

# 研發廣域差分定位系統作業

## 工作總報告書(修正本)

計畫主持人：楊名 教授

共同主持人：莊智清 教授

詹劭勳 助理教授

何慶雄 副教授

江凱偉 助理教授

委託單位：內政部國土測繪中心

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

中華民國 99 年 12 月 23 日



## 摘要

全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 是美國從 1970 年代開始研製，具有在海、陸、空進行全方位即時三維導航與定位能力的衛星系統。臺灣在經過 10 餘年來的使用，證明 GPS 具有性能好、全天候、精度高、自動化、高效益、應用廣等顯著特點，是迄今功能表現最好的衛星定位系統。而隨著全球定位系統的不斷改進，軟硬體的不斷完善，其應用領域正在不斷地開拓，並廣泛地應用於大地測量、工程測量、航空攝影測量、運載工具導航和管制、地殼運動監測、工程變形監測、資源勘察、地球動力學等多種學科。目前 GPS 已遍及國民經濟各種部門，並開始逐步深入人們的日常生活。

本案主要係以內政部國土測繪中心 e-GPS 即時動態定位系統及衛星差分修正無線標桿站(Radio Beacon, RDB)電臺廣播系統，研發廣域衛星差分定位主控站系統平臺為定位服務與技術發展之基礎架構，並結合各衛星基準站連續衛星觀測資料，透過定位誤差演算法則，建立適用於臺灣地區廣域差分定位系統。此外，本案亦研發使用者端多頻段差分修正訊號接收模組以及內建全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)衛星定位接收模組之整合式定位系統操作平臺，以透過多頻段廣播方式，即時將差分修正訊息傳送給使用者以提升定位精度。

研發成果顯示，透過本案之整合式定位系統操作平臺，使用者可從圖形化介面清楚了解參考站分布、衛星軌跡、參考站之定位效能及主站之狀態，同時也可以監控各個參考站的連線情況。並經由 Stanford Chart 之分析，了解此系統在精確性、完整性、連續性與可用性之效能。此外，本案之分析結果亦顯示，本廣域差分定位系統未來可提供陸運、海運、甚至空運使用者之廣域差分修正資訊，並藉此讓使用者使用全球衛星導航系統進行定位導航服務時，可以得到一個精確並具有安全性的服務成果。

在整合式定位系統操作平臺定位演算方面，本團隊研發之 C++ 程式經過整體定位演算流程之穩定性驗證，可成功配合 Trimble BD970 接收模組決定使用者之導航位置。演算程式可搭配主控站傳送之廣域差分定位修正訊息或無線標桿站傳送之差分定位修正訊息進行差分定位演算。在定位精度比

較方面，使用本團隊研發之廣域差分系統所產生的修正訊息，雖其水平誤差均方根1.6公尺較差分定位時的1.2公尺大，定位精度略微不及差分定位，但是可保障大部分定位解都能在容許之定位誤差內，而且更重要的是，對於在容許定位誤差範圍外的定位解，廣域差分定位系統會告知使用者此刻不在容許定位誤差範圍內，讓使用者得知此時的定位解是不能使用的，以達到保護使用者安全之目的。

關鍵字：全球導航衛星系統、廣域差分定位、差分定位、完整性



## **Abstract**

Global Positioning System (GPS) has been developed and maintained by the United States of America since 1970. It is able to provide real time navigation and positioning capabilities for users from airborne, marine and land vehicular platforms, respectively. GPS has been widely applied in Taiwan for past decades and it has been proven to be able to provide navigation solutions regardless of the weather condition with sufficient accuracy and efficiency for various applications. It is well recognized as one of the best Global Navigation Satellite Systems (GNSS) among those counterparts from Russia, Europe union, and China, respectively. The advance of GPS infrastructure as well as related hardware and software technologies extends the spectrum of its applications. In fact, it has been widely applied in geodetic surveying, engineering surveying, aerial photogrammetry, navigation, crust movement monitoring, deformation surveying, resources investigation and geodynamics. GPS has developed tightly coupled relationships to numerous economical activities and daily life.

This research aims at developing the infrastructures and algorithms for Wide Area Differential GNSS (WADGNSS) test bed using continuous satellite measurements provide by the electronic-global satellite real-time kinematic positioning system (e-GPS) and the differential corrections broadcasted by the radio beacon managed by the National Land Survey and Mapping Center (NLSC), Ministry of the Interior, Executive Yuan of ROC (Taiwan). The ultimate objective is to develop the WADGNSS service for Taiwan region. In addition, this research also develops a personal navigation module that can receive differential corrections through multi-channel broadcast provided by the WADGNSS test bed to perform real time positioning with improved accuracy.

The preliminary results concerning the development of WADGNSS test bed presented in this study indicate that users can access the distribution of reference stations, satellite tracks, the positioning accuracy at reference stations, and the status of those stations and connectivity between them through the graphical

interface designed in this study. In addition, the Stanford Chart analysis given in this study can provide detailed information about the accuracy, integrity, continuity and availability provided by the proposed system. Based on the analysis presented in this study, the proposed system can provide real time differential GNSS corrections for avionic, marine and land based platforms with sufficient accuracy and safety in the future.

The preliminary results concerning the development of the prototype of integrated personal navigation device with in-house developed navigation algorithms using C++ languages illustrate the horizontal positioning accuracy with WADGNSS test bed can reach 1.6 meters. Although it is slightly worse than the accuracy of DGNSS , which is 1.4 meters, it can alarm the users not to use the system when the positioning accuracy doesn't meet the requirements to protect users. This is the fundamental but critical difference between WADGNSS and conventional DGPS service.

Keywords : Global Navigation Satellite System 、 Wide area differential correction 、 differential positioning 、 integrity

# 目錄

第一章 前言 .....	1
§ 1-1 計畫概述 .....	1
§ 1-2 計畫目標 .....	3
第二章 廣域差分定位系統 .....	5
§ 2-1 廣域差分定位系統概論 .....	5
§ 2-1-1 全球衛星導航之誤差來源 .....	8
§ 2-1-2 導航性能需求 .....	10
§ 2-2 應用現況及國內外系統之相關回顧 .....	14
第三章 廣域差分定位系統原理、方法與技術標準 .....	18
§ 3-1 廣域差分定位系統數據處理原理 .....	18
§ 3-1-1 衛星觀測量之彙整與同步程序(即時處理) .....	19
§ 3-2 廣域差分定位系統方法與技術標準 .....	25
§ 3-2-1 參考站處理程序與衛星共視時間傳遞 .....	25
§ 3-2-1-1 參考站處理程序 .....	25
§ 3-2-1-1-1 雙頻載波平滑演算法 .....	27
§ 3-2-1-2 衛星共視時間傳遞 .....	28
§ 3-2-2 研發廣域衛星差分定位系統之衛星星曆與時錶誤差演算法 .....	30
§ 3-2-2-1 星曆軌道誤差之估算 .....	31
§ 3-2-2-2 衛星時鐘誤差之估算 .....	33
§ 3-2-2-3 離群值的偵測與隔離 .....	34
§ 3-2-2-4 產生使用者殘餘誤差的信心範圍 .....	35
§ 3-2-3 研發廣域衛星差分定位系統之電離層格點誤差演算法 .....	38
§ 3-2-3-1 電離層薄球殼模型 .....	39
§ 3-2-3-2 廣域差分定位系統電離層格點模組 .....	40
§ 3-2-3-3 估算電離層格點修正量與信心範圍 .....	42
§ 3-2-3-4 確認電離層誤差之信心範圍 .....	44
§ 3-2-4 定義廣域差分定位修正訊息架構 .....	46
第四章 主要工作項目及履約內容 .....	50
§ 4-1 主控站系統 .....	51

§ 4-2 使用者端多頻段差分修正訊號接收模組.....	56
§ 4-3 GNSS 定位軟體與修正量解析.....	70
§ 4-4 整合式定位系統操作平臺.....	110
第五章 廣域差分定位系統整合測試與精度評估.....	127
§ 5-1 系統平臺及相關軟硬體設備與介面雛形設計.....	127
§ 5-2 應用參考站站數於廣域差分定位系統之評估分析.....	128
§ 5-3 廣域差分定位系統即時處理結果.....	135
§5-3-1 廣域差分定位系統即時處理圖形化界面介紹.....	135
§5-3-2 廣域差分定位系統即時處理分析結果.....	142
§ 5-4 整合測試於整合式平臺.....	153
§ 5-5 GNSS 衛星接收模組之定位測試成果分析.....	156
第六章 成本與市場分析.....	171
§ 6-1 傳統定位系統與廣域差分定位系統之比較.....	171
§ 6-1-1 應用傳統定位系統之缺點.....	171
§ 6-1-2 應用廣域差分定位系統之優點.....	173
§ 6-2 導航定位商品市場分析.....	175
§ 6-2-1 導航定位商品市場值年倍數成長，逐漸區分高感度或高精度之產品.....	175
§ 6-2-2 依產品市場規模分析，高精度定位商品競爭較少，成長空間較大.....	176
§ 6-3 研發使用者端軟硬體設備雛型之相關成本分析.....	179
§ 6-3-1 研發使用者端硬體設備雛型成本分析.....	179
§ 6-3-2 研發使用者端軟體元件成本與效益分析.....	180
§ 6-4 廣域差分定位系統之潛力及趨勢.....	182
§ 6-4-1 廣域差分定位系統應用於相關導航產業.....	182
§ 6-4-2 廣域差分定位系統於一般民生方面及普羅大眾的應用.....	182
§ 6-5 使用者端整合式平台未來發展方向-結合 e-GPS 發展即時公分精度定位演算元 件.....	185
第七章 工作進度與時程掌控.....	186

§ 7-1 廣域差分定位主控站系統之檢核要項與作業進度.....	189
§ 7-2 使用者端之多頻段差分修正訊號接收模組.....	191
§ 7-3 GNSS 衛星定位接收模組之檢核要項與作業進度.....	192
§ 7-4 整合式定位系統操作平臺之檢核要項與作業進度.....	193
§ 7-5 系統整合測試、效能精度評估之檢核要項與作業進度.....	194
§ 7-6 成本及潛在市場分析之檢核要項與作業進度.....	195
第八章 結論與建議.....	197
§ 8-1 結論.....	197
§ 8-2 建議.....	198
期中審查委員意見及修正辦理情形.....	201
期末審查委員意見及修正辦理情形.....	214
參考文獻.....	226

## 圖目錄

圖 1-1 整體工作之關聯架構圖.....	2
圖 1-2 本案研發之雛型產品與現有市售衛星導航商品之市場分析層面之差異性.....	4
圖 2-1 使用單點定位(A)、使用廣域差分定位系統修正訊息(B)與使用差分修正量(C)之定位情形.....	6
圖 2-2 使用衛星導航之各系統進行定位間之定位精度比較.....	8
圖 2-3 美國廣域增強系統之架構圖.....	14
圖 2-4 美國廣域增強系統可支援之區域.....	15
圖 2-5 日本 MSAS 架構圖.....	15
圖 2-6 歐盟 EGNOS 架構圖.....	16
圖 3-1 廣域差分定位系統概念圖.....	19
圖 3-2 以即時處理形式之廣域差分定位系統流程圖.....	20
圖 3-3 參考站處理程序.....	27
圖 3-4 雙頻載波平滑演算法.....	28
圖 3-5 衛星共視時間傳遞之流程.....	30
圖 3-6 產生衛星軌道修正量之流程.....	31
圖 3-7 產生衛星時鐘修正量之流程圖.....	34
圖 3-8 判定離群值與隔離之流程圖.....	35
圖 3-9 計算 UDRE 流程圖.....	37
圖 3-10 驗證 UDRE.....	38
圖 3-11 電離層穿刺點位置.....	40
圖 3-12 廣域差分定位系統計算電離層格點模組流程圖.....	41
圖 3-13 相關因子與穿刺點距離的關係.....	43
圖 3-14 確認信心區間流程圖.....	44
圖 3-15 信心區間包含 99.9%的估算誤差.....	45
圖 3-16 廣域差分定位修正訊息架構.....	47
圖 4-1 廣域差分定位主控站系統平臺架構圖.....	53
圖 4-2 PRN 19 雙頻載波平滑演算法之結果.....	53
圖 4-3 PRN08 星曆與時鐘誤差估算結果.....	54
圖 4-4 PRN08 虛擬距離修正誤差與 UDRE 關係圖.....	55
圖 4-5 多頻段差分修正訊號接收模組硬體架構圖.....	57
圖 4-6 Beacon 接收模組硬體架構圖.....	58
圖 4-7 FM RDS-TMC 解調變與解碼器模組架構圖.....	59
圖 4-8 RDS 接收模組線路圖.....	60
圖 4-9 Beacon 實際電路圖.....	62
圖 4-10 RDS 接收模組電路圖.....	62

圖 4-11 無線藍芽模組.....	63
圖 4-12 組裝後之多頻段訊號接收模組.....	63
圖 4-13 Beacon 軟體控制圖.....	65
圖 4-14 FM RDS-TMC 控制流程圖.....	66
圖 4-15 多頻段差分修正訊號接收模組.....	67
圖 4-16 接收後龍站之修正訊號.....	68
圖 4-17 FM-RDS 訊號接收圖.....	68
圖 4-18 經由 GSM 模組透過網路線上網.....	69
圖 4-19 透過網路線順利連上國土測繪中心網頁.....	69
圖 4-20 電池模組.....	70
圖 4-21 Trimble BD970 GNSS 衛星定位接收模組.....	73
圖 4-22 BD970 使用 Trimble 自有晶片.....	73
圖 4-23 Trimble BD970 導航衛星訊號接收與處理流程圖.....	74
圖 4-24 BD970 內建 32 位元 SoC.....	75
圖 4-25 Trimble BD970 型錄-敏感度規格.....	76
圖 4-26 衛星星曆指令對應關係.....	77
圖 4-27 觀測量指令對應關係.....	77
圖 4-28 模組輸出入設定頁面.....	78
圖 4-29 「55h」報告-GPS 衛星精確星曆資料.....	79
圖 4-30 「57h」報告-GPS 衛星觀測量資料.....	80
圖 4-31 GNSS 接收模組訊號圖.....	81
圖 4-32 GNSS Carrier 載波精度.....	81
圖 4-33 GNSS C/A 差異性分析.....	82
圖 4-34 BD970 各星基接收數量預估統計圖.....	82
圖 4-35 整體定位演算之流程.....	83
圖 4-36 未使用任何修正訊息之定位流程.....	84
圖 4-37 未使用任何修正訊息之定位演算.....	87
圖 4-38 PRN MASK 舉例.....	91
圖 4-39 全球電離層之區分圖.....	95
圖 4-40 電離層穿刺點位置圖.....	95
圖 4-41 使用者穿刺點與電離層格點之四角幾何關係.....	97
圖 4-42 使用者穿刺點與電離層格點之三角幾何關係.....	98
圖 4-43 使用 WADGNSS 廣域差分修正訊息定位流程.....	100
圖 4-44 使用 WADGNSS 廣域差分修正訊息修正流程.....	103
圖 4-45 RTCM SC-104 頭框格式.....	105
圖 4-46 第九類型-差分修正訊息資料框格式.....	107
圖 4-47 使用 DGNS 差分修正訊息定位流程.....	108
圖 4-48 使用 DGNS 差分修正訊息修正流程.....	109

圖 4-49 整合式定位系統操作平臺的硬體架構圖.....	113
圖 4-50 整合式定位系統操作平臺外觀.....	114
圖 4-51 Trimble BD970 規格書之敏感度參數.....	115
圖 4-52 7 吋 VGA 觸碰式液晶顯示器.....	116
圖 4-53 整合式定位系統操作平臺處理元件與人機整合介面元件.....	117
圖 4-54 整合式定位系統操作平臺記憶體分配位址.....	118
圖 4-55 整合式定位系統操作平臺硬體介面圖.....	120
圖 4-56 Reset, Sleep/Wake 按鍵位置圖.....	122
圖 4-57 USB HOST 外觀.....	122
圖 4-58 USB OTG 外觀.....	123
圖 4-59 音源輸出.....	123
圖 4-60 Micro SD 卡插槽.....	124
圖 4-61 外部控制介面.....	124
圖 4-62 定位元件設定及資訊.....	125
圖 5-1 廣域差分定位系統平臺架構.....	127
圖 5-2 增加參考站站數於主控站運算之前置流程.....	128
圖 5-3 運用於參考站站數對於廣域差分定位系統效能評估之參考站分布圖.....	130
圖 5-4 運用四個參考站之水平誤差圖.....	131
圖 5-5 運用五個參考站之水平誤差圖.....	131
圖 5-6 運用六個參考站之水平誤差圖.....	132
圖 5-7 運用七個參考站之水平誤差圖.....	132
圖 5-8 運用八個參考站之水平誤差圖.....	133
圖 5-9 參考站站數與枋寮站之水平定位誤差.....	134
圖 5-10 即時處理廣域差分定位系統流程圖.....	135
圖 5-11 e-GPS 基準站分布地圖.....	136
圖 5-12 GNSS 衛星軌跡圖.....	137
圖 5-13 (a) 運用廣域差分修正訊息之參考站定位效能與衛星分布圖 (b) 運用廣域 差分修正訊息之參考站定位效能與位置誤差圖.....	138
圖 5-14 各衛星之星曆與時鐘修正量與 UDRE.....	139
圖 5-15 (a)&(b) 電離層格點誤差與 GIVE.....	140
圖 5-16 主控站運作情形.....	141
圖 5-17 Stanford Chart.....	143
圖 5-18 $1.75 \sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站).....	146
圖 5-19 $2 \sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站).....	146
圖 5-20 $2.25 \sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站).....	147
圖 5-21 $2.5 \sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站).....	147
圖 5-22 $2.75 \sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站).....	148
圖 5-23 $3 \sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站).....	148



圖 5-24	1.75 $\sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)	149
圖 5-25	2 $\sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)	149
圖 5-26	2.25 $\sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)	150
圖 5-27	2.5 $\sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)	150
圖 5-28	2.75 $\sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)	151
圖 5-29	3 $\sigma$ Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)	151
圖 5-30	偵測藍芽連線	153
圖 5-31	Radio Beacon 設定及資訊	154
圖 5-32	FM RDS-TMC 設定及資訊	154
圖 5-33	NTRIP 網路通訊協定之設定介面	155
圖 5-34	定位模式選擇與定位資訊顯示介面	155
圖 5-35	水平定位誤差比較圖	157
圖 5-36	三種定位模式水平精度(precision)比較圖	158
圖 5-37	廣域差分與差分定位水平精度(precision)比較圖	159
圖 5-38	多頻段差分修正	160
圖 5-39	Beacon 訊號接收	160
圖 5-40	多頻段差分修正訊號接收模組訊號輸出表示圖	160
圖 5-41	Trimble DB970 之接收天線	161
圖 5-42	多頻段差分修正訊號接收模組接收訊號測試	161
圖 5-43	量測點之位置	162
圖 5-44	測試工作情形	163
圖 5-45	加入差分修正訊息之定位結果(網路端)	163
圖 5-46	加入差分修正訊息之定位結果(Beacon 模組端)	164
圖 5-47	加入廣域差分修正訊息之定位結果	165
圖 5-48	整合式平臺顯示未加入修正之定位結果	166
圖 5-49	整合式平臺顯示加入廣域差分修正之定位結果	166
圖 5-50	整合式平臺顯示加入差分修正之定位結果(網路端)	167
圖 5-51	整合式平臺顯示加入差分修正之定位結果(Beacon 端)	167
圖 5-52	水平定位誤差比較圖(後龍站)	168
圖 5-53	三種定位模式水平定位精度(precision)比較圖(後龍站)	169
圖 5-54	廣域差分與差分定位水平定位精度(precision)比較圖 (後龍站)	169
圖 6-1	衛星訊號之誤差來源	171
圖 6-2	全球手機用戶使用定位服務之比例	175
圖 6-3	高精度 GNSS 核心製造商之財報分析	178
圖 6-4	WADGNSS 定位元件運作於其他平臺示意圖	183
圖 6-5	GNSS 模組之網路單元導入雲端網路示意圖	184
圖 7-1	工作進度管制流程圖	187
圖 7-2	整體作業時程進度圖	189

## 表目錄

表 2-1 不同飛航階段所制定的導航需求.....	13
表 3-1 NSTB 資料格式 message type 1 (Range).....	21
表 3-2 NSTB 資料格式 message type 20 (Ephemeris).....	22
表 3-3 NSTB 資料格式 message type 30 (Klobuchar).....	23
表 3-4 NSTB 資料格式 message type 32 (Almanac).....	24
表 3-5 UDRE 與 UDREI 之對照表.....	36
表 3-6 GIVE 與 GIVEI 之對照表.....	46
表 3-7 廣域差分修正訊息架構.....	48
表 3-8 各項廣域差分修正訊息之傳遞時間間隔.....	49
表 4-1 系統核心比較表.....	72
表 4-2 Trimble BD970 敏感度參數.....	76
表 4-3 PRN MASK Assignments.....	90
表 4-4 電離層格點的位置編號.....	96
表 4-5 整合式定位系統操作平臺內各項目之功能.....	113
表 4-6 Trimble BD970 敏感度參數.....	115
表 4-7 整合式定位系統操作平臺硬體圖示說明項目.....	121
表 5-1 完成硬體頻差延遲誤差估算之參考站列表.....	129
表 5-2 不同參考站數對各個參考站之水平定位誤差.....	134
表 5-3 航海導航需求.....	144
表 5-4 針對不同完整性需求於航海使用者運用廣域差分定位修正訊息之正常運作 比例比較表.....	152
表 5-5 三種定位模式之水平定位誤差比較表.....	157
表 5-6 三種定位模式 95%水平定位範圍比較表.....	159
表 5-7 三種定位模式之水平定位誤差比較表(後龍站).....	168
表 5-8 三種定位模式 95%水平定位範圍比較表(後龍站).....	170
表 6-1 廣域差分定位系統與傳統定位之比較.....	174
表 6-2 使用者端商品比較表.....	177
表 6-3 使用者端硬體成本.....	179
表 6-4 產量預估表.....	180
表 6-5 各元件開發單元及次系統所投入之人力計算.....	181

# 第一章 前言

## § 1-1 計畫概述

全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 提供全天候與多用途的導航與定位服務，隨著陸、海、空域之載具助導航或其他民生上的應用日漸增加，各類使用者對定位系統的精確度 (accuracy)、完整性 (integrity)、可用性 (availability) 以及連續性 (continuity) 的需求也相對提升。在世界各國與相關組織皆已積極著手研發全球衛星導航系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 之星基擴增系統 (Satellite Based Augmentation System, SBAS) 的趨勢下。例如美國的 WAAS、日本的 MSAS、歐盟的 EGNOS、中國大陸的北斗或是印度的 GAGAN 等廣域擴增系統，都已逐漸成為未來世界海陸空載具之助導航設備。因此，多元、快速及高精度的定位技術將成為未來行動化資通訊系統成功與否之重要關鍵。

本案主要工作事項係以內政部國土測繪中心 e-GPS 即時動態定位系統及衛星差分修正無線標桿電臺廣播系統(Radio Beacon, RDB)，研發廣域衛星差分定位主控站系統平臺為定位服務與技術發展之基礎架構，結合各衛星基準站 24 小時連續衛星觀測資料，透過定位誤差演算法則，建立適用於臺灣地區廣域差分定位系統。本案亦將研發使用者端多頻段差分修正訊號接收模組及內建 GNSS 衛星定位接收模組之整合式定位系統操作平臺，以透過多頻段廣播方式，即時將差分修正訊息傳送給使用者，提升定位精度。整體工作之關聯架構圖如下圖 1-1 所示。

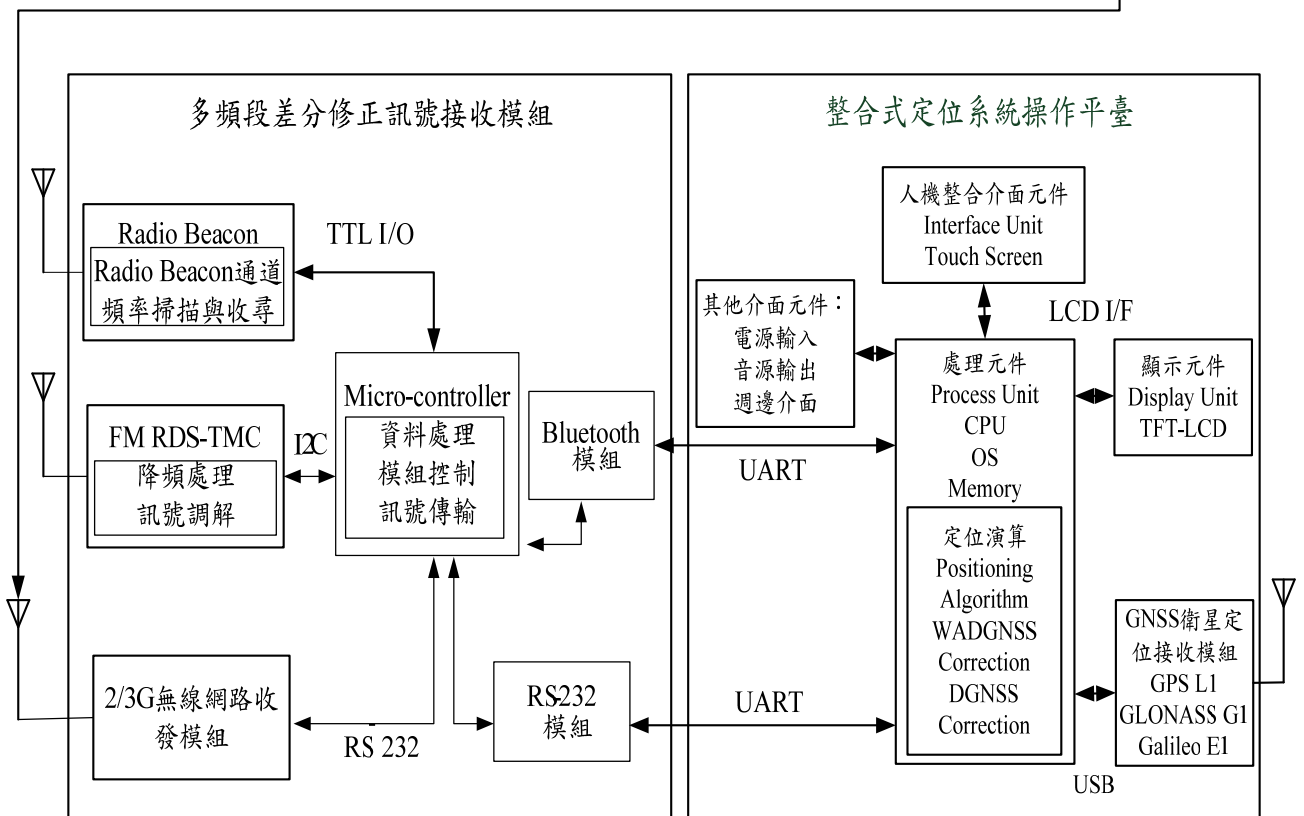
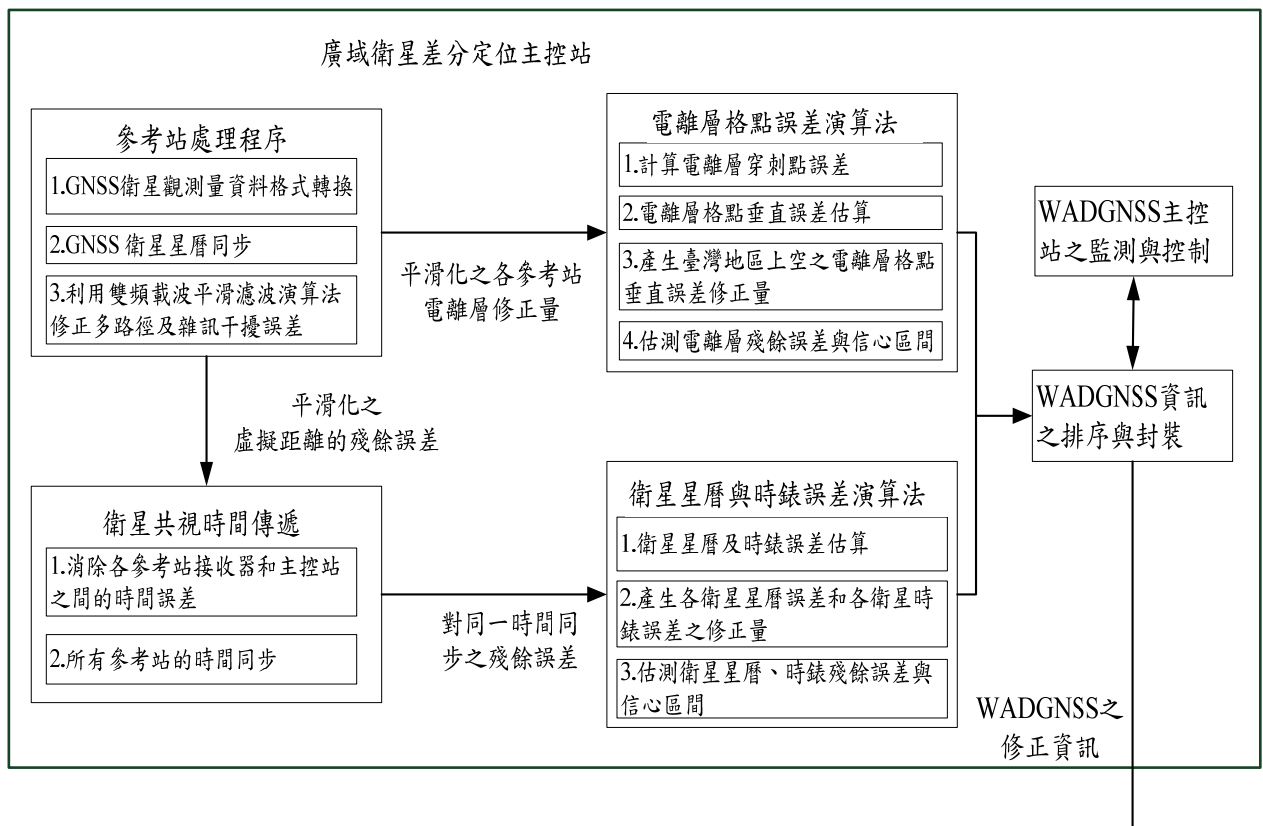


圖 1-1 整體工作之關聯架構圖

## § 1-2 計畫目標

內政部國土測繪中心 e-GPS 即時動態定位系統目前除已提供各類動態定位服務使用外，為求擴大已建置完成且涵蓋臺灣本島及各離島地區之 e-GPS 地面基準站資源與效能，強化系統對助導航動態定位、民生需求及安全防護等定址服務 (Location Based Service, LBS)與應用功能，本案將整合衛星定位、無線通訊及機電設備等專業領域，以現有 e-GPS 即時動態定位系統架構及功能為基礎，研發廣域差分定位系統(Wide Area Differential GNSS, WADGNSS)及其相關軟硬體組件，以期讓使用者在不同無線通訊環境之條件下，亦能順利有效地接收差分修正訊息，提升系統之完整性、可用性，並進一步達成兼顧「效率」、「便捷」、「安全」等多功能應用服務之目標。本案預計完成之雛型產品與現有市售衛星導航商品之市場分析層面之差異性如圖 1-2 所示。由此圖可知使用本案所建置之廣域差分系統的導航機，在精確度上，和一般使用商用衛星導航定位系統之市售導航機相比是較高的，其最高精確度可達一公尺；而和其他高精確度之精密系統相比，本案所建置之廣域差分定位系統其提供之定位精確度雖然不是最佳的，但其成本卻較其他系統低；更重要的是，本案所建置之廣域差分系統可以提供導航機可靠性之訊息，此為其他系統目前缺乏之功能。廣域差分系統傳遞可靠性之訊息能偵測出原本可能導致生命危險之錯誤定位資訊，並告知使用者此時使用定位資訊可能導致生命危險，使用者即可選擇在此時不利用此定位資訊，達成廣域差分系統可以提供使用者具可靠性訊息之目的，藉以保障使用者之生命財產安全。結合以上優點，本案之產品可應用的範疇，除了一般行人、行車之導航和定位外，更可進一步應用在生命財產之相關應用，例如船舶入港、飛航導航，勤務派遣等任務。讓使用本系統之使用者不但可提供使用者更佳的精確度外，還可得到安全性之保證。

	定位精度	完整性	應用層面	服務範圍
一般商用衛星導航定位系統(Garmin GPS35)	15m - 30m	無	一般行人、行車導航	導航衛星可覆蓋範圍
使用WADGNSS系統之導航機	3m - 10m	有	生命財產相關應用，例如船舶入港、飛航導航、勤務派遣	參考站覆蓋範圍
使用e-GPS即時動態定位系統之導航機	0.5m - 1m	無	即時山區救災、災區監控、事故管理	參考站覆蓋範圍
使用動態定位技術之導航機	1cm - 10cm	無	精密量測、地球科學研究任務	數公里

圖 1-2 本案研發之雛型產品與現有市售衛星導航商品之市場分析層面之差異性

## 第二章 廣域差分定位系統

### § 2-1 廣域差分定位系統概論

廣域差分定位系統(Wide Area Differential GNSS, WADGNSS)為輔助全球衛星導航系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)以滿足使用者之定位需求並給予其安全性保證的衛星增強系統，與星基增強系統(Satellite Based Augmentation System, SBAS)類似。

廣域差分定位系統組成主要是由一個主控站(Master Station, MS)與數個在已知精確點上設立的參考站(Reference Station, RS)所組成的大型網絡系統。這些參考站分布在各地，並擁有雙頻接收器，能即時連續的接收 GNSS 觀測量，並將這些觀測量傳送給主控站，主控站接收所有參考站之 GNSS 觀測量進行資料處理分析後，針對每顆衛星產生誤差向量修正量(vector corrections)及修正後之殘餘誤差信心範圍(confidence bound)，接著將產生之向量修正量及信心範圍等服務訊息透過通訊網路傳遞給衛星導航使用者。藉由廣域差分定位系統產生的修正資訊(向量修正量與殘餘誤差信心範圍)，即可以保障使用者之定位完整性(integrity)也同時提升衛星導航服務之效能。

傳統的差分定位法(Differential GNSS, DGNSS)是在已知精確點上設立參考站收集 GNSS 觀測量以進行定位，並與其精確位置做比較，藉此產生區域性的數值修正量(scalar correction)給使用者。使用 DGNSS 雖能提升鄰近範圍內之衛星導航使用者的導航精確度，但對於保護使用者安全方面的服務則是較缺乏的。

從圖 2-1 可得知，以使用單點定位作為範例，圖中的實線大圓表示 95% 定位誤差範圍，虛線大圓表示了可容忍定位誤差之範圍，圓點為定位解，而中間三角形則是代表真實位置。圖 2-1A, B, C 分別為使用單點定位、使用廣域差分定位系統修正訊息與使用差分修正量三種情形。由圖 2-1A 可以發現在當只使用單點定位解是散布於真實位置的周遭，有些定位解會超出可容忍的定位誤差範圍，則此時使用者應用衛星定位將會有潛在危險的可能情形產生；使用差分修正量的改進下如圖 2-1C，定位解明顯集中於真實位置，但還是會有少數超出容忍定位誤差範圍的定位解，差分定位法無法警告使用者此定位解超出可容忍定位誤差範圍，使用者將無法受到保護；而圖 2-1B 為使用廣域差分修正訊息之情況，因其為了提供修正量給廣域的使

用者，在計算修正量上，使用各種模組去進行估算，修正量是由模組去產生；使用模組產生修正量之優點是可以服務大範圍的使用者，而其缺點為，修正後之定位結果無法提供如一般差分定位法的高精確度，但是廣域差分定位系統可保障其定位解都能在容許定位誤差內，而在容許定位誤差範圍外的定位解，廣域差分系統會告知使用者此定位解不在容許定位誤差範圍內，讓使用者得知此時的定位解是不能使用的，以達到保護使用者之目的。

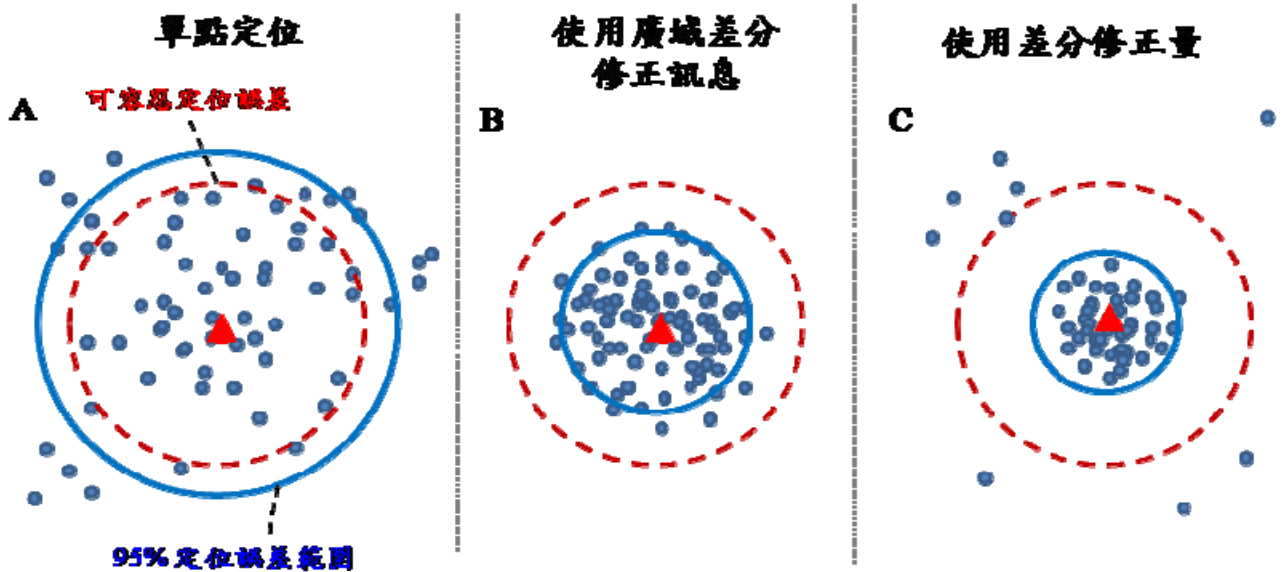


圖 2-1 使用單點定位(A)、使用廣域差分定位系統修正訊息(B)與使用差分修正量(C)之定位情形

目前利用衛星導航已經愈來愈普遍，而在使用衛星定位時，使用者有許多選擇。不同的系統有不同的優缺點，圖2-2即為利用衛星導航之各系統進行定位間之定位服務比較。其中廣域差分定位系統與e-GPS即時動態定位系統為目前臺灣主流的衛星導航增強系統。

由圖2-2可以發現廣域差分定位系統之定位精確度不如e-GPS即時動態定位系統精確，可是使用廣域差分定位系統於導航上之可靠度卻是相當高，這也就是說使用廣域差分定位系統的完整性是可以被保證的，因此許多有關於生命財產安全的導航應用皆可以運用廣域差分定位系統來修正衛星訊號的雜訊並確保使用者之可用性。

此類應用有船舶進入港時必須確保其定位導航之可靠度以確保其入港



時不會與港口有擦撞情形產生。另外在於警務人員被派遣特務時運用衛星導航服務時也必須確保訊號是正確無誤，如此才可避免浪費社會資源以及損失黃金救援時刻。而廣域差分定位系統對於飛航機具之導航上亦有相當顯著的幫助，在飛航機具利用衛星導航進行巡航動作時必須確保衛星訊號之可用性，如此一來可以避免飛航機具被錯誤導航以致於發生意外事故。

在未來的社會裡，將會有愈來愈多的應用必須會依賴衛星導航，這也意味著衛星導航的正確性與可靠度也愈來愈重要，所以在先進國家如美國、日本、澳洲、歐洲皆已完成發展類似於廣域差分定位系統，而中國、俄羅斯等國家亦致力於發展如何確保衛星訊號之可靠度研究。

而更進一步探討運用衛星導航之各系統之服務，如運用衛星導航之各系統之服務表。由此圖表可以發現，一般標準定位服務(Standard Positioning Service, SPS)雖然成本最為便宜、且其服務範圍為全世界都較其他系統廣，然而其定位精確度並不是相當高，並且沒有任何的可靠度。而動態定位技術(Real Time Kinematic, RTK)定位精確度相當的高，由於動態定位技術是使用差分修正技術，其服務範圍只能是在參考站附近數公里處。而e-GPS即時動態定位系統修正了動態定位技術的缺點，運用虛擬基準站即時動態定位技術(Virtual Base Station-RTK, VBS-RTK)使其服務範圍可以是在參考站旁數十公里。

廣域差分定位系統在精確度上雖然不如e-GPS即時動態定位系統精確，但是只要運用廣域差分修正訊息後，使用者之導航服務的可靠度是可以被保證的。這也就是說使用廣域差分定位系統之使用者可以確信其每一筆定位服務都是可以使用的。這對於一些需要把GNSS 導航服務於生命財產相關之應用而言，是非常重要的。

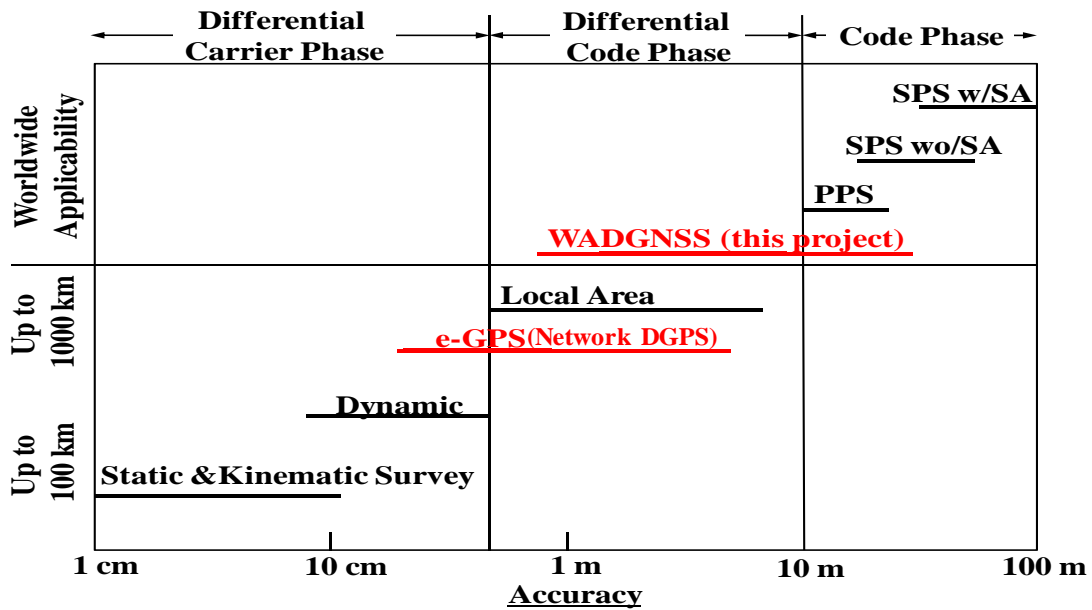


圖 2-2 使用衛星導航之各系統進行定位間之定位精度比較

### § 2-1-1 全球衛星導航之誤差來源

全球導航衛星系統能提供全天候與全方位的導航，定位與校時服務。由於在使用上的便利性，衛星導航系統已被廣泛的運用在我們的日常生活中。目前全球運行中或發展中的衛星導航系統包含：美國的全球定位系統 (Global Positioning System, GPS)，俄羅斯的 GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System, GLONASS)、中國的 Compass、和歐盟的 Galileo。其中由美國國防部所發展、運行及管理的 GPS，是目前發展最為完整的 GNSS，其主要包含了太空、控制以及使用者三個組成部分。使用 GNSS 接收器定位至少需要 4 顆可視衛星的觀測量來估算三維的位置解與使用者時鐘誤差。GNSS 衛星的訊號是來自於外太空，訊號在傳送之途中會被許多誤差源所影響，導致定位量測值的誤差，其主要誤差源如下：

- 衛星時錶誤差 (satellite clock error)：

衛星定位精度與時錶誤差有密切的關係。由於時鐘模組算出的衛星時間與理想的衛星時間存有難以避免的偏差或漂移，造成每顆衛星均存在一時間誤差，對於此誤差一般可以利用對衛星時鐘運行狀態的連續監測，而精確的求得。

- 衛星星曆誤差 (satellite ephemeris error)：

衛星星曆誤差亦是指衛星軌道的誤差，衛星導航的使用者必須先接收到衛星廣播出的星曆參數，一般導航衛星所輸出的軌道定位導航參數並非完美，於是經由星曆參數算出的衛星位置仍然會有偏差，因而造成衛星到使用者間距離量測量的誤差，進而影響到使用者位置解的精確度。

- 電離層誤差(ionospheric delay)：

電離層是目前造成最大誤差的來源。當衛星訊號經過電離層時，對於電碼產生延遲的現象，而在載波相位上則是會產生領先的現象，且電離層誤差是與電離層中的帶電粒子含量(Total Electron Content, TEC)成正比例關係，電子密度則是和所在時間與地磁的緯度有函數的關係(Tsui, 2004)，太陽粒子的活動亦會影響電離層活動，因此也會接連影響到電離層所產生的誤差。每一個區域、每一天、每一個時段電離層產生的誤差都會有所不同，在地球的南北極區以及赤道附近的低緯度地區所造成訊號延遲最為嚴重。因此，衛星導航系統在臺灣將會面臨嚴重的電離層威脅。對雙頻的使用者而言，可運用電離層對不同頻率上的觀測量之影響有著比例上的關係(見公式2.1與2.2)，進而直接將其影響消除掉。而單頻使用者可使用由衛星訊號中的導航資訊來取得Klobuchar模組的參數，以降低大約60%的電離層之影響(Klobuchar, 1986)。

- 對流層誤差(tropospheric delay)：

在衛星傳遞訊號的過程中，訊號會經過對流層，在對流層中訊號會造成反射、折射等等的效應，這將造成訊號至衛星到使用者的時間延遲，進一步造成了衛星與使用者之間距離上的誤差。此外由於衛星訊號為電磁波，而電磁波是會被溫度、壓力與濕度所影響，因此對流層誤差亦與這三個因素有關。

- 多路徑效應(multipath effects)：

衛星傳送訊號到使用者除了受到大氣層的影響，在地面上仍受到多路徑效果的影響，如果使用者四周有比使用者較高的遮蔽物，則訊號傳送至使用者時，會因為這些遮蔽物而產生反射、折射等物理現象，此一現象會造成訊號傳至使用者時間上的延遲，也會連帶影響虛擬距離與載波相位的測量值，進一步產生誤差。參考站架設天線的位置應避免多路徑的影響，另外再配合截止角度(cut-off angle)避免掉來自地面的反射。

● 接收器內部誤差(receiver error)：

接收器的內部誤差包含兩個部分，接收器的時表誤差(receiver clock error)以及接收器雜訊(receiver noise)。接收器的時表誤差主要是接收器內部振盪器所造成的誤差，而接收器雜訊來自於天線上及接收器內部的電子元件，可將其看作是白雜訊(white noise)。

其中，參考站自 GPS 衛星所收到 L1(中心頻率為 1575.42MHz)與 L2(中心頻率為 1227.6MHz)頻段上的電碼與載波相位量測值將可被表示成：

$$PR_{L1} = \rho_i^j + b_i - B^j + I_i^j + T_i^j + v_{i,L1}^j \quad (2.1)$$

$$PR_{L2} = \rho_i^j + b_i - B^j + \gamma I_i^j + T_i^j + v_{i,L2}^j \quad (2.2)$$

$$\phi_{L1} = \rho_i^j + b_i - B^j - I_i^j + T_i^j + N_1 \lambda_1 + e_{i,L1}^j \quad (2.3)$$

$$\phi_{L2} = \rho_i^j + b_i - B^j - \gamma I_i^j + T_i^j + N_2 \lambda_2 + e_{i,L2}^j \quad (2.4)$$

其中  $PR_{L1}$  為 L1 頻段上的虛擬距離量測值(pseudorange)； $\phi_{L1}$  是 L1 頻段上的載波相位量測值。若下標為 L2 表示該觀測量是來自於 L2 頻段上。 $\rho_i^j$  是第  $j$  顆衛星到第  $i$  個接收器之間的幾何距離(geometric range)； $I_i^j$  為電離層在 L1 頻段上造成的誤差； $T_i^j$  是對流層誤差； $b_i$  為接收時間的偏移量，而  $B^j$  為衛星時鐘的誤差； $v_i^j$  是虛擬距離量測值上的雜訊， $e_i^j$  為載波相位量測值上的雜訊。在一般的情況下， $v_i^j$  會大於  $e_i^j$  (Jan, 2007)。 $N_1 \lambda_1$  與  $N_2 \lambda_2$  為在載波相位上的整數週波未定值(integer ambiguities)。

以上這些影響測量值的誤差源皆會造成使用者的導航定位誤差。建置廣域差分定位系統之主要目的即為建立衛星時錶誤差、衛星星曆誤差與電離層誤差的修正模組和其修正後之導航服務品質監控，提供更精確與更安全之導航服務。

## § 2-1-2 導航性能需求

廣域差分定位系統即是以增強 GNSS 之效能並以滿足導航性能需求

(Required Navigation Performance, RNP)為目標而設計的(Kee, 1993)，將可提供更為安全及值得信任的服務，此導航性能需求包含以下四項要求：精確性、完整性、連續性、可用性。因此廣域差分定位系統將可提供更為安全與值得信任的導航服務。接下來將對此四項要求進行簡介。

- 精確性(accuracy)：

最常用來做為導航系統規範的依據之一。精確性是多筆量測量的分布情況。若在一般無錯條件(nominal fault-free condition)下即為定位解與真實位置之間的量測差值。這個數值通常取95個百分比的位置誤差值來表示其分布範圍之誤差(error bound)，也就是說在95%的時間誤差值都是在這個數值所提供的範圍之中。

- 完整性(integrity)：

完整性在導航系統中主要是指當系統發生不適合導航情形時，能在警告時間(time-to-alarm)內提供使用者警告(timely warnings)的能力。為了確保完整性，使用者需要一個能夠即時包含最大定位誤差的界限值，此一界限可給予使用者參考了解目前可能的定位誤差是否能滿足其設定標準，即定義為保護極限(Protection Level, PL)。當保護極限大於特定的門檻值時，系統將提出警告，以維持安全的飛行。而這特定的門檻值即為位置誤差警示限制(Alert Limit, AL)，位置誤差警示限制的大小是由不同的導航階段所制定的，如表2-1。提出警告的限制訂在系統可以容忍位置解的最大誤差，用以確保此導航系統必須能在任何可能條件下提供安全的誤差範圍(error bounds)。誤差範圍可在空間上分成垂直與水平方向，即垂直保護極限(Vertical Potential Level, VPL)以及水平保護極限(Horizontal Potential Level, HPL)，而提出警告的極限值於垂直上定義的量值為垂直警戒限制(Vertical Alert Limit, VAL)，水平上定義的量值為水平警戒限制(Horizontal Alert Limit, HAL)。而若有完整性風險(integrity risk)出現時，即表示系統沒有辦法在誤差超出安全範圍時作出警告，完整性的數值是表示該系統發生風險的機率。

- 連續性(continuity)：

連續性為對於該系統能持續運作，提供飛行完整流程(entire course of a flight)的導航定位服務之能力，系統中途不會產生任何非預期的中斷。連續

性的風險是指程序被中斷。連續性的數值表示的是系統無法連續提供服務的機率。

- 可用性(availability)：

導航系統的可用性是表示系統可正常運作且可提供的精確度、完整性以及連續性在當下皆能達到所必要的導航需求範圍內，換句話說就是可用性是系統在當下可以提供服務的能力指標。可用性的數值表示的是該系統有多少機率可以完整使用該系統做導航定位服務。

本廣域差分定位系統倘若可以幫助使用者滿足其導航任務之四項要求，即可以確保運用本系統產生的修正資訊之使用者，其定位與導航服務是可靠的。因此無論是使用WADGNSS訊息的使用者或者載具，其使用衛星導航之安全性是可以被保證的。

表 2-1 不同飛航階段所制定的導航需求

(Navigation and Landing Transition Strategy, 2002)

運作標準	水平 準確度 (95%)	垂直 準確度 (95%)	完整性	連續性	水平警 示限制 (HAL)	垂直警 示限制 (VAL)	可用率	警示 時間
航程途中	3700 m	NA	$1 \times 10^{-7} / hr$	$1 \times 10^{-4} / hr$ to $1 \times 10^{-8} / hr$	7408 m	NA	.99 to .99999	60 s
終端區	740 m	NA	$1 \times 10^{-7} / hr$	$1 \times 10^{-4} / hr$ to $1 \times 10^{-8} / hr$	3704 m	NA	.99 to .99999	15 s
非精確進場	220 m	NA	$1 \times 10^{-7} / hr$	$1 \times 10^{-4} / hr$ to $1 \times 10^{-8} / hr$	1852 m	NA	.99 to .99999	10 s
縱向/垂直導航	220 m	20 m	$2 \times 10^{-7} / hr$ /approach	$8 \times 10^{-6} / 15s$	556 m	50 m	.99 to .999	10 s
定位臺垂直 導航性能	16 m	20 m	$2 \times 10^{-7} / hr$ /approach	$8 \times 10^{-6} / 15s$	40 m	50 m	.99 to .999	10 s
二類垂直 導航進場	16 m	8 m	$2 \times 10^{-7} / hr$ /approach	$8 \times 10^{-6} / 15s$	40 m	20 m	.99 to .999	6 s
一類精確進場	16 m	6 m to 4 m	$2 \times 10^{-7} / hr$ /approach	$8 \times 10^{-6} / 15s$	40 m	12 m to 10m	.99 to .99999	6 s
二/三(a)類 精確進場	6.9 m	2.0 m	$1 \times 10^{-9} / 15s$	$4 \times 10^{-6} / 15s$	17.3 m	5.3 m	.99 to .99999	1 s
三(b)類 精確進場	6.2 m	2.0 m	$1 \times 10^{-9} / 30s$ (lateral) $1 \times 10^{-9} / 15s$ (vertical)	$2 \times 10^{-6} / 30s$ (lateral) $2 \times 10^{-6} / 15s$ (vertical)	15.5 m	5.3 m	.99 to .99999	1 s





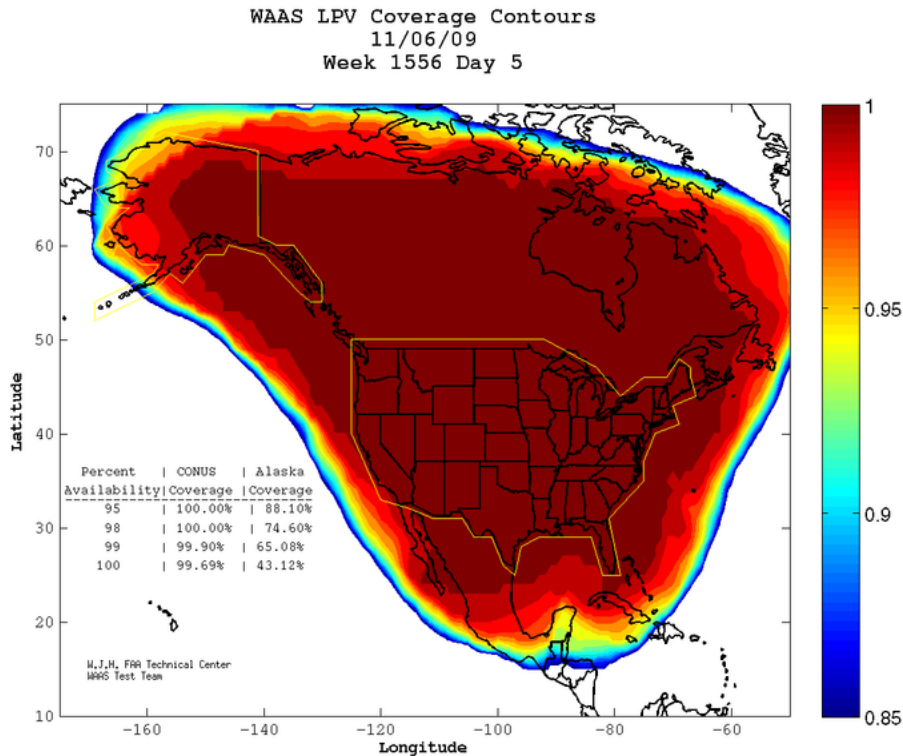


圖 2-4 美國廣域增強系統可支援之區域

而日本MSAS也在2007年9月27日正式運用於民航用途達到初始運作能力(Initial Operational Capability, IOC)，提供到非精確進場(None Precision Approach, NPA)的服務，目前MSAS即使在電離層風暴(ionosphere storm)的威脅下，仍然能提供使用者具備完整性的服務(Sakai, 2008)。

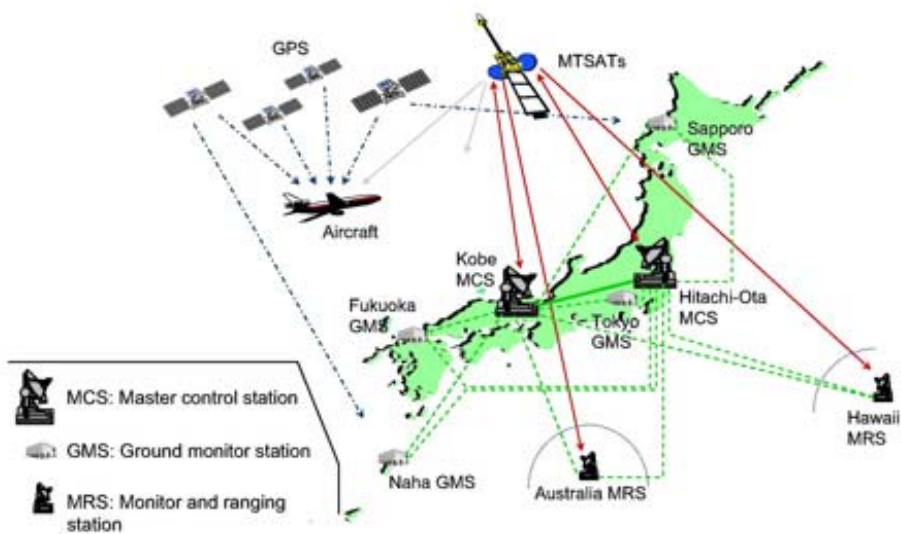


圖 2-5 日本 MSAS 架構圖

此外歐盟的EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service)，印度的GAGAN(GPS Aided GEO Augmented Navigation)，和俄羅斯的SDCM(System for Differential Correction and Monitoring)，都是目前正在發展的SBAS類似系統，其中，EGNOS如圖2-6，由GPS系統和歐洲上空的三顆輔助定位同步軌道衛星和一系列地面站組成。自2005年7月EGNOS開始提供服務，該系統的穩定性和精度得到了十分高的評價，實際使用中，該系統定位精度達到小於一公尺，可靠性達到99%。2008年EGNOS已經可以成功的啟用於緊急救援。由於上述之星基增強系統在民用航空上成功之應用，目前逐漸成為世界主要陸運與海運載具之標準化助導航設備。

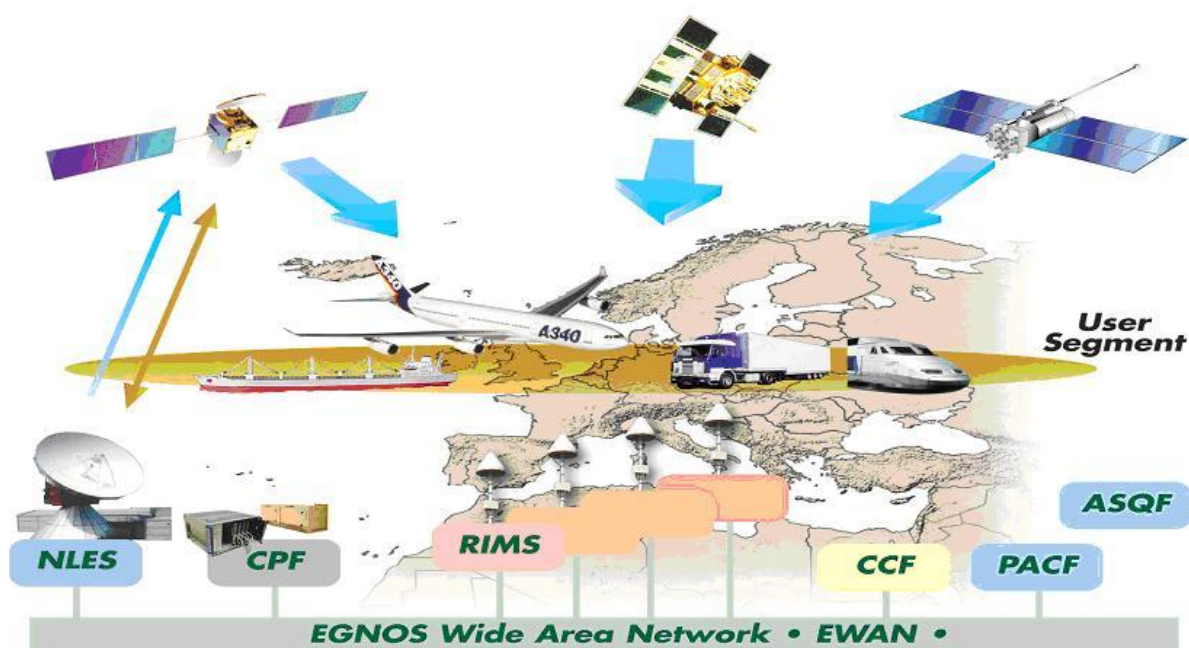


圖 2-6 歐盟 EGNOS 架構圖

而在臺灣方面，也有對東南亞地區的電離層誤差進行分析(Lin, 2006)，其中，國立成功大學民航所在民航局的補助下，參與建立了亞太經合會的衛星航行測試平臺(Asia Pacific Economic Cooperation (APEC) regional Global navigation satellite system Test Bed, APEC GTB)(Pringvanich and Satirapod, 2007 and Chan, 2007)與東南亞的各國進行類似WADGNSS系統的建置，並且成功的建立測試參考站與各國進行連線，以提供GPS觀測量。

目前在國際上有實際運行並提供使用者導航定位服務之廣域增強系統

為美國之WAAS與日本之MSAS，兩者皆購自美商雷神公司(Raytheon Company)，其共通點是設置於中緯度，相對於電離層活動帶而言，皆處於電離層平靜地區，因此系統建置的複雜度相對而言較低。除了印度的系統外，其餘的系統也都設置於中高緯度地區，因此電離層相對威脅也較小。本案預定發展之系統在參考站及主控站部分與國際發展系統相似，但是提供服務的方式將更多元化，其中國際發展系統皆是以同步衛星當作其訊號廣播的媒介，同步衛星雖然可以提供廣大服務範圍，但其租金昂貴。因此針對臺灣地區之特性，本案將以網際網路為主要發佈訊息媒介，再將RDB或適合的廣播方式做為本案訊號廣播的額外選項，讓更多的使用者能使用本案之增強導航服務。

本案所建置的廣域定位差分系統所提供之導航服務相較於傳統差分定位系統服務多了完整性資訊，此資訊主要為使用者使用廣域差分修正訊息修正後殘餘誤差之信心範圍，換句話說，就是即時 GNSS 導航服務的品質指標(Quality of Service, QoS)，使用者只要能提供其導航應用之安全要求，本系統即能提供滿足其安全要求之導航服務。以海運為例，如果相關交通管理單位能提供海運各種導航要求，本系統能提供其導航服務，並在偵測出信心範圍無法滿足當時之導航要求，即時的提出警告以提醒使用者，藉此維護航海的安全。對於一般使用者所使用的單頻全球衛星導航系統接收器，也可收到廣域差分修正訊息之服務，使國人在使用導航接收器能有更好的定位品質，同時在有關生命財產的情形下，能給予其安全性的保障。

## 第三章 廣域差分定位系統原理、方法與技術標準

在此章節將對廣域差分定位系統原理做詳盡介紹。3-1 節將講解廣域差分定位系統數據處理原理，依照 e-GPS 基準站 GNSS 觀測量格式不同，進行不同處理程序的觀測量彙整。3-2 節為利用雙頻載波相位演算法與衛星共視時間傳遞來進行參考站之處理程序。3-3 節為估算衛星之軌道及時鐘誤差並且產生殘餘誤差信心範圍以保障使用者使用。3-4 節為介紹廣域衛星差分定位系統之電離層格點誤差演算法，利用電離層薄球殼模型及電離層格點模組來估算電離層修正量與信心範圍。3-5 節則利用使用者操作執行標準來定義廣域差分定位修正訊息架構。

### § 3-1 廣域差分定位系統數據處理原理

廣域差分定位系統是由主控站與數個參考站所組成的，如圖3-1所示。每一個參考站分布在位置精確已知地點，並擁有雙頻接收器，能夠接收雙頻之衛星觀測量，並將這些衛星觀測量傳送給主控站，形成大型網絡系統。雖然各個參考站使用的接收器可能有所不同，但其所輸出至主控站的觀測量會是同一格式，不過因為在主控站運算時必須轉換成特定格式。因此參考站在接收衛星訊號後，必須將原始的觀測量轉換成主控站所需要的特定格式，再傳送至主控站。這些觀測量包含了：測距資料、電離層的模組參數、精確型星曆(ephemeris)以及長效型星曆(almanac)。

主控站在接收到分布在各地之參考站即時連續收集的衛星觀測量後，便會對其進行分析，並且產生對衛星誤差源的修正模組與監控衛星的訊號，然後，主控站產生符合國際規範的訊號，主要為向量型態的修正量，其中包含了衛星的星曆誤差修正、衛星的時鐘誤差修正與電離層的誤差修正(Chao, et.al, 1995 and Tsai, et.al, 1995)。同時，此訊號也包含使用修正量後殘餘誤差的信心範圍(confidence bound)，以及提供完整度服務資訊，以上產生的所有資訊將透過通訊網路傳遞給GNSS使用者。例如，美國WAAS系統使用同步衛星作為其訊號廣播媒介，本案將利用網際網路提供使用者廣域差分修正訊息。

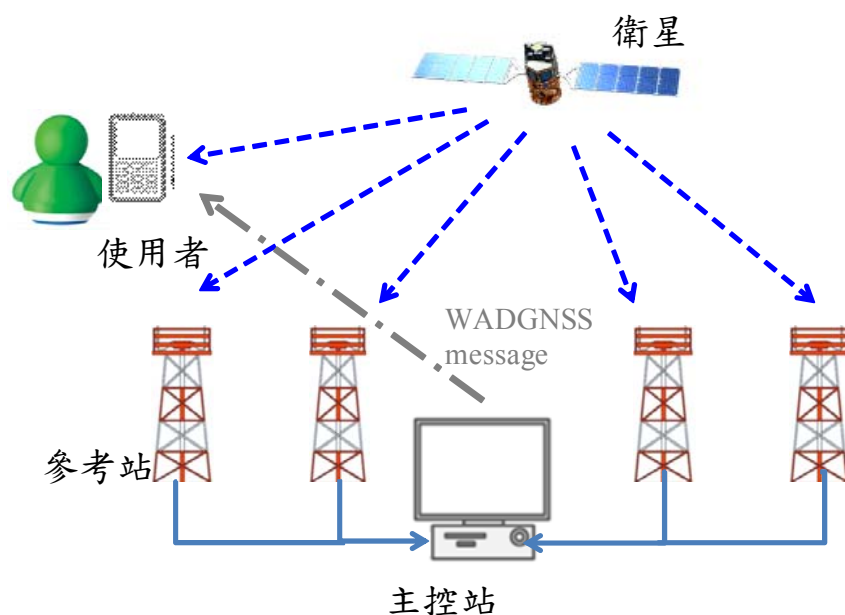


圖 3-1 廣域差分定位系統概念圖

本案使用的參考站為e-GPS基準站。e-GPS基準站為內政部國土測繪中心建置的一套臺灣地區GPS定位服務系統，這些基準站具備廣域差分定位系統參考站所需的已知精確位置與地理幾何分布，且網絡遍佈臺灣本島及離島地區，並擁有雙頻衛星觀測的接收能力，滿足廣域差分定位系統參考站所應具備的條件，因此本案選擇使用e-GPS基準站為廣域差分系統參考站。接下來會針對e-GPS基準站提供之不同的衛星觀測資料，介紹如何即時處理在廣域差分定位系統進行資料格式的轉換。

### § 3-1-1 衛星觀測量之彙整與同步程序(即時處理)

e-GPS基準站傳遞即時衛星觀測資料是使用RTCM格式(The Radio Technical Commission of Maritime Services)，然而目前國際上流通的RTCM版本相當繁複，每一個版本所包含之衛星觀測資料也不一定相同，目前本案與內政部國土測繪中心討論後使用RTCM版本3.0。

圖3-2為以即時處理形式之廣域差分定位系統流程圖。首先本案將撰寫以TCP/IP通訊協定之網路連結程式與國土測繪中心建立連線並且接收多個e-GPS 基準站所傳遞之RTCM衛星觀測資料。運用TCP/IP通訊協定的優點



為此通訊協定可以保證兩端之訊息傳遞，倘若接收者端的連結完全失效，若傳遞中途有訊息遺失，則會發出訊息給傳送端請求再次傳送，其確保訊息傳遞的可靠性。為了將RTCM之衛星資料轉換為有意義的衛星資訊，本案必須先將RTCM資料格式進行解碼。而RTCM版本3.0為了節省傳遞時的頻寬，傳遞的資料會使用bit為單位，故在解碼時必須使用bit來做檔案的擷取而非一般的byte，接著將接收到的RTCM二進位資料轉換成有意義的衛星資訊，之後將此有意義的衛星資訊轉換成NSTB資料型態，由於RTCM版本3.0有缺少長效型星曆(Almanac data)及簡易電離層模組參數(Klobuchar data)資料，以及缺乏Doppler速率參數，這些都是廣域差分定位系統主控站所需要的資料。

在完成資料轉換後，本案預計將NSTB資料加上頭檔(header)與循環冗贅核對並進行封裝，封裝完成的NSTB資料藉由網路連結程式傳遞給廣域差分系統主控站，以進行主控站演算法，最後將估算之廣域差分修正訊息傳送給使用者。

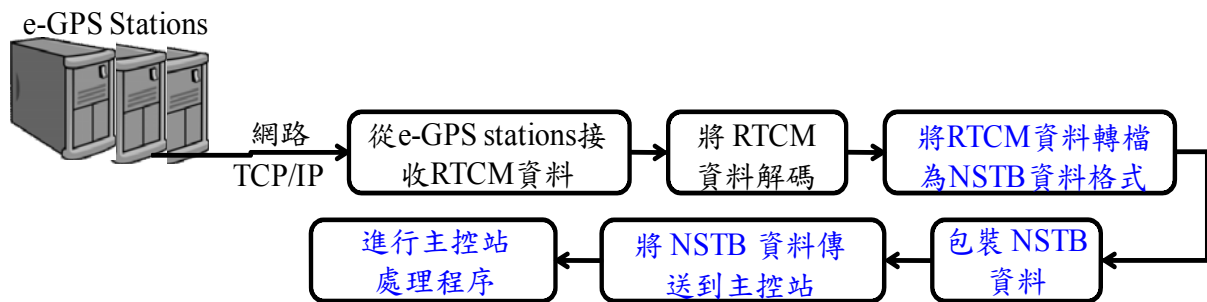


圖 3-2 以即時處理形式之廣域差分定位系統流程圖

本團隊在進行廣域差分定位系統主控站即時處理分析後，發現RTCM有部分缺項，而本團隊針對問題進行解決後，已可成功將RTCM資料轉換成NSTB資料，解決之方法主要為在長效型星曆(Almanac data)部分對於演算法的貢獻使用Ephemeris替代。而另外Doppler速率參數在L2頻段，本團隊主要為使用前後兩秒之虛擬距離的相差值取代，雖然估測出的Doppler速率有可能會比實際參數更加準確與平滑，但對於廣域差分定位系統主控站演算法而言，估測出的Doppler速率準確還是與真實不同。運用估測之Doppler速率會喪失參數的真實性，同時也很可能導致參考站接收機發生假警報，而失去廣域差分定位系統之完整性。另外簡易電離層模組參數資料，本案主要為使用接收機收收資料後輸入至系統即可，而更新週期為每六天一次。

表 3- 1 NSTB 資料格式 message type 1 (Range)

BYTE	DESCRIPTION	Size Bytes	Data type
1	Message type = 1	1	U Char
2-3	Receiver ID	2	U Short
4-5	Time of Validity - GPS Week	2	U Short
6-9	Time of Validity - milliseconds	4	U Long
10-11	TRS Epoch Counter	2	U Short
12	Number of dual frequency channels	1	U Char
13	Number of single frequency channels	1	U Char
	<i>Dual frequency channels data : 49 bytes/channel</i>		
	<i>Repeated for each dual frequency channel</i>		
14	Satellite PRN number	1	U Char
15-18	Satellite status flags (see bit field table next page)	4	U Long
19-26	L1 Pseudo-Range (PR1) (meters)	8	Double
27-34	L1 carrier range (meters)	8	Double
35-42	L2 carrier range (meters)	8	Double
43-46	L1/L2 differential group delay (PR2-PR1) (meters)	4	Float
47-50	L1 Doppler (DL1) (m/s)	4	Float
51-54	L2 Doppler (DL2) (m/s)	4	Float
55-58	L1 signal-to-noise ratio SNRL1 (dB-Hz)	4	Float
59-62	L2 signal-to-noise ratio SNRL2 (dB-Hz)	4	Float
	<i>Single frequency channels data : 29 bytes / channel</i>		
	<i>Repeated for each single frequency channel</i>		
n+			
1	Satellite PRN number	1	U Char
2-5	Satellite status flags ( see bit field table )	4	U Long
6-13	L1 Pseudo-Range (PR1) (meters)	8	Double
14-21	L1 carrier range (meters)	8	Double
22-25	L1 Doppler (DL1)* (m/s)	4	Float
26-29	L1 signal-to-noise ratio SNRL1 (dB-Hz)	4	Float
2 last	Checksum calculated on previous bytes - CCITT CRC	2	Short

表 3- 2 NSTB 資料格式 message type 20 (Ephemeris)

BYTE	DESCRIPTION	Size Bytes	Data type
1	Message type = 20	1	U Char
2-3	Receiver ID	2	U Short
4-5	Time of Validity - GPS Week	2	U Short
6-9	Time of Validity - milliseconds	4	U Long
	<b><i>Ephemeris Data for one satellite :</i></b>		
10	Satellite PRN number	1	U Char
11-14	Time navigation message was received (Absolute GPS time in seconds of week)	4	U Long
15	URA User range accuracy (see note 1)	1	U Char
16	SV Health Satellite health (discrete)	1	U Char
17-18	IODC Issue of Data, Clock (see note 2)	2	U Short
19	T <sub>GD</sub> Estimated group delay differential ( sec )	1	Char
20-21	t <sub>oc</sub> Clock data reference time ( sec )	2	U Short
22	a <sub>f2</sub> Clock data coefficient (sec/sec <sup>2</sup> )	1	Char
23-24	a <sub>f1</sub> Clock data coefficient (sec/sec)	2	Short
25-28	a <sub>f0</sub> Clock data coefficient (sec)	4	Long
29-32	M <sub>0</sub> Mean anomaly at reference time (semi-circles)	4	Long
33-34	Δn Mean motion difference from computed value (semi-circles/sec)	2	Short
35-38	e Eccentricity (dimensionless)	4	U Long
39-42	(A) <sup>1/2</sup> Square root of semi-major axis (meters <sup>1/2</sup> )	4	U Long
43-46	(OMEGA) <sub>0</sub> Longitude of ascending node of orbit plane at Weekly epoch (semi-circles)	4	Long
47-50	I <sub>0</sub> Inclination angle at reference time (semi-circles)	4	Long
51-54	ω Argument of perigee (semi-circles)	4	Long
55-58	OMEGADOT Rate of right ascension (semi-circles/sec)	4	Long
59-60	IDOT Rate of inclination angle (semi-circles/sec)	2	Short
61-62	C <sub>uc</sub> Amplitude of cosine harmonic correction term to argument of latitude (rad)	2	Short
63-64	C <sub>us</sub> Amplitude of sine harmonic correction term to argument of latitude (rad)	2	Short
65-66	C <sub>rc</sub> Amplitude of cosine harmonic correction term to orbit radius (meters)	2	Short
67-68	C <sub>rs</sub> Amplitude of sine harmonic correction term to orbit radius (meters)	2	Short
69-70	C <sub>ic</sub> Amplitude of cosine harmonic correction term to angle of inclination (rad)	2	Short
71-72	C <sub>is</sub> Amplitude of sine harmonic correction term to angle of inclination (rad)	2	Short
73-64	t <sub>oe</sub> Reference time Ephemeris (sec)	2	U Short
75	IODE Issue of data Ephemeris (see note 3)	1	U Char
76-77	Checksum CCITT CRC	2	Short



表 3- 3 NSTB 資料格式 message type 30 (Klobuchar)

BYTE	DESCRIPTION	Size Bytes	Data type
1	Message type = 30	1	U Char
2-3	Receiver ID	2	U Short
4-5	Time of Validity - GPS Week	2	U Short
6-9	Time of Validity - milliseconds	4	U Long
	<i>Klobuchar Data</i>		
10-13	Time Klobuchar data was received (Absolute GPS time in sec)	4	U Long
14	Alpha 0 Amplitude coefficient ( sec)	1	Char
15	Alpha 1 Amplitude coefficient ( sec/semi-circle)	1	Char
16	Alpha 2 Amplitude coefficient ( sec/semi-circle <sup>2</sup> )	1	Char
17	Alpha 3 Amplitude coefficient ( sec/semi-circle <sup>3</sup> )	1	Char
18	Beta 0 Period coefficient ( sec)	1	Char
19	Beta 1 Period coefficient ( sec/semi-circle)	1	Char
20	Beta 2 Period coefficient ( sec/semi-circle <sup>2</sup> )	1	Char
21	Beta 3 Period coefficient ( sec/semi-circle <sup>3</sup> )	1	Char
22-23	Checksum calculated on previous bytes - CCITT CRC	2	Short

表 3- 4 NSTB 資料格式 message type 32 (Almanac)

BYTE	DESCRIPTION	Size Bytes	Data Type
1	Message type = 32	1	U Char
2-3	Receiver ID	2	U Short
4-5	Time of Validity - GPS Week	2	U Short
6-9	Time of Validity - milliseconds	4	U Long
10	DWN Difference between GPS Week and Week of almanac	1	Char
11	$t_{oa}$ Time of almanac	1	U Char
12	Number of satellites in the record	1	U Char
	<b>Almanac Data : 28 Bytes * number of SVs</b>		
	Block repeated for each satellite in the record		
n+			
1	Satellite PRN number	1	U Char
2-3	e eccentricity	2	U Short
4-5	$\Delta i$ Delta inclination from 0.3 (semi-circles)	2	Short
6-7	OMEGADOT Rate of right ascension (semi-circles/sec)	2	Short
8-11	$(A)^{1/2}$ Square root of semi-major axis (meters <sup>1/2</sup> )	4	U Long
12-15	$(\Omega)_0$ Longitude of ascending node (semi-circles)	4	Long
16-19	$\omega$ Argument of perigee (semi-circles)	4	Long
20-23	$M_0$ Mean anomaly at reference time (semi-circles)	4	Long
24-25	$a_{f0}$ Clock data coefficient (seconds)	2	Short
26-27	$a_{f1}$ Clock data coefficient (seconds/sec)	2	Short
28	Health	1	U Char
2 last	Checksum CCITT CRC	2	Short

## § 3-2 廣域差分定位系統方法與技術標準

### § 3-2-1 參考站處理程序與衛星共視時間傳遞

在整個主控站程序當中，首要的步驟即為參考站處理程序以及衛星共視時間傳遞。對本案而言，各e-GPS基準站皆只有應用其接收、傳送資料的能力，故在觀測量傳至主控站時，主控站必須先將接收到的參考站資訊，先進行前段所提到之資料格式轉換，再分別進行各參考站觀測量之參考站處理程序。此參考站處理程序之目的為消除對流層、電離層及多路徑造成之誤差；在完成參考站處理程序後，必須要解決各參考站之震盪器不同步的問題，而此為衛星共視時間傳遞之主要目的。如此一來才可將所有接收到的資料，得到初步的彙整，使處理過後之衛星觀測量可以使用於廣域差分定位系統之誤差模組之估算。

#### § 3-2-1-1 參考站處理程序

參考站處理程序的目的為估算各參考站之電離層誤差，對流層誤差，以及計算衛星時錶及星曆誤差所運用到之重要參數。圖3-3為參考站處理程序之流程圖。首先主控站利用參考站之衛星觀測量計算參考站之可視衛星之衛星位置，接著計算出專屬於此參考站的對流層誤差，而在對流層誤差計算時必須要產生對流層之誤差模組，本案使用的對流層模組為Saastamoinen模組(Saastamoinen, 1973)，接著利用參考站的經緯度與Black Eisner對流層映射公式進而計算出對流層誤差(Black, 1978)。

完成參考站之對流層估測後，主控站必須計算出電離層對於參考站觀測量的影響。而在參考站電離層之誤差可以利用雙頻觀測量計算出電離層誤差。使用雙頻的觀測量所得到的電離層的量測值將可避免電碼與載波分散(code-carrier divergence)的異常現象，而又由於電離層變化較慢，因此能夠較容易偵測週波脫落(cycle slips)之情形(Chao, 1995)。電離層的量測值可由L1、L2的虛擬距離與載波相位的量測值之線性組合而撰寫成：

$$I_{L1,PR} \equiv \frac{PR_{L2} - PR_{L1}}{\gamma - 1} = I_{L1} + v_{PR} \quad (3.1)$$

$$I_{L1,\phi} \equiv \frac{\phi_{L1} - \phi_{L2}}{\gamma - 1} = I_{L1} + Amb + v_{\phi} \quad (3.2)$$

$$I_{L1,L1} \equiv \frac{PR_{L1} - \phi_{L1}}{2} = I_{L1} + \frac{N_1\lambda_1}{2} + v_{L1} \quad (3.3)$$

其中 $I_{L1}$ 是L1上的電離層誤差， $\gamma$ 為常數，其值為1.647。公式3.1中 $I_{L1,PR}$ 表示利用雙頻之電碼觀測量組合；公式3.2中 $I_{L1,\phi}$ 為利用雙頻之載波觀測量組合；而公式3.3中 $I_{L1,L1}$ 則是經由公式2.1及2.3相減，為計算電離層誤差之重要參數。 $Amb$ 為L1與L2載波相位所組成的不確定週波數，由公式2.3和2.4中的 $N_1\lambda_1$ 與 $N_2\lambda_2$ 相減而成，因 $N_1\lambda_1$ 與 $N_2\lambda_2$ 無法直接得知其正確的數值，故在公式3.2中 $Amb$ 為未知數；在公式3.1到3.3之中， $v_{PR}$ 、 $v_{\phi}$ 、 $v_{L1}$ 代表虛擬距離上的雜訊相減之後的結果(可參考公式2.1到2.4)，其雜訊內容含有複合式之多路徑及接收器之熱噪誤差，大小順序為： $v_{PR} > v_{L1} > v_{\phi}$ 。由於上述之未知數尚未釐清，故利用公式3.1與3.2計算出之電離層誤差並未非常準確。在參考站處理程序的最後一個步驟，即是使用雙頻載波平滑演算法，計算出上述之未知數，使得電離層誤差之估算可以更加準確。

在接收器熱噪誤差的部分主要是使用平均的方式去除，而 $N_1\lambda_1$ 與 $Amb$ 的影響則是使用濾波器估算出估算值，再消除 $N_1\lambda_1$ 與 $Amb$ 的影響得到，多路徑效應之影響，則是使用載波平滑法來緩和。以上消除未知數之方法即是雙頻載波平滑演算法，透過此法即可估測更準確之電離層誤差，並計算出消除對流層、電離層、多路徑、接收器熱噪誤差之衛星觀測量，而此雙頻載波平滑化之算法較為複雜，故在3-2-1-1節中詳細討論。

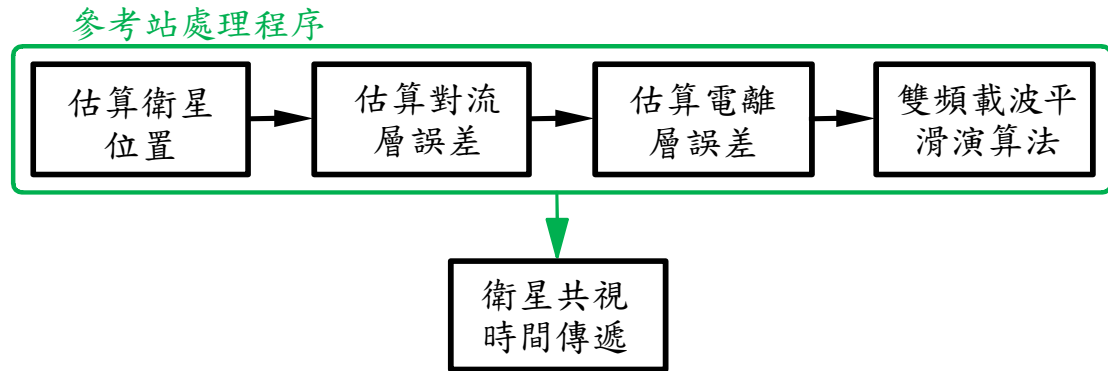


圖 3-3 參考站處理程序

### § 3-2-1-1-1 雙頻載波平滑演算法

雙頻載波平滑演算法是為了求得平滑後且消除電離層影響的虛擬距離 (ionospheric-free pseudorange,  $PR_{L1}$ )，此虛擬距離為建立電離層模組時的重要參數。圖 3-4 為利用雙頻載波平滑濾波演算法之流程圖。

雙頻載波平滑演算法的原理為收到的衛星訊號可分為相位的量測值與電碼量測值。由於載波相位量測值受到接收器與多重路徑影響較電碼的量測值小，故利用載波相位量測值所定位的結果會比較集中，然而其缺點為載波相位量測值不一定準確；電碼量測值則較載波相位量測值準確，但其缺點為受到接收器所收到之雜訊與多重路徑影響較大。為結合載波與電碼之優點而用載波平滑法來降低量測值的多路徑及雜訊干擾誤差，並獲得到準確且平滑的結果。

藉由公式 3.1 與 3.2，主控站即可開始雙頻載波平滑濾波演算法的流程：首先利用較低雜訊的  $I_{L1,\phi}$  來對  $I_{L1,PR}$  進行載波平滑化(carrier smoothing)，而產生  $\hat{I}_{smth}$  與其變異數( $\varepsilon_{smth}$ )。在沒有發生週波脫落的情形， $N_1\lambda_1$  將維持不變，再藉由移動平均濾波器(moving average filter)整合  $\hat{I}_{smth}$  與公式 3.3 計算出的  $I_{L1,L1}$  來估算  $N_1\lambda_1$ 。最後將 L1 載波相位量測值( $\phi_{L1}$ )減去  $\hat{I}_{smth}$  與  $N_1\lambda_1$ ，以得到消除掉電離層影響的虛擬距離(Chao, 1995)。

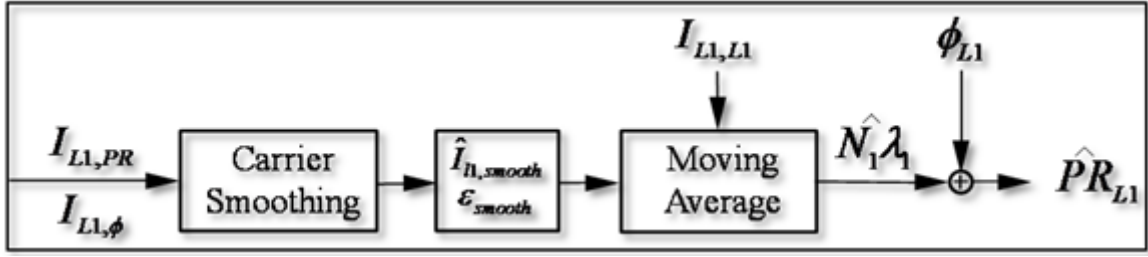


圖 3-4 雙頻載波平滑演算法

### § 3-2-1-2 衛星共視時間傳遞

來自於各個參考站經過載波相位平滑後之虛擬距離的殘餘誤差將被使用為觀測量來進行處理。在此，主控站端收到來自各個不同參考站的資料，各個不同參考站又包含著來自各衛星的觀測量，再進行處理時，為使來自各參考站之觀測量可以獨立計算，需消除各參考站接收器和主控站之間的時間誤差，此為衛星共視時間傳遞所要達成的目標。而消除各參考站接收器時間的誤差之方法則是，先估算各個參考站時鐘誤差( $b_i$ )以產生穩定的參考站時鐘並選一參考站時鐘做為共同的基準時間( $\hat{b}_l$ )。

圖 3-5 為衛星共視時間傳遞之流程，一開始將來自同一個衛星，不同參考站之虛擬距離的殘餘值進行一次差分(single difference)得到：

$$\Delta^j_{i,l} = \Delta\rho^j_i - \Delta\rho^j_l = \Delta R^j \cdot (l^j_i - l^j_l) + \Delta b_{i,l} + v^j_{i,l} \quad (3.4)$$

其中 ( $l^j_i - l^j_l$ ) 為兩個參考站對同一顆衛星直線距離的差； $\Delta R^j$  即為星曆的軌道誤差，此兩項由於參考站的分布與衛星廣播星曆的品質比兩參考站的時間誤差的差( $\Delta\hat{b}_{i,l}$ )較小，因此可改寫成：

$$\Delta\hat{b}_{i,l} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \Delta^j_{i,l} \quad (3.5)$$

$k$  為兩參考站所共同觀測到的衛星個數，如此可以降低星曆誤差與觀測量的雜訊的影響，接著再通過卡曼濾波器(Kalman filter)避免不連續之情況，使結果較為平滑。在估算出  $\Delta\hat{b}_{i,l}$  與前面所得到的共同基準時間  $\hat{b}_l$ ，同步後的虛擬距離殘餘誤差將可表示為：

$$\Delta\tilde{\rho}^j_i = \Delta\rho^j_i - \hat{b}_{i,l} - \hat{b}_l = \Delta R^j \cdot l^j_i - \Delta B^j + v^j_i \quad (3.6)$$

可以發現虛擬距離殘餘誤差將只留下衛星星曆誤差項、衛星時鐘誤差項及雜訊，而虛擬距離殘餘誤差的變異數將變為：

$$\sigma^2_{\tilde{\rho}_i^j} = \sigma^2_{\rho_{ii}^j} + \sigma^2_{\hat{b}_{i,j}} + \sigma^2_{\hat{b}_i} \quad (3.7)$$

在未經過衛星共視時間傳遞處理前，所有的殘餘誤差不但沒有對同一時間同步，同時也表示各個衛星的星曆與時鐘誤差無法獨立出來，在進行此誤差估算時較不易進行(Kee, 1993)( Schempp, et.al., 2008)。因此衛星共視時間傳遞在估算星曆與時鐘誤差中有著其重要性。經過上述之步驟後，即完成所有參考站的時間同步，完成參考站處理程序與 CVTT 後，在虛擬距離殘餘誤差中，衛星星曆與時鐘將是主要影響虛擬距離的殘餘誤差的部份。

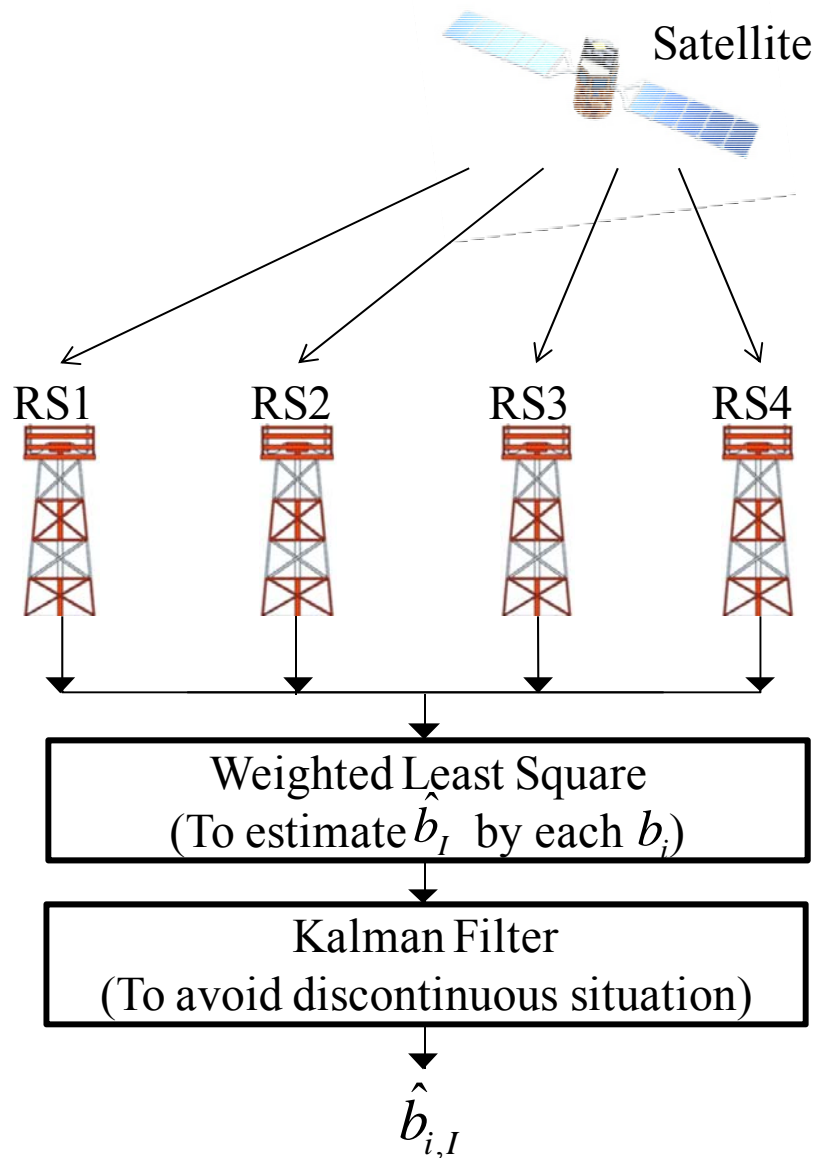


圖 3-5 衛星共視時間傳遞之流程

### § 3-2-2 研發廣域衛星差分定位系統之衛星星曆與時錶誤差演算法

利用參考站處理程序在消滅掉區域性的誤差與電離層的影響後，接著運用衛星共視時間傳遞來同步並估算出參考站之間的時間誤差的差值，接著系統將計算衛星星曆與時錶誤差。



### § 3-2-2-1 星曆軌道誤差之估算

在計算衛星星曆誤差之前，必須先介紹所需的觀測量。由於星曆與時鐘的修正量並不是同一時間更新的，其中衛星時鐘的修正量更新較為頻繁，故將星曆誤差與時鐘誤差分開估算可降低運算量與傳送服務訊息的頻寬。

圖 3-6 為產生衛星軌道修正量之流程，為將星曆與衛星之時鐘誤差分離，將兩個參考站所共同觀測的衛星由衛星共視時間傳遞後的殘餘誤差作差分 (single difference)，把衛星時鐘的誤差 ( $\Delta B^j$ ) 消除，如公式 3.8。

$$\Delta \tilde{\rho}_i^j - \Delta \tilde{\rho}_m^j = \Delta R^j \cdot (l_i^j - l_m^j) + \varepsilon_i^j \quad (3.8)$$

公式 3.8 中的下標  $m$  為擁有最小變異數 ( $\sigma_m^2$ ) 之參考站， $\Delta R^j$  表示未知的星曆誤差，並且  $E[(\varepsilon_i^j)^2] = E[(v_i^j)^2] + E[(v_m^j)^2] = (\sigma_i^j)^2 + (\sigma_m^j)^2$ 。將 3.8 式改寫為矩陣的型式如下：

$$Z = H \cdot \Delta R^j + v \quad (3.9)$$

$$\text{其中 } Z = \begin{bmatrix} \Delta \tilde{\rho}_1^j - \Delta \tilde{\rho}_m^j \\ \vdots \\ \Delta \tilde{\rho}_{N-1}^j - \Delta \tilde{\rho}_m^j \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} l_1^j - l_m^j \\ \vdots \\ l_{N-1}^j - l_m^j \end{bmatrix}, \text{cov}(v) = W, N \text{ 為同步後參考}$$

站的個數， $Z$  與  $H$  皆由  $(N-1)$  個觀測量所組成的矩陣，而雜訊  $v$  平均為 0 而變異數為  $W$ 。

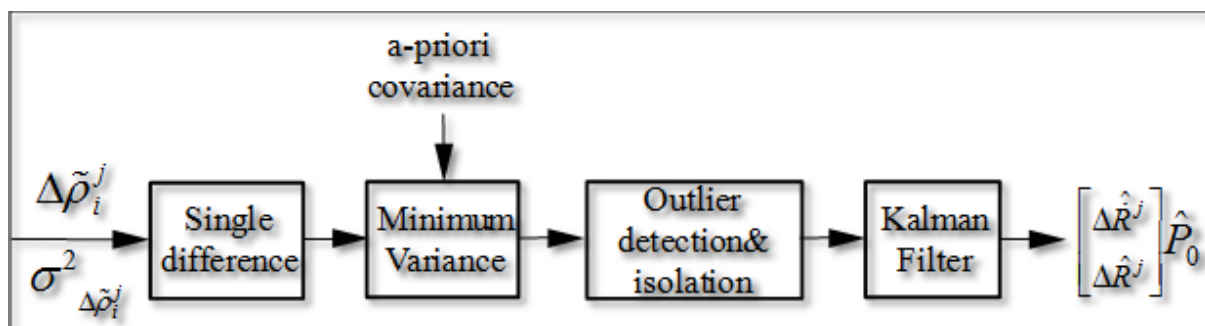


圖 3-6 產生衛星軌道修正量之流程

在計算衛星軌道的誤差時，使用的是最小變異數 (Minimum-Variance,

MV)演算法(Tsai, 1999)。由於能夠監測同一個衛星之參考站數目會隨著衛星的移動而改變，使得公式 3.9 的線性系統可能為欠定 (under-determined)或過定 (over-determined)系統，使用的 MV 演算法將可滿足這兩種情況(Tsai, et.al., 1995; Tsai, 1999)。

在一般的情況下，對於未知的星曆誤差，可以用前一時刻所估算出的結果以求其平均與共變異數，再加入 MV 進行估算，接著進行離群值的偵測與隔離，最後再考慮系統的動態後，經過卡曼濾波器，得到衛星軌道之修正量與其變異數。下面將用狀態向量(state vector)  $x$  來表示未知的星曆誤差。

由前一時刻所估算出的結果  $E[x] = \bar{x}$ ， $E[xx^T] = \Lambda$ ，MV 可由其成本函數(cost function)來求得在包括  $\Lambda$  與  $W$  可寫成公式 3.10 與 3.11(Tsai, et.al., 1995 and Tsai, 1999)：

$$\hat{x}_{MV} = (\Lambda^{-1} + H^T W^{-1} H)^{-1} H^T W^{-1} z \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \hat{P}_{mv} &= E[(x - \hat{x}_{MV})(x - \hat{x}_{MV})^T] \\ &= (\Lambda^{-1} + H^T W^{-1} H)^{-1} H^T W^{-1} H (\Lambda^{-1} + H^T W^{-1} H)^{-1} \\ &= (\Lambda^{-1} + H^T W^{-1} H)^{-1} \end{aligned} \quad (3.11)$$

經由矩陣求逆引理(matrix inversion lemma) (Alvarado, 1999)可把公式 3.10 與 3.11 改寫為

$$\hat{x}_{MV} = \Lambda H^T (H \Lambda H^T + W)^{-1} z \quad (3.12)$$

$$\hat{P}_{mv} = \Lambda - \Lambda H^T (H \Lambda H^T + W)^{-1} H \Lambda \quad (3.13)$$

自公式 3.9 即可發現，觀測量的數目並不會因小於或大於估測的未知變數之數目使此演算法無法運作，只要觀測量大於零，且  $W$  為正定矩陣(positive define matrix)，使  $(H \Lambda H^T + W)$  為非奇異矩陣(nonsingular matrix)即可。MV 演算法被觀測量的幾何分布與雜訊的影響較低，每一個新觀測量將用來調整之前所估測的結果。

總結此章節，廣域差分定位系統之星曆誤差估算為利用各參考站對衛星虛擬距離的殘餘誤差與上一筆收到資料的星曆誤差，再由最小變異數演算法及卡曼濾波器來估算即時的星曆誤差。

### § 3-2-2-2 衛星時鐘誤差之估算

產生星曆軌道修正量後，接著必須討論衛星時鐘誤差的觀測量。在同步後的虛擬距離殘餘值中，主要由衛星星曆與時鐘誤差兩項所組成，因此用前一節估算出之軌道修正量，與虛擬距離殘餘值來比較而得：

$$Z_{c,i}^j = \Delta \hat{R}^j \cdot l_i^j - \Delta \tilde{\rho}_i^j = \Delta B^j + n_i^j \quad (3.14)$$

$$\sigma_{c,i}^{j,2} = l_i^{jT} \cdot \hat{P}_3 \cdot l_i^j + \sigma_{\Delta \tilde{\rho}_i^j}^2 \quad (3.15)$$

同樣的，上標  $j$  為第  $j$  個衛星，下標  $i$  為第  $i$  個參考站。其中  $\hat{P}_3$  為估算星曆誤差後所產生之共變異數矩陣的上三角矩陣，維度為  $3 \times 3$ 。再將公式 3.14 改寫為矩陣的型式：

$$Z_c = H_c \Delta B^j + n_c \quad (3.16)$$

$H_c$  是由單位行向量所組成，其維度為觀測量數目  $\times 1$ ； $n_c$  為觀測量之雜訊，其共變異數矩陣 ( $W_c$ ) 的對角線元素將由公式 3.16 所提供。因系統為線性系統，且未知數只有一個，直接使用加權最小平方法 (Weighted Least Square, WLS) 來估算衛星時鐘誤差，如下式：

$$\Delta \hat{B}_{WLS}^j = (H_c^T W_c^{-1} H_c)^{-1} H_c^T W_c^{-1} Z_c \quad (3.17)$$

$$\hat{P}_c^j = (H_c^T W_c^{-1} H_c)^{-1} \quad (3.18)$$

圖 3-7 為產生衛星時鐘修正之流程圖，經過加權最小平方法將結果進行離群值的偵測與隔離，以免離群值影響了估算結果，再經過卡曼濾波器，得到衛星時鐘之修正量與其變異數。

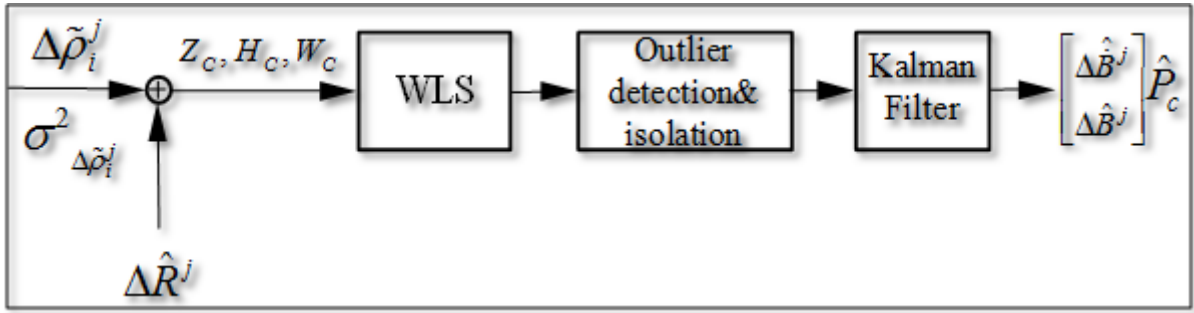


圖 3-7 產生衛星時鐘修正量之流程圖

### § 3-2-2-3 離群值的偵測與隔離

無論在衛星星曆或時鐘的估算中，皆會將離群值隔離以提供具有完整性之修正量，並避免此雜訊較大的觀測點影響結果。對於大多數的情形，在估算星曆與時鐘誤差時皆為過定系統(觀測量數目  $M$  大於未知數  $N$ )，此時將可使用卡方檢定來判斷是否為離群值(Sanders, 2009)。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{i=M} \frac{(z_i - \tilde{z}_i)^2}{\sigma_i^2} \quad (3.19)$$

在星曆誤差的判定中  $\tilde{z}_i = H_i \hat{x}_{MV}$ ，而在時鐘誤差為  $\tilde{z}_i = \Delta\hat{B}_{WLS}^j$ 。其自由度 (Degree Of Freedom, DOF) 為  $M-N$ ，本案將門檻值設定假警報(false alarm)的機率為  $10^{-3}$ ，再使用 t 檢定(Press, et.al., 1992)來隔離離群值。如圖 3-8，判定觀測量是否為離群值時，將依序隔離第  $i$  個觀測量後，先計算出 t 分布(t distribution)下的  $\chi^2$ ，在找出最大的  $t_{(i)}$ ，並與門檻值做比較以重新調整修正量與共變異數。

$$\chi^2_{(i)} = \sum_{k=1, k \neq i}^{k=M} \frac{(z_k - \tilde{z}_{k,(i)})^2}{\sigma_k^2} \quad (3.20)$$

$$t_{(i)} = \frac{z_i - \tilde{z}_{i,(i)}}{\sigma_i} / \sqrt{\chi^2_{(i)} / (M - N - 1)} \quad (3.21)$$

下標  $(i)$  表示第  $i$  個觀測量被隔離後的結果，其中在星曆與時鐘估算中  $\tilde{z}_{j,(i)}$  分別表示  $H_j \hat{x}_{MV,(i)}$  與  $\Delta\hat{B}_{WLS,(i)}^j$ ，而  $\tilde{z}_{i,(i)}$  為  $H_i \hat{x}_{MV,(i)}$  與  $\Delta\hat{B}_{WLS,(i)}^j$ 。當下面的兩個條件同時成立時，表示第  $i$  個觀測量為離群值，則  $z_i$  將會被隔離不參與

修正量的產生，並會將修正量  $\hat{x}_{MV}$  與  $\Delta\hat{B}_{WLS}^j$  將被替換為  $\hat{x}_{MV,(i)}$  與  $\Delta\hat{B}_{WLS,(i)}^j$ ；共變異數  $\hat{P}_{mv}$  與  $\hat{P}_{c,WLS}^j$  將替換為  $\hat{P}_{mv,(i)}$  與  $\hat{P}_{c,WLS,(i)}^j$ 。因為將排除第  $i$  個觀測量，故自由度由原來的  $M-N$  變為  $M-N-1$ ，若第  $i$  項觀測量為離群值，則其  $\chi^2_{(i)}$  將能比門檻值小，相對的在  $t$  分布中， $t_{(i)}$  將會大於門檻值，以此來排除離群值的觀測量。

在各別產生衛星星曆與時間修正量後，為了保護並讓使用者知道其修正後的殘餘誤差的大小，運用在估算衛星星曆與時間的共變異數來產生使用者殘餘誤差的信心範圍(User Differential Range Error, UDRE)。下一節將介紹 UDRE 的產生方法。

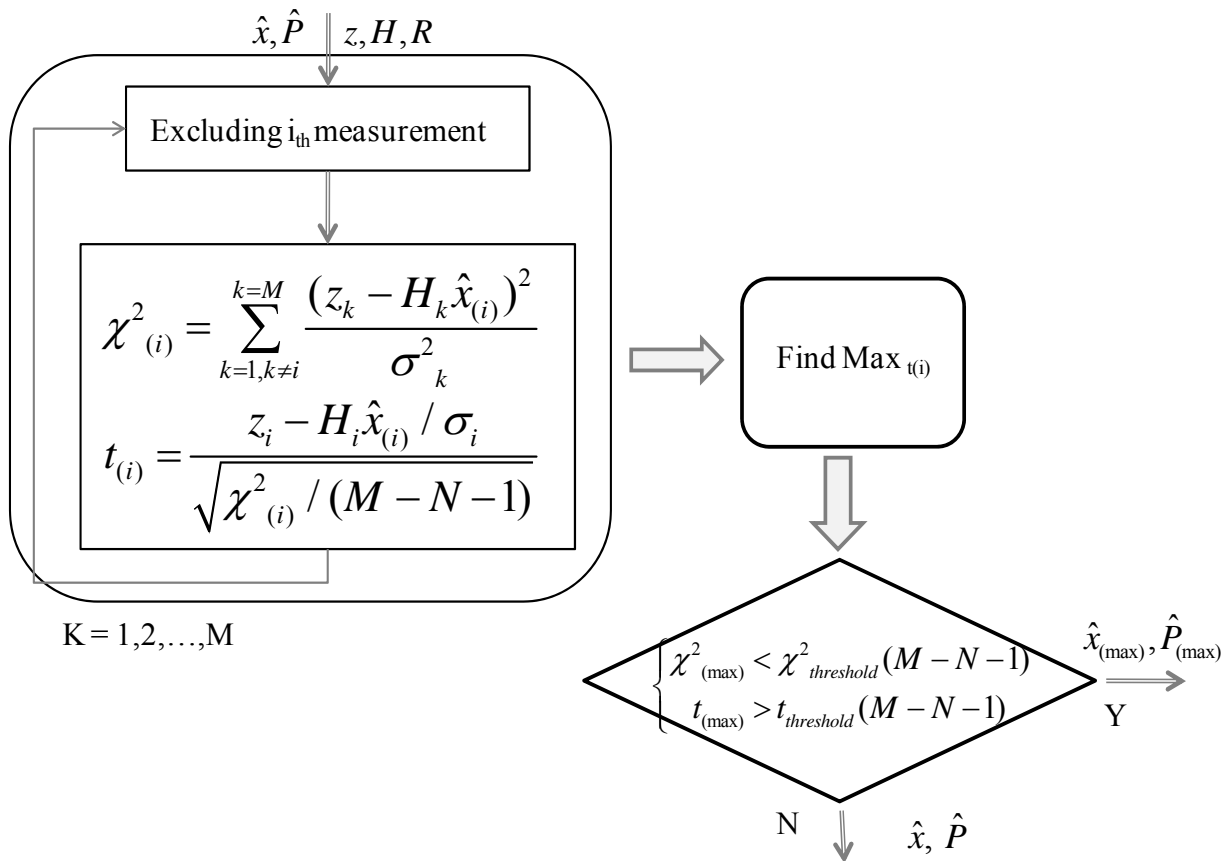


圖 3-8 判定離群值與隔離之流程圖

### § 3-2-2-4 產生使用者殘餘誤差的信心範圍

在此將用 UDRE 來表示星曆與時間修正後的殘餘誤差範圍。而在廣域

差分定位系統的服務訊息中會將以使用者殘餘誤差的信心範圍指標(User Differential Range Error Index, UDREI) 來傳送給使用者，如表 3-5(RTCA/DO-229)。

表 3-5 UDRE 與 UDREI 之對照表

UDREI	UDRE (Meters)	$\sigma_{UDRE}^2$ (Meter <sup>2</sup> )
0	0.75	0.0520
1	1.0	0.0924
2	1.25	0.1444
3	1.75	0.2830
4	2.25	0.4678
5	3.0	0.8315
6	3.75	1.2992
7	3.5	1.8709
8	5.25	2.5465
9	6.0	3.3260
10	7.5	5.1968
11	15.0	20.7870
12	50.0	230.9661
13	150.0	2078.695
14	Not Monitored	Not Monitored
15	Do Not Use	Do Not Use

使用加權最小平方法來產生 UDRE，其流程如圖 3-9，圖中  $R$  為同步後觀測量之共變異矩陣， $\hat{P}$  是由估算星曆所產生的共變異矩陣( $\hat{P}_0$ )與估算衛星時鐘產生的共變異矩陣( $\hat{P}_c$ )合成而來的，而  $H$  是由參考站到衛星的單位向量所組成。在統合觀測量、星曆與時鐘誤差三者的共變異矩陣，新的共變異矩陣可寫成：

$$P_{UDRE} = R + H\hat{P}H^T \quad (3.22)$$

而運用 WLS，公式 3.23 將可得到  $\sigma^2_{UDRE}$ 。

$$\sigma^2_{UDRE} = \left( \sum_{i=1}^{i=m} \frac{1}{P_{UDRE,ii}} \right)^{-1} \quad (3.23)$$

其中， $P_{UDRE,ii}$  為  $P_{UDRE}$  共變異矩陣中的第  $i$  個對角線元素。

為確認所產生的 UDRE 能夠包含經過修正衛星星曆與時間後的殘餘誤差，產生的修正量需在經過卡方分布來進行適合度檢定(goodness of fit) (Walpole, et.al., 2007)，如下式 3.24。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{i=M} \frac{\Delta\tilde{\rho}_i^j - \Delta\hat{R}^j \cdot l_i^j + \Delta\hat{B}^j}{\sigma^2_{\Delta\tilde{\rho}_i^j}} \quad (3.24)$$

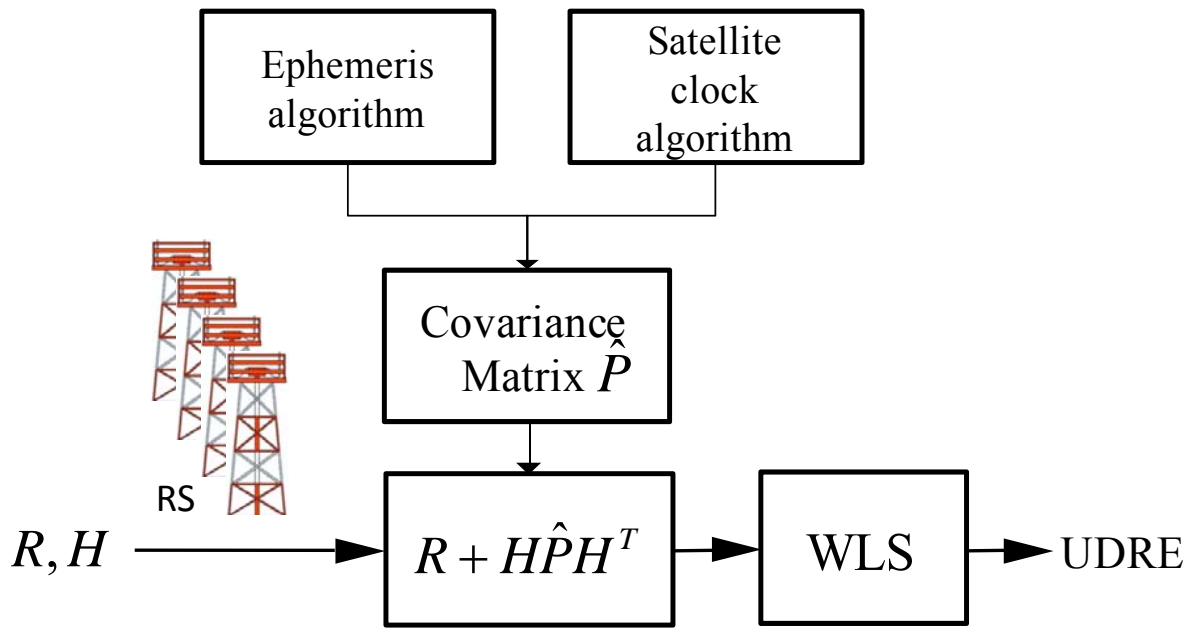


圖 3-9 計算 UDRE 流程圖

如圖 3-10，估算出第  $j$  個衛星的修正量 ( $\Delta\hat{R}^j, \Delta\hat{B}^j, \text{UDRE}^j$ ) 與同步後的虛擬距離殘餘誤差進行卡方檢定，當無法滿足卡方分布時，表示在觀測量 ( $\Delta\tilde{\rho}_i^j$ ) 中還留有許多未被修正的殘餘誤差，此時為了保護使用者，將會再調整 UDRE (Tsai, et.al., 1995; Tsai, 1999)，再對照表 3.5 量化後轉換成 UDREI。其中虛擬距離修正誤差 ( $e^j$ ) 為：

$$e^j = \Delta\tilde{\rho}_{rs}^j - \Delta\hat{R}^j \cdot l_{rs}^j + \Delta\hat{B}^j \quad (3.25)$$

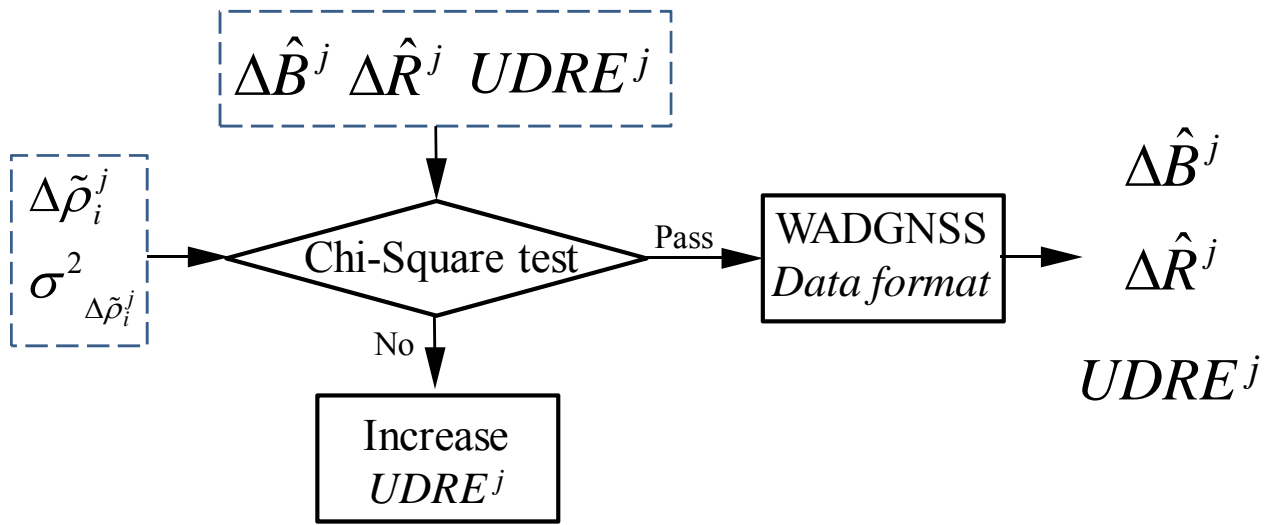


圖 3-10 驗證 UDRE

### § 3-2-3 研發廣域衛星差分定位系統之電離層格點誤差演算法

雖然在參考站處理程序已有使用雙頻觀測量計算電離層對參考站所造成的誤差，但此誤差只適用於參考站本身。為提供大範圍之使用者，廣域差分定位系統之演算法將電離層誤差建立為一電離層模組，而使用者可藉由電離層模組來計算出適當的修正量。電離層之模組利用參考站的雙頻觀測量來產生位於電離層格點的垂直誤差與其殘餘誤差之信心範圍(Grid Ionospheric Vertical Error, GIVE)，這些格點為每 5 度或 10 度的經緯度為一格，並運用一階平面擬合(planar fit)將格點周圍的雙頻觀測量估算出電離層垂直誤差，而使用者即可依周遭的電離層格點來內差出修正量。

電離層為大氣層中最外面的一層，由許多帶電離子所形成，衛星訊號在穿過電離層時會受到影響而偏折，造成誤差。其範圍約在地表 60 公里到 1000 公里，主要是與在電離層中全電子含量(Total Electron Content, TEC)有關，且全電子含量會依地球磁場及太陽的影響有很大的變化。對於單頻使用者而言，電離層是影響最大且不易完全消除的一項誤差源。廣域差分定位系統主要修正的計算含有兩大部份，分別是在上一節已經有討論的衛星星曆及時鐘，以及接下來要介紹的電離層誤差，以下將介紹如何產生電離層修正量及信心範圍。



### § 3-2-3-1 電離層薄球殼模型

使用廣域差分定位系統電離層模組將電離層考慮為一位於地表上 350 公里的薄球殼(thin shell)，因為在這個高度之電離層影響最為劇烈，並且為了將傾斜的電離層誤差轉換成垂直的電離層誤差，首先利用衛星與接收器的直線距離方向(Line of Sight, LOS)，找出衛星訊號傳送與電離層薄殼交會之點，即電離層的穿刺點(Ionospheric Pierce Point, IPP)，再利用斜距因子(Oblivity Factor, OF)來轉換穿刺點上之傾斜的電離層延遲誤差成為垂直電離層延遲誤差，公式 3.2 表示為傾斜因子：

$$OF = \frac{\text{slant delay}}{\text{vertical delay}} = \left\{ 1 - \left[ \frac{R_e}{R_e + h} \cos(el) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3.27)$$

$R_e$  是地球半徑為 6378.137 公里， $h$  是電離層薄殼的高度也就等於 350 公里， $el$  是接收器看衛星的仰角。圖 3-11 是電離層的穿刺點幾何位置(Chao, et.al, 1995)。在前面已有提到，電離層的影響與頻率有關，對於雙頻的接收器，可運用 L1 與 L2 的觀測量來直接得到電離層誤差，則電離層垂直誤差可由斜距因子來表示之：

$$I_{\text{vertical}} = \frac{I_{\text{slant}}}{OF} \quad (3.28)$$

對於一般單頻的使用者可以使用全球衛星導航系統所廣播的導航訊息中 Klobuchar 模組(Klobuchar, 1986)之參數來消滅掉大約 60%的電離層誤差(Parkinson and Spilker, 1996)。此模組用 8 個參數來表示電離層空間與時間的變化，它假設電離層在晚上時的影響最小，並利用餘弦函數來近似白天電離層的修正量，再代入電離層穿刺點的位置後，即可得到 Klobuchar 模組的電離層修正量。但若電離層中的全電子含量發生非預期的大量提升，即為電離層風暴時，單頻使用者不容易發現自己已受到影響，而有較大的定位誤差。故廣域差分定位系統主站所產生的電離層格點模組是廣域差分定位系統主要修正的影響之一，該模組除了產生在已定義的格點之修正量外，還會提供用電離層格點修正後殘餘值的信心範圍來表示廣域差分定位系統服務之完整性。

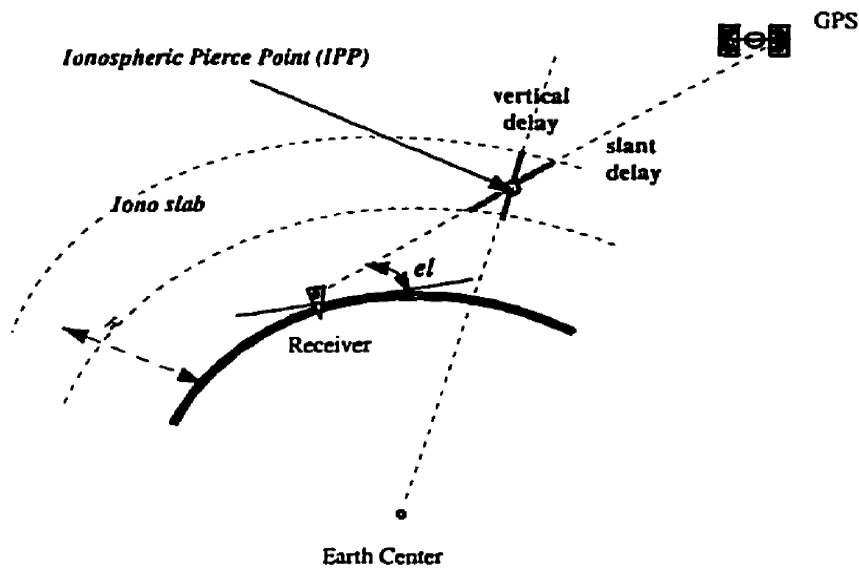


圖 3-11 電離層穿刺點位置 (Chao, 1997)

### § 3-2-3-2 廣域差分定位系統電離層格點模組

電離層格點模組是由全部雙頻觀測量所得到位於電離層穿刺點上的垂直修正量接著經過加權最小平方法所產生的。首先將利用斜距因子穿刺點上的電離層修正量與變異數轉換成垂直方向的修正量和變異數，接著由各個穿刺點上的修正量與變異數經由加權最小平方法來估算格點上的電離層垂直修正量與修正後殘餘值的信心範圍。而使用者在接收到廣域差分定位系統的服務訊息後，依照廣域增強系統使用者操作執行標準來進行內差，得到使用者的穿刺點上之修正量與電離層穿刺點的垂直誤差 (User Ionospheric Vertical Error, UIVE)，最後再由斜距因子將垂直方向的修正量與 UIVE 轉換為量測距離上的方向(衛星到使用者之方向)，如此一來使用者即可消滅電離層在虛擬距離上的影響，如下圖 3-12。

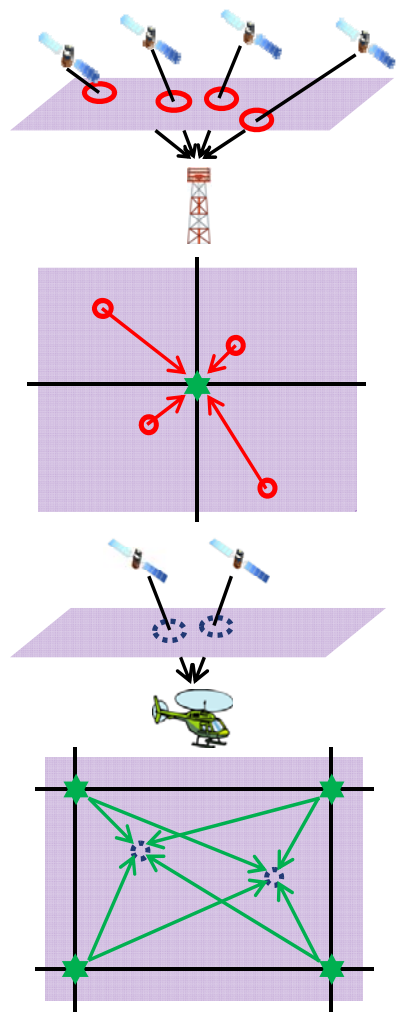
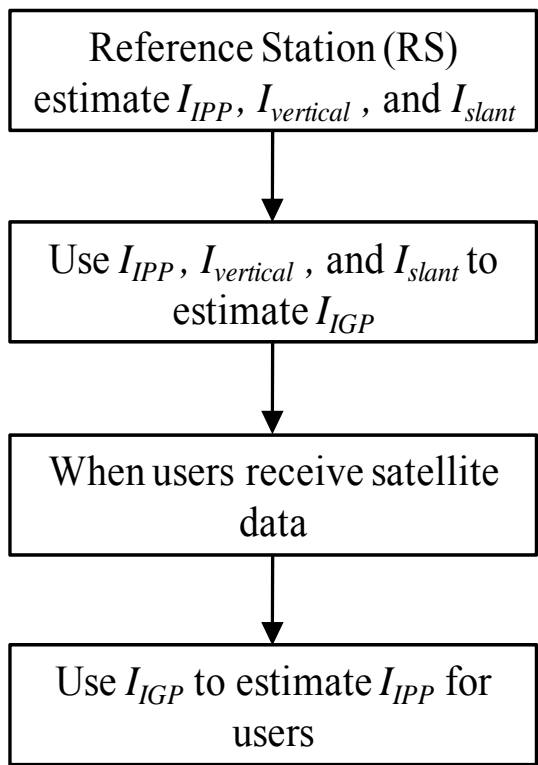


圖 3-12 廣域差分定位系統計算電離層格點模組流程圖

為了產生電離層垂直修正量的變異數，首先來討論在本模組中，斜距因子影響產生電離層修正量的項目。系統可由雙頻訊號之虛擬距離，進而得到電離層的修正量(如公式 3.1)。另一方面，由於本模組將電離層考慮為薄球殼，並且假設其影響只在距離地表 350 公里處，運用斜距因子來將原本為虛擬距離方向上的修正量轉換成垂直之修正量，對於低仰角的衛星，經過電離層的路徑較長，影響也較大。公式 3.29 即為垂直修正量之變異數之組成，其中包括載波相位平滑、硬體頻差延遲誤差及斜距因子的轉換。後面的指數函數表示低仰角衛星之電離層觀測量在斜距因子轉換時所造成的誤差。此垂直修正量之變異數將會是後面加權最小平方方法的權重。

$$\sigma_{meas}^2 = \frac{(\sigma_{smth}^2 + \sigma_{IFB}^2)}{OF^2} \cdot \left\{ 1 + 0.3 \exp \left[ - \left( \frac{el}{40} \right)^2 \right] \right\} \quad (3.29)$$

### § 3-2-3-3 估算電離層格點修正量與信心範圍

由各個參考站所收集到位於電離層穿刺點的修正量與前面所估算出的變異數，將使用加權最小平方法來估算出位於電離層格點上的修正量與信心範圍 *GIVE*，如公式 3.30 與 3.31。

$$\hat{I}_G = \frac{\sum_{i=1}^k \hat{I}_i \cdot \frac{1}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\sigma_i^2}} \quad (3.30)$$

$$GIVE = 3.29 / \sum_{i=1}^k \frac{1}{\sigma_i^2} \quad (3.31)$$

其中  $\sigma_i$  即為公式 3.29 中的  $\sigma_{meas}$ 。由於各個穿刺點是散布在各處的，因此需要將這些位於電離層格點周遭的穿刺點轉換到格點上。運用 Klobuchar 模組來找到位於穿刺點上與格點上的修正量之間的比例，如公式 3.32 所示。

$$\hat{I}_i = I_i \cdot \frac{I_{Klobuchar,G}}{I_{Klobuchar,i}} \quad (3.32)$$

另一方面，電離層穿刺點上的修正量也會因所在的距離與目標估算的電離層格點越遠，誤差亦會增大，如公式 3.33，其中  $\Delta$  為電離層穿刺點間距離的關因子 (correlation coefficient)， $d$  為穿刺點間之距離， $D$  為經緯度 5 度之間隔約為 556 公里。圖 3-13 展示相關因子與穿刺點距離的關係，其中特別標示出了 1245 公里為電離層格點與穿刺點最大的可用距離，若有穿刺點之距離大於此則不會使用此一穿刺點來產生電離層格點之修正量與信心範圍。因此將公式 3.32 與 3.33 分別再代入前面的公式 3.30 與 3.31，即可得到公式 3.35 與 3.36。其中表示修正量信心範圍的 *GIVE* 為了能夠保護使用者，在假設誤差為常態分布的情況下，期望能夠包含誤差分布的 99.9%，故取 3.29 倍的標準差。

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{\Delta} \quad (3.33)$$

$$\Delta = \exp\left[-\left(\frac{d}{2D}\right)^2\right] \quad (3.34)$$

$$\hat{I}_G = I_{Klobuchar,G} \cdot \left\{ \frac{\sum_{i=1}^k \frac{I_i}{I_{Klobuchar,i}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_i^2}}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\varepsilon_i^2}} \right\} \quad (3.35)$$

$$GIVE = 3.29 / \sum_{i=1}^k \frac{1}{\varepsilon_i^2} \quad (3.36)$$

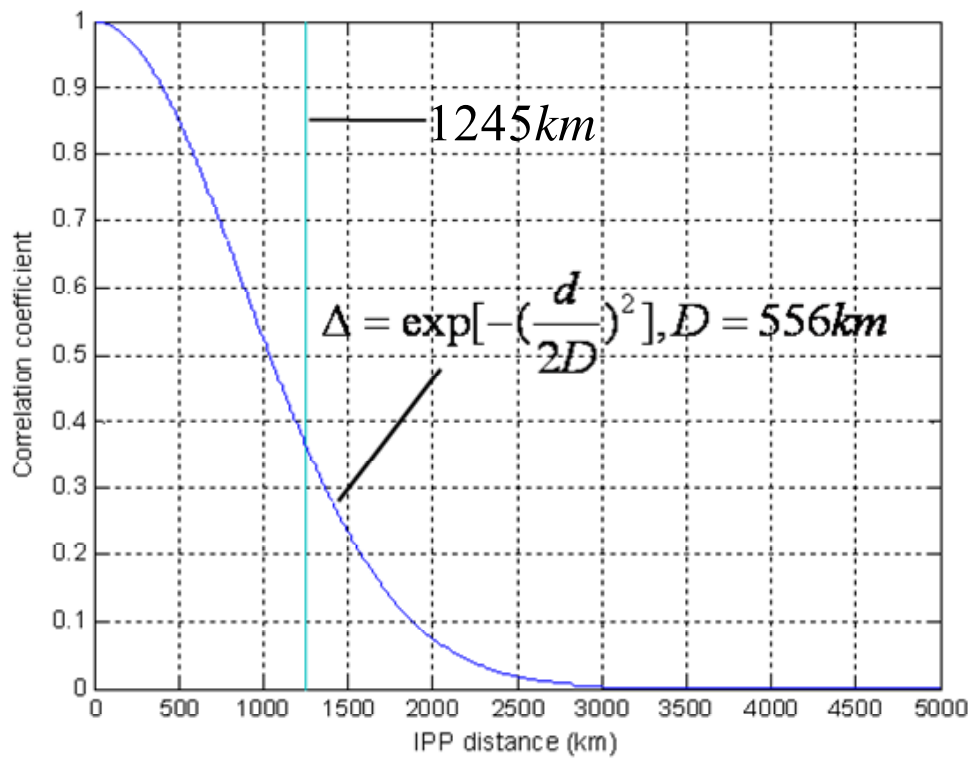


圖 3-13 相關因子與穿刺點距離的關係

### § 3-2-3-4 確認電離層誤差之信心範圍

由先前的加權最小平方法來得到了格點上的修正量與誤差之信心範圍，這部份將確認誤差之信心範圍是否能在統計上包括 99.9% 的估算誤差，以確認使用者能夠在安全的範圍內。其流程圖如圖 3-14，首先使用之前所敘述的演算法來建立電離層格點模組，接著運用產生的電離層模組來套用在參考站上，以重新估算電離層穿刺點上的修正量，並與參考站本身雙頻觀測量所得的修正量做比較，以求得電離層格點模組的殘餘誤差分布，如圖 3-15。其中  $m$  為殘餘誤差，即為由觀測量所得之修正量與電離層模組所估得的修正量間的差，見下公式 3.37：

$$m = I_{meas} - I_{model} \quad (3.37)$$

而  $\sigma$  為殘餘誤差的信心範圍，也是這些資料點的標準差。在  $m \pm GIVE$  的範圍內，曲線下應包括 99.9%， $GIVE$  才有成功的提供保障。

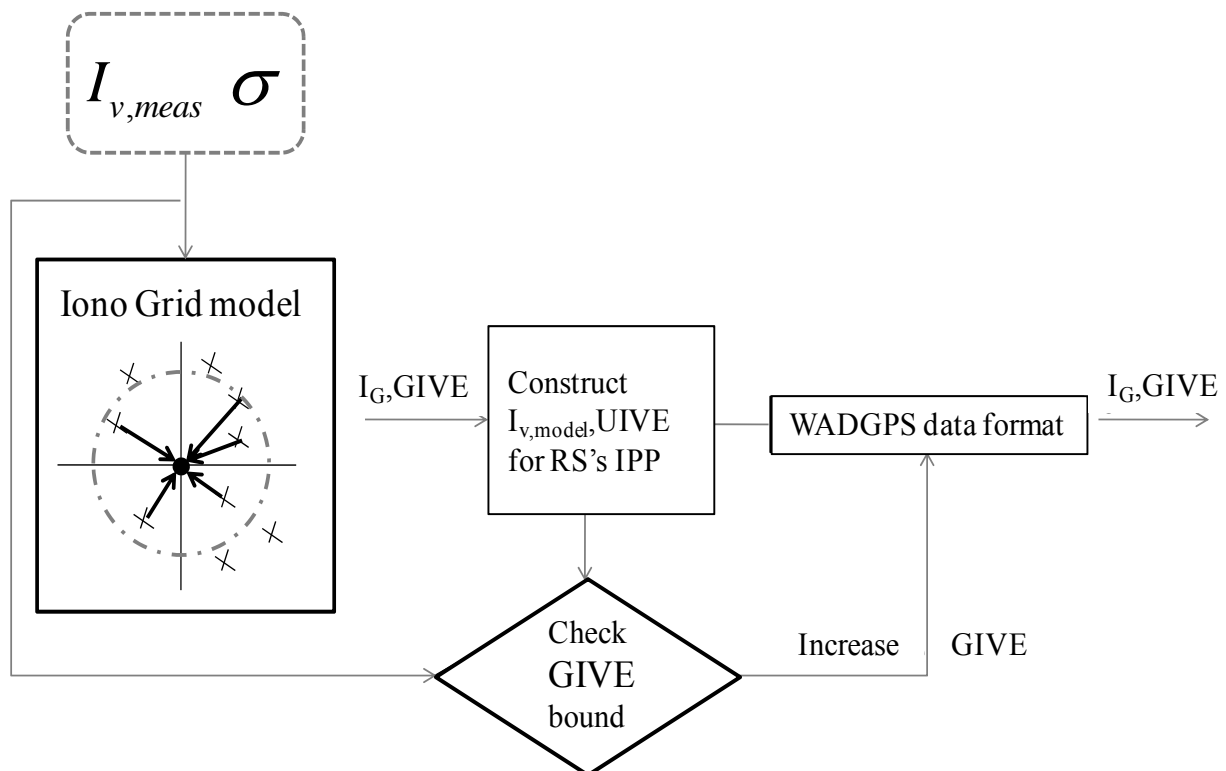


圖 3-14 確認信心區間流程圖

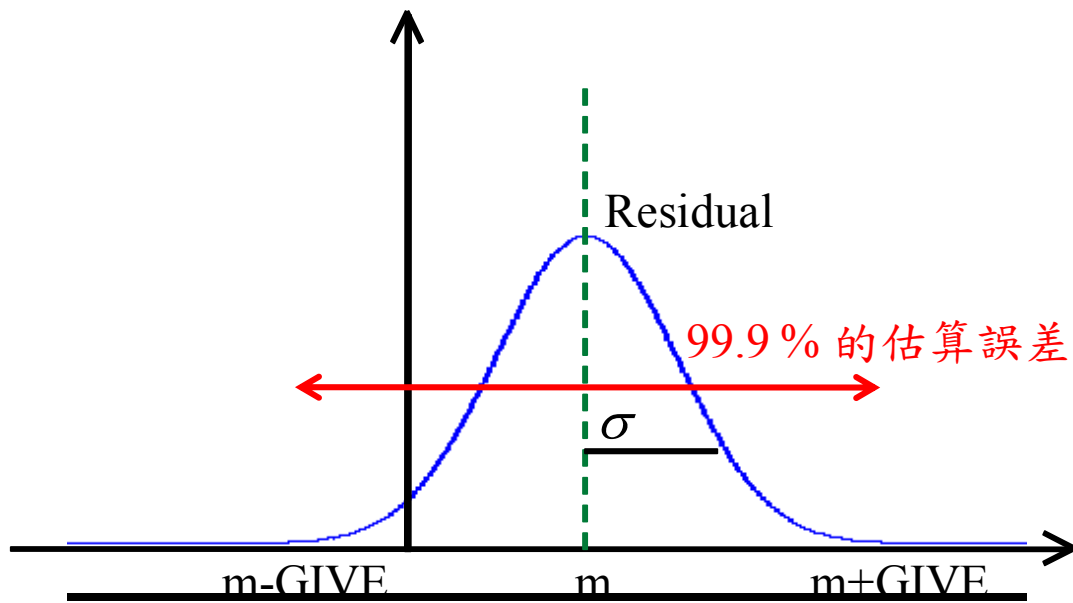


圖 3-15 信心區間包含 99.9%的估算誤差

廣域差分定位系統服務訊息之格式中，在傳送電離層之修正之信心範圍時，並不是直接將 *GIVE* 傳送給使用者，而會先將 *GIVE* 量化後，再將電離層格點修正後殘餘值的信心範圍指標(Grid Ionospheric Vertical Error Index, *GIVEI*)傳送給使用者，使用者再依表 3-6 進行比對。圖 3-15 中，若在  $m \pm GIVE$  的範圍內，曲線下無法包含 99.9%的資料點，則 *GIVEI* 將會增加到下一個層級，直到能夠能包括 99.9%的資料點。

總結廣域差分定位系統中之電離層模組，根據由航空無線電委員會所制定的廣域增強系統使用者操作執行標準，電離層修正量是在飛行載具在進行精確進場(Precise approach, PA)時所必須套用的。在降落時高度誤差將被嚴格的限制，因此電離層殘餘誤差信心範圍是否能保護使用者是非常重要的。

表 3-6 GIVE 與 GIVEI 之對照表

<i>GIVEI</i>	<i>GIVE(Meter)</i>	$\sigma_{GIVE}^2$ (Meter <sup>2</sup> )
0	0.3	0.0084
1	0.6	0.0333
2	0.9	0.0749
3	1.20	0.1331
4	1.5	0.2079
5	1.8	0.2994
6	2.1	0.4075
7	2.4	0.5322
8	2.7	0.6735
9	3.0	0.8315
10	3.6	1.1974
11	3.5	1.8709
12	6.0	3.3260
13	15.0	20.7870
14	45.0	187.0826
15	Not Monitored	Not Monitored

### § 3-2-4 定義廣域差分定位修正訊息架構

在本案中，經由主控站演算法產生的修正訊息與完整性訊息是以航空無線電委員會所制定的廣域增強系統使用者操作執行標準(RTCA DO-229,WAAS MOPS)來產生廣域差分修正訊息。這些修正訊息主要可分為即時修正訊息(fast correction)、長效型修正資訊(long term correction)、混合修正資訊(mixed fast/long term satellite error correction)、電離層修正資訊(ionospheric correction)以及衰變指數資訊(degradation factor)。在廣域差分修正訊息中，對於每一個衛星的修正量可分為變化較快的虛擬距離誤差與變



化較慢的虛擬距離誤差。前者主要是在修正衛星時鐘的誤差，又稱即時修正資訊，是根據不同衛星的虛擬距離提供修正量；後者為修正衛星之星曆，又稱長效型修正資訊，是根據不同衛星其位置的地球中心地球固定座標系 (Earth-Centered Earth-Fixed Coordinate System, ECEF) 座標提供修正量 ( $\delta x, \delta y, \delta z$ )。此外，廣域差分修正訊息亦包含了位於電離層格點的電離層垂直誤差。除了修正量的部份，廣域差分修正訊息同時也包含向量修正量修正後之殘餘誤差的信心區間以確保使用者的安全。

如圖3-16，為廣域差分修正訊息架構，每一筆廣域差分修正訊息的長度由250個位元所組成，其中包括8位元的電報報頭(preamble)、6位元的訊息類型、212位元的訊息內容與24位元的循環冗餘校驗，每秒將會透過網路或RDB 廣播系統傳送一筆給使用者。

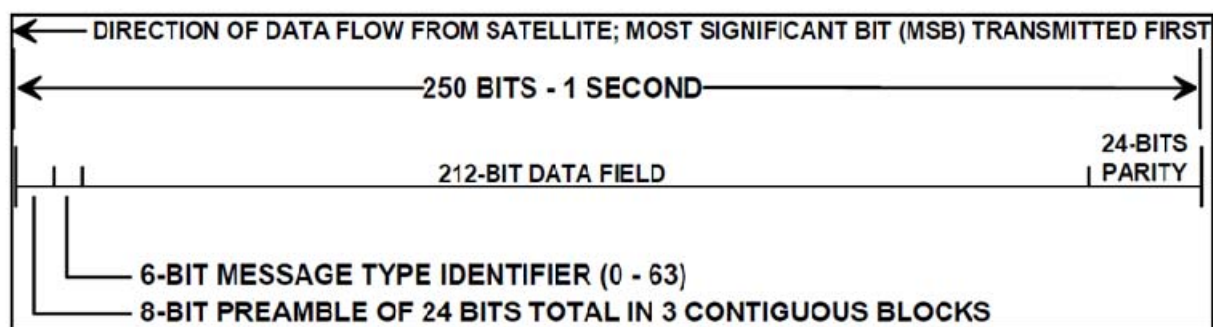


圖 3-16 廣域差分定位修正訊息架構

參考相關國際標準規範，廣域差分訊息傳遞速度為250位元每秒，訊息長度將按照實際產生的訊息按照規定順序傳出，下表3-7列出各項廣域差分定位系統傳遞訊息種類(message type)。其中暗色部分為本案之廣域差分定位系統將傳遞之訊息。表3-8則列出各項廣域差分定位訊息的傳遞時間間隔，依照不同導航任務需求而有不同傳遞時間間隔。關於詳細的各個類型的廣域差分定位修正訊息，請參考廣域增強系統使用者操作執行標準 (RTCA/DO-229)。

表 3-7 廣域差分修正訊息架構

Type	Contents
0	Don't use for safety applications (for SBAS testing)
1	PRN Mask assignments, set up to 51 of 210 bits
2 to 5	Fast corrections
6	Integrity information
7	Fast correction degradation factor
8	Reserved for future messages
9	GEO navigation message (X, Y, Z, time, etc.)
10	Degradation Parameters
11	Reserved for future messages
12	SBAS Network Time/UTC offset parameters
13 to 16	Reserved for future messages
17	GEO satellite almanacs
18	Ionospheric grid point masks
19 to 23	Reserved for future messages
24	Mixed fast corrections/long term satellite error corrections
25	Long term satellite error correction
26	Ionospheric delay corrections
27	SBAS Service Message
28	Clock-Ephemeris Covariance Matrix Message
29 to 61	Reserved for future messages
62	Internal Test Message
63	Null Message

表 3-8 各項廣域差分修正訊息之傳遞時間間隔

Data	Associated Message Types	En route, Terminal, Approach (LNAV) Timeout (seconds)	Approach (LNAV/VNAV, LP, LPV) Timeout (seconds)
Don't Use for Safety Applications	0	N/A*	N/A*
PRN Mask	1	600	600
UDREI	2-6, 24	18	12
Fast Corrections	2-5, 24	Variable**	Variable**
Long-Term Corrections	24, 25	360	240
GEO Navigation Data	9	360	240
Fast Correction Degradation	7	360	240
Degradation Parameters	10	360	240
Ionospheric Mask	18	1200	1200
Ionospheric Corrections, GIVEI	26	600	600
Service Level	27	86,400	86,400
Clock-Ephemeris Covariance Matrix	28	360	240
Timing Data	12	86,400	86,400
Almanac Data	17	None	None

## 第四章 主要工作項目及履約內容

本案係內政部國土測繪中心委託財團法人成大研究發展基金會辦理「研發廣域差分定位系統作業」案，本案預計完成之工作項目包含以下項目：

- (一) 廣域差分定位系統概論。
- (二) 國內外相關系統文獻回顧及應用概況。
- (三) 臺灣地區廣域差分定位主控站系統平臺先期規劃。
- (四) 使用者端多頻段差分修正訊號接收器先期規劃。
- (五) GNSS 衛星定位接收模組架構先期規劃。
- (六) 使用者端整合式定位系統操作平臺先期規劃。
- (七) 廣域差分定位系統整合測試與效能、精度評估實施方案。
- (八) 作業時程及進度管控方式說明。
- (九) 品質管控方案。
- (十) 其他相關資料及附件。

本案之系統功能與規格詳如 4-1 至 4-4 節所述，工作時程為決標次日起 330 個日曆天（99 年 11 月 24 日）止，共分三階段辦理：

- (一) 第一階段作業於決標次日起 30 個日曆天內（99 年 1 月 28 日）交付作業計畫書 20 份(含電子檔)。
- (二) 第二階段作業於決標次日起 180 個日曆天（99 年 6 月 27 日）內交付本案期中作業報告 20 份(含電子檔)，並配合國土測繪中心進行期中作業審查。期中報告內容至少需包含 4 項主要工作項目所涵括之誤差修正量演算法則、廣域差分修正訊號架構之定義與封裝、系統平臺及相關軟硬體設備與介面雛形設計等初步履約成果外，另須針對目前工作進度、成果說明、工作遭遇困難、解決方案及相關資料附件等。
- (三) 第三階段作業於 330 個日曆天內（99 年 11 月 24 日）交付工作總報告書 20 份(含電子檔)，並配合國土測繪中心進行期末作業審查。

各階段繳交之期中報告書、工作總報告書均為初稿，配合國土測繪中心審查意見辦理修正；期中報告書於國土測繪中心發文次日起 14 個日曆天內，工作總報告書於國土測繪中心發文次日起 21 個日曆天內完成修正及繳交。期中報告書修正本數量為 5 份（含電子檔），工作總報告書修正本為

10份(含電子檔)，繳交電子檔格式均包含 WORD 及 PDF。提交之期中、工作總報告書資料，格式採 A4 雙面列印(含書背)。

提交工作總報告修正版時，需將本案各階段所有成果及期末簡報 Power Point 檔案，以外接硬碟儲存方式併同繳交。上述各階段作業，國土測繪中心作業時間視為行政作業期間，如有逾期得予扣除。各階段作業應於國土測繪中心審查通過後，撥付各階段價款。

## § 4-1 主控站系統

### 履約內容：

#### (一) GNSS 觀測量之彙整與同步程序：

1. 利用標準 PC 介面通訊埠序列埠及 TCP/IP 網路通訊埠與內政部國土測繪中心現有 e-GPS 基準站雙頻全球衛星定位接收儀進行介接與資料儲存。
2. GNSS 衛星觀測量資料格式轉換。
3. GNSS 衛星觀測量時間同步。
4. GNSS 衛星星曆同步。

#### (二) 利用雙頻載波平滑濾波演算法修正多路徑及雜訊干擾誤差。

#### (三) 研發廣域衛星差分定位系統之衛星星曆與時錶誤差演算法：利用國際精密星曆和參考地面站之資料進行後處理產生衛星星曆與時錶誤差之修正量以及使用者修正過後之殘餘誤差範圍。其工作項目包括：

1. 衛星星曆及時錶誤差估算。
2. 產生各衛星星曆誤差之修正量 $(\delta x, \delta y, \delta z)$ (in WGS-84)，和各衛星時錶誤差之修正量 $(\delta b)$ 。
3. 估測衛星星曆、時錶殘餘誤差與信心區間。

#### (四) 研發廣域衛星差分定位系統之電離層格點誤差演算法：利用各衛星基準站之資料經後處理產生電離層誤差修正量以及提供使用者修正後之殘餘誤差範圍。其工作項目包括：

1. 計算電離層穿刺點誤差。
2. 電離層格點垂直誤差估算。
3. 產生臺灣地區上空之電離層格點垂直誤差修正量。
4. 估測電離層殘餘誤差與信心區間。

- (五) 解算衛星電碼虛擬距離(Pseudo-Range)修正量。
- (六) 產出衛星狀態完整性訊息並建立系統完整性監控機制。
- (七) 定義 WADGNSS 廣域差分定位修正訊息架構。
- (八) 系統可自動將前述第 3 及 4 項所產生的向量修正量與其信心區間封裝為 NSTB WADGNSS 廣域差分定位修正訊息架構，透過 Internet 及 RDB 廣播系統傳送給使用者。
- (九) 產製衛星電碼虛擬距離(Pseudo-Range)修正量，並將其封裝為 RTCM SC-104 格式訊息架構，透過 Internet 及 RDB 廣播系統傳送給使用者。
- (十) 研究整合導入即時性交通、海象等訊息，提升系統加值性整合服務。
- (十一) 建置系統控制及監控模組，提供發送上述衛星定位誤差修正量之服務訊息，並進行測試及評析臺灣地區廣域衛星差分定位系統之效能與可用性，其工作內容應至少包括：
  1. 可監看、統計及分析移動站使用修正量後之定位誤差。
  2. 具備比較使用者未使用修正量前及使用後之定位誤差。

#### 工作項目：

廣域差分定位主控站系統平臺架構圖如圖 4-1 所示，主控站利用網際網路接收來自 e-GPS 基準站所接收到的 GPS 觀測量，接著進行測試平臺之參考站(Test-Bed Reference Station, TRS)處理程序，使用載波相位平滑法來降低多路徑效應的影響與接收機產生的熱噪影響。接著利用衛星共視時間傳遞(Common View Time Transfer, CVTT)來消除各個參考站之間的相對振盪器誤差，使接下來的估算流程的振盪器能進行同步。經由參考站處理程序與衛星共視時間傳遞之處理後，再分別建立將提供給使用者的精確電離層延遲模組(ionospheric delay model)與估測衛星軌道及衛星時間誤差修正量。最後再將這些向量修正量以及完整性資訊包裝成廣域差分修正資訊之資料格式，經由網路傳送給使用者使用。

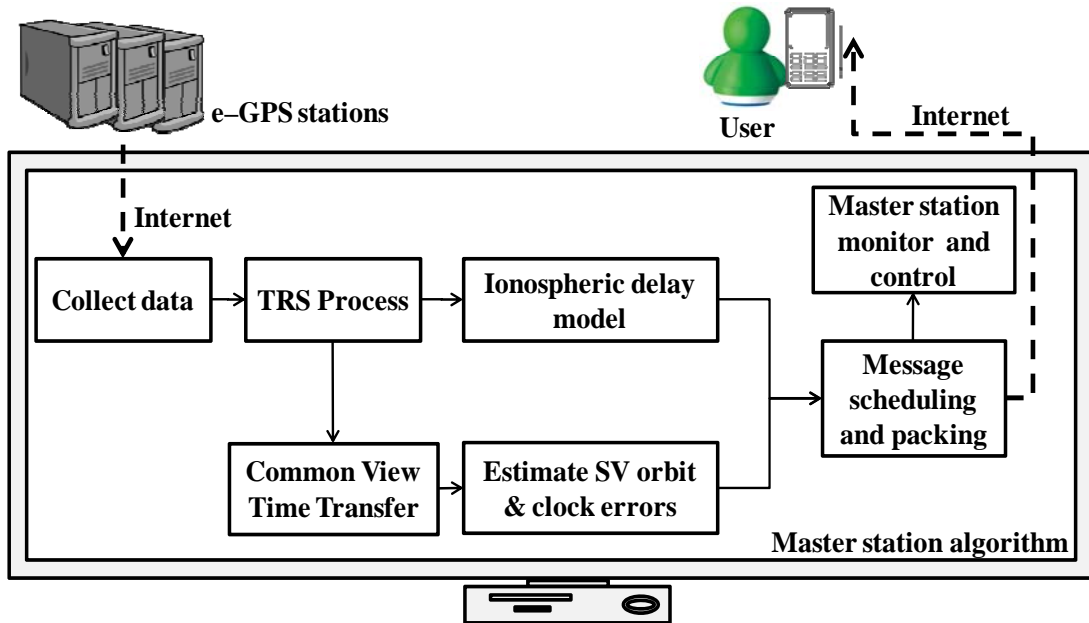


圖 4-1 廣域差分定位主控站系統平臺架構圖

載波相位平滑法主要是將虛擬距離平滑化，並且消除電離層影響，因此利用 PRN 19 透過雙頻載波平滑演算法來進行載波相位平滑，其結果顯示  $I_{L1,\phi}$  明顯比  $I_{L1,PR}$  平滑許多，表示其雜訊較低，結合兩者後的  $\hat{I}_{smth}$  會跟著  $I_{L1,PR}$  的趨勢做改變，但不會如  $I_{L1,PR}$  那麼的雜亂。PRN 19 雙頻載波平滑演算法之結果如圖 4-2 所示。

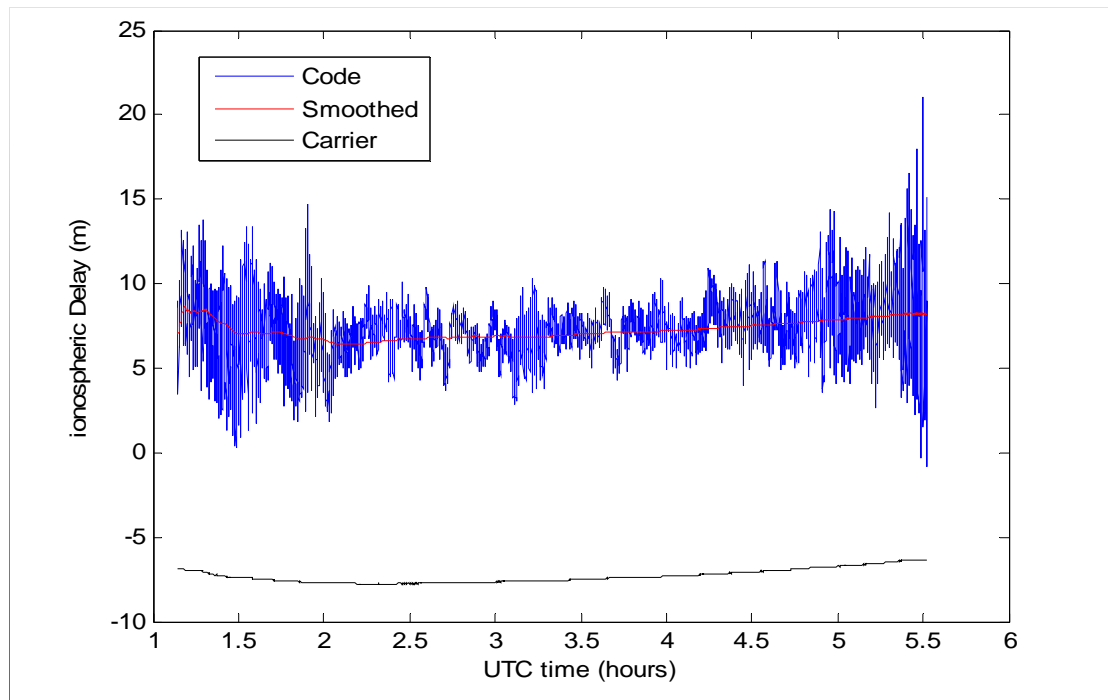


圖 4-2 PRN 19 雙頻載波平滑演算法之結果

在衛星星曆與時鐘誤差估測演算法方面，主控站使用 PRN08 進行 5 小時的星曆與時鐘誤差估算結果（如圖 4-3 所示），發現時鐘誤差的改變在短時間內的變化較軌道誤差大，因此在發佈服務訊息時，衛星時鐘修正量將比軌道修正量更新的更為頻繁，以監控衛星時鐘的改變。

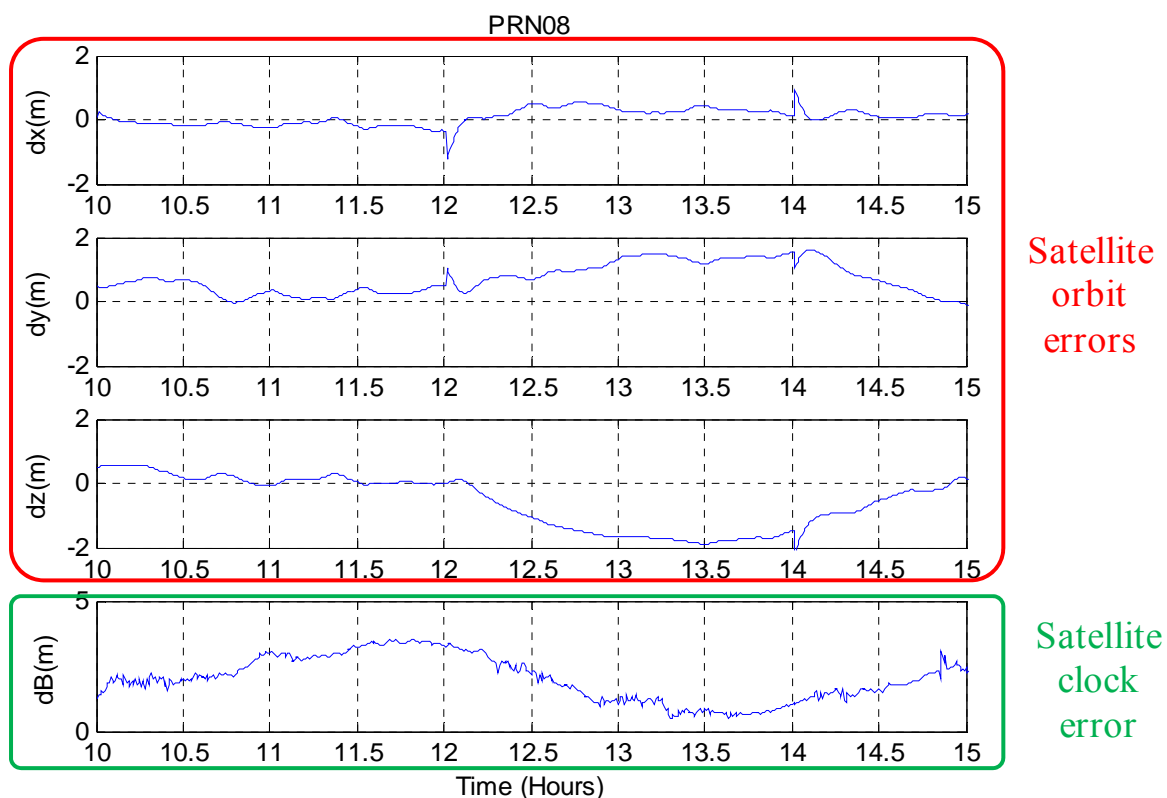


圖 4-3 PRN08 星曆與時鐘誤差估算結果

此外，在產生使用者殘餘誤差的信心範圍部分，主要是以 UDRE 來表示星曆與時間修正後之殘餘誤差範圍，其結果如圖 4-4 所展示，為 PRN08 虛擬距離修正誤差與估算出 UDRE 的關係圖，顯示在衛星位於低仰角時，虛擬距離修正誤差會較大，UDRE 同時為能夠保護使用者也隨之增大，其虛擬距離修正誤差皆可被 UDRE 與  $\sigma_{\hat{\rho}_i}$  所包含。



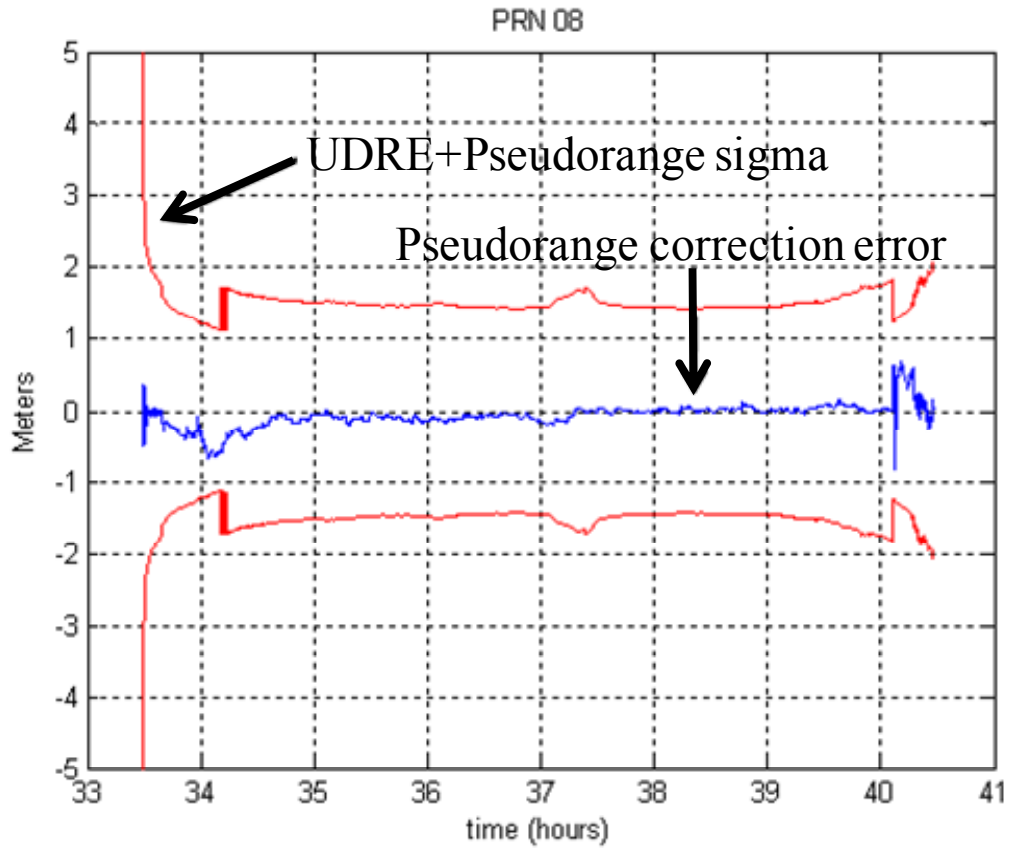


圖 4- 4 PRN08 虛擬距離修正誤差與 UDRE 關係圖

由於各個e-GPS基準站所提供之衛星測量有所不同，使得廣域差分定位主控站系統在處理程序分為後處理與即時處理兩部分，目前在後處理方面，皆已完成上述履約內容之各個項目，其中包括了彙整衛星觀測量、衛星星曆與時錶誤差演算法、電離層延遲模組估算、廣域差分定位主控站系統之監測與控制以及廣域差分修正量之排序與封裝；並且以模擬即時的方式，展示廣域差分主控站之圖形化介面，使管理者可以即時監控廣域差分定位主控站系統。

## § 4-2 使用者端多頻段差分修正訊號接收模組

### 履約內容：

#### (一) 具備低頻 Radio Beacon MSK 接收能力：

1. MSK 調諧器調諧頻率為 283.5 至 325.0 KHz。
2. 提供 2 組(含)以上 Radio Beacon 通道(主、備頻)，支援自動頻率搜尋(AF)。
3. 具備頻率掃描功能，並可儲存當前頻率列表。
4. Radio Beacon 通道電平閾值比對功能，自動鎖定電平閾值較高頻率。
5. (配合顯示 Beacon 站訊號是來自於哪個區域再作適當的選擇)。
6. 具備可接收國土測繪中心 Radio Beacon 所廣播之差分修正訊息功能，並將接收資料經由 RS-232 介面輸出至後端 WADGNSS 使用者整合式定位平臺。

#### (二) 具備調頻 FM RDS-TMC 接收能力：

1. FM RDS-TMC 調諧器調諧為 87.5 至 108.0 MHz。
2. 具備 RDS AF 功能，支援自動頻率搜尋(AF)。
3. 具備頻率掃描功能，並可儲存當前頻率列表。
4. 具備接收交通部運研所定義之即時路況資訊廣播格式(RDS-TMC)，並將接收資料經由 RS-232 介面輸出至後端 WADGNSS 使用者整合式定位平臺。

#### (三) 具備超高頻無線網路上網功能：支援登入 GSM/GPRS，EDGE(3G)及 WCDMA(3.5G)網路功能。

#### (四) 具備 RS-232 控制介面，可接受後端 WADGNSS 使用者整合式平臺指令，進行接收頻率、接收準位、訊號來源等設定。

#### (五) 使用者端多頻段差分修正訊號接收模組硬體相關規格：

1. 具備內置可充放式電池。
2. 具備藍芽及 RS232 介面連接埠，可供輸出入及設定參數使用。
3. 具備燈號顯示目前電池、追蹤頻道、鎖定頻道及修正訊號源。

### 工作項目：

廣域差分定位系統於主控端所推算之差分修正量得藉由特定途徑傳送至使用者端。為了接收差分修正訊號與即時路況廣播，使用者端將利用自

行研製與整合的多頻段差分修正訊號接收模組進行行動式訊號接收。目前接收訊號主要利用以下三種無線方式完成：

1. 低頻 Radio Beacon MSK
2. 調頻 FM RDS-TMC
3. 第二/三代無線通訊系統收發模組

硬體架構如圖 4-5 所示，使用的介面包括 TTL I/O、RS-232 與 I 2C；而整合式定位系統透過 RS-232 介面與 Bluetooth 介面傳送命令給微處理機以控制整個接收模組的運作，最後接收到之訊息由 RS-232 介面傳送到整合式定位系統。

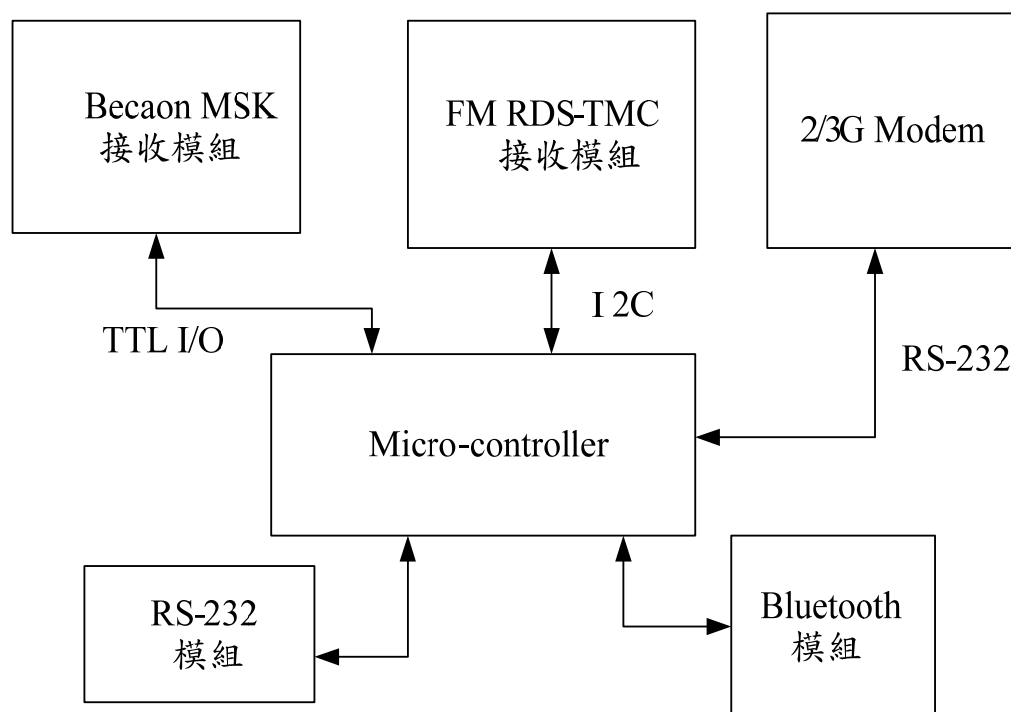


圖 4-5 多頻段差分修正訊號接收模組硬體架構圖

### (1) 低頻 Radio Beacon MSK 接收模組

低頻 Radio Beacon MSK 接收模組的目的為接收 DGNS 修正訊號。Radio Beacon MSK 訊號接收電路的目的是將天線接收頻率 283.5 至 325.0 kHz 的訊號降頻至基頻訊號後，經過耦合器做阻抗轉換與放大，之後經過帶通濾波器將雜訊濾除，再經過 DSP 內建的類比數位轉換器做數位訊號處理，而頻率的選擇由 DSP 透過通用輸出入埠來控制，電路架構如圖 4-6 所示。

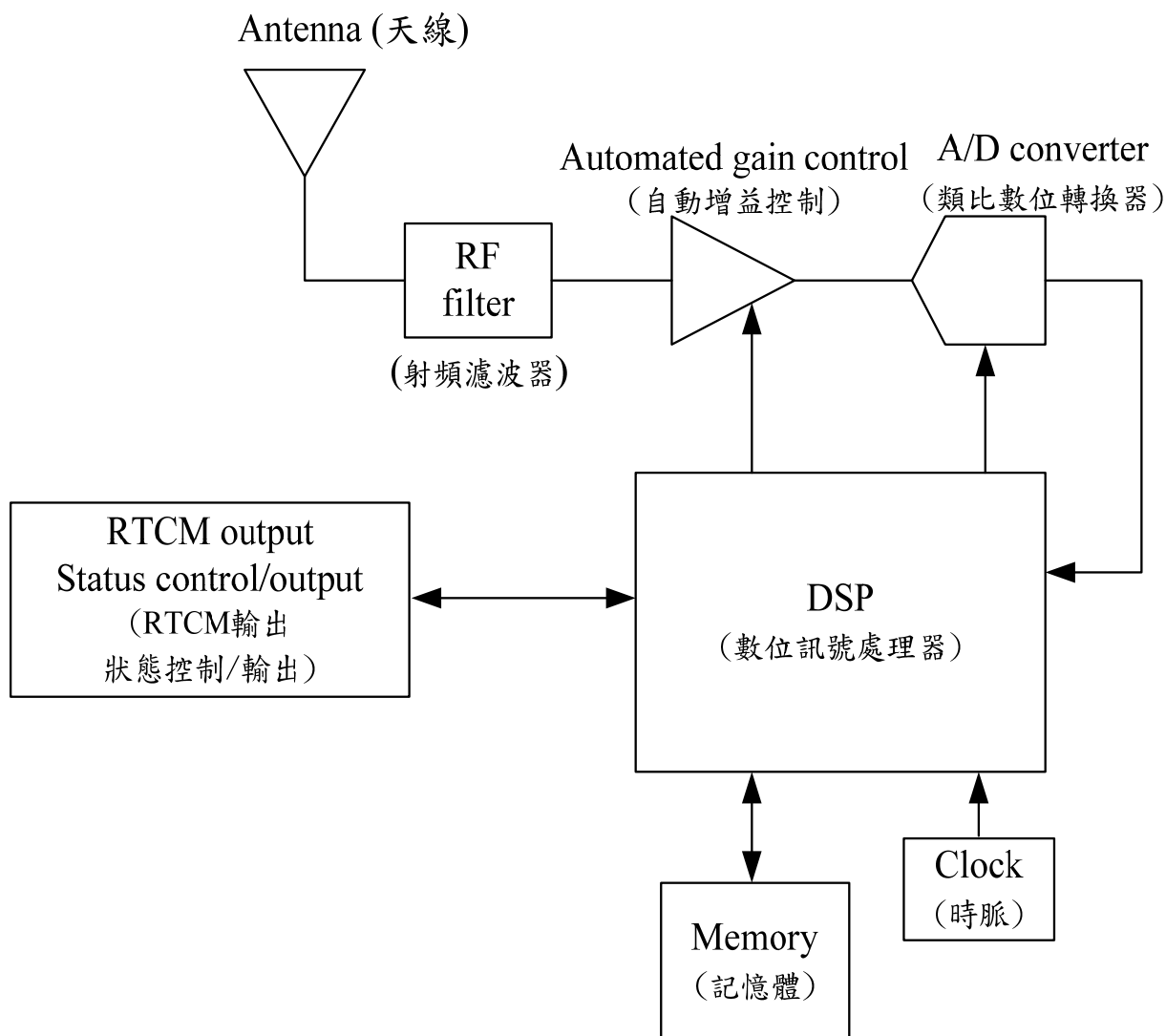


圖 4- 6 Beacon 接收模組硬體架構圖

為了讓不同功率大小的輸入訊號都能夠有效率的以數位位元表示，本電路配有自動增益調整訊號功率，除具備頻率掃描功能，並可儲存當前頻率列表之外，也具備解調 Radio Beacon 所廣播之差分修正訊息功能，而 MSK 調諧器調諧頻率為 283.5 至 325.0 KHz，並且提供 2 組(含)Radio Beacon 通道(主、備頻)，支援自動頻率搜尋(AF)。

## (2) FM RDS-TMC 解調變與解碼器模組

FM RDS-TMC 解調變與解碼器模組的目的是將頻率為 87.5 至 108 MHz 的訊號降頻後，作解調與解碼後透過 I2C 介面傳送到微處理機，而頻率的選擇同樣由微處理機透過 I2C 介面改變暫存器的內容值用來設定頻率。電路設計圖如圖 4-7 與圖 4-8 所示，訊號經天線接收之後，由微處理機通過 I2C 介面設定調諧器的頻率，調諧器輸出頻率除 2 之後與訊號經混波後統一將訊號降頻至 225 kHz，再以解調變器做解調變，最後以解碼器解碼輸出，最後透過 I2C 介面輸出。

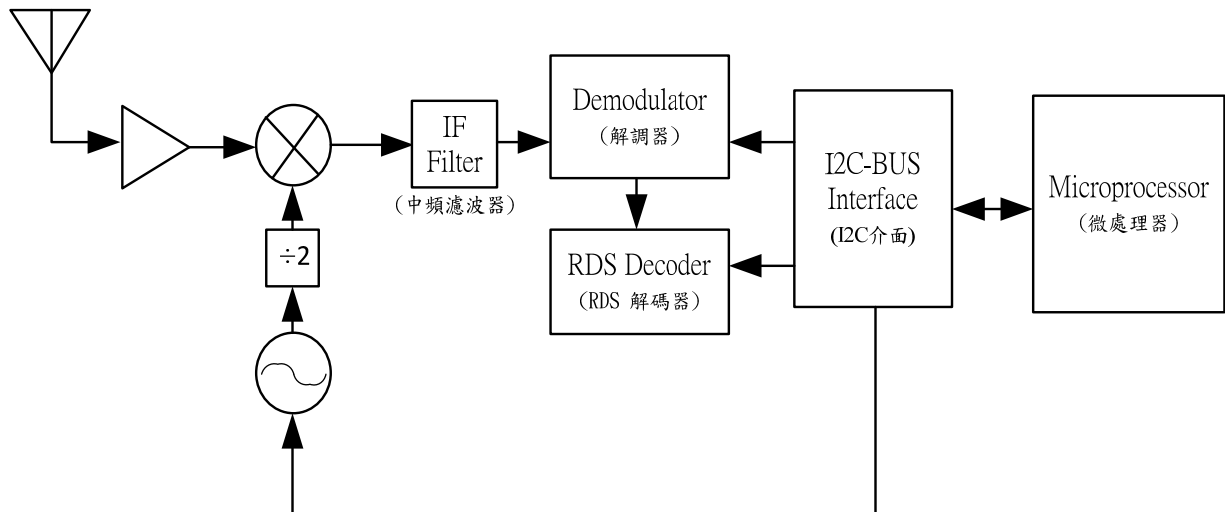


圖 4-7 FM RDS-TMC 解調變與解碼器模組架構圖

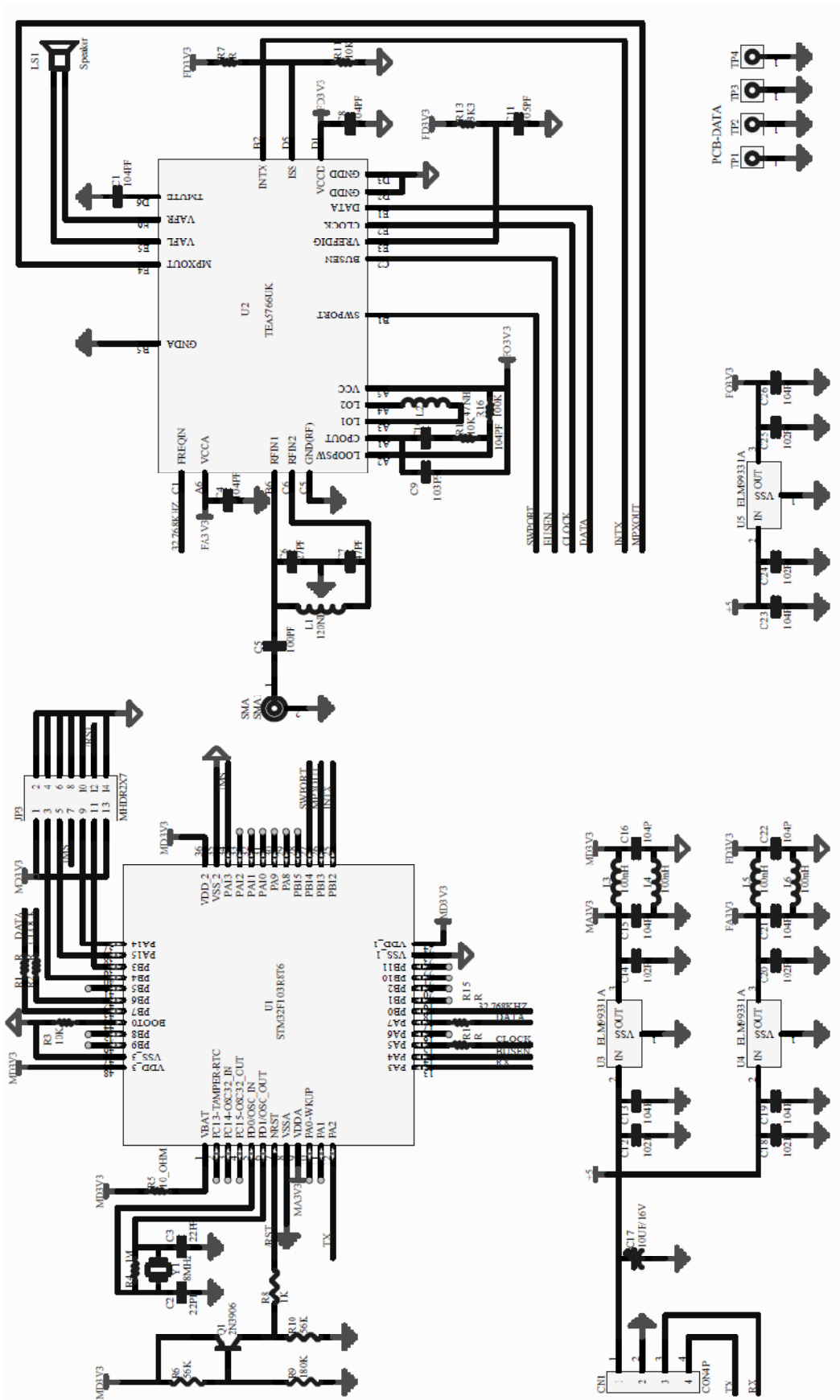


圖 4- 8 RDS 接收模組線路圖

### (3) 第二/三代無線通訊系統收發模組

透過第二/三代無線通訊系統收發模組的無線上網功能，使用者可接收廣域差分定位系統主控站所發出之修正訊號，並將接收之修正訊號由藍芽或網路線傳遞至使用者操作平臺。

第二/三代無線通訊系統收發模組包含三頻的 3.5G UMTS/HSDPS 引擎工作分別在 850/1900/2100MHz，以及四頻 2G/GSM/EDGE/GPRS 引擎工作分別在 900/1800/1800/1900 MHz，頻率可用於通話、簡訊(SMS)與封包交換；最高封包傳輸速率下載速率最快為 3.6 Mbps，上傳速率最快 384 kbps。具內建 SIM、介面，SIM 介面為外接電信公司所提供的 SIM 卡，而 RS-232 與 USB 介面是與微處理機做溝通。

### (4) 電路實體製作與測試修正

經測試並修正改良的功能如下，修正 Beacon 接收模組之低頻轉換器先前在訊號轉換時所遭遇之問題，以及改良接收天線使其接收範圍增加。修改後之 Beacon 實體電路如下圖 4-9 所示，在電路上有紅色與綠色之 LED 訊號燈，紅色 LED 為電源訊號燈，而綠色 LED 則顯示目前正是否正在接收差分修正訊號。FM RDS-TMC 解調變與解碼器模組實際電路圖如圖 4-10 所示，具備 RDS AF 功能、支援自動頻率搜尋 (AF) 與解調交通部運研所定義之即時路況資訊廣播格式 (RDS-TMC)，此採用高靈敏度、低噪音、Phase Lock Loop 設計之 TEA 5766 IC 與 Fully RDS/RBDS demodulator comply with EN62106。

第二/三代無線通訊系統收發模組實際電路如圖 4-11 所示，此模組可支援登入 GSM/GPRS，EDGE(3G)及 WCDMA(3.5G)網路功能，可由藍芽或網路線擇一將訊號傳遞至使用者端。圖 4-12 為組裝後之多頻段差分修正訊號接收模組，包含低頻 Radio Beacon MSK 接收模組、FM RDS-TMC 解調變與解碼器模組與第二/三代無線通訊系統收發模組，三個模組分別使用三種不同頻段之天線。



圖 4-9 Beacon 實際電路圖

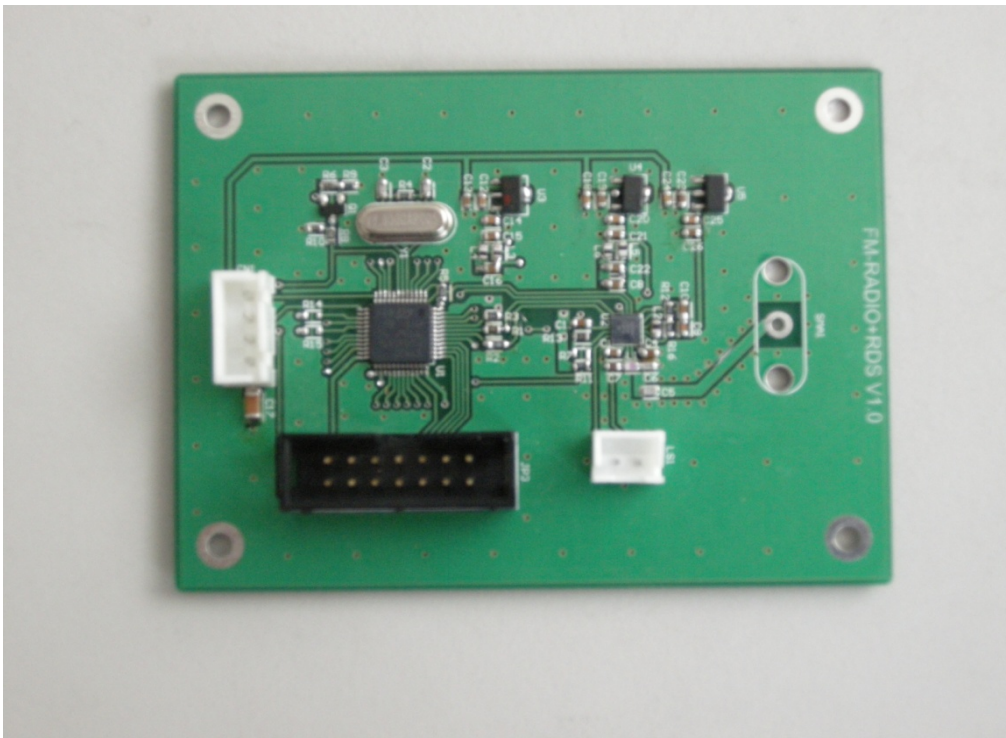


圖 4-10 RDS 接收模組電路圖





圖 4-11 無線藍芽模組

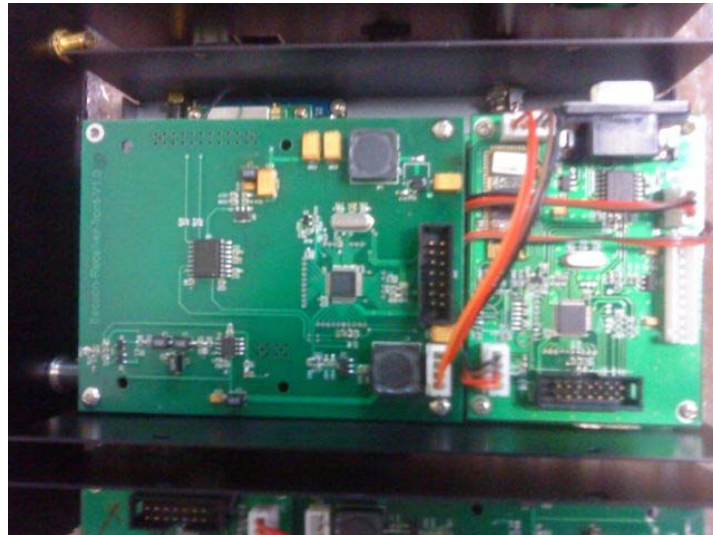


圖 4-12 組裝後之多頻段訊號接收模組

#### (5) 多頻段差分修正訊號接收模組控制軟體撰寫

多頻段差分修正訊號接收模組，除訊號接收功能之外，須接受使用者端整合式平臺送出之控制訊號控制。Beacon 之控制軟體流程如圖 4-13 所示，軟體開始運作後即等待整合式平臺之控制命令，進行頻道掃描並搜索最強之 Beacon 訊號站為主頻，而次強為副頻，並可儲存電頻閾值，以及自動鎖定電平閾值較高之頻率，確認頻率後即可接收國土測繪中心 Radio Beacon 所廣播之差分修正訊息功能，並將接收資料經由 RS-232 介面輸出至後端使用者操作平臺。

RDS 軟體開始運行後，將會依輸入之控制訊號自動搜尋 87.5 至 108MHz 頻率，並將訊號輸入主頻頻率及副頻頻率，當確認頻率後，即可接收交通部運研所定義之即時路況資訊廣播格式資料(RDS-TMC)，並將所接收之資料再經由 RS-232 介面輸出至後端使用者操作平臺，並且可切換主頻道或副頻道，或自訂頻率搜尋。整體 FM RDS-TMC 控制流程由圖 4-14 所示。

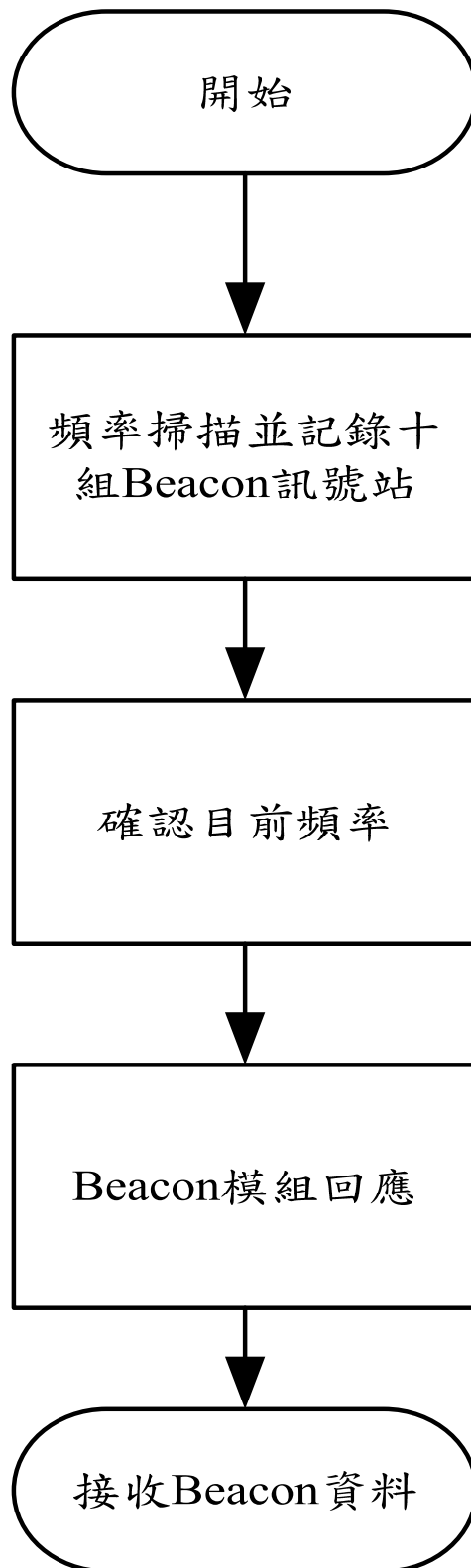


圖 4- 13 Beacon 軟體控制圖

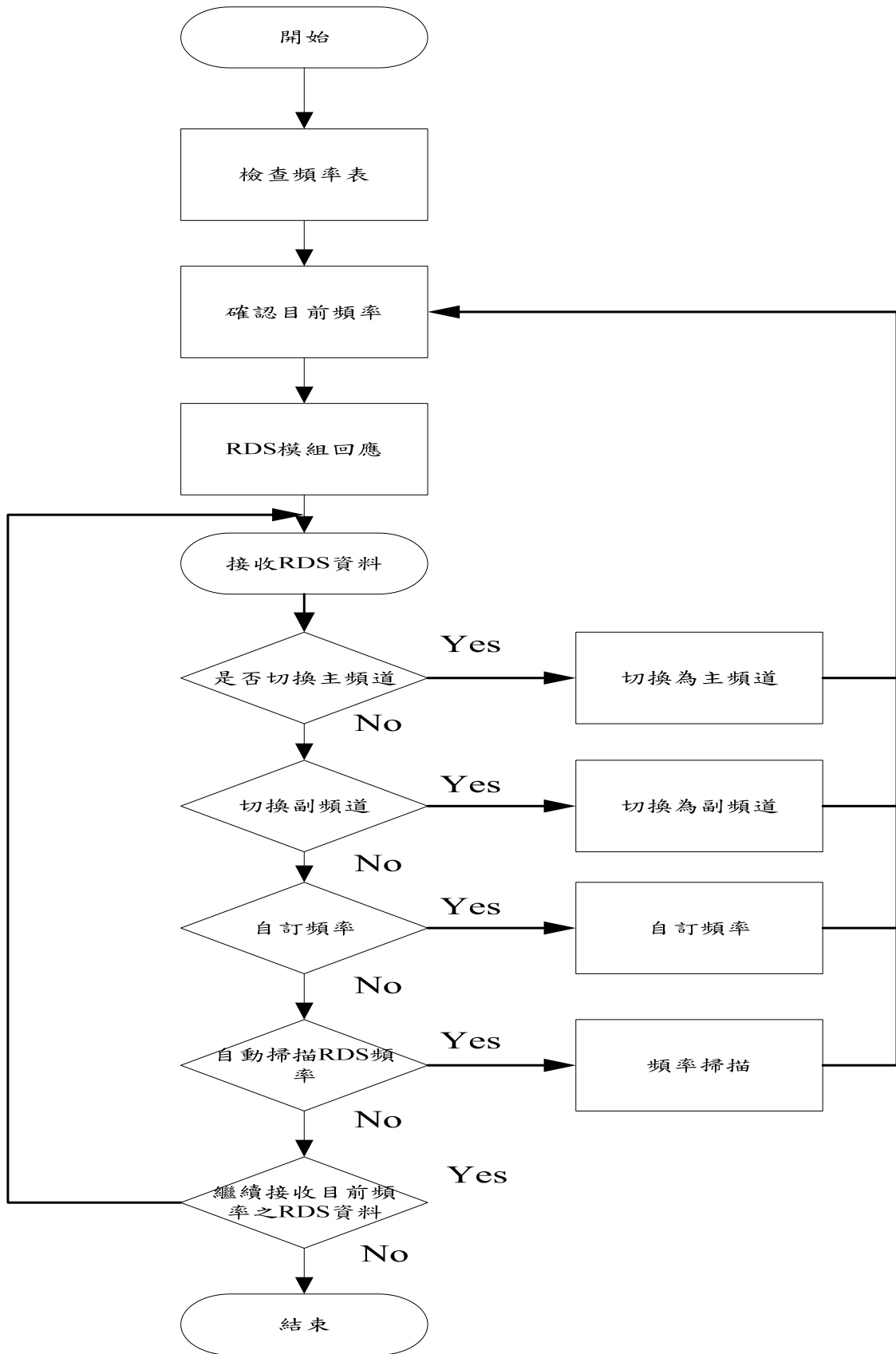


圖 4- 14 FM RDS-TMC 控制流程圖

## (6) 整合測試

多頻段差分修正訊號接收模組內之設計分別有三個獨立天線之模組，以及兩種 RS-232 與藍芽傳輸介面。模組內之接收天線皆為獨立裝置，因此當三種模組頻率不同時，並不會有互相干擾之虞。此外，模組之相關硬體部分，可置於攝氏-40~85 度間，因此溫度之變化對多頻段差分修正訊號接收模組而言並不會影響其正常運作。本案設計之多頻段差分修正訊號接收模組外殼實體如圖 4-15 所示。



圖 4-15 多頻段差分修正訊號接收模組

使用者端多頻段差分修正訊號接收模組主要為接收國土測繪中心後龍站所發送之修正訊號，而後龍站所發送之修正訊號頻率為 320KHz。目前使用者端多頻段差分修正訊號接收模組具備 RS-232 與藍芽控制介面，因此可接收使用者端整合式定位系統操作平臺之指令，進行接收頻率、接收準位、訊號來源等設定，並且可再將 Beacon 與 RDS-TMC 之接收資料經由 RS-232 介面輸出至使用者端整合式定位系統操作平臺。圖 4-16 為 Beacon 訊號接收介面，圖中顯示目前所接收之差分訊號為國土測繪中心後龍站所發出之頻率 320KHz 修正訊號。

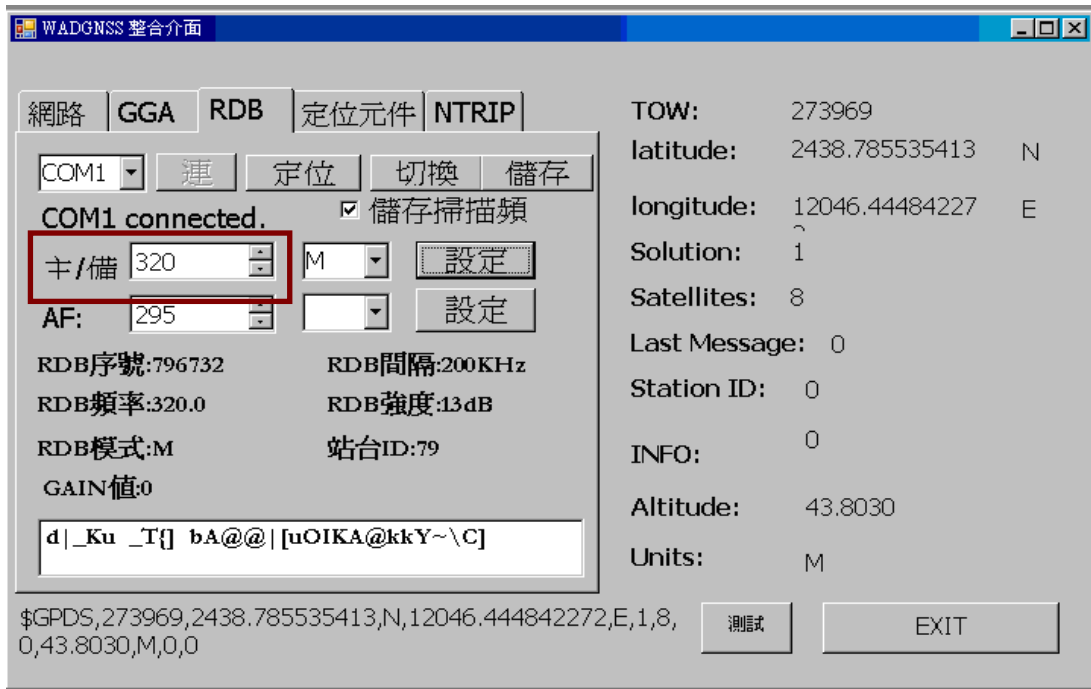


圖 4-16 接收後龍站之修正訊號

調頻 FM RDS-TMC 解調變與解碼器模組可接收由交通部運研所定義之即時路況資訊廣播格式(RDS-TMC)，並將接收資料經由 RS-232 介面輸出至使用者端整合式定位系統操作平臺。軟體接收 FM-RDS 訊號，並顯示目前主副頻之資訊如圖 4-17 所示。

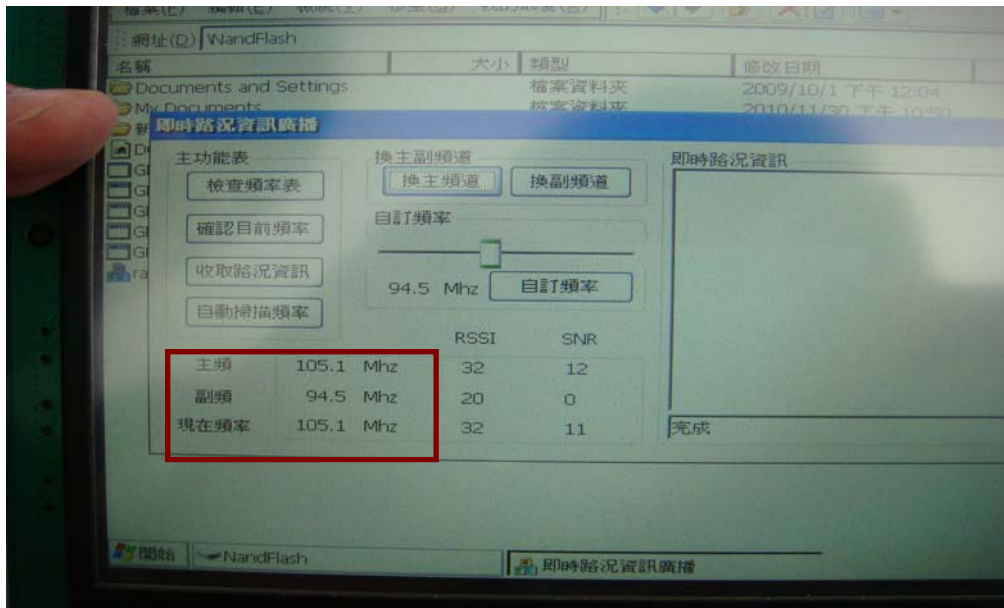


圖 4-17 FM-RDS 訊號接收圖



此外，利用無線通訊系統收發模組中的 GSM 模組，可使第二/三代無線通訊系統收發模組達到上網功能。下圖為第二/三代無線通訊系統收發模組經由無線通訊模組傳送網路封包至後端整合式操作平臺上網測試(如圖 4-18、圖 4-19 所示)。

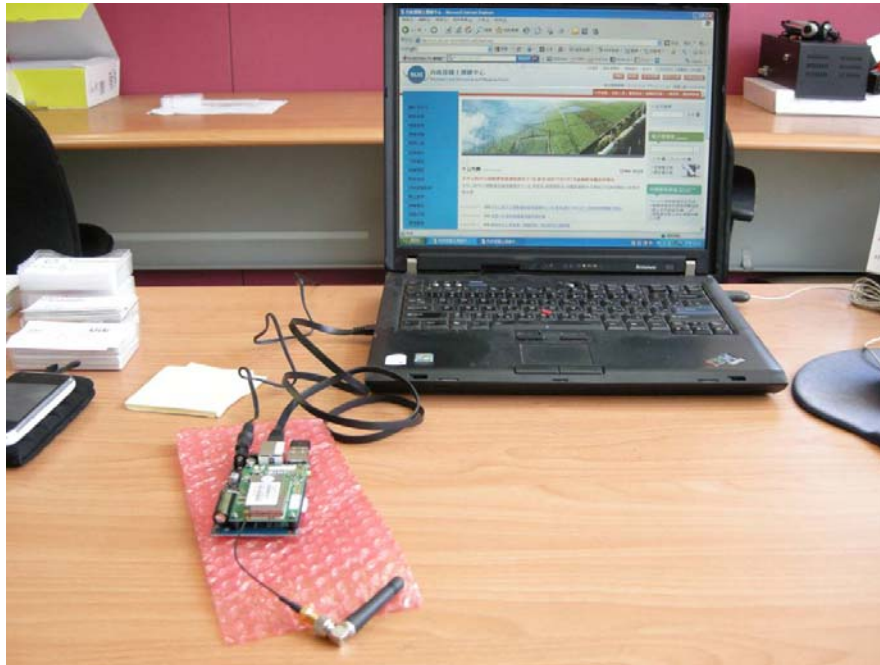


圖 4-18 經由 GSM 模組透過網路線上網



圖 4-19 透過網路線順利連上國土測繪中心網頁

主控模組部分包含電源管理、無線藍芽輸出/輸入控制與上網之功能控制，電池規格為 3.3V / 5V 輸出之鋰電池，如圖 4-20 所示。



圖 4-20 電池模組

### § 4-3 GNSS 定位軟體與修正量解析

履約內容：

- 內建 GNSS 衛星定位接收模組：
  1. 具備 50 個(含)以上頻道可接收及輸出 GPS、GLONASS 及 Galileo 等 3 種不同星系之 L1、G1 及 E1 頻率之原始電碼及載波相位觀測資料。
  2. 具備 SBAS 星基增強系統接收能力。
  3. 具備輸出 GNSS 原始觀測量載波相位觀測量及虛擬距離觀測量功能。
  4. 可輸出廣播星曆調制之導航訊息(Navigation Message)。
  5. 具備 2 組(含)以上 RS-232 序列埠輸出/輸入功能。
  6. 在通視良好環境下，冷開機速度需小(含)於 30 秒。
  7. 衛星訊號接收敏感度應優(含)於-150dbm(驗收時請提列測試報告)。
  8. 具備內建及可外接天線功能。
- 定位元件(Positioning Unit)：

需可接收修正訊息、衛星觀測量、衛星星曆等資料進行精密定位，其



規格及功能如下：

1. 採用嵌入式處理器含可程式邏輯陣列(FPGA)之 32 位元(含)以上處理器、記憶體與多個周邊電路，以與 GNSS 衛星定位接收模組及處理元件進行資料交換與溝通。
2. 具備 WADGNSS 及 DGNSS 差分修正訊息解析功能，並設計可行之定位流程邏輯，進行差分定位運算。
3. 實現差分定位運算於嵌入式處理器並提供修正後之定位解。

工作項目：

#### (一) Trimble BD970 GNSS衛星定位接收模組

本案原作業計畫書中提到GNSS 衛星定位接收模組為採用ublox公司之產品LEA-5T模組，然而本案之目標為可同時接收GPS、GLONASS及Galileo等3種不同星系之L1、G1及E1頻率之原始電碼及載波相位觀測資料。但目前ublox公司之LEA-5T GNSS接收模組只提供GPS + Galileo接收模組，故需與其他廠牌如Unistar公司之GPS +GLONASS接收模組相互搭配，才可達到本案之目標。但在硬體設計上，採用兩種不同頻段之接收模組必須設計兩組天線，而要將兩組不同頻段之天線放置於同一個天線中，其放大器不易設計。

此外，由於開發FPGA(可程式化邏輯閘)必須於較複雜的環境及嚴苛的條件下開發，然而事實上針對成果的轉移及技術的延伸，目前無此開發環境之單位，因此在無法轉移該技術之下，在成果轉移以及技術的延伸上實為不便。

目前嵌入式系統單晶片(SOC embedded processor)發展一日千里，如智慧型手機，低價平板電腦.....等，故本案將改採於系統晶片(System on chip, SoC)上開發，對於日後在可行性及擴充之性能延伸則更為寬廣，並且可個別使用發揮其最大效益。例如，針對已開發完成之定位元件技術，可以很輕易的個別裝於智慧型手機或平板電腦，但如欲轉移FPGA的軟體則相對的非常艱鉅及困難。

若以同時可接收GPS/GLONASS/Galileo之Trimble BD970 GNSS衛星定位接收模組搭配系統晶片(SoC)取代原先規劃之設計，雖原Ublox LEA-5T接

收模組(成本約為50 USD)更換為Trimble BD970 GNSS接收模組並以SoC 取代FPGA(成本約為1500 USD)後成本增加為1450 USD，但其效能及軟體之可開發性則增加更多。Ublox與Trimble系統核心比較如表4-1所示。

表 4- 1 系統核心比較表

系統核心比較表		
系統	Ublox LEA-5T	Trimble BD970
GNSS 頻道數	52	220
主處理核心 CPU	ublox	Freescale
型號	G5000	MPC512
CPU 支援指令速度	5 MIPS	760 MIPS
CPU 支援指令速度	3Mhz	400 Mhz
核心技術	FPGA	SoC
CPU 類型	可程式邏輯閘	系統單晶片
供應商	Altera	Mavell
型號	Cyclone III	PXA310
CPU 主頻速度	68Mhz	624 Mhz

依據上述理由，由本執行單位向委託單位提出變更申請，後經委託單位同意茲因Ublox LEA-5T型GPS接收模組原廠已經停止生產供貨，致原規劃設計採用之Ublox + Unistar + FPGA 衛星定位模組元件整合方案已無法繼續履約，委託執行單位雙方同意在不增加契約價金的原則下，依據本案採購契約第16條第4款第1目規定，變更原設計改採Trimble BD970 GNSS定位星定位接收模組，並配套採用晶片系統開發技術（System on Chip，SoC），續行履約。

使用者端整合式定位系統操作平臺採用之Trimble BD970 GNSS衛星定位接收模組如圖4-21所示。Trimble BD970 GNSS衛星定位接收模組可接收GPS、GLONASS 及Galileo三種導航衛星系統訊號，並經由Trimble BD970之客製化特殊晶片Application-specific integrated circuit(ASIC)進行解調訊號

及相關訊號處理，晶片如下圖4-22所示。該ASIC具備BGA封裝，具220組高精度頻率比對相關器，除了可將GNSS Carrier 相位比對小於1mm外，其Trimble 自有的 Everest 技術更有效的消除多路徑功能。

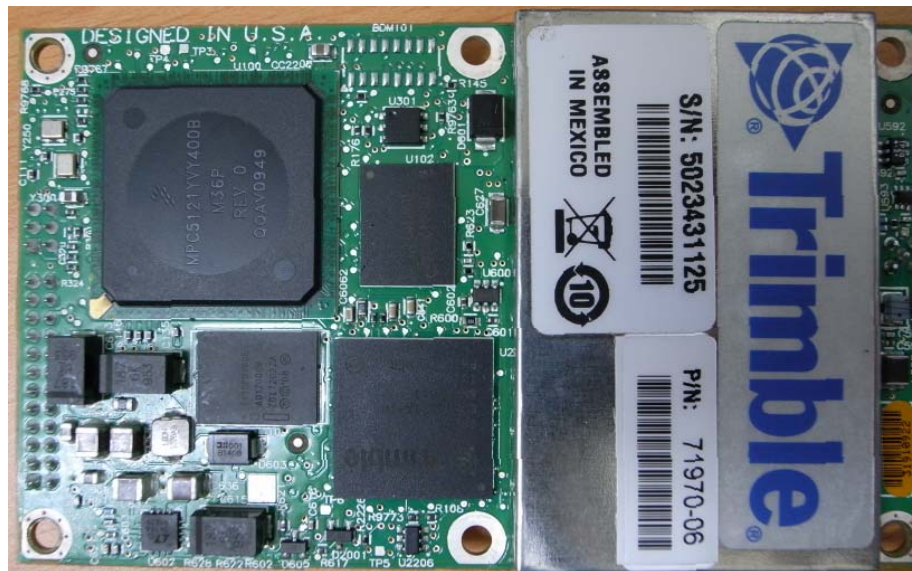


圖 4-21 Trimble BD970 GNSS 衛星定位接收模組



圖 4-22 BD970 使用 Trimble 自有晶片

Trimble BD970 導航衛星訊號接收與處理流程圖如下圖 4-23 所示，BD970 採用整合型多工低雜訊放大器(Low Noise Amplifier, LNA)，可以使用一天線接收多頻率訊號，同時處理 GPS，GLONASS，Galileo 及 SBAS 衛星訊號，並交由 220 頻道相關器引擎進行電碼及載波比對，進而得到觀測量與衛星星曆。

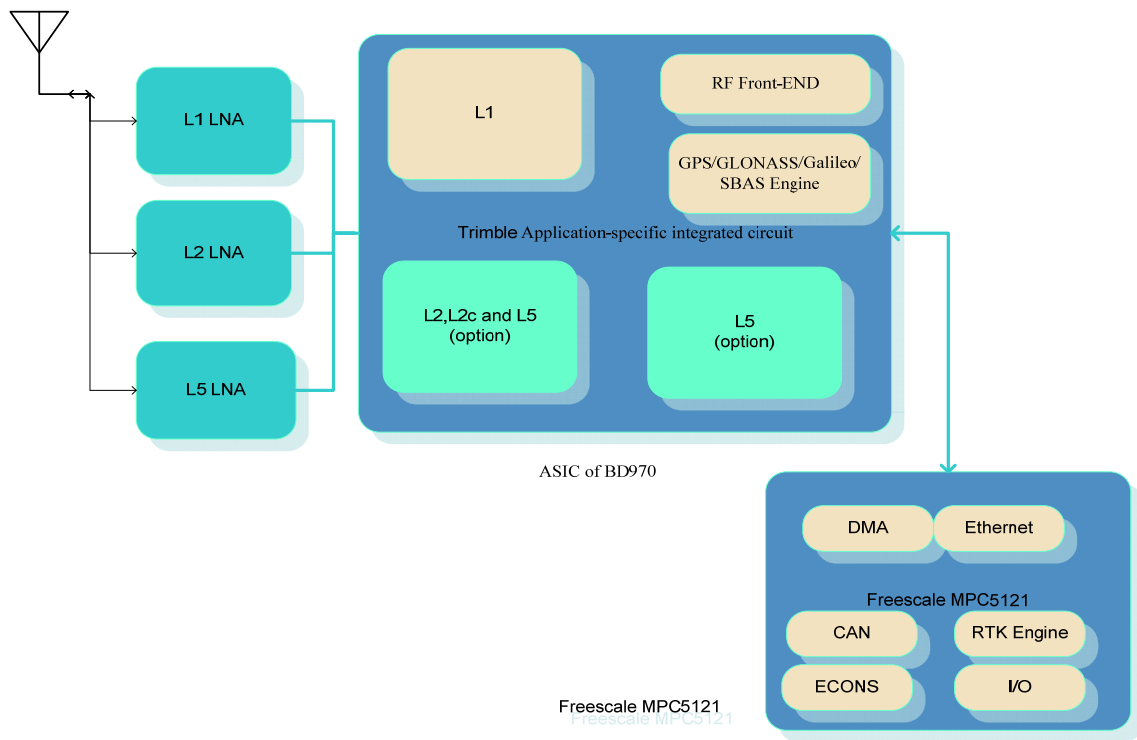


圖 4- 23 Trimble BD970 導航衛星訊號接收與處理流程圖

如圖 4-24 所示，BD970 具備 760 MIPS 高速 32 位元嵌入式系統晶片，此晶片功能為統籌接收模組之運作，並可管理接收模組各輸出入介面，提供使用者與接收模組雙向資料溝通之功能。

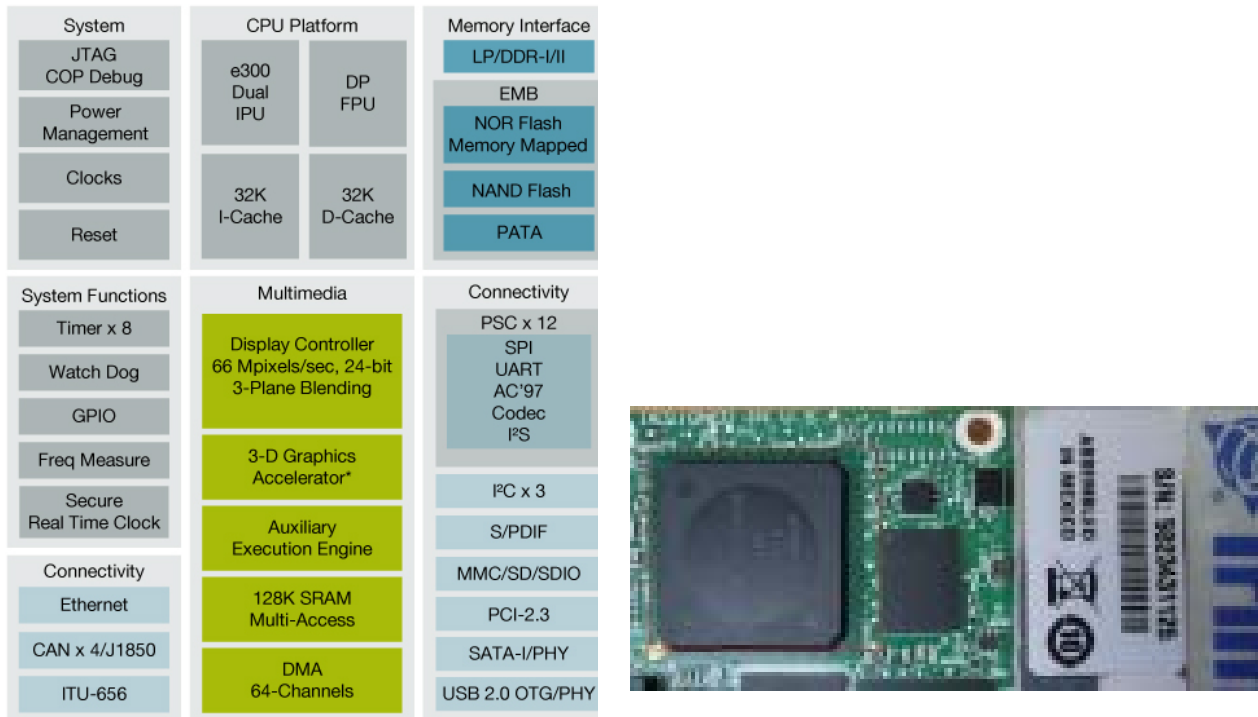


圖 4- 24 BD970 內建 32 位元 SoC

Trimble BD970 GNSS接收模組。其規格如下：

1. 具備220個頻道可接收及輸出GPS、GLONASS及Galileo等3種不同星系之L1、G1及E1頻率之原始電碼及載波相位觀測料。下列為此接收模組可容許接收頻段之規格。
  - GPS： Simultaneous L1 C/A, L2E, L2C, L5
  - GLONASS： Simultaneous L1 C/A, L1 P, L2 C/A (GLONASS M Only), L2 P
  - SBAS： Simultaneous L1 C/A, L5
  - GIOVE-A： Simultaneous L1 BOC, E5A, E5B, E5AltBOC1
  - GIOVE-B： Simultaneous L1 CBOC, E5A, E5B, E5AltBOC1
 註：L2E為Trimble模組L2P訊號之追蹤訊號格式。
2. 具備SBAS 星基增強系統接收能力。
3. 具備輸出GNSS 原始觀測量載波相位觀測量及虛擬距離觀測量功能。
4. 可輸出廣播星曆調制之導航訊息(navigation message)。
5. 具備2 組(含)以上RS-232 序列埠輸出/輸入功能及1組USB傳輸埠。
6. 具備內建及可外接天線功能。

7. 具備1組LAN Ethernet port：

- 支援連接至10BaseT/100BaseT網路。
- 所有功能將透過單一IP位置進行同步地web GUI介面和資料流之存取。
- Network Protocols支援包括HTTP (web GUI)、FTP Server (when data logging is enabled)、FTP Push (when data logging is enabled)、NTP Server及 NMEA...等。

8. 敏感度規格如表4-2所示，Tracking & Navigation時為-158dB，冷開機的敏感度為-150 dB而時間約為五秒。

表 4- 2 Trimble BD970 敏感度參數

Parameter	Specification	
Sensitivity	Tracking & Navigation	-158dBm
	Cold Start (Autonomous)	-150dBm

*Note* – When securing the cable, start at the antenna and work towards the BD970 receiver.

When the cable is secured, coil any slack. Secure the coil with a tie-wrap and tuck it in a safe place.

Tracking	-158 dB
Acquisition	-152 dB
Reacquisition	-152 dB
Cold starts	-150 dB

圖 4- 25 Trimble BD970 型錄-敏感度規格



## (二) Trimble BD970 GNSS衛星定位接收模組之訊號擷取

GNSS接收模組經由RS232串列傳輸埠連接至遠端之計算元件，並進行資料的傳送。使用者端GNSS定位演算需擷取GPS衛星星曆資料及觀測量以進行定位演算。擷取方法有兩種，第一種為由使用者下達指令，第二種方法為由模組自動給予。在此簡介兩種方法。

1. 第一種方法為由使用者下達指令：使用者可下達指令封包「54h」以要求某GPS衛星其星曆資料，當模組接收此指令後，將相對應之報告封包「55h」回傳至使用者端，如圖4-26所示；使用者亦可下達指令封包「56h」以要求某GPS衛星其觀測量資料，當模組接收此指令後，將相對應之報告封包「57h」回傳至使用者端，如圖4-27所示。若模組無該衛星資料，則回傳NAK。
2. 第二種方法為由模組自動給予：使用者進入模組輸出入設定頁面，如圖4-28所示。依序設定(1)輸出RT17報告(即時觀測資料)，(2)串列埠鮑率與同位檢查，(3)觀測量發送頻率，(4)GPS精確星曆發送時機，(5)確定以上設定。

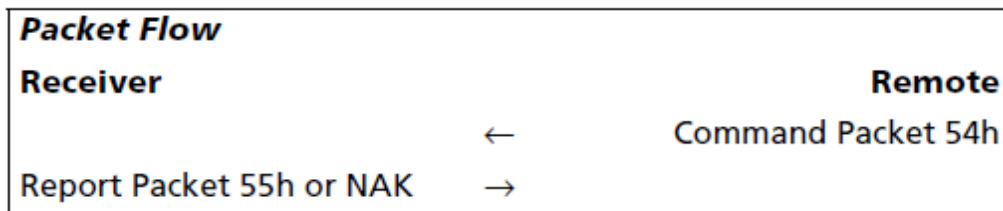


圖 4-26 衛星星曆指令對應關係

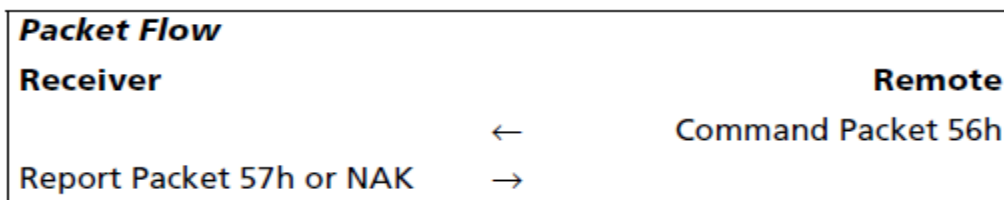


圖 4-27 觀測量指令對應關係

## I/O Configuration

Serial / COM1 RT17/RT27 1.

### Serial Port Setup

Baud: 38,400 Parity: N 2.

### Input/Output

Output: RT17 (1 Hz)

### RT17

	Options	
<b>3.</b> Epoch Interval	<input type="checkbox"/> Concise	<input type="checkbox"/> Multi-System Support
<input type="checkbox"/> Measurements <input checked="" type="checkbox"/> R-T Flag <input type="checkbox"/> Positions	<input checked="" type="checkbox"/> Send Raw GPS Data	<input type="checkbox"/> Smooth Pseudorange
	<input type="checkbox"/> Send Raw SBAS Data	<input type="checkbox"/> Smooth Phase
		<input type="checkbox"/> Include Doppler
	<b>4.</b> GPS Ephemeris	When new one is available
	GLONASS Ephemeris	When new one is available
	Galileo Ephemeris	When new one is available
<b>5.</b> OK		

圖 4-28 模組輸出入設定頁面

使用者可經由上述兩種方法獲得GPS衛星星曆資料(圖4-29)與衛星觀測量資料(圖4-30)，並依照BD970使用者手冊解碼每個參數(BD970 GNSS receiver module user guide, 2010)。



Byte #	Item	Type	Value	Meaning
0	STX	CHAR	02h	Start transmission.
1	STATUS	CHAR	See table 7.2, page 60	Receiver status.
2	PACKET TYPE	CHAR	55h	Report Packet 55h.
3	LENGTH	CHAR	See table 7.1, page 59	Data byte count.
4	DATA TYPE INDICATOR	CHAR	01h	Ephemeris report.
5	SV PRN #	CHAR	00h–20h	Pseudorandom number of satellite (1–32) or 0 when data is for all satellites.
6–7	EPH WEEK #	SHORT	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	Ephemeris Week Number.
8–9	IODC	SHORT	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
10	RESERVED	CHAR	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	Reserved (set to zero).
11	IODE	CHAR	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	Issue of Data Ephemeris.
12–15	TOW	LONG	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	Time of week.
16–19	TOC	LONG	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
20–23	TOE	LONG	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
24–31	TGD	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
32–39	AF2	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
40–47	AF1	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
48–55	AF0	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
56–63	CRS	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
64–71	DELTA N	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
72–79	M SUB 0	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
80–87	CUC	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
88–95	ECCENTRICITY	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
96–103	CUS	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
104–111	SQRT A	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
112–119	CIC	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
120–127	OMEGA SUB 0	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
128–135	CIS	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
136–143	I SUB 0	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
144–151	CRC	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
152–159	OMEGA	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
160–167	OMEGA DOT	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
168–175	I DOT	DOUBLE	GPS ICD-200 <sup>1</sup>	
176–179	FLAGS	LONG	See table 7.45, page 109	Shows status of Ephemeris Flags.
180	CHECKSUM	CHAR	See table 7.1, page 59	Checksum value.
181	ETX	CHAR	03h	End transmission.

<sup>1</sup> For detailed information, refer to the U.S. Government document GPS ICD-200.

圖 4-29 「55h」報告-GPS 衛星精確星曆資料

Byte #	Item	Type	Value	Meaning
0	STX	CHAR	02h	Start transmission.
1	STATUS	CHAR		Receiver status.
2	PACKET TYPE	CHAR	57h	RAWDATA.
3	LENGTH	CHAR		Data byte count.
4	RECORD TYPE	CHAR		Raw data record type.
5	PAGING INFO	CHAR		b7–b4 is the current page number b3–b0 is the total pages in this epoch (1 of 3, 2 of 3, 3 of 3).
6	REPLY #	CHAR	00h–FFh	Roll-over counter which is incremented with every report but remains constant across pages within one report. This value should be checked on the second and subsequent pages to ensure that report pages are not mismatched with those from another report.
7	FLAGS	CHAR		Bit 0 must be set to 0 to enable Expanded Record format.
<b>Begin Expanded Format Record Header (17 bytes)</b>				
8–15	RECEIVE TIME	DOUBLE	msecs	Receive time within the current GPS week (common to code and phase data).
16–23	CLOCK OFFSET	DOUBLE	msecs	Clock offset value. A value of 0.0 indicates that clock offset is not known.
24	# OF SVS IN RECORD	CHAR		Number of SV data blocks included in record.
<b>Begin data for first satellite in constellation (repeated for up to n SVs)</b>				
<b>Begin Real-Time Survey Data (48 bytes * n)</b>				
	SV PRN #	CHAR	01h–20h	Pseudorandom number of satellite (1–32).
	FLAGS1	CHAR		First set of status flags.
	FLAGS2	CHAR		Second set of status flags.
	FLAG STATUS	CHAR		Determines whether the bit values for FLAGS1 and FLAGS2 are valid.
	ELEVATION ANGLE	SHORT	degrees	Satellite elevation angle (negative or positive value).
	AZIMUTH	SHORT	degrees	Satellite azimuth.
<b>Begin L1 Data</b>				
	L1 SNR	DOUBLE	dB	Measure of satellite signal strength.
	FULL L1 C/A CODE PSEUDORANGE	DOUBLE	meters	Full L1 C/A code or P-code pseudorange (see bit 0 of FLAGS2).
	L1 CONTINUOUS PHASE	DOUBLE	L1 cycles	L1 Continuous Phase. Range-Rate sign convention: When pseudorange is increasing, the phase is decreasing and the Doppler is negative.
	L1 DOPPLER	DOUBLE	Hz	L1 Doppler.
	RESERVED	DOUBLE	0.0	Reserved.
<b>Begin L2 Data (available if bit 0 of FLAGS1 is set to 1) (24 bytes * n)</b>				
	L2 SNR	DOUBLE	dB	Measure of satellite signal strength
	L2 CONTINUOUS PHASE	DOUBLE	L2 cycles	L2 Continuous Phase is in L2 cycles if bit 5 of FLAGS1 = 1
	L2 P-CODE - L1 C/A CODE P-RANGE	DOUBLE	meters	L2 P-Code or L2 Encrypted Code (see bit 1 and bit 2 of FLAGS2) — L1 C/A-Code or P-code (see bit 0 of FLAGS2) pseudorange (valid only if bit 5 of FLAGS1 = 1)
<b>Begin Enhanced Record<sup>1</sup> if bit 1 of the FLAGS byte set to 1 (12 bytes * n)</b>				
	IODE	CHAR	00h–FFh	Issue of Data Ephemeris
	L1 SLIP COUNTER	CHAR	00h–FFh	Roll-over counter is incremented for each occurrence of detected cycle-slips on L1 carrier phase
	L2 SLIP COUNTER	CHAR	00h–FFh	Roll-over counter is incremented for each occurrence of detected cycle-slips on the L2 carrier phase. The counter always increments when L2 changes from C/A code to Encrypted code and vice versa.
	RESERVED	CHAR	—	Reserved (set to zero)
	L2 DOPPLER	DOUBLE	Hz	L2 Doppler
<i>Repeat previous bytes for remaining satellites in constellation</i>				
	CHECKSUM	SHORT		Checksum value
	ETX	CHAR	03h	End transmission

圖 4-30 「57h」報告-GPS 衛星觀測量資料

BD970 GNSS 衛星定位接收模組具備接收及輸出 GPS、GLONASS 及 Galileo 等 3 種不同星基之 L1、G1 及 E1 頻率之原始電碼及載波相位觀測資料。以下圖 4-31 衛星訊號表示，GNSS 定位模組已具備三種星基之接收能力，皆可接收 L1 C/A、P code 及 E code(GIOVE-BOC,CBOC)。圖中綠色圖塊分別表示三星基系統之 L1 P code,藍色圖塊分別表示三星基之 L1 C/A 及 BOC(Galileo)，且接收能力平均可高於 30dB，並於仰角 10 度以上衛星，經長時間接收比對後資料，如下圖 4-32 所示 BD970 接收 L1 Carrier 的精度平均為 5 米，圖 4-33 為 GNSS C/A 差異性分析，可看出 L1 C/A Code 的差異平均為 1 米。

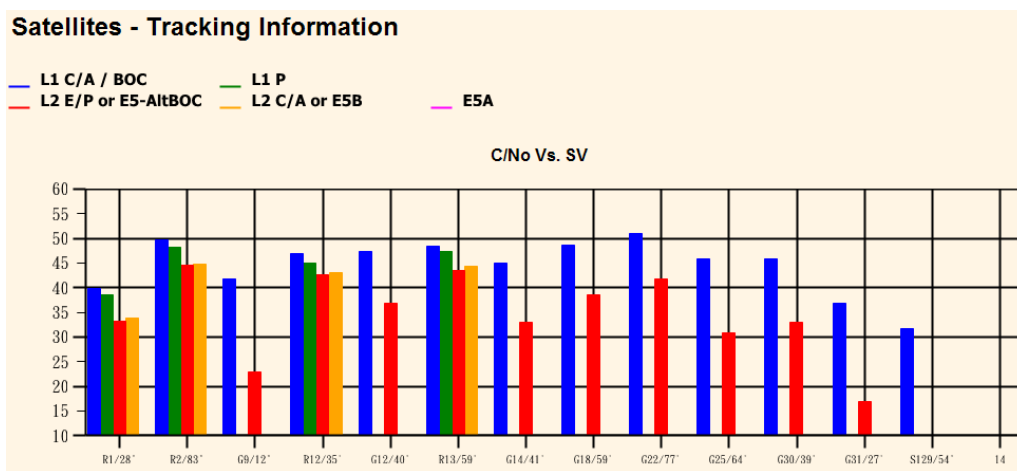


圖 4-31 GNSS 接收模組訊號圖

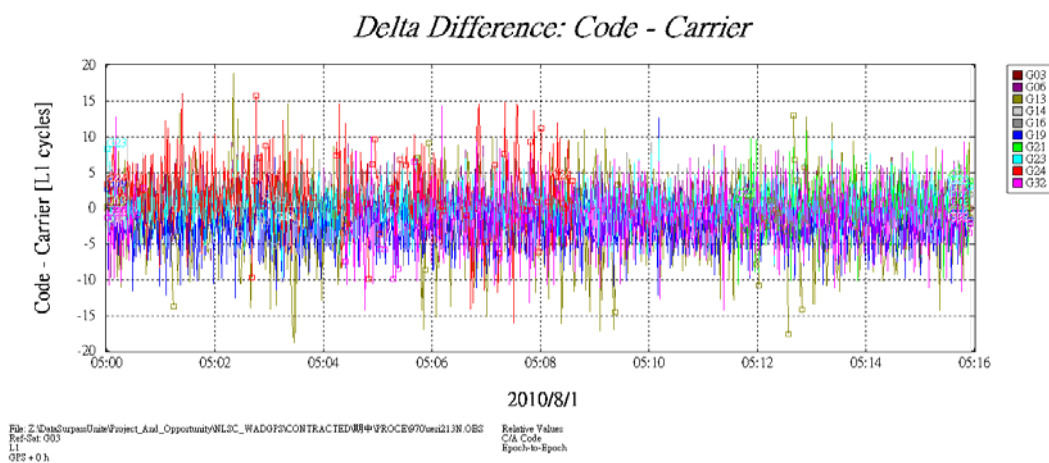


圖 4-32 GNSS Carrier 載波精度

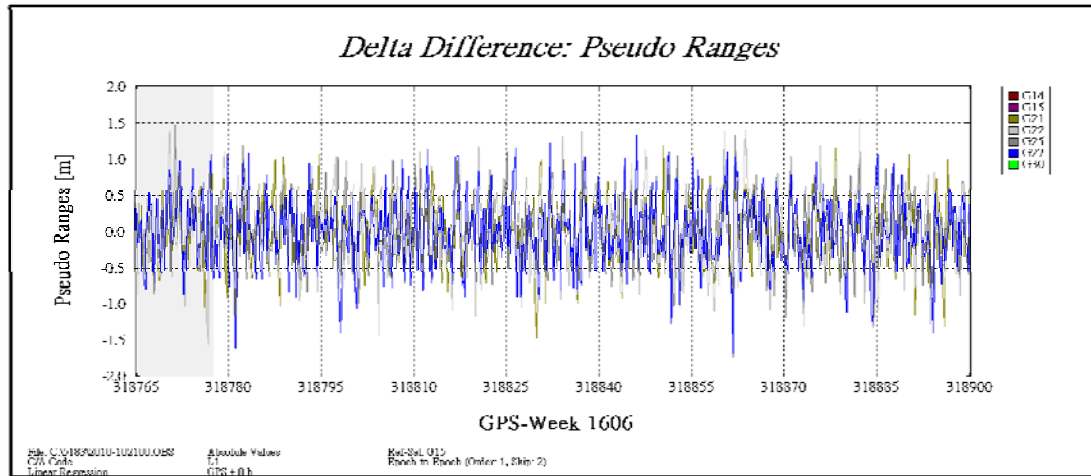


圖 4- 33 GNSS C/A 差異性分析

關於 GNSS 衛星定位接收模組多星基能力，BD970 GNSS 衛星定位接收模組具備 220 組訊號接收能力，下圖 4-34 為 BD970 衛星數統計表示，於本測試地點(Lat = 24.141923 Lon = 120.66013 Hgt = 113m，接收仰角為 0 度以上)平均一天約有 24 小時可接收 GNSS 衛星群之數量圖。平均 GPS 衛星群約為 11.23 顆，GNOLASS 約為 7.35 顆，Galileo 約為 0.71 顆。總數可追蹤衛星平均為 19.29 顆。

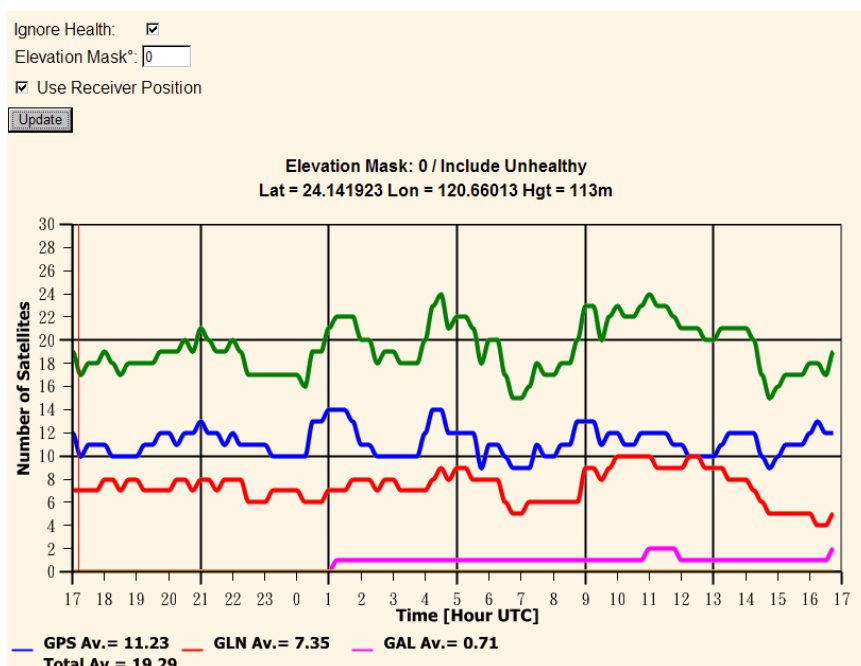


圖 4- 34 BD970 各星基接收數量預估統計圖

### (三) 使用者端GNSS定位演算

由Trimble BD970 GNSS接收模組可同時接收三種星系，並可擷取原始觀測資料(RAW data，其包含虛擬距離、載波相位觀測量等觀測資料) 和星曆資料進行導航單點定位演算。

定位演算程序具有三種模式：(1)未使用任何修正訊息之單點定位、(2)使用WADGNSS廣域差分修正訊息、(3)使用DGNSD差分修正訊息。經由演算法則求得使用者位置(經度、緯度及高度)，最後將所得定位解傳輸至整合式平臺之介面程式呈現。下圖4-35則為整體定位演算之流程。本案案以GPS導航定位為主，故僅以接收GPS訊號進行定位演算。

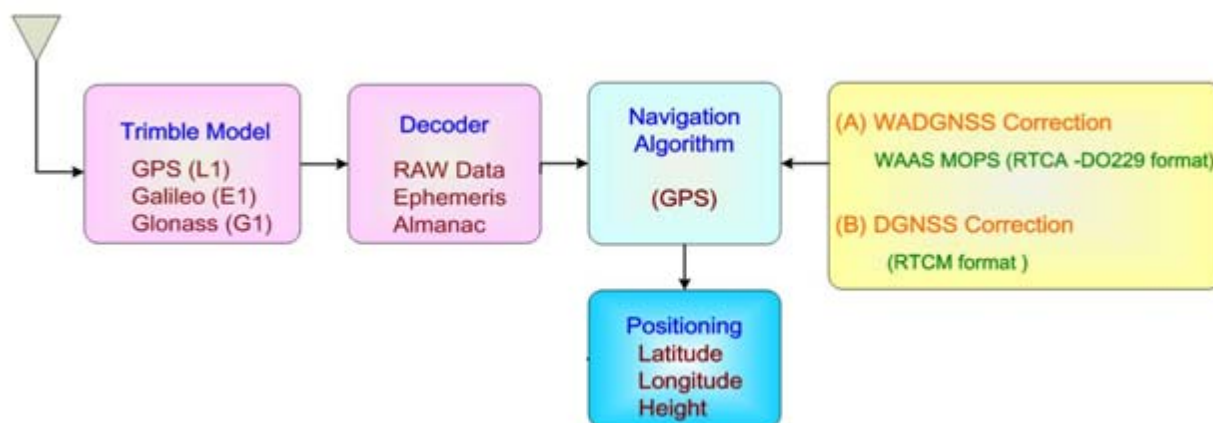


圖 4-35 整體定位演算之流程

以下分別介紹(1)未使用任何修正訊息之單點定位、(2)使用WADGNSS廣域差分修正訊息、(3)使用DGNSD差分修正訊息三種定位模式之演算流程。

#### (1)未使用任何修正訊息之單點定位演算

圖4-36 為未使用任何修正訊息之定位流程，本流程持續接收並解析GNSS模組串列埠資料，若取得衛星星曆則更新既有星曆資料，若取得觀測量資料則進行單點定位演算。

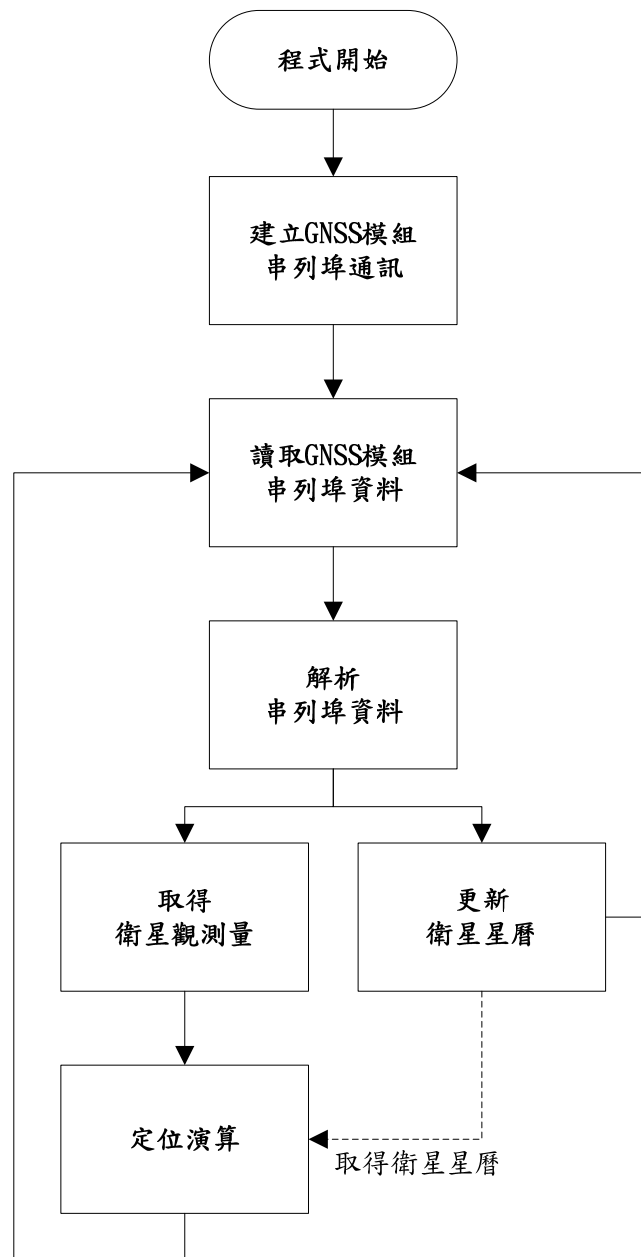


圖 4-36 未使用任何修正訊息之定位流程

圖 4-36 流程圖中，定位演算方塊其詳細計算過程如圖 4-37 所示，以下所描述之演算流程為圖 4-37 中之導航訊息演算，可求出衛星之位置。衛星位置演算法則如下：

1.  $t$  為本地端時間， $t_{sv}$  為預估衛星時間， $psr$  為 Trimble BD970 GNSS 接收模組的輸出觀測量-虛擬距離(pseudo range)， $c$  為真空光速 =

299792458 m/sec， $(psr/c)$  值為訊號傳送時間。

$$t_{sv} = t - (psr/c) \quad (4.1)$$

2. 計算衛星時間與參考時間之差並進行週末修正， $t_{sv}$  則依規定進行下述調整以因應每週六半夜之重置。

$$t_{sv} = \begin{cases} t_{sv} - 604800 & ; \text{若 } t_{sv} - t_{oc} > 302400 \text{sec} \\ t_{sv} + 604800 & ; \text{若 } t_{sv} - t_{oc} < -302400 \text{sec} \end{cases} \quad (4.2)$$

其中 604800 秒則相當於一週之時間， $t_{oc}$  為衛星時鐘參考秒數。

3. 計算衛星時鐘之相對修正量：

$$\Delta t_R = Fe\sqrt{A} \sin E_k, F = \frac{-2\sqrt{\mu}}{c^2} = -4.442807633 \times 10^{-10} \text{ sec}/m^{\frac{1}{2}} \quad (4.3)$$

4. 計算衛星時鐘之修正量：

$$\begin{aligned} \Delta t_{sv} &= a_{f_0} + a_{f_1} t_c + a_{f_2} t_c^2 + \Delta t_R - t_{GD} \\ \text{where } t_c &= t_{sv} - t_{oc} \end{aligned} \quad (4.4)$$

其中  $a_{f_0}$ 、 $a_{f_1}$  與  $a_{f_2}$  為修正用之多項式係數， $t_{oc}$  則為衛星時鐘參考時間。此一修正多項式可對 GPS 衛星時鐘之偏置(bias)、漂移(drift)、及頻率漂移(frequency drift)進行修正。 $t_{GD}$  是針對 L1 單頻接收器，此由星曆資料提供的電離層群延遲修正量。 $a_{f_0}$ 、 $a_{f_1}$ 、 $a_{f_2}$  與  $t_{oc}$  可於星曆資料資料中取得。

5. 觀測時刻與參考時刻的時間差  $t_{gps} = t_{sv} - \Delta t_{sv}$ ，並進行週末修正，  
 $t_k = t_{gps} - t_{oe}$  且依規定進行下述調整以因應每週六半夜之重置。

6. 輸入軌道參數並且參考 WGS-84 橢球參數。

pi = 3.1415926535898;  
 軌道之半軸長  $A = (\sqrt{A})^2$ ， $\sqrt{A}$  由星曆資料提供。

7. 計算平均角速度  $n_0 = \sqrt{u/A^3} \quad (4.5)$

修正後之平均角速度  $n = n_0 + \Delta n \quad (4.6)$



計算平均角  $M_k = M_0 + nt_k$  (4.7)

8. 由刻卜勒方程式解出離心角  $E_k$  :

$$M_k = E_k - e \sin E_k \quad (4.8)$$

在程式中利用迭代的方法，可求出  $E_k$ 。

9. 計算真角  $v_k$  :

$$v_k = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{1-e^2} \sin E_k / (1 - e \cos E_k)}{(\cos E_k - e) / (1 - e \cos E_k)} \right\} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{1-e^2} \sin E_k}{(\cos E_k - e)} \right\} \quad (4.9)$$

10. 計算緯度變角為近地夾角與真角之和。

$$\phi_k = v_k + \omega \quad (4.10)$$

11. 計算緯度變角修正量  $\delta u_k$ ，軌道半徑修正量  $\delta r_k$ ，軌道傾斜角修正量  $\delta i_k$ 。

$$\begin{aligned} \delta u_k &= C_{us} \cos 2\phi_k + C_{uc} \sin 2\phi_k \\ \delta r_k &= C_{rc} \cos 2\phi_k + C_{rs} \sin 2\phi_k \\ \delta i_k &= C_{ic} \cos 2\phi_k + C_{is} \sin 2\phi_k \end{aligned} \quad (4.11)$$

12. 計算修正後的緯度變角  $u_k$ ，半徑  $r_k$ ，軌道傾角  $i_k$ 。

$$\begin{aligned} u_k &= \phi_k + \delta u_k \\ r_k &= A(1 - e \cos E_k) + \delta r_k \\ i_k &= i_0 + \delta i_k + \left(\frac{di}{dt}\right)t_k \end{aligned} \quad (4.12)$$

13. 計算軌道平面上衛星點坐標以及昇交角  $\Omega_k$ 。

$$\begin{aligned} x'_k &= r_k \cos u_k \\ y'_k &= r_k \sin u_k \\ \Omega_k &= \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e) \cdot t_k - \dot{\Omega}_e \cdot t_{0e} \end{aligned} \quad (4.13)$$

14. 判定坐標系需求(ECEF)，計算 WGS-84 坐標系統的衛星點坐標



$(x_k, y_k, z_k)$ 。

$$\begin{aligned}x_k &= x'_k \cos\Omega_k - y'_k \cos i_k \cdot \sin\Omega_k \\y_k &= x'_k \sin\Omega_k + y'_k \cos i_k \cdot \cos\Omega_k \\z_k &= y'_k \sin i_k\end{aligned}\tag{4.14}$$

15. 依照上述方式即可取得各顆衛星的位置，至少必須有四顆可視衛星才可利用最小二乘法(LSE)來求得使用者的正確位置(Tsui, 2004)。

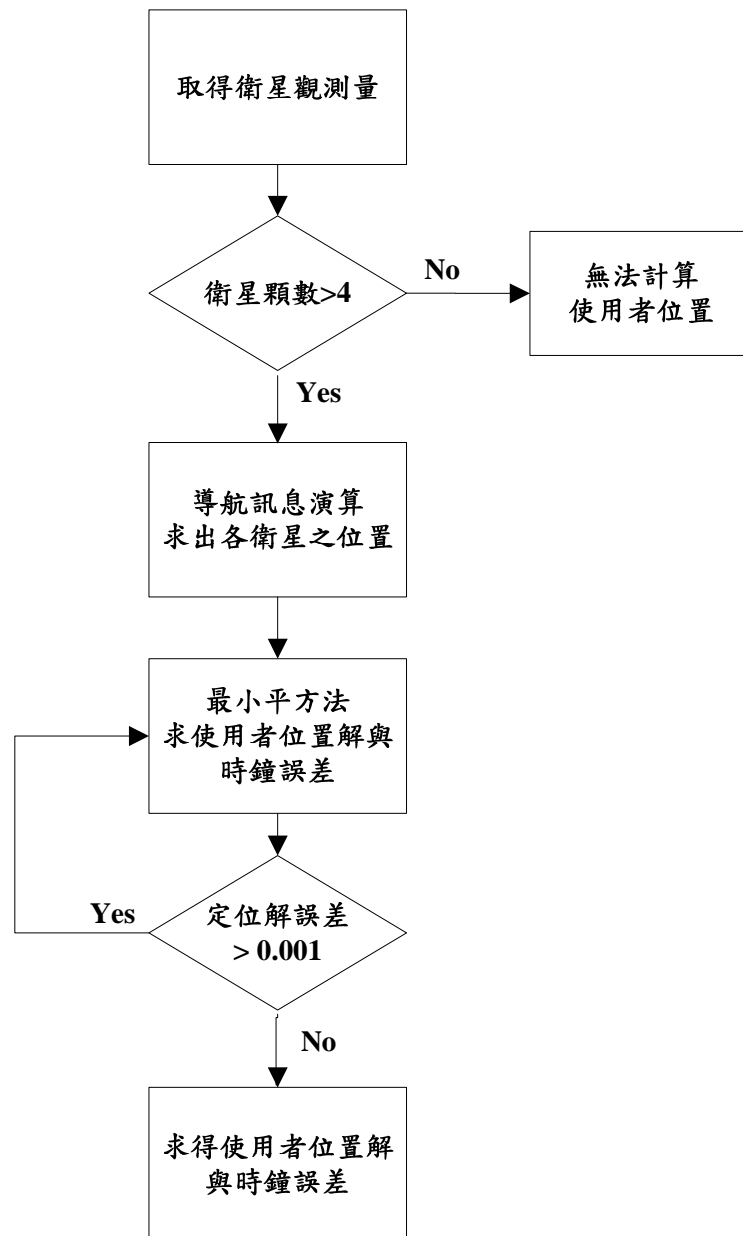


圖 4-37 未使用任何修正訊息之定位演算

經由上述步驟可取得至少四顆可視衛星的位置及觀測量，利用觀測量得到使用者與衛星間的虛擬距離，透過最小平方法推算出使用者位置解與時鐘誤差，估測使用者定位法則如下所述。

首先，令  $R_p^i$  為接收器與編號  $i$  之衛星的虛擬距離，且假設接收器與該衛星之距離分別為  $(x_p, y_p, z_p)$  和  $(x^i, y^i, z^i)$ ，兩者之間的距離  $\rho_p^i$  為：

$$\rho_p^i = \sqrt{(x_p - x^i)^2 + (y_p - y^i)^2 + (z_p - z^i)^2} \quad (4.15)$$

令  $dt_p$  為接收器的時鐘誤差， $dt^i$  為衛星的時鐘誤差，則虛擬距離的基本觀測方程式可表示成：

$$R_p^i = \rho_p^i + c(dt_p - dt^i) \quad (4.16)$$

在此再求接收器位置  $(x^i, y^i, z^i)$  及時鐘誤差  $dt^i$ 。由於有四個未知量，故同一時間內至少需要四顆衛星以上的觀測量，即可建立一組非線性之聯立方程式。此組非線性聯立方程式可利用解析方法求解，但事實應用上，由於可觀測到之衛星顆數會有所異動，故一般做法是將非線性方程式給予線性化再行求解。以下將逐步說明其解算過程：

1. 假設空間中已知點  $(x_o, y_o, z_o)$  為初始接收位置及初始時鐘誤差  $b_0 = c\delta_{p,0}$ 。
2. 計算已知點與第  $i$  顆衛星之空間距離  $\rho_o^i$ 。

$$\rho_o^i = \sqrt{(x_o - x^i)^2 + (y_o - y^i)^2 + (z_o - z^i)^2} \quad (4.17)$$

3. 如果已知點與接收位置  $(x_p, y_p, z_p)$  相近，則可將  $\rho_p^i$  在  $(x_o, y_o, z_o)$  附近展開而得到下列之線性近似。

$$\rho_p^i = \rho_o^i + \left. \frac{\partial \rho_p^i}{\partial x_p} \right|_{(x_o, y_o, z_o)} (x_p - x_o) + \left. \frac{\partial \rho_p^i}{\partial y_p} \right|_{(x_o, y_o, z_o)} (y_p - y_o) + \left. \frac{\partial \rho_p^i}{\partial z_p} \right|_{(x_o, y_o, z_o)} (z_p - z_o) \quad (4.18)$$

其中，

$$\begin{aligned}
h_x^i &= \left. \frac{\partial \rho_p^i}{\partial x_p} \right|_{(x_o, y_o, z_o)} = \frac{x_o - x^i}{\sqrt{(x_o - x^i)^2 + (y_o - y^i)^2 + (z_o - z^i)^2}} = \frac{x_o - x^i}{\rho_o^i} \\
h_y^i &= \left. \frac{\partial \rho_p^i}{\partial y_p} \right|_{(x_o, y_o, z_o)} = \frac{y_o - y^i}{\sqrt{(x_o - x^i)^2 + (y_o - y^i)^2 + (z_o - z^i)^2}} = \frac{y_o - y^i}{\rho_o^i} \\
h_z^i &= \left. \frac{\partial \rho_p^i}{\partial z_p} \right|_{(x_o, y_o, z_o)} = \frac{z_o - z^i}{\sqrt{(x_o - x^i)^2 + (y_o - y^i)^2 + (z_o - z^i)^2}} = \frac{z_o - z^i}{\rho_o^i}
\end{aligned}$$

則虛擬距離方程式可近似成：

$$R_p^i + c \cdot dt^i - \rho_o^i = [h_x^i \quad h_y^i \quad h_z^i \quad 1] \begin{bmatrix} (x_p - x_o) \\ (y_p - y_o) \\ (z_p - z_o) \\ c \cdot dt_p \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

其中，向量  $h_i = [h_x^i \quad h_y^i \quad h_z^i]$  代表由已知點  $(x_o, y_o, z_o)$  至第  $i$  顆衛星之單位向量。

4. 假設可接收  $n$  顆衛星的觀測量，則聯立線性方程式可表示為：

$$\begin{bmatrix} R_p^1 + c \cdot dt^1 - \rho_o^1 \\ R_p^2 + c \cdot dt^2 - \rho_o^2 \\ \vdots \\ R_p^n + c \cdot dt^n - \rho_o^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_x^1 & h_y^1 & h_z^1 & 1 \\ h_x^2 & h_y^2 & h_z^2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_x^n & h_y^n & h_z^n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (x_p - x_o) \\ (y_p - y_o) \\ (z_p - z_o) \\ c \cdot dt_p \end{bmatrix} + \underline{v} \quad (4.20)$$

上式可表示成  $\underline{b} = H\underline{p} + \underline{v}$ 。

其中， $\underline{v}$  代表量測雜訊、線性化誤差...等影響。

5. 假設  $\underline{v}$  之均值為零，利用最小二乘法求得單一時刻最佳位置解與時鐘誤差。

$$\hat{\underline{p}}_{ls} = [H^T H]^{-1} H^T \underline{b} \quad (4.21)$$

6. 假設  $\hat{\underline{p}}_{ls} = [x_a \quad y_a \quad z_a \quad c \cdot dt_a]^T$ ，則接收位置及接收器時鐘誤差則可近似成：

$$[x_o + x_a \quad y_o + y_a \quad z_o + z_a \quad dt_a]^T \quad (4.22)$$

若初始接收位置與真實點位有所差距 ( $\sqrt{x_a^2 + y_a^2 + z_a^2}$ )，與一般設立之門檻值 (與正確接收位置之誤差量) 比較結果，若小於門檻值，則  $[x_o + x_a \quad y_o + y_a \quad z_o + z_a \quad dt_a]^T$  為正確接收位置與時鐘誤差，反之，若大於門檻值，則將新的初始接收位置及時鐘誤差設定為  $[x_o + x_a \quad y_o + y_a \quad z_o + z_a \quad dt_a]$ ，重複上述步驟直至小於門檻值為止(莊智清、黃國興，2001)。於本定位演算，門檻值設定為  $10^{-3}$ 。

## (2) 使用 WADGNSS 廣域差分修正訊息之單點定位演算

GPS 定位演算應如何搭配 WADGNSS 修正量來達到修正之功效將在本節闡述。廣域差分修正訊息架構如表 3-7 所示，其中黃色部分為有效之訊息。這些訊息可參考 3-5 節所定義之 WADGNSS 廣域差分定位修正訊息架構。以下將說明 WADGNSS 修正訊息架構中各修正訊息之內容及有效的修正量參數。最後說明使用 WADGNSS 廣域差分修正訊息之定位演算流程。

### 1. 偽裝虛擬衛星號碼分配訊息 (PRN Mask assignments)

訊息 type 1 發佈 WAAS 中能夠修正的衛星號碼，利用虛擬衛星號碼 (PRN Mask Number) 來取代原本的衛星號碼，在修正訊息封包中，利用 210 個位元代表衛星號碼 1 到 210，如表 4-3 所示，PRN slot 1~37 表示 GPS 之衛星編碼，PRN slots 38~61 表示 GLONASS 之衛星編碼。如果發佈衛星號碼 2 號的修正訊息，表示在 210 位元中的第二個位元為 1，相反的則為 0。從圖 4-38 說明衛星號碼 4 號，在修正量中是第二顆可修正之衛星，因此在 WAAS 中對於 4 號衛星修正訊息皆以第二順位表示。藉此可得知哪幾顆衛星可取得修正量 (WAAS MOPS, 2006)。

表 4-3 PRN MASK Assignments

PRN Slot	Assignment
1 to 37	GPS/GPS Reserved PRN
38 to 61	GLONASS Slot Number
62 to 119	Future GNSS
120 to 138	GEO/SBAS PRN
139 to 210	Future GNSS/GEO/SBAS/Pseudolites

Bit number	1	2	3	4	5		38		209	210
PRN Mask	0	1	0	1	0	...	1	...	0	0
PRN Code Number	PRN 2		PRN 4				GLONASS slot 1		PRN Mask Value	
PRN Code Mask	1		2				24			

圖 4-38 PRN MASK 舉例

## 2. 即時修正訊息(Fast Correction)

訊息type 2至type 5中發送衛星的虛擬距離修正量(Pseudo Range Correction, PRC)與使用者殘餘誤差的信心範圍指標(UDREI)，其值在此代表衛星修正後星曆與時間修正後的殘餘誤差範圍(UDRE)(劉慶鴻，2006)，表3-5為使用者殘餘誤差的信心範圍指標與衛星修正後星曆與時間修正後的殘餘誤差範圍之關係。訊息type 2中包含了第一到第十三順位衛星之修正訊息，訊息type 3中包含第十四到二十六順位衛星之修正訊息，訊息type 4包含第二十七到第三十九順位衛星之修正訊息，最後訊息type 5則包含第四十到第五十二順位衛星的修正訊息。其即時修正量之修正方法為：

$$PR_{corrected}(t) = PR_{measured}(t) + PRC(t_{of}) + RRC(t_{of}) \times (t - t_{of}) \quad (4.23)$$

$PR_{corrected}(t)$ ：修正後之虛擬距離。

$PR_{measured}(t)$ ：接收器產生之虛擬距離。

$PRC(t_{of})$ ：WADGNSS產生之修正值。

$RRC(t_{of})$ ：依據MOPS計算出之修正距離改變率。

$t$ ：現在時間。

$t_{of}$ ：修正量發佈時間。

然而，修正距離改變率(Range Rate Correction, RRC)是無法透過廣播取得，必由使用者差分化即時修正量求得，如下式：

$$RRC(t_{of}) = \frac{PR_{corrected}(t) - PR_{previous}(t)}{\Delta t} \quad (4.24)$$

$PR_{corrected}$  : 目前快速修正量。

$PR_{previous}$  : 前一筆快速修正量。

$\Delta t$  :  $(t_{of} - t_{of, previous})$ 。

$t_{of}$  : 目前即時修正量之時間。

$t_{of, previous}$  : 前一筆即時修正量之時間。

利用公式4.23可對各顆衛星之虛擬距離作修正。但在WADGNSS修正訊息中並沒有提供修正距離改變率(Range Rate Correction, RRC)，需參考MOPS，並配合修正訊息type 7發佈之即時修正訊息衰變指數(fast correction degradation factor)及訊息type 10發佈之衰變參數(degradation parameters)來計算其修正距離改變率(WAAS MOPS, 2006)。

### 3. 混和即時與長效型修正訊息(mixed fast/long term satellite error correction)之使用

訊息type 24中之前半段訊息與即時修正訊息(訊息type 2至訊息type 5)相關，後半段有106位元將與長效型修正訊息相關，兩種修正訊息一起發送稱為混和修正訊息，其訊息格式與內容可依照 WAAS MOPS (2006)。

### 4. 長效型修正訊息(long term satellite error correction)之使用

修正訊息type 25發送長效型修正訊息，此修正訊息主要為修正衛星位置，其修正訊息依據發佈之速率指標(velocity code)分為兩種不同形式之修正量，其訊息格式與內容根據MOPS。若速率指標等於1時，其內容包含了兩顆修正衛星之位置修正量( $\delta x$ 、 $\delta y$ 與 $\delta z$ )、位置改變率( $\delta \dot{x}$ 、 $\delta \dot{y}$ 與 $\delta \dot{z}$ )、衛星時鐘修正量( $\delta a_{f0}$ 與 $\delta a_{f1}$ )與此修正量之可應用起始時間( $t_0$ )。速率指標等於0時，包含了四顆修正衛星位置修正量，衛星時鐘修正量(WAAS MOPS, 2006)。

修正衛星星曆之方式為：

速率指標等於1之情形：

$$\delta\Delta t_{SV}(t_k) = \delta a_{f0} + \delta a_{f1}(t_k - t_0) + \delta a_{fG0} \quad (4.25)$$

速率指標等於0之情形：

$$\delta\Delta t_{SV}(t_k) = \delta a_{f0} + \delta a_{fG0} \quad (4.26)$$

$\delta\Delta t_{SV}(t_k)$ ：時間誤差修正量(clock time error estimate)。

$\delta a_{f0}$ ：時間補償誤差修正量 (clock offset error correction)。

$\delta a_{f1}$ ：時間漂移誤差修正量 (clock drift error correction)。

$\delta a_{fG0}$ ：針對GLONASS衛星提供之修正數量。

$t_k$ ：目前時間。

$t_0$ ：可應用之起始時間。

修正衛星位置之方式為：

速率指標等於1之情形：

$$\begin{bmatrix} \delta x_k \\ \delta y_k \\ \delta z_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta \dot{x} \\ \delta \dot{y} \\ \delta \dot{z} \end{bmatrix} (t_k - t_0) \quad (4.27)$$

速率指標等於0之情形：

$$\begin{bmatrix} \delta x_k \\ \delta y_k \\ \delta z_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

$\delta x_k$ 、 $\delta y_k$ 、 $\delta z_k$ ：各衛星位置之修正量。

$\delta x$ 、 $\delta y$ 、 $\delta z$ ：WAAS發佈之位置修正量。

$\delta \dot{x}$ 、 $\delta \dot{y}$ 、 $\delta \dot{z}$ ：WAAS發佈之位置改變量。

$t_k$ ：目前時間。

$t_0$ ：可應用之起始時間。

## 5. 電離層修正訊息(ionospheric correction)之使用

修正訊息type 18與修正訊息type 26中包含電離層之修正訊息，其訊息格式與內容依據MOPS。如圖4-39所示，將全球電離層分為十一個區塊，第九區與第十區並未顯示於圖中。將這些區塊依據緯度之不同再區分出以五度一格或十度一格之小區塊，而經度之不同再區分出以四十度一格之區塊，並把電離層格點編號(如表4-4)。在修正訊息type 18中發佈為具有修正值之電離層格點位置，訊息type 26中發佈訊息則為電離層格點位置之電離層垂直格點誤差指標(GIVEI)與電離層格點修正後殘餘誤差範圍關係(如表3-6)。使用者首先求出從衛星至使用者端之電離層穿刺點(IPP) 訊號，利用衛星與使用者的可視直線(LOS)，根據MOPS來推算出衛星與使用者在電離層中的穿刺點，假設電離層高度處於地表350km處，其衛星與使用者和電離層穿刺點的幾何位置示意圖，如圖4-40所示，其電離層穿刺點位置的計算方式為(WAAS MOPS, 2006)：

$$\phi_{pp} = \sin^{-1} \left( \sin \phi_u \cos \psi_{pp} + \cos \phi_u \sin \psi_{pp} \cos A \right)_{radians} \quad (4.29)$$

$\phi_{pp}$ ：穿刺點的緯度位置。

$\phi_u$ ：使用者的緯度位置。

$A$ ：衛星相對於使用者的方位角。

$\psi_{pp}$ ：地心與使用者跟穿刺點之間所產生的夾角其關係式。

$$\psi_{pp} = \frac{\pi}{2} - E - \sin^{-1} \left( \frac{R_e}{R_e + h_f} \cos E \right)_{radians} \quad (4.30)$$

$E$ ：衛星相對於使用者的仰角。

$R_e$ ：地球半徑6378.1363km。

$h_f$ ：電離層模型的高度為350km處。

$$\lambda_{pp} = \lambda_u + \sin^{-1} \left( \frac{\sin \psi_{pp} \sin A}{\cos \phi_{pp}} \right)_{radians} \quad (4.31)$$

$\lambda_{pp}$ ：穿刺點的經度位置。

$\lambda_u$ ：使用者的經度位置。



公式4.29、公式4.30，公式4.31中的單位都是以弧度表示。

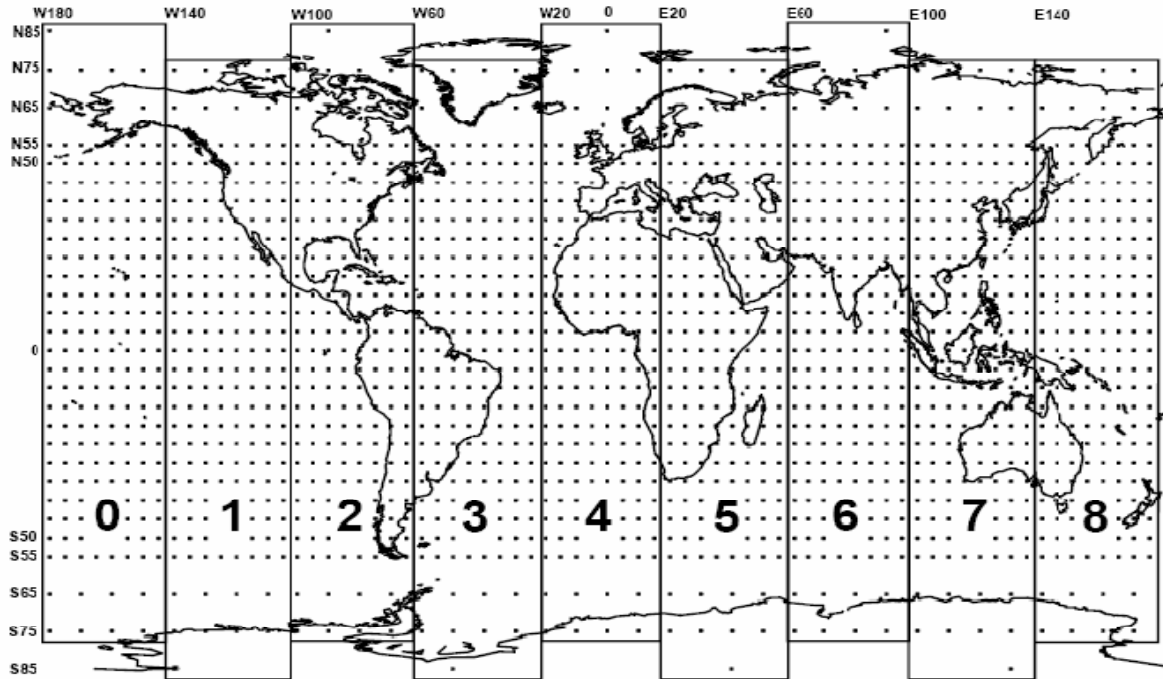


圖 4-39 全球電離層之區分圖

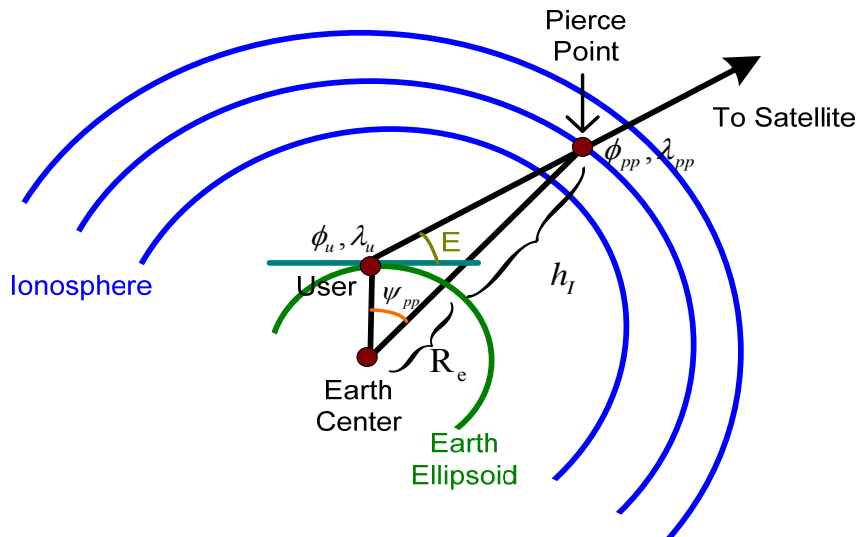


圖 4-40 電離層穿刺點位置圖

表 4-4 電離層格點的位置編號

		Bits in Mask
<b>Band 0</b>		
180W	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N,85N	1 to 28
175W	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	29 to 51
170W	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N	52 to 78
165W	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	79 to 101
160W	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N	102 to 128
155W	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	129 to 151
150W	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N	152 to 178
145W	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	179 to 201
...		
<b>Band 4</b>		
20W	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N	1 to 27
15W	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	28 to 50
10W	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N	51 to 77
5W	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	78 to 100
0W	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N,85N	101 to 128
5E	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	129 to 151
10E	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N	152 to 178
15E	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	179 to 201
...		
<b>Band 8</b>		
20W	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N	1 to 27
15W	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	28 to 50
10W	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N	51 to 77
5W	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	78 to 100
0W	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N	101 to 127
5E	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	128 to 150
10E	75S,65S,55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N,65N,75N	151 to 177
15E	55S,50S,45S,⋯,45N,50N,55N	178 to 200
...		

電離層穿刺點與電離層格點之關係如圖4-41和圖4-42，其計算方式是採用電離層穿刺點周圍之電離層格點並利用權重概念求出電離層穿刺點之垂直延遲量。一般穿刺點之電離層垂直延遲量計算方式有兩種如下：如果使

用者的穿刺點與電離層格點幾何分布如圖4-41，其電離層穿刺點之垂直延遲量數學表示為公式4.32。

$$\tau_{vpp}(\phi_{pp}, \lambda_{pp}) = \sum_{i=1}^4 W_i(x_{pp}, y_{pp}) \tau_{vi} \quad (4.32)$$

其中，

$$W_1 = x_{pp} y_{pp}, \quad W_2 = (1 - x_{pp}) y_{pp}, \quad W_3 = (1 - x_{pp})(1 - y_{pp}), \quad W_4 = x_{pp}(1 - y_{pp})$$

$\tau_{vpp}(\phi_{pp}, \lambda_{pp})$ ：電離層穿刺點之垂直延遲量。

$\tau_{vi}$ ：電離層格點之廣播垂直延遲量。

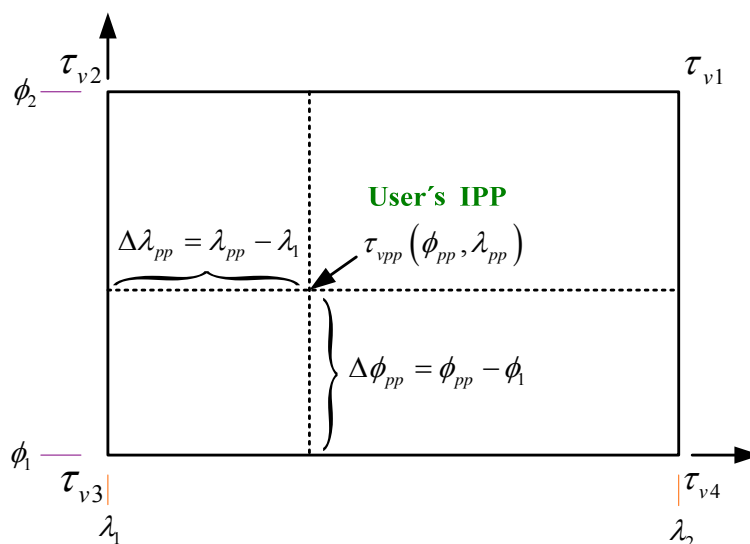


圖 4-41 使用者穿刺點與電離層格點之四角幾何關係

若使用者的穿刺點與電離層格點幾何分布如圖 4-42，其電離層穿刺點之垂直延遲量數學表示為公式 4.33。

$$\tau_{vpp}(\phi_{pp}, \lambda_{pp}) = \sum_{i=1}^3 W_i(x_{pp}, y_{pp}) \tau_{vi} \quad (4.33)$$

其中，

$$W_1 = y_{pp}, \quad W_2 = 1 - x_{pp} - y_{pp}, \quad W_3 = x_{pp}$$

$\tau_{vpp}(\phi_{pp}, \lambda_{pp})$ ：穿刺點的電離層垂直誤差。

$\tau_{vi}$ ：電離層格點垂直誤差。

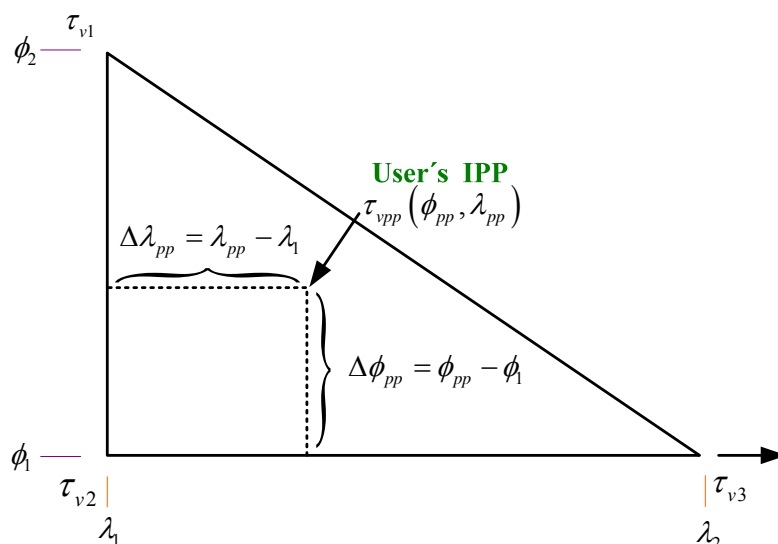


圖 4-42 使用者穿刺點與電離層格點之三角幾何關係

若穿刺點在北緯 85 度和南緯 85 度之間，

$$x_{pp} = \frac{\Delta \lambda_{pp}}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\lambda_{pp} - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$$y_{pp} = \frac{\Delta \phi_{pp}}{\phi_2 - \phi_1} = \frac{\phi_{pp} - \phi_1}{\phi_2 - \phi_1}$$

(4.34)

$\lambda_1$ ：穿刺點西邊的電離層格點的經度。

$\lambda_2$ ：穿刺點東邊的電離層格點的經度。

$\phi_1$ ：穿刺點南邊的電離層格點的緯度。

$\phi_2$ ：穿刺點北邊的電離層格點的緯度。

若穿刺點在北緯 85 度或南緯 85 度之外，

$$x_{pp} = \frac{\lambda_{pp} - \lambda_3}{90^0} (1 - 2y_{pp}) + y_{pp}$$

$$y_{pp} = \frac{|\Delta\phi_{pp}| - 85^0}{10^0} \quad (4.35)$$

計算出使用者電離層穿刺點的垂直誤差，再乘上斜距因子( $F_{pp}$ , 請參考公式 3.27)取得穿刺點的電離層修正值  $IC_i$ ，如下公式：

$$IC_i = -\tau_{spp}(\lambda_{pp}, \phi_{pp}) = -F_{pp} \cdot \tau_{vpp}(\lambda_{pp}, \phi_{pp}) \quad (4.36)$$

將使用者電離層垂直誤差轉換為使用者電離層距離誤差(User Ionospheric Range Error, UIRE)，其使用者之電離層修正值也以同樣估算模式求得，最後再和使用者所獲得之虛擬距離相運算。

## 6. 衰變指數訊息(degradation factor)之使用

修正訊息 type 10 包含電離層修正訊息與長效型修正訊息之衰變指數，利用這些參數可計算出各項修正量之衰變指數在與修正訊息 type 18 和 type 26 可更精確修正電離層誤差。修正訊息 type 7 中則包含各顆可修正衛星即時修正訊息之衰變指數。利用這些衰變指數去計算出各顆衛星之權重分配進一步產生權重矩陣(WAAS MOPS, 2006)。

## 7. 使用 WADGNSS 廣域差分修正訊息之定位演算流程

上述說明本案所使用之廣域差分修正訊息其內容及有效的修正量參數。而如何使用廣域差分修正訊息定位演算將在此說明。圖 4-43 為使用 WADGNSS 廣域差分修正訊息之定位流程，本流程以一執行緒持續接收並解析廣域差分修正訊息封包，解析後更新修正值。而主程式亦持續接收並解析 GNSS 模組串列埠資料，若取得衛星星曆則更新既有星曆資料，若取得觀測量資料則進行使用廣域差分修正訊息之定位演算。

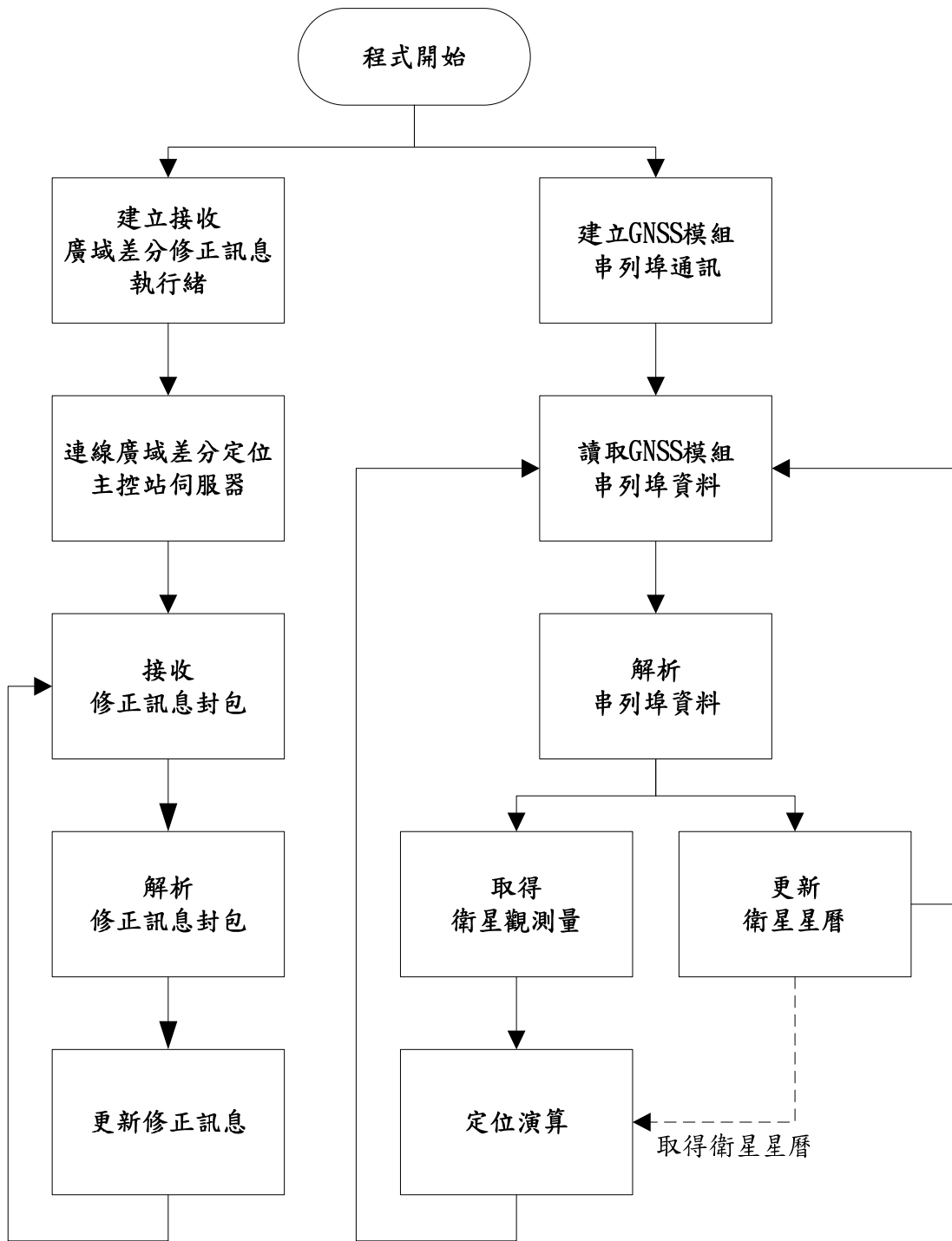


圖 4-43 使用 WADGNSS 廣域差分修正訊息定位流程

圖 4-43 流程圖中，定位演算方塊其詳細計算過程如圖 4-44，圖 4-44 為使用 WADGNSS 廣域差分修正訊息之修正流程，以下說明修正流程。

首先由長效型修正訊息計算各衛星其時鐘修正量 $\delta\Delta t_{sv}$ ，修正從星曆資料所計算之衛星時鐘誤差 $\Delta t_{sv}$ ，得修正後之衛星時鐘誤差 $\Delta t_{sv, corrected}$

$$\Delta t_{sv, corrected} = \Delta t_{sv} + \delta\Delta t_{sv} \quad (4.37)$$

後再以星曆之群延遲修正量 $T_{GD}$ 與相對論之修正量 $\Delta t_r$ ，求得衛星時鐘誤差。

廣域差分虛擬距離修正量則分別由對流層修正量、電離層修正量與即時修正量加總而得。其中對流層修正量並非從修正訊息取得，於廣域差分定位系統中，對流層修正量模型參考 A.4.2.4, WAAS MOPS, 2006，由該模型計算對流層修正量。從廣域差分虛擬距離修正量與衛星時鐘誤差對原始虛擬距離修正，可得修正後虛擬距離，後再以載波平滑化得平滑化之修正後虛擬距離 $PR_{i, corrected}$ 。

最後以平滑化之修正後虛擬距離 $PR_{i, corrected}$ 與經長效型修正訊息修正之衛星位置，以加權最小平方法(Weighted Least Squares, WLS)求得使用者的位置與使用者時鐘誤差。於廣域差分定位系統中，權重矩陣 $W$ 為 $N*N$ 對角線矩陣， $N$ 為可視衛星數目。

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_N \end{bmatrix}, \text{ where } w_i = 1/\sigma_i^2 \quad (4.38)$$

矩陣 $W$ 之對角線元素為每個可視衛星其變異數之倒數，變異數由以下列式計算：

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i,flt}^2 + \sigma_{i,UIRE}^2 + \sigma_{i,air}^2 + \sigma_{i,tropo}^2 \quad (4.39)$$

其中，

$\sigma_{i,flt}^2$ 為即時與長效型修正訊息殘餘誤差變異數 (J2.2, WAAS MOPS, 2006)

$\sigma_{i,UIRE}^2$ 為電離層延遲誤差變異數 (J2.3, WAAS MOPS, 2006)

$\sigma_{i,air}^2$ 為機載接收機誤差變異數 (J2.4, WAAS MOPS, 2006)

$\sigma_{i,tropo}^2$  為對流層誤差變異數 (J2.5, WAAS MOPS, 2006)

各個變異數計算可參考 WAAS MOPS, 2006 相對應之章節。

根據所計算之權重矩陣，可以對不同衛星觀測量採取不同之信賴度。以加權最小平方法(Weighted Least Squares, WLS)求得使用者之位置誤差與時鐘誤差

$$\underline{\hat{p}}_{wls} = [H^T W H]^{-1} H^T W \underline{b} \quad (4.40)$$

其中  $H$  矩陣為已知點至各衛星之單位向量所構成之矩陣， $\underline{b}$  為觀測量矩陣， $W$  為權重矩陣。

若  $\underline{\hat{p}}_{wls} = [x_a \quad y_a \quad z_a \quad c \cdot dt_a]^T$ ，而參考位置為  $[x_0 \quad y_0 \quad z_0]$

則求得使用者位置及時鐘誤差。

$$[x_0 + x_a \quad y_0 + y_a \quad z_0 + z_a \quad dt_a]^T \quad (4.41)$$



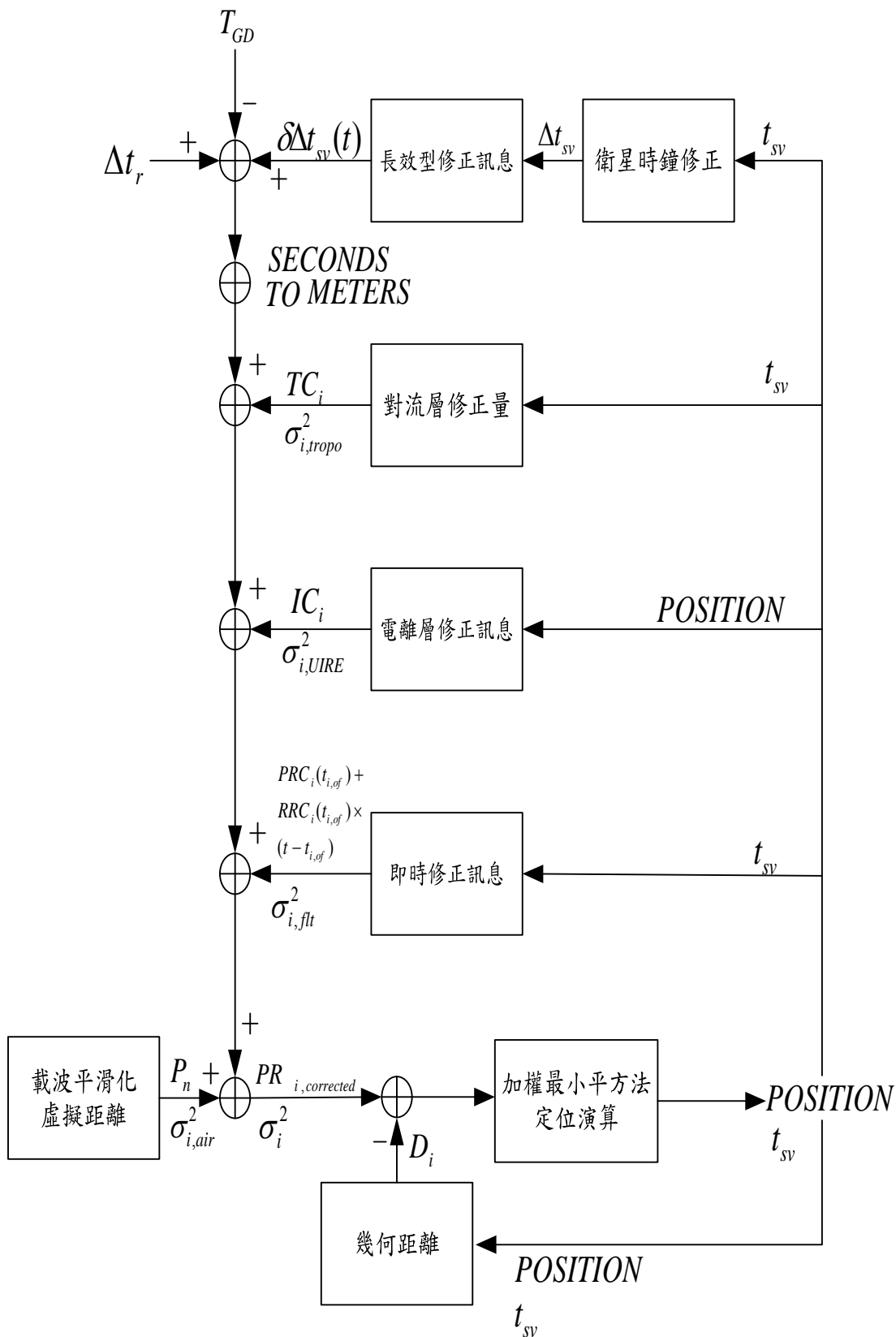


圖 4-44 使用 WADGNSS 廣域差分修正訊息修正流程。

### (3) 使用 DGNSS 差分修正訊息之單點定位演算

本案預計傳送由國際海事無線電技術委員會 (Radio Technical Commission for Maritime Services, RTCM) 所定義之 SC-104 通訊協定。此協定為本案所傳送之差分修正訊息格式。經由此一格式之制定，衛星差分修正無線標桿電臺廣播系統(RDB)可將差分修正訊息傳送至使用者，使用者將可進行時間與位置之修正。預計傳送之訊息類型如下：

1. 第三類型：基站參數資料(GPS Reference Station Parameters)
2. 第五類型：衛星群健康資料(GPS Constellation Health)
3. 第六類型：空框(GPS Null Frame)
4. 第七類型：信標訊號臺資料(DGNSS Radiobeacon Almanac)
5. 第九類型：差分修正量(GPS Partial Correction Set)
6. 第十六類型：特定訊息(GPS Special Message)

以下將說明 RTCM SC-104 資料框格式，並舉例第九類型訊息其修正訊息資料框格式，最後說明使用差分修正訊息之演算流程。

#### 1. RTCM SC-104 資料框格式

RTCM SC-104 之資料框包含多組由三十位元所組成之文字。整個資料框之前二文字稱為頭框 (header) 用以定義資料型式、基站碼、次序碼、資料框長度等。頭框後之 N 個文字則為修正訊息。N 之數目則於頭框定義。圖 4-45 為 RTCM SC-104 頭框格式。

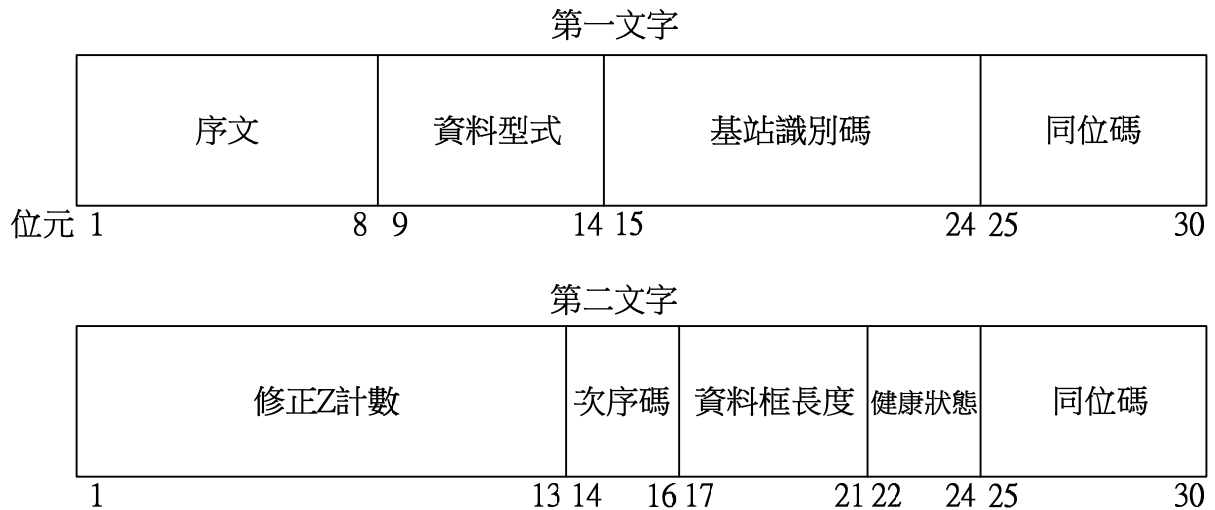


圖 4-45 RTCM SC-104 頭框格式

頭框係由二個文字所構成，各有三十位元。第一個文字中之前八位元為序文(preamble)用以區別 RTCM SC-104 訊息即進行位元同步。序文之內容為二進位“01100110”。資料型式佔了隨後之六位元，用以表示  $2^6=64$  種可能之資料型式。接下來十位元用以表示基站之代號或編號以利使用者分辨此一訊息之來源。最後則有六位元之同位碼供誤碼偵測用。

頭框之第二文字之前十三位元為修正 Z 計數，其功能為提供此以訊息之參考時間。其後之三位元次序碼則為資料框之計數碼，可用以供資料框同步。第十七至二一位元之五位元代表了資料框長度 N，故連同頭框一訊息包含 N+2 資料框。基站健康狀態係利用隨後之三位元表示。最後六位元同樣為同位碼以供誤碼偵測用。

RTCM SC-104 採用不定長度之訊息格式，以下介紹第九類型「差分修正量」之訊息格式。由於每一顆衛星之修正量非文字長度之整數倍，故原則上採用五個文字以表示三顆衛星之修正訊息。若修正衛星數非三之整數倍，則最後一文字會填入部分之電碼，如圖 4-46 第九類型- 差分修正訊息資料框格式所示。

圖 4-46 第九類型- 差分修正訊息資料框格式可對某顆衛星發布以下修正訊息：

1. 比例因子(Scale Factor)
2. 使用者差分距離誤差(User Differential Range Error, UDRE)
3. 衛星編號

4. 虛擬距離修正量
5. 距離變化率
6. 資料期號(Issue of Data, IOD)

一位元長之比例因子若二進位為 0，則虛擬距離修正量需乘以比例 0.02；距離變化率需乘以比例 0.002。若比例因子二進位為 1，則虛擬距離修正量需乘以比例 0.32；距離變化率需乘以比例 0.032。

第九類型為差分修正訊息。針對某顆衛星，此一差分訊息可提供於修正 Z 計數參考時間  $t_0$  所發布之虛擬距離修正量  $PRC(t_0)$  及距離變化率  $RRC$ 。使用者可修正於時間  $t$  之量測虛擬距離  $PRM(t)$  如下：

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t) \quad (4.42)$$

其中，

$$PRC(t) = PRC(t_0) + RRC * (t - t_0) \quad (4.43)$$

得到修正後之虛擬距離  $PR(t)$ 。

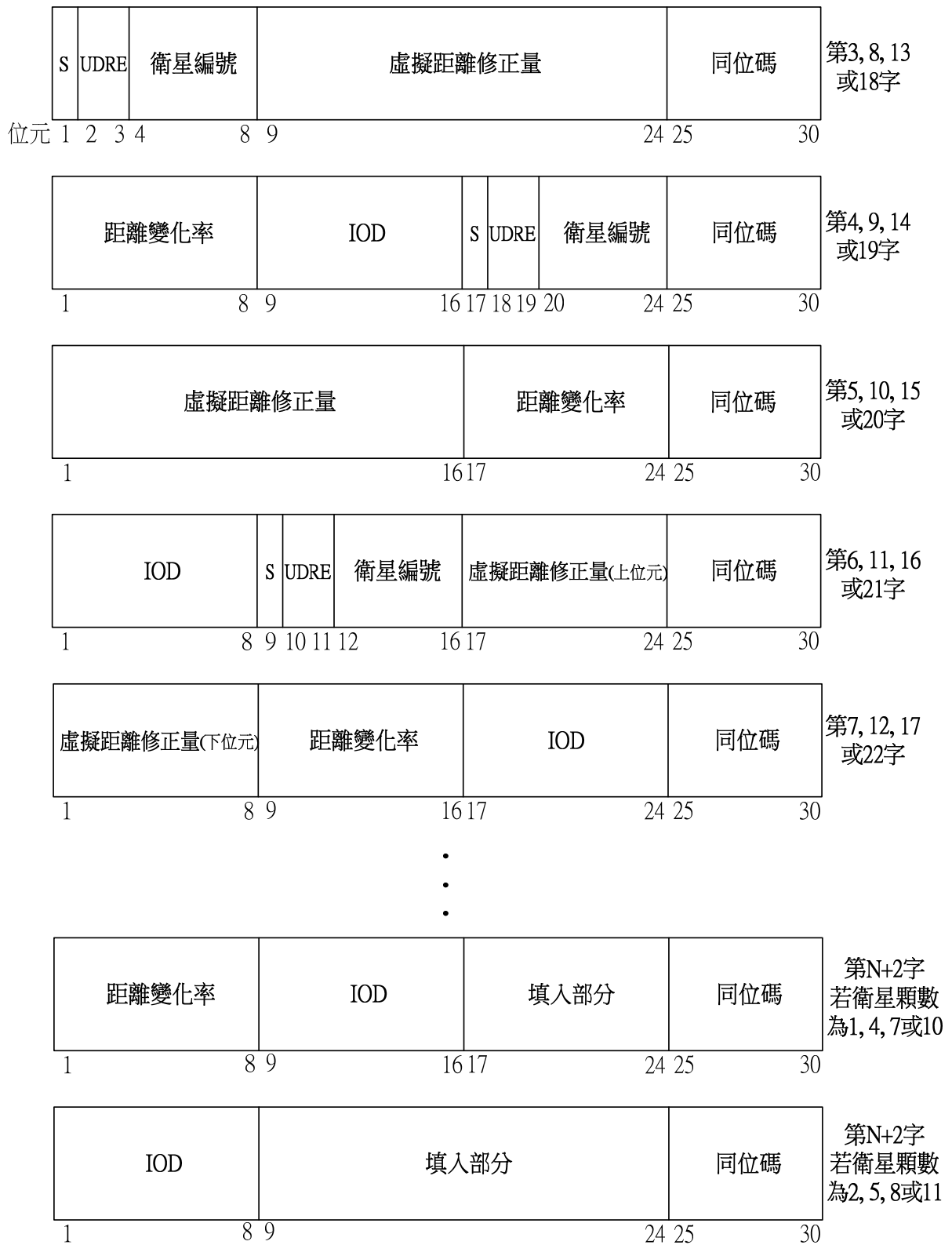


圖 4-46 第九類型-差分修正訊息資料框格式

## 2. 使用 DGNSS 差分修正訊息之定位演算流程

以上說明本案所使用之差分修正訊息其內容及有效的修正量參數。接下來說明如何使用差分修正訊息定位演算。圖 4-47 為使用 DGNSS 差分修正訊息之定位流程。本流程以一執行緒持續接收並解析由 Beacon 模組所取得之差分修正訊息資料，解析後更新修正值。而主程式亦持續接收並解析 GNSS 模組串列埠資料，若取得衛星星曆則更新既有星曆資料，若取得觀測量資料則進行使用差分修正訊息之定位演算。

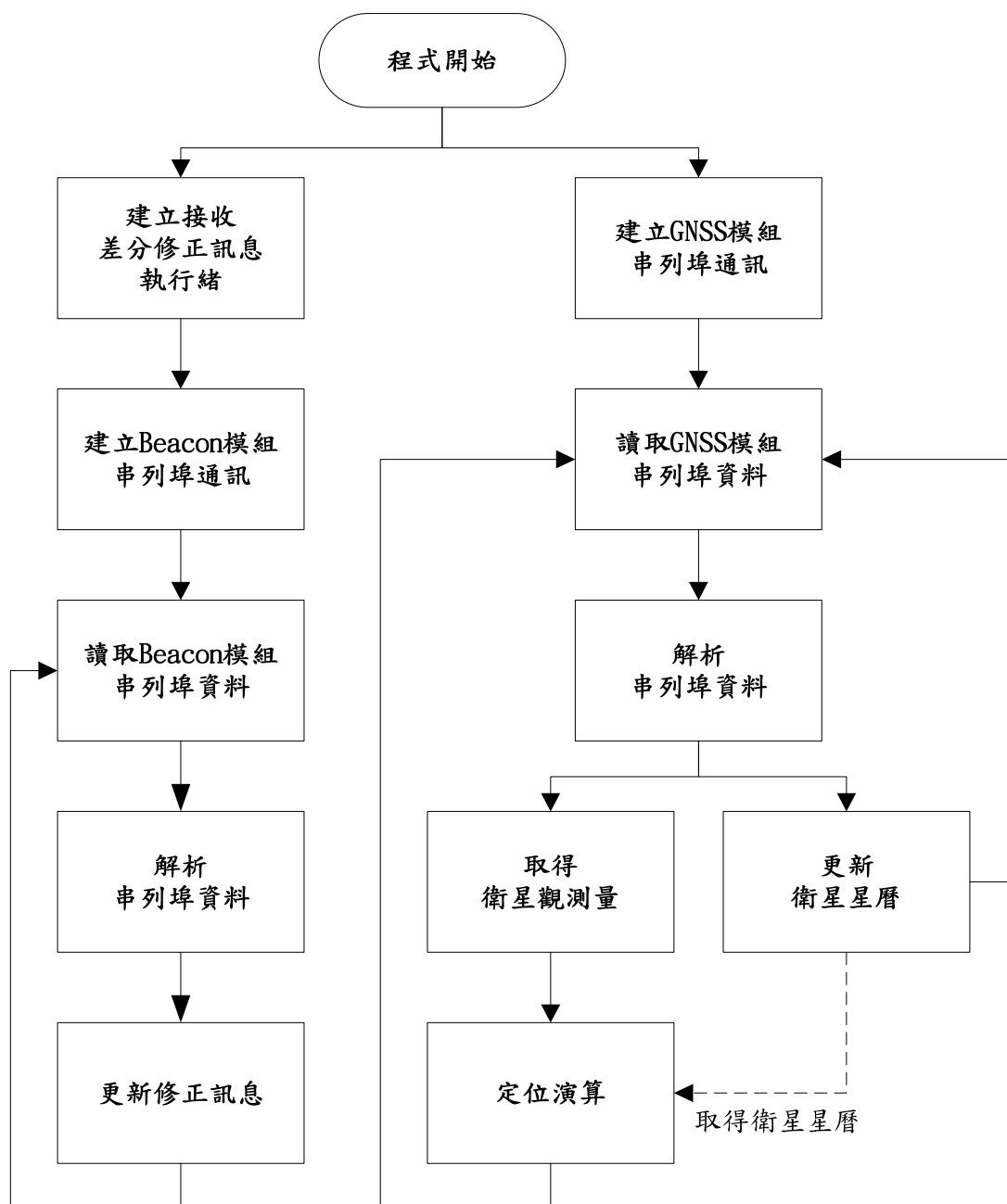


圖 4-47 使用 DGNSS 差分修正訊息定位流程

圖 4-47 流程圖中，定位演算方塊其計算過程如圖 4-48 所示，圖中使用 DGNSS 差分修正訊息之修正流程，以下說明修正流程。

由 GNSS 衛星定位接收模組取得原始虛擬距離與衛星精確星曆後，可從星曆解算出衛星位置與衛星時鐘誤差。從所接收到之差分修正訊息中取得差分修正量，差分修正量計算如式 4.43，計算得修正量  $PRC(t)$  後可對原始虛擬距離進行差分修正，求得修正後虛擬距離，如式 4.42。最後以修正後之虛擬距離及衛星位置，以最小平方法求得使用者的位置與使用者時鐘誤差。

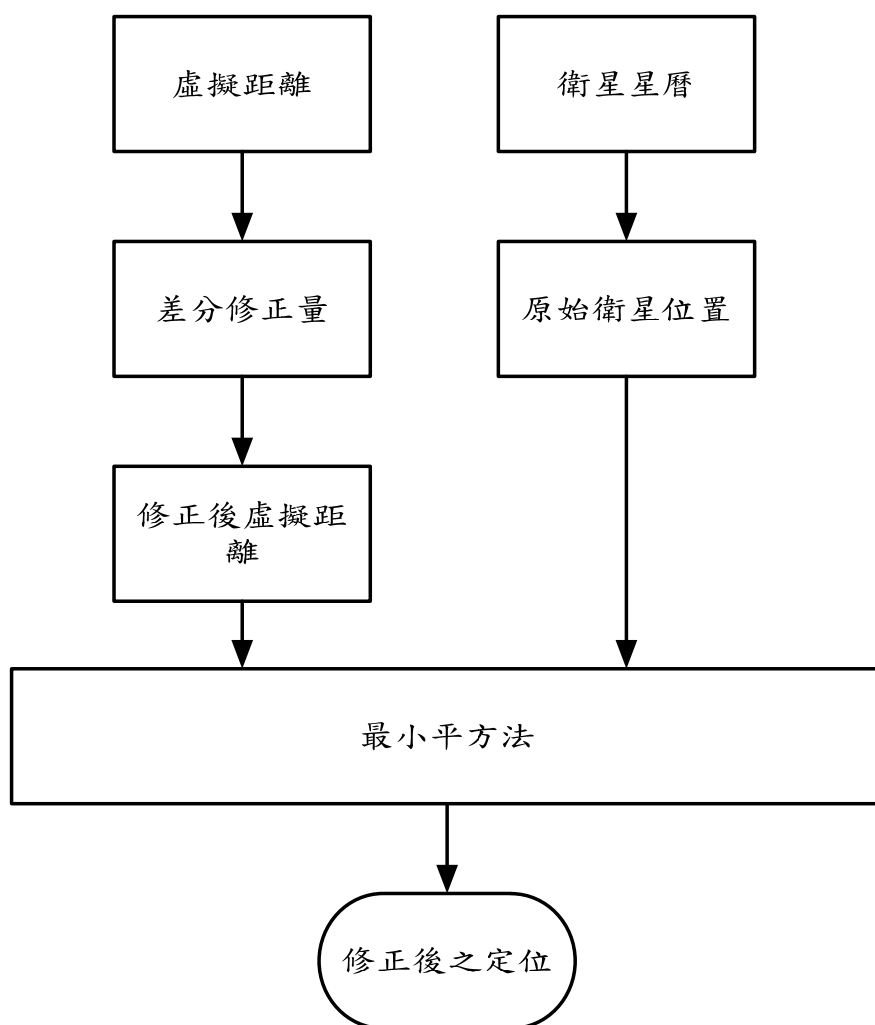


圖 4-48 使用 DGNSS 差分修正訊息修正流程

## § 4-4 整合式定位系統操作平臺

### 履約內容：

#### (一)定位元件(Positioning Unit)：

需可接收修正訊息、衛星觀測量、衛星星曆等資料進行精密定位，其規格及功能如下：

1. 採用嵌入式處理器含可程式邏輯陣列(FPGA)之 32 位元(含)以上處理器、記憶體與多個周邊電路，以與 GNSS 衛星定位接收模組及處理元件進行資料交換與溝通。
2. 具備 WADGNSS 及 DGNS 差分修正訊息解析功能，並設計可行之定位流程邏輯，進行差分定位運算。
3. 實現差分定位運算於嵌入式處理器並提供修正後之定位解。

#### (二)處理元件(Process Unit)：

需可調節使用者端整合式定位系統操作平臺中各元件、GNSS 衛星定位接收儀及多頻段差分修正訊號接收模組間之處理與運作，其硬體規格及功能如下：

1. 624 MHz (含)以上之中央處理器(CPU)。
2. 128 MB (含)以上隨機記憶體。
3. 4 GB(含)以上儲存記憶體。
4. WinCE 即時作業系統。
5. 控制介面程式可安裝於 WINCE 及 WINDOWS XP 以上版本。
6. 具備藍芽及 RS232 介面連接埠，提供資料輸出/輸入及設定操作參數使用。
7. 支援 NTRIP 網路通訊協定，可設定登入本中心 e-GPS 即時動態定位系統授權之使用者名稱及密碼。
8. 支援標準 AT&T 指令，支援一般 PC 連線。

#### (三)顯示元件(Display Unit)：

需可顯示使用者端整合式定位系統操作平臺中各元件之運作狀態，其硬體規格及功能如下：

1. 7 吋(含) 以上 VGA 液晶顯示器(TFT-LCD)。
2. 可顯示目前使用之差分修正訊號接收來源及頻率。
3. 具備 Radio Beacon 索引功能，可顯示目前使用頻道、電臺代碼或名



稱、接收功率及備頻頻率。

4. 可顯示 FM RDS-TMC 電臺名稱、節目類型、節目內容及其它資訊。
5. 可顯示超高頻 GSM/GPRS, EDGE(3G)及 WCDMA(3.5G)等無線網路之聯網狀況。
6. 可顯示藍芽連接狀況。

#### (四)人機整合介面元件(Interface Unit)：

需可控制使用者與整合式定位系統操作平臺間之作業程序，其硬體規格及功能如下：

1. 具備觸控式面板及 4 個(含)以上軟體功能鍵，可由使用者自訂捷徑及功能。
2. 具備可針對 WADGNSS 修正量來源設定接收比值及參數功能，並針對低頻 Radio Beacon、調頻 FM RDS-TMC 及超高頻接收狀況比較值，設計接收優先順序套表。
3. 可由手動設定目前使用之電臺頻率及其代碼或名稱。
4. 可依實際使用狀況手動或自動切換主、備頻。

#### (五)其他介面元件：

1. 具備外接 GNSS 天線功能，並可偵測目前使用天線狀態。
2. 具備電源輸入功能，可使用一般車輛點菸器電源或電瓶電源。
3. 具備音源輸出及音源播放功能，揚聲器功率 0.5 W(含)以上。
4. 提供專用固定座，可安裝於一般車輛或其他載具中。
5. 提供 1 組(含)以上數位訊號輸出/輸入裝置。
6. 提供 2 組(含)以上外接序列埠，其傳輸介面可依 PC 端調整。
7. 提供 1 組(含)以上 USB 傳輸埠，可以電腦進行同步作業及程式安裝。
8. 提供 1 組(含)以上 USB Host 支援隨插讀取裝置。

#### 工作項目：

整合式定位系統操作平臺之目的為整合GNSS衛星定位接收模組與多頻段差分修正訊號接收模組，以達到部署整體運作、差分修正定位與顯示定位等功能。由於目前市售之GNSS 衛星接收定位模組無法充分利用廣域差分訊號進行修正，故本案發展一嵌入式系統含硬體、軟體與介面以整合GNSS 衛星訊號與多頻段差分修正訊號，並用以驗證最終定位精度與完整

性改善之情形。

根據整體計畫之需求規畫六個元件完成預定功能，工作分配如表4-5，硬體架構如圖4-49所示。GNSS衛星定位模組內建於使用者端整合式定位系統操作平臺，接收來自GPS L1、GLONASS G1與Galileo E1三個頻段的訊號。此元件除了定位之外，必須輸出電碼和載波量測量、衛星的星曆資料。處理元件以ARM11處理器為內核，搭配圖型加速器，以運行WindowsCE6.0嵌入即時作業系統，此作業系統為整個平臺的控制中樞，統籌整個平臺的運作。原規範要求使用FPGA來實現嵌入式處理器，在現今產品功能大幅提昇，系統中使用的處理元件已有足夠效能可負載定位演算之耗損，再者，可減低在電路設計的失誤及達到經濟實惠、實機輕薄且絲毫未損本系統之功能，由於諸多優點，整合式定位系統操作平臺將無需多使用FPGA嵌入式系統亦可達到所需之功能。

處理元件規劃流程為透過GNSS衛星定位模組取得衛星的星曆、電碼與載波量進行測量，另外透過多頻段差分修正訊號接收模組取得修正訊息，並於處理器內做作測量修正與定位運算。而處理元件控制其他單元的運作，主要為透過人機介面元件取得使用者的操作輸入，對GNSS衛星定位模組、多頻段差分修正訊號接收模組與定位元件下達控制命令，並接收來自各模組的狀況，並以人機整合介面元件透過顯示元件顯示輸出，包括定位結果、頻道選擇等。而其他介面元件包括電源輸入、音源輸出與儲存或外接裝置。選項中之推算感測元件(DR Unit)量測慣性量，此元件是為了當移動站被遮蔽的情況下，還能夠持續定位，然而此部分規劃為移動站的未來擴充的功能。

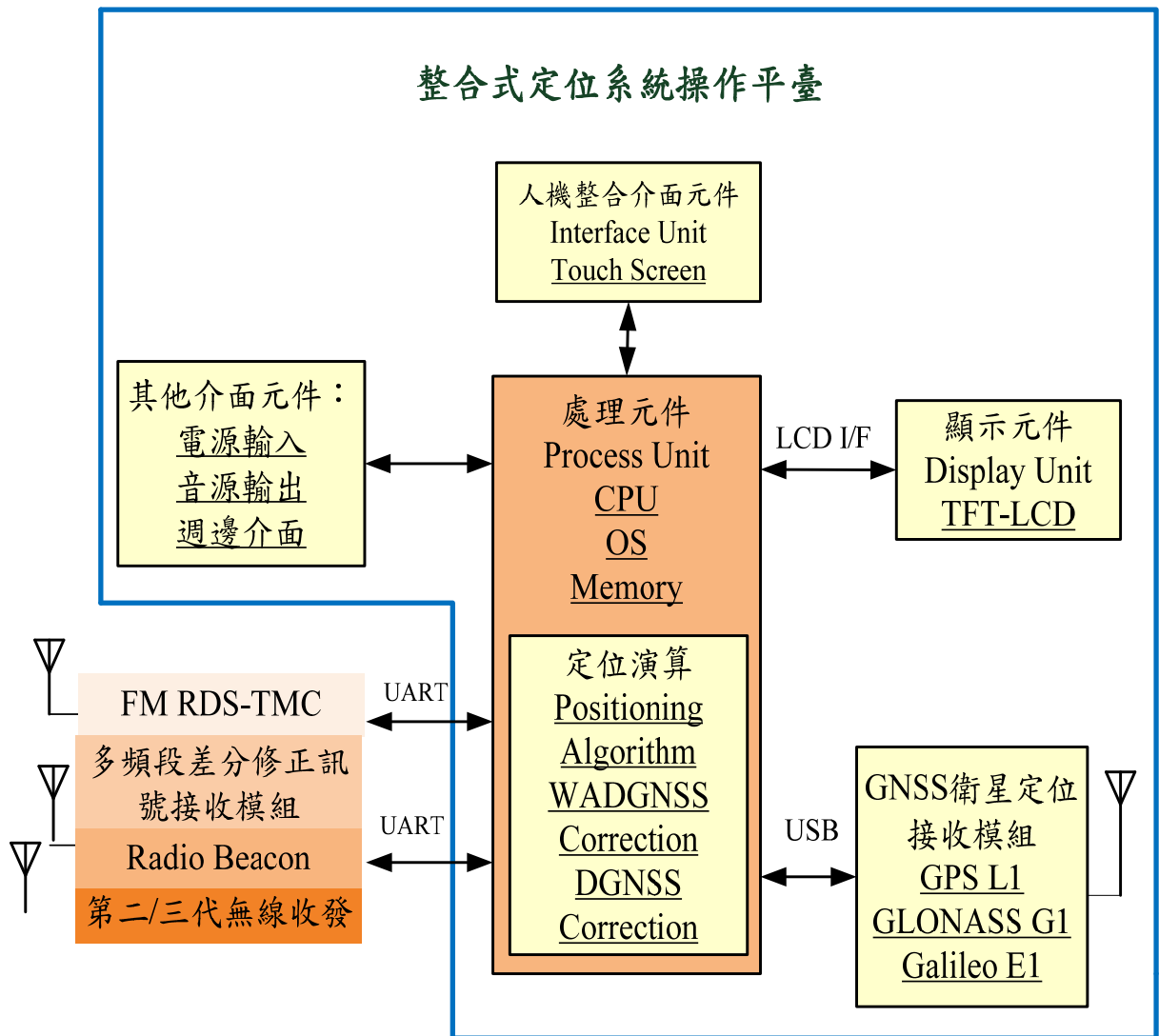


圖 4-49 整合式定位系統操作平臺的硬體架構圖

表 4-5 整合式定位系統操作平臺內各項目之功能

元件	功能
GNSS 衛星定位接收模組	接收GNSS訊號、輸出電碼和載波觀測量與衛星星曆
處理元件	控制中樞以統籌整個平臺之運作且接收訊息、量測量、星曆以做差分定位
人機整合介面元件	接收使用者的操作輸入
顯示元件	顯示輸出各模組的狀況
其他介面元件	電源輸入、音源輸出與儲存或外接裝置

圖 4-50 為整合式定位系統操作平臺外觀機構圖，包含 7 吋觸碰式液晶面板、LED 燈號與使用者自訂按鍵。以下介紹整合式定位系統操作平臺各元件。



圖 4-50 整合式定位系統操作平臺外觀

#### ● GNSS 衛星定位接收模組

Trimble BD970 GNSS接收模組。其規格如下：

1. 具備220個頻道可接收及輸出GPS、GLONASS及Galileo等3種不同星系之L1、G1及E1頻率之原始電碼及載波相位觀測資料。下列為此接收模組可容許接收頻段之規格。
  - GPS： Simultaneous L1 C/A, L2E, L2C, L5
  - GLONASS： Simultaneous L1 C/A, L1 P, L2 C/A (GLONASS M Only), L2 P
  - SBAS： Simultaneous L1 C/A, L5
  - GIOVE-A： Simultaneous L1 BOC, E5A, E5B, E5AltBOC1

– GIOVE-B : Simultaneous L1 CBOC, E5A, E5B, E5AltBOC1

註：L2E為Trimble模組L2P訊號之追蹤訊號格式。

2. 具備SBAS 星基增強系統接收能力。
3. 具備輸出GNSS 原始觀測量載波相位觀測量及虛擬距離觀測量功能。
4. 可輸出廣播星曆調制之導航訊息(navigation message)。
5. 具備2 組(含)以上RS-232 序列埠輸出/輸入功能及1組USB傳輸埠。
6. 具備內建及可外接天線功能。
7. 具備1組LAN Ethernet port :
  - 支援連接至10BaseT/100BaseT網路
  - 所有功能將透過單一IP位置進行同步地web GUI介面和資料流之存取
- Network Protocols支援包括HTTP (web GUI)、FTP Server (when data logging is – enabled)、FTP Push (when data logging is enabled)、NTP Server及 NMEA...等。
8. 敏感度規格如表4-6所示，在Tracking & Navigation時為-158dB，冷開機的敏感度為-150 dB而時間約為五秒。規格可參考圖4-51所示。

表 4- 6 Trimble BD970 敏感度參數

Parameter	Specification	
Sensitivity	Tracking & Navigation	-158dBm
	Cold Start (Autonomous)	-150dBm

*Note – When securing the cable, start at the antenna and work towards the BD970 receiver.*

When the cable is secured, coil any slack. Secure the coil with a tie-wrap and tuck it in a safe place.

Tracking	-158 dB
Acquisition	-152 dB
Reacquisition	-152 dB
Cold starts	-150 dB

圖 4- 51 Trimble BD970 規格書之敏感度參數

## ● 顯示元件

本整合式操作平臺使用七吋 VGA 觸碰式液晶顯示器如圖 4-52 所示，軟體定位演算及加入修正訊息後之結果均在整合式操作平臺之觸碰式液晶顯示器上顯示。



圖 4-52 7 吋 VGA 觸碰式液晶顯示器

## ● 處理元件與人機整合介面元件

整合式定位系操作平臺處理元件與人機整合介面元件架構如圖 4-53 所示。處理元件與周邊元件說明如下：

1. 處理元件為以 ARM11 架構之中央處理器，其主頻為 667MHz
2. 外部記憶體採用 SDRAM 記憶體，平臺上含 2 片 64MB 之 Mobile DDR SDRAM，總計共 128MB SDRAM 記憶體。
3. 採用 SLC NAND Flash 128MByte 記憶體，供應作業系統載入時使用
4. LCD 介面：系統平臺配備有 800x480 / 7.0 英吋 TFT 液晶螢幕，附加 4 線電阻式觸控功能。
5. 網路介面：一個以 RJ-45 為介面之 10/100M Ethernet 網路介面
6. USB 介面：一個 USB HOST(USB 1.1 規範)介面，支援全速(12Mbps)或低速(1.5Mbps)傳輸、一個 USB HS OTG (USB 2.0 規範)介面，最高支援 480Mbps 高速傳輸。

7. 串列埠(UART)介面：三個三線制串列埠，其中一埠為與 GNSS 衛星定位接收模組資料溝通用。
8. 音效介面：採用 AC97 的介面晶片，立體聲音效輸出介面支援立體聲揚聲器。
9. GPIO 介面：可供給擴充外部設備用。

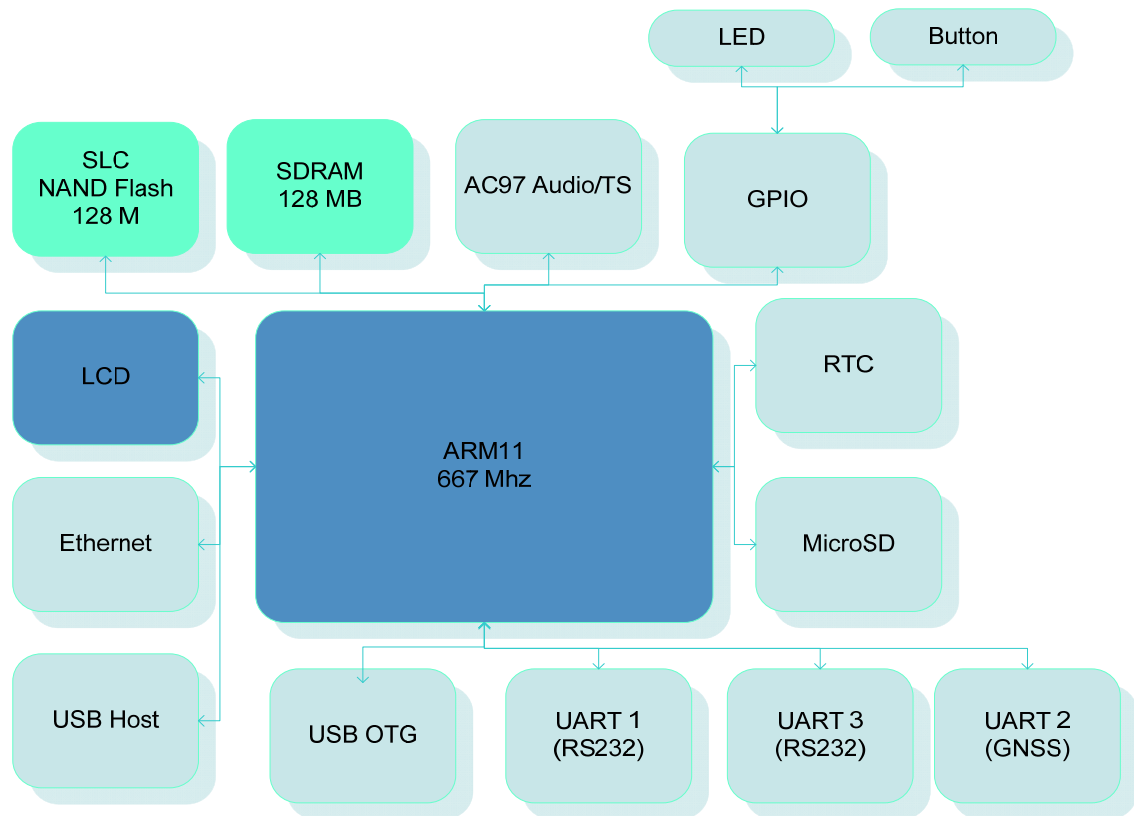


圖 4-53 整合式定位系統操作平臺處理元件與人機整合介面元件

其他硬體規格與說明如下：

1. 標準的 SDIO WiFi 設備，支援 IEEE802.11I/b/g。
2. Micro SD (T-Flash) 卡介面：一個 T-Flash 存儲設備。
3. RTC 時鐘：已由內部整合，採用無源晶振模式設計。外部提供可充 RTC 電池，無須更換 RTC 時鐘設計。
4. Reset 電路：採用手動重置和晶片重置相結合的方式，晶片採用 MAX811，重置穩定可靠。
5. 電源介面：本電路採用工業級標準的寬電壓輸入，寬電壓輸入範圍：DC/5V -30V 2A 電源供電。
6. 一個電源指示 LED。



7. 一個系統指示 LED。
  8. 增加系統按鍵：9 個。
  9. 過電流保護：採用自我恢復保護元件。
- 尺寸大小：189mm×123mm。

● 顯示元件硬體資源分配

啟動硬體資源-可由背部版端 NAND FLASH 或 Micro SD Card 插槽驅動。其記憶體分配位置圖如圖 4-54 所示：

Start Address	End Address	Int. ROM	Stepping Stone (NAND Ctrl.)	SROM Ctrl.	One NAND Ctrl. 0	One NAND Ctrl. 1	DRAM Ctrl 1
0x00000000	0x07FFFFFF	0 <sup>1</sup>	0 <sup>1</sup>	0 <sup>1</sup>	0 <sup>1</sup>	-	-
0x08000000	0x0BFFFFFF	0	-	-	-	-	-
0x0C000000	0x0FFFFFFF	-	0	-	-	-	-
0x10000000	0x17FFFFFF	-	-	0	-	-	-
0x18000000	0x1FFFFFFF	-	-	0	-	-	-
0x20000000	0x27FFFFFF	-	-	0 <sup>2</sup>	0 <sup>2</sup>	-	-
0x28000000	0x2FFFFFFF	-	-	0 <sup>2</sup>	-	0 <sup>2</sup>	-
0x30000000	0x37FFFFFF	-	-	0	-	-	-
0x38000000	0x3FFFFFFF	-	-	0	-	-	-
0x40000000	0x47FFFFFF	-	-	-	-	-	-
0x48000000	0x4FFFFFFF	-	-	-	-	-	-
0x50000000	0x5FFFFFFF	-	-	-	-	-	0
0x60000000	0x6FFFFFFF	-	-	-	-	-	0

圖 4-54 整合式定位系統操作平臺記憶體分配位址

當啟動分配為 NAND Flash 作業系統將會由儲存與 NAND Flash 的作業系統映像檔載入。當啟動分配為 Micro SD 時，作業系統將會從 Micro SD 讀取作業系統映像檔後，載入外部記憶體 SDRAM 中。



- **顯示元件其他硬體介面**

整合式定位系統操作平臺硬體介面如圖 4-55 所示，相關規格及硬體線路設計請參閱附件電子檔之線路圖。表 4-7 為說明圖 4-55 之硬體介面圖。

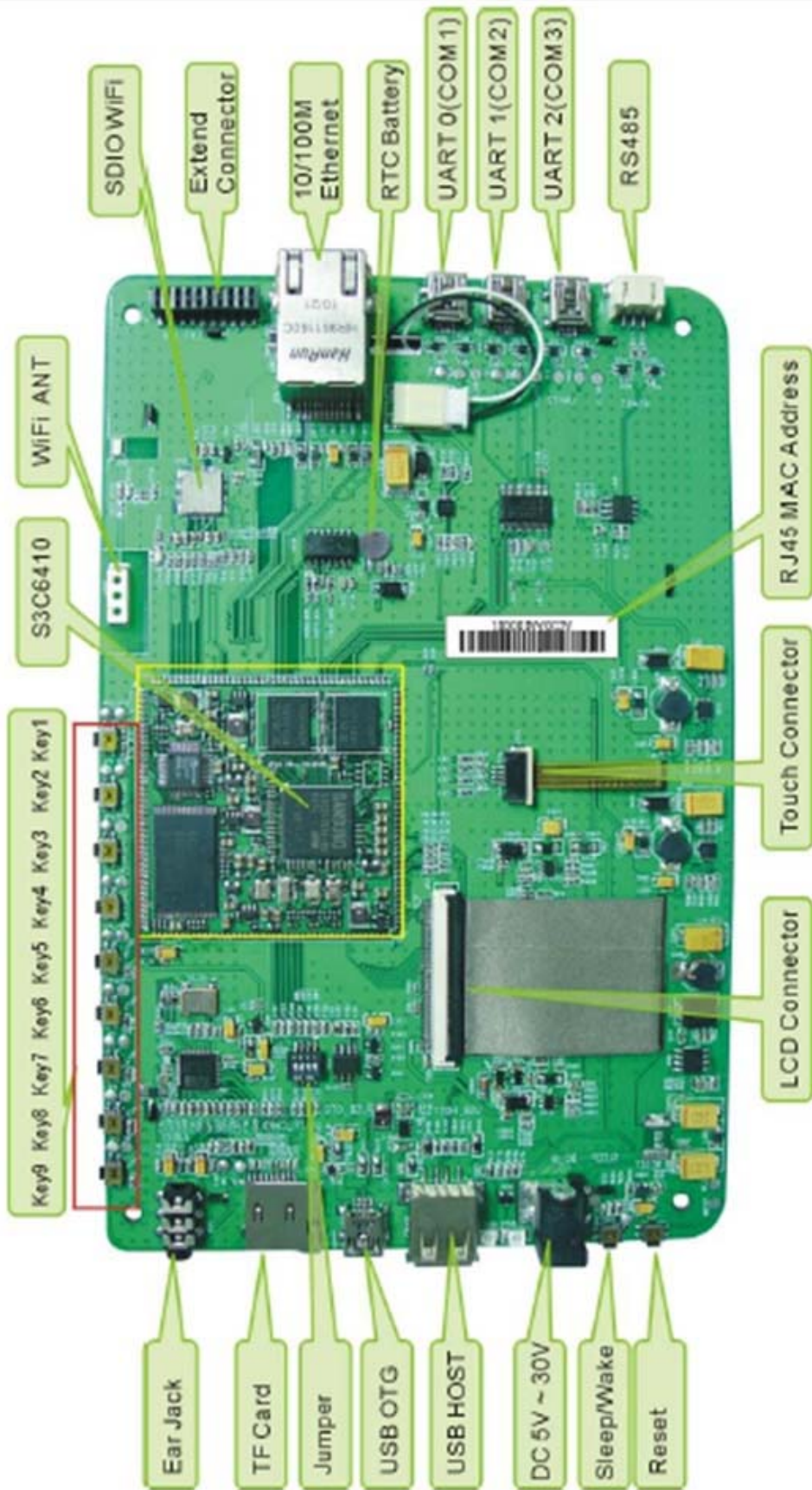


圖 4-55 整合式定位系統操作平臺硬體介面圖

表 4-7 整合式定位系統操作平臺硬體圖示說明項目

圖例名稱	說明
EAR Jack	揚聲器接頭
TF Card	Micro SD 插槽
Jumper	跳接線
USB OTG	USB OTG 介面
USB HOST	USB HOST 介面
DC 5V~30V	DC 5V~30V 外部電源輸入
Sleep/Wake	作業系統睡眠/喚醒鍵
Reset	重新啟動作業系統
LCD Connector	LCD 介面連接線
Touch Connector	觸控鍵連接線
RJ45 MAC Address	網路介面卡位址
RS485	RS485 介面
UART0	RS232 埠 1
UART1	RS232 埠 2
UART2	RS232 埠 3
RTC Battery	RTC 時間電池
10/100M Ethernet	10/100M 網路介面
Extend Connector	外部數位輸出入訊號
SDIO WiFi	無線網路介面
WiFi ANT	無線網路接收天線
S3C6410	處理元件 ARM11 型號
Key1~Key9	實體操作鍵

## ● 硬體功能說明

### 1. Reset 按鍵：

Reset -提供復位功能。按下 Reset 按鍵，將會重新啟動系統。

### 2. Sleep/Wake 按鍵：

Sleep/Wake-在 WinCE 正常執行情況下，按 Sleep/Wake 按鍵，WinCE 在紀錄當下的工作狀態後即進入休眠模式，系統將關閉 LCD,RS232,USB，網路，MicroSD 等其他外部介面，進入最省電模式。

在休眠模式下，按 Sleep/Wake 按鍵，系統將恢復到先前工作狀態。將各部外部介面恢復至原來的工作狀態。Reset 與 Sleep/Wake 按鍵位置如圖 4-56 所示：

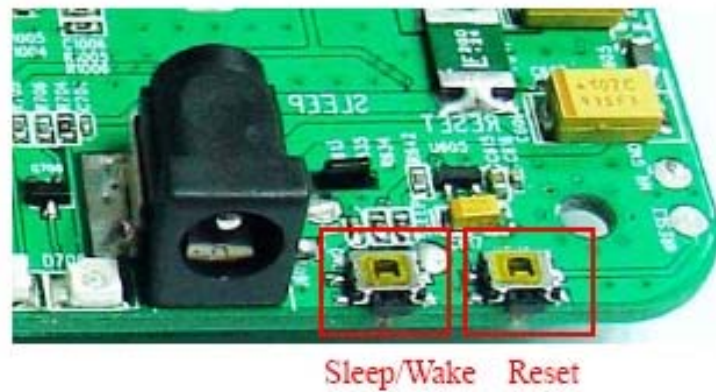


圖 4-56 Reset, Sleep/Wake 按鍵位置圖

### 3. USB HOST 介面：

USB HOST 介面能提供標準的最大的 500mA 的供電電流。USB HOST 介面可以識別標準的基於 USB 介面的輸入設備，如滑鼠、鍵盤等等，同時也能識別市場上購買到大多數的基於 USB 介面的存貯設備，如隨身碟、移動硬碟等等。隨身碟、移動硬碟等存貯設備在 WinCE 下映射為“硬碟”目錄，可以與普通目錄一樣進行複製、黏貼等等操作，USB HOST 外觀如圖 4-57 所示。

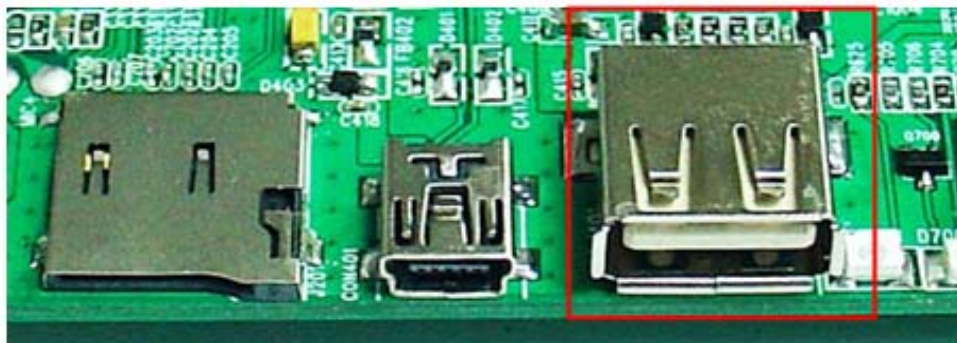


圖 4-57 USB HOST 外觀



#### 4. USB OTG 介面：

如下圖 4-58 所示為 USB OTG 之外觀，所目前提供的 USB OTG 介面，在驅動上只測試、驗證了 USB Device 功能，在進行了一些必要的設定後，可以使用微軟公司提供的公用程式 ActiveSync，就可以在安裝了 WinCE 作業系統的整合式平臺設備和 Windows 桌面系統之間進行通訊連接，從而可以實現檔案及應用程式的上傳下載，及遠端除錯等功能。



圖 4-58 USB OTG 外觀

#### 5. 音源輸出：

音效輸出介面，3.5mm 規格的有線耳機介面，如下圖 4-59 所示。

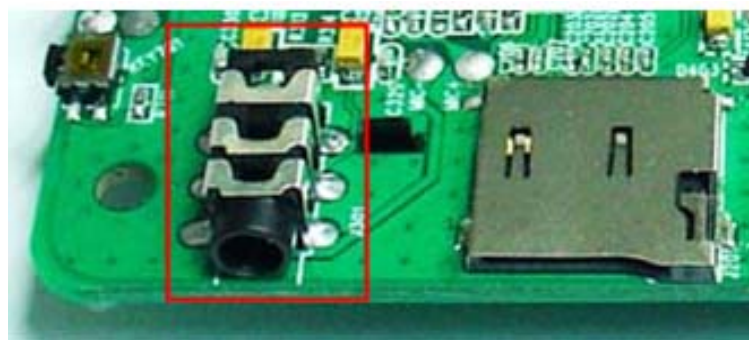


圖 4-59 音源輸出

#### ● Micro SD 卡插槽

Micro SD 卡插槽如下圖4-60紅框中所示，支援市場上的各種品牌及其

相容的不同容量的 TF 卡，可使用高達 8G 容量的 TF 卡。在 WinCE 系統下，識別後的 TF 卡被映射為 Storage Card 目錄，可以透過 WinCE 提供的操作方法對這個目錄進行讀寫操作，如複製、黏貼檔等，也可以在應用程式中，透過在程式碼中使用的目錄名“Storage Card”對 TF 卡進行讀寫操作。

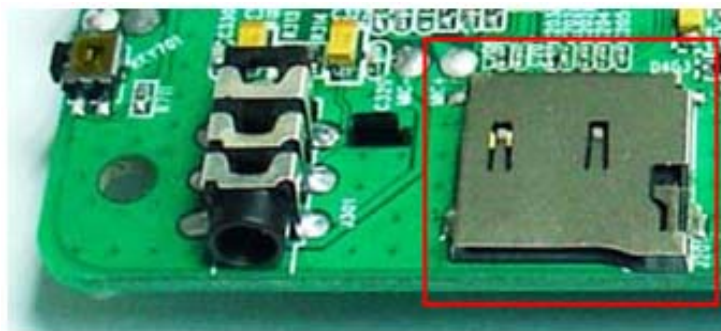


圖 4- 60 Micro SD 卡插槽

#### ● Extend Connector 外部控制介面

擴充介面的針腳排列如下圖4-61所示。Extend Connector外部控制介面是提供給用戶使用的擴充介面，用戶可以利用提供的介面實現 其他外部模組如慣性定位系統或相機的控制功能。

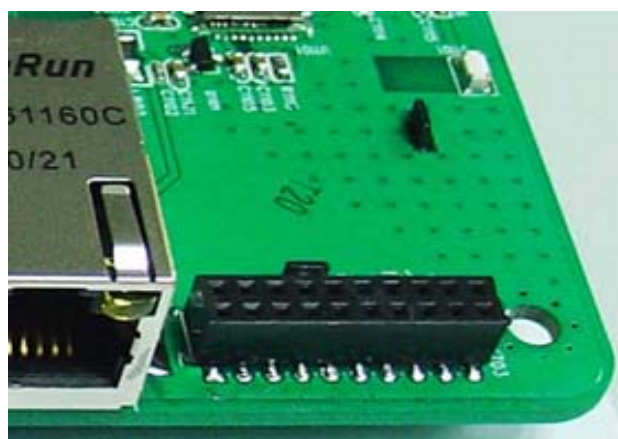


圖 4- 61 外部控制介面

## ● 藍芽控制

整合式平臺配置一組藍芽控制介面，可透過 WinCE 內建藍牙管理器設定藍芽屬性，可以針對設備附近之藍芽裝置進行連線及配對。

### (三) 人機整合介面軟體開發

整合式定位系統操作平臺之人機整合軟體介面可由使用者控制平臺作業程序，並可從介面設定各項功能與顯示各項功能其相關資訊。

人機整合軟體介面軟體介面具備 Radio Beacon 索引功能，可顯示目前使用頻率、接收強度及備頻頻率。介面亦可顯示 FM RDS-TMC 相關接收資訊。另 NTRIP 網路通訊協定之設定頁面，可設定 NTRIP IP、PORT、使用者帳號與密碼。定位元件頁面如圖 4-62 所示，此頁面可透過按鈕選擇定位模式並可顯示目前定位資訊，定位資訊各欄位說明如表 4-8 定位資訊說明表所示。

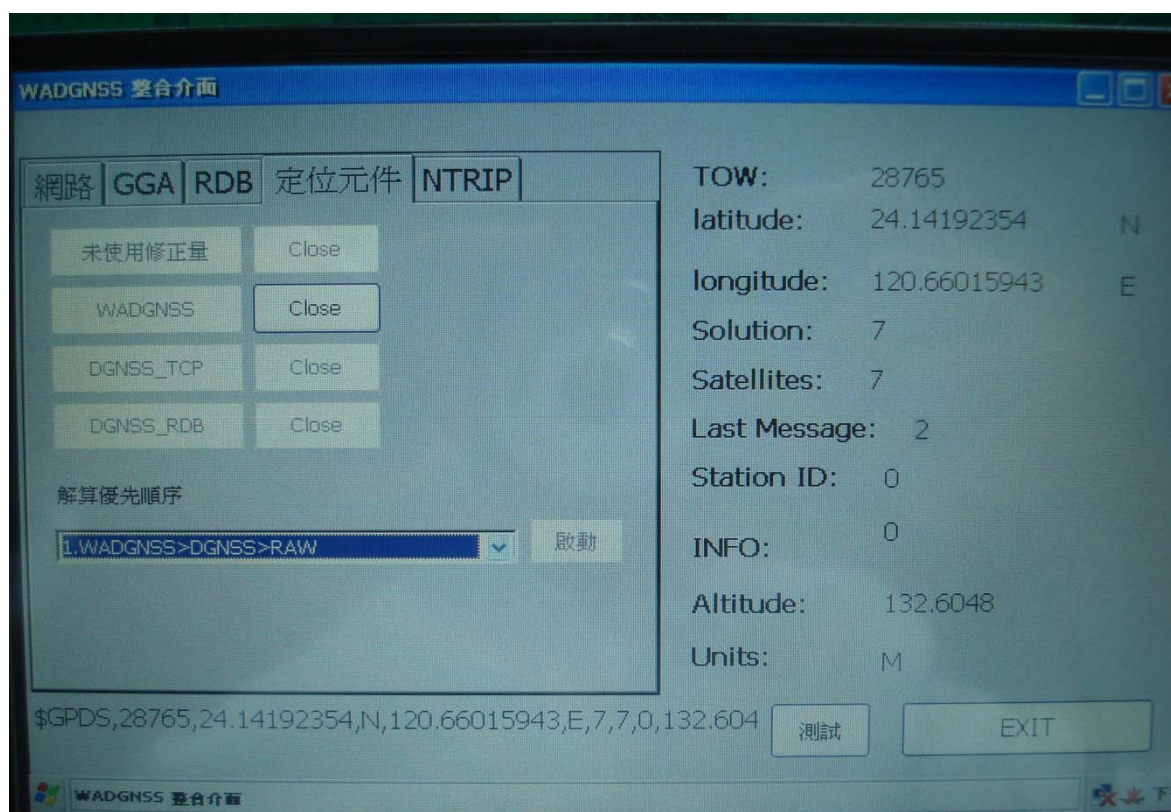


圖 4-62 定位元件設定及資訊

表 4-8 定位資訊說明表

項目	說明
<b>TOW</b>	GPS 時間
<b>Latitude</b> (緯度)	緯度定位解 (單位：度分)
<b>Longitude</b> (經度)	經度定位解 (單位：度分)
<b>Solution</b> (定位模式)	1: 未使用修正訊息 2: 使用差分修正訊息 7: 使用廣域差分修正訊息
<b>Satellites</b> (使用衛星個數)	求定位解時所使用衛星個數
<b>Last Message</b> (前一修正訊息)	差分與廣域差分修正訊息類型
<b>Station ID</b> (站臺編號)	差分修正訊息來源站臺編號
<b>INFO</b> (訊息)	顯示相關訊息。如網路連線失敗，廣域差分定位時定位解超過水平警戒極限
<b>Altitude</b> (高度)	定位解高度
<b>Units</b> (單位)	定位解高度單位



## 第五章 廣域差分定位系統整合測試與精度評估

### § 5-1 系統平臺及相關軟硬體設備與介面雛形設計

廣域差分定位系統平臺架構如圖 5-1，首先參考站資料處理器從 e-GPS 基準站接收到資料進行資料處理，接著透過網際網路傳輸至主控站進行相關運算，最後使用網際網路將廣域差分修正訊息傳遞給使用者，使用者可用手機或車上導航系統接收廣域差分修正訊息，另外，也可將廣域差分修正訊息應用到海空運之載具。

首先將 e-GPS 基準站存取之 RINEX 格公式資料用 C 語言程式轉換成 NSTB 格公式資料，這是由於在廣域差分定位系統主控站的演算法是以 NSTB 格公式資料做運算。運用 C 語言所撰寫網路傳遞程公式傳送給廣域差分定位主控站，網路傳遞程公式是使用 TCP/IP 傳遞方公式。此部分將在參考站資料處理器所使用的 Windows 作業系統下完成。

主控站是由在 FreeBSD 作業系統下運用 C 語言架構來進行演算法的演算，演算法之相關內容及步驟在第三章有詳細介紹。經由演算程序將會產生廣域差分修正訊息，最後藉由網際網路傳送給使用者，使用者將其應用於航空、海運、測量等與導航定位相關之系統。

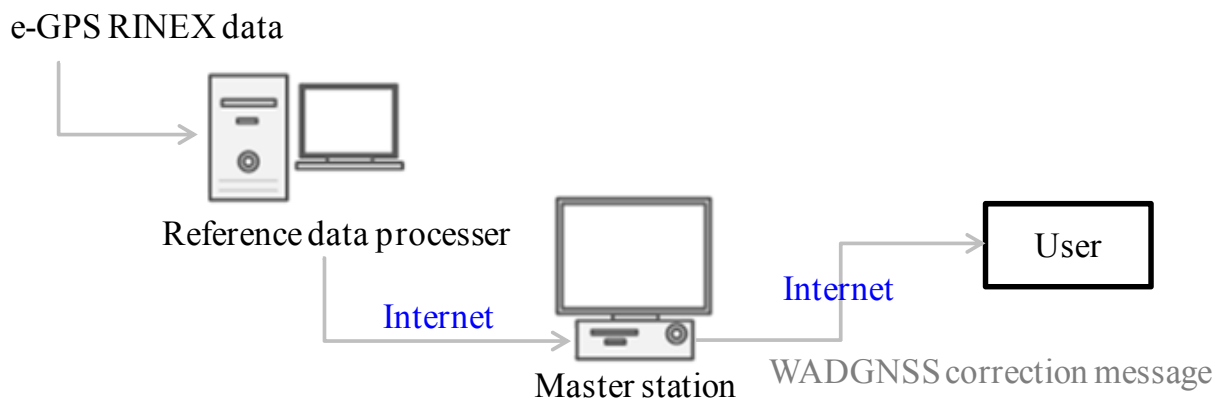


圖 5-1 廣域差分定位系統平臺架構

## § 5-2 應用參考站站數於廣域差分定位系統之評估分析

在增加多個參考站於廣域差分系統主控站即時運算之前，必須先估算此參考站之硬體頻差延遲誤差 (Inter Frequency Bias, IFB)。此硬體頻差延遲誤差主要是由於接收器接收不同頻率之全球導航衛星系統訊號之頻率響應所造成，其對主控站所產生之修正量會造成誤差，此誤差不但無法被消除，還進一步對使用者的效能造成影響。故本案欲加入其他未曾使用過的參考站前，必須先對各個參考站特殊的硬體頻差延遲誤差進行估算。

由於硬體頻差延遲誤差是硬體造成，誤差不會隨著時間變化。所以一個參考站的硬體頻差延遲誤差只需要被估算一次。硬體頻差延遲誤差的估測流程如圖 5-2 所示：首先必須運用貴中心所提供將要加入主控站運算之的參考站三天份 RINEX 衛星資料，並將此資料格式轉換成主控站運算所需要之 NSTB 資料格式，最後經由主控站演算法得到 IFB 估測值；接著利用同樣的流程估算出 Noise Initialization File，完成這兩個步驟後，才能將此參考站加入主控站運算。

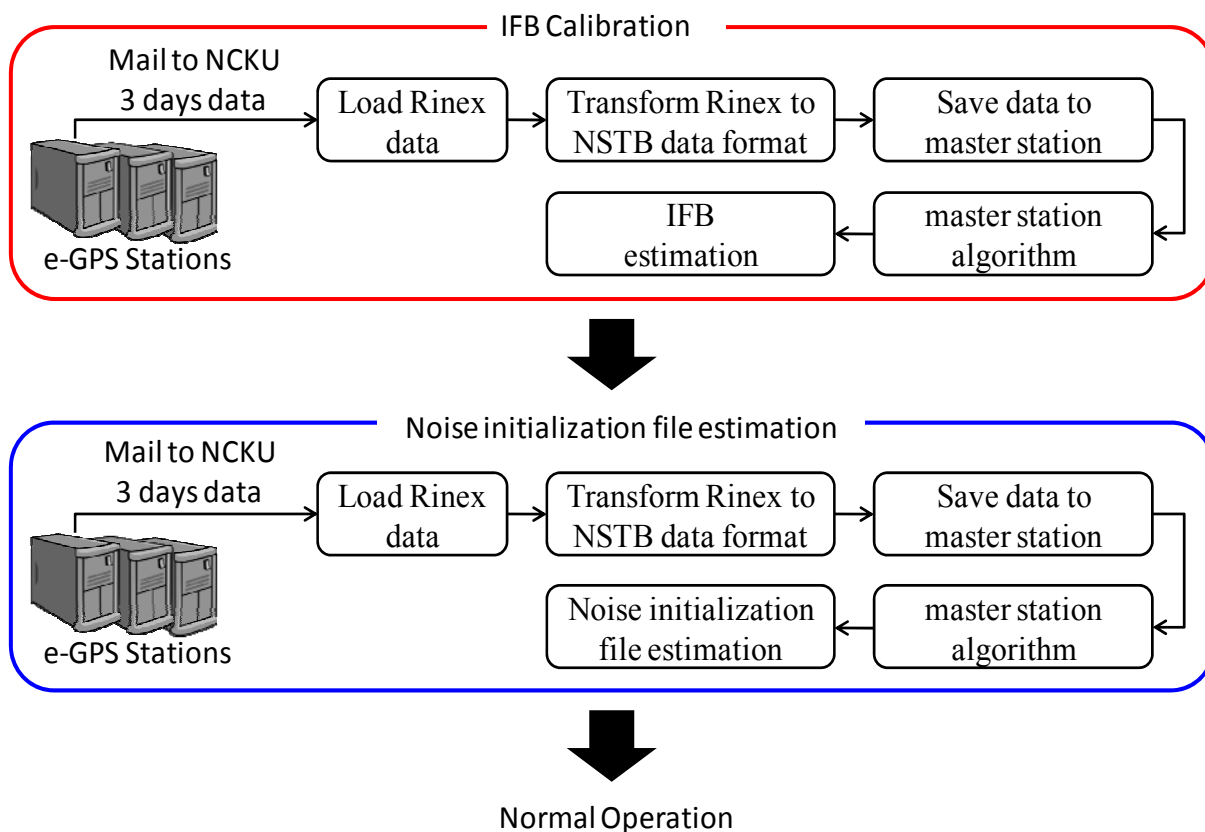


圖 5-2 增加參考站站數於主控站運算之前置流程

而在於使用廣域差分主控站演算法進行硬體頻差延遲誤差之估算並非所有的參考站都能夠完成估算，只有某些參考站情形才能完成整個估算流程。下表 5-1 為完成硬體頻差延遲誤差估算之參考站列表。從表 5-1 可以發現目前已經完成 12 個參考站的估算分別為北竿、金沙、東引、枋寮、桃源、貢寮、泰安、大武、高雄、臺中港、龍洞與富岡。

表 5-1 完成硬體頻差延遲誤差估算之參考站列表

成功估算硬體頻差延遲誤差之參考站、其型號、與其估算量(m)					
北竿	Trimble NetRS	2.99	泰安	Trimble NetRS	1.41
金沙	Trimble NetRS	-2.51	大武	Trimble NetRS	-1.66
東引	Trimble NetRS	-4.65	高雄	Trimble 5700	-2.43
枋寮	Trimble NetRS	-4.65	台中港	Trimble 5700	-1.81
桃源	Trimble NetRS	-2.83	龍洞	Trimble 5700	-1.74
貢寮	Trimble NetRS	3.27	富岡	Trimble 5700	-2.29

在此增加參考站之評估分析中，本案首先選用接收器為 Trimble NetRS 型號之參考站，其選用的參考站為貢寮、泰安、桃源、大武、枋寮、北竿、金沙和東引，如圖 5-3 所示。在此評估過程中，本案會將參考站站數由四個參考站依序增加至八個參考站來進行其廣域差分定位系統之效能分析，並且藉評估參考站站數增加是否對廣域差分定位系統之效能有所提升。



圖 5-3 運用於參考站站數對於廣域差分定位系統效能評估之參考站分布圖

圖 5-4 到圖 5-8 為分別使用四到八個參考站產生廣域差分修正訊息，並選用枋寮站為使用者且套用產生之廣域差分修正訊息後之水平方位定位誤差圖。圖 5-4 到圖 5-8 的橫軸為東方向與北方向的定位誤差分布值，而縱軸為定位誤差分布的機率大小，虛線則表示一個標準差的範圍。

觀察圖 5-4 到圖 5-8 可以明顯發現，東方向與北方向的誤差並沒有因為增加參考站站數做運算，而有明顯的增進，這是因為增加參考站對於廣域差分定位系統產生修正量的好處為可以增加可視衛星的數目，但是前提為新加入的參考站的要距離現有的參考站更遠，增加參考站與參考站之間的幾何距離。當這些參考站的位置相距不遠時，各個參考站可以看到的可視衛星基本上非常接近的。所以對於產生修正量並不一定會有正面的幫助。

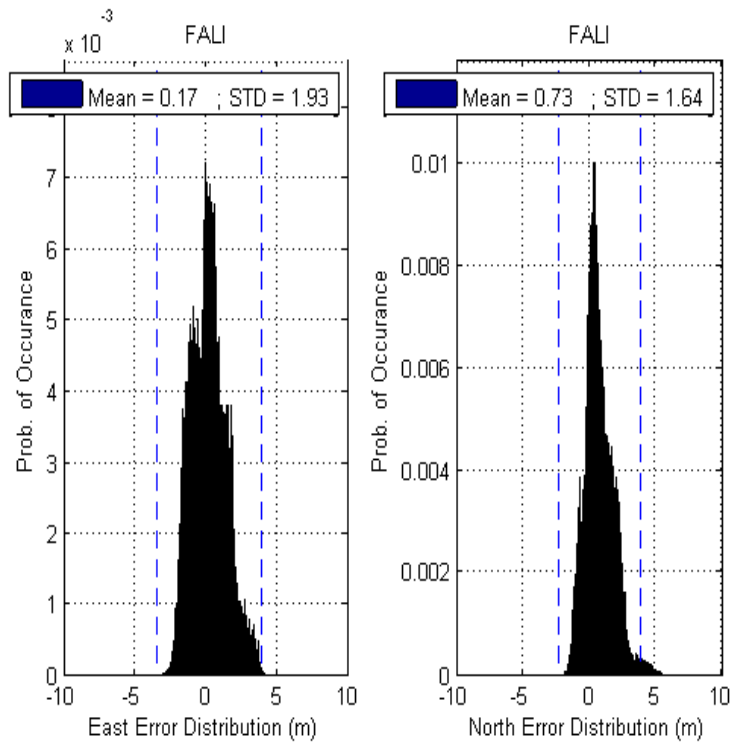


圖 5-4 運用四個參考站之水平誤差圖

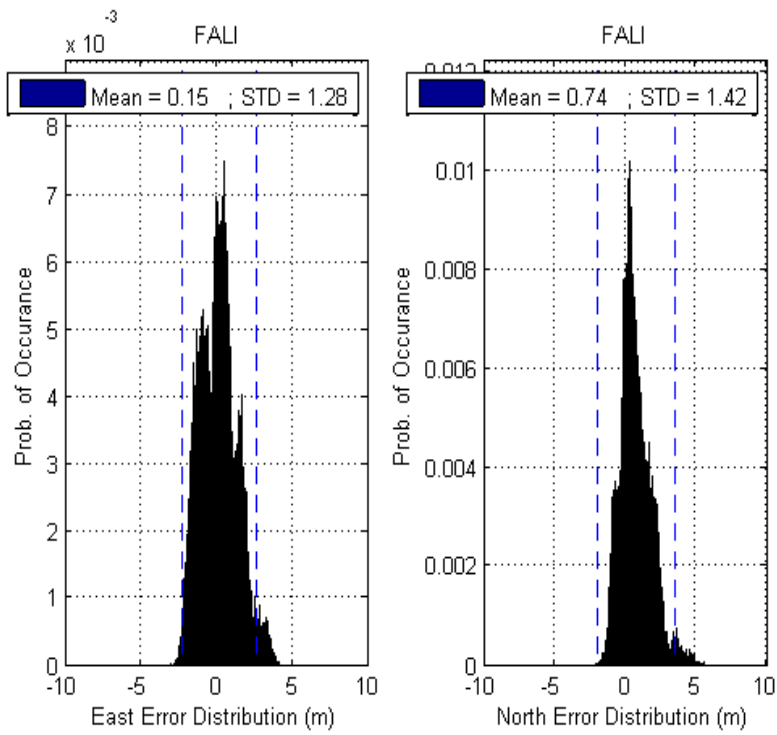


圖 5-5 運用五個參考站之水平誤差圖

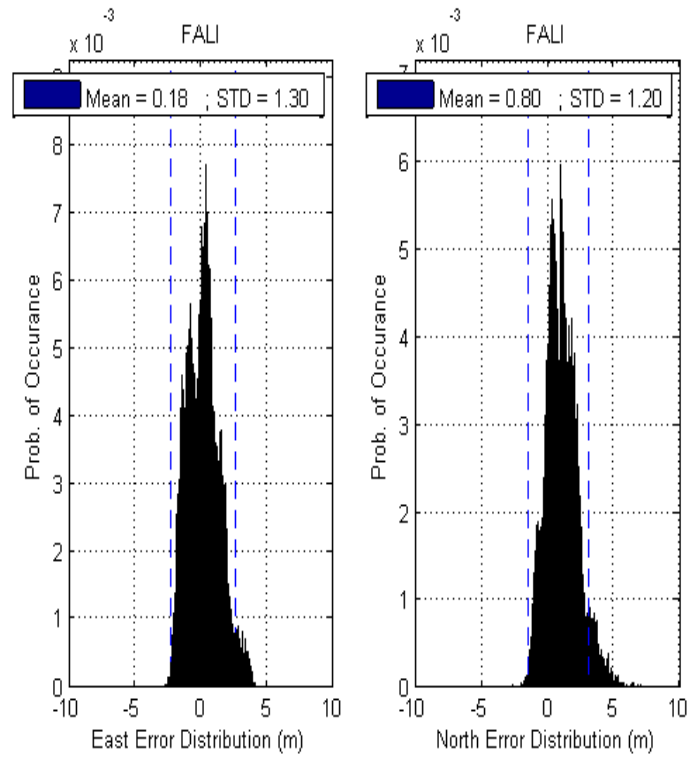


圖 5-6 運用六個參考站之水平誤差圖

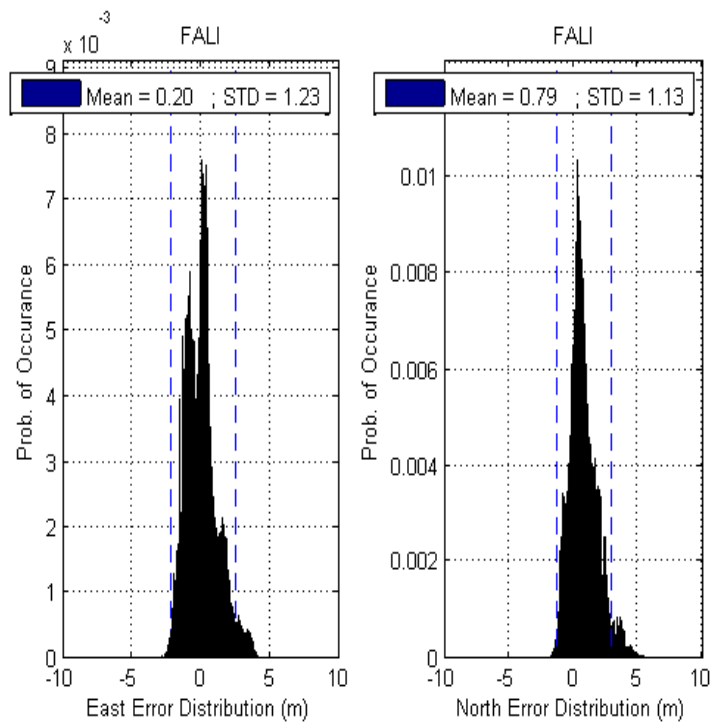


圖 5-7 運用七個參考站之水平誤差圖

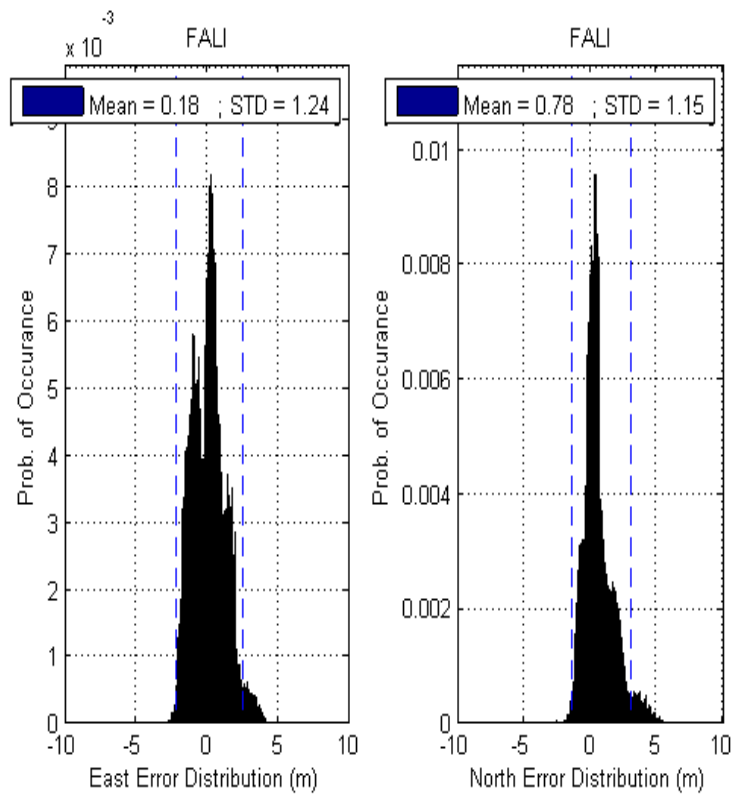


圖 5-8 運用八個參考站之水平誤差圖

表 5-2 為運用廣域差分修正量後一個標準差的水平定位誤差與參考站使用數目比較圖表，參考站加入的順序為：貢寮、北竿、泰安、枋寮、桃源、金沙、大武、東引。以枋寮站為例由表 5-2 與圖 5-9 中可以看出，定位誤差隨著參考站的增加而減少，最小值為使用七個參考站來做主控站運算。然而當參考站數目多於七個時，隨著參考站的站數增加，其定位誤差已經不如預期般逐漸降低，加至八個站時，使用者的定位誤差已經沒有很明顯的增進了。而這是因為當新增加的參考站衛星資料可以觀測之衛星與其他參考站不盡相同，而如此一來使用八個參考站與七個參考站估算出之電離層格點修正量是一樣的。而倘若新加入的參考站比先前已使用之參考站提供之衛星資料品質低，則新加入的參考站反而會對廣域差分定統系統主控站演算法造成影響。考量定位精確度與系統運算負擔，本案預計使用六個參考站提供衛星資料於廣域差分定位系統主控站演算法，並進一步估算出廣域差分修正訊息。而即時廣域差分定位系統之效能將於下一章節分析。

表 5-2 不同參考站數對各個參考站之水平定位誤差

不同參考站數對各個參考站之水平定位誤差 (±m)					
參考站數目	4	5	6	7	8
枋寮	2.320	1.916	1.766	1.686	1.687
桃源			1.585	1.549	1.606
金沙			1.903	1.867	1.917
大武				1.641	1.676

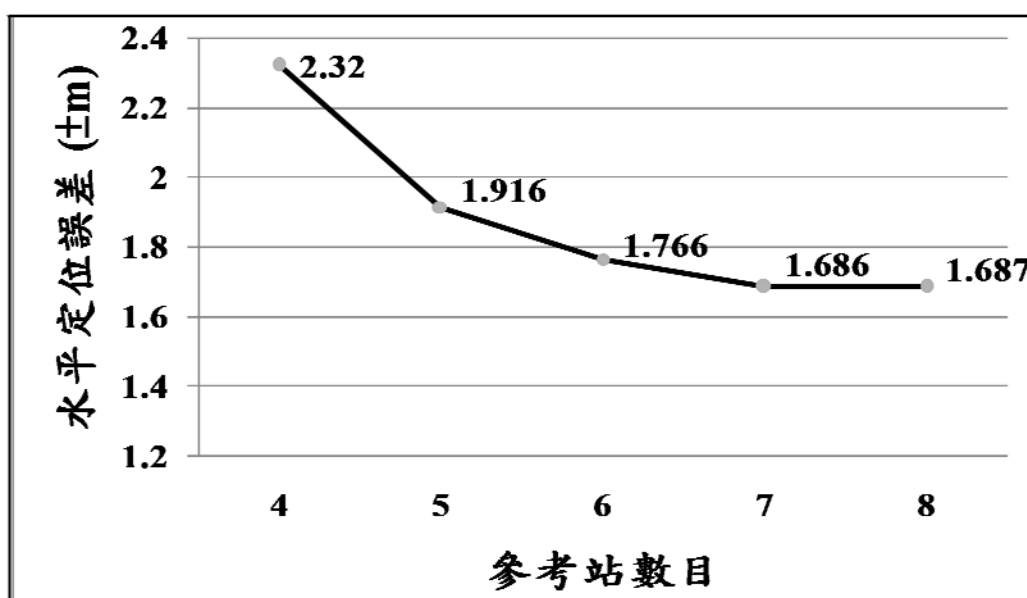


圖 5-9 參考站站數與枋寮站之水平定位誤差



## § 5-3 廣域差分定位系統即時處理結果

### §5-3-1 廣域差分定位系統即時處理圖形化界面介紹

此章節展示本案研發之廣域差分定位系統主控站演算法即時處理的結果。圖 5-10 為廣域差分定位系統即時處理之流程圖，廣域差分定位系統主控站經由網路接收 e-GPS 基準站之資料，並將 RTCM v3.0 資料格式轉換成 NSTB 資料格式進入主控站演算法進行演算，最後傳播廣域差分定位系統修正訊息給使用者。經由上一章節之增加參考站站數與效能分析，在即時處理的結果中，採用以六個參考站來加入主控站運算產生廣域差分定位修正資訊。

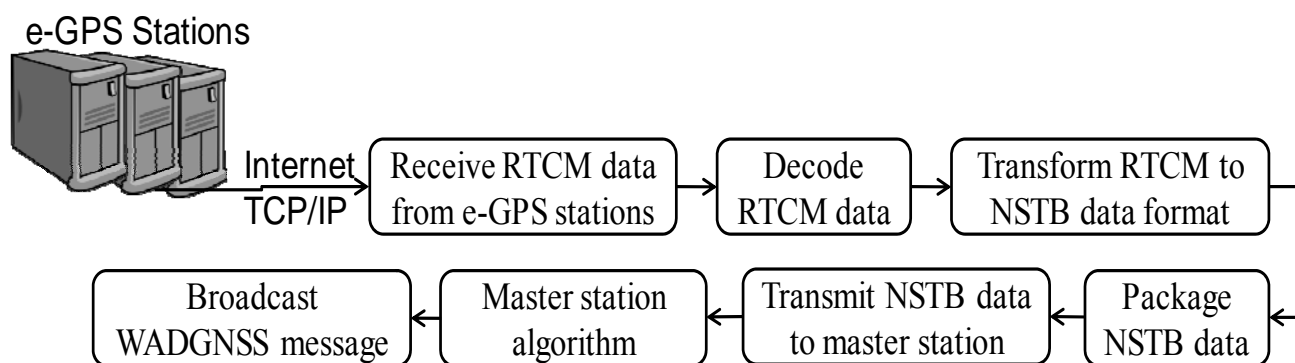


圖 5-10 即時處理廣域差分定位系統流程圖

本案為方便監控各個參考站的連線情況，以及修正訊息產生，本團隊設計了主控站之使用者圖形化介面來方便管理者了解目前狀況。使用者圖形化介面主要可分為：參考站之分布地圖、衛星軌跡圖、參考站之定位效能、各衛星的修正量與使用者差分誤差距離(User Differential Range Error, UDRE)、電離層格點修正量與電離層格點垂直誤差與其殘餘誤差之信心範圍和主站之狀態，分別如圖 5-11 至圖 5-16 所示。此圖形化介面是配合 Open Motif (D. Heller, 1991)所開發而成。接下來將分別介紹各相關頁面與其功能。

- 參考站之分布地圖(圖 5-11)：圖中可看出各參考站之相對位置，進而得知參考站在地理位置上分布情形，並可由圖上的參考站的顏色表示目前

各參考站連線情況，藍色為連線正常且有使用該參考站之觀測量來產生修正量，其狀態稱為 active；黃色則為該參考站連線正常，但不使用該參考站來產生修正量，其狀態稱為 passive；若為紅色，表示主站當下無法接受到該參考站的觀測量。其中 active 與 passive 可依實際需求來做變更，可將參考站設為 passive 以做為使用者來分析其效能。

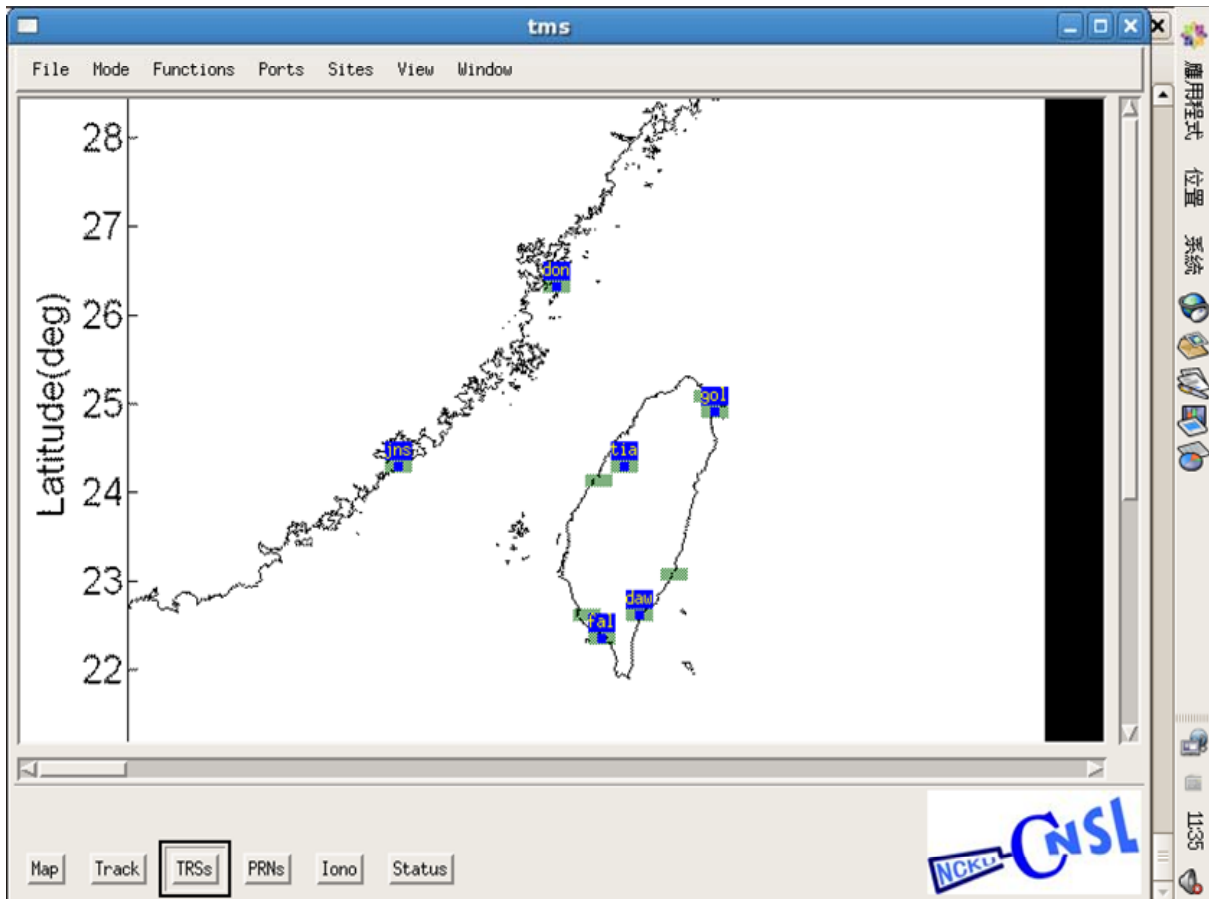


圖 5- 11 e-GPS 基準站分布地圖

- 衛星軌跡圖(圖 5-12)：衛星軌跡圖是利用長效型星曆來計算出衛星之位置，再根據參考站同時對同一顆衛星監控的數目來改變顏色。可根據軌跡得知衛星動向，藉此得知與估測衛星進入或離開參考站接收範圍的時間與衛星編號，方便監控端進行相關之分析。

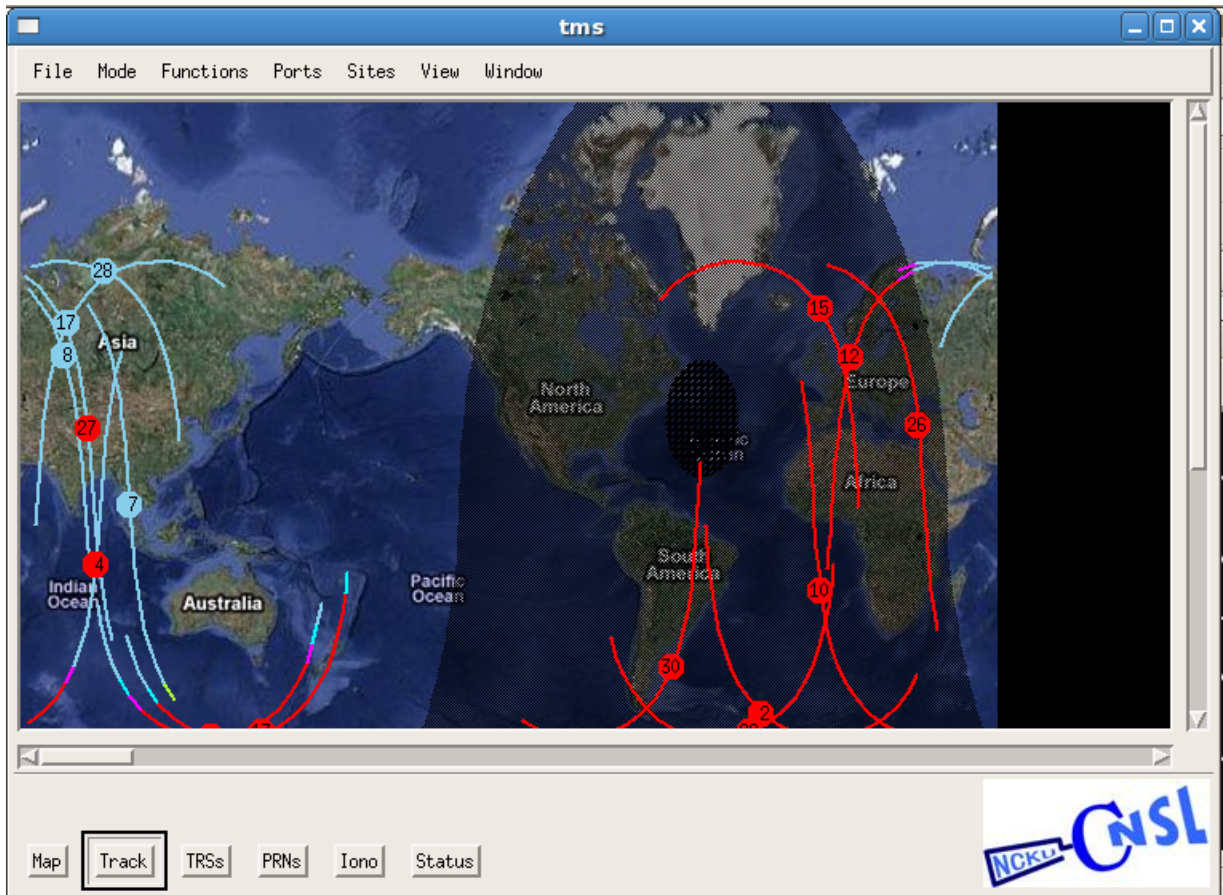
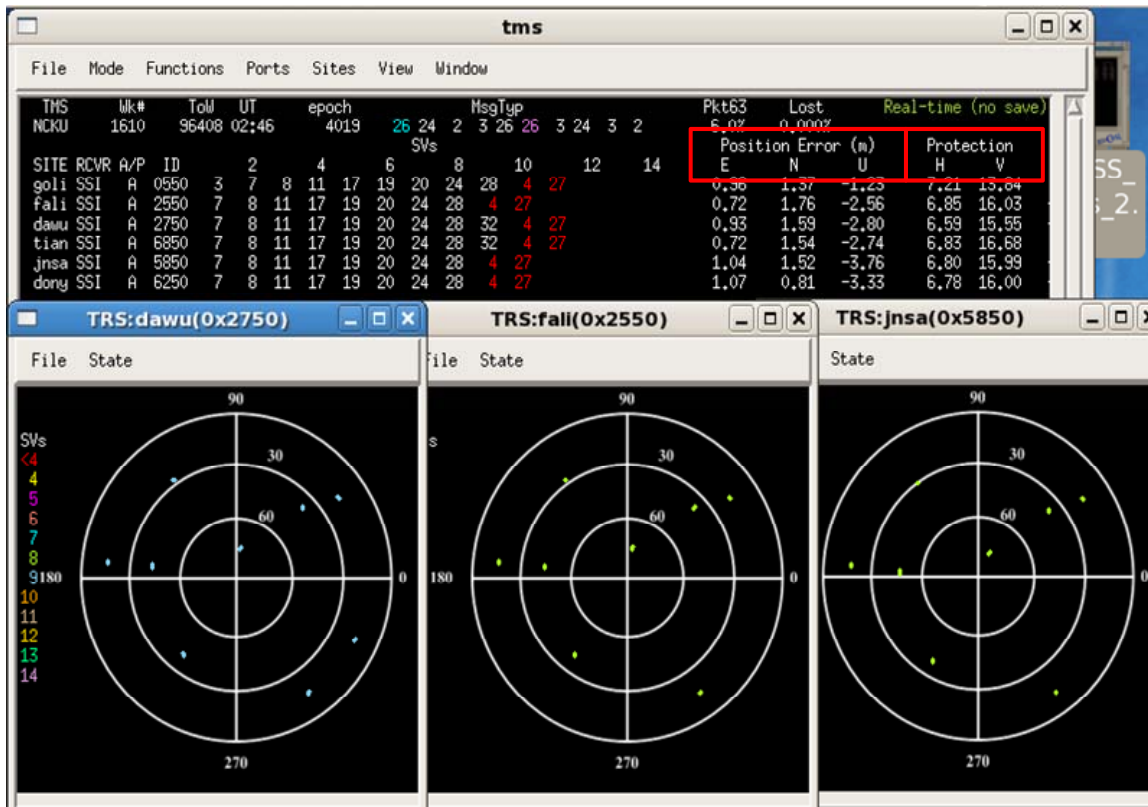
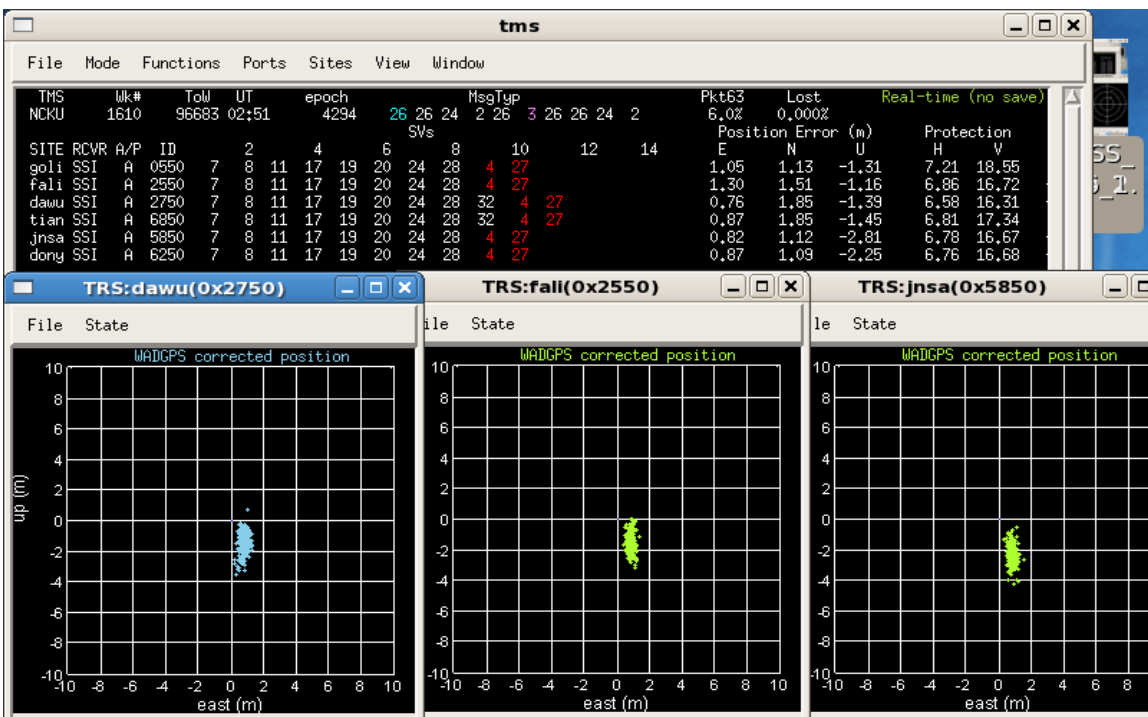


圖 5-12 GNSS 衛星軌跡圖

- 參考站運用廣域差分修正資訊後之定位效能(圖 5-13(a)與圖 5-13(b)):在參考站定位效能圖中除了顯示當下各參考站所收到的衛星號碼、相對坐標下的定位誤差以及保護參數(如紅色框所示)。另外可監控目前各參考站的可視衛星的相對位置圖(sky plot)與參考站在使用廣域差分修正訊息後的定位誤差，在相對位置圖中，中心點為參考站的位置，以參考站為中心的同心圓表示不同的衛星仰角；而定位誤差的原點表示參考站精確點之位置，橫軸為東西向的位置誤差，縱軸為高度方向的位置誤差。



(a)



(b)

圖 5-13 (a) 運用廣域差分修正訊息之參考站定位效能與衛星分布圖

(b) 運用廣域差分修正訊息之參考站定位效能與位置誤差圖

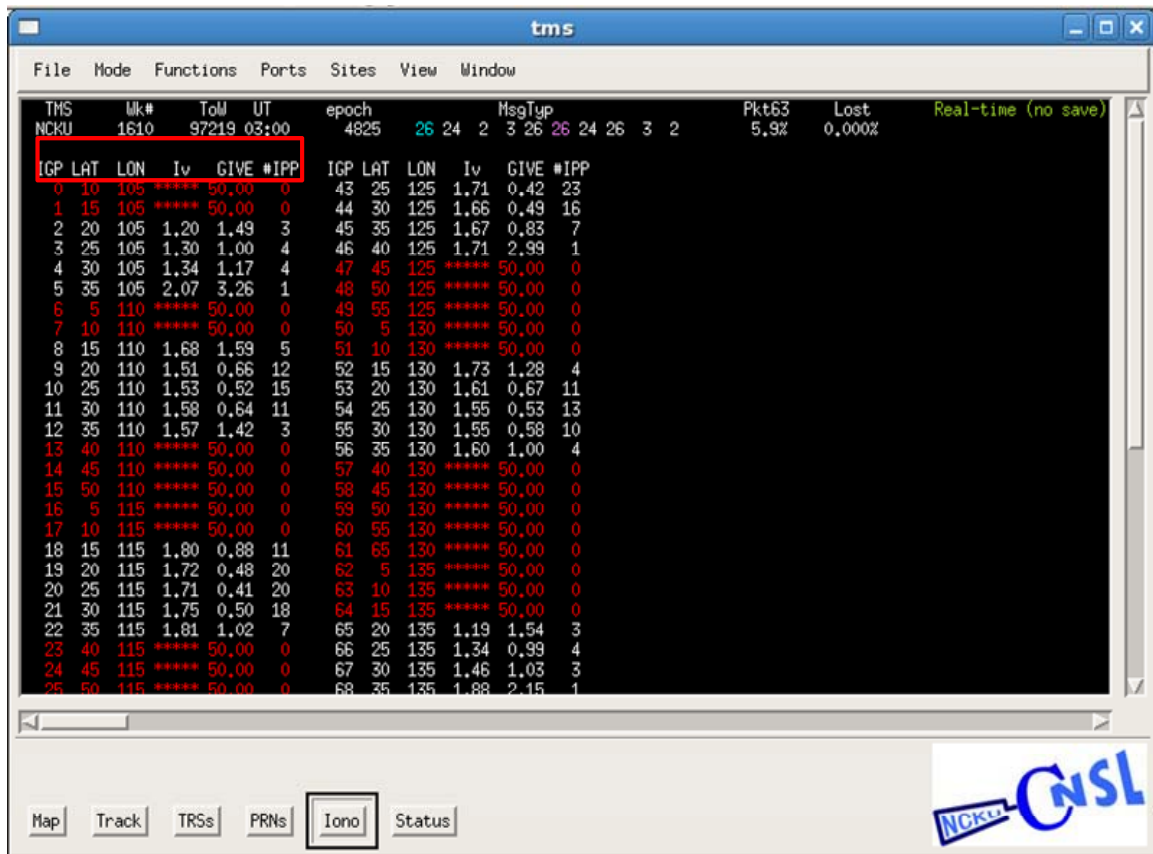
- 各衛星的修正量與 UDRE(圖 5-14)：此圖是各衛星的狀態包括了：用來確認精確型星曆是否更新的 IODE (Issue Of Date Ephemeris)、監控該顆衛星的參考站數目、衛星是否健康(1 表正常；0 表不正常)、衛星是否可用(1 表不可用；0 表可用)與單位為公尺的三維方向與時鐘的修正量、UDRE(如紅色框所示)和群延遲時間(Time Group Delay, TGD)，監控端可以很明確的了解目前可用之衛星星曆與時鐘之修正量詳細狀態。

PRN	IODE	#TRIS	dX	dY	dZ	dB	UDRE	HEALTH	DNU	TOE	Tgd
2	0	0/0							0		-5.2
4	0	0/6							0		-1.8
7	188	6/6	-0.03	-0.02	-0.07	1.48	0.44	1	0	93600	-3.2
8	79	6/6	-0.06	0.02	-0.05	-2.18	0.45	1	0	93600	-1.3
10	0	0/0							0		-0.8
11	51	6/0	-0.03	0.01	-0.03	0.29	0.45	1	0	93600	-3.6
12	0	0/0							0		-3.5
13	105	0/0							0		-3.4
15	0	0/0							0		-2.9
17	70	6/6	0.06	0.06	-0.17	0.29	0.49	1	0	93600	-3.1
19	1	6/6	0.06	0.00	0.07	-0.69	0.50	1	0	93584	-4.3
20	63	6/6	-0.03	-0.02	0.05	-0.74	0.46	1	0	93600	-2.0
23	0	0/0							0		-6.0
24	97	6/0	-0.08	0.04	-0.07	1.25	0.47	1	0	93600	-0.4
26	0	0/0							0		-1.8
27	0	0/6							0		-1.4
28	43	6/6	0.02	-0.01	0.01	1.75	0.47	1	0	93600	-3.1
29	0	0/0							0		-2.7
30	0	0/0							0		-2.4
32	52	2/0	-0.00	-0.03	0.05	-1.15	0.69	1	0	93600	-1.0

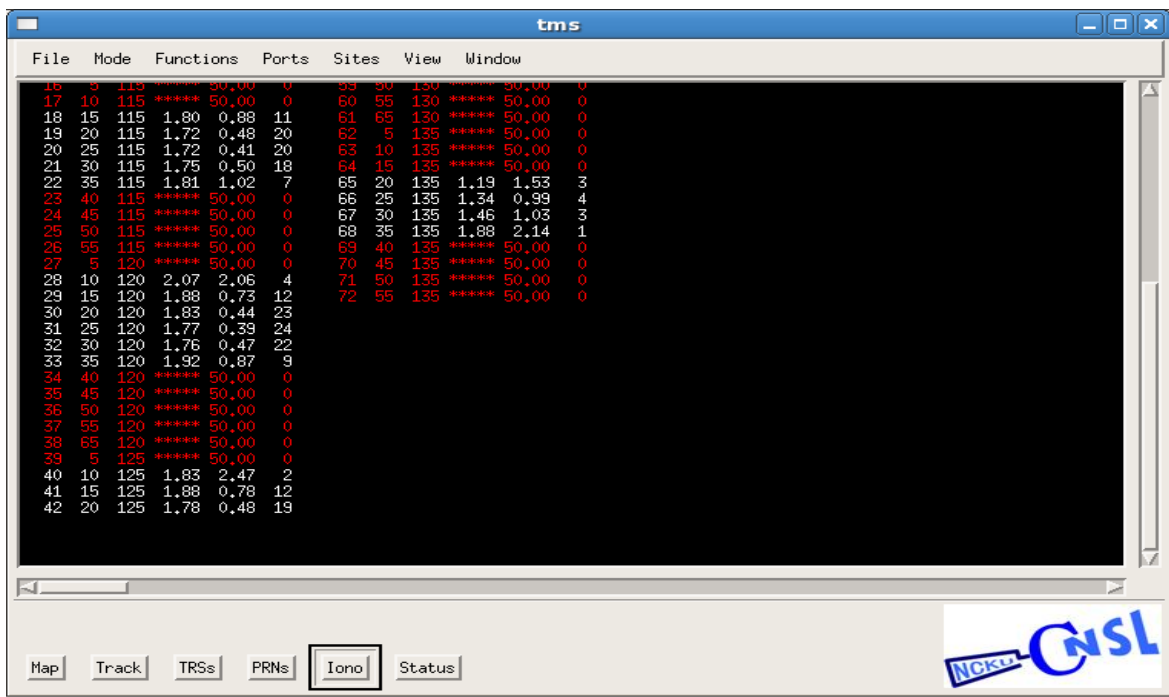
圖 5-14 各衛星之星曆與時鐘修正量與 UDRE

- 電離層格點修正量與 GIVE(圖 5-15)：顯示了電離層格點的經緯度、電離層修正量、GIVE 與用來估算該點的 IPP 個數(如紅框所示)。對於無法產生服務的電離層格點，將會用紅色來顯示。





(a)



(b)

圖 5- 15 (a)&(b) 電離層格點誤差與 GIVE

- 主控站之服務狀態(圖 5-16)：圖中最上面一排顯示了衛星的時間、國際標準時間(Coordinated Universal Time, UTC)、經過處理的時間點與產生的服務訊息種類，由國際標準時間可以得知，在此本系統使用的是 2010 年的資料。右下方為各參考站所接受到同步衛星所傳送的廣域增強系統之服務訊息，顯示於最左邊的服務訊息的編號(淺藍色)表示當下產生該種類的服務訊息。左邊分別顯示了是否將服務訊息傳送至網路上指定的位置、差分修正量套用的情況、所使用的電離層模組、是否只使用 250bps 來模擬同步衛星的資料傳送頻寬和正常收到觀測量之參考站的數目。對於差分修正量套用的情況又分為不使用(disable)，只使用在 passive 的參考站(passive only)與全部的參考站都套用(all stations)。當使用 Klobuchar 做電離層模組時，後面會顯示「Single Freq Enabled」；若使用的是廣域差分定位系統的電離層格點模組，則會顯示「Dual Freq Enabled」。若有參考站發生非預期的連線中斷，則會在最下面顯示該參考站的編號。

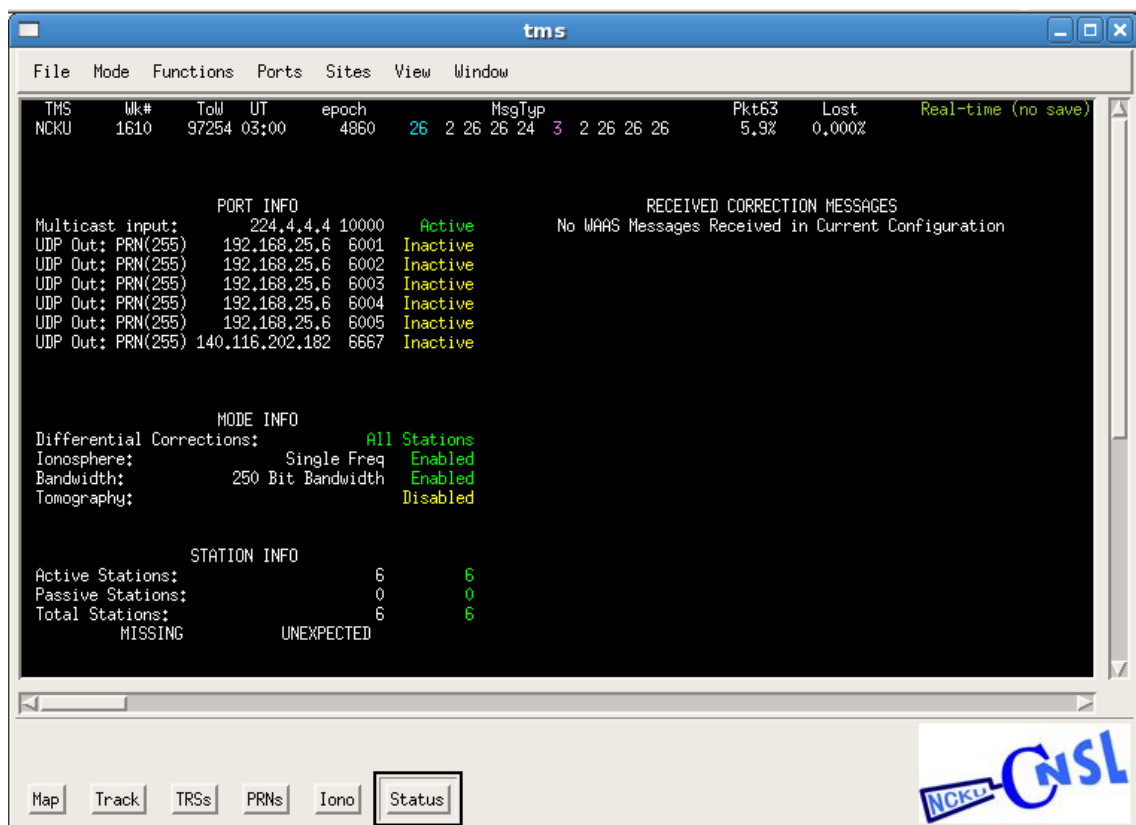


圖 5-16 主控站運作情形

### §5-3-2 廣域差分定位系統即時處理分析結果

一般在探討衛星增強系統時，Stanford Chart 為國際學者廣為使用的分析圖表。圖 5-17 即為 Stanford Chart 顯示了精確性、完整性與可用性之間的關係(Jan, 2007 and Kelly, et.al, 1994)。Stanford Chart 是由史丹福大學(Stanford University)的 GPS 實驗室所開發用來描述水平或垂直之導航能力的二維統計圖，橫軸為測量到真實位置之誤差值，縱軸為對每一個的導航位置解所估算出之保護極限，利用所算出之保護極限與真實誤差之關係來判別結果會落在的區塊。此圖表可以被通過原點的對角線與位於縱軸(PL)的位置誤差警示限制分為三個部份。如果所計算的誤差大於保護極限，即在對角線的下方，其結果會落在致命性危險之錯誤導引(Hazardously Misleading Information, HMI)之區塊(圖 5-17 的紅色區域)，此情形是最壞狀況，表示系統無法保護使用者，此時的系統是不安全的。

而在對角線的上方的兩個區塊，在此二區塊中的保護極限大於定位誤差，表示系統能提供使用者完整性。最佳情況為所得之保護極限值在位置誤差警示限制範圍內且大於定位誤差，代表此系統是安全且可正常運作的(圖 5-17 的白色區域)。同樣在對角線之上，若是保護極限大於位置誤差警示限制，則為系統不可使用的區塊(圖 5-17 的黃色區域)，此時廣域差分定位系統是正常運作的，但因為由廣域差分定位系統服務訊息中所計算出的保護極限大於警戒限制，則此時建議使用者不要使用衛星定位的服務，以免發生危險。



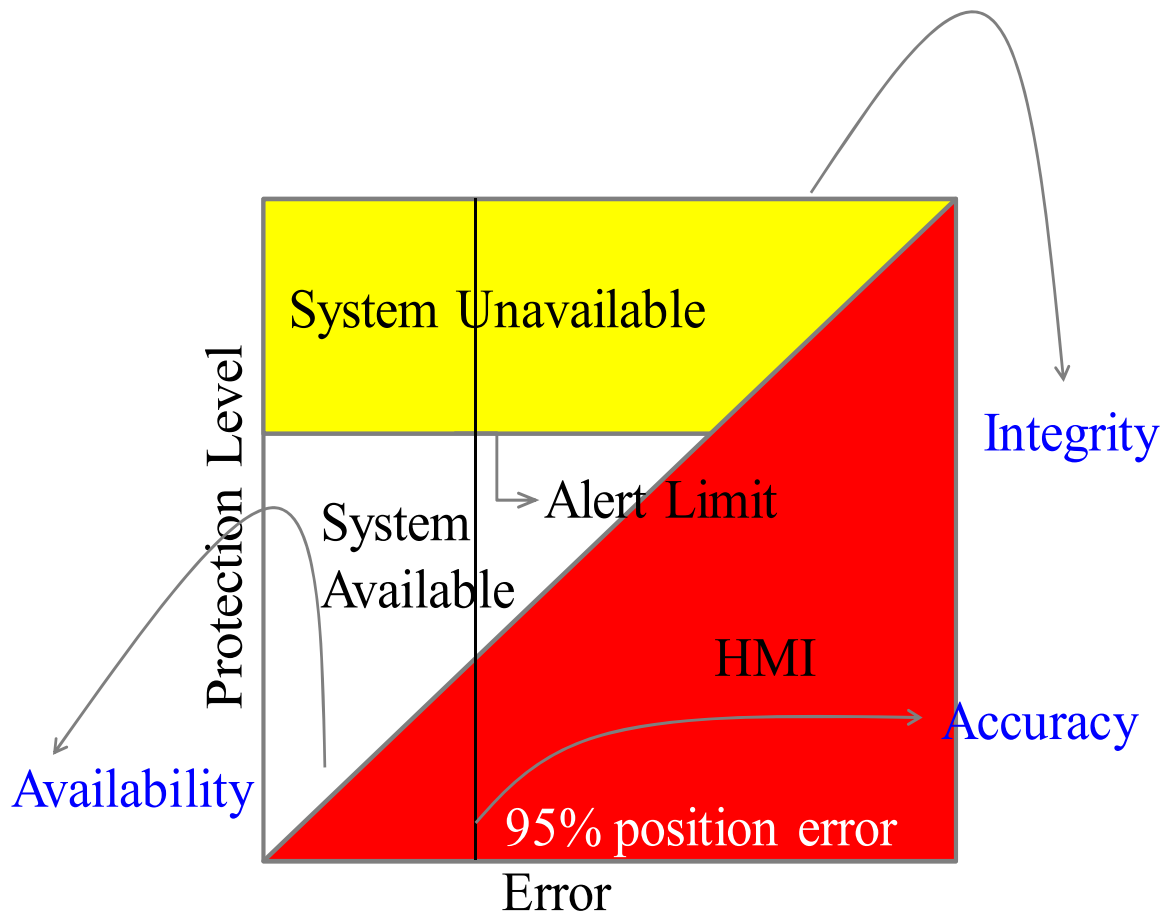


圖 5- 17 Stanford Chart

藉由 Stanford Chart 分析，本案可以判斷在這段即時的期間內，廣域差分定位系統所產生的廣域差分修正訊息是否滿足使用者所需的導航需求。本案預計使用航海/海運使用者做為廣域差分定位系統之評估使用者。選用航海使用者進行分析之原因為雖然航海使用者不如陸上導航使用者多，但是航海一直以來對於定位導航的完整性有一定程度的需求，而航海之導航需求也已經被明確的規範如表 5-3 所示。

另外運用衛星導航於民用航空的飛行任務也是目前相當熱門的話題，但是由於航空之導航需求規範對於精確度與完備性有更加要求，故要使用本系統達成有一定程度的困難，但是未來也可以往此方向努力並且進行研究。本案將於第六章成本分析章節細談廣域差分定位系統使用於民航之分析。

表 5-3 航海導航需求

**Tables showing the minimum maritime user requirements for positioning**

	System level parameters				Service level parameters			
	Accuracy Horizontal (metres)	Vertical <sup>1</sup> (metres)	Alert limit (metres)	Integrity Time to alarm <sup>2</sup> (seconds)	Integrity risk (per 3 hours)	Availability % per 30 days	Continuity % over 3 hours	Coverage
<b>Operations</b>	Relative accuracy							
• tugs and pushers	1		2.5	10	10 <sup>-5</sup>	99.8	99.97	Local
• icebreakers	1		2.5	10	10 <sup>-5</sup>	99.8	99.97	Local
• automatic collision avoidance	10		25	10	10 <sup>-5</sup>	99.8	99.97	Global
	Absolute accuracy							
• track control	10	N/A	25	10	10 <sup>-3</sup>	99.8	99.97	Global
• automatic docking	0.1		0.25	10	10 <sup>-5</sup>	99.8	99.97	Local
<b>Traffic management<sup>3</sup></b>	Absolute accuracy							
• ship-to-ship co-ordination	10		25	10	10 <sup>-3</sup>	99.8	99.97	Global
• ship-to-shore co-ordination	10		25	10	10 <sup>-5</sup>	99.8	99.97	Regional
• shore-to-ship traffic management	10		25	10	10 <sup>-5</sup>	99.8	99.97	Regional

本案探討將航海導航需求之船之入港口時之導航任務，而此導航任務之水平警戒極限(Horizontal Alert Limit, HAL)設定為 25 公尺。本廣域差分定位系統之即時處理實驗結果將分析採用國土測繪中心提供之大武 e-GPS 衛星基準站做為航海使用者。而本團隊亦藉由調整完整性需求以滿足海運使用者之要求效能。

圖 5-18 到圖 5-29 為使用大武站及金沙站針對不同完整性需求所畫出的 Stanford Chart。由該圖可以得知，從圖 5-18 到圖 5-29 沒有任何一秒的定位結果落入錯誤導引(危險區域)中，而這也就是說不論完整性需求如何調整，運用航海使用者運用廣域差分修正訊息後，使用者完整性是可以被保證的(定位導航結果是相當可靠的)。雖然隨著完整性需求增加，造成航海使用者不可使用的定位解增加，但是在這同時使用者的定位可靠度也會隨之上升。這是由於我們將水平保護極限的要求提高。廣域差分系統在不能提供足夠精準的修正量時，此系統還是能夠提供使用者完整性的資訊，來幫助使用者在這些時刻不要使用本系統來輔助衛星進行導航。

由表 5-4 所示，以大武站為例，當完整性設定為 91.99%(1.75 個標準差)時，使用者會有 99.933%的時間運用本案研發之廣域差分定位修正量後，其定位誤差可以滿足 25 公尺的水平警戒極限。

Marine Horizontal Performance @DAWU (61509 epochs)

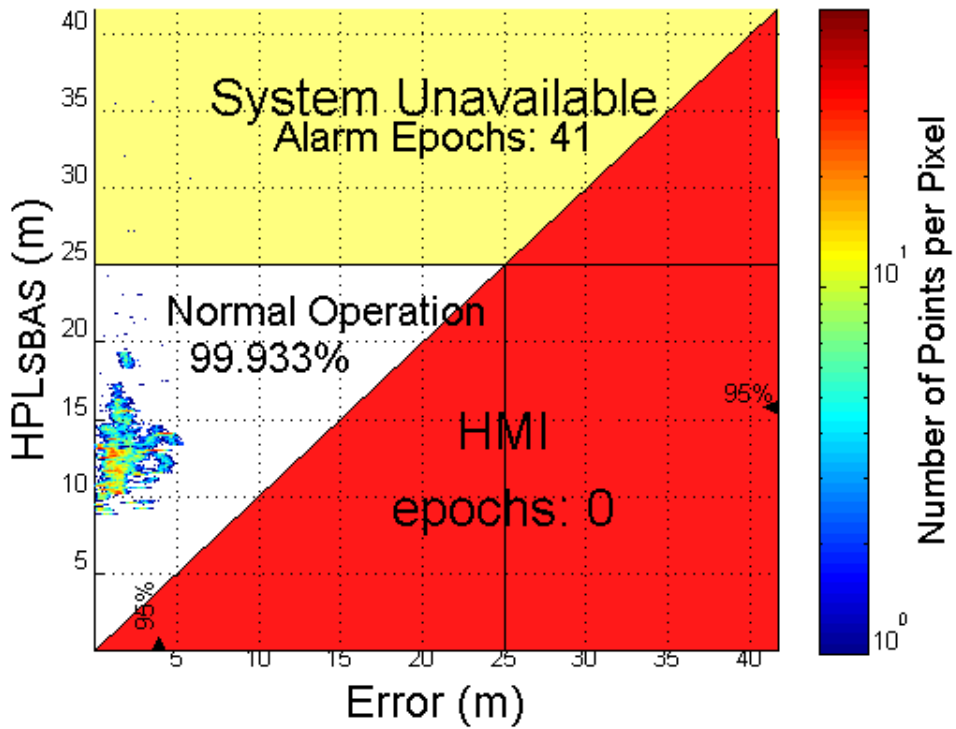


圖 5- 18  $1.75 \sigma$  Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站)

Marine Horizontal Performance @DAWU (61509 epochs)

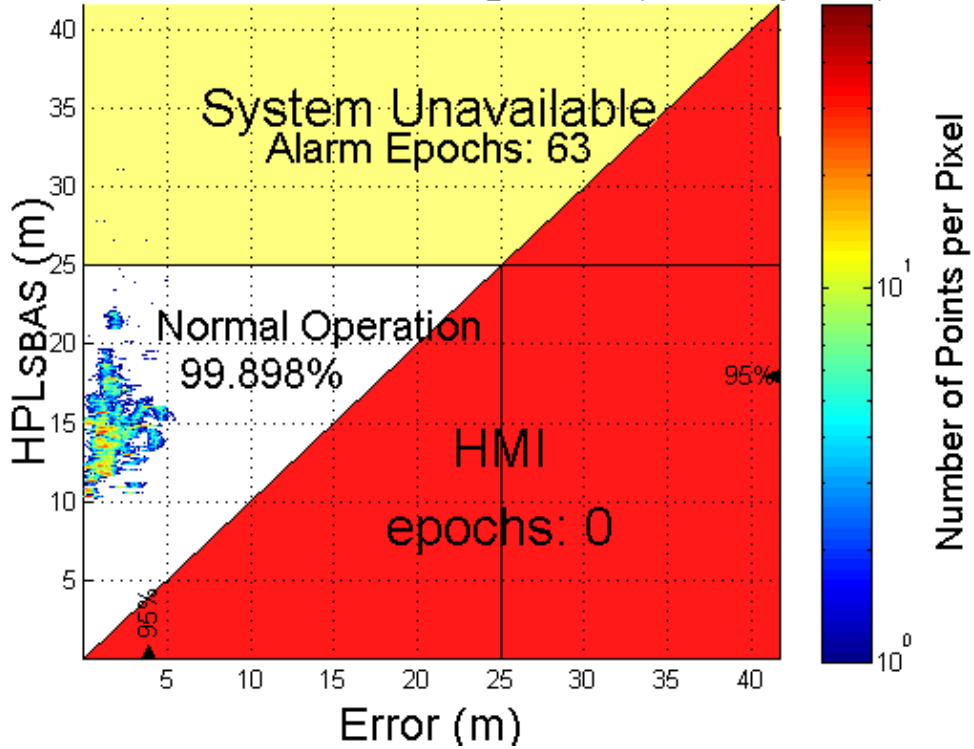


圖 5- 19  $2 \sigma$  Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站)

Marine Horizontal Performance @DAWU (61509 epochs)

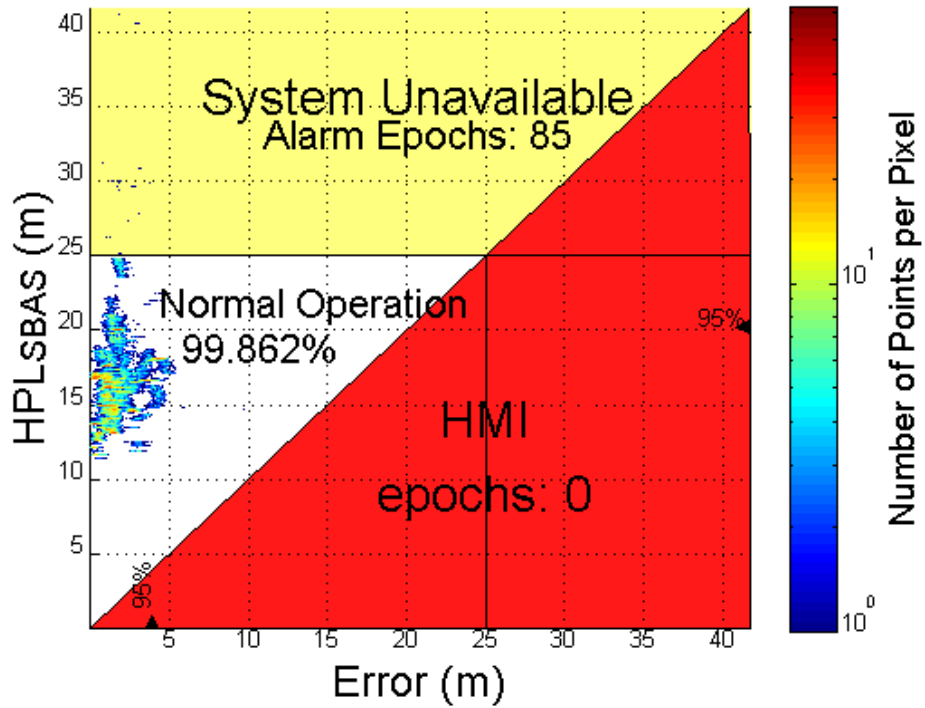


圖 5- 20  $2.25 \sigma$  Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站)

Marine Horizontal Performance @DAWU (61509 epochs)

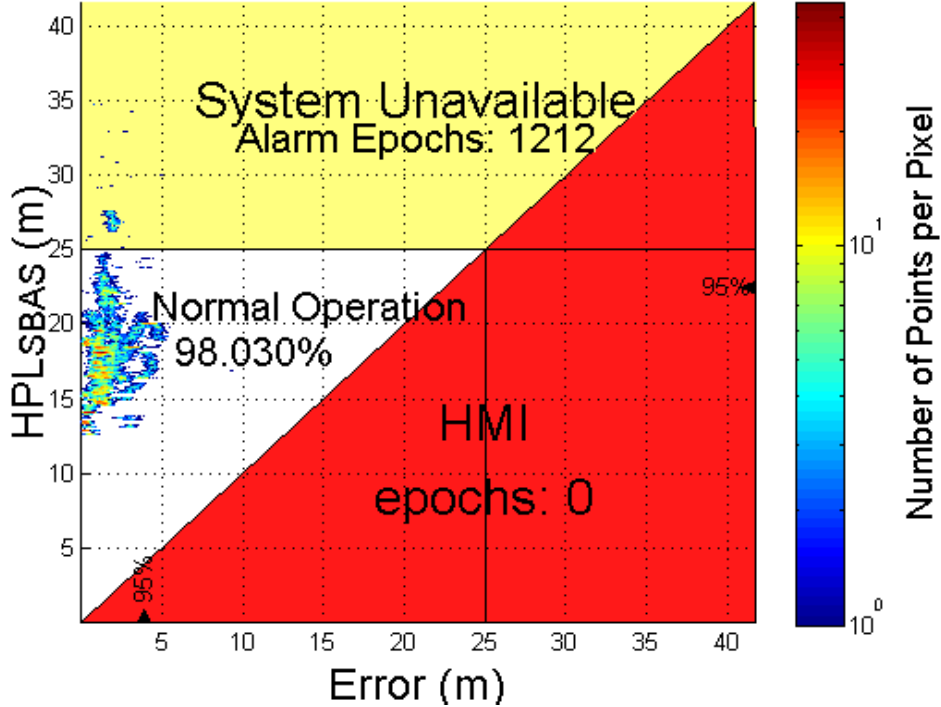


圖 5- 21  $2.5 \sigma$  Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站)

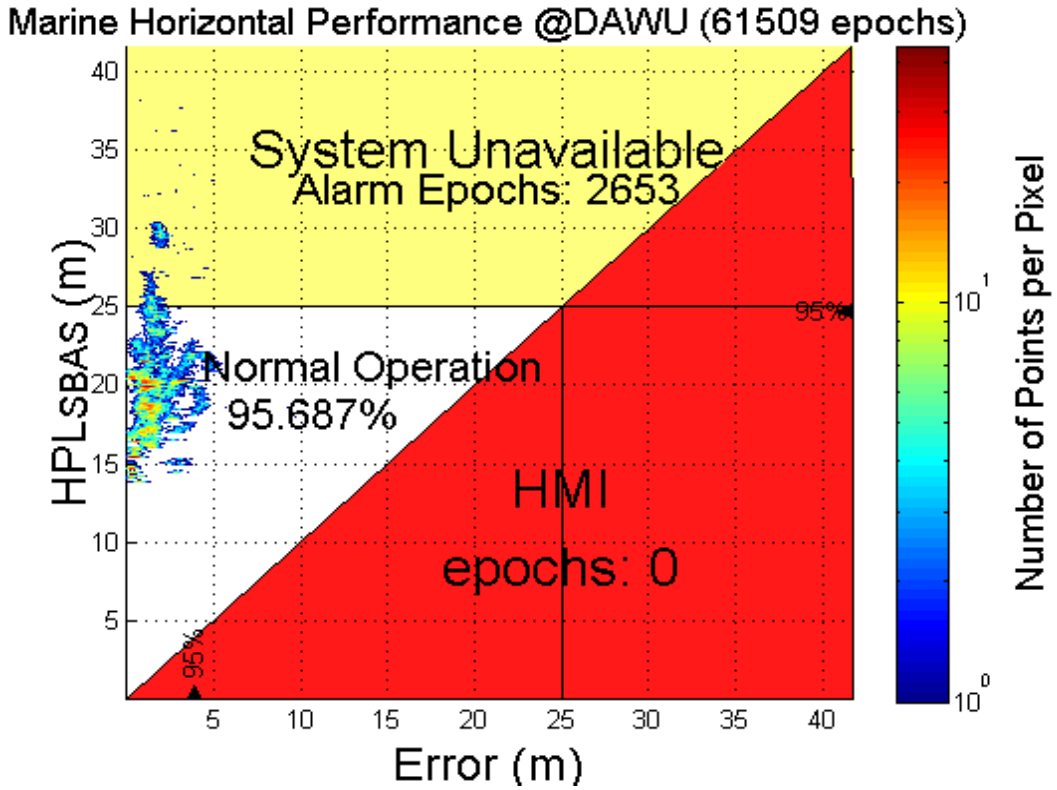


圖 5- 22  $2.75 \sigma$  Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站)

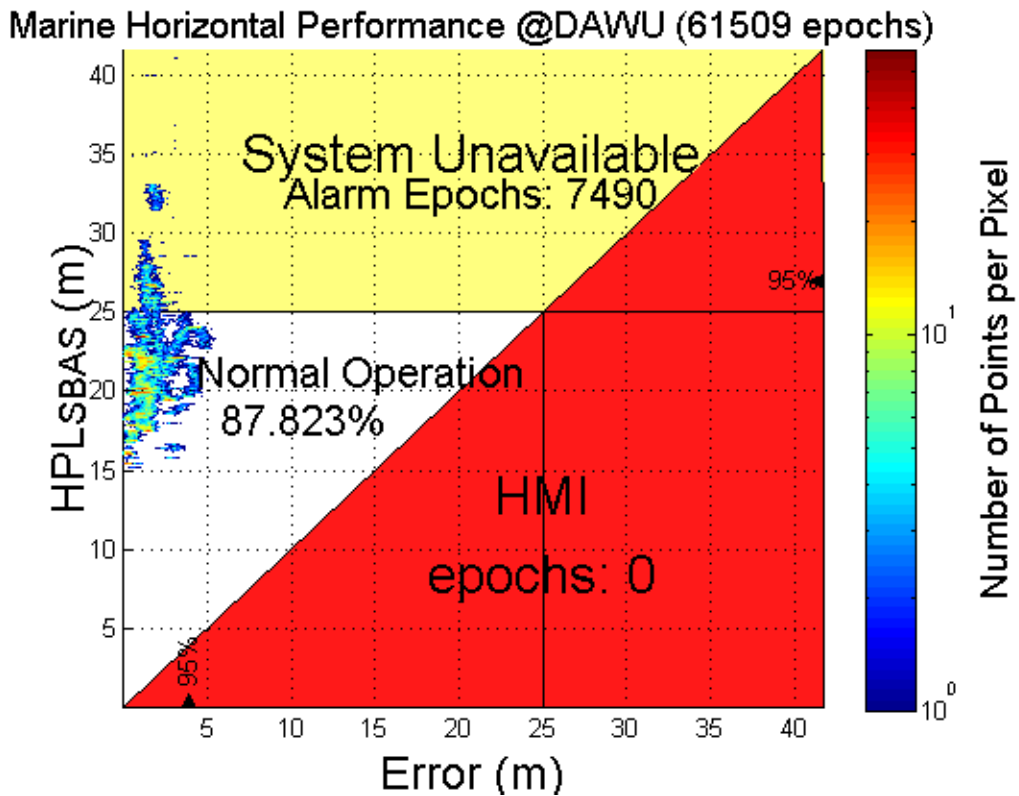


圖 5- 23  $3 \sigma$  Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(大武站)

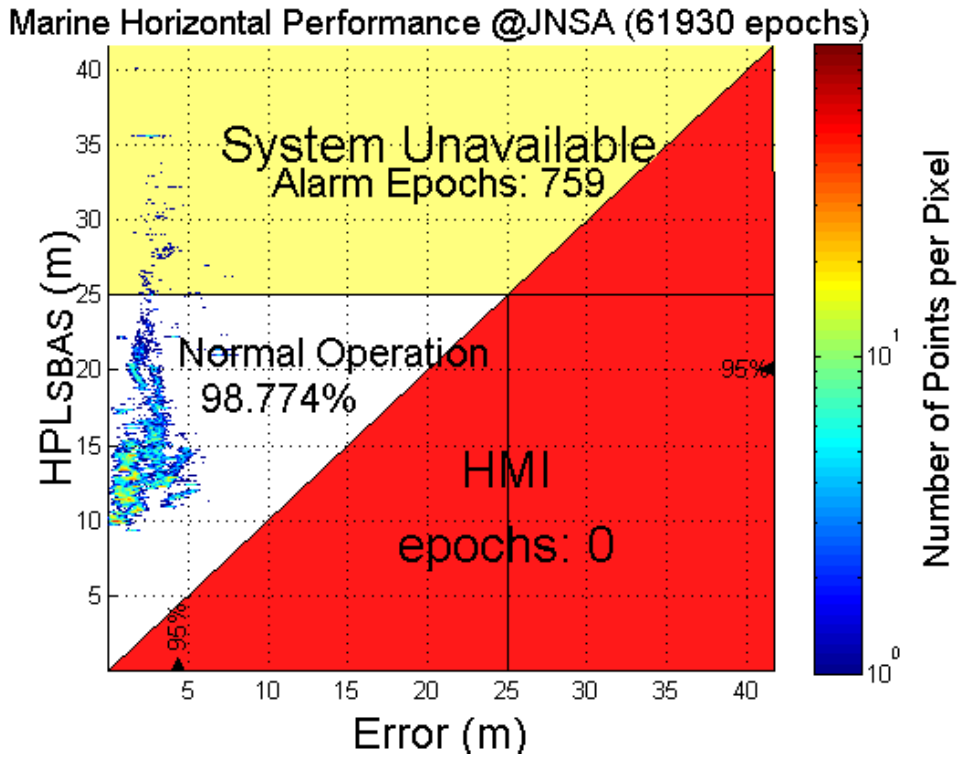


圖 5- 24  $1.75\sigma_{\text{Protection}}$  完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)

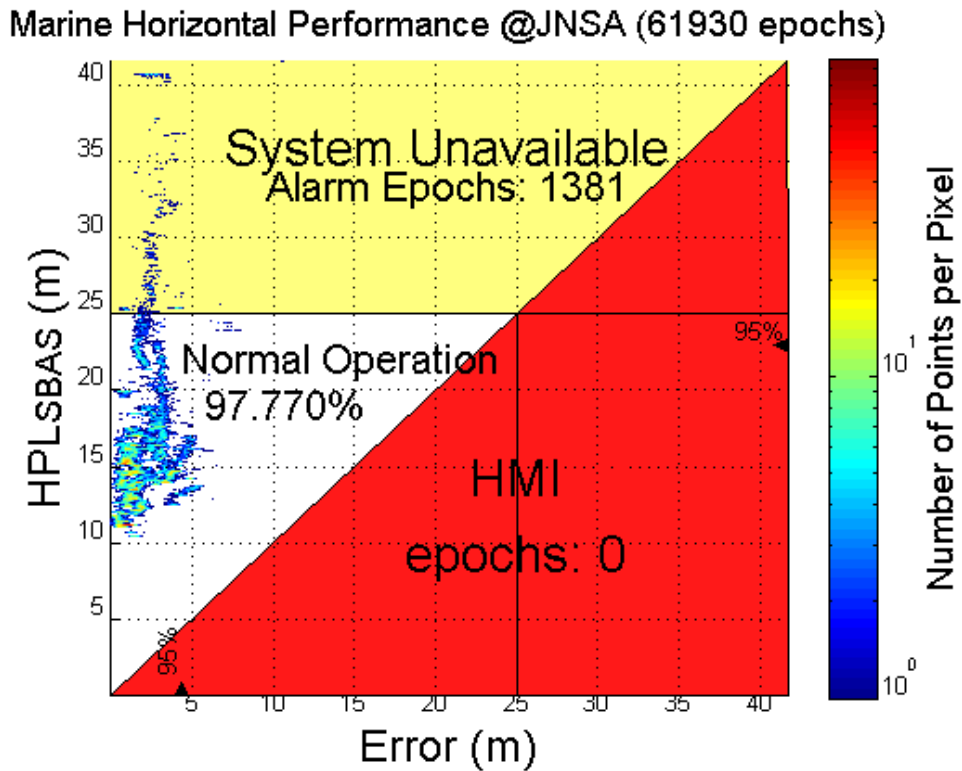


圖 5- 25  $2\sigma_{\text{Protection}}$  完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)

Marine Horizontal Performance @JNSA (61930 epochs)

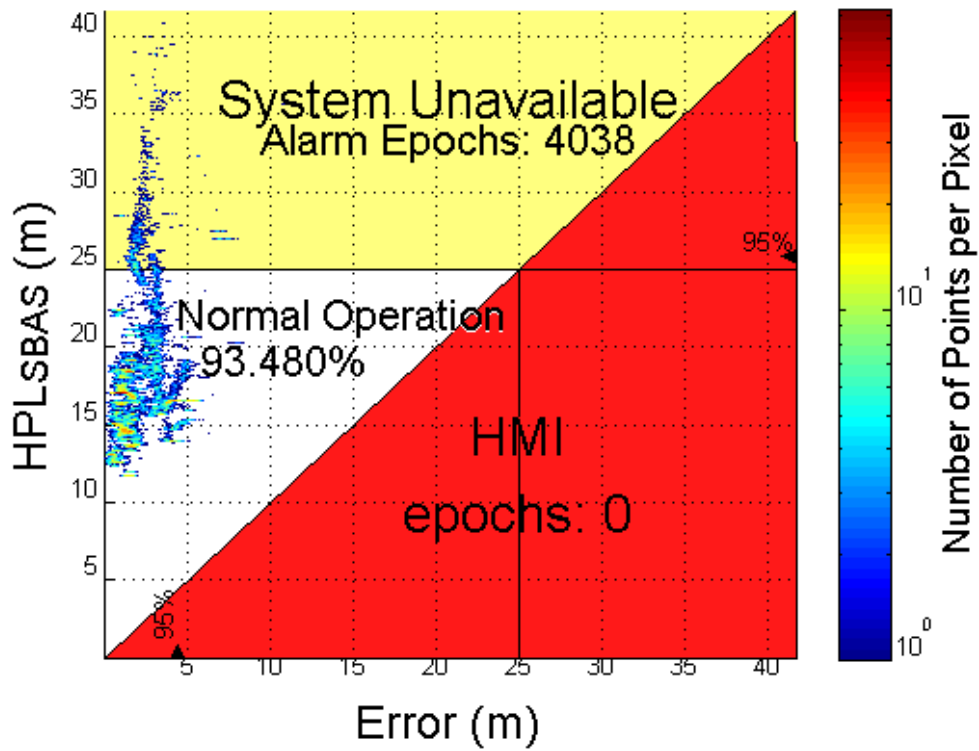


圖 5- 26  $2.25 \sigma$  Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)

Marine Horizontal Performance @JNSA (61930 epochs)

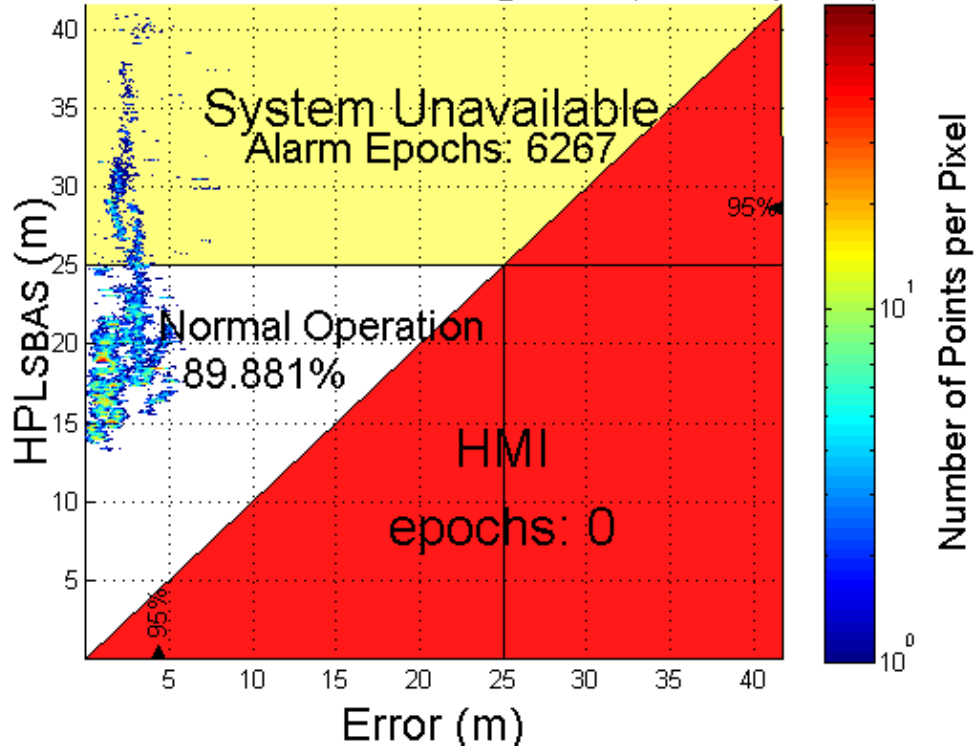


圖 5- 27  $2.5 \sigma$  Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)



Marine Horizontal Performance @JNSA (61930 epochs)

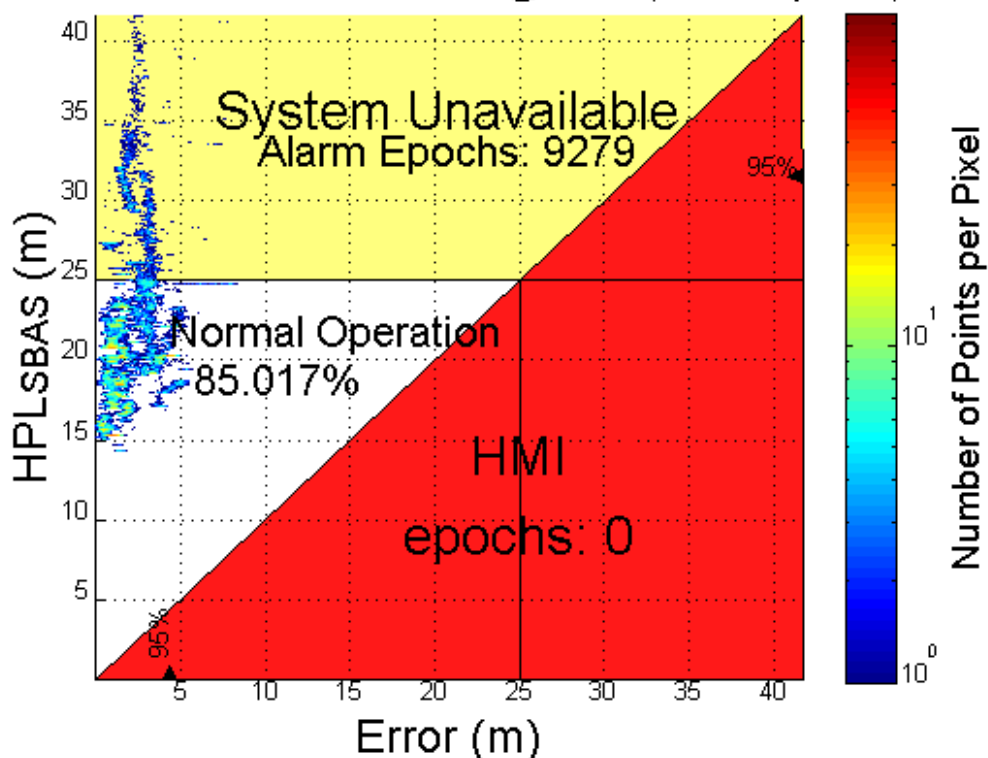


圖 5- 28  $2.75 \sigma$  Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)

Marine Horizontal Performance @JNSA (61930 epochs)

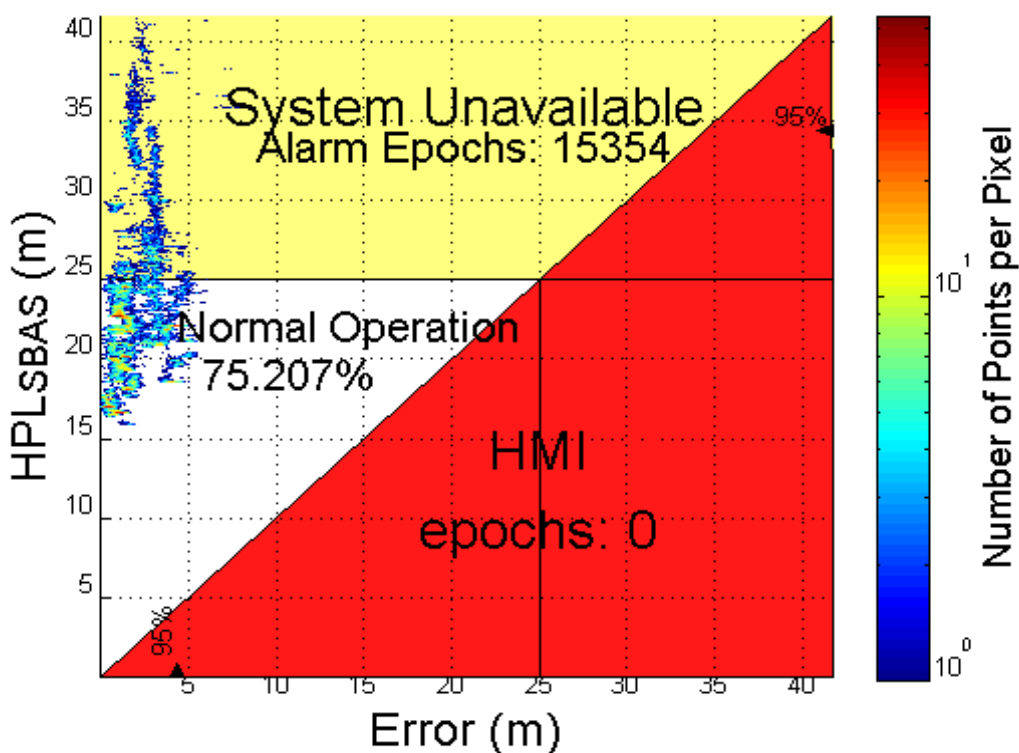


圖 5- 29  $3 \sigma$  Protection 完整性之 Stanford Chart 於海運導航需求(金沙站)

表 5-4 針對不同完整性需求於航海使用者運用廣域差分定位

修正訊息之正常運作比例比較表

金沙站 系統正常使用	大武站 系統正常使用	致命性危險 之錯誤導引	警示限制 (Alert Limit)	完整性 (Integrity)
75.207%	87.823%	0%	25m	$3 \sigma_{\text{Protection}}$
85.017%	95.687%	0%	25m	$2.75 \sigma_{\text{Protection}}$
89.881%	99.030%	0%	25m	$2.5 \sigma_{\text{Protection}}$
93.480%	99.862%	0%	25m	$2.25 \sigma_{\text{Protection}}$
97.770%	99.898%	0%	25m	$2 \sigma_{\text{Protection}}$
98.774%	99.933%	0%	25m	$1.75 \sigma_{\text{Protection}}$

註：表 5-4 之完整性之  $\sigma_{\text{Protection}}$  值與定位誤差的標準差意義不同。此  $\sigma_{\text{Protection}}$  意為在幾個標準差之內的時間點都符合 Stanford Chart 之分析結果，例如： $3 \sigma_{\text{Protection}}$  即為 99.73% 的時間內系統的效能皆符合 Stanford Chart 之分析結果。

## § 5-4 整合測試於整合式平臺

本案主要分為三個部分，廣域差分定位主控站、多頻段差分修正訊號接收模組與整合式定位系統操作平臺。整體架構為由多頻段差分修正訊號接收模組接收國土測繪中心後龍站所發出之 Redio Beacon 修正訊號與廣域差分定位主控站所傳送之 WADNSS 修正訊號，由整合式定位系統操作平臺進行差分定位演算並將結果顯示於整合式平臺之人機介面上。

整合式定位系統操作平臺之 WINCE 作業系統中可顯示藍芽連接狀況，如圖 5-30 所示。人機介面具備 Radio Beacon 索引功能，可顯示目前使用頻率、接收強度及備頻頻率，如圖 5-31 所示。平臺亦具備顯示 FM RDS-TMC 相關資訊，如圖 5-32 所示為顯示主副頻頻率及訊號強度值。NTRIP 網路通訊協定之設定介面如圖 5-33 所示，可設定 NTRIP IP、PORT、使用者帳號與密碼。圖 5-34 為定位資訊之顯示介面，可顯示目前定位解及其相關資訊，並可透過按鍵選擇定位模式。

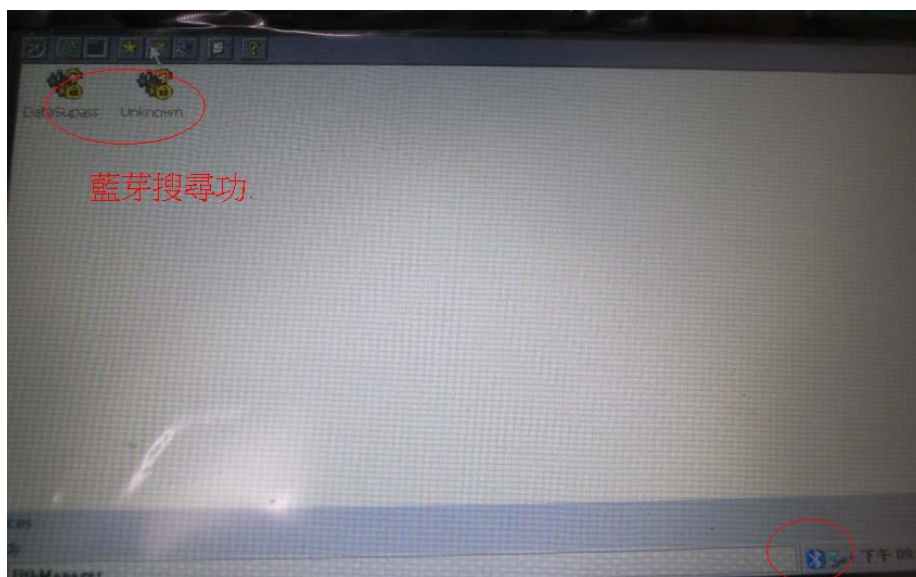


圖 5-30 偵測藍芽連線

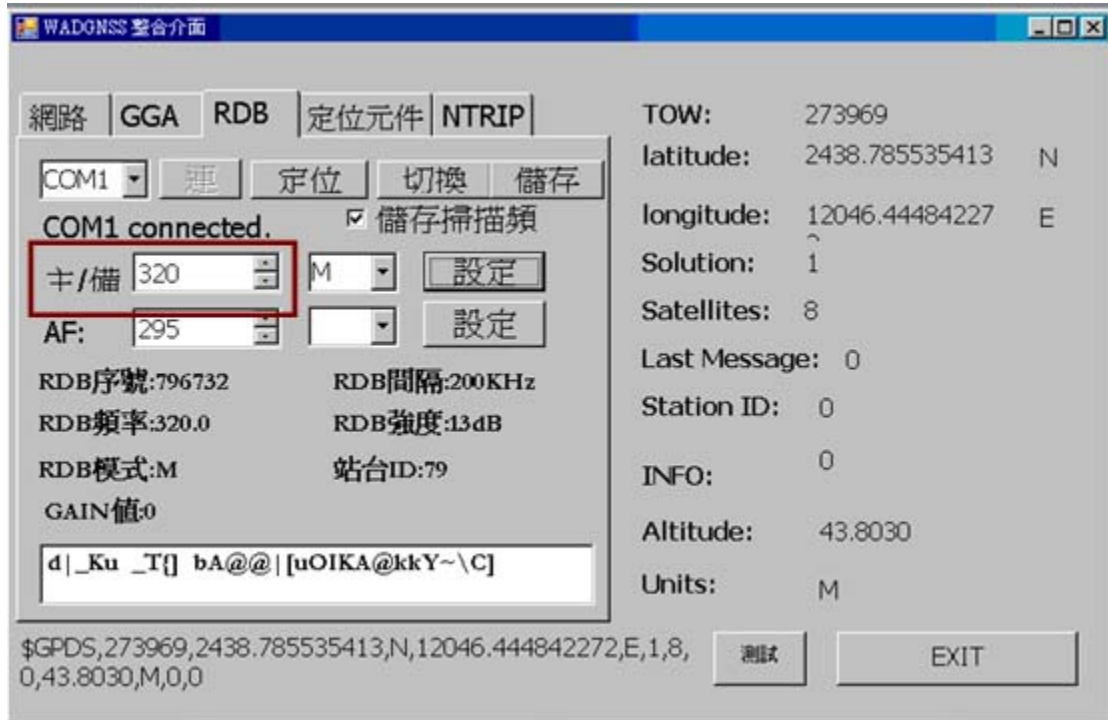


圖 5- 31 Radio Beacon 設定及資訊

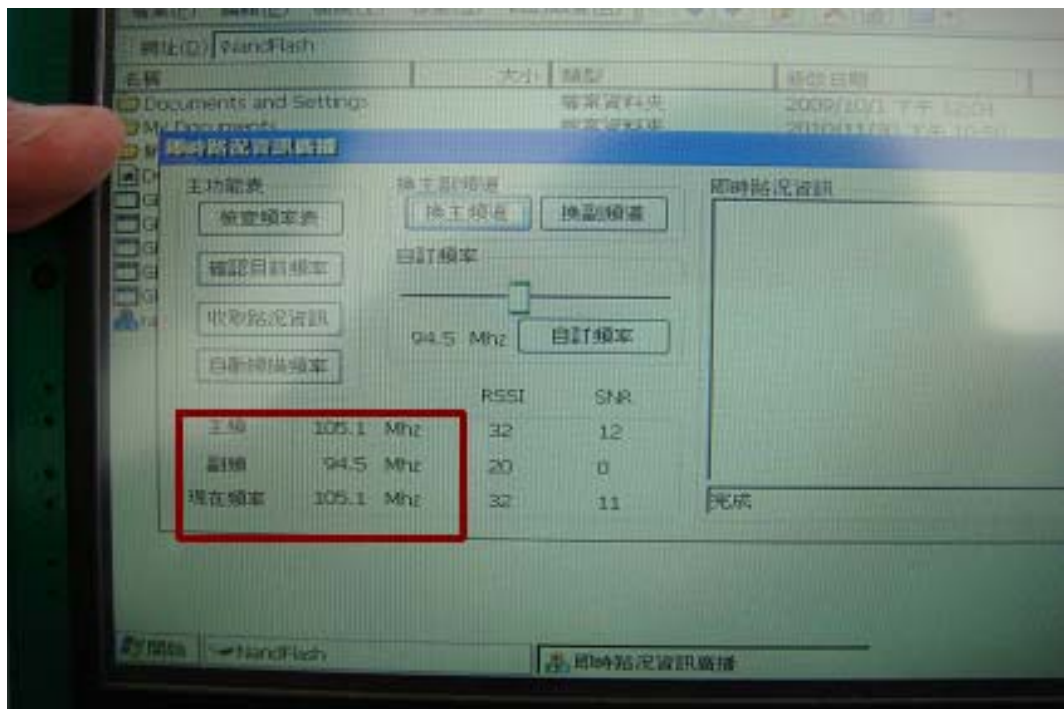


圖 5- 32 FM RDS-TMC 設定及資訊



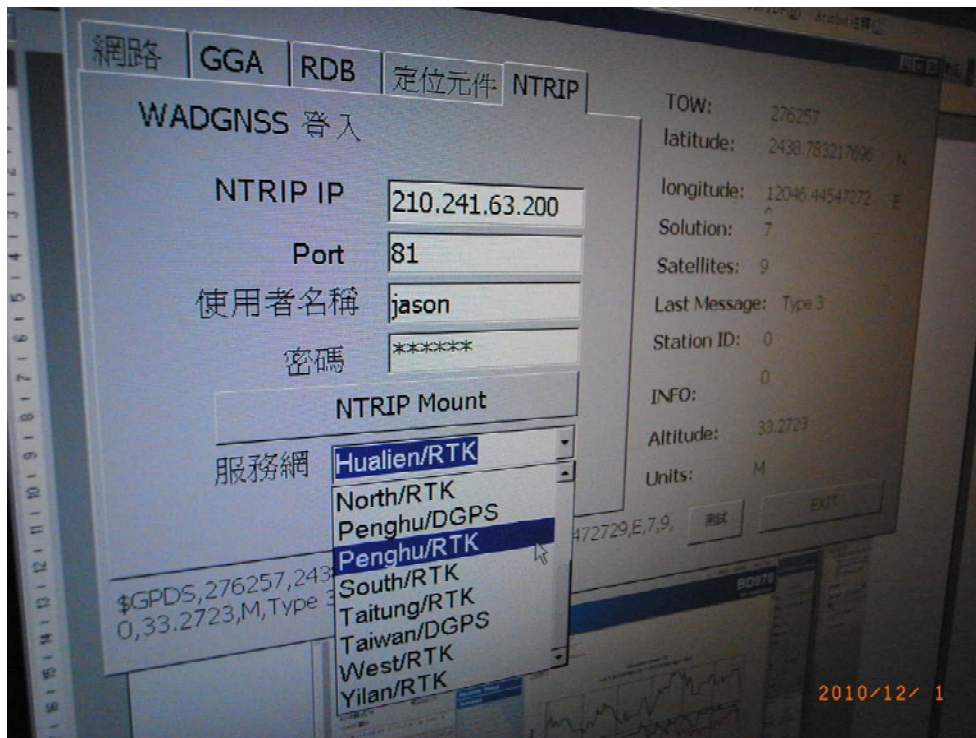


圖 5-33 NTRIP 網路通訊協定之設定介面

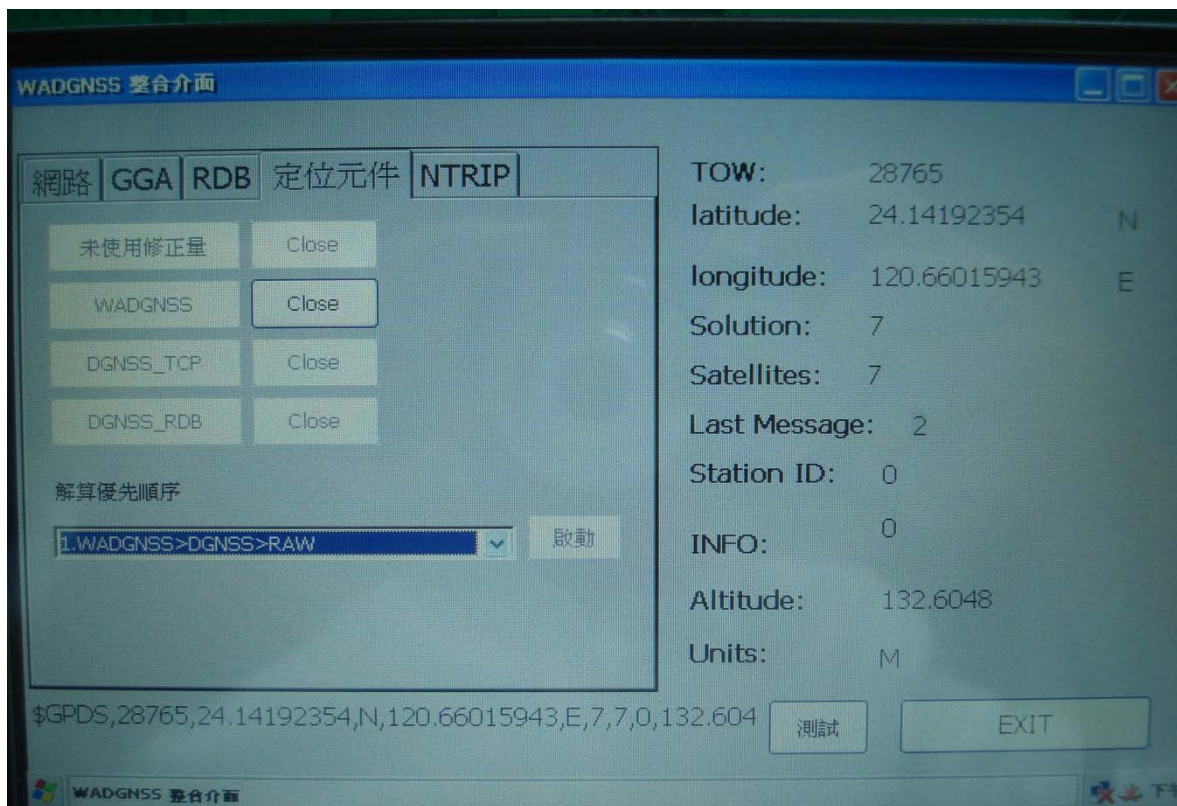


圖 5-34 定位模式選擇與定位資訊顯示介面

## § 5-5 GNSS 衛星接收模組之定位測試成果分析

本節分析GNSS衛星定位接收模組之定位測試成果，定位演算共有三種模式：(1)未使用任何修正訊息、(2)使用WADGNSS廣域差分修正訊息、(3)使用DGNSD差分修正訊息。

首先分析於臺南成功大學之定位結果，測試時間為民國九十九年十一月十九日上午零點至上午五點三十分，共五小時三十分。GNSS衛星定位接收模組天線位置於成功大學電機系系館之已知點，其已知位置為緯度22.9966542度，經度120.22258129度，高度98.367公尺。廣域差分修正量來源為廣域差分主控站所廣播之修正訊息，而差分修正量來源為後龍站所廣播之修正訊息。

圖5-35為三種定位模式之水平定位誤差比較圖，圖中橫軸為時間，縱軸為水平定位誤差。圖中各點為定位點與已知參考位置之水平誤差值，其中紅色點為未使用任何修正訊息之定位誤差，綠色點為使用差分修正訊息之定位誤差，藍色點為使用廣域差分修正訊息之定位誤差。表5-5為對應圖5-35之水平定位誤差均方根(RMS)比較表。

由圖5-35可見，未使用任何修正訊息之定位其定位解散布範圍大且誤差值高，難以提供使用者精確的定位解。接下來比較使用廣域差分修正訊息與使用差分修正訊息之水平定位誤差，在多數時間內，差分定位其水平誤差較廣域差分定位小，表示相較於廣域差分定位，差分定位能提供使用者精確度較佳之定位解。但在某些時候，如約3000秒至4000秒間，差分定位誤差反而較廣域差分定位誤差大，且廣域差分定位在同樣時段仍能提供相對穩定的定位解。故整體而言，雖廣域差分定位精確度(accuracy)略不及差分定位，但較為穩定且能提供完整性訊息以保護使用者，能避免使用者得到超過可容忍範圍外的定位解。

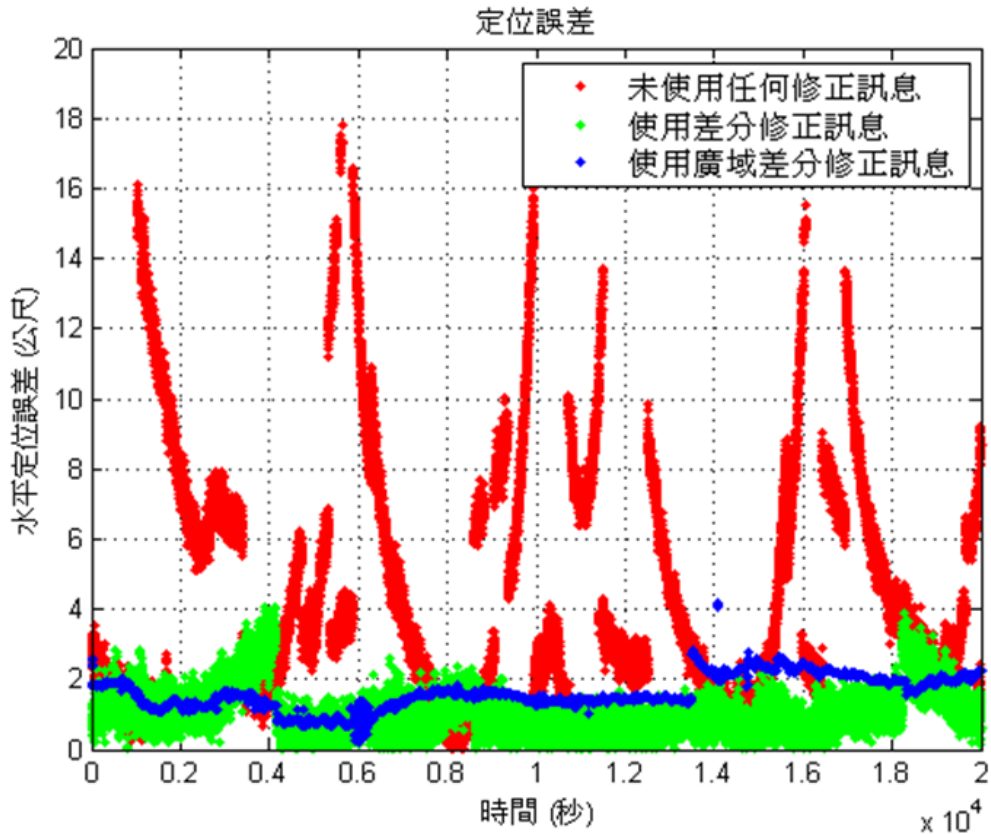


圖 5-35 水平定位誤差比較圖

表 5-5 三種定位模式之水平定位誤差比較表

	未使用 任何修正訊息	使用 廣域差分修正訊息	使用 差分修正訊息
RMS( $\pm$ m)	5.806	1.684	1.232

圖 5-36 為三種定位模式之水平定位範圍精度(precision)比較圖，圖中橫軸為東西方向，縱軸為南北方向。紅色點為未使用任何修正訊息之定位點，綠色點為使用差分修正訊息之定位點，藍色點為使用廣域差分修正訊息之定位點。並各以實線圓表示三種模式之 95% 定位範圍，其中圓半徑代表 95% 定位點所在的範圍，各定位模式其 95% 水平定位範圍值如表 5-6 所示。

由圖 5-36 可見，未使用任何修正訊息時，定位點散布範圍廣，難以提供使用者穩定之定位結果。圖 5-37 為廣域差分與差分定位 95% 定位範圍之比較，由該圖與表 5-6 可見，使用廣域差分修正訊息其定位結果較使用差分

修正訊息來的集中，這代表使用廣域差分修正訊息定位時，廣域差分定位系統能提供較差分定位穩定之定位解，反觀當使用差分修正訊息時，有部分定位點散布範圍過大，此時便是可能會造成使用者危險的時刻。

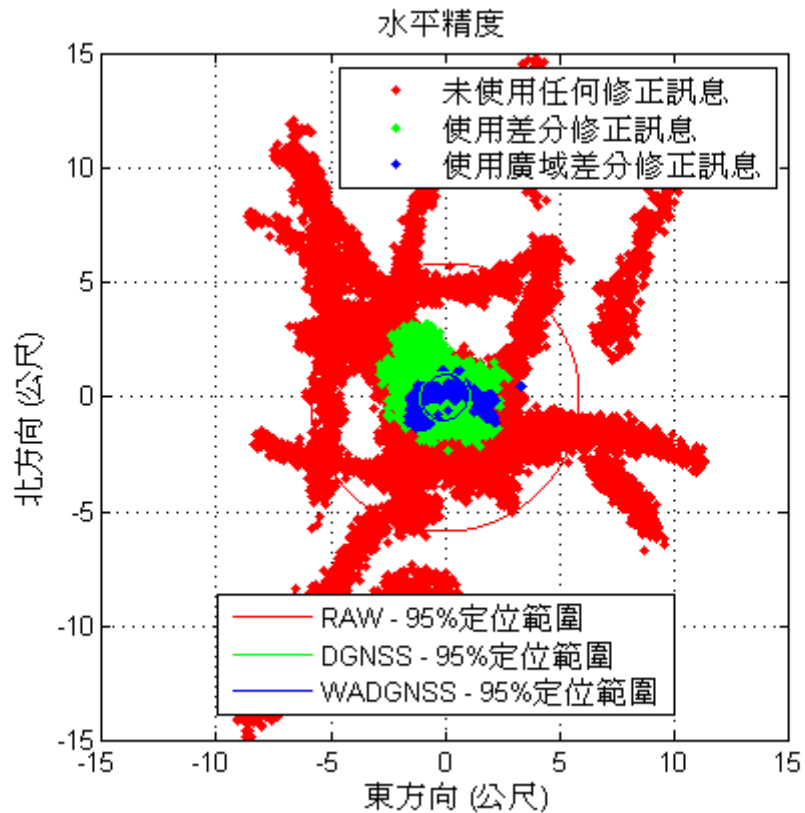


圖 5-36 三種定位模式水平精度(precision)比較圖



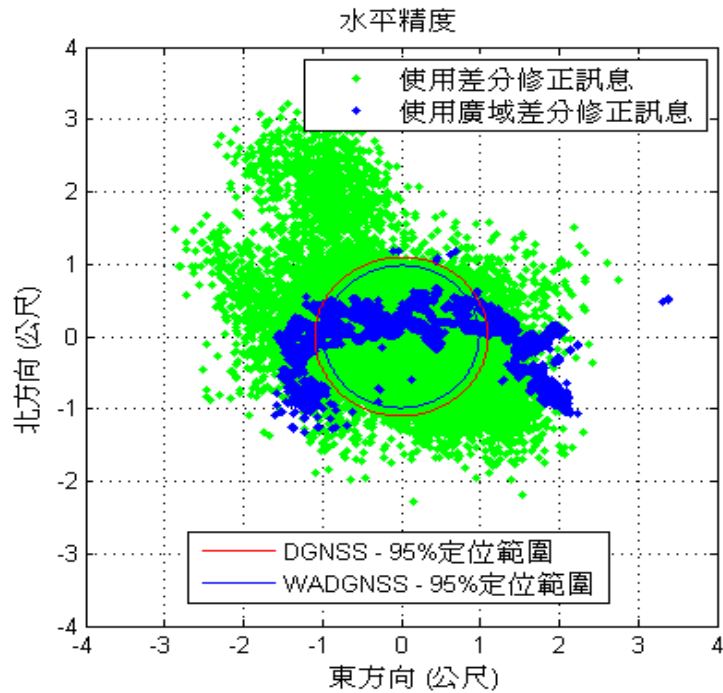


圖 5-37 廣域差分與差分定位水平精度(precision)比較圖

表 5-6 三種定位模式 95%水平定位範圍比較表

	未使用 任何修正訊息	使用 廣域差分修正訊息	使用 差分修正訊息
95%水平定位 範圍(±m)	5.875	0.983	1.096

經過透空度良好環境下的已知點測試與驗證之後，本定位系統在使用修正訊息後確實能提高單點定位精度與降低定位誤差。接著我們將本系統站移至北臺灣進行戶外測試。

戶外測試時之硬體架構為使用 GNSS 衛星定位接收模組接收 GPS 訊號，並以多頻段差分修正訊號接收模組接收修正訊息。其中透過無線通訊收發模組接收廣域差分主控站所廣播之廣域差分修正訊息；透過低頻 Radio Beacon 接收模組接收 Radio Beacon 站所廣播之差分修正訊息。修正訊息由整合式平臺之定位元件解碼與處理，並將修正訊息加入至定位演算。定位解算之結果則由整合式平臺之介面程式顯示目前定位坐標與相關資訊。

本次戶外測試參與人員為莊智清教授、洪焜生、孫仲元與胡丞銘等四名。

其測試路線從臺中市出發沿海線經休息站後至國土測繪中心後龍 Beacon 站。測試第一站為清水休息站，於中午 12 點 25 分開始架設多頻段差分修正訊號接收模組，如圖 5-38 所示為測試多頻段差分修正訊號接收模組接收 Beacon 差分修正訊號。由圖 5-39 所示綠色 LED 燈亮表示成功接收到 Beacon 差分修正訊號，如圖 5-40 所示可看到多頻段差分修正訊號接收模組透過 RS232 將訊號傳遞至使用者整合式操作平臺，而 Trimble BD970 之接收天線如圖 5-41 所示。



圖 5-38 多頻段差分修正  
訊號接收模組

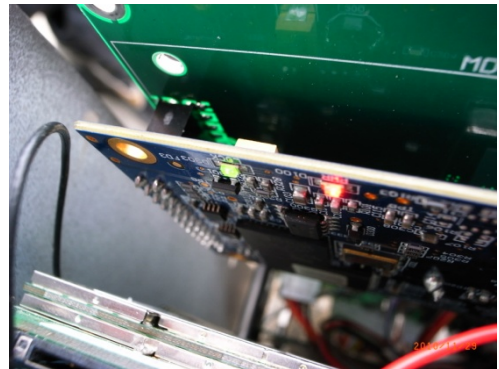


圖 5-39 Beacon 訊號接收  
指示燈



圖 5-40 多頻段差分修正訊號接收模組訊號輸出表示圖



圖 5-41 Trimble DB970 之接收天線

經測試後於清水休息站可接收 Beacon 差分修正訊號，但由於訊號為間歇性之間段訊號，無法接收完整 RTCM 封包，故更換測試場地至西湖休息站。第二個測試地點為西湖休息站，也因訊號接收斷斷續續，無法接收完整封包，經由討論之後直接前往後龍 Beacon 訊號發射站測試。

在有前兩次測試經驗之後，本測試小組在後龍 Beacon 開始架設儀器與測試。如圖 5-42 所示為測試多頻段差分修正訊號接收模組接收訊號情形，由於較接近訊號發射地點，可接收完整之修正訊號封包。



圖 5-42 多頻段差分修正訊號接收模組接收訊號測試



本測試以現場之 VBS-RTK 定位所得之位置解當作參考坐標，並將整合式平臺定位元件所求出之定位解與之比較。如圖 5-43 所示為量測點之位置，左邊天線為測量參考點之訊號接收天線，右邊為整合式操作平臺定位元件之衛星接收天線。由 VBS-RTK 服務求出之坐標為緯度為 24 度 38.7991432 分，經度為 120 度 46.439557 分。



圖 5-43 量測點之位置



經由多頻段差分修正訊號接收模組之 Beacon 模組接收差分修正訊號，透過 RS-232 傳至後方整合式平臺之定位元件算出差分定位解。如圖 5-46 所示，接收衛星為八顆衛星，其定位坐標為緯度 24 度 38.799775604 分，經度為 120 度 46.439914466 分。

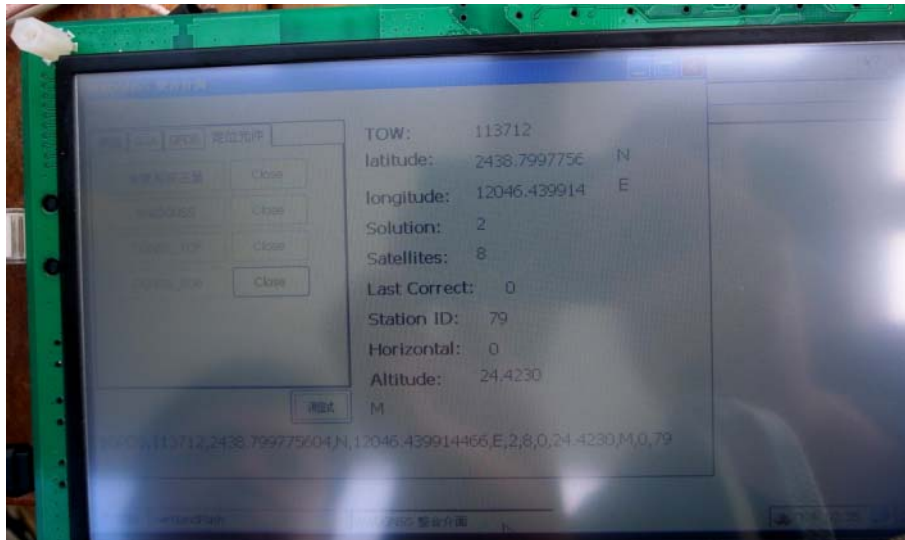


圖 5-46 加入差分修正訊息之定位結果(Beacon 模組端)

加入廣域差分修正訊息之定位解算也隨即測試成功，如圖 5-47 所示為透過多頻段差分修正訊號接收模組之無線通訊模組接收廣域差分主控站所傳送之廣域差分修正訊息，並成功定位顯示於整合式平臺介面軟體上。其衛星接收顆數四顆，定位之緯度為 24 度 38.801313901 分，經度為 120 度 46.440908329 分。本次戶外測試於四項主要測試項目皆測試成功，定位結果均於整合式平臺之整合式介面上顯示。

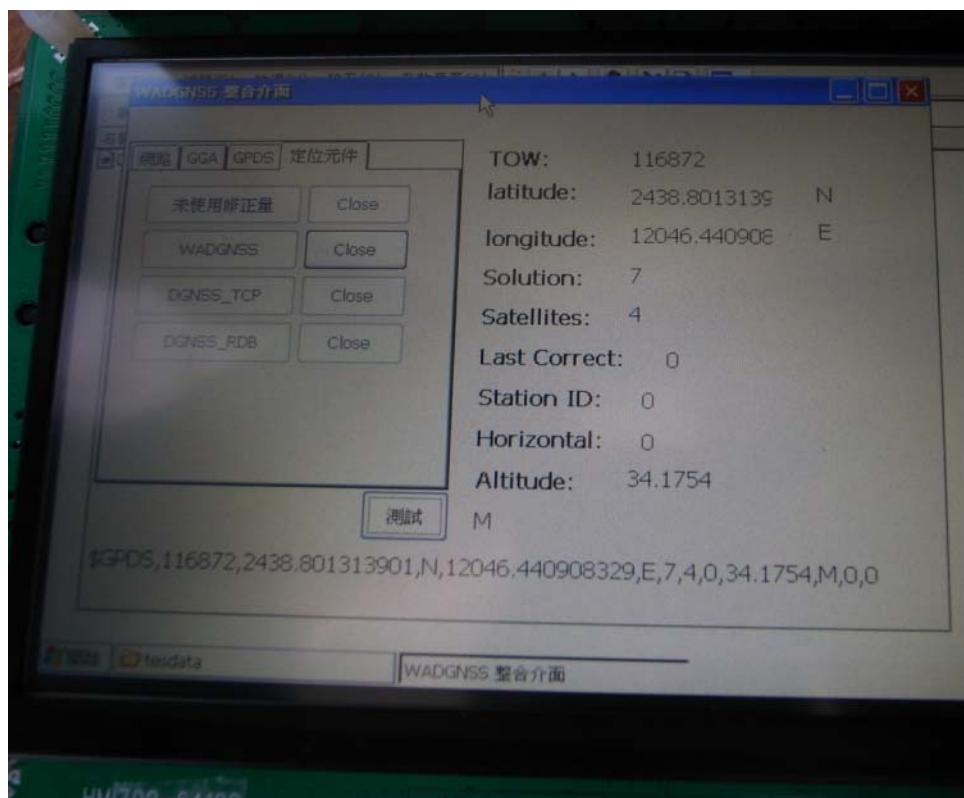


圖 5-47 加入廣域差分修正訊息之定位結果

另外一次會同國土測繪中心人員進行之戶外測試地點亦位於苗栗後龍，同樣以 VBS-RTK 服務所得之坐標當作參考點，其坐標為北緯 24 度 38.781521563 分，東經 120 度 46.440556032 分。如圖 5-48 所示，Solution：1 表示未加入修正量之定位解算，經計算後於整合式平臺顯示之定位坐標為緯度 24 度 38.782238984 分，經度 120 度 46.439949595 分，衛星接收顆數為八顆。如圖 5-49 所示為 Solution：7，為加入廣域差分修正量之定位解算，整合式平臺介面顯示其定位坐標為緯度 24 度 38.783000203 分，經度 120 度 46.439189724 分。圖 5-50 所示 Solution：2，為經由網路端加入差分修正訊息之定位解算，接收衛星接收顆數為八顆，定位坐標為緯度 24 度 38.781441316 分，經度 120 度 46.440511388 分。圖 5-51 所示 Solution：2，為經由 Beacon 端加入差分修正訊息之定位解算，接收衛星接收顆數為八顆，定位坐標為緯度 24 度 38.781359301 分，經度 120 度 46.440474103 分。



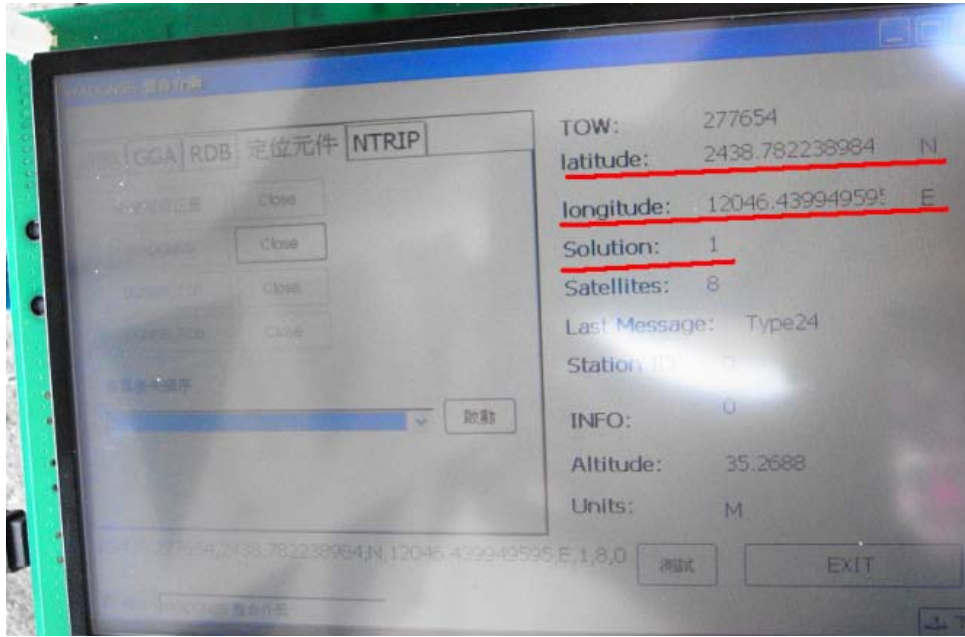


圖 5-48 整合式平臺顯示未加入修正之定位結果

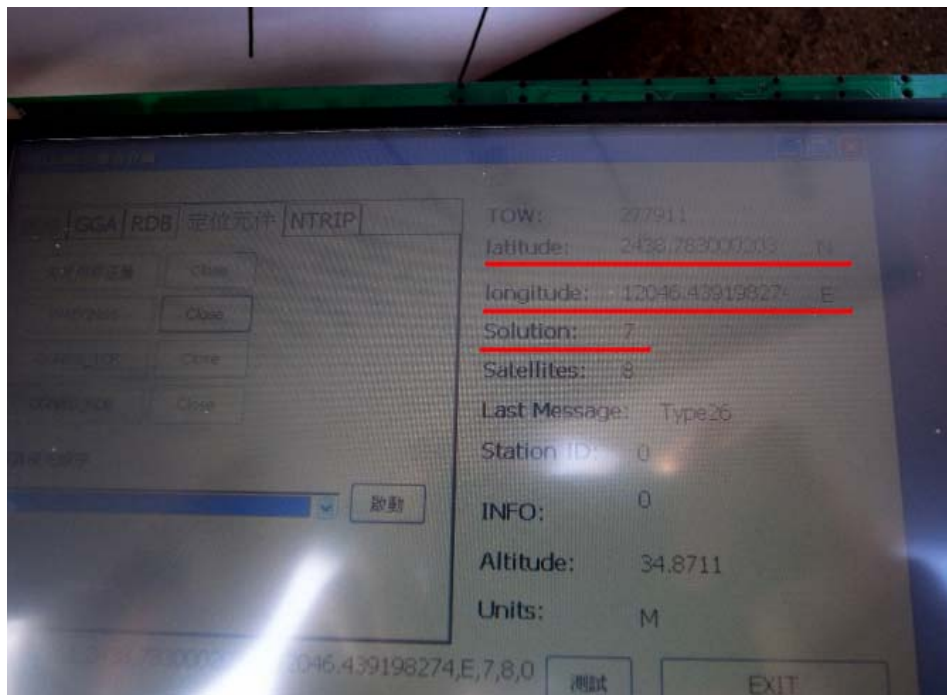


圖 5-49 整合式平臺顯示加入廣域差分修正之定位結果



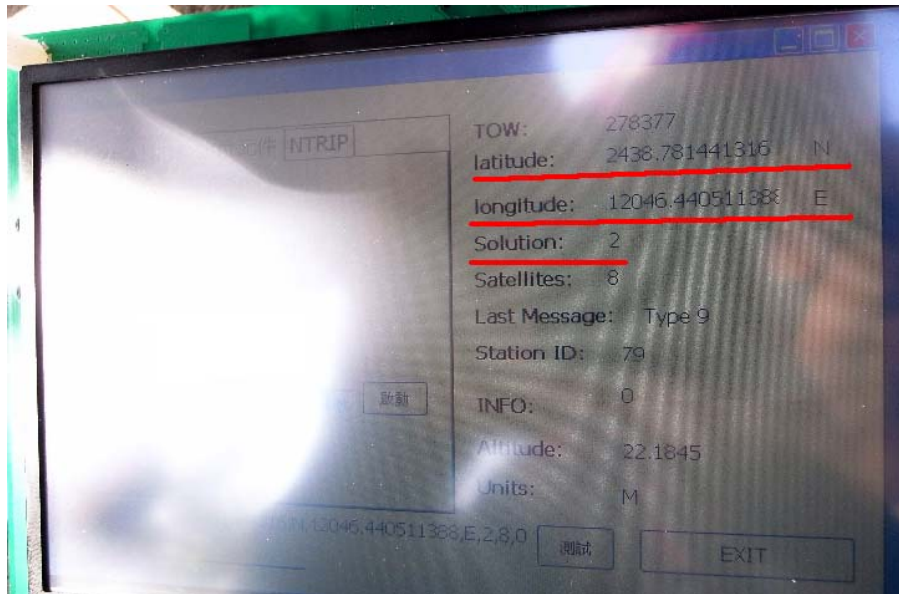


圖 5- 50 整合式平臺顯示加入差分修正之定位結果(網路端)

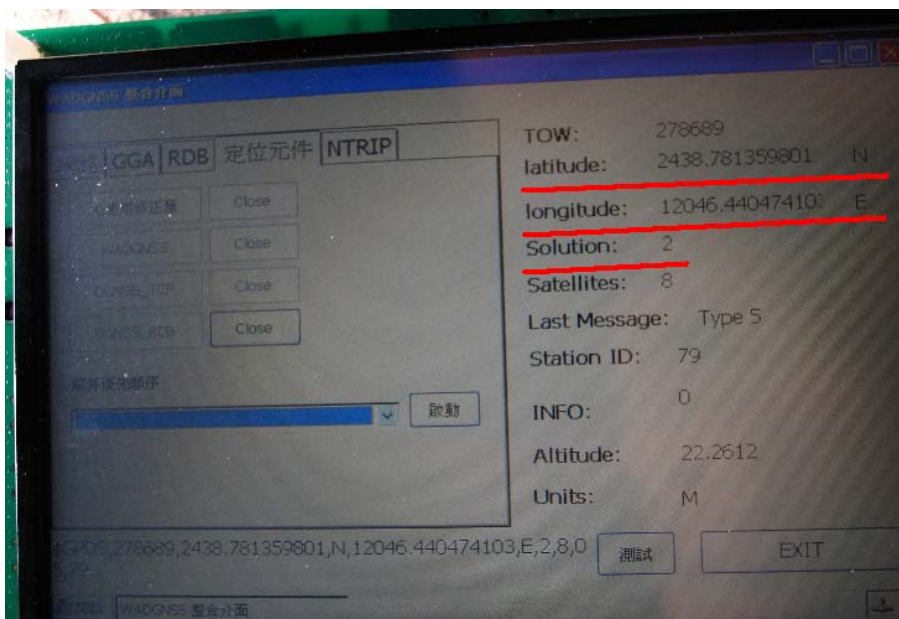


圖 5- 51 整合式平臺顯示加入差分修正之定位結果(Beacon 端)

圖 5-52 為本次測試三種定位模式之水平定位誤差比較值，橫軸與縱軸分別代表為時間與水平定位誤差。其紅色點為未使用修正訊息之定位誤差，綠色點為使用差分修正訊息之定位誤差，藍色點則為使用廣域差分修正訊號之定位誤差。表 5-7 為對應圖 5-52 之水平定位誤差均方根(RMS)比較表。圖 5-53 為三種定位模式之水平定位範圍精度(precision)比較圖，圖 5-54 為

廣域差分與差分定位之水平定位精度(precision)比較圖。紅色點為未使用任何修正訊息之定位點，綠色點為使用差分修正訊息之定位點，藍色點為使用廣域差分修正訊息之定位點。並各以實線圓表示三種模式之 95%定位範圍，其中圓半徑代表 95%定位點所在的範圍，各定位模式之 95%定位範圍值如表 5-8 所示。

綜合圖5-52至圖5-54與表5-7與表5-8，此次定位結果類似於其他不同環境之定位結果，廣域差分定位雖水平定位誤差較差分定位大，但其精度較差分定位高，故仍能提供較穩定之定位解。

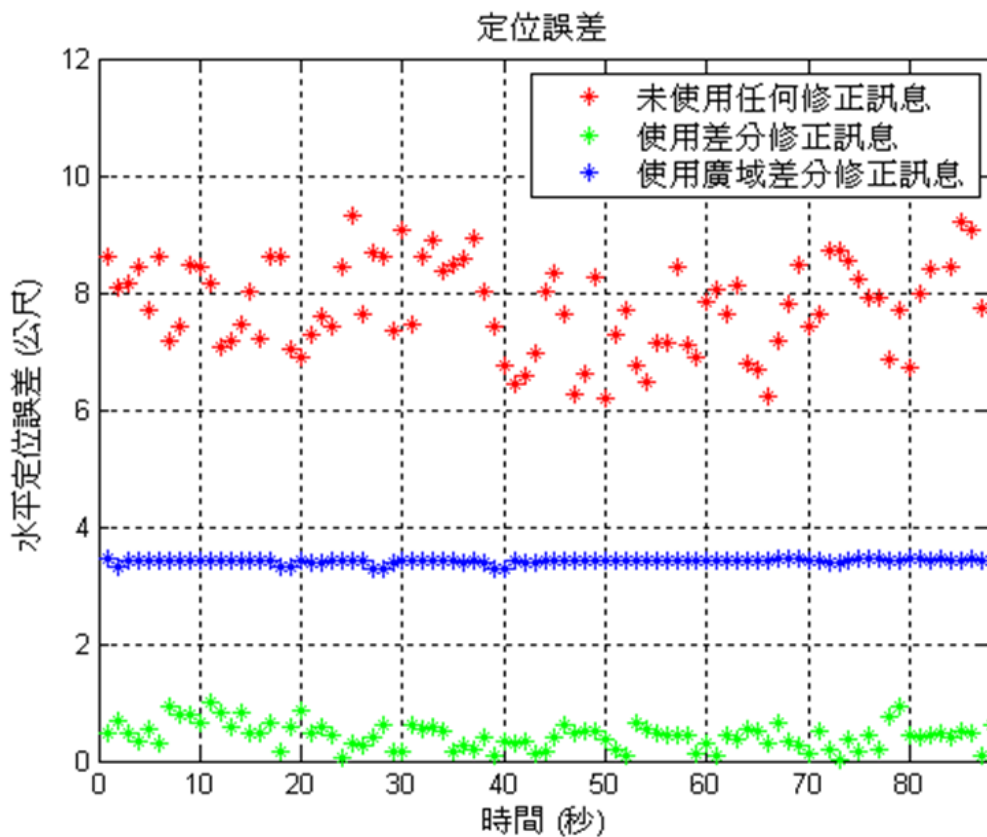


圖 5-52 水平定位誤差比較圖(後龍站)

表 5-7 三種定位模式之水平定位誤差比較表(後龍站)

	未使用 任何修正訊息	使用 廣域差分修正訊息	使用 差分修正訊息
RMS(±m)	7.834	3.412	0.486

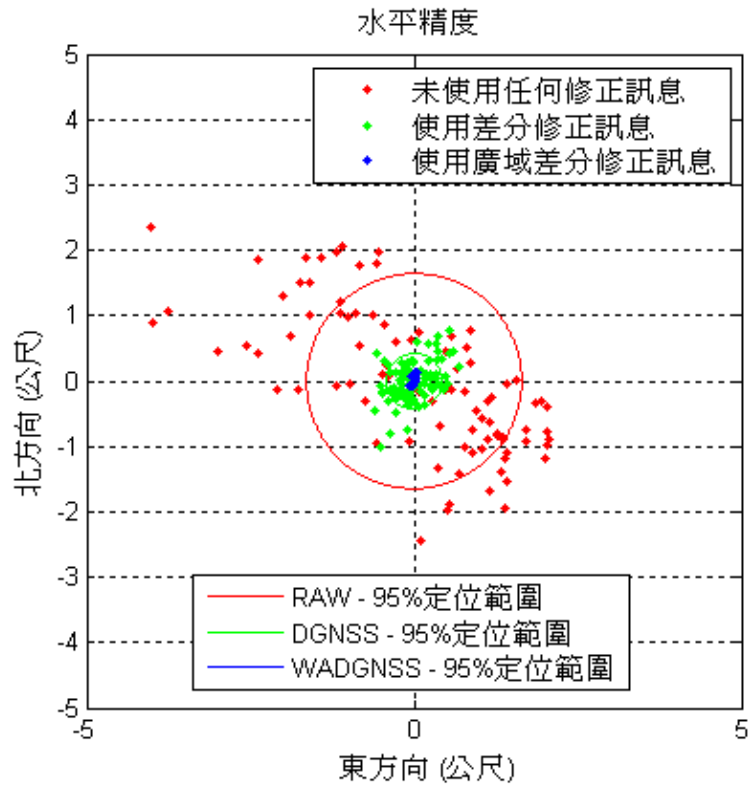


圖 5- 53 三種定位模式水平定位精度(precision)比較圖(後龍站)

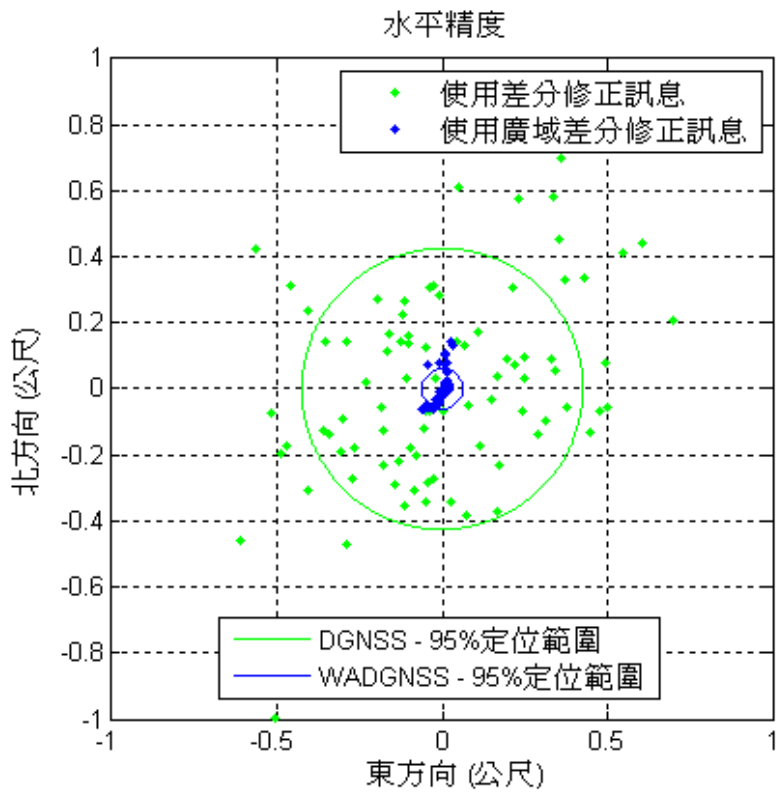


圖 5- 54 廣域差分與差分定位水平定位精度(precision)比較圖 (後龍站)

表 5-8 三種定位模式 95%水平定位範圍比較表(後龍站)

	未使用 任何修正訊息	使用 廣域差分修正訊息	使用 差分修正訊息
95%水平定位 範圍( $\pm$ m)	1.644	0.061	0.425

綜合於不同環境地點之測試結果分析，使用者於使用衛星導航定位時，若能使用廣域差分修正訊息或差分修正訊息輔助定位，皆能讓定位誤差降低，得到較準確的定位解。而使用廣域差分定位與差分定位之比較上，廣域差分定位系統能提供較差分定位較為穩定之定位解，且較不受到與參考站之間距離遠近之限制。反觀當使用差分修正訊息時，雖於苗栗後龍測試點其水平定位誤差小於廣域差分，但若測試地點遠離苗栗後龍 Beacon 站，則可能會有部分定位點散布範圍過大，此時便是可能會造成使用者危險的時刻，而使用差分定位之使用者卻無法得知此種情況發生而無法受到差分定位系統保護，故差分定位其完整性是無法被保證的。但若使用廣域差分修正訊息輔助定位，其定位精確度雖略不如差分定位，但是可保障大部分定位解都能在容許定位誤差內，而在容許定位誤差範圍外的定位解，廣域差分系統會告知使用者此定位解不在容許定位誤差範圍內，讓使用者得知此時的定位解是不能使用的，以達到保護使用者之目的。

## 第六章 成本與市場分析

### § 6-1 傳統定位系統與廣域差分定位系統之比較

#### § 6-1-1 應用傳統定位系統之缺點

隨著 GPS 於 1990 年代起之完全運作，其全球、全天候 24 小時工作，定位精度高，應用廣泛效能強大之特性廣為大眾所熟悉的同時，卻也存在了許多待解決的問題。在許多應用上，需要更精準的定位結果，和更安全的保護資訊，並能使生命安全獲得足夠的保障，例如飛機精確進場需求；船隻進出港口、自動停泊等，單單使用 GPS 是完全沒有辦法完成要求之標準，因 GPS 衛星的訊號是來自於外太空，訊號在傳送之途中會被許多誤差源所影響，導致定位量測值的誤差。如同前段所述，此量測值之誤差將造成使用者定位結果上之誤差，其主要誤差源如圖 6-1 所示：衛星時錶誤差、衛星星曆誤差、電離層誤差、對流層誤差、多路徑效應和接收機內部誤差，而電離層是目前造成定位誤差最大的來源。

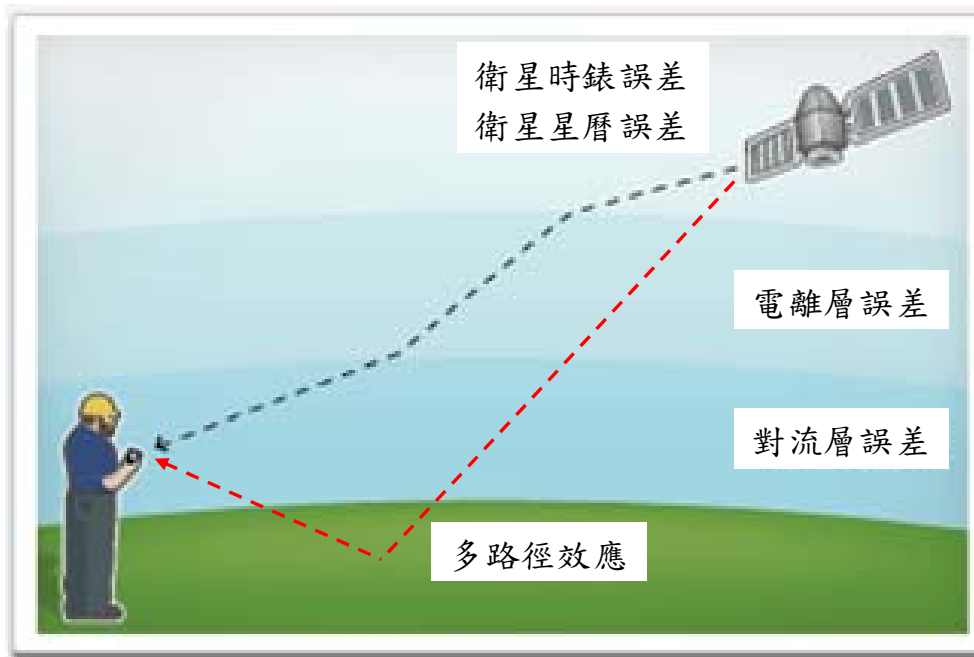


圖 6-1 衛星訊號之誤差來源

電離層是地球大氣層中的一個電離區域，距地表大約 70 至 500 公里，存在大量的離子和自由電子，並且能夠反射電磁波。日食發生時，或是未來幾年內將出現的太陽風暴，電離層會受到影響，發生異常變化。面對未來可能面臨的電離層風暴，若只使用傳統之 GPS，其定位誤差將足以產生嚴重威脅使用者生命安全的結果，此結果將一直影響使用 GPS 定位之使用者，直到電離層風暴結束為止，如 2007 年觀測到的電離層風暴，持續了數個小時，並使定位誤差驟增至 75 公尺左右，嚴重影響了 GPS 的定位性能。

市售一般 GPS 在不受電離層風暴影響下就造成許多遺憾，如近來之報導：在紐約州境內有一 25 歲婦人欲穿過安省東部的慕瑞沼澤(Murray Marsh)自然生態保護區時，因為迷失方向，只有依賴 GPS 指路，而婦人依照 GPS 指示路線行進，卻做了數個錯誤的轉彎。其他如因 GPS 導航而受困或迷路的情況更是不勝枚舉，這樣子的結果更凸顯單獨使用 GPS 定位導航在某些特定情形下並不能滿足一般社會大眾使用之標準。故如果可以提供一套具有全球導航衛星系統之增強輔助系統來產生具有安全性資訊之修正資訊，如此一來，便可使一般使用者運用 GPS 單頻接收機進行定位導航服務時，更加精確且能保證其安全性。

為了解決單獨使用 GPS 碰到上述這些問題，已經有許多的系統及技術來輔助 GPS，本案所發展之 WADGNSS 系統即是其中一種。廣域差分技術能有效排除影響衛星定位的誤差源，把定位誤差大幅縮小，主要原理是透過收集分布在全臺衛星觀測站的衛星觀測量及改正值傳送到主站，透過軟體演算法分析 GPS 訊號之誤差，其中主要有雙頻載波平滑演算法、衛星共視時間傳遞修正、星曆軌道誤差之估算、衛星時鐘誤差之估算、離群值的偵測與隔離、電離層格點誤差演算法等技術，求得各誤差源之向量誤差修正值及誤差的信心範圍。再利用網路將修正值傳送至使用者的導航裝置經過演算來消除誤差，進而提升定位精準度，以及提供完整性的資料。因此，全臺各地，不論是城市或山上，包括臺灣附近海域的廣域差分的使用者，都享受到精準定位服務，並且有別於傳統只使用 GPS 做定位之使用者，在增進精確度的同時，也提供了完整性的訊息，使這套系統未來可以應用在更廣的層面。

## § 6-1-2 應用廣域差分定位系統之優點

在臺灣建置一個廣域差分定位系統，其優點為：

- (1) 可使用現今內政部國土測繪中心已建置好之e-GPS即時動態定位系統當成參考站，故不需再另外架設額外的天線和雙頻GNSS接收器，大大的減少了參考站端硬體設備的成本與建構時間。
- (2) 廣域差分定位系統只需使用少數個參考站，運用此些參考站所建置出之修正訊息之，服務範圍便可遍及全臺，不論海域亦或者是陸運使用者皆可受惠其中，使籠罩在此廣域差分定位系統下之使用者皆可以獲得精準且安全之定位資訊。
- (3) 不需要透過昂貴與建置困難的同步衛星來發送廣域差分修正資訊訊號，只需使用現有之網路或廣播即可。以美國為例，由美國所發展的廣域增強系統，在產生修正訊息後，須將修正訊息傳送給同步衛星，再由同步衛星將修正資訊傳送給使用者；考量現今臺灣沒有廣域差分定位系統專用之同步衛星，故使用網路傳輸之方式，除可降低其成本，還可使維護成本大幅降低。

由表6-1可清楚看出廣域差分定位系統與傳統定位系統之優點：



表 6-1 廣域差分定位系統與傳統定位之比較

比較項目	傳統定位	廣域差分定位
使用者定位精準度	定位精確度較低	定位精確度較高
電離層及其它誤差干擾	受電離層、對流層及不健康之衛星等影響甚鉅	將電離層風暴及對流層等誤差影響減至最低，並檢測衛星健康狀況，排除不健康之衛星
提供使用者完整性之資訊	完全沒有	有提供完整性資訊以保障使用者生命安全
需負擔之額外成本	無	因使用內政部國土測繪中心已建置好之e-GPS硬體設施，故不需負擔額外之成本。
總結	已無法滿足現今愈來愈嚴苛之要求	能有效提升衛星定位性能且符合經濟效益

如進一步將廣域差分定位系統擴展到在現今其他應用上，更可利用低成本之方式提供一般大眾更好的服務，例如車輛導航：使用廣域差分定位系統作為車用導航系統，其可提高定位精準度，提供保護極限，確保使用者生命財產安全。目的地規劃與導航，更精準的定位搭配更詳細的圖資以及路徑演算可以找出最適合使用者的導航路線，若能再加上網路即時更新路況及圖資，可以使駕駛者避開塞車路段，或者道路中斷以及實際道路有所變異等情況。在使用者額外成本沒有大幅增加的情況下，GPS定位功能獲得大幅改善，重要的是還提供了完整性資訊保護使用者，不致被錯誤之定位導航訊息所誤導，而導致無法彌補的生命財產損害。



## § 6-2 導航定位商品市場分析

### § 6-2-1 導航定位商品市場值年倍數成長，逐漸區分高感度或高精度之產品

自美國因 E911 法案實施影響，自 2009 年底起全球手機 GNSS 出貨數量已經超過一億支。也因此造成 GNSS 運用的焦點聚焦於個人定位服務與週邊運用。如圖 6-2 所示，根據 Printed Circuit Board (PCB) 之市場調查顯示於 2005 年全球手機使用之 GPS 晶片銷售額已經接近 5 億美金(圖 6-2 縱軸所標示之單位為 Million United States Dollar，百萬美金)，也意味手機用戶直接或間接的在使用定位服務，並預估在 2013 年，全球手機使用之 GPS 晶片銷售額可以超過 12 億美金。姑且不論定位技術的種類，GNSS 定位技術是公認最直接也成熟的服務提供者。也因為廣大使用者認同，所以 GNSS 定位技術的應用也成為新進及效率的代名詞。

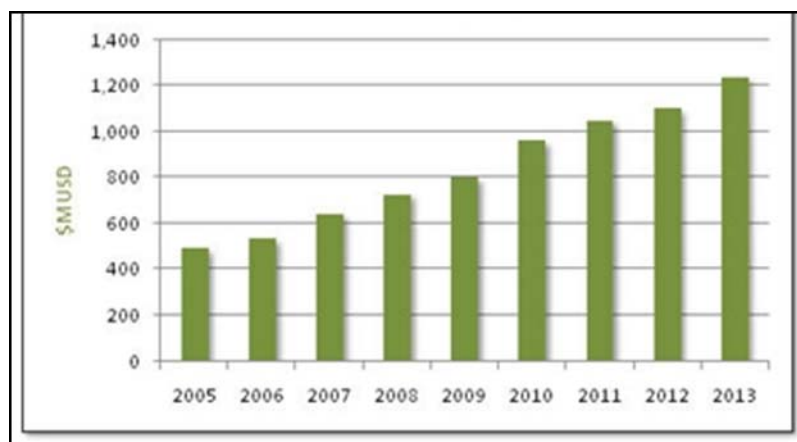


圖 6-2 全球手機用 GPS 晶片銷售額

同時，也因為 GNSS 定位技術的成熟，越來越多公共事業族群及非營利組織，如政府、能源單位、通訊單位及教育研究單位等，也藉由 GNSS 定位技術的熱潮，導入更新更現代化且有秩序的分析資料庫。如利用 GNSS 連續觀測站分析斷成地面與監測、利用 GNSS 觀測水氣含量等，皆受國內化各單位高度認同，歸咎其原因，GNSS 定位技術深入個人生活而獲得信任其主要因素。故利用 GNSS 定位技術發展更具深度的應用族群亦隨之大量






成長。

由於 GNSS 定位技術大量成長發展，也隨之開始針對不同定位需求之族群，而開始以 GNSS 定位技術不同之成效級距。例如，對於使用 GNSS 定位技術最盛之一般運輸工具而言，其所需要的是高感度定位產品，而目前市面上對於高感度產品之要求，即為可接收到 -158 dB 的為弱訊號之產品，以應付導航所需要的及時反應及高收訊能力，故發展出諸如汽車導航等產品，但其精度卻長久為人所詬病，也造成汽車導航需要較多智能系統介入輔助。在高感度的另一端對岸，就是高精度 GNSS 定位技術產品的市場，而高精度產品的定義，即為可以達到導航要求之精度的產品。由於先天電子限制，高精度過濾雜訊及多路徑，相對的感度設計或天線面積就需犧牲。但相對於兩個極端產品之市場現況，都是出乎意料的大。

#### §6-2-2 依產品市場規模分析，高精度定位商品競爭較少，成長空間較大

市調機構 TRG 預估，全球車用 GPS 市場規模將從 2001 年的 34 億美元成長到 2010 的 219 億美元。歐洲全球導航衛星機構(GAS) 發行的市場報告，GNSS 市場預測對私人和公共 GNSS 利益相關人來說是很有趣的，因為企業及其戰略規劃與政策制定。根據一份最新報告，未來十年 GNSS 的市場會大幅增長，年複合增長率 (CAGR) 為 11%，到 2020 年 GNSS 的核心市場將達到 1650 億美元，而且到時候 GNSS 的交貨量每年超過 10 億。所以，在未來 10 年的人類活動，GNSS 定位技術將會是像手機一樣，時時依附。表 6-2 為先今使用者端高精度定位商品比較表。

表 6-2 使用者端商品比較表

廠牌	Trimble	Topcon	Topcon	Leica	Ashtech
型號	GeoXH	GSR1	GSM pro	Zeno	MobileMapper 100
圖片					
衛星通道	GPS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS
作業系統	Mobile 5	Wince 6	Wince 6	Wince 6	Wince6
定位精度	10~90 cm	1 CM	30~90 CM	< 50 cm	< 1 m
差分等級	RTK Float	RTK FIX	DGPS	DGPS	DGPS
市場價格	30萬	60萬	30萬	30萬	20萬

相對於高感度GNSS商品而言，高精度GNSS定位技術則顯的較少焦點。藉由圖6-3 所示，一家高精度GNSS核心製造商發布之財報分析，其E&C(高精度，公尺級)部門為5.786億美金，折合台幣約為179億台幣，而Field Solutions (次公尺精度，1公尺內)部門2009年營業額為2.918億美金，折合台幣約為94.5億台幣。該公司在次公尺級以上高精度市場的營業額為8.82億美金，折合台幣約為273.5億。若以該公司初估之市佔率為30%為例，預估次公尺級以上高精度市場需求全球約為911億新台幣。

Engineering and Construction (E&C)
Fourth quarter 2009 E&C revenue was \$154.3 million, up approximately 8 percent as compared to the fourth quarter of 2008, largely due to stronger sales of both survey instruments and machine control products.
E&C revenue for the full year 2009 was \$578.6 million, down approximately 22 percent as compared to 2008 due to recessionary conditions, concentrated in the U.S. and Europe.
Operating income in E&C for the fourth quarter 2009 was \$15.5 million, or 10.0 percent of revenue, as compared to \$2.3 million, or 1.6 percent of revenue, in the fourth quarter of 2008. Non-GAAP operating income was \$17.5 million, or 11.3 percent of revenue, as compared to \$3.9 million, or 2.7 percent of revenue, in the fourth quarter of 2008. The improvement in non-GAAP operating margin was primarily due to year-over-year cost reductions as a result of restructuring in the segment, as well as increased revenue.
Operating income in E&C for the full year 2009 was \$58.3 million, or 10.1 percent of revenue, as compared to \$126.0 million, or 17.0 percent of revenue, in 2008. Non-GAAP operating income was \$64.6 million, or 11.2 percent of revenue, as compared to \$130.7 million, or 17.6 percent of revenue, in 2008. The decline in non-GAAP operating margin was primarily due to lower revenue.
Field Solutions
Fourth quarter 2009 Field Solutions revenue was \$57.2 million, down approximately 2 percent as compared to the fourth quarter of 2008.
Field Solutions full year 2009 revenue was \$291.8 million, down approximately 3 percent as compared to 2008.
Operating income in Field Solutions for the fourth quarter 2009 was \$15.9 million, or 27.8 percent of revenue as compared to \$17.5 million, or 30.1 percent of revenue, in the fourth quarter of 2008. Non-GAAP operating income was \$16.2 million, or 28.3 percent of revenue, as compared to \$17.7 million, or 30.5 percent of revenue, in the fourth quarter of 2008. The decrease in non-GAAP operating margin was due to slightly lower revenue.
Operating income in Field Solutions for the full year 2009 was \$104.5 million, or 35.8 percent of revenue, as compared to \$109.5 million, or 36.4 percent of revenue, in 2008. Non-GAAP operating income was \$105.6 million, or 36.2 percent of revenue, as compared to \$110.3 million, or 36.7 percent of revenue, in 2008.

圖 6-3 高精度 GNSS 核心製造商之財報分析

由兩種特性GNSS定位商品市場規模比對，高精度之市場規模顯的微小。但由於高精度GNSS定位商品的不可或缺性，加上高感度的GNSS定位商品之漸趨飽和與單價持續下降。事實上，高精度GNSS定位商品反而成長空間較大。

以GIS地理資訊系統為例，過去通常使用高感度的GNSS定位商品。但隨者最終使用者針對GNSS定位技術的普遍及提升，該產業開始也必須導入高精度GNSS定位系統。例如優於1公尺(次公尺級)之GNSS定位商品，方可應用於管線資訊應用資料庫之建置與管理上。諸如此類應用，高精度GNSS定位系統應用也相對刺激部分高感度GNSS定位商品的使用族群持續地提升該定位產品應用層級。

## § 6-3 研發使用者端軟硬體設備雛型之相關成本分析

### § 6-3-1 研發使用者端硬體設備雛型成本分析

本案研發使用者端軟硬體設備區分為設計單元類及材料單元類，其中設計單元類為一次發生，不隨生產數量改變，只會因功能面不同而有不一定比例的調整。例如，增加使用者端平台的按鈕數，可能不需要修改線路設計，但卻必須修改印刷電路的設計，所以該類的費用會隨之增加，但非全額，可能只是幾個百分比的比率。而材料單元，則會隨生產數量改變。大部分的情形會有倍數的差異化。例如生產 5 台可能與生產 50 台會有 2 倍以上的成本級距。而生產 100 台與 50 台又會有 50% 以上成本差距。表 6-3 為本次研發使用者端硬體雛形成本一覽表。

表 6-3 使用者端硬體成本

成本分類	名稱	金額	數量	小計	比例
研發單元	系統線路架構設計	600,000	1	600,000	43%
研發單元	硬刷電路板設計	150,000	1	150,000	11%
研發單元	線路偵錯及管理	100,000	1	100,000	7%
研發單元	外殼機構設計	150,000	1	150,000	11%
材料單元	GNSS 模組成本	50,000	5	250,000	18%
材料單元	整合平台成本	20,000	5	100,000	7%
材料單元	外殼機構	8,000	5	40,000	3%
總計				1,390,000	

由表 6-3 中之研發單元為系統線路架構設計最高分配，為 43%。其中 SoC 系統晶片設計及整合電路設計為其主要產出，其功能是提供使用者與各系統之介面。而材料單元中，以 GNSS 模組成本所佔比例最高，為 18%。GNSS 模組成本包含 220 頻 Trimble GNSS 及雙頻天線。

相較於 1mm 相位精度及雙頻(L1 及 L5)，該模組已包含 RTK/OTF 及



DGPS 演算核心，在同級產品中價格的確有相當競爭。日後使用者可藉由密碼方式升級為全頻(L1, L2 及 L5)。

另外，上述提及之數量與成本分析架構，表 6-4 為不同產量所預估之成本分析，使用者端在本次試產雛形每台造價為 238,000 元新台幣。但就本次雛形試做效能及管理經驗預估，試產數量為 50 台，攤提成本後每台造價為 78,000 元新台幣，而在試產數量為 100 台，攤提成本後每台造價為 55,000 元新台幣。

表 6-4 產量預估表

試產數 成本分類		試產 5 台			試產 50 台			試產 100 台		
		數量	金額	小計	數量	金額	小計	數量	金額	小計
研發單元	系統線路 架構設計	1	400,000	400,000	1	400,000	400,000	1	400,000	400,000
研發單元	硬刷電路 板設計	1	150,000	150,000	1	150,000	150,000	1	150,000	150,000
研發單元	線路偵錯 及管理	1	100,000	100,000	1	100,000	100,000	1	100,000	100,000
研發單元	外殼機構 設計	1	150,000	150,000	1	150,000	150,000	1	150,000	150,000
材料單元	GNSS 模 組成本	5	50,000	50,000	50	40,000	2,000,000	100	32,000	3,200,000
材料單元	整合平台 成本	5	20,000	20,000	50	15,000	750,000	100	10,000	1,000,000
材料單元	外殼機構	5	8,000	40,000	50	7,000	350,000	100	5,000	500,000
總計				1,190,000			3,900,000			5,500,000
完成品單一成本				<b>238,000</b>			<b>78,000</b>			<b>55,000</b>

經由表 6-4 之分析，當產量超過 100 台時，確實也達到低價位高精度 GNSS 定位系統之標準。由於市場外在因素諸如匯率等條件不同，攤提成本也因考慮計匯率變化效應。

### § 6-3-2 研發使用者端軟體元件成本與效益分析

本案開發之三種使用者端定位演算元件，雖為人力資源為主，較無法評估其實際成本及效益。但開發後單元價值，可以比造其他設備製作商置入硬體之造價。

表 6-5 為各元件開發單元及次系統所投入之人力計算。其中以平台系統框架及導入修正量演算式最為耗時及投入資源。GNSS 原始觀測量解碼則開發出 2 種不同廠牌之成果，日後頗具擴充性，可在導入其他較普遍於市面上之高感度 GNSS 定位接收儀模組 如 SiRF，或高精度 GNSS 定位模組如 Leica、Topcon、以及 Novatel 等。一樣可以適用各元件運作。

表 6-5 各元件開發單元及次系統所投入之人力計算

開發次系統單元	分類	投入人力	比例
平台系統框架	韌體	28	14%
平台作業系統植入	韌體	10	5%
GNSS 原始觀測量解碼	軟體元件	14	7%
WADGNSS 修正量解碼	軟體元件	26	13%
DGNSS 修正量解碼	軟體元件	20	10%
初始定位演算單元	軟體元件	14	7%
導入修正量演算單元	軟體元件	44	22%
座標轉換單元	軟體元件	8	4%
通訊轉換單元	軟體元件	12	6%
整體介面程式	軟體元件	14	7%
總計		200	100%

註：投入人力是以一個人工作一天為一單位，每日的工作時數為 8 小時

## § 6-4 廣域差分定位系統之潛力及趨勢

### § 6-4-1 廣域差分定位系統應用於相關導航產業

廣域差分定位系統可以幫助使用者滿足其導航任務之四項要求，即精確性、完整性、連續性、可用性，可以確保運用本系統產生的修正資訊之使用者，其定位與導航服務是可靠的。因此使用WADGNSS訊息的使用者，其使用衛星導航之安全性是可以被保證的。

在專業的領域上，應用在航海的部分已在前面的章節(5-3節)有所提及，而陸運的部份，由於沒有特殊的導航規範，故如前段章節(6-1-2節)所述，應用在一般大眾的車用導航上。然而在航空領域，為了滿足現今的飛航在精確度、完整度、可用性及連續性上的要求，美國聯邦航空管理局發展出一套廣域星基增強系統(WAAS)，利用星基增強系統提供GPS精確導航的能力、完整度以及誤差修正量，並且能夠提供非精確第一類進場服務的等級。而本案所建置之廣域差分定位系統即為類似WAAS的一套系統。為WAAS因應未來民航運輸成長之需求，突破傳統地面助導航設施的限制，有效提昇飛航安全及效率。廣域差分定位系可提供更為安全及值得信任的服務。

如果能使廣域差分定位系統發展完全，以支援民用航空精確進場，在機場的助導航設施上，可以取代許多現今舊的儀器助導航設施；舊的儀器助導航設施往往需要高成本製造，並受到跑道的限制，每條跑道都必須裝備，每年維修及維護的成本更是非常驚人。假如可以結合此廣域差分定位系統當作飛機進場之導航設備，不單只是節省了大量的維護即修理的費用，同時也讓在臺灣區域飛行的民用航空載具也獲得一個安全的定位服務。

### § 6-4-2 廣域差分定位系統於一般民生方面及普羅大眾的應用

現今智慧型手機與手持式裝置PDA大部分具備無線上網之功能，也能使用GPS做導航定位，透過無線網路使用廣域差分定位系統服務來提升GPS之性能是可以被實現的應用方式。在未來，無線網路覆蓋的區域將越來越廣，而車用GPS定位導航也可以透過無線網路來使用WADGNSS修正訊息與完整性資訊，以確保資訊之準確性與安全性。如此一來，廣域差分定位系



統皆可應用至一般的大眾，服務之對象非常之多。

本案單就主控端及使用者端開發成果而言，皆以物件化開發架構作為主體開發項目。除整體整合運作外，亦可將其藉由衍生系統安裝於其他平台介面並且獨立運作。如圖6-4 中定位元件本身可以重新編譯，並安裝於PDA，智慧型手機或個人筆記型電腦，若該終端內建之GNSS接收模組可支援原始觀測量輸出，此時定位元件並可透過網路接收WADGNSS修正資訊並重新計算該使用者之座標位置，使用者除了原有之導航定位功能之外，使用者以亦可透過PDA之GPRS 或3G的網路系統，經由網際網路方式以取得e-GPS 基準站所傳遞出之DGNSS或WADGNSS的修正量訊息，並且將此修正訊息加入GNSS導航定位上。如此一來，使用此之PDA，智慧型手機或個人筆記型電腦使用者除了定位精度以外，其使用衛星導航之安全性同時也是可以保證的。

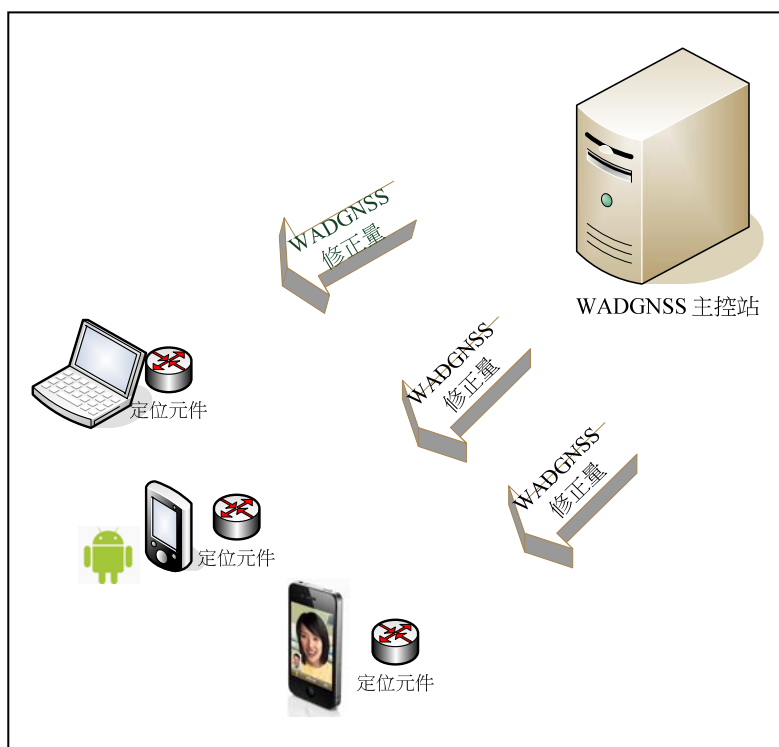


圖 6-4 WADGNSS 定位元件運作於其他平台示意圖

而就此三種定位元件開發價值而論，依照市場實際產出之定位元件，如 Trimble、Leica、Topcon 等廠商，其定位元件具備 DGNSS 或 WADGNSS 解算之功能選項，若以市價論計，則其三種單位元件皆具備約 USD1000 /

每台的效益差異。倘若將此定位元件導入雲端網路計算的觀念，則可將其功能擴及於公共工程的監測及維護。如圖 6-5 為例：若將本案所開發之內建 GNSS 模組之網路單元，單獨安裝於各施測地點，如橋樑監測及工業區等，各施測地點利用 GNSS 模組之網路單元收集 GNSS 原始觀測量後，經由網際網路便可將其 GNSS 原始觀測量送回建置於資料處理中心的主控站系統之定位元件進行計算，除了可以即時計算出高精度之定位外，亦可大大降低建置高單價 Sensor 端之成本及建置後所需要之維護人力資源成本，並且無需擔憂高單價 Sensor 端之設備因天然災害而損毀。

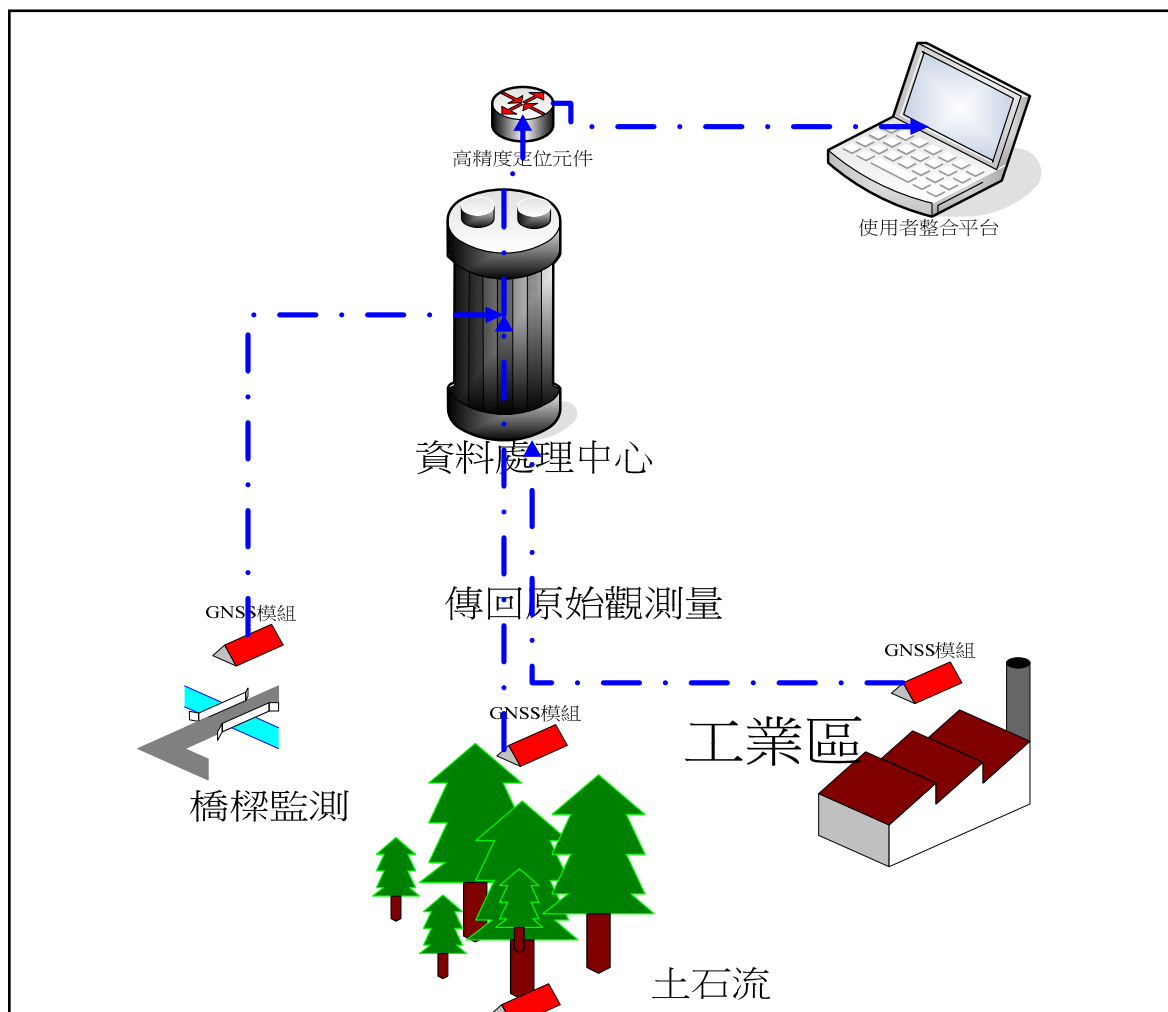


圖 6-5 GNSS 模組之網路單元導入雲端網路示意圖

## § 6-5 使用者端整合式平台未來發展方向-結合 e-GPS 發展即時公分

### 精度定位演算元件

由於目前台灣地區已建置全面性的連續觀測站高達數百座，其中更由內政部國土測繪中心建置之 e-GPS 即時動態系統最為完善。但由於雙頻高精度 GNSS 衛星定位接收儀普遍造價昂貴，由數十萬至百萬。故使一般高精度測繪需求者取得設備倍加困難。以地政測繪業務為例，全台有超過百所地政事務所，但可以使用 e-GPS 即時動態系統之 GNSS 全球衛星定位接收儀數量卻遠不及實際於第一線執行測繪業務之測繪人員。該現象，普遍存在於各項應用領域。也因如此，e-GPS 即時動態系統之發展亦受到儀器之價位過高的阻礙。

有鑑如此，本案所發展之使用者端整合平台為單頻多星基 (multi-constellation) 系統，已確實驗證低價之 GNSS 衛星定位接收儀，其相位觀測量精度高達 mm 等級。因此在本案之後續開發計畫應導入多星系觀測，例如 GPS、GLONASS、Galileo 或是加入未來的 Compass，搭配使用國土測繪中心之即時 e-GPS 觀測量，將目前之定位演算提升到公分級定位水平，如此一來，也可以提供各領域從業人員以低價位儀器獲得高精度成果的選擇，降低公分級高精度應用之門檻。

## 第七章 工作進度與時程掌控

本案在工作進度管控方面，主要可區分為兩個單位來進行管控（如圖 7-1），包括「作業執行單位」與「進度管制與內部稽核單位」，兩個單位所負責之管控內容主要如下所述：

- (一)作業執行單位：對於進度的管控，主要在於計畫執行的前置作業及執行過程，各負責的執行單位應就該工作內容進行規劃，在人力、設備及其他各項作業需符合作業時程，並於執行階段依照規劃內容進行。目前作業執行單位共分 4 個小組，分別為負責「廣域衛星差分定位主控站」的主控站小組、負責「多頻段差分修正訊號接收模組」的多頻段接收小組、負責「GNSS 衛星定位接收模組」的 GNSS 衛星定位接收小組以及負責「整合式定位系統操作平臺」的整合式平臺小組，各組依據該負責之工作項目分工進行。
- (二)進度管制與內部稽核單位：由品質進度管制組負責，除監控各執行單位是否依照規劃時程進行外，另需協調各執行單位間相互配合的時程，以避免產生運轉的空窗期；並監控整個計畫執行進度的合理性，避免產生整體性的進度差異。此外於進度產生落後時，適時協調提供必要之資源。

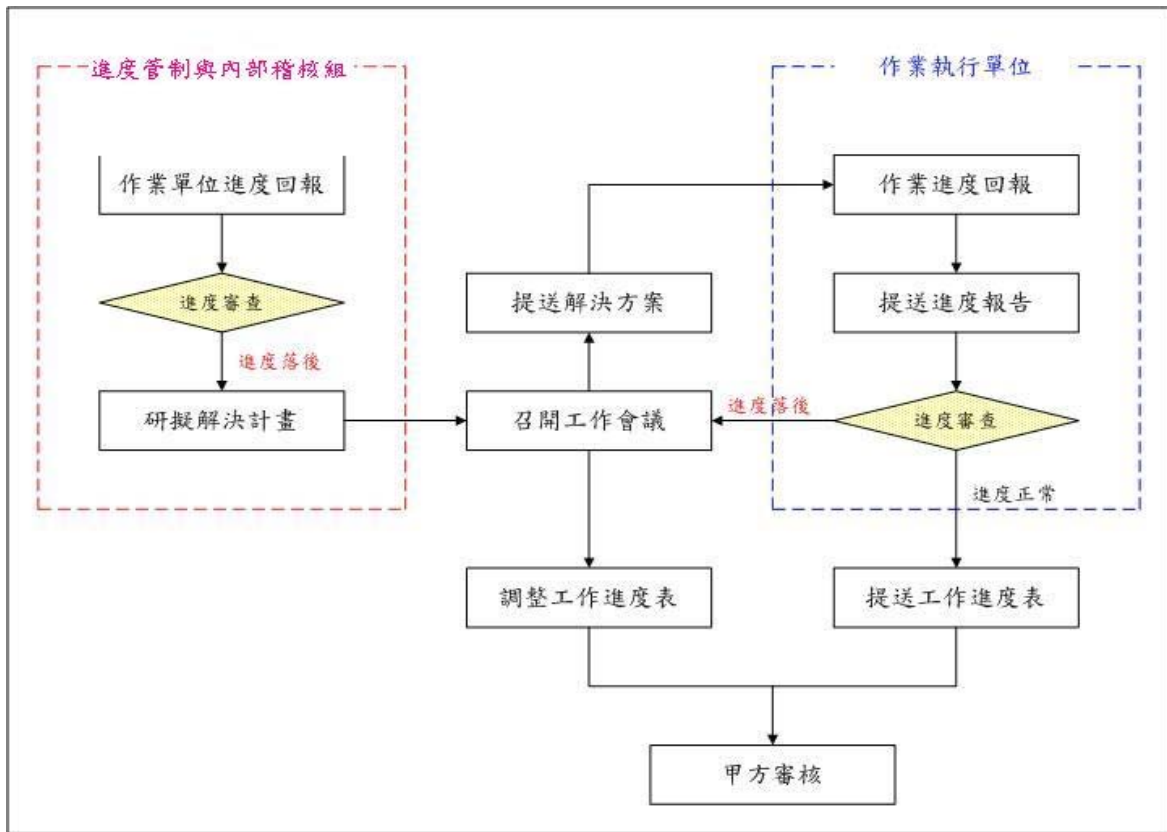


圖 7-1 工作進度管制流程圖

本案所規定之工作期限為自開工日起 330 天內完成，整體作業時程共包含十八個查核點，目前已完成三次檢核，而第二次查核與期中報告一併進行。此外，本團隊於每週固定進行工作討論會報，以即時掌握執行單位之工作進度及溝通協商，而委方也已於 99 年 4 月 22 日及 9 月 30 日前來參加工作討論會報。

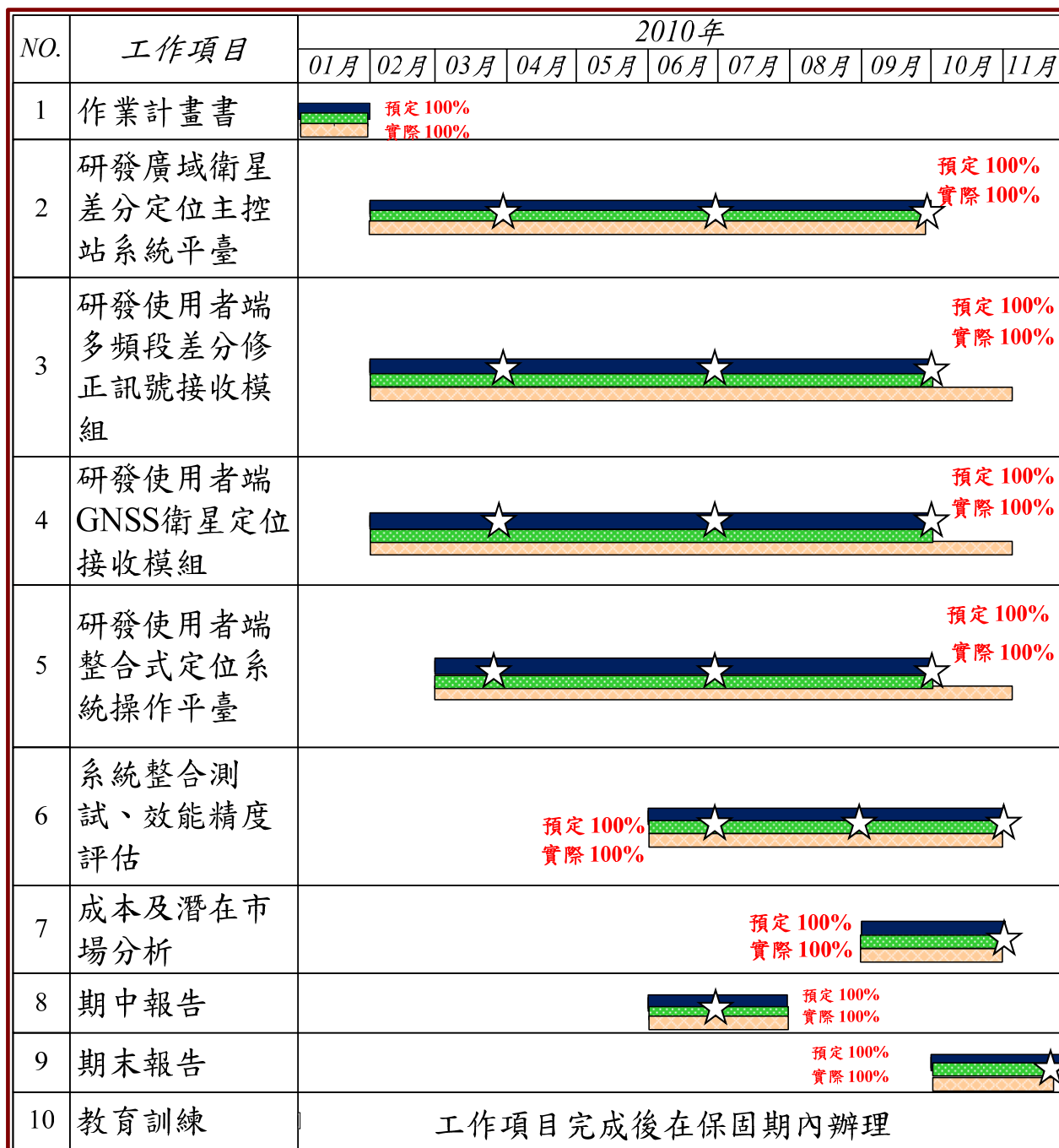
配合本案之工作項目，所規劃之作業進度如圖 7-2 所示，其預定與實際進度之計算方式為各工作項目之子項目加權平均所求得，。目前本案各項工作項目皆已完成，而整體工作進度而言，顯示部分落後。探究其落後原因，可歸類下述三項主要因素：

1. 因「多頻段差分修正訊號接收模組」開發延遲以及該模組整合部分因天線與軟體整合有誤，因此導致該工作項目落後外，連帶影響「GNSS 衛星定位接收模組」、「整合式定位系統操作平臺」以及「系統整合測試、效能精度評估」等三大項目之工作進度。
2. 因國土測繪中心後龍站電源供應器損壞，導致 Beacon 硬體在接收測試時產生不良之影響，使硬體收到訊號而無法順利將資料解讀出來，因此導致「使用者端多頻段差分修正訊號接收器整合測試」部分延遲近一個半

月的時程，雖最後本團隊經多次改變設計後，已可順利將訊號解讀出並傳送至整合式平臺，且後龍站電源供應器已修復完成，然其耽誤之時程皆已造成後續之工作進度無法順利在預定時程內完成。

3. 本案原作業計畫書中提到 GNSS 衛星定位接收模組為採用 ublox 公司之產品 LEA-5T 模組，然因 LEA-5T 模組不符本案之需求，因此在經國土測繪中心同意後改採 Trimble BD0970 GNSS 接收模組取代。雖 GNSS 衛星定位接收模組更換後，許多問題獲得改善，然在發現原模組有問題後進行解決到換取新模組重新整合設計電路皆需花費不少時間，因此導致該工作項目實際進度比預訂時程來的晚。

綜合上述幾項原因，以致本團隊整體工作進度顯示部分落後，然本團隊仍竭力於工作時程內完成所需交付之工作事項，並進行整體內部檢討，以提昇本案之成果效能為目標。



工作時程
  預定進度
  實際進度
  ☆ 查核點

圖 7-2 整體作業時程進度圖

### § 7-1 廣域差分定位主控站系統之檢核要項與作業進度

#### ► 檢核要項

本案之廣域差分定位主控站系統之檢核要項可分即時處理及後處理兩部分，共包含十個檢核點，分別於 99 年 4 月 7 日、7 月 30 日以及 9 月 30 日完成檢核，所有功能皆達成三次檢核標準。整體 WADGNSS 主控站之工作項目如下所述：

- (一) GNSS 觀測量之彙整與同步程序
  - 1. 與基準站連線與資料儲存
  - 2. 衛星觀測資料格式轉換
  - 3. 衛星觀測時間同步
  - 4. 衛星星曆同步
- (二) 修正多路徑及雜訊誤差
- (三) 電離層誤差格點模型計算
  - 1. 計算電離層穿刺點誤差
  - 2. 電離層垂直格點誤差估算
  - 3. 產生向量形式電離層誤差修正量
  - 4. 估測電離層殘餘誤差與信心區間
- (四) 衛星星曆、時錶誤差估算
  - 1. 衛星星曆誤差估算
  - 2. 衛星時錶誤差估算
  - 3. 產生向量形式衛星星曆、時錶誤差修正量
  - 4. 估測衛星星曆、時錶殘餘誤差與信心區間
- (五) 產生衛星電碼虛擬距離修正量
- (六) 產生衛星狀態完整性訊息
- (七) 建立 WADGNSS 系統完整性監控機制
- (八) 封裝 NSTB WADGNSS 服務訊息
- (九) 傳送服務訊息給使用者。
- (十) 使用者測試平臺(伺服器版本)
  - 1. 可監看分級機基準站發佈之修正量完整性
  - 2. 驗證 NSTB WADGNSS 服務訊

## ▶ 作業進度

廣域差分定位系統主控站之作業進度已完成所有工作項目，其中包括 GNSS 觀測量之彙整與同步程序、修正多路徑及雜訊誤差、電離層誤差格點



模型計算、衛星星曆、時錶誤差估算、產生衛星電碼虛擬距離修正量、產生衛星狀態完整性訊息、建立 WADGNSS 系統完整性監控機制、封裝 NSTB WADGNSS 服務訊息以及傳送服務訊息給使用者等項目。

## § 7-2 使用者端之多頻段差分修正訊號接收模組

### ► 檢核要項

本案之使用者端之多頻段差分修正訊號接收模組之檢核要項與作業，共包含十一個檢核點，分別於 99 年 4 月 7 日、6 月 17 日以及 9 月 30 日進行檢核，目前所有功能皆達成三次檢核標準。檢核過程中遭遇之問題有二，分別為(一)天線與軟體整合進度延遲，相對導致整合式平臺與整合測試無法於時間內順利完成；(二)由於國土測繪中心後龍站電源供應器損壞，導致在 Beacon 硬體接收測試時產生不利之影響，使硬體收到訊號而無法順利將資料解讀出來。目前落後之項目已在多次改變設計後，已可順利將訊號解讀出並傳送至整合式平臺，完成使用者端之多頻段差分修正訊號接收模組之整體性功能。整體之使用者端之多頻段差分修正訊號接收模組工作項目如下所述：

#### (一) 研發使用者端多頻段差分修正訊號接收模組

1. 多頻段系統規劃
2. Beacon 頻段硬體設計
3. RDS 頻段硬體設計
4. GSM/GPRS/EDGE 頻段硬體設計
5. 電路設計與製作
6. Beacon 軟體設計
7. RDS 軟體設計
8. GSM/GPRS/EDGE 頻段軟體設計
9. 整合測試

### ► 作業進度

本案之多頻段差分修正訊號接收模組之軟硬體皆已完成，在電路設計與製作的部分也已完成硬體實際電路與實際測試。在軟體的部分，低頻 Radio Beacon MSK 完成頻率選擇及控制軟體的撰寫；調頻 FM RDS-TMC

則完成頻率選擇與控制軟體模組撰寫與資料接收模組軟體撰寫；二/三代無線通訊系統收發模組之軟體亦已開發完成。

## § 7-3 GNSS 衛星定位接收模組之檢核要項與作業進度

### ► 檢核要項

本案之使用者端之 GNSS 衛星定位接收模組之檢核要項，共包含五個檢核點，分別於 99 年 4 月 7 日、6 月 17 日以及 9 月 30 日進行檢核，目前所有功能皆達成三次檢核標準。檢核過程中遭遇之問題有二，分別為(一) 在「定位軟體程式撰寫」時，由於當時求出之經緯度有誤，因接收模組產生的訊號為 binary 檔案，因此在進行解碼時發生變數型態設定錯誤(原本資料型態設定為 float，最終設定為 long)，因此在修正衛星時鐘之誤差後，已可在實作上達到正確之功能；(二) 在「透過多頻段接收模組接收各修正量進行定位演算」部分，由於多頻段接收器之緣故，因此測試較晚。不過該部分同時進行網路端收取國土測繪中心所發送之 Beacon 修正訊號進行軟體測試，無因硬體部分而延誤軟體之開發。整體之 GNSS 衛星定位接收模組工作項目如下所述：

#### (一)研發使用者端 GNSS 衛星定位接收模組〈整合硬體架構設計〉

1. GNSS 頻段硬體設計
2. 電路製作
3. WINCE 平臺建置 → 屬於(二)研發使用者端整合式定位系統操作平臺
4. 驅動程式撰寫 → 屬於(二)研發使用者端整合式定位系統操作平臺
5. 整合測試

#### (二)研發使用者端整合式定位系統操作平臺

1. 整合平臺線路設計規劃
2. CPU 核心修改
3. 應用程式開發
4. 生產試作驗證樣品
5. 硬體架構修改設計
6. 電路製作

7. 應用程式修改
8. 驅動程式發佈
9. 整合測試

### (三) 撰寫 GPS 定位軟體

1. Matlab 程式撰寫環境(off-time)
2. 資料(ephemeris data)解碼
3. 定位演算
4. C++ 程式撰寫環境(off-time)
5. 資料解碼和定位演算
6. C++ 程式撰寫環境(real-time)
7. 資料解碼和定位演算

### ► 作業進度

由於GNSS衛星定位接收小組經國土測繪中心同意後改採Trimble BD0970 GNSS接收模組取代原工作計畫書提議之ublox LEA-5t GNSS接收模組，因此在定位接收小組重新規劃後之作業進度包括撰寫GPS定位軟體、加入各修正量校正GPS定位軟體以及整合性能測試等項目。目前各工作項目已完成進度，包括規劃定位演算之流程、Matlab 程式撰寫環境(off-time)以及C++程式撰寫環境(off-time)、C++ 程式撰寫環境(real-time)之資料解碼與定位演算部分等項目。

## § 7-4 整合式定位系統操作平臺之檢核要項與作業進度

### ► 檢核要項

本案之使用者端之使用者端之整合式定位系統操作平臺之檢核要項與作業，共包含三個檢核點，分別於 99 年 4 月 7 日、6 月 17 日以及 9 月 30 日進行檢核，目前所有功能皆達成三次檢核標準。檢核過程中遭遇之問題點有二，分別為(一)檢核過程中發現原 ublox LEA-5t GNSS 衛星定位接收模組有問題，因此在改採 Trimble 公司的 BD970 模組後，相關問題獲得改善；(二)在「使用者端整合式定位系統操作平臺整合測試」部分，由於多頻段接收模組開發延誤，因此導致整合測驗時程較晚，目前已將各模組之功能整合，達成使用者端之整合式定位系統操作平臺之工作效能。整體之整合式

定位系統操作平臺主要之工作項目如下所述：

#### (一)加入各修正量校正 GPS 定位軟體

1. 加入 DGNSS 修正量 (off-time test)
2. 加入 WADGNSS 修正量 (off-time test)
3. 透過多頻段接收模組接收各修正量

#### (二)介面之建立與整合與性能測試

##### ▶ 作業進度

整合式定位系統操作平臺之作業進度，其中整合平臺線路設計規劃、期初環境驗證樣品(EVT)、驗證樣品(DVT)之硬體設計以及軟、韌體開發皆依規劃時間已完成。而生產試作驗證樣品(PVT) 部分，硬體與軟韌體開發進度皆依預定時程完成，而 PVT 整合測試因多頻段接收模組開發延誤，因此導致該項目進度延遲。

### § 7-5 系統整合測試、效能精度評估之檢核要項與作業進度

##### ▶ 檢核要項

本案之系統整合測試、效能精度評估之檢核要項與作業，共包含十個檢核點，分別於 99 年 6 月 17 日、8 月 30 日以及 11 月 1 日進行檢核，目前所有功能皆達成三次檢核標準。檢核過程中所遭遇之問題，目前皆已獲得改善，其中包括：(1) 在「使用者端多頻段差分修正訊號接收模組」硬體部分，天線部分已改善；(2) 在「使用者端 GNSS 衛星定位接收模組」部分，已改用 Trimble BD970 接收模組進行資料解碼與定位解算(off-time test)；(3) 在「廣域差分定位主控站系統」部分，網路程式設定已修改，因此已可透過網路收取主控站資料；(4) 在「使用者端整合式定位系統操作平臺」部分，加入 WADGNSS 修正量後加入整合式平臺測試成功；(5) 多頻段接收模組之檢核項目為透過 2/3 代無線通訊系統模組接收 NSTB 封包，此部分與主控站端整合後，已達到此功能；(6)在實現差分定位運算於嵌入式處理器，並經由多頻段差分修正訊號接收模組接收訊號，提供修正後之定位解，除先行在實驗室環境下進行驗證外，也已於戶外以及中部地區完成完整之測試。整體工作項目如下所述：

(一)研發使用者端多頻段差分修正訊號接收模組：

- 1.透過 Radio Beacon 訊號接收模組接收訊號。
- 2.透過 FM RDS-TMC 訊號接收模組接收訊號。
- 3.透過 2/3 代無線通訊系統模組接收網路封包。
- 4.透過 2/3 代無線通訊系統模組接收 NSTB 封包。

(二)使用者端 GNSS 衛星定位接收模組：

- 1.以 Trimble BD970 接收模組接收資料。
- 2.實現資料解碼與定位解算(off-time test)。
- 3.實現資料解碼與定位解算(real-time test)。

(三)使用者端整合式定位系統操作平臺：

- 1.以整合式操作平臺接收 GPS 訊號。
- 2.WINCE 平臺建置。
- 3.加入 DGNSS 修正量。
- 4.加入 WADGNSS 修正量。
- 5.介面之建立與資訊整合。
- 6.實現差分定位運算於嵌入式處理器並提供修正後之定位解。

(四)廣域差分定位主控站系統：

- 1.分析主控站資料格式。
- 2.透過網路收取主控站資料格式。
- 3.整合 NSTB WADGNSS 服務訊息。

## ▶ 作業進度

系統整合測試、效能精度評估部分，目前已使用 Trimble 模組結合 C++ 程式進行單點定位解算。而接收 WADGNSS 與 DGNSS 修正量方面，進行透過有線網路即時處理與加入定位解算之整合測試。此項目之整體工作進度皆已達成。

## § 7-6 成本及潛在市場分析之檢核要項與作業進度

### ▶ 檢核要項

本案之成本及潛在市場分析之檢核要項與作業，已於 99 年 11 月 1 日完

成檢核，檢核要項分別要為(1)提升系統加值性整合服務、(2)建置系統控制及監控模組以及(3)提供發送上述衛星定位誤差修正量之服務訊息，並進行測試及評析臺灣地區廣域衛星差分定位系統之效能與可用性、(4)導航定位商品市場之需求潛力及趨勢分析、(5) 研發使用者端軟硬體設備雛型之相關成本分析、(6) 研發使用者端硬體設備雛型成本分析、(7) 研發使用者端軟體元件成本與效益分析、(8) 一般民生方面及普羅大眾的應用分析等八大項目，目前已完成所有工作項目。

### ► 作業進度

成本及潛在市場分析於各階段之工作項目皆已完成。詳細之分析內容請參照第六章節。



## 第八章 結論與建議

### § 8-1 結論

廣域差分定位系統為星基增強系統的一種，是以滿足精確性、完整性、連續性與可用性四項導航性能需求為目標而設計。本報告首先針對廣域差分定位系統做了全面性的概述，包含其系統架構以及處理程序流程做簡介，並與傳統差分定位法做比較，以解釋廣域差分定位系統為何可以使用在有關生命安全的導航應用上。同時，將其現今應用現況與國內外相關 GNSS 增強系統進行簡介與文獻回顧。接著，對於廣域差分定位主控站系統架構與運作原理進行解說，如何將 e-GPS 基準站所接收到的衛星觀測量，透過網路傳送至主控站平臺進行測試平臺之參考站處理程序，降低多路徑效應之影響與消除各個參考站間之時錶振盪器誤差後，並將向量修正量及完整性資訊包裝成 WADGNSS 廣域差分定位修正訊息，經由網際網路無線通訊傳送給使用者端使用，並詳盡描述主控站演算法的運用。

本案已成功開發一個廣域差分定位系統平臺，從圖形化介面可以清楚了解參考站分布、衛星軌跡、參考站之定位效能及主站之狀態，同時也可以監控各個參考站的連線情況。而經由 Stanford Chart 分析，可以了解此系統在精確性、完整性、連續性與可用性之效能。以大武站為例，當完整性設定為 91.99%(1.75 個標準差)時，使用者會有 99.933% 的時間運用本案研發之廣域差分定位修正量後，其定位誤差可以滿足以航海導航需求之船之入港口時之導航任務，此任務之水平警戒極限為 25 公尺。由分析結果可以證明此廣域差分定位系統將來可以提供陸運、海運、甚至空運使用者廣域差分修正資訊，並藉此讓使用者使用全球衛星導航系統進行定位導航服務時，可以得到一個精確並具有安全性的服務成果。

在多頻段差分修正訊號接收模組，低頻 Radio Beacon MSK、調頻 FM RDS-TMC 與第二/三代無線通訊系統收發模組之硬體設計部分皆已完成。經由測試後低頻 Radio Beacon MSK 可接收國土測繪中心後龍站所發送之 Beacon 修正訊號，並可透過 RS-232 將修正訊號傳遞至整合式平臺顯示其目前使用之差分修正訊號接收來源及頻率；調頻 FM RDS-TMC 軟體部分經由測試之後，可顯示目前使用之電臺名稱、節目類型與內容等等於整合式平臺上；第二/三代無線通訊系統收發模組除了能上網之外也能透過無線網路至主控端下載廣域差分定位修正訊號。

在 GNSS 定位模組方面，在經過測試後採用 Trimble BD970 接收模組以符合可接收三種星系衛星訊號之要求。而整合式定位系統操作平臺亦以 Trimble BD970 接收模組為主設計驗證樣品。

在定位演算方面，本案開發之 C++ 程式經過整體定位演算流程之穩定性驗證，可成功配合 Trimble BD970 接收模組決定使用者之導航位置。演算程式可搭配主控站傳送之廣域差分定位修正訊息或 Radio Beacon 站傳送之差分定位修正訊息進行差分定位演算。在定位精度比較方面，以第五章第五節於臺南定位結果為例，在未加入任何修正訊息之情況下，平面誤差大，其水平誤差均方根約為 5.8 公尺，且定位點散布範圍廣，難以提供使用者精確之定位；在加入差分修正訊息之後，定位精度可獲得大幅改善，水平誤差均方根從未使用任何修正訊息時的 5.8 公尺降低至 1.2 公尺；而使用本團隊研發之廣域差分系統所產生的修正訊息，雖其水平誤差均方根 1.6 公尺較差分定位時的 1.2 公尺大，定位精度略不及差分定位，但是可保障大部分定位解都能在容許之定位誤差內，而且更重要的是，對於在容許定位誤差範圍外的定位解，廣域差分定位系統會告知使用者此刻不在容許定位誤差範圍內，讓使用者得知此時的定位解是不能使用的，以達到保護使用者安全之目的。

## § 8-2 建議

本案所建置之廣域差分定位系統是採用現有國土測繪中心支 e-GPS 基準站為參考站，此目的是為了節省本案開發成本，並且 e-GPS 基準站之接收器可接收雙頻衛星觀測資料，但 e-GPS 基準站之接收器，其傳遞即時衛星觀測資料是使用 RTCM 版本 3.0 之格式，由於 RTCM 版本 3.0 缺少長效型星曆及簡易電離層模組參數資料，以及缺乏 Doppler 速率參數，這些都是廣域差分定位系統主控站運算所需要的資料。目前雖然主控站端已經使用軟體方式解決這些缺項所造成之衝擊，但未來若可以加設廣域差分定位系統之專用接收器於參考站上，使之傳遞即時衛星觀測資料為廣域差分定位系統專用之 NSTB 資料格式，如此一來可解決使用 RTCM 格式所導致的缺項問題，更因接收到的資料已經為 NSTB 資料格式，故目前在進行廣域差分定位系統主控站運算前之轉檔步驟也可省略，將使現有系統的資料處理更有時效性。如未來可針對此建議架設廣域差分定位系統之專用接收器於參考站上，對於整個廣域差分系統而言，不論是在完整性亦或是準確性等



各項導航需求上，相信一定可以有相當程度之改善。

此外，建議可以向交通部門推廣將廣域差分定位系統應用於航空或航海之相關載具上，以提供具有完整性之導航機制。在報告中主控站已對於航海之導航需求進行分析，並符合其導航需求，但如要將本案研發之使用者端雛形產品安裝在飛行載具上的話，必須先經過飛航認證，通過各樣檢核後，方能將本案研發之使用者端雛形產品安裝在飛機上，提供導航資訊的功能，而這些軟硬體系統認證手續也是值得未來進行研究評估的考量。

使用者端之多頻段差分修正訊號接收模組經由測試後可接收低頻 Radio Beacon MSK、調頻 FM RDS-TMC 與第 2/3G 無線通訊系統。未來希望將其三種模組重新整合包裝以達到更小之體積與重量，於使用者端能更方便使用，並且改善天線之收訊使其收訊功能臻至完整。且目前國土測繪中心之 Beacon 只設立於苗栗後龍，於 DGNSS 修正訊號於南部不易接收，未來若可希望差分修正訊號系統普及則需於臺灣各地增設 Beacon 訊號發射站。但由於 2/3G 無線通訊系統之全臺普及性以及具有使用者認證之功能，建議後續利用 2/3G 無線通訊傳送 DGNSS 修正訊號。整合式平臺在未來可針對商品化作改善，包含達到更高之定位精度並且將 3G 無線通訊模組整合至整合式平臺內。在外觀部分可再進行結構強化，以及防水防塵之處理。於 LCD 螢幕之改善使其能在戶外之可視度增加。韌體部分作物件化之設計，讓使用者可自行設定介面之參數，並於其他軟體可於整合式平臺內分享定位元件所解析之資料，如 Papago 等軟體。

在定位解算的部分，由於目前主控端只針對 GPS 訊號作處理，且市面上大多的衛星接收器並不支援 GLONASS 與 Galileo 訊號，故目前主控端軟體與使用者端軟硬體之測試主要利用 GPS 星系進行驗證。Trimble BD970 GNSS 模組可以接收 GPS/GLONASS/Galileo 3 種不同星系之訊號，建議未來應用具接收 GLONASS 或 Galileo 訊號之參考站建立廣域差分修正模式，並擴增使用者端之軟體以建立具 GLONASS 或 Galileo 訊號修正功能之定位演算，使用者即可在應用 GPS/GLONASS/Galileo 導航衛星系統定位時，皆能得到廣域差分系統的保護。

由於高精度 GNSS 定位商品的不可或缺性，因此未來高精度 GNSS 定位商品的成長空間非常龐大。以 GIS 地理資訊系統為例，過去一般僅使用低精度的 GNSS 定位商品，但隨者最終使用者針對 GNSS 定位技術的普及及提升，該產業也必須導入高精度 GNSS 定位系統，方可應用於管線資訊

應用資料庫之建置與管理上。諸如此類應用，高精度 GNSS 定位系統也相對刺激部分 GNSS 定位商品的使用族群持續地提升該定位產品應用層級。目前 e-GPS 即時動態系統之發展仍受到使用者端儀器價位過高的阻礙。為了有效降低公分級定位精度應用於土木、水利、農業工程，以及地質監測、地理資訊系統、防災等領域之門檻，可持續開發以多星系單頻相位觀測量為主的使用者端接收機系統，例如 GPS、GLONASS、Galileo 或是未來再加入大陸的 Compass 星系，搭配使用 e-GPS 觀測量以及週波整數值解算技術，將定位演算進一步提升到公分級精度，如此將可以提供各領域從業人員使用低價化儀器獲得高精度定位成果的選擇。

## 期中審查委員意見及修正辦理情形

壹、時間：99年7月19日（星期一）下午2時30分

貳、地點：國土測繪中心4樓第一會議室

參、主持人：劉副主任正倫

記錄：王敏雄

肆、出席單位人員：張教授嘉強、黃前廠長振哲、張副教授淑淨、侯科長進雄、陳技正鶴欽

伍、委員審查意見（依發言順序）

審查委員	審查意見	修正辦理情形
張教授嘉強	1. 承包廠商成大研究發展基金會雖已於口頭簡報中，具體說明執行本案之相關工作要項，惟為進一步串連本案各項軟硬體研發工作之關聯性，建議除增繪各項重要工作之關聯架構圖外，並請就各研發工作之主細項目予以適度區分後，修正期中報告初稿及簡報中各項作業進度及其檢核要項等圖表說明資料，俾利後續履約成果之查核作業。	感謝委員的建議，已於「期中報告（修正本）」中修正，請參閱「期中報告（修正本）」P2。
	2. 就本案未來發展之應用性觀點，期中報告初稿及簡報所提列之初步成果，似乎過於強調飛行器之導航指標，惟本案規劃研發之廣域差分修正訊息，係採用3種不同陸基型無線數據通訊傳輸模式來達成，相較於國外採用衛星數據通訊模式，不僅「涵蓋區域」與「使用時機」限制較大，技術執行層面之難度亦較高。成大團隊目前雖採用航空慣用之「精確性」、「完整性」、「連續性」及「可用性」等4項系統效能指標，來測試評析各參考站之運作效能，建議再就使用者端在不同地域使用之精確性及	感謝委員的意見。正如委員所提及的由於本案之廣域差分修正訊息是由3種不同陸基型無線數據通訊傳輸模式，所以在應用上確實是會受到不小的影響。目前團隊正積極分析評估本廣域差分修正訊息是否可以應用在於更為實際之其他應用，例如，航海與陸運。另外根據計畫書之計畫進度，由於本案於期中進度時，使用者端平臺尚未發展完全，故在期中報告只能以各個參考站來

	<p>有效性，例如於不同地區或不同高度，設計相關整合性測試，俾進一步評估本系統在臺灣地區不同地域之應用與發展潛力。</p>	<p>測試廣域差分修正訊息於各地域的效能。本團隊將於期末報告時進行使用者端之完整測試。</p>
	<p>3. 按採購契約規定，本案應於結案時繳驗使用者平臺雛型成品 5 套，請成大團隊特別注意上開實體設備封裝外殼後之散熱、電源供應及與其他設備整合使用等相關使用問題。</p>	<p>感謝委員的意見，本團隊將會於此部分加強注意。</p>
	<p>4. 本採購案經費來源為國家科技發展計畫，據瞭解該計畫已將各子計畫之執行成果與民間產業結合程度，列為績效考核之重點，建議成大團隊針對本系統在臺灣地區之潛在市場、使用者端設備成本、專利申請與技術轉移等可發展性分析指標，多予著墨評析，俾協助國土測繪中心後續擬定宣傳策略，提升施政績效。</p>	<p>感謝委員的建議，本團隊將於期末報告中提出本系統之成本及潛在市場分析，以協助國土測繪中心後續擬定宣傳策略，提升施政績效。</p>
	<p>5. 期中報告初稿附錄 A 所列之品質管制檢核紀錄表，發現部分表格之「缺失改善成果確認」之「改善結果」欄位未予填列，究為缺漏或複檢時間未到持續改善中，請全面檢視修正。</p>	<p>感謝委員的指正，品質管制檢核紀錄表已於「期中報告（修正本）」中修正，請參閱「期中報告（修正本）」之附錄 A。</p>

審查委員	審查意見	修正辦理情形
黃前廠長振哲	1. 期中報告初稿第 11 頁有關「GNSS 衛星觀測資料格式轉換」尚未達成進度部分，請密切掌握辦理複檢時程，並於期中報告修正本提列相關修正改善情形。	感謝委員的意見，有關「GNSS 衛星觀測資料格式轉換」本團隊已於 99 年 7 月 30 日完成複檢，相關改善情形請參閱「期中報告（修正本）」之附錄 A 之 A-2(1)。
	2. 期中報告初稿第 12 頁末段有關第 1 階段之完成度為 70%，而整體工作進度達成率為僅為 65%，究為工作進度落後遲緩或是檢核時間點之差異性，請查處。另履約進度如確有落後情形，應於期中報告修正本繳送前，積極趕辦完成。	感謝委員的意見，有關「GNSS 觀測量之彙整與同步程序及時處理」之完成度為 70%，為當時此細項工作項目之完成度，目前該項目之完成度為 100%。而整體工作進度達成率為所有細項完成度之總和，故當時為 65%，目前已更新至 79%，相關修正情形請參閱「期中報告（修正本）」P117。
	3. 期中報告初稿第 17 頁有關 GNSS 衛星定位接收模組於 4 月底決議改採 Trimble BD970 GNSS 接收模組取代工作計畫書提議之 ublox LEA-5t GNSS 接收模組，其是否涉及規格變更，應與委辦機關進一步協商後，依規定辦理。	感謝委員的提醒，目前本團隊已向國土測繪中心詢問相關之申請變更程序，待相關資料彙整分析完成，將以專函致國土測繪中心，進行規格之變更申請。
	4. 期中報告初稿第 114 頁圖 6-24 顯示取樣 500 點進行單點定位演算之水平誤差已逾 4 公尺，垂直誤差更高達 14 公尺，其加入誤差修正量後，是否可以確保定位精度在 1 公尺內，請說明。	感謝委員的意見，目前本團隊對於定位演算只做初步的成果呈現，未來將持續努力，以期在期末報告中達到水平誤差一米等級之精度。請參閱「期中報告（修正本）」P110。
	5. 建議將期中報告初稿第二章主要工作項目與履約內容及第三章廣域差分定位系統章節互調。另期中報告初稿第二章之第 2-2-2 節將使用者端多頻段差分修正訊號接收器、GNSS 衛星定位接收模組及使用者端整合式定位系統操作平臺等 3 項工作之檢核要項與工作進度整併於同一章	感謝委員的建議，關於章節內容之修改，已於「期中報告（修正本）」中修正，請參閱「期中報告（修正本）」P118-P127。

	<p>節，不僅內容較為雜亂，亦難以明確表達各單項工作之期中履約情形，建議改為區分各節說明方式。</p>	
	<p>6. 期中報告初稿第 18-19 頁有關各項工作進度圖主要是表達主次要工作細項之差異性，此與一般習慣採呈現預定進度與實際進度差異性之表達方式不同，建議配合修正。</p>	<p>感謝委員的建議，關於各項工作進度圖之修改，已於「期中報告（修正本）」中修正，請參閱「期中報告（修正本）」P122、P124。</p>
	<p>7. 期中報告初稿第 3 頁第 2-1 節前段「本案預計完成工作項目如下：」文字，建議補列本案執行緣由等說明文字；另期中報告初稿內容之錯別字，亦請一併全面檢視修正。</p>	<p>感謝委員的建議，關於章節內容之修改，已於「期中報告（修正本）」中修正，請參閱「期中報告（修正本）」P47。</p>

審查委員	審查意見	修正辦理情形
張 副 教 授 淑 淨	<p>1. 期中報告初稿第 1 頁前段提及「廣域擴增系統已逐漸成為未來世界主要海陸空載具之標準化助導航設備」文字，經查國際上目前仍未接受廣域擴增系統為標準助導航設備，故上段文字之「標準化」用詞，請修正。</p>	<p>感謝委員的指正。已在期中報告（修正本）中修正為<u>廣域擴增系統已逐漸成為未來世界海陸空載具之助導航設備</u>，請參閱「期中報告（修正本）」 P1。</p>
	<p>2. 期中報告初稿第 5 頁有關 Radio Beacon 接收模組自動鎖定電平閾值較高之頻率部分，按 Radio Beacon MF/LF 訊號傳播特性，自動鎖定電平閾值較高頻率，可能會誤導使用者接收距離較遠基準站之差分修正訊號，對修正誤差及提升定位精度效益不高，建議應再配合 Beacon 廣播的 Beacon 站位置與識別資訊，俾獲得最佳定位成果。</p>	<p>感謝委員的意見，此部分將參考委員謝委員的意見辦理。</p>
	<p>3. 執行本案最主要之目標，在於有效整合內政部國土測繪中心衛星即時動態定位系統，擴大服務使用績效。故就使用者實務應用需求而言，採用航空導航指標做為使用情境、需求之效能評估，並不十分妥適。至於航海導航需求部分，目前許多新的助導航技術，已逐漸利用陸基式固定參考站架構，在效能要求方面也訂定相關規範，請成大工作團隊評估參考。</p>	<p>感謝委員的意見。有鑒於本案之目標為有效整合內政部國土測繪中心衛星即時動態定位系統，擴大服務使用績效，本團隊將會開始研究評估廣域差分修正訊息是否可以應用在於更為實際之其他應用，例如，航海與陸運。而目前相關文獻蒐集顯示在航海導航需求已訂定相關規範，於期末報告中將會試圖評估將本案所產生之廣域差分修正訊息實現於海域及陸域的導航標準。</p>
	<p>4. 本案採用 Wide Area Differential GNSS 方法做為廣域差分系統核心技術，雖然成大團隊已採用完整性指標（Integrity flag），來強化導航定位的安全性與可靠性，但受限於實體參考站設置間距及電離層電子活動等因素影響，在誤差修正與定位演算</p>	<p>感謝委員的意見。目前本團隊在期中報告確實為使用 Pre-Broadcast Integrity Monitor 方式來評估本系統之效能。而在真實的導航情形上確實為使用訊號廣播後</p>

	<p>的過程中，仍存在著許多不確性。又本案目前所規劃設計之完整性監控方式，係屬廣播修正訊息服務前之 Pre-Broadcast Integrity Monitor 方式，且分析方式著重於精確度的評估。但在完整的航海助導航應用上，一般均再利用訊號廣播後之 Post-Broadcast Integrity Monitor 機制，來達到完整性監控的目的。故本案後續研發成果如規劃應用於航海助導航領域，建議成大團隊可將上述機制納入考量。</p>	<p>之 Post-Broadcast Integrity Monitor 機制，本團隊預計將對此機制進行研究並評估是否可提供本團隊在完成本案之研發成果後之研究發展方向。</p>
	<p>5. 期中研究報告初稿中雖已初步區分各類定位誤差項，惟目前電離層誤差修正模型之演算法則，究係僅採用單參考站資料進行電離層誤差格點演算，抑或採用參考站網內插計算方法，其與美國採用分布於全球各地參考站所計算產生之廣域性電離層誤差格點之差異性為何？又採用網路進行數據傳輸方式，從誤差修正之產生到發佈過程的通訊效能對此廣域差分系統效能的影響如何，均請成大團隊於期中報告修正本補充說明。</p>	<p>感謝委員的意見。由於本案乃針對臺灣地區使用者提供廣域差分修正量，故修正量中之電離層誤差修正訊息與美國使用全世界之參考站所產生之電離層誤差修正訊息目標不同。而本案之電離層修正模組與美國 National Satellite Test Bed (NSTB) 所採用的電離層修正模組之演算法則相同，都是遵照 WAAS MOPS 標準文件計算。目前廣域差分系統主控站只使用分布於臺灣的參考站來產生電離層格點，而其他國際參考站產生的電離層格點，不一定符合臺灣地區電離層的真实情況，而由分布於臺灣的參考站所產生之電離層格點為臺灣上空電離層真實情況，因此，本案使用臺灣參考站產生之電離層格點，暫時不考慮使用其他國際參考站產生之電離層格點。另外就理論上而言，運用網路傳遞之廣域差分修正訊息會有通訊延遲的情況發</p>



		<p>生，但在實際運用上，廣域差分修正量的傳遞符合 WAAS MOPS 的規範，尚未看出通訊延遲對廣域差分系統傳遞修正訊息造成之影響，未來可以將通訊延遲對本廣域差分系統所產生的修正量在進行更深入的探討。</p>
	<p>6. 有關使用者端多頻段差分修正訊號接收器平臺部分，就目前雛型產品係包括 Radio Beacon MSK、FM RDS-TMC 及 2G/3G/3.5G 高頻無線網路等 3 種獨立訊號接收模組，其接收天線是否亦為各自獨立，請說明。(七) GNSS 衛星定位接收模組由 ublox LEA-5t GNSS 接收模組改採 Trimble BD970 GNSS 接收模組，其需提高之成本金額，請分析說明。</p>	<p>謝謝委員的寶貴意見，依照不同的波長可分藍芽天線、Beacon、GSM 以及 GPS 天線四個獨立天線。而雖然模組中拿掉 FPGA 後，將減少成本約為 500 USD，但更換後之 GNSS 接收儀模組會由原來的 50USD 增加到 2000USD，因此兩相加減後，成本其實是增加的，但其效能及軟體之可開發性則可增加不少。詳情請參閱「期中報告(修正本)」P62、P64。</p>

審查委員	審查意見	修正辦理情形
侯 科 長 進 雄	<p>1. 內政部國土測繪中心 e-GPS 即時動態定位系統目前僅提供國內測繪業務使用，而本系統研發完成後，將可進一步擴展成為 1 套「高精度商用導航系統」。鑑於一般民眾並不瞭解廣域差分定位系統所涵括之技術層面與可提供之服務，建議成大團隊於期末報告時，多配合以圖表分析比較本案研發之離型產品與現有市售衛星導航商品在定位精度、種類、價格、適用範圍及功能等市場分析層面之差異性，俾提供該中心做為後續實體建置並全面開放提供服務宣導使用。</p>	<p>感謝委員的意見。本團隊已於期中報告(修正本)中增加「本案研發之離型產品與現有市售衛星導航商品之市場分析層面之差異性圖」，於圖中顯示一般市面上現有之商用導航定位系統、廣域差分系統與其他常用定位系統之定位精度與適用範圍，請參閱「期中報告(修正本)」 P3。並於期末報告中，針對市場層面與未來應用方向進行詳細分析、評估與探討。</p>
	<p>2. 期中研究報告初稿第 117 頁結論中提及現有衛星觀測資料項中，尚缺長效型星曆、簡易電離層模組參數及 Doppler 速率參數等項，請成大團隊務必於結案前，尋求相關解決或替代方案。</p>	<p>感謝委員的意見。本團隊正積極研究分析缺乏以上幾項參數後是否會對主控站演算法造成影響，目前已經以 Pseudorange 每秒的變化量 (Pseudorange rate) 進而估算出 Doppler 速率代替。而長效型星曆以及簡易電離層模組參數的影響以及其可能解決方式都正在研究評估中。本團隊將於期末報告附上相關分析結果。</p>
	<p>3. 期中報告初稿第 13 頁提及「定位軟體程式撰寫」工作項經檢核後，發現經緯度計算成果有誤，請具體分析其發生原因。</p>	<p>謝謝委員的意見，由於接收器產生的訊號為 binary 檔案，當時在進行解碼時發生變數型態設定錯誤(原本資料型態設定為 float，最終設定為 long)，不過在修正過後，在實作上已經可達到正確之功能。請參閱「期中報告(修正本)」 P119。</p>

審查委員	審查意見	修正辦理情形
陳 技 正 鶴 欽	1. 本案成大團隊期中報告內容豐富，應於肯定。另期末報告中建議加強未來 WADGNSS 技術在政策形成的分析與討論。	感謝委員對於本團隊的肯定。本團隊將於期末報告中加強未來 WADGNSS 技術在政策形成的分析與討論。
	2. 期中報告初稿第 32 頁提及 NSTB 資料格式？請補充說明此格式基本定義及用途。	感謝委員的提醒。本團隊已將 NSTB 資料格式之說明增加於期中報告(修正本)中，請參閱「期中報告(修正本)」P17- P18。NSTB (National Satellite Test Bed)為美國聯邦航空總署為評估廣域增強系統的演算法所建構的原型機，最多曾經擁有超過 30 個參考站分布在美國大陸，NSTB 參考站會將每次所收到的觀測量進行存檔，並將檔案放在網路上供使用者下載，而 NSTB 參考站所傳送與儲存的觀測量格式即稱為 NSTB 資料格式。此資料格式包含了 GPS 觀測量、星曆資料、長效型星曆資料等。
	3. 成大團隊對本案規劃研發之硬體設備已有初步成果，有關期中報告初稿第 5-1 節及第 5-章節所開發之硬體涉及 RF 端頻率接收及訊號調解、降頻等作業，對於可能引起之頻率干擾、溫度影響等因素，如何處理？	謝謝委員的意見，本團隊對本案規劃研發之硬體設備最後將會分為兩個部分，一個是整合式平臺，另一個為多頻段接收模組，多頻段接收模組會裝箱在盒內，兩者皆可獨立運作。此外，由於頻率相差很大故不會有頻率干擾之問題，而硬體相關零件的工作溫度為攝氏 -40~85 度，故不會造成影響。詳情請參閱「期中報告(修正本)」P63。
	4. 期中報告初稿第 71 頁改用 Trimble BD970 GNSS 接收模組除功能應滿足可接收 GPS/GLONASS/Galileo 之 L1 資料外，亦	謝謝委員的意見，改用 Trimble 的敏感度規格 Tracking & Navigation 時為

	<p>應符合原作業規格需求書中敏感度 (Sensitivity)、「Cold Start」等項目規定，建議於期中報告修正本中補充說明。</p>	<p>-155dB，Coldstart的敏感度為-158dB時間約為五秒，以上規格符合國土測繪中心之規範，此部分將會在「期中報告(修正本)」中說明，請參閱「期中報告(修正本)」P66。</p>
	<p>5. 期中報告初稿第 71 頁有關 Trimble BD970 GNSS 接收模組之規格中提及 GPS 有 L1 C/A、「L2E」、L2C、L5 等等，「L2E」所指為何？請說明。</p>	<p>謝謝委員的意見，L2E 為 Trimble 模組 L2P 訊號之追蹤訊號格式，此部分將會在「期中報告(修正本)」中註明，請參閱「期中報告(修正本)」P66。</p>
	<p>6. 期中報告初稿第 78 頁提及導航演算法中僅有「GPS」一種導航系統？請說明。</p>	<p>謝謝委員的意見，本案案主要為以GPS為依據，若要加入另外兩者之訊號(Galileo and Glonass)，建議可在下期計畫案中規劃。請參閱「期中報告(修正本)」P69。</p>
	<p>7. 期中報告初稿第 123 頁提及已開發對流層誤差修正模組來消除對流層誤差，不知所使用模式為何？本中心 98 年度已發展出一個適用於臺灣之 Modified Hopfiled 模式，是否可將其納入使用，提升導航定位精度。</p>	<p>感謝委員的意見。目前本團隊所使用之對流層誤差模組為 Saastamoinen 誤差模型配合 Black &amp; Eisner mapping 函式，本案中所提及之對流層誤差模組是使用於參考站觀測量修正處理，並非提供給一般 WADGNSS 使用者使用之修正模組。本團隊將考量是否可以將先前計畫建置之對流層加入本廣域差分系統主控站，若此先前建置之臺灣地區對流層模組在程式語言上與廣域差分主控站系統無不相容性之問題，或其可轉換成廣域差分主控站系統相同之程式語言，則在未來可考慮加入臺灣地區對流層模組以對廣域差分系統</p>

		進行分析與研究，並更進一步改進廣域差分系統之誤差修正及提升廣域差分系統之效能。
--	--	---

1. 本案研發之廣域差分定位系統將以符合臺灣地區服務使用為原原則，其所需參考站之數量及分布範圍應如何規劃？本中心 e-GPS 即時動態定位系統目前已有 79 處衛星定位基準站連線運作，上開基準站衛星觀測資料是否有必要全數納入本主控平臺一併解算？又當本系統可加入聯合解算之參考站逐漸增加時，按目前所採用之電離層誤差修正模型演算法則，是否可明顯提升其誤差修正效能，請說明並提出具體建議。

感謝委員的意見。本團隊目前是以四個參考站來產生廣域差分修正訊息，其參考站所選取的分布範圍以東南西北四個地區各一個參考站。未來本團隊將會逐漸增加參考站數目進行測試，其幾何分布範圍以趨近圓形為原則。而是否有必要納入全數 e-GPS 定位基準站，加入過多參考站會使廣域差分主控站運算量負擔過大，而參考站的分布地理位置只要適當的選擇即可以使參考站之幾何分布達最佳化，因此不需納入全數 e-GPS 定位基準站。參考站逐漸增加可使其幾何分布越趨近圓形，理論上而言可提升誤差的修正效能，然而實際效能提升情況還需要經由廣域差分主控站測試過後，才能加以分析及確認。另外以理論基礎只要參考站愈多，主控站所產生的電離層誤差修正模型會愈準確，但是參考站數與修正模型的準確度並不是以線性的方式成長。當參考站數達一定數目，修正模型準確度很難繼續上升。故本團隊建議找出最佳的參考站分布，如此一來可以降低主控站系統之運算負擔，並且不影響廣域差分修正訊息之效能。而相關測試會在期末報告完成。

2. 本案初步研發成果目前係以航空導航需求做為測試評估指標，建議應規劃不同的測

感謝委員的意見。本團隊將開始研究探討使用廣域差分

	<p>試模式，以滿足不同領域使用需求，特別是陸域且非測量領域之導航定位使用者，俾擴大系統使用對象，提升服務績效。</p>	<p>修正訊息於陸域或航海的相關應用，若可以找到陸域與航海之導航需求，廣域差分定位系統將可依照此導航需求來給予此類使用者導航應用之保障，即可將此系統給予該使用者使用，而此類分析報告將於期末報告提出。</p>
	<p>3. 本案系統國家科技計畫之分支計畫，為提升執行本案之工作績效，本案相關研發履約成果中，是否有申請專利之可能性及其相關技術移轉可行性如何？請於期末報告具體說明。</p>	<p>感謝委員的意見。本團隊將把申請專利之可能性及其相關技術移轉可行性納入考量，並且將於期末報告附上分析結果。</p>
	<p>4. 目前國際上已運作之星基或陸基型廣域差分定位系統之營運方式為何？是否涉及收費問題？請就其商業性及市場價值，蒐集相關資料提供本中心參考。</p>	<p>感謝委員的意見。目前發展較為完整的星基或陸基型廣域差分定位系統為美國的WAAS、日本的MSAS、歐盟的EGNOS與美國NDGPS（或加拿大的CNDGPS）。目前此這些系統都是由該政府相關公部門建置完成，且這些系統並無直接向消費者或使用者收取相關費用，所有營運是由美國政府所負責，並透過相關設備廠商販賣相關導航商品之稅收來間接收費。另外本團隊所建置之廣域差分系統之商業性及市場價值的相關分析評估結果將包含於本案之期末分析報告。</p>

## 期末審查委員意見及修正辦理情形

壹、時間：99 年 12 月 10 日（星期五）上午 9 時 30 分

貳、地點：國土測繪中心 4 樓第一會議室

參、主持人：劉副主任正倫

記錄：王敏雄

肆、出席單位人員：史教授天元、侯科長進雄、黃廠長振哲、陳技正鶴  
欽、

伍、委員審查意見（依發言順序）

審查委員	審查意見	修正辦理情形
史教授 天元	1. 本案建構廣域差分定位系統之主控站系統，現階段雖已初步達成精確性及完整性等指標驗證，惟其中主控站系統功能操作介面、運算效能、WADGNSS 修正訊息發布機制及使用者端之應用效能等，仍僅處於前期規劃之運作狀態，建議成大團隊能進一步針對內政部國土測繪中心後續應如何達到正式營運目標部分，於工作總報告書中提出具體可行之改善建議。	感謝委員的意見。本團隊針對後續營運目標部分，已於「工作總報告書(修正本)」中提出具體可行之改善建議，請參閱「工作總報告書(修正本)」P205~P207 章節 8-2。
	2. 本案 GNSS 衛星定位接收硬體設備，目前係採用可接收 GPS/GLONASS/Galileo 等 3 種不同星系之 Trimble BD970 GNSS 模組，惟工作總報告書中目前係依據採購契約規定，僅呈現 GPS 星系之測試成果，是否可再將 GLONASS 星系之相關測試納入後期規劃工	感謝委員意見。Trimble BD970 GNSS 模組可收到 GPS/GLONASS/Galileo 等 3 種不同星系，目前由於許多 e-GPS 參考站僅具接收雙頻 GPS 訊號功能並沒有接收 GLONASS 或 Galileo 訊號之功能，因此目前主控端針對參考站所接收之 GPS 訊號作處理，計算並傳送修正量。所開發之使用者端裝置則可接收此修正量與 BD970 接收機所收到之衛星訊號進行更精準之定位。本案目前以 GPS 星系之訊號處理呈現測試成果，但由於接收機具有



	<p>作，請具體評估其可行性。</p>	<p>接收其他星系衛星之功能，故建議於後續研究中進一步建立 GLONASS 與 Galileo 之訊號修正功能。</p>
	<p>3. 期中報告其他委員指出本系統因現有衛星觀測資料項中，尚缺少長效型星曆及簡易電離層模組參數等項，其最後之解決或替代方案為何？請詳細補充說明。另有簡易電離層模組參數之取得，是否可參考中央大學蔡龍治教授近期所提出之臺灣地區電離層模式，請成大團隊進一步瞭解評估。</p>	<p>感謝委員的意見。本團隊進行研究分析後，發現長效型星曆(Almanac data)部分對於演算法的貢獻可以使用 Ephemeris 替代，另外簡易電離層模組參數資料為使用接收機收下後輸入至系統即可，而更新週期為每六天一次。此部分的修改皆在結果上作過分析，並確認其可用性及正確性。另外，中央大學蔡龍治教授所提出之臺灣地區電離層模式為電離層本身運行模式，而廣域差分定位系統針對電離層所造成的訊號延遲，也就是估算出電離層在虛擬距離量測值上造成的誤差，並有規定符合現有廣播傳輸頻寬之適用於廣域差分定位系統之電離層模型（請參考「工作總報告書(修正本)」中 3-2-3-1 節「電離層薄球殼模型」），故兩者之間有相當大之差異性，所以無法使用蔡龍治教授所提出之臺灣地區電離層模式。</p>

審查委員	審查意見	修正辦理情形
侯 科 長 進 雄	1. 工作總報告書初稿文字「計劃」請修正為「計畫」。	感謝委員的指正，已於「工作總報告書(修正本)」中修正。
	2. 工作總報告書修正本請增列「摘要」乙節。	感謝委員的意見，此部分已依照委員的意見辦理，請參閱「工作總報告書(修正本)」中之「摘要」。
	3. 工作總報告書初稿第 147 頁之第六章標題為「成本與市場分析」，按本章節原意當以建置本系統在臺灣之發展性，及對 GNSS 導航定位商品市場之需求潛勢影響及研發使用者端軟體設備雛型之相關成本分析為論述之重點，惟主文中除第 6-4 節略論述及於導航產業之相關應用外，其餘各節均似與標題原意不甚相符，請修正。	感謝委員的意見。本團隊已參考委員意見，針對工作總報告書第六章「成本與市場分析」內容進行修正，請參閱「工作總報告書(修正本)」之第六章「成本與市場分析」(P171~P185)。
	4. 本案已完成使用者端多頻段差分修正訊號接收模組及整合式定位系統操作平臺等硬體研發工作，惟上開雛形產品對於後續可應用領域及使用族群之設定層面上，目前工作總報告書初稿中所展現的，似僅止於航空及海運方面，並未探討一般民生方面及普羅大眾的應用，請補充說明。	感謝委員的意見。本團隊已參考委員意見，針對後續可應用之領域，於「工作總報告書(修正本)」之第六章「成本與市場分析」中，針對現今大眾使用 GNSS 導航產品分析其市場規模，新增一般民生方面及其它可能之應用。請參閱「工作總報告書(修正本)」之 6-4 節「導航定位商品市場之需求潛力及趨勢」(P182~P184)。
	5. 有關使用者端雛形產品之造價分析部分，除請就本案研發之各項軟硬體成品提列成本金額外，另針對不同應用領域使用	感謝委員的意見。本案開發之三種使用者端定位演算元件，雖以人力資源為主，較無法評估其實際成本及效益。但開發後單元價值，可以比造其他設備製造商置入硬

	<p>族群在實際應用上須額外負擔之使用成本如通訊資費、圖資或其他週邊設備及安裝、驗證等費用，亦請成大團隊廣泛地進行相關資訊之蒐集與分析，俾提供國土測繪中心後續規劃營運與推廣之參考。</p>	<p>體之造價，詳情請參閱「工作總報告書(修正本)」之 6-3-2 節「研發使用者端軟體元件成本與效益分析」(P180~P181)。而關於不同應用領域使用族群在實際應用上需額外負擔之使用成本，可參閱「工作總報告書(修正本)」之 6-4-2 節「一般民生方面及普羅大眾的應用」(P182~P184)。</p>
	<p>6. 工作總報告書初稿第 154 頁第七章「工作進度與時程掌控」部分，其中第 162 頁及第 165 頁針對 GNSS 接收模組及整合平臺之「作業進度」末段文字，分別顯示「整體進度落後」及「進度延遲」等語，惟實際進度卻已顯示完成，容易發生混淆情事，請查明修正。另依本案採購契約規定，工作總報告書內容並未包含「工作進度與時程掌控」章節，本案既已於履約期限內完成應辦工作，自無再行進度管控之必要性，建議本章節可予以簡化並改置附錄。</p>	<p>感謝委員的意見。此部分已依照委員的意見辦理，請參閱「工作總報告書(修正本)」中之第七章「工作進度與時程掌控」。</p>
	<p>7. 本案 WADGNSS 修正訊息係設計透過 2G/3G/3.5G 高頻無線網路傳輸，為便利使用者進行先期規劃應用，請成大團隊研究是否可提供臺灣地區無線網路收訊強度分布圖，提升系統服務效能。</p>	<p>感謝委員的意見。本案多頻段訊號接收模組採用多模方式之設計具有接收 radio beacon、FM RDS、2G/3G/3.5G 無線網路與藍牙訊號之功能。使用者端整合式平臺可依所在位置之收訊情形設定不同收訊模式。同時，接收機亦可自動搜尋可取得修正訊號之來源，自動設定收訊模式。此部分已依照委員的意見辦理，請參閱「工作總報告書(修正本)」中之附錄 D「臺灣地區無線網路訊號收訊強度分布圖」。</p>

	<p>8. 本案研發之使用者端雛形產品是否可輔助改善金馬地區時常發生「霧鎖機場」之飛機進場起降問題。</p>	<p>感謝委員的意見。使用廣域差分定位系統目前是可輔助改善「霧鎖機場」之飛機進場問題，但如要將本案研發之廣域差分定位系統及將使用者端雛形產品安裝在飛行載具上的話，必須先經過飛航認證，通過各樣檢核後，方能使用本案研發之廣域差分定位系統的軟硬體，並將本案研發之使用者端雛形產品安裝在飛機上，提供導航資訊的功能。目前臺灣還未認證本案研發之使用者端雛形產品，故短期內無法解決金馬地區飛行載具「霧鎖機場」之飛機進場起降問題。</p>
--	--	---

審查委員	審查意見	修正辦理情形
黃 廠 長 振 哲	<p>1. 工作總報告書初稿第 120 頁有關廣域差分定位系統利用參考站資料進行修正訊息演算之選定原則部分，係將參考站數由 4 個依序增加至 8 個，並以枋寮站作為模擬使用者端，分別進行系統效能之測試評估，其參考站之選定是否有分布上之限制性條件，例如須分布於服務區外圍或隨機選取即可。另使用者端測試站如改選位於臺灣北部或中部地區，其對定位精確性及完整性等測試結果，可能會產生那些差異或影響，請說明。</p>	<p>感謝委員的意見。由於使用廣域差分主控站演算法進行硬體頻差延遲誤差之估算，並非所有的參考站都能夠完成估算，只有某些參考站情形才能完成整個估算流程。其可以完成硬體頻差延遲誤差估算之參考站如「工作總報告書(修正本)」中之表 5-1 所示(P129)。針對選用不同參考站作為模擬使用者端，其結果增加於「工作總報告書(修正本)」中之表 5-2(P134)，由表 5-2 可看出其水平定位誤差並沒有因為使用者測試站所在之地區不同而有所顯著差異。</p>
	<p>2. 工作總報告書初稿第 3 頁圖 1-2 所列舉各類衛星導航系統之「可靠度」欄位部分，按該頁主文中描述指為系統可提供導航機可靠性之訊息，並以廣域差分定位系統之可靠度為最高，惟一般認知的「可靠度」通常指的是系統或其物理結構，即其他系統亦有不同之可靠度評估方法與數據，請成大團隊斟酌考量本文使用「可靠度」此一名詞之妥適性。</p>	<p>感謝委員的意見。此部分已參考委員的建議辦理，並以「完整性」一詞，取代原有的「可靠度」一詞，此名詞替換，較不易產生誤解，並可顯示出本系統之優越性。請參閱「工作總報告書(修正本)」中之圖 1-2(P4)。</p>
	<p>3. 工作總報告書初稿第 25 頁有關「Amb 為 L1 與 L2 載波相位所組成的不確定週波數，是由公式 3.3 和 3.4 中的 <math>N_1\lambda_1</math> 與 <math>N_2\lambda_2</math> 相減而成」，請成大團隊</p>	<p>感謝委員的指正。已於「工作總報告書(修正本)」中修正，原文內提及之公式 3.3 和 3.4，實為公式 2.3 和 2.4，此部分已經修改為正確之公式來源。請參閱「工作總報告書(修正本)」P26。</p>

	再予查明上開公式之正確性。	
	<p>4. 工作總報告書初稿附錄第 A-53 頁之「本次檢核結果」部分，其中「已達成進度」及「未達成進度」2 欄均予以註記勾選，按本項辦理系統整合測試、效能精度評估工作之檢核事項欄註記為「已完成」，其檢核結果應為「已達成進度」，請查明修正之。</p>	<p>感謝委員的指正。此錯誤已於「工作總報告書(修正本)」中之 A-55 頁修正。</p>

審查委員	審查意見	修正辦理情形
陳 技 正 鶴 欽	1. 工作總報告書初稿第 149 頁提及 GPS 導航迷途受困等案例，除導航定位技術問題外，尚有圖資問題，應稍加說明，避免將所有問題均歸咎於導航技術，以宣導正確觀念。	感謝委員的意見。GPS 導航迷途受困等案例，有許多因素導致。一般眾所皆知的問題為 GPS 定位不夠精確，使得使用者用 GPS 所定位的結果和真實的位置不符，導致危險的發生。此外，另一項可能為導航機所使用之圖資過舊，某些路段經過道路修改，亦或是封路後，導航機內的圖資沒有更新，使得導航錯誤，也是導致危險發生的原因。
	2. 有關工作總報告書初稿之結論與建議部分建議應分開撰寫，其中結論部分除一般文字描述外，應增加數據以讓閱讀者快速掌握成效；另建議部分，建議增加國土測繪中心未來在本系統可努力改進方向、推廣方式等等，以作為未來系統營運及推廣相關規劃作業之參考。	感謝委員的建議。此部分已參考委員的建議辦理，請參閱「工作總報告書(修正本)」中之第八章「結論與建議」。
	3. 建議於工作總報告書修正本適當處，補充說明未來使用者端使用本系統與現行設備、價格差異，以作為終端商品業者開發之參考。	感謝委員的建議。關於未來使用者端使用系統與新型設備之價格差異，已於「工作總報告書(修正本)」中之表 6-2 作補充，請參閱「工作總報告書(修正本)」P177。
	4. 工作總報告書修正本請增列「英文摘要」。	感謝委員的意見，此部分已依照委員的意見辦理，請參閱「工作總報告書(修正本)」中之「摘要」。

審查委員	審查意見	修正辦理情形
劉 副 主 任 正 倫	1. 工作總報告書初稿中多處提及「本案」或「本計畫」等詞，請統一。	感謝委員的指正，此部分已依照委員的意見辦理，將文中提及「本案」或「本計畫」等詞，統一為「本案」一詞。
	2. 工作總報告書初稿第3頁圖1-2所列舉各類衛星導航系統之「可靠度」欄位部分，目前係以「○」、「×」來表達各系統是否具備提供可靠性訊息功能，建議是否可改採「高」、「中」、「低」或其他適當之表達方式，俾符實際。另該圖第4項所列「使用動態定位技術之導航機」乙欄，其動態定位精度可高達1cm-10cm，其究指應用何種動態定位技術之導航機，請補充說明。	感謝委員的意見。本團隊經討論決定使用「完整性」一詞，取代原有的「可靠度」一詞，此名詞替換，較不易產生誤解，並可顯示出系統之優越性。並用「有」、「無」取代原有的「○」、「×」，使表格內容更具體，更符合實際。請參閱「工作總報告書(修正本)」P4。文章內容所述之動態定位技術，目前較知名的技術為 Real Time Kinematic (RTK)，是基於 GPS 衛星訊號載波相位量測量，並使用參考站提供即時修正量，定位精度可達公分級。目前廣泛運用於土地量測以及水文量測，此技術又常稱為 Carrier-Phase Enhancement, CPGPS。
	3. 本案已研發完成國內第1套 WADGNSS 廣域差分定位系統之主控站系統及使用端雛形產品，惟工作總報告書初稿第12頁至15頁提及歐美日等先進國家業已先後完成類似系統建置工作，並陸續進入營運服務階段。目前臺灣本地使用者是否可順利接收並正常使用上述國外系統所提供之 WADGNSS 廣域差分訊息？與使用國內系統有何差異性？須採購那些軟硬體設備？是否須付費使用？請分	感謝委員的意見。因歐美日等先進國家已將 WADGNSS 技術發展成熟，並進入營運服務階段，故其傳送修正資訊的方式皆是透過同步衛星傳送，臺灣目前可以收到的修正資訊只有日本的 MSAS (MTSAT Satellite-based Augmentation System) 星基擴增系統，但臺灣地區位於的東南亞地區雖然可接收來自日本 MSAS 之訊號，但是並未處於日本 MSAS 的法定民航飛航服務範圍(service volume)之內，所以日本 MSAS 在臺北飛航情報區的使用是沒有安全保證。



	<p>別予以補充說明，俾提供本中心作為評估系統後續營運推廣之可行性及必要性之參考。</p>	<p>使用廣域差分定位系統與目前國內所提供之其他增廣系統最大的差別，在於廣域差分定位系統，擁有完整性的資訊，而目前國內所提供之其他增廣系則無。使用廣域差分定位系統，可提供使用者使用此修正資訊後最大定位誤差，使用者可視其在執行之任務，決定是否要使用此定位資訊，應用的層面可大幅的擴大。</p> <p>如欲接收日本的 MSAS 的資料做分析，不需要另外付費，而主要使用之軟體設備如下：</p> <p><b>a.天線：</b>用來接收全球定位系統和星基擴增系統訊號。</p> <p><b>b.全球定位系統接收機：</b>可針對全球定位系統和星基擴增系統訊號進行解碼，透過 ASCII 與二進位資料流輸出全球定位系統量測值與星基擴增系統服務訊息。</p> <p><b>c.使用者工作站：</b>處理全球定位系統量測值和星基擴增系統衛星服務訊息，並計算保護極限值相關運算式，將結果顯示在監控系統的使用者圖形化介面。</p> <p>此接收器必須達到 1 Hz 之資料更新頻率，也就是說所有資料運算和檔案儲存傳送的功能皆須在一秒之內完成才能滿足即時監測的要求。</p>
	<p>4. 工作總報告書初稿第 120 頁提及本系統參考站首先選用 Trimble NetRS 型號之衛星定位接收儀觀測資料，作為解算 WADGNSS 修正訊息使用，其是否具有特殊含意？請說明。</p>	<p>感謝委員的意見。由於在增加參考站於廣域差分系統主控站即時運算之前，必須先估算此參考站之硬體頻差延遲誤差 (Inter Frequency Bias, IFB)。但使用廣域差分主控站演算法進行硬體頻差延遲誤差之估算時，並非所有的參考站</p>

		<p>都能夠完成估算，某些參考站情形才能完成整個估算流程。如「工作總報告書(修正本)」中之表 5-1 所示(P129)，這些參考站中，以接收器為 Trimble NetRS 型號之參考站為多，而選用接收器為同樣型號之參考站其硬體頻差之殘餘誤差較為一致，由於以上原因，本系統參考站選用 Trimble NetRS 型號之衛星定位接收儀觀測資料，作為解算 WADGNSS 修正訊息使用。</p>
	<p>5. 工作總報告書初稿第 123 頁提及「考量定位精確度與系統運算負擔」部分，按第 124 頁圖 5-9 顯示採用 7 個參考站之水平定位誤差(+1.686m)，其定位精度較採用 6 個參考站之水平定位誤差(+1.766m) 高，為何本案在後續定位測試中，選擇採用 6 個參考站進行 WADGNSS 修正訊息解算，其是否與「系統運算負擔」因素有關，請說明。</p>	<p>感謝委員的意見。在後續的定位測試中，主控站所採用之此六個參考站皆成功完成硬體頻差延遲誤差，且為同一型號的接收器，並在資料的接收上相對其他參考站測試穩定，不會有資料中斷不連續等問題發生。而在運算負擔方面，使用六個參考站與七個參考站之運算負擔相去不遠，由於使用七個參考站並沒有得到較明顯的改進，故最後採取此六個長時間穩定之參考站作為定位測試。</p>
	<p>6. 工作總報告書初稿第 133 頁說明本案係以航海/海運使用者進行廣域差分定位系統之相關測試與評估分析，惟同頁次段文字則描述「由於航空之導航需求規範對於精確度與完備性有更加要求，故要使用本系統達成有一定程度的困難」，請成大團隊就國內民航界之要求、可能遭遇之困難及可行的改善方案等層面，進一步補充說明。</p>	<p>感謝委員的意見。關於航空之導航需求規範，請參閱「工作總報告書(修正本)」中之表 2-1(P13)。針對國內民航界之要求、可能遭遇之困難及可行的改善方案已於「工作總報告書(修正本)」中說明，請參閱「工作總報告書(修正本)」中 6-4-1 節(P182~P184)。</p>

	<p>7. 工作總報告書初稿第六章「成本與市場分析」與第八章「結論與建議」部分，業經各委員及業務單位提出相關具體修正意見，請成大團隊再廣泛蒐集國內外相關資訊，並綜整本案各項研發成果，大幅修正相關內容。</p>	<p>感謝委員的意見。本團隊針對工作總報告書初稿第六章「成本與市場分析」與第八章「結論與建議」之內容，已參照委員意見進行修改，請參閱「工作總報告書(修正本)」中之第六章「成本與市場分析」與第八章「結論與建議」。</p>
	<p>8. 工作總報告書初稿第 154 頁第七章「工作進度與時程掌控」部分，本案既已全數完成各項履約工作，為精簡工作總報告書內容，請就工作管控之主要事項或期間遭遇困難等，進行重點式的描述，甚至考慮移列至附錄。另附錄部分之相關文件資料如各次工作會議紀錄等，亦可考量予以精簡化，以重點式條列說明。</p>	<p>感謝委員的意見。此部分已依照委員的意見辦理，請參閱「工作總報告書(修正本)」中之第七章「工作進度與時程掌控」。</p>

## 參考文獻

莊智清、黃國興，電子導航，全華科技圖書，2001。

劉慶鴻，UNS利用網際路提供星基增強系統，碩士論文，國立成功大學航空太空工程研究所，2006。

Alvarado, F. L., The Matrix Inversion Lemma The University of Wisconsin Madison, Wisconsin, 53706, USA, March 24, 1999.

BD970 GNSS receiver module user guide, version 4.1, Trimble com., 2010.

Black, H.D., “An Easily Implemented Algorithm for the Tropospheric Range Correction”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 83, No. B4, April 10, 1978.

Chan, C. H., “The Analysis of Data from APEC Region Global Navigation Satellite System Test Bed”, Department of Aeronautics and Astronautics Thesis, National Cheng Kung University, 2007.

Chao, Y. C., “Real Time Implementation of the Wide Area Augmentation System for the Global Position System with an Emphasis on Ionospheric Modeling”, Department of Aeronautics and Astronautics Thesis, Stanford University, 1997.

Chao, Y.C., Tsai, Y.J., Walter, T., and Kee, C., “The Ionospheric Delay Model Improvement for the Stanford WAAS Network”, *Proceedings of ION National Technical Meeting 95*, Anaheim, CA., Jan. 18-20, 1995.

D. Heller, “Motif Programming Manual (for OSF/Motif 1.1) ”, Vol 6, O’Reilly & Associates, Inc., 1991.

Don Talend, West Dundee, and Illinois, “Vehicle Positioning with GNSS — at the Speed of Sound”, *Inside GNSS*, November 8, 2009.

E. D. Kaplan, *Understanding GPS: Principles and Application*, Artech House Publishers, Boston, MA, 1996.

Jan, S.S., the handout of “Satellite Navigation Modernization”, Department of Aeronautics and Astronautics, National Cheng Kung University, 2007.

Kee, C., Parkinson, B. and Axlerad, P., “Wide Area Differential GPS Navigation”, *Journal of the Institute of Navigation*, vol.38, no.2, Summer, 1991.

Kee, C., "Wide Area Differential GPS (WADGNSS)", Department of Aeronautics and Astronautics Thesis, Stanford University, 1993.

Kelly, R.J. and Davis, J.M., "Required Navigation Performance (RNP) for Precision Approach and Landing GNSS Application", *Journal of the Institute of Navigation*, Vol. 41, No. 1, 1994.

Klobuchar, J.A., "Design and Characteristics of the GPS ionosphere Time Delay Algorithm for Single Frequency Users", *Proceeding of IEEE Position Location and Navigation Symposium*, Las Vegas, NV, 1986.

Leo Eldredge, Per Enge, Mike Harrison, Randy Kenagy, Robert Lilly, Sherman Lo, Robert Loh, Mitch Narins, and Rick Niles, "GNSS Vulnerability and Alternative PNT", *GPS World*, July 1, 2010

Lin, Y. C., "Improving GNSS Ionospheric Correction in Asia Pacific Region", Department of Aeronautics and Astronautics Thesis, National Cheng Kung University, 2006.

Parkinson, B.W. and Spilker, J.J., "*Global Positioning System : Theory and Application*", American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.

P. Misra, and P. Enge, "Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance", Second Edition, Ganga-Jamuna Press, Lincoln, MA, 2006.

Press, William H., Saul, A., Teukolsky, William T. Vetterling, and Brian, P. Flannery, "*Numerical Recipes in C : The Art of Scientific Computing*", 1992.

Pringvanich, N. and Satirapod, C., "SBAS Algorithm Performance in the Implementation of the ASIAPACIFIC GNSS Test Ben", *The journal of navigation*, Vol. 60, 2007.

RTCM 10402.3 Recommended Standards for Differential GNSS, version 2.3, RTCM special committee No. 104, 2001.

Sakai, T., Matsunaga, K. and Hoshinoo, K., "Modeling ionospheric spatial threat based on dense observation datasets for MSAS", *Proceedings of ION-GNSS 21st. International Technical Meeting*, Savannah, GA., Sept. 12-15, 2008.

Sanders, M.A., "Characteristic function of the central chi-square distribution", Retrieved, 2009.

The Radio Technical Commission of Maritime Services.

[http : //www.rtcn.org/default.php](http://www.rtcn.org/default.php)

Tsai, Y.J., Chao, Y.C., Walter, T., and Kee, C., "Evaluation of Orbit and Clock Models for Real-Time WAAS", *Proceedings of the National Technical Meeting, The Institute of Navigation*, Anaheim, California, 1995.

Tsai, Y.J., "Wide Area Differential Operation of the Global Positioning System : Ephemeris and Clock Algorithms", Department of Aeronautics and Astronautics Thesis, Stanford University, 1999.

Tsui, J. B.Y., "Fundamental of Global Positioning System Receivers", John Willey & Sons, 2004.

National Geodetic Survey of United States

[http : //www.ngs.noaa.gov/#](http://www.ngs.noaa.gov/#)

Navigation and Landing Transition Strategy, Federal Aviation Administration (FAA), Washington, D.C., August 2002.

Walpole, R., Myers, R., Myers, S., and Ye, K., "Probability & Statistics for Engineers & Scientists", Pearson Education, Inc., 2007.

Saastamoinen, J., "Contributions to the theory of atmospheric refraction", In three parts : *Bulletin Géodésique*, No. 105, pp. 270-298; No. 106, pp. 383- 397; No. 107, pp. 13-34, 1973.

Schempp, T., Burke, J., Rubin, A., "WAAS Benefits of GEO Ranging", *Proceedings of ION-GNSS 21st. International Technical Meeting, Savannah, GA.*, Sept. 12-15, 2008.

WAAS MOPS (Minimum Operational Performance Standards for global positioning system/ Wide Area Augmentation System airborne equipment), RTCA/DO-229D, 2006.