之衛星觀測量，預設值為 15 度。

6. **週波脫落偵測門檻值**：根據公式 (3.25)，在連續時段下，電碼測距與載波測距觀測量兩者之時變差值大於此門檻值時，則將被偵測可能有週波脫落產生，並予以剔除。本項目之目的是為了進行週波脫落補償使用，預設值為 2.5 公尺。
7. **成果輸出目錄**：產生一資料夾儲存所有基線檔案(*.GRD)成果檔。

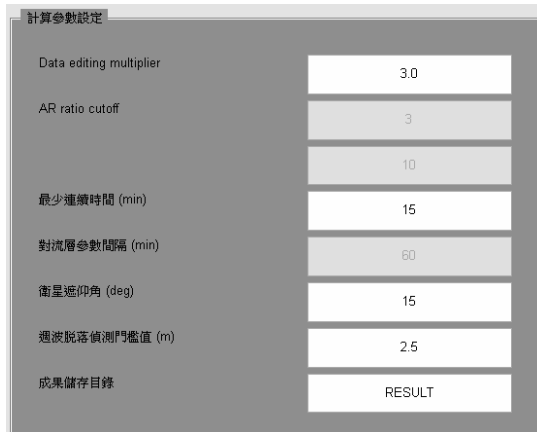


圖 7.11 計算程式 PART 3

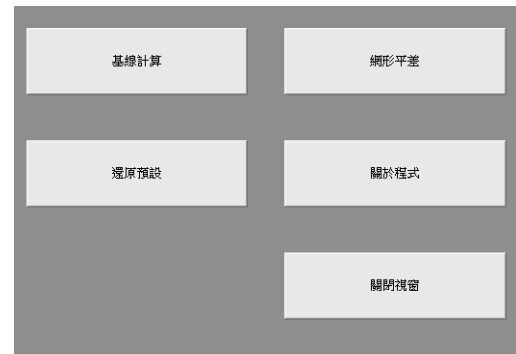


圖 7.12 計算執行選單

最後執行圖 7.12 中之基線計算即可開始針對您所輸入的設定進行計算，程式一開始會讀入所輸入的觀測檔，順利讀入後便開始計算實數解、利用 LAMBDA 搜尋獲得整數解、進行迭代剔錯、刪除精度較差之週波未定值及輸出成果。

此外要注意在解算時 PART 3 參數值會影響到成果好壞以及程式是否可以正確運作，幾點注意事項如下：

1. **Data editing multiplier** 若太小會導致觀測量的刪除過於嚴苛以致產生無法解狀況。
2. 週波脫落偵測門檻值若太小則會導致找出過多錯誤之週波脫落，這將會使得週波值的搜尋時間加長甚至無法搜尋成功。
3. 連續時間間隔太長以及衛星遮仰角太高會使觀測量嚴重減少可能會導致求解精度不佳甚至無法求解的情況。
4. AR ratio cutoff 太高將導致整數解不易獲得。
5. 對流層參數間隔太長會導致無法正確吸收對流層影響，過短則導致自由度降低以及增加參數間之相關性。
6. 一般狀況下，建議以程式預設值為輸入參數。

§ 7.5 網形平差

本年度計畫新加入了基線網形平差計算部份，如圖 7.12 中所示。本網形平差程式讀取基線計算輸出之 GRD 檔，或與 TurboNet 基線輸出格式相同之檔案。介面設計如下圖 7.13。

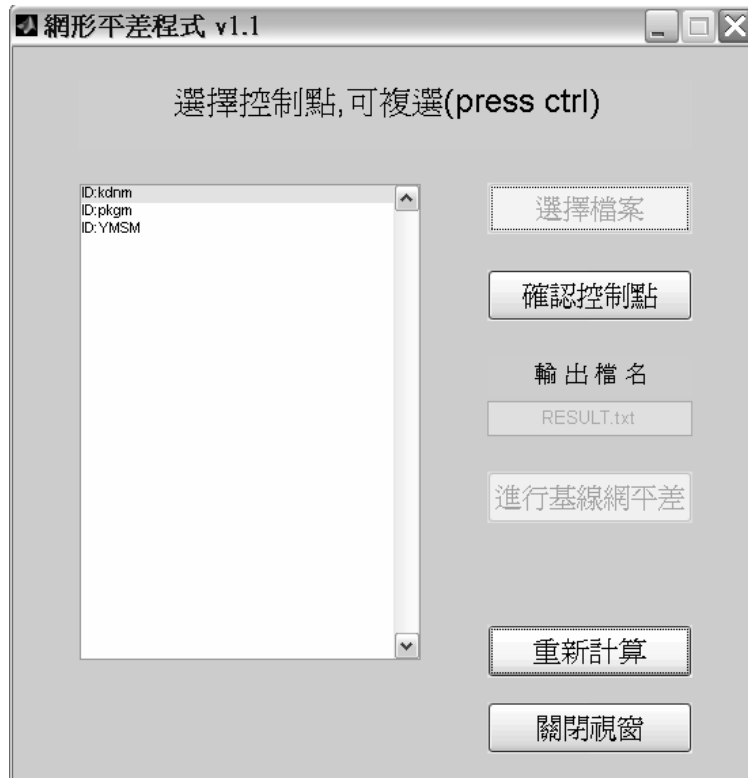


圖 7.13 網型平差介面視窗

此部份詳述如下：

1. **選擇檔案**：選擇基線檔案(*.GRD)，一旦選擇完畢後，對話視窗將產生在選定網形中有的所有控制點。
2. **確認控制點**：用者可在對話框中選定所需之控制點在利用確認控制點選項確定已選定之控制點。
3. **輸出檔名**：輸入網形平差成果之輸出檔名，成果在網形平差完後將自動地儲存於與輸入檔(*.GRD)相同之目錄下。
4. **進行網形平差**：上述輸入確認後進行網形平差功能。
5. **重新計算**：可重新輸入基線檔案。

網形平差成果檔輸出格式可如下圖 7.14 所示，分別展示出所有點位前後經由網形平差計算後之坐標。位於各點位最後之英文字(F)以及(P)分別代表了控制點(Fixed)以及待估點(Parameter)。

```

後驗單位權中誤差 = 1.000000
ID:kcdnm      (adj) x  -3028999.167 (obv) x  -3028999.167 (F)
              (adj) y  5084820.366 (obv) y  5084820.366
              (adj) z  2369241.585 (obv) z  2369241.585
ID:pkgm       (adj) x  -2951343.364 (obv) x  -2951343.364 (F)
              (adj) y  5049505.671 (obv) y  5049505.671
              (adj) z  2535725.398 (obv) z  2535725.398
ID:YMSM       (adj) x  -3024807.626 (obv) x  -3024807.625 (P)
              (adj) y  4921746.601 (obv) y  4921746.601
              (adj) z  2696033.740 (obv) z  2696033.741

```

圖 7.14 網形平差成果輸出格式

§ 7.6 在未安裝 Matlab 的系統上執行基線網計算程式

在它端沒有安裝 Matlab 的系統上，執行由 Matlab 編譯後的獨立執行檔需要進行以下兩個步驟 (李顯宏, 2005)：

1. 將 Matlab 程式碼轉成執行檔，可使用 Matlab 函式庫指令”mcc -m 檔名”，將 Matlab 中主程式 M 檔轉換成 exe 執行檔，mcc 為喚起 Matlab Compiler 進行編譯動作之功能。
2. 由於將上步所產生之執行檔在無 Matlab 的環境下執行只需將程式執行所需之動態連結檔 (.dll) 一起放置即可，但有時所需要的動態連結檔相當多，無法一一預先了解需要哪些檔案，因此只需要在遠端安裝 MCRInstaller.exe，然後再將應用程式封裝於他台電腦上即可。MCRInstaller.exe 內容為獨立執行執行檔所需要的共享函式庫 (shared library)，為 Matlab 軟體中所給的獨立執行檔，安裝 MCRInstaller.exe 相當快速且不需序號等版權問題，目的便是將它台電腦中含有計算中所需之函式庫。

將以上步驟套用於 96 年發展之 GNSS 基線計算軟體之上，圖 7.15 與圖 7.16 為基線計算軟體以獨立執行檔形式在未安裝 Matlab 系統的之一般 Windows XP 環境下的執行狀況，以及執行後之畫面；此時的執行檔名稱為 Geomatics.exe。



圖 7.15 產生之獨立 Geomatics.exe



圖 7.16 執行 Geomatics.exe 之情形

第八章 開發 GNSS 單頻動態基線解算軟體

本年度國土測繪中心已採購數台 GNSS 不同等級之單頻接收儀，具有接收目前 GPS L1 以及未來 Galileo E1(=L1) 訊號能力的雙系統單頻接收儀，可輸出 C/A 電碼及 L1 載波相位觀測資料。本章之目的在於檢驗以單頻接收儀搭配由國土測繪中心 e-GPS 電子基準站觀測網所產生的虛擬參考站(Virtual Reference Station, VRS)觀測資料，進行動態測量定位的可行性。由於 e-GPS 產生的虛擬參考站位置與未知點的距離通常不會超過 10 公尺，兩點的間距非常短，因此理論上大氣層系統誤差(電離層、對流層效應)、軌道誤差、時錶誤差等均可經由相對定位方式予以消除。

本計畫開發了一個短基線的 L1 單頻動態基線計算軟體，以驗證以上的實驗性概念，其可獨立在 WINDOWS XP 或 VISTA 作業系統執行。在實測資料分析上，除了使用雙頻測量型儀器進行比對之外，國土測繪中心亦提供了其所採購之導航型與測量型單頻接收儀供測試使用。

單頻動態 on-the-fly (OTF) 整數週波值解算 (Ambiguity Resolution, AR) 的原理與雙頻 OTF 相同，都是採用整數搜尋法。但是由於僅使用 C/A 電碼及 L1 載波資料，而無法如雙頻 OTF 解法一般組成各類的線性組合(寬巷、無電離層等)，造成週波值解算效率上明顯較差 (吳錫賢，1996)。相較於雙頻，單頻 OTF 需要的更多的衛星幾何變化(更長的觀測時間)來完成整數搜尋解算，因此在實務應用面上，目前所有廣泛運作的 RTK 即時動態定位系統均採用雙頻 OTF 解算法。由於雙頻接收儀在價格上高出單頻接收儀許多倍，因此單頻 RTK 即時動態定位仍有其一定的吸引力。未來在 Galileo 衛星系統加入運作後，預期可有更強的衛星幾何可以加速單頻 OTF 的解算效率。整合雙系統 (GPS/Galileo) 後，在可視衛星上比現在的單只使用 GPS 可高達兩倍左右，幾何強度上的增強對於週波值解算必定有顯著的幫助，因此，本章將嘗試探討未來使用雙系統單頻 (GPS L1/Galileo E1)接收儀是否可達到與目前單系統雙頻 (GPS L1/L2)接收儀相近之即時動態定位效率。

§ 8.1 動態基線計算模型

動態與靜態測量之主要不同在於未知參數之數量，靜態測量只包含一組位置坐標參數，而動態測量之位置參數會隨者時間增加，因此在計算模型上會與靜態有所不同。以往，許多動態觀測的研究都以卡曼濾波為計算方法，因此本節亦採用卡曼濾波為計算的核心。

在搭配 VRS 參考站運作的動態基線狀況下，可假設大氣層效應、衛星星曆誤差、衛星時錶差、接收儀時錶差等皆可由差分方式消除。根據第五章之敘述，卡曼濾波器可依照時間轉變而對參數進行推估及改正的特性來達到即時動態定位的需求。卡曼濾波器主要分為動態方程式及觀測方程式兩部份，卡曼濾波利用這兩部份遞迴計算出推參數估值以及加入觀測量來修正參數推估值獲得參數更新值，如圖 8.1 所示。

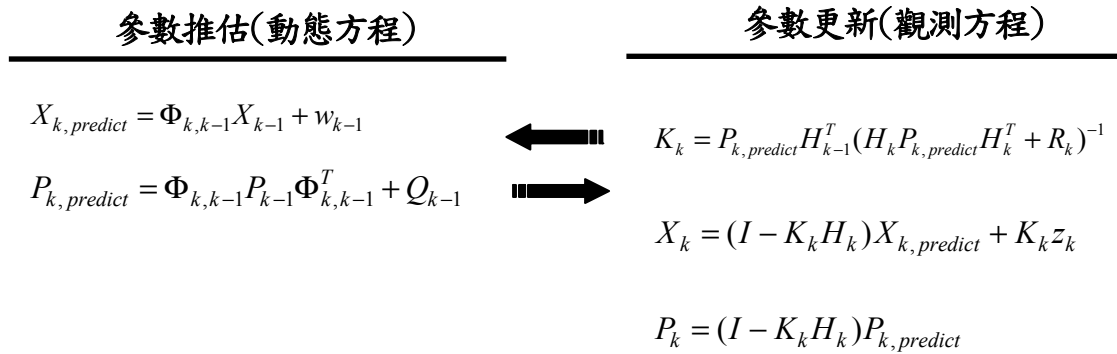


圖 8.1 卡曼濾波動態方程式以及觀測方程式遞迴計算示意圖

§ 8.1.1 動態方程式

在動態方程式中， k 代表不同觀測時刻， $X_{k,predict}$ 代表未知參數推估值， $\Phi_{k,k-1}$ 代表兩時刻間之轉移矩陣， $P_{k,predict}$ 代表推估之未知參數變方-協變方矩陣， w 代表動態方程之系統雜訊。

對卡曼濾波器中的動態方程式而言，狀態轉移矩陣 $\Phi_{k+1,k}$ 是決定未知參數推估的過程，基本上可藉由對移動站的運動方程式來決定，如果對於移動站的運動模式不甚了解或是難以預測，則可以將狀態轉移矩陣設定為單位矩陣，並將其系統的雜訊設定為無窮大，這種作法稱為 Random Walk (Gelb, 1974)。

在動態測量時，衛星接收器載體之運動模式往往是無預期的，因此針對空間位置中的基線三分量則根據 Random Walk 的概念設定為單位矩陣。對於週波未定值部份，在動態解算時，進入到下一時刻之後，若是在未發生週波脫落的情形下，應維持相同的整數週波值參數，因此轉移矩陣中關於週波未定值的部份也設定為 1。因此軟體中將採用單位矩陣作為轉移矩陣，表示如下。

$$\Phi_{k,k-1} = \begin{bmatrix} 1 & & & 0 \\ & 1 & & \ddots \\ & & 1 & \\ & \ddots & & 1 \\ 0 & & & & \ddots \end{bmatrix} \quad (8.1)$$

將動態方程式的系統雜訊 w_k 設定為零，代表者下一時刻以及前一時刻中未知參數變化並無系統性的行為，而其變方協變方矩陣為 Q_k 可表示成(8.2)。根據 Random Walk 的概念， Q_k 對角線元素前三項代表空間位置且採用無窮大的值，目的在於忽略前一時刻空間位置的資訊，其餘對角線元素代表週波值且採用零，則是代表完全相信前一時刻所估出之週波值。此 Q_k 的設計除了滿足每一時刻變化之空間位置外還可以不斷的累積每一時刻週波值之資訊，對動態測量而言則可達到高精度之需求。但若是在時刻 k-1 與 k 之間有週波脫落的發生，就需要重新估計新的整數週波值參數。利用此觀念，隨著連續觀測(無週波脫落)時間的增長，週波值參數的觀測資訊逐漸增加而使週波值精度逐步提升，有利於後續的整數搜尋。

$$Q_k = \begin{bmatrix} \infty & & \dots & & 0 \\ & \infty & & & \\ \vdots & & \infty & & \\ & & & 0 & \\ 0 & & & & \ddots \end{bmatrix} \quad (8.2)$$

§ 8.1.2 觀測方程式

在觀測方程式中，本程式利用了二次差分之電碼以及相位觀測量，在觀測方程式中， z 、 H 、 v 分別代表觀測量向量，設計矩陣以及觀測量殘差向量，而 K 代表卡曼濾波增益矩陣。在單一時刻下，二次差分觀測方程式可由下式 (8.3) 以及 (8.4) 表示，兩式分別代表載波相位以及電碼觀測量 (Leick, 1995)：

$$\Phi_{ij}^{kl} = (\rho_i^k - \rho_i^l - \rho_j^k + \rho_j^l) + \lambda \cdot N_{ij}^{kl} + \varepsilon_{ij,\Phi}^{kl} \quad (8.3)$$

$$P_{ij}^{kl} = (\rho_i^k - \rho_i^l - \rho_j^k + \rho_j^l) + \varepsilon_{ij,P}^{kl} \quad (8.4)$$

其中

i, j : 分別表示已知及未知測站

k, l : 分別表示兩顆衛星編號

Φ_{ij}^{kl} : 二次差分相位觀測量

P_{ij}^{kl} : 二次差分電碼觀測量

$\rho_i^k, \rho_i^l, \rho_j^k, \rho_j^l$: 衛星與測站間之真實幾何距離

λ : 觀測量波長

N_{ij}^{kl} : 載波相位整數週波值

$\varepsilon_{ij,\Phi}^{kl}$: 相位觀測量雜訊(約在 mm 等級)

$\varepsilon_{ij,P}^{kl}$: 電碼觀測量雜訊(約在 m 等級)

根據(8.3)以及(8.4)，計算中之觀測量向量如下表示

$$z_K = [\Phi_{ij}^{kl} \quad \dots \quad P_{ij}^{kl} \quad \dots] \quad (8.5)$$

而在其觀測量的方差-協方差矩陣中，載波跟電碼的觀測量彼此之間互不相關，同時在雙系統情況下 GPS 以及 Galileo 觀測量也是完全不相關，於是觀測量的方差-協方差矩陣可表示如下：

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_{\Phi_{ij}^{kl}}^2 & & & 0 \\ & \ddots & & \\ & & \sigma_{P_{ij}^{kl}}^2 & \\ 0 & & & \ddots \end{bmatrix} \quad (8.6)$$

在動態定位狀況下，未知參數包含每一時刻下的基線分量 ($dX dY dZ$) 以及二次差週波未定值 (N_{ij}^{kl})。未知數向量以及經線性化後的觀測方程式設計矩陣可表示如下：

$$X = [dX \quad dY \quad dZ \quad N_{ij}^{kl} \quad \dots] \quad (8.7)$$

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{ij}^{kl}}{\partial X} & \frac{\partial \Phi_{ij}^{kl}}{\partial Y} & \frac{\partial \Phi_{ij}^{kl}}{\partial Z} & \lambda & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ \frac{\partial P_{ij}^{kl}}{\partial X} & \frac{\partial P_{ij}^{kl}}{\partial Y} & \frac{\partial P_{ij}^{kl}}{\partial Z} & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \quad (8.8)$$

§ 8.2 OTF 解算整數週波值

觀測量經過卡曼濾波器處理後可以得到每一時刻所估計出的點位坐標以及週波值，而其中週波未定值尚為實數解，因此必須利用一套 OTF 整數搜尋演算法將估計的實數解固定為整數解，以滿足週波值的整數特性。

本程式之 OTF 計算亦選用 LAMBDA 低相關化計算方法進行整數搜尋。由於此法可計算多頻率之整數週波值 (Teunissen, 1995; 楊名、江凱偉, 2008)，因此也可以顧及本研究之單頻週波值整數收尋。整數搜尋時需使用卡曼濾波輸出的週波值最小二乘實數解方差-協方差矩陣，以及週波值的實數解向量。週波值之方差-協方差矩陣的獲得可根據 (8.8) 式將係數矩陣 H 分為 H_1 及 H_2 ，其中 H_1 為對應於位置參數之設計矩陣，而 H_2 為對應於週波值未知參數之設計矩陣。未知數向量也因此可分為 X_1 及 X_2 兩部份，其中 X_1 為位置參數之估值，而 X_2 為週波值未知參數之實數解估值。於是，可將觀測方程式改寫如下：

$$L + v = [H_1 \quad H_2] \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \quad (8.9)$$

未知參數之最小二乘估計值可表示為：

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_1 \\ \hat{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1^T P A_1 & H_1^T P A_2 \\ H_2^T P A_1 & H_2^T P A_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} H_1^T P l \\ H_2^T P l \end{bmatrix} \quad (8.10)$$

其中

$$\begin{bmatrix} H_1^T P A_1 & H_1^T P A_2 \\ H_2^T P A_1 & H_2^T P A_2 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} N^{-1} + N^{-1} H_1^T P H_2 M^{-1} H_2^T A_1 N^{-1} & -N^{-1} H_1^T H_2 M^{-1} \\ -M^{-1} H_2^T A_1 N^{-1} & M^{-1} \end{bmatrix} \quad (8.11)$$

以及

$$N = H_1^T P H_1 \quad (8.12)$$

$$M = H_2^T P H_2 - H_2^T H_1 N^{-1} H_1^T H_2 \quad (8.13)$$

(8.11) 式中的 $N^{-1} + N^{-1} H_1^T P H_2 M^{-1} H_2^T A_1 N^{-1}$ 代表全體位置參數之方差-協方差矩陣，而 M^{-1} 則代表全體週波值未知參數之方差-協方差矩陣。帶入 M^{-1} 以及 \hat{X}_2 於 LAMBDA 整數搜尋法中，搜尋後將所獲得之最佳及次佳兩組整數解以約制條形式件分別帶回先前之觀測方程式中，並且計算出兩組整數解所對應之後驗單位權方差變化量 $\Delta \hat{\sigma}_0^2$ ，再根據第三章計算 Ratio 值，以判斷整數搜尋的成效。Ratio 值越高代表最佳組以及次佳組在搜尋空間中離實數解幾何距離差異越大，因此差異越大代表所搜尋出的最佳組為正確之機率越高。而在一般即時動態定位的低自由度狀況下，大於 5~10 的 Ratio 值方是比較可靠的 (Leick, 1995)。

§ 8.3 演算法設計

本軟體之演算法主要分為三部份，第一部份在於衛星觀測資料之處理，第二部份為卡曼濾波計算，第三部份為 OTF 整數週波值搜尋，詳細如下所述。

第一部份中，讀取資料包含廣播星曆檔、接收儀相位中心改正檔、參考站以及移動站之觀測資料。在廣播星曆中，軌道誤差大約為 5-10 公尺等級，在一般動態短基線(<10km) 情況中已經足夠符合精度需求。將移動站以及參考站之相位以及電碼觀測量組成二次差分後，二次差分週波值的初始值即可利用相位以及電碼觀測量之線性組合獲得，如 (8.14) 所示：

$$N_{0,ij}^{kl} = (\Phi_{ij}^{kl} - P_{ij}^{kl}) / \lambda \quad (8.14)$$

演算法中之觀測量系統誤差之處理對應策略可由表 8.1 得知。

表 8.1 搭配 VRS 觀測量之動態基線系統誤差處理對應策略

系統誤差	對應策略
接收儀時鐘誤差	使用二次差分方式消滅
衛星時鐘差	使用二次差分方式消滅
雙系統時差	使用二次差分方式消滅
電離層延遲	使用二次差分方式消滅
對流層延遲	使用二次差分方式消滅
衛星軌道誤差	使用二次差分方式消滅
系統時間偏差	使用二次差分方式消滅
天線盤相位中心變化	1. 進行絕對相位中心改正 2. 天線盤資訊 http://geodesy.noaa.gov/ANTCAL/

第二部份為卡曼濾波器計算，根據第一步驟所得到的二次差分觀測量以及週波值初始值代入卡曼濾波計算。此步驟如圖 8.1 所示，兩兩相鄰時刻為一遞迴之計算，從第一時刻逐次計算至最後一個時刻為止，其中，每一時刻計算完成後都可獲得此時刻之基線分量估值以及週波值實數解。

第三部份為整數週波值搜尋，此步驟可以決定空間中之基線分量是否可為可使用的。因為當使用相位觀測量時，最需要克服的問題為正確求解整數週波值，若錯誤的整數解必定造成錯誤之空間位置，而要獲得正確之週波值整數解必須要根據觀測時間長短以及衛星幾何強弱來決定。因此在動態定位中，OTF 整數搜尋的正確與否直接影響了定位成果。本演算法中採用 LAMBDA 法來搜尋週波值整數解，並利用 Ratio 值來判別週波值整數解正確與否。由每一時刻所獲得之週波值實數解以及其變方-協變方矩陣，透過 LAMBDA 法後便可以得到在某一時刻的之 Ratio 值，若 Ratio 值通過使用者所設定之門檻值，演算法將自動將週波值整數解以約制條件的方式代回卡曼濾波計算式中，藉此獲得正確之空間定位解；若未通過，則繼續累積下一時刻觀測量直至 Ratio 值大於門檻值為止。詳細流程如圖 8.2 所示。此外，本章之演算法除了可以處理 L1 單頻動態資料外，也可處理 L1 以及 L2 之雙頻資料。

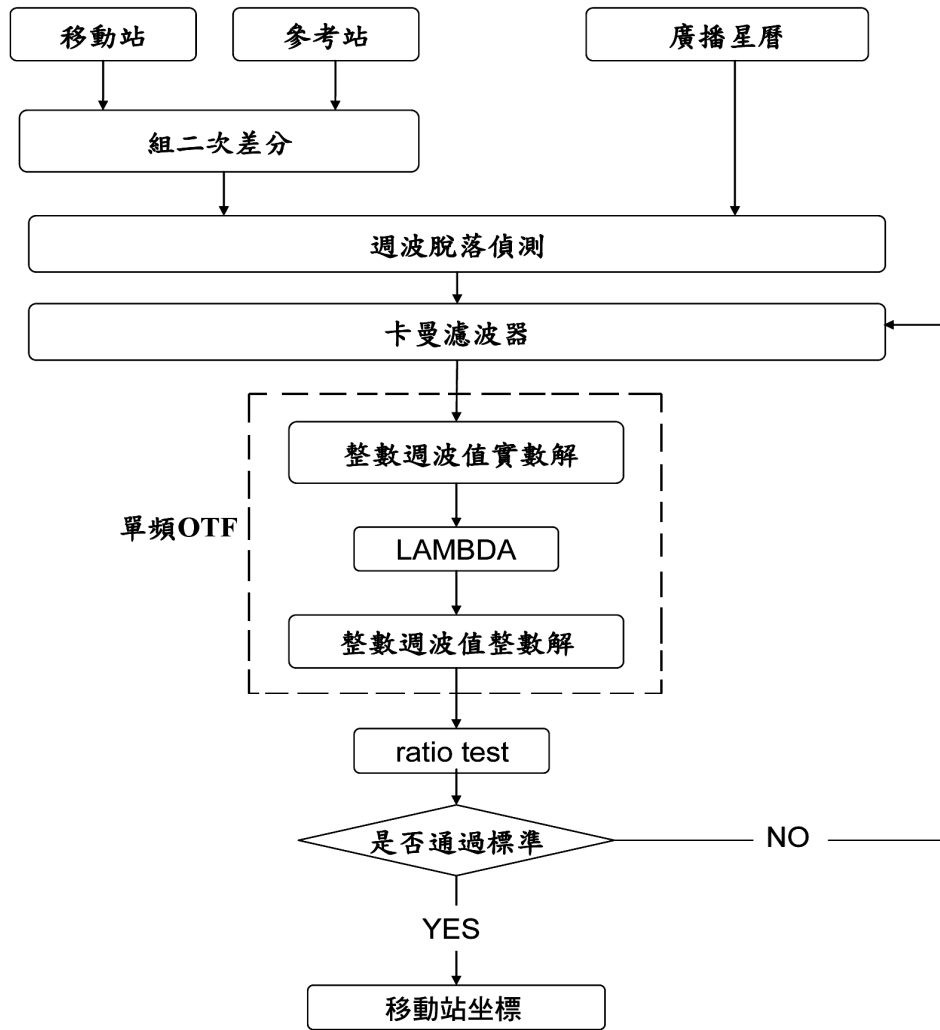


圖 8.2 動態基線解算流程圖

§ 8.4 GNSS 單頻動態基線解算軟體介面及成果檔

GNSS 單頻動態基線解算軟體是根據上述小節中所敘述的定位原理及計算模型開發，軟體功能在於可解算單系統 GPS L1 或雙系統 GPS L1 +Galileo E1 之動態基線成果，並且自動輸出每一個移動站的成果檔。本節將分別介紹軟體介面之操作及輸出成果檔的內容說明。

§ 8.4.1 軟體介面

程式介面主要分兩大部份，第一部份是輸入觀測資料，第二部份計算參數設定，主視窗如圖 8.3 所示。輸入觀測量部份可讀入的檔案分成參考站和移動站觀測檔以及星曆檔，觀測檔輸入的資料格式為*.o 或*.mat 檔，*.o 檔為原接收儀所得到之 RINEX 檔案格式，而*.mat 檔則是將 RINEX 檔轉換成 Matlab 軟體專有之

binary 格式。星曆檔部份則可輸入廣播星曆*.n 檔以及*.mat 檔，其中*.mat 檔同為本計畫模擬資料之 Matlab 格式之星曆檔。



圖 8.3 GNSS 單頻動態基線解算軟體介面

使用者將欲解算之觀測檔及星曆檔輸入本程式後，介面中便會顯示觀測檔的基本訊息，包括測站近似坐標、天線盤高度等，如圖 8.4 所示。

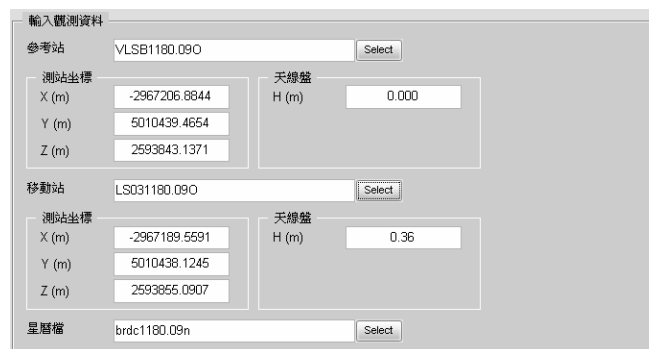
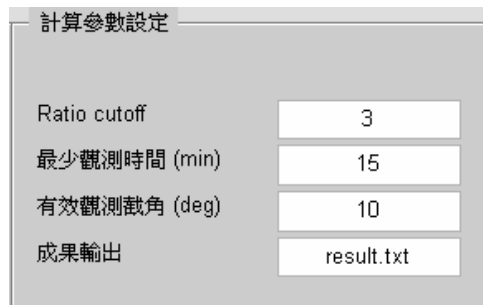


圖 8.4 觀測資料訊息

觀測資料輸入後，第二部份是計算參數的設定，設定的參數包括 Ratio cutoff、最少觀測時間、有效觀測截角、成果輸出檔名等（如圖 8.5）。各個參數設定的欄位本軟體一開始皆會給予預設值，但使用者可自行改變各個參數設定以符合不同的應用需求。對各個參數設定欄位說明如下：

1. **Ratio cutoff:**整數週波值搜尋的標準，即通過此門檻值之週波值才視為正確的週波值。
2. **最少連續時間:**連續接收同一顆衛星的最少觀測時間，若某顆衛星觀測時間少於此參數時，則不予採用。
3. **有效觀測截角:**即衛星觀測截角大於輸入值才選用其觀測量。
4. **成果輸出:**輸入成果輸出的檔名。



參數名稱	設定值
Ratio cutoff	3
最少觀測時間 (min)	15
有效觀測截角 (deg)	10
成果輸出	result.txt

圖 8.5

當計算參數設定完成後，即可點擊圖 8.6 中的基線計算，程式便會開始執行動態基線解算，當等待視窗結束後表示程式解算完成，此時會產生計算成果檔並且繪出移動站的基線分量成果圖，如圖 8.7。



圖 8.6 執行選項

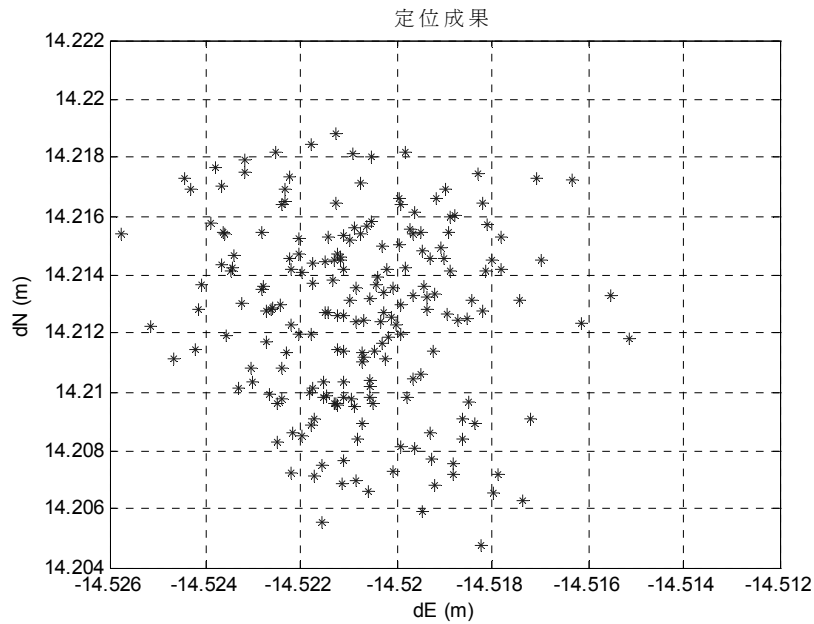


圖 8.7 基線分量定位成果圖

§ 8.4.2 成果檔說明

當程式執行完畢後，根據前面參數設定步驟中所給定的成果輸出檔名，在程式的同一檔案夾中可以找到一*.txt 文字檔。打開後成果檔後，內容主要分成三部分：

1. 觀測資料：將主站及移動站的資訊輸出，包括測站名稱、觀測檔名、接收儀型號、天線盤型號、天線盤高、測站坐標，如圖 8.8。

```

觀測資料
-----
參考站
-----
測站名稱       : ULSB
觀測檔名       : ULSB1180.mat
接收儀型號     : JAVAD ODYSSEY
天線盤型號     : TPSCR3_GGD
天線盤高 (m)  : 0.000
測點坐標      :
                  X(m)      Y(m)      Z(m)
                  -2967206.884  5010439.465  2593843.137
                  Lat(°)     Lon(°)     h(m)
                  24.1533760  120.6342259  121.7878

待測站
-----
測站名稱       : LS03
觀測檔名       : LS031180.mat
接收儀型號     : LEICA SR 530
天線盤型號     : LEICA AT502
天線盤高 (m)  : 0.360
測點坐標      :
                  X(m)      Y(m)      Z(m)
                  -2967189.559  5010438.124  2593855.091
                  Lat(°)     Lon(°)     h(m)
                  24.1535114  120.6340859  117.5709

```

圖 8.8 觀測資料示意

2. **處理參數**：即輸出參數設定值，包括觀測量模式、使用觀測量、有效觀測截角、最少觀測時間、Ratio 門檻值，如圖 8.9。

```

處理參數
=====
觀測量模式       : 二次差分
使用的觀測量     : L1
有效觀測截角(°) : 10.0
週波脫落門檻值(m) : 2.5
最少觀測時間(min) : 15.0
Ratio門檻值      : 5.0

```

圖 8.9 處理參數示意

3. **定位成果**：輸出移動站動態定位的位置解，包含 X、Y、Z、經緯度及高程，並將每一筆解的衛星顆數與 Ratio 值輸出（見圖 8.10）。這裡要注意的是，單頻動態基線啟動解算(initialization)時必須在可視衛星顆數 5 以上時才能得到較可靠的成果。另外 Ratio 值部份則是根據參數設定之 Ratio cutoff 所給予之門檻值，因此可看到的定位成果僅為滿足門檻值的位置解。

定位成果									
估計坐標	X(m)	Y(m)	Z(m)	Lat(°)	Lon(°)	h(m)	衛星顆數	ratio	
-2967190.037	5010439.509	2593854.884	24.1535043	120.6340830	118.796	6	5.14		
-2967190.034	5010439.507	2593854.881	24.1535043	120.6340830	118.791	6	5.45		
-2967190.036	5010439.510	2593854.880	24.1535043	120.6340830	118.795	6	5.87		
-2967190.035	5010439.512	2593854.883	24.1535043	120.6340830	118.797	6	6.14		
-2967190.034	5010439.507	2593854.880	24.1535043	120.6340830	118.790	6	6.47		
-2967190.031	5010439.502	2593854.873	24.1535043	120.6340830	118.783	6	6.93		
-2967190.031	5010439.504	2593854.877	24.1535043	120.6340830	118.786	6	7.14		
-2967190.032	5010439.498	2593854.868	24.1535043	120.6340830	118.778	6	7.94		
-2967190.032	5010439.499	2593854.870	24.1535043	120.6340830	118.780	6	8.68		
-2967190.033	5010439.502	2593854.868	24.1535042	120.6340830	118.781	6	9.45		
-2967190.034	5010439.506	2593854.871	24.1535043	120.6340830	118.786	6	10.10		
-2967190.036	5010439.507	2593854.873	24.1535043	120.6340830	118.789	6	10.71		
-2967190.034	5010439.505	2593854.872	24.1535043	120.6340830	118.786	6	11.55		
-2967190.034	5010439.506	2593854.876	24.1535043	120.6340830	118.789	6	12.26		
-2967190.025	5010439.489	2593854.866	24.1535043	120.6340830	118.767	6	13.07		
-2967190.026	5010439.491	2593854.867	24.1535043	120.6340830	118.769	6	13.98		
-2967190.024	5010439.488	2593854.865	24.1535043	120.6340830	118.765	6	14.78		
-2967190.018	5010439.483	2593854.861	24.1535043	120.6340830	118.757	5	8.88		
-2967190.018	5010439.485	2593854.864	24.1535043	120.6340830	118.760	5	8.40		
-2967190.021	5010439.485	2593854.862	24.1535043	120.6340830	118.760	5	8.26		
-2967190.014	5010439.479	2593854.859	24.1535043	120.6340830	118.751	5	7.92		
-2967190.024	5010439.488	2593854.863	24.1535043	120.6340830	118.764	6	8.22		

圖 8.10 定位成果示意

§ 8.5 實驗與成果分析

藉由所開發之 GNSS 單頻動態基線解算軟體，本節主要以三個實驗組來探討單頻接收儀的解算效益。實驗一使用 GPS 雙頻接收儀實測資料，藉由擷取雙頻資料中的 L1 觀測量來驗證本軟體處理之成效，並且分析大地測量等級接收儀的週波值求解效益。實驗二是處理由內政部國土測繪中心所提供之兩種中、低價位單頻接收儀，並搭配虛擬參考站 (VRS) 觀測資料進行單頻動態定位的可行性

分析。實驗三則是根據實驗二之真實單頻接收儀資料特性來產生 GPS L1 以及 Galileo E1 的模擬觀測量，藉此分析未來 GPS/Galileo 衛星觀測系統採用中低價位單頻接收儀進行 RTK 即時動態定位的解算效益。

§ 8.5.1 實驗方法設計

本節三組實驗的求解效益分析主要利用 Ratio 值作為分辨週波值整數解是否正確的工具，Ratio 值越高代表整數週波值的正確率越高。由於一般 RTK 即時動態測量通常要求在 10 分鐘內找到正確週波值整數解以進行公分級定位，因此本研究以 10 分鐘為標準，評估 0~10 分鐘內的動態定位週波值求解正確率的變化情形，設計驗證的方法如下：

- 一、搜集一整天的觀測資料，並依序切割成 144 個時段的觀測段，使得每一時段觀測的時間為 10 分鐘，並計算出每個觀測段 0~10 分鐘之 Ratio 值變化。
- 二、將所有 144 個觀測段的 Ratio 值成果取平均，可得到一天中 144 筆時段內之 0~10 分鐘之平均 Ratio 值 (AVR_t)，於是可得：

$$AVR_t = \sum_{S=1}^{144} Ratio_{t,S} / 144 \quad (8.15)$$

其中 t 代表由時刻 0 分鐘觀測至時刻 t 分鐘 ($0 \leq t < 10$ 分鐘)，s 表示觀測段的筆數。

§ 8.5.2 實驗一：GPS 雙頻接收儀之實驗成果分析

本實驗是針對傳統大地測量型雙頻 GPS 接收儀所蒐集的資料做處理，並擷取雙頻資料中的 L1 單頻觀測量作為分析的對象。實驗的目的在於測試本計畫開發之單頻動態解算軟體之成效，並分析 L1 單頻觀測量的求解效益。

本實驗蒐集的資料是採用國立成功大學測量及空間資訊學系樓頂的兩個衛星追蹤站。主站代號為 CKSV，移動站代號 CKGM，如圖 8.11 所示。兩站間之基線長約為 6 公尺，資料蒐集時間為 98/01/28 一天 24 小時的觀測量，資料接收之時間間隔為 30 秒鐘。由於站址的透空良好，一天中平均接收到的 GPS 衛星顆數達到了 7 顆。



圖 8.11 CKSV 及 CKGM 追蹤站示意圖

將所蒐集到的實測資料分別以單頻 L1 與雙頻 L1/L2 觀測量方式進行處理，並依照上節所述之方法得到整天平均 Ratio 值，得到之成果如圖 8.12 所示：

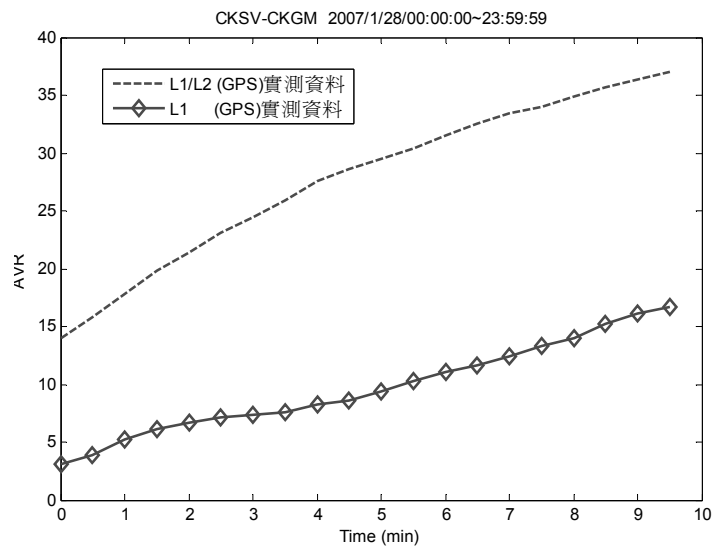


圖 8.12 一天平均 Ratio 值 (AVR 值) 變化圖

由圖 8.12 可以得知，AVR 值（一天平均 Ratio 值）之變化會隨著觀測時間的增加、亦即觀測量自由度的累積而逐漸上昇，這表示週波值的正確率越來越高，在短時間內能得到正確的週波值，以滿足公分等級動態定位的成果。另外可以看到 GPS 雙頻觀測量的 AVR 值明顯地高過單頻觀測量，平均可高於單頻 2 倍以上，同時在很短的時間內(單一時刻或小於 1 分鐘內)即可達到很高的 Ratio 值，顯示傳統雙頻觀測有很高的週波值求解正確率以及很低的系統啟動時間，因此適合用於即時動態測量。相較之下，只使用 GPS L1 觀測量的 AVR 值則無法在短時間內達到 5-10 以上，由於本實驗中所使用之 L1 資料是來自於價位昂貴

的雙頻測量型接收儀，觀測時間在五分鐘後，AVR 值仍可滿足正確週波值的檢驗標準，但在即時動態測量的狀況下，GPS 單頻系統的系統啟動時間過長，使得在實務應用上會有困難，一旦發生週波脫落，單頻系統仍必須花較長時間才能恢復進行公分級定位。

§ 8.5.3 實驗二：GPS 單頻接收儀與虛擬參考站之實驗成果分析

實驗二為本計畫的研究重點，主要目的在於測試真實的中低價位 GPS 單頻接收儀搭配 e-GPS 產生之虛擬參考站 (VRS)，進行動態定位成效分析。實驗使用國土測繪中心所提供之單頻接收儀，並搭配已知相位中心變化改正的天線盤，在已知坐標點位上接收測試資料，收集整天的觀測檔及廣播星曆做為實驗資料。本實驗使用兩種不同等級的單頻衛星接收儀，分別為 ACC TU820 以及 Trimble R3；並且另外設置一個大地測量型雙頻接收儀 Lieca SR 530 做為實驗的比較組。三者接收儀皆以同一個 VRS 虛擬參考站為主站，組成基線進行動態定位效能分析。

■ 實驗儀器介紹

1. 導航型 L1 單頻接收儀

ACC TU820 為亞力通訊研發之較低價位導航型單頻接收儀，相較於傳統測量型雙頻接收儀，價位較低（約為雙頻接收儀價格 1/20），整個 GPS 模組分成兩大部份：L1 單頻接收天線以及接收儀部份（圖 8.13），原始觀測資料內容包含電碼虛擬距離觀測量 C1、載波相位觀測量 L1 及星曆、時間資訊等等，資料之設定存取需藉由外接筆記型電腦搭配亞力通訊開發之 TUSoft 軟體完成設置，實驗設定資料間隔為 5 秒一筆。

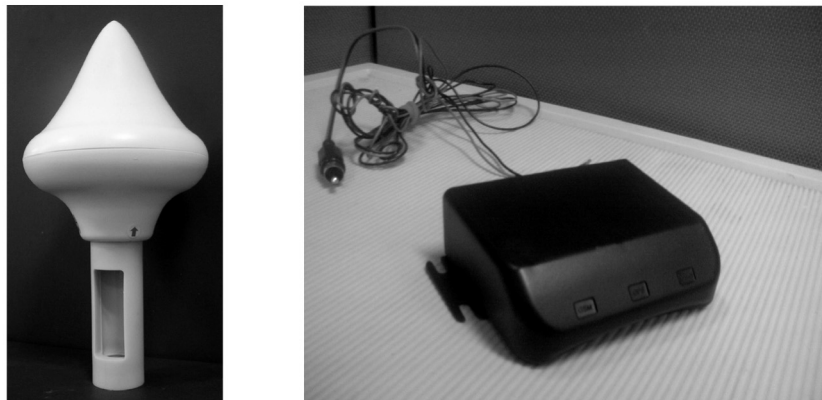


圖 8.13 ACC TU820 示意圖

2. 測量型 L1 單頻接收儀

本實驗中另一所使用的單頻接收儀為Trimble R3，Trimble R3 為一種測量等級之接收儀，其價格較導航型單接收儀略高，但仍比雙頻接收儀低許多。Trimble R3 特點在於接收儀與控制器整合，使用者操作起來較為靈活，整個系統包含一個 GPS手持式接收儀和天線盤（圖8.14），觀測資料內容包含電碼虛擬距離觀測量C1、載波相位觀測量L1及星曆，實驗資料間隔為5秒一筆。



截取自Trimble R3 Datasheet



圖 8.14 TRIMBLE R3 示意圖

3. 測量型雙頻接收儀

本次實驗中為了和單頻接收儀之求解效益做比較分析，因此設置測量型雙頻接收儀作為比較組。雙頻接收儀使用的是Leica SR 530，觀測資料為L1/L2雙頻之電碼及載波觀測量，實驗資料間隔為5秒一筆，Leica SR 530示意圖如圖 8.15。



圖 8.15 Leica SR 530 示意圖

■ 虛擬參考站

虛擬參考站觀測資料之產生是使用國土測繪中心建置完成之 e-GPS 即時動態電子基準站觀測網資料（參考圖 8.16），利用國土測繪中心計算及控制中心之 Trimble Gpsnet 軟體，以 Gpserver 模組及 Gpsnet RTK 模組產生虛擬參考站修正資料檔（副檔名*.vrs）。配合單頻接收儀的實驗觀測日期及時間，後處理產生測試點位之虛擬參考觀測資料。



圖 8.16 國土測繪中心 e-GPS 衛星追蹤站網

■ 實驗場設計

本實驗於內政部國土測繪中心樓頂對空良好的地點設立基線試驗場，分別在鄰近的已知點位架設上述三種接收儀，使觀測資料之空間條件相同做為成果比較的依據，並且蒐集整天 24 小時資料進行處理分析。

實驗中所使用的兩類單頻接收儀 ACC TU820 和 Trimble R3 皆架設於同一移動站 LS02 上，另外雙頻接收儀 Leica SR 530 則架設於移動站 LS07 上，兩測站的距離大約為 23 公尺。另外再參考主站部份，虛擬參考站之產生位置同樣位在內政部國土測繪中心樓頂，點號設為 VLBS0，並與 LS02、LS07 分別構成 21 公尺及 9 公尺的超短基線。觀測點位的位置分佈如圖 8.17 所示，各接收儀觀測之設置如表 8.1。

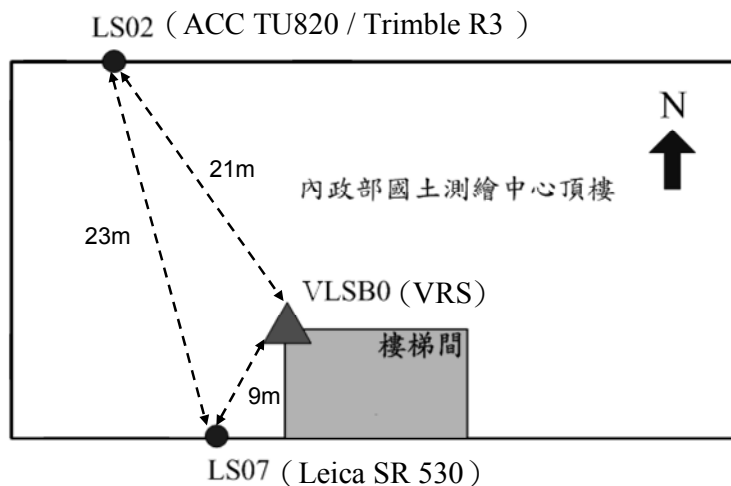


圖 8.17 測試點位分佈示意圖

表 8.2 GPS 接收儀設置說明

接收儀類型	ACC TU820 導航型單頻接收儀	Trimble R3 測量型單頻接收儀	Leica SR 530 測量型雙頻接收儀
基線	VLSB-LS02 (21m)	VLSB-LS02 (21m)	VLSB-LS07 (9m)
觀測時間	2009/05/27 00:00:00~23:59:59	2009/06/15 01:20:25~23:59:59	2009/06/15 01:25:25~23:59:59
觀測量種類	L1、C1	L1、C1	L1、P1、L2、P2
平均可視衛星	7	7	7
售價	低	中	高

將上述單頻與雙頻觀測量依 8.6.1 所述之方法解算後，可得到三種接收儀搭配 VRS 參考主站的整天平均 Ratio 值(AVR 值)成果，如圖 8.18 所示：

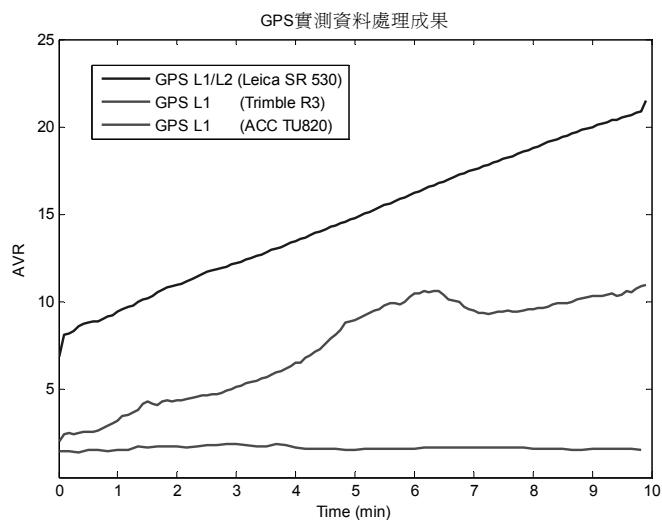


圖 8.18 一天平均 Ratio 值 (AVR 值) 之變化圖

由圖 8.18，比較使用單頻接收儀 Trimble R3 所得到的 AVR 值與使用雙頻接收儀 Leica SR 530 所得到的 AVR 值，可以發現與實驗一的成果（圖 8.12）是類似的：雙頻的接收儀的 AVR 值同樣都會高於單頻接收儀兩倍以上，並且可在很短時間內達到很高的週波值求解正確率。但值得注意的是，本實驗中 Trimble R3 的解算成果，與實驗一的 L1 觀測量成果相比，週波值求解正確率降低了一些。其主要原因在於實驗一的 L1 觀測量是擷取自價格昂貴之測量型雙頻接收儀，而 Trimble R3 為僅能接收 L1 觀測量之中等價位(約為雙頻接收儀價格的 1/5~1/6)單頻接收儀，因此在觀測資料品質上的確會有些差異存在。

然而由成果中也可以看到導航型的單頻接收儀 ACC TU820 的 AVR 值非常的低，在 10 分鐘內對於週波值搜尋正確率並無法像其他單頻或雙頻的觀測資料隨時間提升。針對此情形的發生，我們特地對 ACC TU820 的觀測量做品質檢驗並且與另兩種接收儀比較。觀測量品質檢驗主要是根據美國 UNAVCO 所研發的 TEQC 軟體中的精度偵測指標 o/slps 計算值（葉大綱等，2001），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，檢驗的成果如表 8.3。

表 8.3 觀測量品質檢驗表

接收儀類型	ACC TU820 單頻接收儀 (原廠天線盤)	ACC TU820 單頻接收儀 (Trimble 天線盤)	Trimble R3 單頻接收儀	Leica SR 530 雙頻接收儀
o/slps	155	217	1138	1443

由表 8.3 可以得知，ACC TU820 使用其原廠天線盤在週波脫落偵測值 o/slp 明顯低於其他兩類接收儀將近 10 倍，故其週波值求解正確率無法提高，為改善此問題，嘗試用 ACC TU820 搭配 Trimble 天線盤做測試，結果顯示 o/slp 值仍無明顯改善，因此認為 ACC TU820 導航型單頻接收儀在訊號的接收上很不穩定，這也導致動態定位週波值解算上的困難，因為一旦發生週波脫落，單頻觀測量需要較長的時間來重新搜尋正確的週波值。本實驗證實使用 ACC TU820 導航型儀器在動態定位上是有困難的，若要有較好的解算效率則訊號的接收品質必須要大幅改善。

儘管 ACC TU820 之成果不如預期，但由本實驗的成果仍可知，使用測量型單頻接收儀 Trimble R3 在搭配 VRS 主站的情況下進行動態基線計算的解算效益還是可以滿足動態定位之需求，Ratio 值在 10 分鐘內也可達到 5~10。

§ 8.6 GPS/Galileo 模擬資料效益分析

利用本計畫開發之 GNSS 軟體模擬器，根據實驗二之單頻接收儀 Trimble R3 觀測量特性來產生 GPS 以及 Galileo 的模擬資料，計算一天之 AVR 值，並將模擬資料與之前實驗二之實測資料成果一併比較。最後分析雙系統下使用單頻觀測量之週波值的解算效益，並探討單頻接收儀於未來雙系統下的 RTK 動態定位應用潛力。

由 GNSS 模擬器，我們可以產生 GPS L1 和 Galileo E1 的單頻模擬資料以及 GPS L1/L2 雙頻模擬資料。模擬設定時將 GPS 衛星顆數定為 28 顆，Galileo 衛星顆數為 30 顆，相關誤差設定如表 8.4。

表 8.4 模擬資料誤差設定

誤差	設定
雜訊	L1/E1: Phase=5 mm , Code=1 m L2: Phase=6 mm , Code=1 m
接收儀時錶差	300 m
電離層延遲	Klobuchar Model
對流層延遲	Modified Hopfield Model
多路徑效應	Colored-noise Model
軌道誤差	GPS=±5 m , Galileo=±2 m
系統時間偏差(GGTO)	30ns

根據所產生之模擬資料，可組成三種測試組合，分別是：（1）GPS/Galileo 雙系統單頻：L1/E1；（2）GPS 單系統雙頻：L1/L2（3）GPS 單系統單頻：L1。將上述三種情況與前一節的實測資料成果一併比較後，可以得到圖 8.19 的結果。

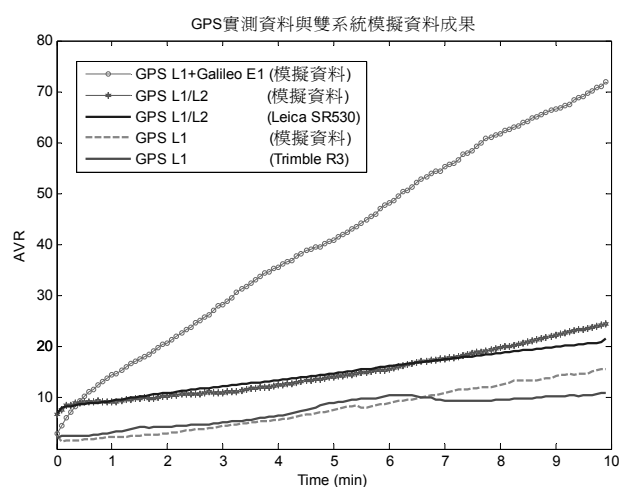


圖 8.19 一天平均 Ratio 值 (AVR 值) 之變化圖

從圖 8.19 可以看到，GPS L1 與 GPS L1/L2 模擬資料的解算成果與 GPS 實測之單、雙頻資料的成果是相當接近的，雙頻的 AVR 值約高於單頻兩倍，且模擬與實測資料的 AVR 值也相當吻合，這顯示了利用模擬器產生之觀測量與實測資料特性非常接近，因此模擬器所產生的模擬資料應具有足夠的代表性及正確性來評估 GPS/Galileo 單頻動態基線解算的效益。

針對不同系統的求解效益分析，我們可以看到，在 1 分鐘以內雙系統單頻觀測與單系統雙頻觀測的 AVR 就可以達到足夠高的值，而就整體而言(10 分鐘以內)，未來 GPS/Galileo 雙系統單頻觀測之整數週波值解算效益會是最高的，其次才是目前的 GPS 雙頻系統，最後則是 GPS 單頻系統。這表示了 GPS/Galileo 雙系統下雖然只使用單頻觀測量，其 AVR 曲線的爬升卻可在短時間內高於目前 GPS 單一系統的雙頻觀測量，最主要的原因在於雙系統在可視衛星顆數上比單系統多出一倍，一天的平均衛星顆數達到 14 顆(單系統為 7 顆)，使得雙系統有較佳的觀測幾何。儘管觀測量僅為單頻，但由於衛星顆數較多，幾何分佈較好，使得雙系統單頻的表現是可以超越單系統雙頻的。不過值得注意的是，雙系統單頻的組合在系統剛開始啟動的時刻（即第一個 epoch），週波值的求解正確率仍是低於雙頻組合，這對於需要單一時刻定位的應用來說可能無法達到雙頻的效果。不過對於一般 RTK 動態定位應用來說，GPS/Galileo 雙系統單頻的組合將可以滿足快速定位的需求。

經由模擬資料解算之成果，我們可以得到定位精度，表 8.5 顯示出使用單頻觀測量 GPS L1 的 3-D RMS 約為兩公分，這表示使用現行之 GPS 單頻接收儀在搭配 e-GPS 系統下，仍可以達到公分等級之定位精度。另外比較單系統與雙系統的差異，可以看到，未來雙系統單頻之定位精度更優於現行的雙頻觀測，由於較佳的衛星幾何分佈，使 U 方向上之定位精度提昇將近百分之四十五。

表 8.5 定位成果精度

	單系統單頻 GPS L1	單系統雙頻 GPS L1/L2	雙系統單頻 GPS L1/Galileo E1
E (±cm)	0.62	0.48	0.38
N (±cm)	0.70	0.54	0.40
U (±cm)	2.00	1.52	1.04
3-D(±cm)	2.21	1.68	1.18

由以上的分析，我們可以推測，在不久的將來(預計自 2013 年起)，當 Galileo 系統正式運行之後，GPS/Galileo 不僅提供使用者更多頻的觀測量來提高定位的

精度，對單頻接收儀使用者而言，只要輸出具有良好品質的單頻觀測資料，即可以取代現行的 GPS 雙頻接收儀，發揮 RTK 即時動態定位的功能。由於單頻接收儀的製造成本低，即使是未來需要增加頻道數目以增加接收 Galileo 衛星，其成本亦所增不多，這是可以預期的。因此，未來配合國土測繪中心推動之 e-GPS 服務，使用者將可使用單頻接收儀作為移動站，以降低 RTK 即時動態定位的硬體成本，並可有效的大幅推廣 e-GPS 服務的工程應用層面。

第九章 辦理科技計畫成果發表會與教育訓練以及提送論文

§ 9.1 辦理科技計畫成果發表會及教育訓練

本計畫並已於 98 年 7 月 15 日於成功大學測量及空間資訊學系系館經緯廳舉辦辦理“內政部國土測繪中心 2009 測繪科技成果發表暨研討會”，本次報名參加人員達 230 人次，其活動說明、議程表詳表 9.1~9.2，當日專題研討盛況如圖 9.1 所示。

表 9.1 測繪科技成果發表暨研討會說明



內政部國土測繪中心 2009 測繪科技成果發表暨研討會

會議目的：
測繪科技日新月異，本次研討會將國內外發展衛星定位技術、空載光達技術、精密重力測量及衛星影像製圖等新的測繪技術與成果作交流與推廣，藉由引進新的測繪科技，提升國土測繪的精度與效率，有助於構建完整三維空間資訊，提供政府部門施政參考及活化發展空間資訊測繪產業前景等目標。

日期：98年7月15日(星期三)
地點：國立成功大學 測量及空間資訊學系 經緯廳

- 指導單位：內政部
- 主辦單位：內政部國土測繪中心
- 執行單位：國立成功大學

《 議 程 表 》

時間	議程	議題	主講人	主持人
08:30-09:20	報 到			
09:20-09:40	開幕及長官貴賓致詞			
09:40-10:20	專題研討	台灣本島與離島高程基準連結	交通大學土木工程學系 黃金維 教授	王簡任 簡察 定平
10:20-10:40	茶敘/交流/成果展示區導覽			
10:40-11:20	專題研討	GPS浮標用於平均海面觀測之 可行性	中正大學地球與環境科學系 鄧顯謙 助理教授	楊系主任 名
11:20-12:00		水深測量暨水下探測技術作業實務	詮華國土測繪有限公司 洪志偉 經理	
12:00-13:30	午餐時間			
13:30-14:10	專題研討	多元衛星影像正射校正技術	中央大學太空遙測中心 陳良健 教授	曾教授 義星
14:10-14:50		空載光達與數位相機結合製作空間 數據之作業實務	亞新國土科技有限公司 徐明錕 總經理	
14:50-15:10	茶敘/交流/成果展示區導覽			
15:10-15:50	專題研討	臺灣地區實施海底大地測量可行性 先期研究	中央研究院地球科學研究所 余水信 研究員	劉副主任 正典
15:50-16:30		GPS現代化以及Galileo星系對於測 量工程的影響	成功大學測量及空間資訊學系 權名 教授	
16:30-17:00	綜合座談			
			林主任 燕山、楊系主任 名	




本研討會免報名費，可申請公務人員終身學習護照時數及技師積分

報名方式：網路報名、傳真報名、現場報名(會議參加名額以200名為限，會議當日如論文集數量不足，恕不另行補發)

聯絡人：郭俐慧、陳敏玉、李嘉玲 小姐

地址：701臺南市大學路1號 國立成功大學 衛星資訊研究中心(成功校區 綜合大樓)

電話：(06)238-3399 轉 210、212、213

傳真：(06)209-9733

電子信箱：gnss2009@sgrc.ncku.edu.tw

網路報名：<http://www.sgrc.ncku.edu.tw/gnss/>

報名日期：2009/06/15 - 2009/07/10

《敬請張貼·歡迎參加》

表 9.2 測繪科技成果發表暨研討會議程表

**內政部國土測繪中心
2009 測繪科技成果發表暨研討會**

日期：98 年 7 月 15 日 (星期三)

地點：國立成功大學測量及空間資訊學系經緯廳

議 程 表

時間	議程	議 題	主 講 人	主 持 人
08:30-09:20	報 到			
09:20-09:40	開幕及長官貴賓致詞			
09:40-10:20	專題 研討	台灣本島與離島高程基準 連結	交通大學土木工程學系 黃金維 教授	王 簡任視察 定平
10:20-10:40	茶敘/交流/成果展示區導覽			
10:40-11:20	專題 研討	GPS 浮標用於平均海水面觀 測之可行性	中正大學地球與環境科 學系 鄭凱謙 助理教授	楊 教授 名
11:20-12:00		水深測量暨水下探測技術 作業實務	詮華國土測繪有限公司 洪志偉 經理	
12:00-13:30	午餐時間			
13:30-14:10	專題 研討	多元衛星影像正射校正技 術	中央大學太空遙測中心 陳良健 教授	曾 教授 義星
14:10-14:50		空載光達與數位相機結合 製作空間數據之作業實務	亞新國土科技有限公司 徐明鎰 總經理	
14:50-15:10	茶敘/交流/成果展示區導覽			
15:10-15:50	專題 研討	臺灣地區實施海底大地測 量可行性先期研究	中央研究院地球科學研 究所 余水倍 研究員	劉 副主任 正倫
15:50-16:30		GPS 現代化以及 Galileo 星 系對於測量工程的影響	成功大學測量及空間 資訊學系 楊名 教授	
16:30-17:00	綜合座談		林 主任 燕山、楊 系主任 名	



圖 9.1 測繪科技成果發表暨研討會專題研討及系統展示現況

此外本計畫已於 98 年 8 月 4-5 日於台南成功大學測量及空間資訊學系電腦教室辦理一次 20 人次的教育訓練，其課程表如表 9.3。

表 9.3 97 年度全球導航衛星系統 (GNSS) 資料聯合處理技術研習班課程配當表

內政部國土測繪中心 98 年度教育訓練
97 年度全球導航衛星系統 (GNSS) 資料聯合處理技術研習班
課程配當表

日期 時間	98 年 8 月 4 日 (星期二)	98 年 8 月 5 日 (星期三)
09:00 ∩ 10:00	/	GNSS 軟體模擬器原理及應用 講師：成功大學江凱偉 助理教授
10:00 ∩ 11:00		GNSS 軟體模擬器操作及實習 講師：成功大學江凱偉 助理教授 助教：蔡孟倫 博士生
11:00 ∩ 12:00		GNSS 靜態基線計算軟體介紹 講師：成功大學楊名 教授
12:00 ∩ 13:00		午 餐
13:00 ∩ 14:00	報 到	GNSS 靜態基線計算軟體操作及實習 講師：成功大學楊名 教授 助教：儲豐宥 博士生
14:00 ∩ 15:00	GNSS 國內外發展現況介紹 講師：成功大學江凱偉 助理教授	GNSS L1 動態計算原理及應用 講師：成功大學楊名 教授
15:00 ∩ 16:00	PPP 定位原理及應用 講師：成功大學江凱偉 助理教授	GNSS L1 動態計算軟體操作及實習 講師：成功大學楊名 教授 助教：儲豐宥 博士生
16:00 ∩ 17:00	PPP 軟體實習操作 講師：成功大學江凱偉 助理教授 助教：彭微之 碩士生	/

§ 9.2 參與國內外學術會議及提送論文

本計畫於本年度執行期間相關成員所參與之學術活動與發表之文章整理及摘要如表 9.4。

表 9.4 參與國內外學術會議及提送期刊論文情況

項次	會議或期刊名稱	論文名稱	作者	備註
1	ION GNSS 2008, 美國喬治亞州 (Savannah, Georgia, USA) 提送: 2008.03.08 接受:2008.04.18 刊登:2008.09.16	The Impact of Compass/Beidou-2 on Future GNSS: A Perspective from Asia	黃毓升、蔡孟 倫	EI 論文 (最佳論文 獎)
2	International Symposium on GPS/GNSS 2008	GPS/Galileo Long Baseline Computation: Method and Performance Analyses	儲豐宥、楊名	
3	Survey Review 提送: 2009.02.07 接受:2009.04.06	The Perspective From Asia Concerning the Impact of Compass/Beidou-2 on Future GNSS	江凱偉、黃毓 升、蔡孟倫、 陳國華	SCI 論文， 已接受 (IF = 0.46)
4	Sensors, 2009, 9(6): 5001-5021. 提送: 2009.02.17 接受:2009.04.10 刊登:2009.04.15	Study of Alternative GPS Network Meteorological Sensors in Taiwan: Case Studies of the Plum Rains and Typhoon Sinlaku	江凱偉、彭微 之、葉燕樺、 陳國華	SCI 論文， 已發表 (IF = 1.870)

The Impact of Compass/Beidou-2 on Future GNSS: A Perspective from Asia

Yu-Sheng Huang & Meng-Lun Tsai

*Department of Geomatics
National Cheng Kung University, Taiwan*

BIOGRAPHY

Yu-Sheng Huang and **Meng-Lun Tsai** are master students at the Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Taiwan. They are interested in the next generation's navigation and positioning technologies such as GNSS modernization, inertial navigation and mobile multi-sensor systems. They are members of Intelligent Multi-Sensor Geomatics System Lab.

ABSTRACT

The next decade promises drastic improvements to global navigation satellite systems. The USA is modernizing GPS, Russia is refreshing GLONASS, Europe is moving ahead with its own Galileo system, and The People's Republic of China is expanding its Beidou-1 system from a regional navigation system to a full constellation global navigation satellite system known as BeiDou-2/Compass, which consists thirty five satellite including geostationary satellites, MEO satellites as well as geosynchronous satellites in the coming year. Extra satellites will make possible improved performance for all applications, and especially where satellite signals can be obscured, such as in urban canyons, under tree canopies or in open-cut mines. The benefits of the expected extra satellites and their signals can be in terms of availability, accuracy, continuity, and reliability issues.

The advent of hybrid GNSS constellation raises a lot of attention to study the compatibility and interoperability. A number of performance analyses have been conducted in a global scale with respect to availability, reliability, accuracy and integrity in different simulated scenarios (such as open sky and urban canyons) for each system individually as well as combined systems with all the possible combinations.

Since the BeiDou-2/Compass has gained more attention from GNSS communities, the main objective of this study is to study the performance of BeiDou-2/Compass comparing to GPS, GLONASS and Galileo in the greater Asia region; and also to explore whether combining BeiDou-2/Compass with each GNSS would yield performance improvements in the same region.

The performance analysis can be analyzed by either the signal or the geometrical conditions. However, the scope of this study is limited to investigate the impact of current and future GNSS based on the geometrical conditions. Therefore, the satellite visibility and DOP values of each system or possible combinations between them are used as the major indices for the performance evaluation with the emphasis on the addition of Compass. In addition, those indices are further analyzed in terms of their spatial and temporal distributions with the emphasis on the greater Asia region. Moreover, the spatial performance analyses are conducted in both global and regional scales to provide more insightful comparisons to illustrate the importance of future Compass for the users in the greater Asia region.

INTRODUCTION

Satellite navigation technology is continuously advancing new possibilities in an increasing number of sectors. Applications that were just a dream few years ago are becoming reality today and the spectrum of potential applications has grown significantly over the last few years. The unprecedented social, economic, technological and environmental benefits to be gained through these applications are becoming very clear.

In fact, the conventional geomatics industry including mapping and surveying applications has been revolutionized with the use of GPS, which is the best known, and currently fully operational satellite based navigation system operated by USA. The components of GPS consist of satellites, ground reference station infrastructure as well as user equipment to determine positions and velocities of specific vehicle in the world.

Almost simultaneously, Russia also operates its own satellite based navigation system called GLONASS. Fuelling growth in the coming decade will be next generation satellite based navigation systems that are currently being developed. The USA has been modernizing GPS in order to retain its superiority in satellite based navigation technologies since 2000[1]. In order to keep up with USA's progress in building next

GPS/Galileo Long Baseline Computation: Method and Performance Analyses

Feng-Yu Chu & Ming Yang

Department of Geomatics
National Cheng Kung University, Tainan

Abstract

This study examines a unified approach to process the mutually compatible GPS and Galileo multi-frequency observables for high-precision long baseline determination. The proposed approach not only has the flexibility to deal with single-system (GPS or Galileo) or dual-system (GPS/Galileo) constellations, but also has the capability to handle dual-frequency and triple-frequency measurements. For verification, we first compare the unified approach with Bernese v5.0 software on three test baselines of lengths between 135 km and 2243 km. Each test baseline is composed of 7-day actual observations collected at continuous GPS tracking stations located in East Asia. The proposed approach and Bernese software have produced highly compatible computational results that have successfully achieved several parts per billion (ppb) long-range relative positioning accuracy. In order to analyze the efficiency and accuracy of future GPS/Galileo long baseline determination, we also apply the unified approach to simulated GPS/Galileo multi-frequency observations and obtain the following conclusions that (1) the fast long baseline ambiguity resolutions with an occupation time between 20 and 30 minutes can become a reality provided that the environmental multipath effect is not too severe, and (2) future positioning accuracy of daily data processing at continuous tracking stations can be further improved by around 46%.

Keywords: Global Positioning System, Galileo, Baseline Computation, Performance Analyses, Ambiguity Resolutions

THE PERSPECTIVE FROM ASIA CONCERNING THE IMPACT OF COMPASS/BEIDOU-2 ON FUTURE GNSS

¹Kai-Wei Chiang, ¹Yu-Sheng Huang, ¹Meng-Lung Tsai and ²Kwo-Hwa Chen

¹Department of Geomatics, National Cheng-Kung University
No. 1, Ta-Hsueh Road, Tainan 70101, Taiwan

²Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University
No. 67, Section 3, Ming-Sheng East Road, Taipei, 10433, Taiwan
Email:khchen@mail.ntpu.edu.tw

ABSTRACT

The next decade promises drastic improvements to global navigation satellite systems. The USA is modernizing GPS, Russia is refreshing GLONASS, Europe is moving ahead with its own Galileo system, and The People's Republic of China is expanding its Beidou-1 system from a regional navigation system to a full constellation global navigation satellite system known as Compass/BeiDou-2, which consists of thirty five satellites including geostationary satellites, MEO satellites, and geosynchronous satellites in the coming year. Extra satellites will improve performance for all applications, and especially where satellite signals can be obscured, such as in urban canyons, under tree canopies, or in open-cut mines. The benefits of the expected extra satellites and their signals are increased availability, accuracy, continuity, and reliability.

The advent of hybrid GNSS constellation has made the study of compatibility and interoperability increasingly important. A number of performance analyses have been conducted on a global scale with respect to availability, reliability, accuracy, and integrity in different simulated scenarios (such as open sky and urban canyons) for each system individually as well as for all possible combinations.

Since the Compass/BeiDou-2 has received increasing attention from GNSS communities, the main objective of this study is to investigate the performance of Compass/BeiDou-2 in comparison with GPS, GLONASS, and Galileo in the greater Asia region; and also to explore whether combining Compass/BeiDou-2 with another GNSS would yield performance improvements in the region.

Performance analysis can be conducted using either signals or geometrical conditions. However, the scope of this study is limited to the impact of current and future GNSS based on geometrical conditions. Therefore, the satellite visibility and DOP values of each system or their possible combinations are used as the major indices for the performance evaluation with an emphasis on the addition of Compass. In addition, those indices are analyzed in terms of their spatial and temporal distributions with an emphasis on the greater Asia region. Moreover, the spatial performance analyses are conducted as both global and regional scales to provide more insightful comparisons to illustrate the importance of Compass for users in the greater Asia region.

INTRODUCTION

Satellite navigation technology has led to new possibilities in an increasing number of sectors. Applications that were just a dream a few years ago are becoming reality today and the spectrum of potential applications has grown significantly over the last few years. The social, economic, technological, and environmental benefits to be gained through these applications are becoming very clear.

The geomatics industry, including mapping and surveying, has been revolutionized by Global Positioning System (GPS), which is the best known fully operational satellite based navigation system operated by the USA at the moment. GPS consists of

Article

Study of Alternative GPS Network Meteorological Sensors in Taiwan: Case Studies of the Plum Rains and Typhoon Sinlaku

Kai-Wei Chiang ¹, Wei-Chih Peng ¹, Yen-Hua Yeh ¹ and Kwo-Hwa Chen ^{2,*}

¹ Department of Geomatics, National Cheng-Kung University / No.1, Ta-Hsueh Road, Tainan 701, Taiwan; E-Mails: kwchiang@mail.ncku.edu.tw (K.W.C.); p6697404@mail.ncku.edu.tw (W.C.P.); yenhua0307@gmail.com (Y.H.Y.)

² Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University / No. 67, Section 3, Ming-Sheng East Road, Taipei 104, Taiwan

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: khchen@mail.ntpu.edu.tw; Tel.: +886-2-2500-9775; Fax: +886-2-2505-3940

Received: 11 June 2009; in revised form: 18 June 2009 / Accepted: 19 June 2009 /

Published: 24 June 2009

Abstract: Plum rains and typhoons are important weather systems in the Taiwan region. They can cause huge economic losses, but they are also considered as important water resources as they strike Taiwan annually and fill the reservoirs around the island. There are many meteorological sensors available for investigating the characteristics of weather and climate systems. Recently, the use of GPS as an alternative meteorological sensor has become popular due to the catastrophic impact of global climate change. GPS provides meteorological parameters mainly from the atmosphere. Precise Point Positioning (PPP) is a proven algorithm that has attracted attention in GPS related studies. This study uses GPS measurements collected at more than fifty reference stations of the e-GPS network in Taiwan. The first data set was collected from June 1st 2008 to June 7th 2008, which corresponds to the middle of the plum rain season in Taiwan. The second data set was collected from September 11th to September 17th 2008 during the landfall of typhoon Sinlaku. The data processing strategy is to process the measurements collected at the reference stations of the e-GPS network using the PPP technique to estimate the zenith tropospheric delay (ZTD) values of the sites; thus, the correlations between the ZTD values and the variation of rainfall during the plum rains and typhoon are analyzed. In addition,

several characteristics of the meteorological events are identified using spatial and temporal analyses of the ZTD values estimated with the GPS network PPP technique.

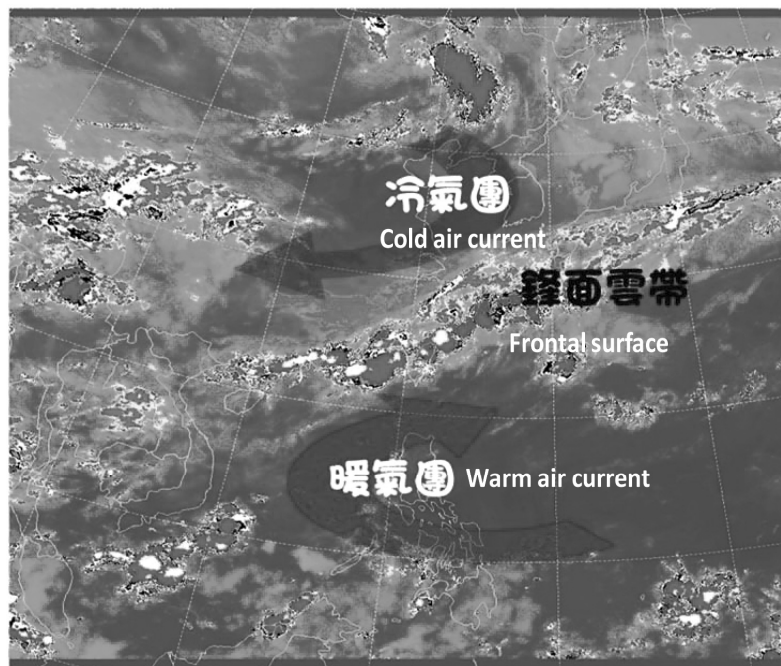
Keywords: precise point positioning (PPP); zenith tropospheric delay (ZTD); meteorological sensor

1. Introduction

Plum rains are the unique weather and climate phenomenon that take place annually from May to June in eastern Asia, including the Taiwan region and coastal China. In addition to typhoons, plum rains can cause a lot of damage in Taiwan every year as they produce a large amount of rainfall over a very short period of time. From spring to summer, the northeastern monsoon and the southwestern monsoon bring cold and warm air currents, respectively. When the air currents merge, they become a frontal surface, as shown in Figure 1.

Because the strengths of the air currents are similar, they often form a stationary front. This front moves slowly from south to north, bringing plentiful rainfall. The rainfall in the southwest of Taiwan is usually much higher than that in the northeast of Taiwan due to the southwestern air current. As the frontal surface gradually moves north, the rainfall in the northern part of this region stops and the rainfall in the southern part remains. Figure 2 shows the average accumulated rainfall from 1992 to 2006 during the plum rain season (May and June).

Figure 1. Sketch map of plum rains. Courtesy of the Central Weather Bureau (CWB), Taiwan.



第十章 工作期間及進度

本案已於 97 年 8 月 29 日，依合約規定辦理於決標次日起 180 天內(98 年 2 月 18 日)前繳交期中報告初稿，並於初稿審查通過發文次日起 14 日內繳交期中報告修正本，於決標日次日起 330 日曆天內(98 年 7 月 18 日)前繳交期末報告初稿。

月份 工作項目	97 年 09 月	97 年 10 月	97 年 11 月	97 年 12 月	98 年 01 月	98 年 02 月	98 年 03 月	98 年 04 月	98 年 05 月	98 年 06 月	98 年 07 月	98 年 08 月
持續蒐集國內外GNSS發展現況												
開發及更新GNSS軟體模擬器												
開發動態精密單點定位 (PPP) 軟體												
動態精密單點定位精度及效益分析												
更新及開發GNSS中長基線網解算軟體												
開發GNSS L1 動態基線解算軟體												
辦理科技計畫成果發表會												
期中報告												
期末報告												

■：預定進度

■：已完成進度

第十一章 結論與建議

根據研究成果分析所得之「結論」如下：

1. 近年來國際間對於 GNSS 的發展狀況相當順利。美國 GPS 系統的現代化持續進行、歐盟在獲得財政支持後也順利發射 Galileo 系統的第二顆實驗衛星、蘇俄 GLONASS 系統的衛星數目也有增加，同時中國的北斗二代衛星也成功發射了實驗衛星。
2. 多系統 GNSS 模擬器可以提供未來不同系統及相關組合之理論性能指標分析，並協助未來多系統觀測量解算模型之開發與測試。
3. 結合 GPS/Galileo 雙系統必須要考慮到兩系統間之衛星時間差異，在雙系統單點定位必須用附加參數吸收系統誤差 GGTO，若進行相對定位則可藉由二次差分消除此項誤差。
4. 在正常仰角遮蔽狀況下 ($\leq 30^\circ$)，使用多頻觀測量的 GPS/Galileo 「短基線」測量單一時刻整數週波值的求解成功率，可以達到 100% 的水平，這對於未來的 Real-Time Kinematic(RTK)即時動態測量具有重大助益。
5. 在「長基線」的狀況下，未來在使用 GPS/Galileo 雙系統三頻接收儀且環境多路徑效應並不嚴重的狀況下，長距離快速靜態(Rapid Static)測量將具有很高的成功率，可顯著提升外業效率。
6. 台灣地區衛星追蹤站每日資料計算，在更新至接收雙系統三頻觀測量後，整體精度也可望獲得提升，未來使用 GPS/Galileo 三頻資料進行追蹤站「長基線」測量，每日解之定位精度可比目前 GPS 雙頻改善約 40% 左右，對地殼變動、坐標系統監控等之科學應用上有者很大的幫助。
7. 97 年度程式開發部分均已順利完成，分別開發了「精密單點定位程式」、「基線網解算程式」、以及「單頻動態基線計算程式」。
8. 97 年度基線網解算程式輸出格式，以及此程式附屬之網形平差功能輸入檔與 TurboNet 基線格式相容，在實務上可彈性使用。
9. 利用精密單點定位(PPP)技術來進行靜態定位時，5 個衛星追蹤站之平面精度及高程精度皆在 5 公分以內，因此公分級需求之靜態定位已經可以利用精密單點定位來達成，在人力及儀器設備的需求皆可降低。
10. 使用 IGS 最終產品(final product)進行動態精密單點定位時，平面方向定位精度可以達到 3~5 公分左右；高程方向定位精度則在 10 公分左右。
11. 未來使用低價位導航型儀器進行動態定位實務上仍有困難，訊號的接收品質必須要大幅改善才能有較好的解算效率。

12. 測量型單頻接收儀在搭配 e-GPS 虛擬參考站的情況下進行動態基線計算的解算效益可滿足將來即時動態定位之需求。
13. 藉由模擬器產生之雙系統 GPS/Galileo 資料分析結果顯示，整體而言，未來 GPS/Galileo 雙系統單頻觀測之整數週波值解算效益會是最高的，其次才是目前的 GPS 雙頻系統，最後則是 GPS 單頻系統。
14. 未來使用 GPS/Galileo 單頻接收儀取代 GPS 雙頻接收儀作為 e-GPS 移動站的可行性非常高，如此將可大幅降低移動站硬體成本，並有效推廣 e-GPS 服務之工程應用層面。

根據本研究分析所得之「建議」如下：

15. 由於 Galileo 系統的順利發展，我國可考慮陸續將定義坐標系統與科學研究用的衛星追蹤站升級至可接收 GPS 以及 Galileo 訊號之接收儀，以提升未來「長基線」測量的精度。
16. 待 GLONASS 系統正式改變成為與 GPS 與 Galileo 相容的碼分多址 CDMA 訊號型態之後，可進一步將定義坐標系統與科學研究用的衛星追蹤站升級至可接收 GPS、Galileo、以及 GLONASS 訊號之 3G 接收儀。
17. 對於基線距離長、且具有高精度需求的大地測量應用而言，應使用至少 3 頻的 GNSS 觀測儀器，以有效提升基線測量精度。
18. 對於重視時間效率的 e-GPS 即時動態定位而言，未來在使用多頻 GPS/Galileo 接收儀的情況下，可以達到單一時刻完成公分級定位的任務(在正常遮蔽狀況)。因此，較昂貴的多頻 GPS/Galileo 接收儀的使用時機將會是著重在有高效率要求之應用層面。
19. 未來使用測量型 GPS/Galileo 單頻接收儀，進行 e-GPS 即時動態定位的解算效益可以超越現今使用 GPS 雙頻接收儀的解算效率，可滿足將來一般的即時動態定位之需求。因此，未來可以使用較便宜的單頻 GPS/Galileo 接收儀作為 e-GPS 移動站，以有效推廣 e-GPS 服務之各類工程應用。
20. 精密單點定位技術日趨成熟，配合未來 GNSS 多系統多頻觀測，值得持續研究分析，以拓展其應用面。

第十二章 期中及期末審查委員意見及修正辦理情形

§ 12.1 期中報告委員意見修正審查情形

審查委員	審查意見	期中修正辦理情形	期末修正辦理情形
吳 究 教 授	(一) 本期中報告目錄宜詳盡，例如章名後，接節名，接小節名等。尚有些文獻來源（出處）未標註明確，如 Courtesy of FAA，Courtesy of JAXA，和少數網站名稱，亦應書寫於文獻章內。P129 圖 6.1 中 QIF、QIF,FM... 下標不明何意？請補充說明。	已依照建議辦理，圖 6.1 已於 P136 卜補充說明。	已依照建議辦理。
	(二) 若有可能的話，演算方法理論敘述，建議儘量集中說明，交代一回即足。此點針對卡爾曼濾波演算理論與最小二乘平差理論。完成這番內容編輯，對撰寫期末報告亦有所助益。	已依審查意見辦理，理論部份以集中於第五章(P54)敘述。	已依審查意見辦理。
洪 教 授 本 善	(一) P2，第 2 段第 5 行，多了一組「具備」，建議刪除。	已刪除	已刪除。
	(二) P53，倒數第 3 行，應訂正為「次佳解單位權方差與最佳解的比值」。	照案辦理(P60)	已依審查意見辦理。
	(三) P89 及 P90，公式 (5.1) $P_{IF}=F'_2/f'_2$ ，是否有誤，請確認。	照案辦理(P96)	已依審查意見辦理。
	(四) P99，第 9 行， $\{Z_0、Z_1、\dots、Z_K\}$ ，建議應更改為下標， $\{Z_0、Z_1、\dots、Z_K\}$ 。	照案辦理(P106)	已依審查意見辦理。
	(五) P106，第 8 行，「時間參數與相關時間」語意模糊，請補充說明。	照案辦理(P113)	已依審查意見辦理。

審查委員	審查意見	期中修正辦理情形	期末修正辦理情形
洪教授 本善	(六) P21, 第 2 段第 1 行, 「availability」是否為「availability」, 請補充說明。	照案辦理(P28)	已依審查意見辦理。
	(七) 單頻 GNSS L1 動態基線解算軟體與 e-GPS 基站結合測試時, 是否考慮加入 e-GPS 站傳送的系統誤差推估值, 進行解算功能。	已於期中報告審查會議時口頭答覆	已於期中報告審查會議時口頭答覆
朱簡任 技正 金水	(一) P7 中短、長基線靜態基線解算軟體中, 短、長基線距離定義為何? 請補充說明。	已於 1.2 節(P11)中加以說明, 長基線有加入電碼輔助, 短基線則沒有。	已依審查意見辦理。
	(二) 部分用詞建議統一如 P108 「接收機」、「接收儀」建請統一用語(接收儀)。	照案辦理(P115)	已依審查意見辦理。
	(三) P108 第 9 行, 使用高精度的石英鐘, 其穩定度為「I」, 是否有誤, 請補充說明。	照案辦理(P115)	已依審查意見修正。
陳博士 宏宇	(一) P31 倒數第 4 行, 「未來 COMPASS 將提供 5 種免費 open service 與 5 種 authorized service」, 可否詳列那些服務?	將收集資料於期末報告中詳細列出。	目前尚未有關於 COMPASS 將提供 5 種免費 open service 與 5 種 authorized service 之具體說明。
	(二) P57 第 4 章倒數第 10 行的預計及完成的項目敘述中, 反而完成的項目比預計來得少? 請補充說明。	照案辦理(P64)	照案辦理。
	(三) P74 臺灣地圖稍嫌簡化, 為使顯圖的真實性應將比例尺及圖幅調好或增加解析度(圖 4.21-4.24 及圖 4.29-4.31 亦同)。	將於期末報告前完成改進	受限於 Matlab 提供之圖資解析度, 目前無法特別針對台灣地區以高解析度圖資取代。
	(四) P118、P119 可否將成果比照表 5.1 改成 Lat(cm)、Long(cm) 及 Height(cm)? 以利閱讀。	照案辦理(P127)	照案辦理。

審查委員	審查意見	期中修正辦理情形	期末修正辦理情形
劉副研究員啟清	(一) 在第 1 章回顧中，尤其 P4 第 2 年回顧，出現了幾次「目前」、「今年」、「未來」等字眼，這在回顧中讀起來會有困惑，請修正。	照案辦理(P11)	照案辦理。
	(二) P20 圖 2.6 沒有單位，且看起來不只有 L2C 的訊號。請補充說明。	已修改並完成補充說明於此小節(P27)。	已依審查意見修正。
	(三) P21 有幾個名詞的翻譯值得再思考？如 Accuracy（精確度）、Availability(可用性)、Validity(有效性)、Integrity（完整性）。	照案辦理(P28)	已依審查意見修正。
	(四) P22 圖 2.8 及 2.9 建議多加一些說明。	照案辦理(P29)	已依審查意見修正。
	(五) P48 公式 3.1、3.3 與 3.2、3.4 可去掉 K 與 L 的差異，在 GPS 不加 τ ，在 Galileo 加 τ ，可減少 f^2 、 I^K 的困擾，在此僅有時鐘系統的差的問題嗎？沒有坐標系統差的問題嗎？	已改善，坐標系統問題已補充於 3.1 節(P54)	已依審查意見修正。
	(六) P54「Success rate」可直接翻譯成「成功率」。	照案辦理(P61)	已依審查意見修正。
	(七) P80、P81 垂直軸標示不正確，又為何 GDOP > 10？	將於期末報告改善此問題	已依審查意見修正。
	(八) PPP 之收斂時間為何大於 3 小時？	已於期中報告審查會議時口頭答覆	已於期中報告審查會議時口頭答覆，本問題已大幅改善。
	(九) P154 甘梯圖之期中報告時間預定是否太後面？	照案辦理(P161)	已依審查意見修正。

審查委員	審查意見	期中修正辦理情形	期末修正辦理情形
王 科 長 成 機	(一) 在實際模擬分析，只分析 GPS 與 Galileo 二系統，可否增加，請團隊考量。	已於期中報告審查會議時口頭答覆	已於期中報告審查會議時口頭答覆。
	(二) 模擬觀測誤差量，僅模擬二系統間之時間基準 (GGTO) 不同，二系統間之坐標系統不同為何未考量？請補充說明。	已補充於 3.1 節(P54)	已依審查意見修正。
	(三) 本案目前實驗之基線長度僅 6M，可否考量基線長度達 10KM、20KM 等之實驗分析。	已於期中報告審查會議時口頭答覆	已於期中報告審查會議時口頭答覆。
	(四) 利用 L1 之動態基準或中長距離基線網軟體，系統誤差之處理策略，是否考慮時間基準及坐標系統不同之處理？	已於表 7.1(P154) 以及補充於 3.1 節(P54)	已依審查意見修正。
	(五) 在簡報檔第 56 頁中，為何第 7 分鐘後導航型接收儀之結果會優於測量型接收儀？請補充說明。	已於期中報告審查會議時口頭答覆	已於期中報告審查會議時口頭答覆。
劉 副 主 任 正 倫	(一) 報告缺圖目錄及表目錄，請補充修正。	照案辦理(P5~P8)	已依審查意見修正。
	(二) 目錄僅章名，過於簡略請參照內文章節補充說明。	照案辦理(P2~4)	已依審查意見修正。
	(三) 期中報告應有初步結論及後續應辦事項。	已加入第九章結論與建議(P162)	已依審查意見修正。
	(四) 第 8 章工作進度請略請文字說明。	照案辦理(P161)	已依審查意見修正。
業 務 單 位	(一) 有關成果發表會辦理議程及地點請成大儘速規劃，並正式發函通知本中心。	已於期中會議時回答，照案儘速辦理	已照案辦理。
	(二) 報告中部分年度建議用明確時間點，以利閱讀，如 P15:自「今年」起，國際 GPS 服務組織...、P92:「上個世紀」40 年代、「上個世紀」60 年代。	照案辦理(P22、P36、P99)	已依審查意見修正。

審查委員	審查意見	期中修正辦理情形	期末修正辦理情形
業務單位	(三) 報告中 P88 文內「IGS 永久追蹤站」、「永久 GPS 跟蹤站」等用詞，請統一。	照案辦理(P95)	已依審查意見辦理。
	(四) 報告第三章名稱目錄與內文明稱不一致，請修正	照案辦理(P4、P54)	已依審查意見辦理。
	(五) P91：「一為時不變參數」，是否文字錯誤，請更正。	照案辦理(P98)	已依審查意見辦理。
	(六) P.6 MHM 為何?	照案辦理(P13)	已依審查意見辦理。
	(七) P.10 表格後兩欄不見了	照案辦理(P17)	已依審查意見辦理。
	(八) 表.1.9 為何 Ratio 越高成功率越低	此表格代表快速靜態高過門檻之百分比，並非成功率(P18)	已說明。
	(九) P.29 倒數第三行多'2008'	照案辦理(P36)	已依審查意見辦理。
	(十) 圖 2.37 有誤請修正	照案辦理(P50)	已依審查意見辦理。
	(十一) 表 2.4 中 Eccentricity 有誤	照案辦理(P52)	已依審查意見辦理。
	(十二) P.49 公式 3.6 要用斜體分辨	照案辦理(P56)	已依審查意見辦理。
	(十三) 圖 4.5 縱坐標有誤	照案辦理(P69)	已依審查意見辦理。
	(十四) 圖 4.25 4.26 4.27 4.28 4.32 4.33 縱坐標的 label 有誤	照案辦理(P83、P84、P87)	已依審查意見辦理。
	(十五) P.87 的 Zumberg 應改成 Zumberge	照案辦理(P94)	已依審查意見辦理。
	(十六) P.89 公式 5.1 5.3 有誤 以及 B_{IF} 下標有誤以及 P90 公式 4.1 應為 5.1	照案辦理(P96、97)	已依審查意見辦理。

§12.2 期末報告委員意見修正審查情形

審查委員	審查意見	修正辦理情形
劉副研究員啟清	(一) 本計畫之執行成果顯著，報告之撰寫結構性相當良好，資料回顧也很齊全。	謝謝委員肯定。
	(二) 本計畫所發展的程式主要是適用 Matlab，本來是可以無關平台的程式，但是實際使用時，仍與平台有關，若有機會在修改時，要避免與系統有關的指令，如此才能達到真正的「與平台無關」的軟體。	已於現場口頭回覆。
	(三) PPP 達到收斂的時間仍相當長，是否在報告中提及它的可使用場合，如海測或需要高精度航海特殊場合。	已於現場口頭回覆，增列內容請見 P.208
	(四) 『單頻在 eGPS 相當有效，未來可達到現在的精度需求』，這樣的結論一再加些平衡報導，以避免與現在全球 GNSS 現代化往多頻發展的趨勢，好像走向相反。	已依照建議修訂。
	(五) 在基線計算中，「獨立基線」與「全組合」差異為何？實務資料處理意義何在，請補充說明。	已於現場口頭回覆。
吳究教授	(一) 如何能讓本案確實落實於委託單位或執業人員，產生「草根」效果，延伸觸及更基層地政事務所同仁，為首要考量。真正技術轉移仍是耗時。	已於現場口頭回覆。
	(二) 報告的格式宜強化：所有的圖（或表）中說明採單一語文，即中文；但專業素養詞語，宜併列中文與英文。文字的字型和大小，亦應儘量統一，尤其不能折損可讀性。	已依照建議修訂。
	(三) 計畫（委託案）的成品，其維護和升級（或礙於可支配預算）似乎任其自生自滅，有沒有思考過如何永續經營？	已於現場口頭回覆。

審查委員	審查意見	修正辦理情形
陳宏宇博士	(一) 在第六章精密定位之精度分析中，其中使用 Final product 的解算成果和衛星數 (PDOP) 高相關，但於 Rapid product、ultra-rapid product 及 predicted 卻逐漸減少，何故？	已依照建議修訂，請見 P.207
	(二) 建議於第六章後整理成一小結論，分析其成果 (P157-208 僅有圖表)。	已依照建議修訂，請見 P.207
	(三) 參考文獻的格式應統一，如 5、7、8、11、26、34、39 等。	已依照建議修訂。
	(四) P159，圖 6.2 請用彩色或改其他圖例，以利閱讀。	已依照建議修訂，最終本本頁將以彩色列印。
	(五) P200，第一行誤植為圖 46 請更正。	已依照建議修訂。
	(六) P112-115 建議更改圖例 (G25 不見)，以利閱讀。	已依照建議修訂。
	(七) 此計畫完成後可公開相關工具程式給其他使用者，尤其是在計算及模擬能力。	已於現場口頭回覆。
	(八) 表 6.4 的 O/S slip 的指標和 PPP 靜態定位成果並無顯著相關，如 CISH 及 KASH 其 RMS 相當，但 O/S slip 卻很大，請補充說明。	已依照建議修訂，請見 P174~175。
朱簡任技正金水	(一) 感謝成功大學團隊對於本案的努力，成果顯著，對於 3 年期的研究成果對於本中心未來業務如何應用，請與業務單位聯絡後多加以著墨。	已於現場口頭回覆。
	(二) 有關文字修正部分，除如座標請統一更正為「坐標」，分佈請更正為「分布」，本中心設置之 GPS 連續站用語為「電子基準站」，餘包含 P9、P31、P52、P86、P138、P158、P159、P176、P210、P254、P257 等。	已依照建議修訂。

審查委員	審查意見	修正辦理情形
劉副主任正倫	(一) 報告內章節名稱內容，應包含本計畫執行之工作項目，請補充修正。	已依照建議修訂。
	(二) 第六章 PPP 部分，欠缺「效益分析」，請補充。	已依照建議修訂。
	(三) 第八章單頻動態基線解算軟體內容有無定位成果精度分析，請補充。	已依照建議修訂。
	(四) 結論與建議部分，請就本計畫所得具體成果及重要結論先敘述，再提出未來建議事項。	已依照建議修訂。
	(五) 委員期中、期末意見及回復處理情形，請納入修正版期末報告。	已依照建議修訂。
業務單位	(一) 本研究報告請增加中、英文摘要及關鍵字，以利閱讀。	已依照建議修訂。
	(二) P112-115 (圖 4.55-4.60)，使用不同模式電離層延遲差異甚大，由 10-15m (Klobuchar) 改變為 2-3m (IGS 球諧或台灣球諧)，所代表意義為何？請補充說明。	已依照建議修訂，見 P114。
	(三) 6.2 及 6.3 節 (P161-P175、P178-183) 有關 dE、dN、dU 的 Y 軸比例尺建議加大，例如上下限更改為 5cm，0.1m 及 1m 似乎太大。	已依照建議修訂。
	(四) P224，圖 7.7、6.8 及圖 7.9、6.10 請修正。另程式明顯列出短基線、長基線模式，是否應加以定義、適用範圍及模式差異等等，請補充。	已依照建議修訂，並補充於 7.4 節。(P222)
	(五) 建議於最終光碟資料中，將本研究相關程式原始碼及手冊一併納入。	照案辦理。
	(六) 本案發表論文成果請加入提送、接受及刊出日期。	已依照建議修訂。

參考文獻

1. 李顯宏，2005，Matlab 介面開發與編譯技巧，台北市，文魁資訊。
2. 吳錫賢，1996，利用雙重天線與單頻資料進行即時性 On-the-Fly GPS 定位研究，國立成功大學測量工程研究所碩士論文，台南。
3. 邱士銘，2008。使用 GPS 浮標整合台灣西南沿海垂直參考基準。國立中正大學應用地球物理研究所碩士論文，嘉義。
4. 楊名、江凱偉，2007，全球導航衛星系統 (GNSS) 資料聯合處理技術，內政部土地測量局委託計畫期末報告確定本，國立成功大學衛星資訊研究中心，台南，175 頁。
5. 楊名、江凱偉，2008，全球導航衛星系統 (GNSS) 資料聯合處理技術 (96 年度)，內政部土地測量局委託計畫期末報告修正本，國立成功大學衛星資訊研究中心，台南，176 頁。
6. 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，14 頁。
7. Baarda, W., 1968, A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks, Proc. Neth. Geod. Comm., Delft, vol. 2.
8. Bar-Sever, Y.E. and Dow, J., 2002, Position Paper for the Real Time Applications and Products Session. IGS Towards Real-Time Network, Data, Analysis Center 2002 Workshop, Ottawa, Canada.
9. Black, H.D. and Eisner, A., 1984, Correcting Satellite Doppler Data for Tropospheric Effects. Journal of Geophysical Research, Vol. 89, No. D2, 2616-2626.
10. Bossche, M., Bourga, C. and Lobert, B., 2004, GPS Galileo Time Offset: How it Affects Positioning Accuracy and How to Cope with It, Proceedings of ION GNSS-04, 21-24 September, Long Beach, CA, pp. 654-659.
11. Butler, G., Bock, H., Dach, R., Fridez, P., Gäde, A., Hugentobler, U., Jäggi, A., Meindl, M., Mervart, L., Prange, L., Schaer, S., Springer, T., Urschl, C., and Walser, P., 2007, Bernese GPS Software Version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland.
12. Chiang, K.W., Noureldin, A., and El-Sheimy, N., 2008, Developing a Low Cost MEMS IMU/GPS Integration Scheme Using Constructive Neural Networks, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol.44, No.2, pages 582-594.

13. de Jonge, P.J. and Tiberius, C.C.J.M., 1996, The LAMBDA Method for Integer Ambiguity Estimation: Implementation Aspects, Delft Geodetic Computing Centre LGR Series, No. 12, Delft University of Technology, The Netherlands.
14. ESA 網站, <http://www.esa.int>
15. European Commission, 2003, The Galilei project: GALILEO Design Consolidation, Online available at: http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport
16. FAA website at: <http://www.faa.gov/>
17. Federal Space Agency for the Russian Federation, 2005, GLONASS: Status and Perspectives, Munich Satellite Navigation Summit 2005, Munich, 9 March.
18. Feng, Y., 2008, GNSS three carrier ambiguity resolution using ionosphere-reduced virtual signals Journal of Geodesy (Online first).
19. Gao, Y. and Shen, X., 2001, Improving Ambiguity Convergence in Carrier Phase-Based Precise Point Positioning, Proceedings of ION GPS-2001, Salt Lake City, UT, September 11-14.
20. Gelb, A., 1974, Applied Optimal Estimation, Massachusetts, The M.I.T. Press.
21. Goad, C.C. and Yang, M., 1997, A new approach to precision airborne GPS positioning for photogrammetry, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 63(9): 1067-1077.
22. Han, S. and Rizos, C., 1999, The Impact of Two Additional Civilian GPS Frequencies on Ambiguity Resolution Strategies, Proc. 55th National Meeting U.S. Institute of Navigation, Navigational Technology for the 21st Century, Cambridge, MA, pp. 315-321.
23. Harrington, P., 2008, GPS Program Update, presented at ICG Expert Meeting on GNSS , 15 July 2008 Montreal, Canada
24. Hein, G.W., 2000, From GPS and GLONASS via EGNOS to Galileo – positioning and navigation in the third millennium, GPS Solutions, 3(4): 39-47.
25. Hein, G.W., Godet, J.I., Jean-Luc M., Jean-Christophe E., Philippe L., Rafael, and Pratt, T., 2002, Status of Galileo frequency & signal design, Proceedings of the US Institute of Navigation (ION) GPS'2002 meeting, September 24-27, Portland, Oregon (CD).
26. Hopfield, H.S., 1972, Tropospheric range error parameters-further studies, Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, Baltimore, MD.

27. Huang, Y.S., Chiang, K.W., and Yang, M., 2007, Performance Analysis of GPS Augmentation Using Future Taiwanese SBAS, Proc. ION GNSS 2007, pp. 960-965.
28. Huang Y.S., Tsai, M.L., 2008, The Impact of Compass/Beidou-2 on Future GNSS: A Perspective from Asia, ION GNSS 2008 Meeting, September 16-19, Savannah, Georgia, USA 2008.
29. JAXA website at: http://www.jaxa.jp/index_e.html
30. Kaplan, E., and Hegarty, C., 2005, Understanding GPS: Principles and Applications, 2nd Edition, Artech House, Boston, MA.
31. Koch, K.R., 1999, Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models, 2nd edition, Springer-Verlag, Germany.
32. Kouba, J and Héroux, P., 2000, Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products, GPS Solutions, Vol. 5, No. 2, pp. 12-28.
33. Lachapelle, G., 2002, NAVSTAR GPS: Theory and Applications, ENGO625 Lecture Notes, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada.
34. Leick, A., 1995, GPS Satellite Surveying, second edition, John Wiley & Sons, INC, New York, USA.
35. Maybeck, P.S., 1979, Stochastic Models, Estimation, and Control (Vol. 141). Academic Press Inc., New York.
36. McDonald, K.D., 2001, A Future GNSS Concern on the Modernization of GPS and the Evolution of Galileo. ION GPS 2001, 11-14 September 2001, Salt Lake City, UT.
37. McDonald, K.D., 2002, The Modernization of GPS: Plans, New Capabilities and the Future Relationship to Galileo, Journal of Global Position System, Vol. 1, No. 1, pp. 1-17.
38. Merino, M.M.R., Samper, M.D.L., Alarcon, A.J.G., and Quijada, A.G., 2007, Autonomous Low Cost Regional Navigation Satellite Systems Based on Geosynchronous Eccentric and Inclined Orbits, Proc. ION GNSS 2007, Fort Worth, TX.
39. Miller, J., 2004, GPS & Galileo: Evolution towards GNSS, Presented at ION NTM-04, 26-28 January, San Diego, CA, pp. 73-91.

40. Miller, J., 2007, Global Positioning System Policy and Program Update, Proc. ION GNSS 2007, Fort Worth Convention Center, Fort Worth, TX.
41. Misra, P. and Enge, P., 2001, Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance, Ganga-Jamuna Press, MA.
42. Parkinson, B.W. and Spilker, Jr. J., 1996, Global Positioning System: Theory and Applications Vol. I, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, D.C.
43. Rothacher, M., Springer, T.A., Schaer, S., and Beutler, G., 1997, Strategies for Regional GPS Networks, Proc. IAG General Assembly, Rio de Janeiro, Brazil.
44. RSA 網站, <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>
45. Saastamoinen, J., 1972, Atmospheric Correction for the Troposphere and Stratosphere in Radio Ranging of Satellites. Geophysics Monograph. Series, American Geophysical Union, Washington, D.C., Vol. 15.
46. Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, 2nd ed., Walter de Gruyter, Berlin, New York.
47. Shen, X. and Gao, Y., 2002, Kinematics Processing Analysis of Carrier Phase-based Precise Point Positioning, Proceedings of FIG XXII International Congress, Washington, D.C., April 19-26 2002.
48. Singh, S. and Saraswati, S.K., 2006, India Heads for a Regional Navigational Satellite System, *Coordinates*, 2(11): 6-8.
49. Teunissen, P.J.G., 1995, The least-square ambiguity decorrelation adjustment: A method for fast GPS integer ambiguity estimation, *Journal of Geodesy*, 70(1-2): 65-82.
50. Teunissen, P.J.G., 1998, On the integer normal distribution of the GPS ambiguities, *Artificial Satellites*, 33(2): 49-64.
51. Teunissen, P.J.G., Jonkman, N.F., Joosten, P., and Tiberius, C.C.J.M., 2000, Long Baseline 3 Frequency Differential GNSS, Proc. Position Location and Navigation Symposium, IEEE 2000, San Diego, CA, USA, pp. 7-14.
52. Teunissen, P.J.G., and Odijk, D., 2003, Rank-defect integer estimation and phase-only modernized GPS ambiguity resolution, *Journal of Geodesy*, 76(9): 523-535.
53. Xu, G.C., 2003, GPS-Theory Algorithms and Applications, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

54. Zinoviev, A.E., 2005, Using GLONASS in Combined GNSS Receivers: Current Status. ION GNSS 18th International Technical Meeting of the Satellite Division, 13-16 September 2005, Long Beach, CA.
55. Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M. and Webb, F.H., 1997, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, 5005-5017.