

精進衛星測量基線網形平差系統 之研究



內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 105 年 12 月

105-301000100G-0001

「精進衛星測量基線網形平差系統之研究」

研究人員：	技正	陳鶴欽
	專員	湯凱佩
	技士	鍾岳龍
	課長	梁旭文

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 105 年 12 月

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

A Study on Improving Satellite Surveying Baseline Adjustment System

BY

He-Chin Chen

Kai-Pei Tang

Yuen-Lung Jung

Hsu-Wen Liang

December, 2016

目次

表次	III
圖次	IV
摘要	VI
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起及背景	1
第二節 研究方法及分工	3
第二章 作業背景及原理介紹	9
第一節 基線平差軟體現況	9
第二節 國內外相關產品或技術之比較	10
第三節 即時動態定位系統作業現況	12
第四節 平差原理	16
第五節 成果檢核功能分析	20
第六節 基線網形平差計算應用於坐標系統轉換	38
第七節 潛在之使用者及推廣	41
第三章 虛擬基線網形平差應用測試	45
第一節 觀測時間長度分析	46
第二節 觀測時間間隔分析	49
第三節 觀測方式及資料處理	51
第四節 已知點檢核	52

第五節 成果計算及檢核.....	54
第四章 虛擬基線網形平差應用測試結果分析.....	55
第一節 大溪實驗區.....	55
第二節 沙鹿實驗區.....	60
第三節 麻豆實驗區.....	64
第四節 西嶼實驗區.....	68
第五節 小結.....	73
第五章 結論與建議.....	75
第一節 結論.....	75
第二節 建議.....	77
參考文獻.....	79

表次

表 1.1 本研究分工表	7
表 2.1 不同機線平差軟體功能項目比較表	11
表 2.2 登錄點提供服務表	14
表 2.3 登錄點坐標系統及 RTCM 版本表	15
表 2.4 104 年度各登錄點使用統計表	16
表 2.5 通過各項檢核之精度檢核報表	36
表 2.6 分量閉合差未通過檢核之精度檢核報表	37
表 2.7 本系統前在使用者分析	42
表 3.1 e-GNSS 即時動態定位系統觀測時間長度坐標成果比較表	48
表 3.2 測回間不同間隔時間成果分析表	50
表 3.3 西嶼實驗區 e-GNSS 觀測 2 測回坐標成果表	51
表 3.4 已知點成果檢核報表	52
表 3.5 已知點成果檢核報表	53
表 3.6 地測檢核成果報表	54
表 4.1 動態計算與「傳統靜態 GPS」成果差異分析表	58
表 4.2 圖根點計算成果差異分析表	59
表 4.3 動態計算與「傳統靜態 GPS」成果差異分析表	62
表 4.4 圖根點計算成果差異分析表	63
表 4.5 動態計算與「傳統靜態 GPS」成果差異分析表	66
表 4.6 圖根點計算成果差異分析表	67
表 4.7 動態觀測與「傳統靜態 GPS」成果差異分析表	71
表 4.8 圖根點計算成果差異分析表	72

圖次

圖 2.2 坐標系平移至 A 點並旋轉 λ 、 φ 角度後之新坐標系示意圖	19
圖 2.3 以 0 長度虛擬基線進行時段接合法平差示意圖	21
圖 2.4 正確時段點位偵錯結果	22
圖 2.5 不同時段之共同點點名誤植偵錯結果	23
圖 2.6 基線交會分布圖畫面	25
圖 2.7 點位位置正確偵錯結果	26
圖 2.8 點位位置有誤偵錯結果	27
圖 2.9 重要基線網形範例	29
圖 2.10 缺少重要基線成果圖	32
圖 2.11 無漏測重要基線成果圖	33
圖 2.12 三角環線閉合圈檢核不符結果圖	34
圖 2.13 三角環線閉合圈檢核合格結果圖	34
圖 2.14 組成虛擬基線示意圖	39
圖 2.15 國土測繪中心鄭副主任代表領取第 2 屆金界獎特優獎	43
圖 3.1 實驗流程圖	46
圖 3.2 澎湖縣西嶼鄉地籍圖重測區加密控制點分布圖	47
圖 3.3 澎湖縣西嶼地籍圖重測區加密控制點及圖根點分布圖	49
圖 4.1 大溪實驗區範圍圖	56
圖 4.2 大溪實驗區點位較差圖	56
圖 4.3 沙鹿實驗區範圍圖	60
圖 4.4 沙鹿實驗區點位較差圖	61
圖 4.5 麻豆實驗區範圍圖	64
圖 4.6 麻豆實驗區點位較差圖	65

圖 4.7 西嶼實驗區範圍圖	69
圖 4.8 西嶼實驗區點位較差圖	69

摘要

關鍵詞：衛星測量、網形平差、虛擬基線、e-GNSS、GPS

一、研究緣起

控制測量為測繪之基礎，完善及高品質精度的控制測量有助於後續各項細部測量的執行，衛星測量目前已廣泛使用在各級控制測量作業。臺灣地區自內政部規劃兼顧延續性及發展性的一系列基本控制測量計畫，自 82 年度起陸續執行「應用全球定位系統實施臺閩地區基本控制點測量計畫」、「國家基本測量控制點建立及應用計畫」、「國家基本測量發展計畫」、「國家測繪發展計畫」及「基本測量及圖資測製實施計畫」，引進新儀器、新技術，依序建立現代化衛星控制網、高程控制網、重力控制網，持續維護已建立之基本控制測量系統，提供完整、統一、高精度之基本控制測量系統成果供各界使用，其中衛星測量技術的引入，帶來革命性的變化。

衛星測量作業方式可分為靜態測量及動態測量，以往辦理控制測量多使用靜態測量作業觀測方式，使用靜態衛星測量包含外業測量及內業資料處理，內業資料處理部分主要分為「基線計算」及「網形平差」等 2 步驟，目前基線測量部分多使用國外儀器廠商之原廠基線計算處理軟體；而網形平差計算部分，以往也是使用國外軟體，但是國外之商業化軟體全為英文介面，造成使用不便且程式親合力不足，另在國土測繪法及基本測量實施規則等相關規定中，明訂以衛星測量方法實施一、二等基本控制測量之精度規範及加密控制測量之精度規範中均提及圖形閉合差、基線重複性等要求，一般商業軟體並無此相對應成果報表，且各家軟體之成果報表呈現結果方式又不一致，肇致國內一般使用者及成果審查人員無法快速對各項規定進行審查，僅能擇部分項目辦理。

在動態測量方面，內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統係採用 VBS-RTK 定位技術，提供使用者即時且高精度之定位服務，每一個測量成果(坐標值)都是互相獨立，與傳統電子測距經緯儀之角度邊長觀測，或傳統靜態衛星測量之基線計算，可獲取高精務之相對定位自有相當程度的差異，這點對於後續需要點位相對精度要求的測繪結果不同，往往造成部分隱憂。

本研究嘗試自行開發衛星測量基線網形平差系統，重新以 C++ 語言開發，除解決

WINDOWS 作業系統問題外，並可將圖形關聯至各項成果資料庫，進行編修，另為配合「辦理加密控制測量注意事項規定」等法規要求，進行適合各項地籍測量作業之「在地化」檢核功能開發，在動態測量方面引入「虛擬基線」的概念，來確認待測點位間相對定位精度，以符合後續各項應用測量之使用。

二、 研究方法及過程

(一) 需求分析

蒐集國內外有關網形平差軟體功能及國內法規之特定需求，進行原理分析，確認研究方向，分析國土測繪中心 91 年度委外規劃開發的網形平差程式操作問題，該程式以 Fortran 語言撰寫計算核心，並以微軟公司 Visual Basic 語言開發中文化的操作介面，運作上是透過操作介面叫用 (call) 核心程式進行計算，產生相關成果檔後再讀取成果，處理大型網時效率較差，圖形顯示僅秀圖，無法由圖形關聯資料進行操作，亦無資料查詢、偵錯及編修功能。此外，最大問題是程式與微軟公司其他軟體共用部分軟體元件，隨作業系統更新或升級，已發生不相容問題而無法安裝使用。

(二) 系統開發

本次開發之衛星基線網形平差系統結合了電腦資訊與測量專業兩大領域的知識，衛星測量外業觀測完成後，需先解算基線，目前各家儀器廠商均發展專屬基線解算軟體，並以自有檔案格式儲存解算成果，本系統為擴大與各廠商解算成果的適用性，開發多個轉檔程式，可將常見的各種廠牌基線解算成果檔，轉換成本系統使用的資料格式，本系統同時採取開放性的態度，所使用的資料檔或輸出的成果檔，都盡量採用文字格式檔，以利資料共享，或由其他軟體再進一步處理利用。此外，本系統發展的許多創新方法，亦均公開其概念、原理或實作方法，歡迎各界討論，並期待有進一步之改進方法。

(三) 成果驗證

本研究選擇北、中、南及離島等 4 個已經完成地籍圖重測加密控制測量作業之重測區進行測試，除利用衛星基線網形平差系統進行各項檢核功能測試外，也利用國土測繪中心之 e-GNSS 即時動態定位系統進行 VBS RTK 測試作業，並就觀測時間長度、觀測時間間隔等因素進行分析，經檢核精度合格後再進行虛擬基線平差作

業，以驗證此作法之可行性。

三、重要發現

經需求分析、系統開發與成果驗證等程序，本研究對於衛星測量基線網形平差及 e-GNSS VBS-RTK 技術獲得動態測量成果有以下幾點重要發現：

- (一) 本平差系統之發展結合電腦與測量專業知識，在電腦方面充分利用圖形顯示、視覺化視窗元件、Windows API 及多工平行處理技術，提高操作便利性及資料處理效能；而測量方面則運用測量專業理論及知識，創新發展許多資料檢核、計算處理方法，如基線交會法偵錯、重要基線法閉合圈檢核、三角環線閉合圈檢核及成果精度檢核報表等項目，可有效且快速檢核基線計算之錯誤，讓使用者可容易上手且辨別測量成果精度，以利後續各項測繪使用，確保成果品質，且所提方法均有獨立作為研究議題的潛力，在國內外相關軟體亦為首見，具有高度的創新性。
- (二) 本平差系統於民國 102 年底初步開發完成並開始測試使用後，自 103 年開始每年超過 70 個以上地籍圖重測區(或地政機關)使用，仍持續努力維持系統功能穩定運作，同時針對使用者所提建議，進行系統修正，使系統更符合於操作及使用需求，並且仍不斷的創新功能，迄今已陸續增加衛星測量作業前之網路地圖服務功能、資料成果檢核及應用虛擬基線網形平差法進行坐標轉換功能等，系統整體功能已愈來愈完善。使用者整體滿意度超過 85%，對每一個使用機關可節省 10 萬元以上之費用購置相關軟體，對民間一般測繪業，國土測繪中心則可依規費法收取費用，增加國庫收入。
- (三) e-GNSS 動態測量之重覆觀測時間間隔部分，以西嶼測區測試結果顯示，比較 2 測回觀測時間間隔不同，兩者坐標成果較差在 e-GNSS 即時動態定位系統 1 倍中誤差精度範圍內達 97%，最大較差亦僅 2.5 公分，顯示 2 測回觀測間隔時間之長短對成果並無顯著影響，故採 2 測回觀測間隔時間無限制，僅需所有設備重新開機之作業方式進行測試。
- (四) 使用 e-GNSS 作業方式結合虛擬基線網形平差方式，所得成果在加密及圖根測量等級均小於 3 公分，符合相關規定，但是因目前都市地區土地價值高漲時代，在都市地區使用此技術仍需審慎考量，以地籍測量實施規則第 74 條

規定市地 2 公分+0.3 \sqrt{S} 公分(S 系邊長，以公尺為單位)，所遭遇不確定風險將增高，但是在農地(4 公分+1 \sqrt{S} 公分)及山區(8 公分+2 \sqrt{S} 公分)等地區因規定較為寬鬆，則相關成果精度應足敷後續戶地測量使用。

- (五) 在符合 180 筆固定解且通過 3 倍中誤差檢定並結合虛擬基線法之觀測成果，與傳統靜態測量比較，即時動態定位測量在確認現場透空及無線通訊狀況良好之情形下，可各點獨立作業，惟點位間之相對精度無法百分百確保符合規定，需慎重使用，可考量增加檢核機制，如檢核新測設點位間之距離角度，以確保成果可靠度。

四、 主要建議事項

衛星測量已是目前辦理各項控制測量作業的最普遍作業方式，傳統靜態衛星測量資料處理仍有其必要性且成果精度高，但因應包含全球導航衛星系統的蓬勃展發展及網路化即時動態定位技術進步，e-GNSS 動態測量作業也是未來衛星基線網形平差系統持續遭遇的問題，依據研究數據與成果，對於本研究仍有下列建議事項，讓未來系統更容易便利的操作及能因應各種狀況。立即可行建議與長期性建議分述如下：

(一) 立即可行建議

1. 持續進行系統維護，本研究所開發系統確實可有效運作且解決遭遇問題，一般政府機關可減少購置費用，而對民間測繪業可購過規費法取得授權服務，可增加國庫規費收入。

主辦機關：內政部國土測繪中心

持續進行系統維護，讓國內各機關及測繪業均能在統一的工具或模式下進行網形平差，讓各方有一致的審核標準及工具，符合相關法令規定，有利後續測繪成果分享及交換。e-GNSS 系統目前已實際用本研究成果，提供使用者依需求自行選擇測量成果之坐標系統，讓使用者在外業測量現場即可獲得法定坐標，節省測量工作成本與時間，降低使用技術門檻，有助於 e-GNSS 系統推廣應用。

2. 擴大人員訓練及推廣，有利後續資料分享及交流。

主辦機關：內政部

協辦機關：內政部國土測繪中心

擴大人員訓練及推廣，國土測繪中心應擴大宣傳本系統，除原本地政機關在每年地方研習中心辦理教育訓練，應可定期向國內測繪業及其他辦理測繪作業之行政機關(如水利署、營建署...)辦理推廣訓練，讓各單位能有統一作法及標準，必要時針對國內設有測繪科系之大專院校高中職辦理推廣訓練，向下扎根，讓教學學習與職場應用無縫接軌。

(二) 長期性建議

1. 研擬動態定位測量作業方式及各階段計算成果檢核機制，以確保即時動態測量成果品質及增加可靠度。

主辦機關：內政部國土測繪中心

協辦機關：各縣市政府地政單位

傳統靜態衛星定位測量於各級控制測量作業均已訂定相關規範及作業方式，目前本程式可將動態測量成果透過「虛擬基線網形平差」方式獲得新設點位法定坐標成果，後續可針對動態觀測成果進行分析，藉以確認可符合何種等級控制測量規範，並研擬合適作業方式及訂定各階段計算成果檢核機制，以確保即時動態測量成果品質及增加可靠度。

2. 針對虛擬基線網形平差計算及約制點模式進行測試，藉以分析最佳計算成果。

主辦機關：內政部國土測繪中心

目前本程式「虛擬基線網形平差」於計算時所採用範圍為計算點位往外擴2個TIN的範圍組成虛擬基線網，因此2個TIN範圍以外點位將不互相影響，未來可再測試將範圍擴大，比對擴大範圍後之計算成果是否更接近傳統靜態強制附合成果，藉以分析最佳計算範圍。另有關針對已知點各分量調整約制狀態，未來將研究如何在平差模式中讓已知點各分量可設定為是否約制，以符實際作業需求。

Abstract

Keywords: satellite surveying, virtual baseline, network adjustment, e-GNSS, GPS

A. Background

Satellite surveying has been widely used in control survey businesses. The indoor works contain baseline calculation and network adjustment. The software named BLNET was developed to perform the baseline adjustment calculation. A common baseline format for reading all kinds of calculation software data was also developed. The e-GNSS offers kinematic surveying technique to determine high precision coordinates within a short period of time by VBS-RTK. All coordinates result obtained from e-GNSS are independent. The virtual baseline concept is added to homogenize the e-GNSS result.

B. Study method and process

1. Demand analysis

- Collection and realization to relevant network adjustment software.
- Adjustment principle analyses.
- Establishment of System function menu panel in Chinese for easy performance

2. System development

- Define the common format for reading other baseline calculation software.
- Use C++ for developing the BLNET software which can be performed in different OS, Windows Xp/ 7/ 8, Linux.
- It's a green software, unnecessary setup.
- The concept of BLNET is open.
- All the reports are in ASCII format.

3. Result verification

Four areas were selected to test all functions of the BLNET including the result checking, the period of the observing time, the time interval between observations, and comparison of the result of the traditional static baseline and that of by e-GNSS virtual baseline method.

C. Important discoveries

There are 5 important discoveries coming up from this study:

1. The innovative software BLNET is useful for checking the result of the satellite surveying baseline. It conforms the precessions of the related rules.
2. According the user's suggestions and feedbacks, the BLNET will be continuously updated and added new functions for meeting their needs. The customer satisfaction for the pilot edition is over 85%. It saves NT\$ 100 thousands at least for each governmental organizations to procure software.
3. In this study, the lengths of time interval between observations show no obvious difference. The maximum difference of coordinate obtained from two methods is only 2.5 cm.
4. It also shows that the results difference between using e-GNSS technique attached with virtual baseline and that of using the static survey for densification control points network and traverse is less than 3 cm.
5. The result which by using e-GNSS technique with passing 180 epochs fixed solution and triple sigma error test is similar to that of by the static survey way. But for individual points, the coordinate obtained from the former are independent, they appear less relative accuracy. We must consider the openness of zenith angle of satellite and add the mechanism of result checking rules.

D. Recommendations

There are 4 recommendations submitted after this study:

1. Continue to maintain the BLNET software. The software is useful to solve the questions of satellite survey baseline network adjustment.
2. The training of users should be spread. Let all users have the same standard and tools to benefit to the control point data.
3. Making the procedure of e-GNSS technique and checking rule to ensure the result and the reliability.
4. Testing the constrain model for virtual baseline to analyze the optimal result.

第一章 緒論

第一節 研究緣起及背景

控制測量為測繪之基礎，完善及高品質精度的控制測量有助於後續各項細部測量的執行，衛星測量目前已廣泛使用在各級控制測量作業。臺灣地區自內政部規劃兼顧延續性及發展性的一系列基本控制測量計畫，自 82 年度起陸續執行「應用全球定位系統實施臺閩地區基本控制點測量計畫」、「國家基本測量控制點建立及應用計畫」、「國家基本測量發展計畫」、「國家測繪發展計畫」及「基本測量及圖資測製實施計畫」，引進新儀器、新技術，依序建立現代化衛星控制網、高程控制網、重力控制網，持續維護已建立之基本控制測量系統，提供完整、統一、高精度之基本控制測量系統成果供各界使用，其中衛星測量技術的引入，帶來革命性的變化。以往只有美國的全球定位系統(GPS)、到俄羅斯的 GLONASS 定位系統及歐盟的 GALILEO 定位系統，直至今日中國大陸全力發展的北斗定位系統(BeiDou)(內政部國土測繪中心 2015；陳鶴欽，2008)。衛星定位測量的快速且高精準定位已促進了各項測量技術的發展，並且結合行動裝置，諸如空間定位、導航，時時刻刻融入我們的生活，更結合擴充實境技術發展手機 APP 遊戲如寶可夢(POKEMON)，我們的生活已漸離不開衛星定位及空間資訊。

衛星測量作業方式可分為靜態測量及動態測量(楊名，1997)，以往辦理控制測量多使用靜態測量作業觀測方式，在國土測繪法及基本控制實施規則中並明訂各級控制測量施測方式及作業精度，以做為辦理控制測量之依據。

使用靜態衛星測量包含外業測量及內業資料處理，內業資料處理部分主要分為「基線計算」及「網形平差」等 2 步驟，目前基線測量部分多使用國外儀器廠商之原廠基線計算處理軟體例如 TRIMBLE 公司之 TGO(Trimble Geomatics Office)、

TBC(Trimble Business Center), Leica 公司 LGO(Leica Geomatics Office)、Topcon 公司之 Topcon Tools…等等；而網形平差計算部分，往往也是使用上開國外軟體。通常儀器廠商提供之軟體會包含基線計算及網形平差等相關功能，但是國外之商業化軟體全為英文介面，對於一般國人較不易親近使用，且無法針對到個別單位需要進行程式修改，造成使用不便且程式親合力不足。另在基本測量實施規則中，明訂以衛星測量方法實施一、二等基本控制測量之精度規範及加密控制測量之精度規範中均提及圖形閉合差、基線重複性等要求(內政部，2007)，但是一般商業軟體並無此相對應成果報表，且各家軟體之成果報表呈現結果方式又不一致，肇致國內一般使用者及成果審查人員無法快速對各項規定進行審查，僅能擇部分項目辦理。

內政部國土測繪中心(以下簡稱國土測繪中心)於91年度委外規劃開發的網形平差程式，於93年正式使用，該程式以 Fortran 語言撰寫計算核心，並以微軟公司 Visual Basic 語言開發中文化的操作介面，運作上是透過操作介面呼叫(call)核心程式進行計算，產生相關成果檔後再讀取成果，處理大型網時效率較差，圖形顯示僅秀圖，無法由圖形關聯資料進行操作，亦無資料查詢、偵錯及編修功能。此外，最大問題是程式與微軟公司其他軟體共用部分軟體元件，隨作業系統更新或升級，已發生不相容問題而無法安裝使用。(內政部國土測繪中心，2015a)

近年來，國土測繪中心為順應國際衛星定位測繪科技已邁向網路化、行動化及全功能、多目標即時動態定位服務之潮流趨勢，及國內已具備優質的寬頻網路與行動化的無線數據傳輸環境，於93年度起建置 e-GPS 即時動態定位系統，自98年1月1日起正式營運，開放即時性衛星動態定位服務、衛星觀測資料電子檔供應服務及衛星觀測資料後處理動態定位服務等3項服務。101年度起，該系統進行現代化更新作業，於103年度完成系統軟硬體設備全面更新，並於103年9月1日起更名為 e-GNSS 即時動態定位系統(以下簡稱 e-GNSS 系統或本系統)，提供國內登記有案之法人團體高精度之雙星系(GPS+GLONASS)定位服務，使用者使用本系統可即

時獲取公分級定位精度，完成各種測量工作，由國土測繪中心(2010)、劉榮增(2011)、王文俊(2014)及王建得(2016)等人研究顯示，透過外業規範作業時間及程序，如加密後處理 1200 筆，圖根測量即時定位 180 筆等規定，可達公分級定位精度，並要求二次觀測較差要小於 2 公分，惟國土測繪中心目前所提供之規範為單星系時所訂定(僅 GPS 星系)，與目前使用之雙星系(GPS+GLONASS)不一致，新的系統改變，對於外業程序應有部分影響，值得深入探討，以真正發揮 VBS-RTK 之功效。

再者，這些測量成果除精度高、速度快外，每一個測量成果(坐標值)都是互相獨立，與傳統電子測距經緯儀之角度邊長觀測，或傳統靜態衛星測量之基線計算，可獲取高精務之相對定位自有相當程度的差異，這點對於後續需要點位相對精度要求的測繪結果不同，往往造成部分隱憂，本研究嘗試引入「虛擬基線平差」的概念，來確認待測點位間相對定位精度，以符合後續各項應用測量之使用。

第二節 研究方法及分工

一、需求分析

國土測繪中心基線網形平差程式自最傳統的 DOS 版程式使用指令操作，到利用 91-93 年委外開發利用 FORTRAN 程式語言結合以微軟公司 Visual Basic 語言開發中文化的操作介面，運作上皆是透過操作介面呼叫核心程式進行計算，產生相關成果檔後再讀取成果，處理大型網時效率較差，圖形顯示僅秀圖，無法由圖形關聯資料進行操作，亦無資料查詢、偵錯及編修功能。本次重新以 C++ 語言開發，除解決 WINDOWS 作業系統問題外，並可將圖形關聯至各項成果資料庫，進行編修，另為配合「基本測量實施規則」及「辦理加密控制測量注意事項規定」等法規要求，進行適合各項地籍測量作業之在地化檢核功能開發。

此外配合 VBS-RTK 測量技術，為勻化點位座標成果引入虛擬基線概念，利用基線平差系統進行再次平差作業，以求點位成果精度更均勻，俾利後續各項地籍測量

使用。

二、系統開發

本次開發之衛星基線網形平差系統(以下簡稱本系統)結合了電腦資訊與測量專業兩大領域的知識，所使用之技術及創新方法簡述如下：

1. 結合電腦資訊

- (1)以視覺化元件開發系統主架構：使用C++ Builder 6.0程式開發環境開發系統，藉由該開發環境提供視窗、表單、表格、按鈕……等視覺化元件，協助快速建構系統畫面，加快程式開發期程。
- (2)採用視窗訊息處理串接技術：視窗程式主要靠訊息驅動來運作，系統將滑鼠、鍵盤等訊息傳遞給視窗，由視窗的訊息處理函式處理。本系統把需要與畫面圖形進行交談式操作的功能個別模組化，並設計出與原本的視窗訊息處理函式串接方法，當執行不同的功能模組時，只要置換串接的模組即可達成。
- (3)大量使用Windows API撰寫程式：Windows API (Application Programming Interface，應用程式介面)是作業系統本身的介面函式，本系統大量採用Windows API撰寫程式，不使用第三方開發之程式套件或函式庫，提高穩定性與系統相容性，可加快程式執行速度。
- (4)採物件導向程式設計：將程式物件化、模組化，減少程式碼重複撰寫，利於後續系統之擴充及維護。
- (5)引入多執行緒 (multi-thread) 運算技術：配合現有電腦CPU多核心 (multi-core) 及作業系統多工特性，針對資料排序及平差法方程式矩陣求逆計算等功能，發展多執行緒 (multi-thread) 演算法，加快處理速度。

(6)結合網路地圖服務：以Windows API 及多執行緒運算技術，自行開發網路地圖圖磚服務（WMTS）程式，介接國土測繪中心電子地圖或航照影像圖，提供地圖顯示輔助作業。

2. 結合測量專業

(1)研發支援多類型資料之平差計算模型：除了最基本的基線觀測向量外，亦可加入其他實測距離及水平角度觀測量，多種不同類型的觀測資料可執行混合平差。

(2)推導簡易坐標線性（近似）轉換方法，簡化計算作業：將各種坐標系統下的點位坐標分量（XYZ、NEh或 $\varphi \lambda h$ ），利用簡易線性（近似）轉換公式轉化成未知數之線性方程式，可簡化計算作業，並達成各坐標分量獨立約制的目的，提高作業彈性，同時可利用該轉換公式，依誤差傳播方式計算不同坐標系統下之點位精度。

(3)創新「時段接合法」輔助偵錯：將各時段點位重編點號，時段間的共點以新編的不同點號組成虛擬的”0”長度基線，並賦予相對小的權值，將虛擬基線與全部的時段基線進行整體平差，虛擬基線用以接合各時段，且其改正數大小可偵測共點是否存在錯誤。

(4)創新「基線交會法」輔助偵錯：利用自由網的平差結果，每個點位可由相連基線的另一端點推算出一坐標位置，多條基線推算同一點可得一組靠近的點群，分析該點群的離散狀況，可協助偵查點位或基線觀測值是否存在錯誤。

(5)創新「重要基線法」環線閉合檢核：以網形結構強度為出發，定義出重要基線，並由重要基線形成之網絡為基礎，以重要基線組成局部不同大小之閉合圈，進行閉合圈檢核，檢查結果可輔助偵測可能有問題之基線，進行基線剔除工作，提高資料處理效率並確保成果品質。

(6)創新「網形平差法坐標轉換」：利用基線網平差計算功能，創新提出以網形平差法進行坐標轉換，其基本概念是將某一坐標系統中點位（包含已知點及待轉換點），以其幾何相對關係組成（虛擬）基線，並以強制附合平差方式，將網形強制附合於另一坐標系統，達成坐標轉換目的。

衛星測量外業觀測完成後，需先解算基線，目前各家儀器廠商均發展專屬基線解算軟體，並以自有檔案格式儲存解算成果，本系統為擴大與各廠商解算成果的適用性，開發多個轉檔程式，可將常見的基線解算成果檔（包括.tvf 檔、.asc 檔、.snx 檔、TTC 產出的資料檔及 TAVAD 產出的資料檔等），轉換成本系統使用的資料格式，本系統同時採取開放性的態度，所使用的資料檔或輸出的成果檔，都盡量採用文字格式檔，以利資料共享，或由其他軟體再進一步處理利用。此外，本系統發展的許多創新方法，亦均公開其概念、原理或實作方法，歡迎各界討論，並期待有進一步之改進方法。

三、成果驗證

本研究選擇北、中、南及離島等 4 個已經完成地籍圖重測加密控制測量作業之重測區進行測試，除利用衛星基線網形平差系統進行各項檢核功能測試外，也利用國土測繪中心之 e-GNSS 即時動態定位系統進行 VBS RTK 測試作業，並就觀測時間長度、觀測時間間隔等因素進行分析，經檢核精度合格後再進行虛擬基線平差作業，以驗證此作法之可行性。

四、撰寫研究報告

將資料蒐集需求分析及研究測試成果，依據內政部推動自行研究發展獎勵作業規定之研究報告格式，撰寫本研究報告。

五、作業分工

本研究報告由國土測繪中心同仁自行完成相關研究，包含程式轉寫及外業作

業，另在外業測試部分請各測試重測區支援部分人力進行點位帶領及儀器操作，個人分工如下表 1.1。

表 1.1 本研究分工表

姓名/職稱	負責作業項目
梁旭文課長	督導本案及外業
陳鶴欽技正	負責報告撰寫及外業
湯凱佩專員	負責程式系統開發及測試
鐘岳龍技士	負責外業測試及撰寫報告

第二章 作業背景及原理介紹

第一節 基線平差軟體現況

控制測量為其他應用測量之基礎，舉凡地籍測量、地形測量及各種工程測量等，均需以控制點坐標作為測量之起算依據，故控制點的測設為各種測量業務之首要工作。為統一不同單位及不同地區的測量坐標成果，使之具有一致性，全國在統一的坐標框架下，分等級建立控制點（網），其中一、二等控制點之測設屬基本控制測量，為中央主管機關權責，於一、二等控制點（網）之下再進行加密控制測量，目前依點位間距分一級加密及二級加密，為縣市政府之權責。各項測量工作，如需絕對坐標成果時，均需連測（或引測自）各級的已知控制點，如此，各種測繪圖資才可在相同的坐標系統下，相互套疊應用。

過去控制點的測設採用傳統的大地測量方法，點位間必須要能通視，故經常將點位布設於局部高點（如山上、建物樓頂），又因採用三角測量方式，故習慣以三角點稱之。隨科技進步，目前控制點的測量方式多採用衛星靜態定位測量，點位不必再局限於相互通視，只要環境透空良好即可。目前採用衛星定位辦理控制測量的方式，是在同時段於多的點位上架設衛星接收儀，同步接收衛星訊號，之後配合星曆資料解算每兩點間的基線向量，而全部的基線可組成基線網，透過觀測資料檢核別錯及基線網平差計算，最後得到點位坐標成果。國土測繪中心之「衛星基線網形平差系統」即是為辦理基線網平差計算作業而開發。國土測繪中心從 101 年正式啟動新版軟體開發，以因應 WINDOWS XP 作業系統結束服務及部分 VBA 功能停止，期間並進行各項測試及因應使用者需求而更正各項程式功能，104 年下半年度新增測試成果檢核功能，105 年度配合 e-GNSS 外業新增虛擬基線功能，以勻化定位成果及相對定位精度。

第二節 國內外相關產品或技術之比較

目前國內進行基線網形平差計算時，較常採用的軟體為國外開發的「TURBO-NET程式」及國內開發的「中文化網形平差程式」，兩者分別簡述如下：

(一) 「TURBO-NET程式」

為國外開發的商業軟體，軟體計算能力強，已經多方使用者長期驗證，成果十分可靠。然最大的缺點，是該軟體發展時，視窗（Windows）作業環境尚未普遍，故其執行方式為MS-DOS下的文字輸入模式，無立即顯圖功能也無圖形化操作介面，使用上較不便利，且未提供資料蒐尋、偵錯、編修的功能，作業過程需耗費較多人工。

(二) 「中文化網形平差程式」

係國土測繪中心於91年度委外規劃開發的網形平差程式，於93年正式使用，該程式以Fortran語言撰寫計算核心，並以微軟公司Visual Basic語言開發中文化的操作介面，運作上是透過操作介面呼叫核心程式進行計算，產生相關成果檔後再讀取成果，處理大型網時效率較差，圖形顯示僅秀圖，無法由圖形關聯資料進行操作，亦無資料查詢、偵錯及編修功能。此外，最大問題是程式與微軟公司其他軟體共用部分軟體元件，隨作業系統更新或升級，已因不相容問題而無法安裝使用。

上述2軟體的設計目標僅是著重於平差計算功能，對於作業過程中基線資料之查詢、編輯、偵錯、剔除及檢核等工作較無著墨，然這些工作卻是網形平差作業中最為頻繁執行的動作，若無工具程式輔助而以人工方式進行時，因基線觀測數量通常十分龐大，作業非常耗時而沒有效率。

國土測繪中心新開發之「衛星基線網形平差系統」，除具備和上述2軟體相同的平差計算功能外，額外提供一即時圖形顯示的作業環境，結合電腦圖形技術設計操作介面，提供快速的資料查詢、編輯設定功能，更以創新的方法提供多項資料的

檢核及分析功能，進一步確保成果品質。該新系統與前述 2 個軟體之主要功能比較整理如表 2.1，相關的技術創新則於下一節中敘述。

表 2.1 不同機線平差軟體功能項目比較表

主要功能項目	TURBO-NET		中文化網形平差程式		衛星基線網形平差系統	
平差計算	●	★ 已知坐標各分量可獨立約制	◎	★ 已知坐標各分量無法獨立約制	●	★ 已知坐標各分量可獨立約制 ★ 可加入地測距離、水平角觀測量，與基線進行混合平差
圖(網)形顯示	×		○	★ 呼叫其他程式顯圖(非即時)	●	★ 作業全程即時顯圖
視窗化操作介面	×	★ 文字模式(英文)	◎	★ 畫面圖形無法與資料關連操作	●	★ 畫面圖形可與資料關連操作
資料檢核	×		○	★ 三角形閉合圈檢核	●	★ 三角形閉合圈檢核 ★ 重要基線閉合圈檢核 ★ 時段接合法偵錯 ★ 基線交會法偵錯
其他功能	×		×		●	★ 作業前網形規劃 ★ 測站及基線重複率計算 ★ 網路地圖 ★ 套疊其他地籍圖資 ★ 網形平差法坐標轉換

符號說明：●：功能優良 ◎：功能普通 ○：功能較差 ×：無此功能

加密控制測量是以區域性控制測量需求為目的之次級控制測量，為地籍、地形、工程及都市計畫等應用測量工作重要之依據，其規劃、實施及管理屬直轄市、縣(市)政府掌理事項，與人民權益息息相關。內政部為協助各地方政府落實加密控制測量相關業務，交辦國土測繪中心規劃全國加密控制測量成果資料建檔及流通運用等事宜，研提實務作業配套措施、成果表單格式及精度檢核程式設計等事項，經國土測繪中心邀集各直轄市、縣(市)政府地政機關及其他測繪業務執行機關召開會議研商，研議相關實務作法並獲致成果，以 103 年 12 月 27 日測控第 1030420019 號函報內政部，嗣經內政部以 104 年 3 月 2 日台內地字第 1041301492 號令發布實施「辦理加密控制測量注意事項」，針對加密控制測量業務權責、規劃實施、精度檢核、成果公告管理、成果備查及流通供應等事項，制定統一標準，作為各界辦理加密控制測量相關業務之遵循。

國土測繪中心所開發的基線網形平差系統軟體，可配合法規要求制定相應精度檢核表格及成果報表，各辦理加密控制測量各級人員所依據，以加速加密控制測量作業效能，並維護想好成果品質精度，且因系自行開發軟體，操作容易且透過系統性培訓相關作業人員，目前已成為各縣市政府辦理加密控制測量不可或缺工具軟體，而民間測繪業也發現此一好處，向國土測繪中心申請軟體授權，在承攬測繪業務繳交成果時，能快速符合相關規定並通過驗收，國土測繪中心亦能增加規費收入，共創三贏局面，從 103 年 10 月起開始辦理軟體授權服務，截至 105 年度 11 月底民間測繪業者共申請 38 次軟體授權服務，繳交規費新臺幣 16 萬 8,000 元(授權費用每月 3,000 元)。

第三節 即時動態定位系統作業現況

近年來由於網際網路及無線數據通訊傳輸技術蓬勃發展，GNSS 即時動態定位 (RTK) 已成為國際測繪科技與定位技術之主流，特別是結合衛星定位、寬頻網路數據通訊、Mobile Phone 行動式數據傳輸、資料儲管及全球資訊網站 (Web) 等 5

項先進主流科技之核心定位技術-虛擬基準站 (Virtual Base Station, VBS) 為基礎之網路化即時動態定位 (Network RTK) 技術，在系統整體運用與資料供應層面上，更是現今世界各先進國家積極建置營運之即時性、高精度的動態定位系統(王敏雄, 2004, Landau, 2002)。

e-GNSS 為內政部國土測繪中心建構之高精度之電子化全球衛星即時動態定位系統名稱，基本定義為架構於網際網路通訊及無線數據傳輸技術之衛星即時動態定位系統，其中字母”e”係具有「電子化」及「網路化」之含意，GNSS 代表著多星系的衛星導航定位系統(GPS+GLONASS)(內政部國土測繪中心, 2016)。國土測繪中心為順應國際衛星定位測繪科技已邁向網路化、行動化及全功能、多目標即時動態定位服務之潮流趨勢，及國內已具備優質的寬頻網路與行動化的無線數據傳輸環境，於 93 年度起建置 e-GPS 即時動態定位系統，並於 97 年 12 月 30 日訂定「內政部國土測繪中心電子化全球衛星即時動態定位系統服務供應要點」，自 98 年 1 月 1 日起正式營運，開放即時性衛星動態定位服務、衛星觀測資料電子檔供應服務及衛星觀測資料後處理動態定位服務等 3 項服務。嗣後為配合多星系潮流的發展，國土測繪中心自 101 年度起進行現代化更新作業，於 103 年度完成系統軟硬體設備全面更新，並於 103 年 9 月 1 日起更名為 e-GNSS 即時動態定位系統 (以下簡稱 e-GNSS 系統或本系統)，提供國內登記有案之法人團體高精度之雙星系 (GPS+GLONASS) 定位服務。本系統即時動態定位服務於完成現代化升級後，配合軟體效能及硬體設備的提升，同時因應服務不需經過審核即能使用，即時動態定位服務刪除原本的 14 個分區，調整為 7 個不同的登錄點 (Mount Point)，各提供不同服務，各登錄點提供之服務內容及涵蓋範圍如表 2.2、圖 2.1，登錄點坐標系統及 RTCM 版本如表 2.3。

使用 e-GNSS 系統辦理外業測量具有單人操作、快速且現場可得到測量點位坐標成果的優點，已廣泛為各界使用，國土測繪中心的年度規費收入亦由 98 年約 174 萬提升至 104 年超過 510 萬的規費收入，規費收入提升達 300%，顯示系統成效良好。

e-GNSS 有一個特性就是每點觀測都是獨立進行，理論上各測量點位成果誤差均勻，絕對性精度高，點位精度約 2 公分，但是以地籍測量而言，除規定點位測量成果精度外，也希望點位間相對精度要符合一定精度要求，例如一般加密控制點點位相對精度希望可達 1/20,000，而幹導線點(B)精度能符合 1/5,000，支導線點(H)能符合 1/3,000，以往均以外業作業方法或程序來進行規範，例如幹導線點位間距離至少須達 200 公尺等方式來達成精度目標(0.04M/200M，相對精度 1/5000)，本研究開發之基線平差系統，除原本基線平差及檢核功能外，也希望針對 e-GNSS 測量方式，引入「虛擬基線」概念，希望透過此一方式來勻化點位相對精度，以利後續應用。

表 2.2 登錄點提供服務表

登錄點名稱	服務內容
Taiwan	臺灣本島 VBS-RTK 服務 (相容 RTCM 版本 3.1)
Taiwan_RTCM23	臺灣本島 VBS-RTK 服務 (相容 RTCM 版本 2.3)
Kinmen_Mazu_Penghu	金門、馬祖及澎湖 VBS-RTK 服務
KCG	高雄市政府地政局專用 VBS-RTK 服務
TTG_TWD97	臺灣本島 3 維即時坐標轉換 VBS-RTK 服務 (TWD97)
TTG_2010	臺灣本島 3 維即時坐標轉換 VBS-RTK 服務 (TWD97【2010】)
DGNSS	臺澎金馬 DGNSS 定位服務

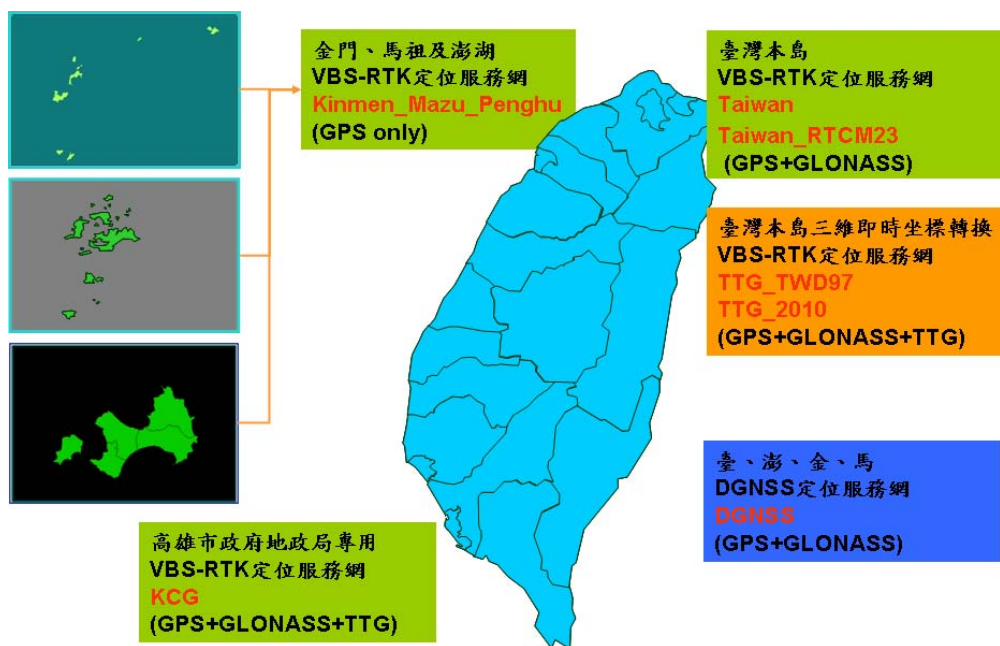


圖 2.1 登錄點服務範圍圖

表 2.3 登錄點坐標系統及 RTCM 版本表

登錄點名稱	測量成果坐標系統	RTCM 版本	有效服務範圍
DGNSS	e-GNSS	RTCM 2.3	臺灣本島 金門縣 連江縣 澎湖縣
Taiwan	e-GNSS	RTCM 3.1	臺灣本島
Taiwan_RTCM23	e-GNSS	RTCM 2.3	
KCG	平面：TWD97【2010】 高程：TWVD2001 正高	RTCM 3.1 (需使用廣播或自動坐標系統)	
TTG_TWD97	平面：TWD97 高程：TWVD2001 正高	RTCM 3.1 (需使用廣播或自動坐標系統)	
TTG_2010	平面：TWD97【2010】 高程：TWVD2001 正高	RTCM 3.1 (需使用廣播或自動坐標系統)	
Kinmen_Mazu_Penghu	平面：TWD97 高程：TWD97 橢球高	RTCM 2.3	金門縣 連江縣 澎湖縣

104 年度各 VBS-RTK 服務登錄點帳號使用（含國土測繪中心自行測試及免費試營運）統計結果，使用量最多是 Taiwan 登錄點，其次為 TTG_TWD97 登錄點，使用統計如表 2.4。

表 2.4 104 年度各登錄點使用統計表

登錄點名稱	使用帳號	登錄時間 (小時:分:秒)
Taiwan	492	20748:53:49
Taiwan_RTCM23	210	1543:06:47
Kinmen_Mazu_Penghu	74	1497:08:15
KCG	27	968:04:15
TTG_TWD97	338	6398:50:15
TTG_2010	197	1610:56:12
DGNSS*	13	20697:39:00

*DGNSS 服務係提供法務部高檢署全天 24 小時使用

第四節 平差原理

本研究中基線網形平差採用間接觀測平差模式，係因該模式較具擴充彈性，且在程式開發設計也較簡易。模式中是以點位的卡式坐標 (x, y, z) 為未知數，將各觀測量（基線觀測量為兩點之空間向量 dx, dy, dz ）以未知數組成觀測方程式，並加入給定的約制條件後進行平差求解。

$$\begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 \\ y_2 - y_1 \\ z_2 - z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ y_1 \\ y_2 \\ z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}, L=AX$$

已知點坐標為最經常使用的約制條件，為配合間接觀測平差模式，約制條件亦必須列成觀測方程式納入平差，以已知坐標為例，設計上是將已知點坐標值列出觀測方程式 $l+v = x$ ，其中觀測值 l 即為已知坐標，而觀測值的精度即為已知坐標的變方 σ ，通常會設定成較小的數值，如此平差時該觀測值將有較大的權值（權與變方的平方成反比），在平差解算後改正數 v 相對很小（趨近 0，即坐標值視為不變）。

若平差計算中只有基線觀測量 (dx, dy, dz) 及已知點坐標，則全數的觀測方程式均為線性方程式，可以非常簡易的求解，然而本研究為擴大基線網的解算能力，另將兩點的空間斜距觀測及三點（測站及前後視）的水平角觀測兩種觀測值納入平差，該 2 種觀測值如何以點位坐標未知數寫成觀測方程式，簡述如下：

(1) 斜距觀測

空間中 2 點之距離公式如下式

$$s = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \dots\dots\dots (式 1)$$

利用(式 1)將斜距觀測化成觀測方程式之前，尚須進行斜距觀測值改正，因為以測距設備實測之距離（斜距），為儀器中心至稜鏡中心之空間距離，因為測距時有儀器高度及稜鏡高度，該距離必須修正到實際地面上點位的距離，才能真正符合(式 1)式。改正之方式如下：

假設儀器置於 A 點，稜鏡置於 B 點，A 及 B 點位近似坐標為已知（基線網點位之近似坐標 x, y, z 容易得到），利用近似坐標可得 A 到 B 的單位向量，以 A 點為固定參考點，利用單位向量及實測距離，可由 A 推算 B 的坐標，兩點坐標可轉換成參考橢球之經緯度坐標為 (φ, λ, h) ，再將兩點之橢球高分別減去儀器高及稜鏡高（即修正至實際點位上），再將修正 h 後的經緯度坐標轉換回 x, y, z 坐標，計算兩坐標之距離，以該距離作為修正後之距離。此方式中由橢球高減去儀器（或稜鏡）高來化歸至實際點位時，存在橢球高方向與垂線方向不一致之誤差，然一般情形下，儀器（或稜鏡）高約僅為 1~3 公尺，其偏差造成之影響很小故將其忽略。改正後的距離（觀測值）可利用兩點坐標未知數 (x, y, z) 以(式 1)式列出觀測方程式參與平差，而其先驗變方可採用儀器量測之精度或經驗值。

(2) 水平角觀測：

以經緯儀實施角度觀測，是以測站位置為局部坐標系原點，測站天頂為垂直方向，觀測其他 2 測點之水平夾角，該夾角並非 3 個點於三維空間中所形成之（歪斜）夾角。本研究依據水平角度觀測的施測方式，簡易推導水平角度與點位坐標 (x, y, z) 之關係：

假設 A、B 及 C 三點分別為測站、前視及後視，其中 A 點（測站）卡式坐標及橢球經緯度坐標分別為 (x_a, y_a, z_a) 及 (φ, λ, h) ，將卡式坐標系平移 (x_a, y_a, z_a) ，並將坐標系依 z 軸旋轉 λ 角度，再依 y 軸旋轉 φ 之角度後，形成以 A 為原點的局部坐標系（參考圖 2.2）。

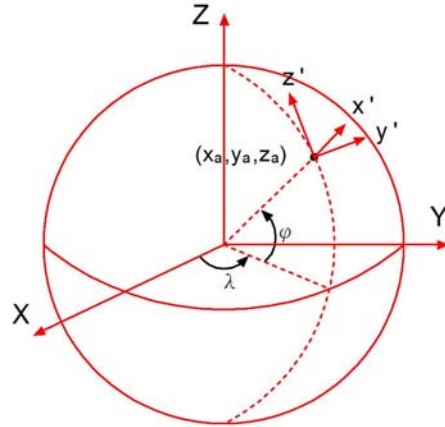


圖 2.2 坐標系平移至 A 點並旋轉 λ 、 φ 角度後之新坐標系示意圖

局部坐標系之坐標 $[x' \ y' \ z']$ 轉換公式如(式 2)，式中 R 為旋轉矩陣，局部坐標系的 $[x' \ y' \ z']$ 三軸方向分別對應於天頂（垂直）、東（E）及北（N）方，故由 A 點觀測 B 及 C 之水平角度時，對應於 N、E 方向，該角度將是由 B 點之 (y'_b, z'_b) 及 C 點之 (y'_c, z'_c) 坐標所組成。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} x - x_a \\ y - y_a \\ z - z_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_a \\ y - y_a \\ z - z_a \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (式 2)$$

依照前述之說明，將實測水平角化成觀測方程式之步驟大致如下：

步驟 1：由測站 (x_a, y_a, z_a) 坐標計算 (φ, λ, h) 坐標後，計算旋轉矩陣 R，則 R 變為常數項。

步驟 2：利用 (式 2) 得到 B 點於局部坐標系之坐標方程式：

$$\begin{bmatrix} x'_b \\ y'_b \\ z'_b \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} x_b - x_a \\ y_b - y_a \\ z_b - z_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x^b(x_a, y_a, z_a, x_b, y_b, z_b) \\ f_y^b(x_a, y_a, z_a, x_b, y_b, z_b) \\ f_z^b(x_a, y_a, z_a, x_b, y_b, z_b) \end{bmatrix}$$

其中 $x_a, y_a, z_a, x_b, y_b, z_b$ 為坐標未知數

C 點亦以同樣方式得到坐標方程式 f_x^c, f_y^c, f_z^c 。

步驟 3：利用 B 點 (y'_b, z'_b) 及 C 點 (y'_c, z'_c) 坐標之 \tan^{-1} 可得方位角，兩方位角相減可得水平角，方程式如下(式 3)，式中 ang 為水平角。

$$ang = \tan^{-1}\left(\frac{y'_b}{z'_b}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y'_c}{z'_c}\right) \quad \dots\dots (式 3)$$

將 (y'_b, z'_b) 及 (y'_c, z'_c) 以步驟 2 之坐標方程式 $f_y^b, f_z^b, f_y^c, f_z^c$ 代入，即可改寫成由坐標未知數組成之觀測方程式。

步驟 1 中旋轉矩陣 R 是由 (x_a, y_a, z_a) 的近似值計算而來，在平差過程中，每次迭代 (x_a, y_a, z_a) 將趨近最終解，而每次迭代 R 也必須以新的 (x_a, y_a, z_a) 重新計算。

平差中納入實測斜距及水平角觀測後，因為該兩種觀測量之觀測方程式均為非線性，故採用泰勒展開式將其線性化後取一階近似式，並以迭代方式漸進求解，因而整個平差模式配合調整為迭代漸進方式。

第五節 成果檢核功能分析

本研究除了最基本的衛星測量基線網形平差計算功能外，為提高整體作業的效率及確保成果的品質，亦針對目前基線網測量作業特性，發展資料偵錯及檢核的功能，包括時段接合法偵錯、基線交會法偵錯、重要基線法閉合圈檢核及三角環線閉合圈檢核等，最後產生檢核報表。

1. 時段接合法偵錯

衛星定位測量時通常會觀測多個時段，不同的時段間則以共點（重複測點）來連結進而組成基線網，通常同一時段內各點位間的基線會有良好的幾何關係，單獨平差時會得一組良好坐標成果，而時段接合法偵錯之原理便是基於各時段單獨平差後，其中共點於不同時段的坐標成果，理論上應相近，若差異太大，則該點位很可能存在錯誤。基於此一概念，本系統創新發展一方法，可一次達成多個時段獨立平

差，並同時發現坐標差異較大的共點，首先將各時段所使用的點位各自重新編號，則原本時段間的共點在不同時段中被各自重新編號已不再是共點，如此之下，以新編點號後進行整網平差時，各時段網形之間將已無共點的牽制，達成獨立平差的效果，但因無共點，故時段無法接合，亦無法整體平差，為使平差得以執行，將引入虛擬基線觀測量來解決，方式是利用原本的共點在數個不同時段被新編的數個點號，取兩兩不同的點號組成虛擬基線，其虛擬觀測值為 $(dx, dy, dz) = (0, 0, 0)$ ，並賦予相對較小的權值，此虛擬基線觀測量主要是用來接合時段，如此，若共點不存在錯誤，則在平差後，虛擬觀測量之改正數應很小，反之，若改正數較大，則可懷疑該共點可能存有錯誤。另外，檢查所有點位，將新編的點號對應至原來的點號，若發現原點號對應到多個明顯不同的新點坐標，則表示該點號可能有重複錯用的情形（可能為不同點重複命名或點號輸入錯誤造成點號相同）。圖 2.3 為時段接合法整體平差方式示意圖。

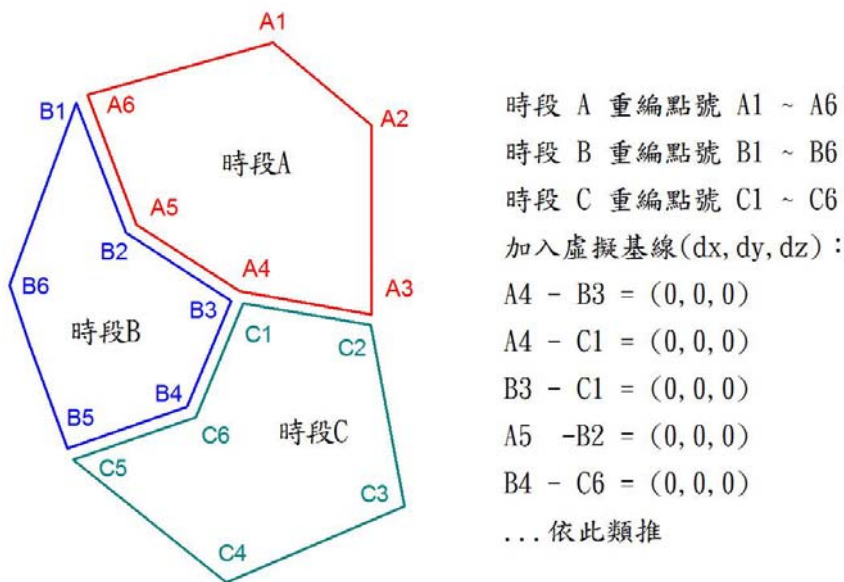


圖 2.3 以 0 長度虛擬基線進行時段接合法平差示意圖

例如某地籍圖重測區觀測資料共 A、B、C、D、E 五個時段，正確成果如圖 2.4，若其中 A、B 時段之共同點 GA56 於 B 時段被誤植為 GB56，透過本功能可發現錯誤如圖 2.5。

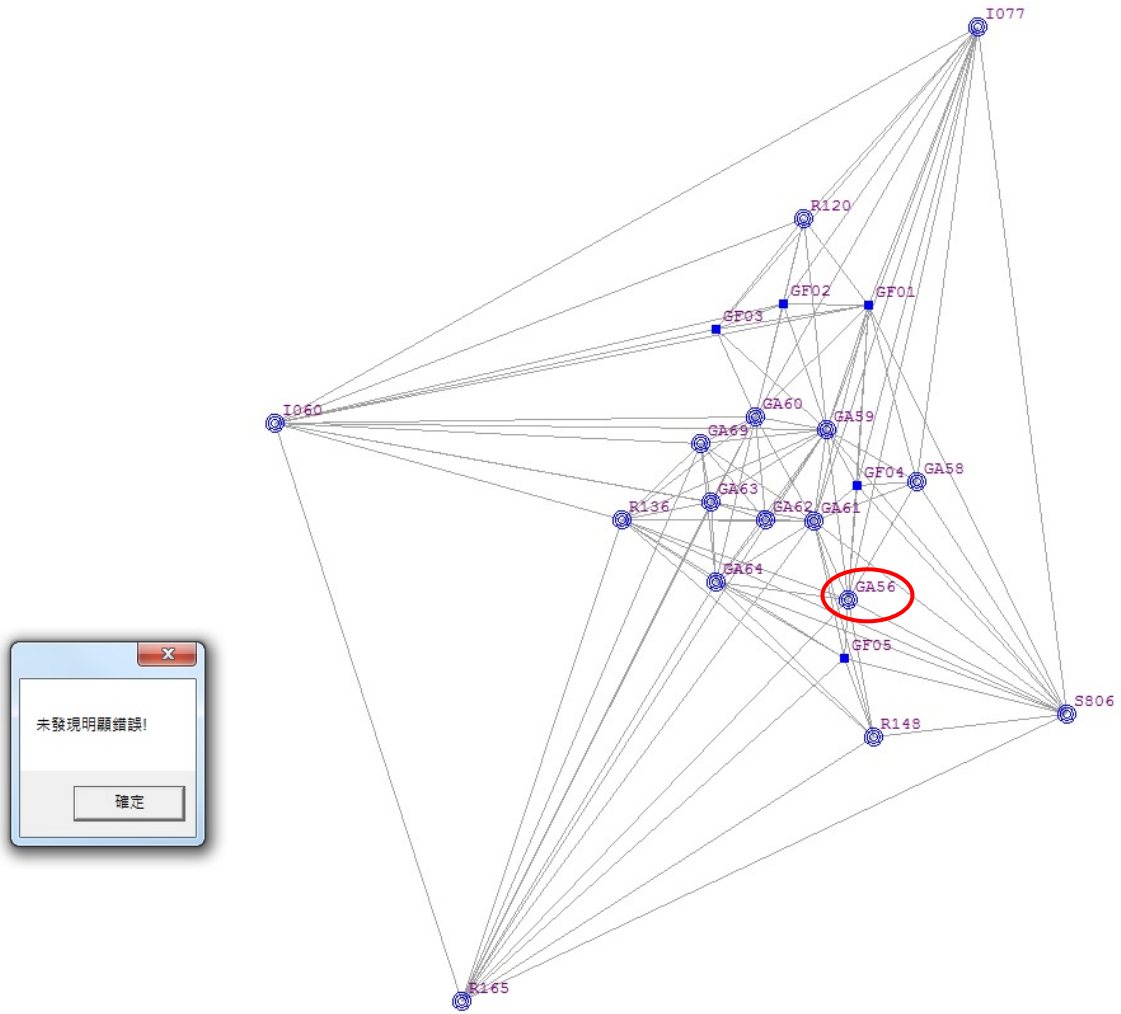
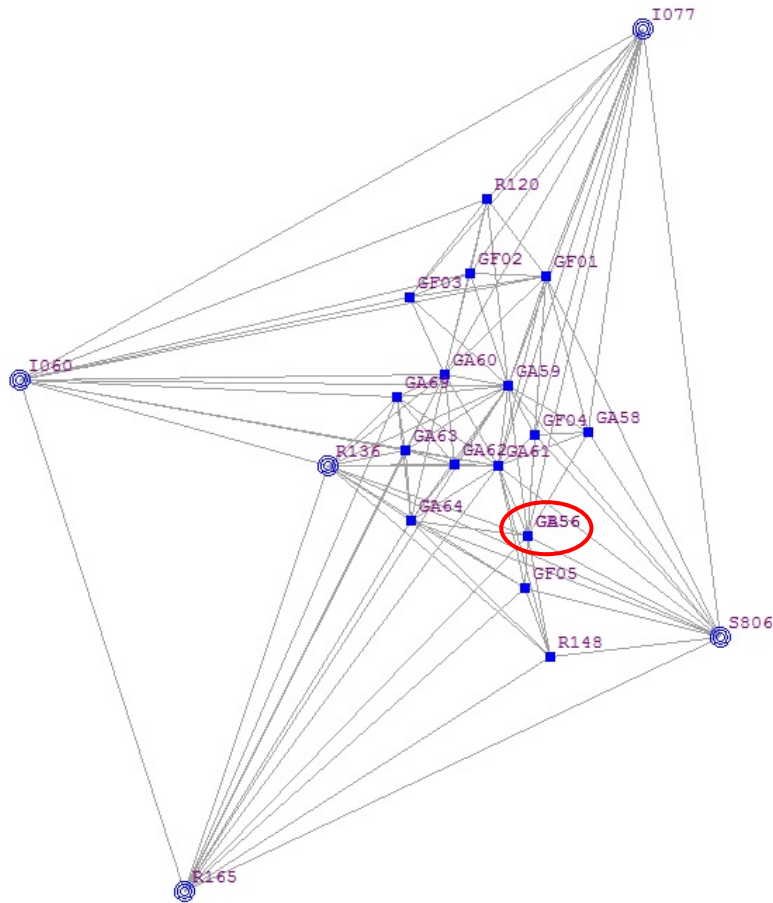


圖 2.4 正確時段點位偵錯結果



detect_err_ms.txt - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

不同點名疑似同一點

點位1	點位2	距離(m)	dN(m)	dE(m)	dh(m)	時段1	時段2
GA56	GB56	0.007	-0.007	0.001	0.002	104a.sum	104b.sum

圖 2.5 不同時段之共同點點名誤植偵錯結果

2. 基線交會法偵錯

衛星定位測量作業經常採用全組合基線，故基線觀測數量非常多，其中雖然可能存在觀測品質較差的基線，但相對為少數，故在平差後，多數的點位之定位坐標為正確。基於此一原則，網形中的每個點位均有多條基線與其相連，由基線另一端點即可推算出該點一個坐標，多條基線（錯誤為少數）所推算出多個坐標的結果，理論上會群聚集中在同一位置（即各基線應會交會於同一點），對於共點而言，其相連的基線來自多個不同時段，若點位存在有錯誤時，則來自不同時段的基線可能交會於不同位置（點），在空間中點群會形成多個群聚，利用分析空間中這些點的群聚狀況，可輔助判斷不同時段的共點，是否真的是正確的定位在同一位置。

圖 2.6 所示範例，係為分析點位 GA05 由多條基線交會的結果，由各基線反推 GA05 之位置顯示於右上的視窗中，視窗中以不同顏色區分基線的觀測時段，畫面中間為點群平面坐標分布情形，左邊垂直的一排則為高程分布情形，格網間距為 2 公分，由圖中可看出基線來自 3 個時段，所推算的 GA05 平面位置十分集中（約 3 公分範圍內），但高程方向則紅綠 2 時段較集中，而藍色時段本身亦很集中，但偏離紅綠時段約 11 公分，顯示藍色時段所測之高程可能有偏移（如儀器高輸入錯誤），此分析結果可輔助判斷存在錯誤的可能性。

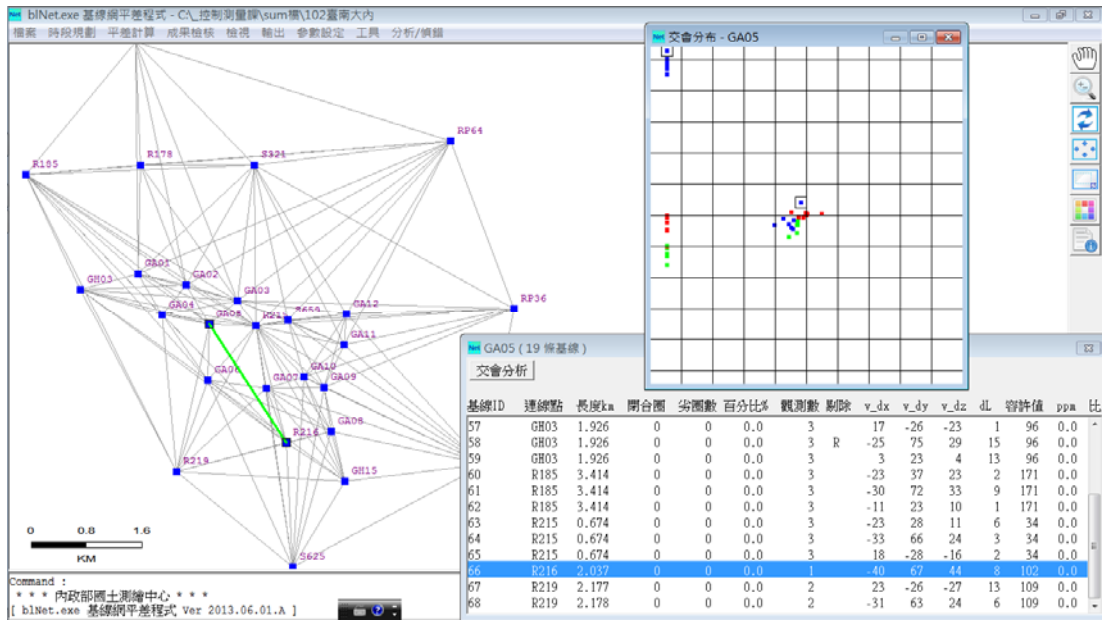
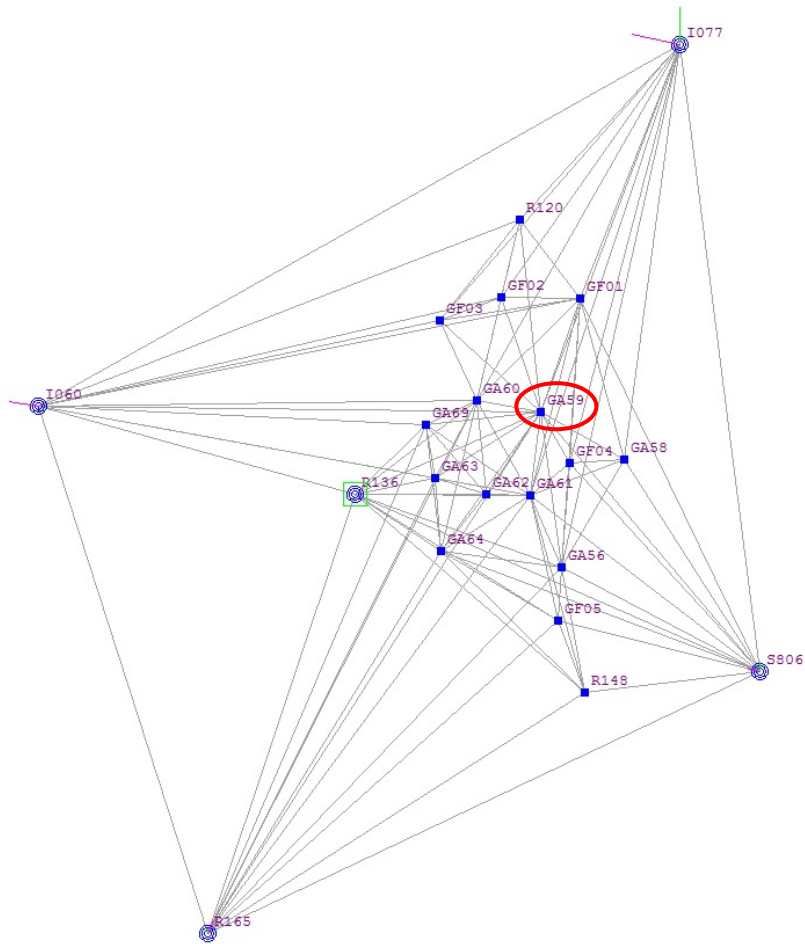


圖 2.6 基線交會分布圖畫面

例如某地籍圖重測區觀測資料共 A、B、C、D、E 五個時段，正確成果如圖 2.7，若將其中一時段之某點位置更改為錯誤數據後以本功能進行偵錯，可發現有問題點位，如圖 2.8，經偵錯後發現 GA59 應在某時段位置有誤。

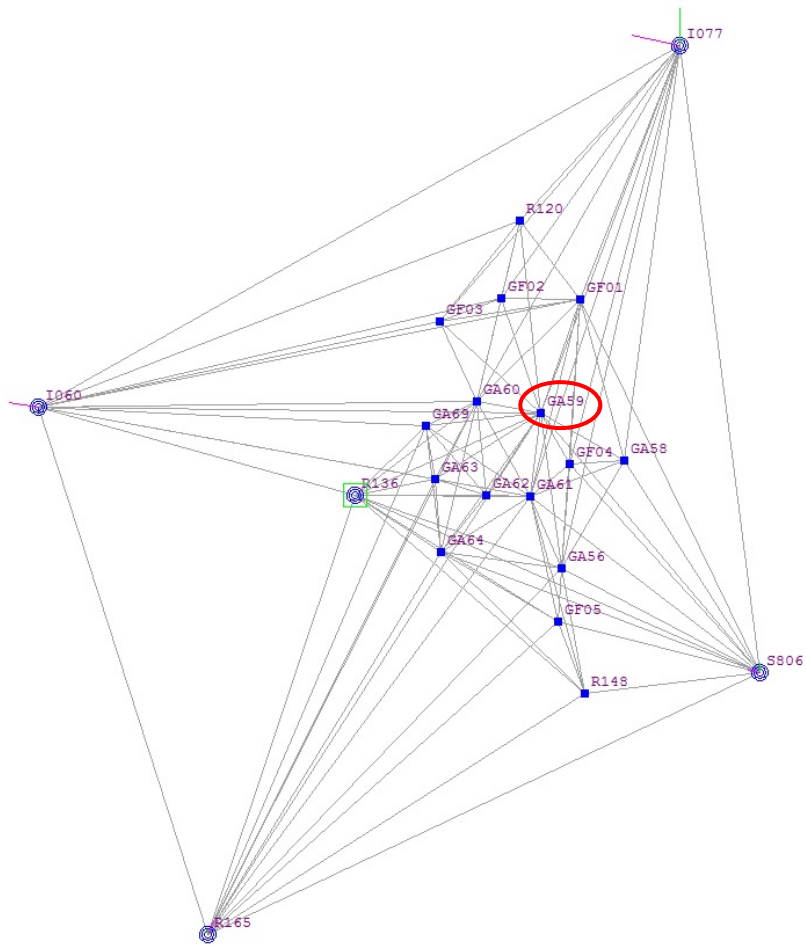


detect_err_ip.txt - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

點 位	交點數	最大差距 高程(mm)	最大差距 平面(mm)

圖 2.7 點位位置正確偵錯結果



detect_err_ip.txt - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

點位	交點數	最大差距 高程(mm)	最大差距 平面(mm)
GA59	28	51.2	30.1

圖 2.8 點位位置有誤偵錯結果

3. 重要基線法閉合圈檢核

全組合基線觀測數量龐大，若將全部的基線用於組成閉合圈，計算上因數量太多而難以負荷，且部分的閉合圈因幾何形狀不佳（如狹長型閉合圈）或範圍太大，其檢核的意義不大，因此如何挑選出較有檢核意義的閉合圈來進行檢核，是一值得研究的議題。本研究創新提出重要基線的閉合圈檢核法，此法可挑選出形狀、範圍均較有意義的閉合圈進行檢核，且不同的軟體採用相同定義時，所挑選出的閉合圈會相同。其方法說明如下：

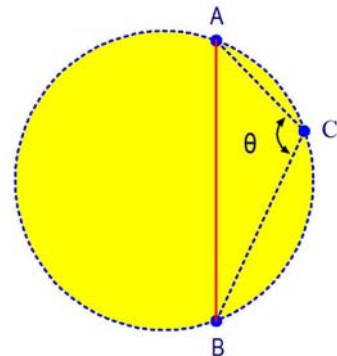
考量全網形幾何分布，當一基線 AB 局部圓形範圍內無其他點位可與 A、B 形成較鈍的角，表示 AB 基線附近較為"空曠"，考量圖形的結構強度，將視 AB 為重要基線必須存在，依此概念，重要基線定義說明如下，並由程式自動篩選產生。

重要基線定義：

AB 為一基線， α 為角度條件 ($90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$)，若存在有通過 A、B 之圓，且符合：

- (1) 圓內無其他點位（淨空）。
- (2) AB 弦對應的較大圓周角為 θ ， $\theta \leq \alpha$ 。

則 AB 為重要基線。



目前系統預設以 $\alpha=120^\circ$ 產生重要基線，再將全網最外圍基線納入，共同組成重要基線網形。下圖為一重要基線網形範例。

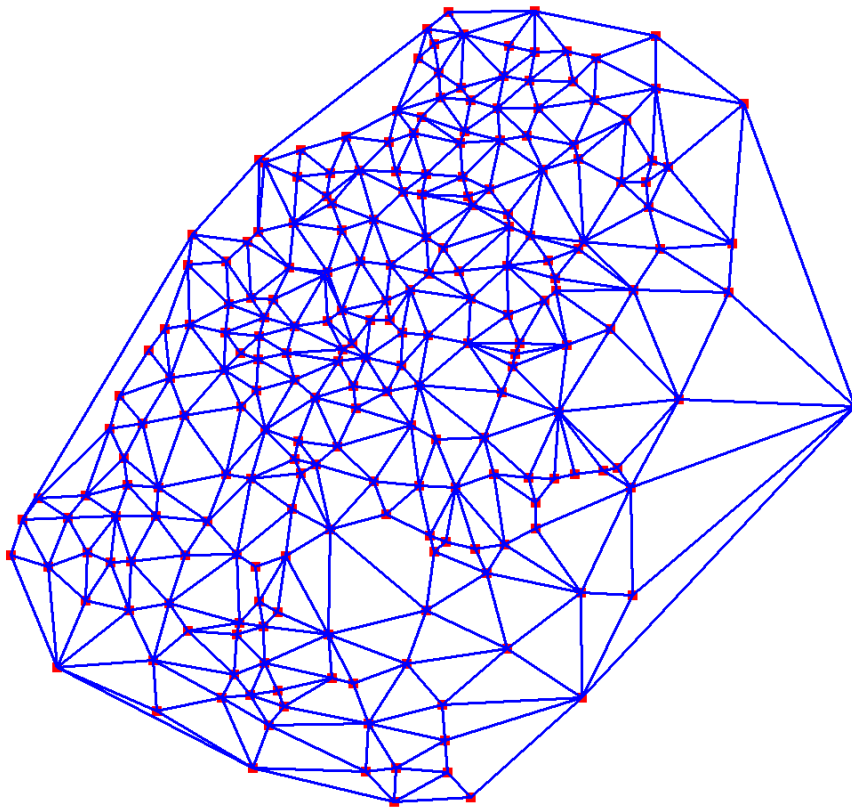
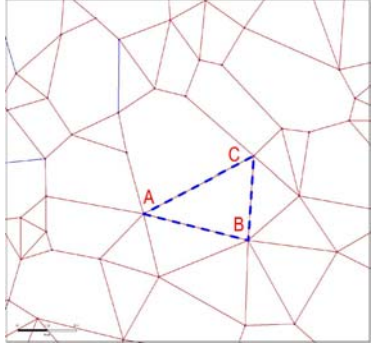
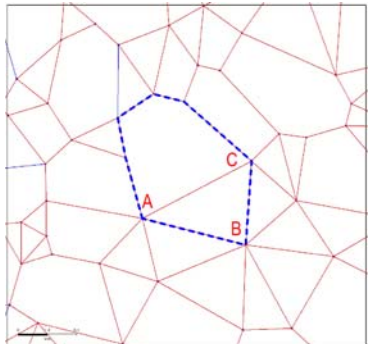
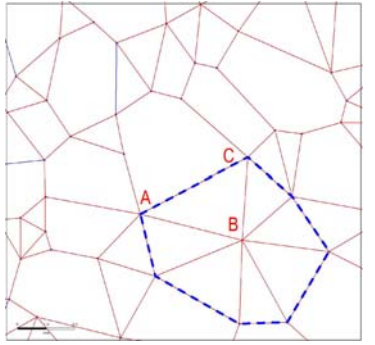
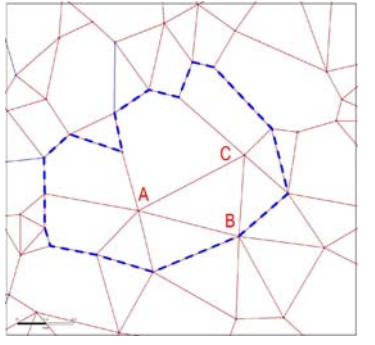
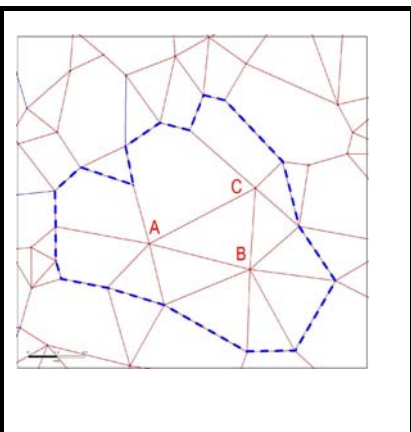


圖 2.9 重要基線網形範例

依據前述定義產生的重要基線網形是由多個不規則多邊形（多數為三角形）組成，考量賦予閉合圈具有局部範圍的檢核意義（確保局部範圍內的成果），同時還考量組成閉合圈的唯一性，本新發展的網形平差軟體系統利用組成重要基線網形的相鄰多邊形，並依下列原則組成閉合圈，進行最小閉合圈檢核、併 2 檢核、遮 1 檢核、遮 2 檢核及遮 3 檢核等，說明如下：

<p>1.</p>	<p>基本檢核（最小閉合圈檢核）：</p> <p>重要基線網形由相鄰的多邊形組成，對各多邊形進行閉合檢核，此可視為最小範圍的閉合檢核。</p>	
<p>2.</p>	<p>併 2 檢核：</p> <p>將一重要基線兩側之 2 個多邊形合併後，所形成的新多邊形進行閉合檢核（如右圖合併 AC 兩側多邊形得藍色虛線閉合圈）。此檢核對每一重要基線均進行。</p>	
<p>3.</p>	<p>遮 1 檢核：</p> <p>針對單點，將與該點相連之所有重要基線遮蔽後（遮 1 點），對包圍該點之最小多邊形進行閉合檢核（如右圖遮蔽 B 點）。此檢核對每一點均進行，所檢核之閉合圈比 1. 之閉合圈擴大。</p>	
<p>4.</p>	<p>遮 2 檢核：</p> <p>針對每條重要基線的 2 點，將與該 2 點相連之所有基線遮蔽後（即遮 2 點），對包圍該基線之最小多邊形進行閉合檢核（如右圖遮蔽 A、C 兩點）。此檢核對每一重要基線均進行，檢核之閉合圈較 3. 再擴大。</p>	

5.	<p>遮 3 檢核：</p> <p>針對網絡中可由 3 條重要基線形成的三角形，將與該三角形的 3 個頂點相連之所有基線遮蔽後（即遮 3 點），對包圍該三角形之多邊形進行閉合檢核。本檢核對每一三角形均執行，檢核之閉合圈較 4. 再擴大。</p>	
----	--	--

依照上述原則產生之閉合圈將是固定的，且閉合圈是由全網各局部位置往外逐步擴大，其形狀較具有局部區域的代表性。產生閉合圈後，再帶入實際的基線觀測量進行檢核，目前預設檢核為 1~4 項，依據現行法規之要求，篩選閉合圈基線數小於 15 條、總邊長小於 50 公里及組成之基線源自 3 個以上觀測時（段）間數的閉合圈，計算閉合差及閉合比數。

例如某一地籍圖重測區透過重要基線檢核發現欠缺 GA69-GF05 及 GA62-GA56 二條重要基線（藍色），經評估 GF05 為新設點，應辦理補測以確保該點與 GA69 之相對關係良好，計算成果更為精確，而 GA62 及 GA56 為已知點，兩點間基線並不影響強制附合計算成果，應無需辦理補測，如圖 2.10，無漏測重要基線者，基線均為紅色顯示，如圖 2.11。

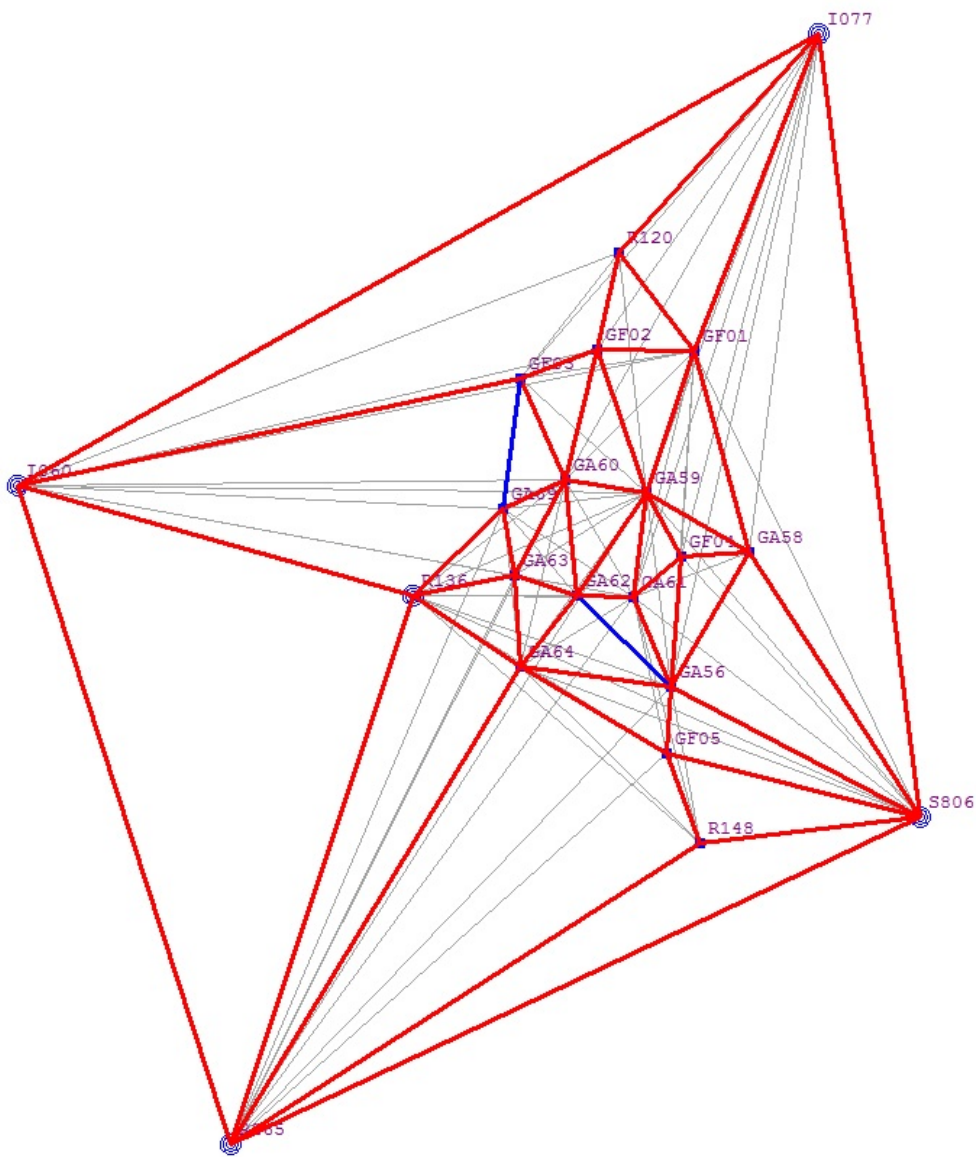


圖 2.10 缺少重要基線成果圖

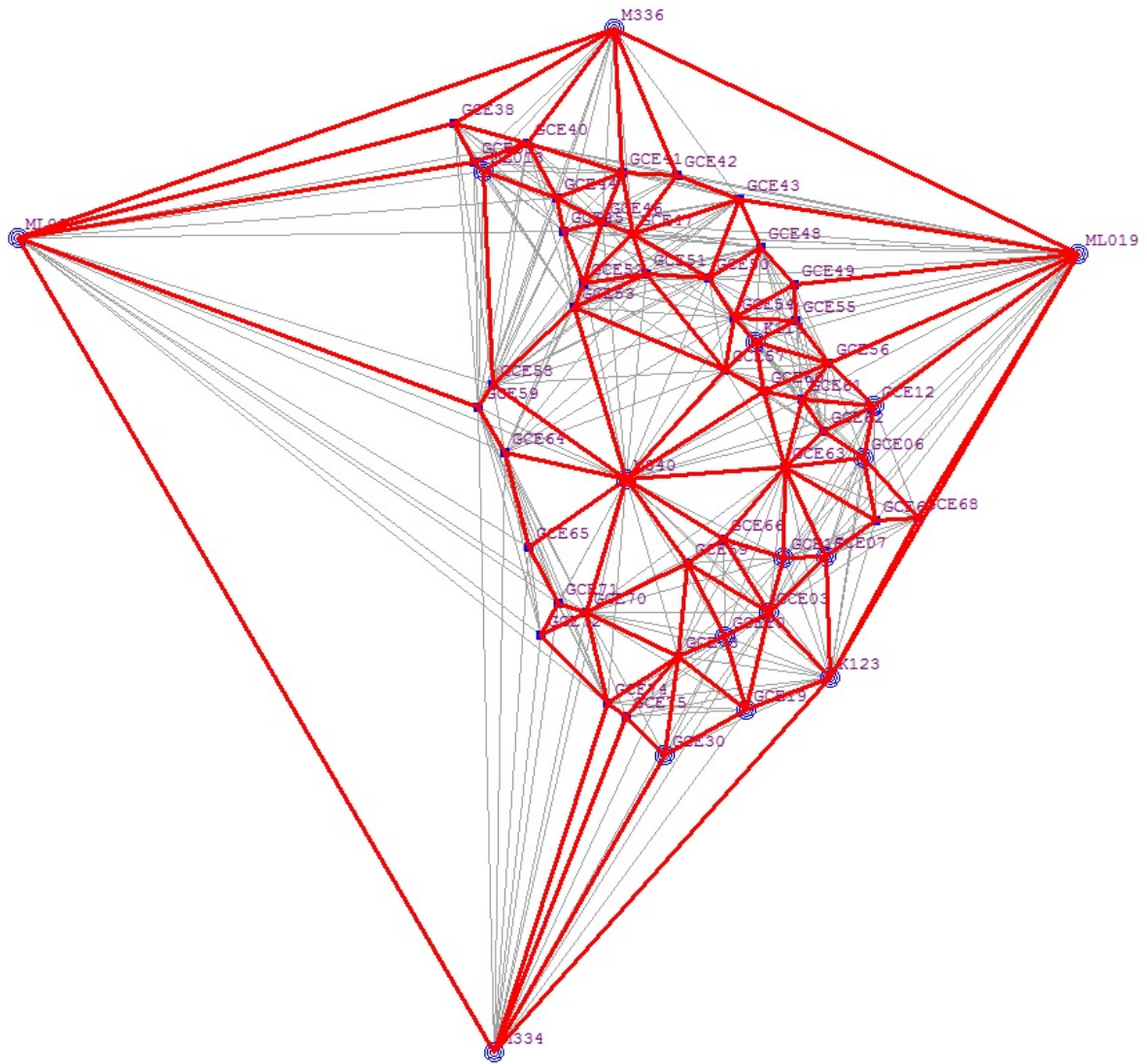


圖 2.11 無漏測重要基線成果圖

4. 三角環線閉合圈檢核

相較於前述重要基線法閉合圈檢核，三角環線閉合圈檢核是一較為簡單的檢核，僅為檢查由三條基線組成的閉合圈。在點數較多的大型網中，可篩選出較多的重要基線來組成許多不同大小閉合圈，然而對於點數較少的小型網，篩選後的重要基線數少，組成的閉合圈也較少，為避免檢核圈數太少，故對於小型網不局限於重要基線，則對全網進行三角環線閉合圈檢核。

透過本功能可針對三角環線閉合圈較差不符者（綠色區塊）進行基線檢查，協助使用者更容易找出問題基線，確保計算成果品質，如圖 2.12，若基線均無錯誤則三角環線閉合圈檢核合格率为 100%，如圖 2.13。

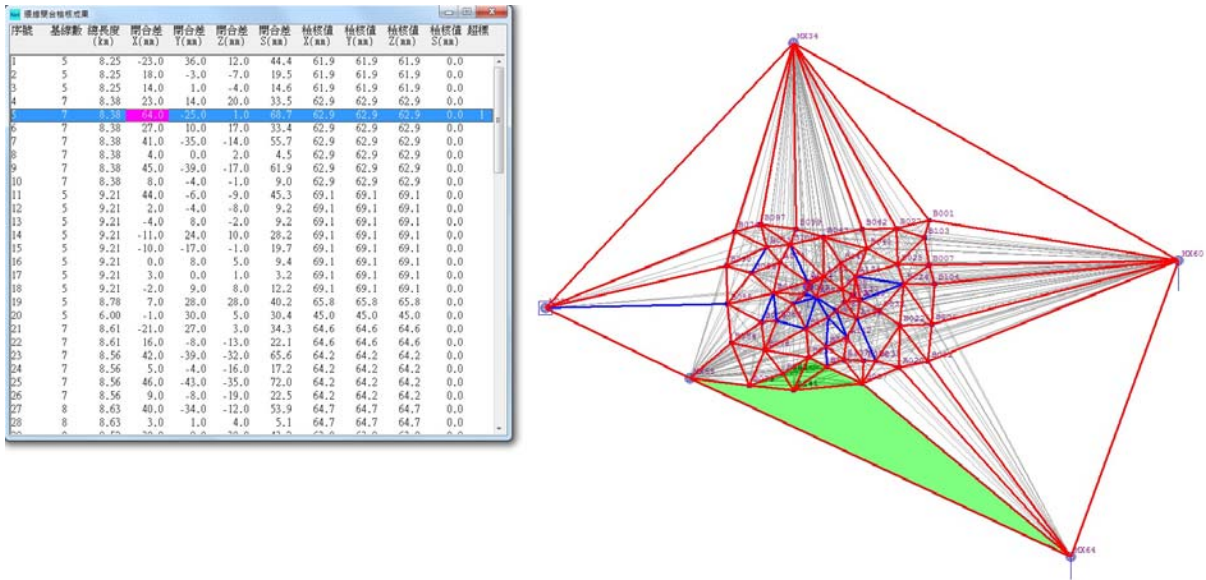


圖 2.12 三角環線閉合圈檢核不符結果圖

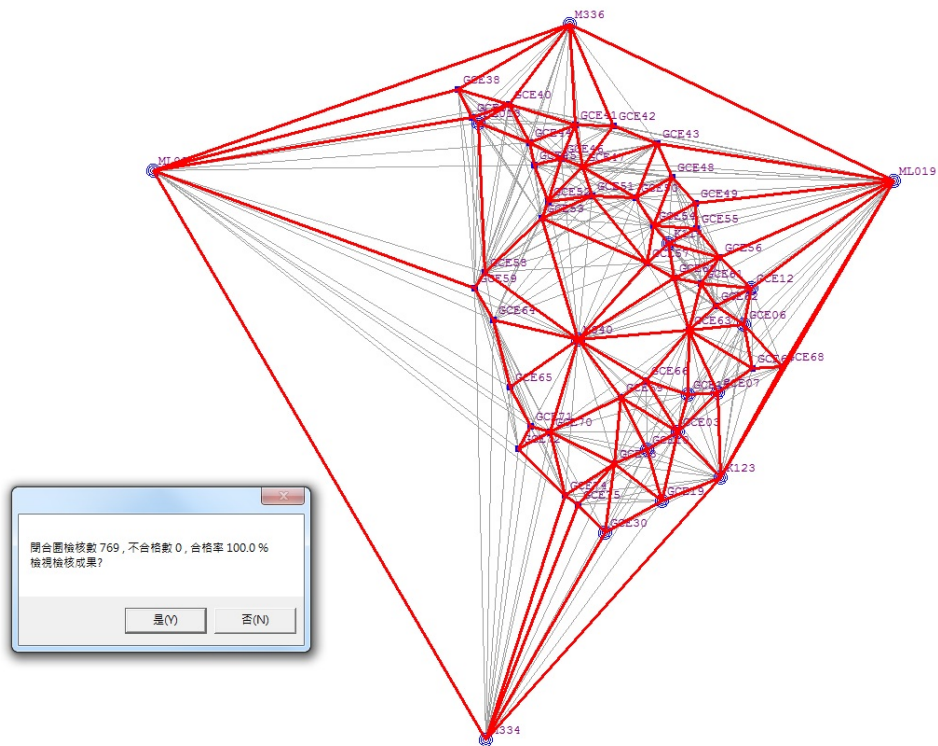


圖 2.13 三角環線閉合圈檢核合格結果圖

5. 檢核報表

本研究於系統中加入多種資料檢核工具，如重複基線檢核、閉合圈檢核等，於執行各項必要的檢核後，依現行規範要求的檢核項目及檢核標準，系統可以自動產製檢核結果報表，提供人員檢視成果。

透過成果精度檢核報表協助審查人員確認計算成果是否可靠並符合相關作業規範，各項精度檢核通過與不通過成果分別如表 2.5 及表 2.6。

表 2.5 通過各項檢核之精度檢核報表
臺南市 麻豆重測區 二級加密控制測量
成果精度檢核報表

精度檢核項目		檢核內容	檢核結果	備註
圖形閉合差	產生圖形閉合圈	產生閉合圈總數：499		為三角形閉合圈，閉合圈基線源自 2 個(含)以上不同時段。
	各分量之閉合差 $\leq 80+5 \times 10^{-6}L$	各分量閉合差： ΔX : -36.0 mm (L: 14.23 km) ΔY : -50.0 mm (L: 12.40 km) ΔZ : 58.0 mm (L: 11.12 km) L：閉合圈長	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
基線重複性	重複觀測基線水平分量之 差值 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：33 差值最大值：18 mm 差值與基線長比值最大值：1/52856	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	重複觀測基線垂直分量之 差值 $\leq (75+15 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：33 差值最大值：23 mm 差值與基線長比值最大值：1/24436	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
成果精度	邊長標準誤差 $\leq (15+3 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：210 未通過數：0 邊長標準誤差最大值：3.34 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	95% 信心區間 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：140 未通過數：0 邊長改正量最大值：29.62 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	點位坐標中誤差 水平分量 ≤ 10 垂直分量 ≤ 30	檢核點數：21 未通過點數：0 各方向最大值： N: 2.52 mm, (I077) E: 2.51 mm, (I077) h: 6.46 mm, (I060)	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	約制點：GA62
成果檢查人員：		複檢人員：		

檢查日期：105 年 11 月 30 日

表 2.6 分量閉合差未通過檢核之精度檢核報表

雲林縣 斗六重測區 二級加密控制測量
成果精度檢核報表

精度檢核項目		檢核內容	檢核結果	備註
圖形閉合差	產生圖形閉合圈	產生閉合圈總數：1768		為三角形閉合圈，閉合圈基線源自 2 個(含)以上不同時段。
	各分量之閉合差 $\leq 80+5 \times 10^{-6}L$	各分量閉合差： ΔX : -152.0 mm (L: 2.67 km) ΔY : 271.0 mm (L: 2.67 km) ΔZ : 123.0 mm (L: 2.67 km) L：閉合圈長	<input type="checkbox"/> 通過 <input checked="" type="checkbox"/> 不通過	
基線重複性	重複觀測基線水平分量之 差值 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：118 差值最大值：24 mm 差值與基線長比值最大值：1/1265	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	重複觀測基線垂直分量之 差值 $\leq (75+15 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：118 差值最大值：131 mm 差值與基線長比值最大值：1/2437	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
成果精度	邊長標準誤差 $\leq (15+3 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：2145 未通過數：0 邊長標準誤差最大值：15.08 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	95% 信心區間 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：547 未通過數：0 邊長改正量最大值：23.28 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	點位坐標中誤差 水平分量 ≤ 10 垂直分量 ≤ 30	檢核點數：66 未通過點數：0 各方向最大值： N: 11.71 mm, (PM05) E: 14.50 mm, (PM05) h: 35.70 mm, (PM05)	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	約制點：GH20
成果檢查人員：		複檢人員：		

檢查日期：105 年 12 月 6 日

第六節 基線網形平差計算應用於坐標系統轉換

在測量實務上，經常需要在不同的坐標系統間進行點位坐標轉換，如 TWD67 轉至 TWD97、TWD97 轉至 TWD97[2010]或 e-GNSS 系統轉至 TWD97 等，轉換的進行主要是透過兩坐標系統之間的數學轉換模式，方式通常是利用 2 種坐標均為已知的一組點位作為轉換控制點，解算轉換模式中的(轉換)參數，後續透過轉換模式及參數，一坐標系中的點位可轉換求得在另一坐標系中的坐標值，常見的轉換模式有平面的 4 參數正形轉換、6 參數 affine 轉換、最小二乘配置 (LSC) 法及三維 7 參數正形轉換等，其中 4 參數、6 參數轉換及最小二乘配置法常用於平面坐標轉換，若需要進行三維坐標轉換時，則是將高程的部分另外處理 (建立高程的轉換模式)，或是改採用三維 7 參數正形轉換，在這些轉換模式解算過程，已知點的坐標必須同二維或三維，若已知點坐標有二、三維混同時 (實務上有些早期測量的已知點非採用衛星定位測量，僅有平面坐標)，則難以處理，此外，除最小二乘配置法外，已知點轉換後均帶有殘差，這表示已知點轉換後坐標會與已知坐標有較差，無法滿足在某些應用上已知點必須保持轉換後坐標不變的要求。

本研究基於基線網平差的原理下，創新提出以基線網形平差法進行坐標轉換，此方法相較於前述的轉換方法，可解決已知點坐標二、三維混同的情形，並且可保持已知點轉換後坐標不變的要求。此法的基本原理進一步說明如下：

以同一坐標系統中點位 (包含已知點及待轉換點) 分布的幾何關係組成 (虛擬) 基線網，並將網形中的已知點改採另一坐標系中的已知坐標，以強制附合平差方式將網形強制附合於另一坐標系統，平差後待轉換點可得到另一坐標系統下的坐標值，達成坐標轉換目的，且已知點無坐標轉換殘差 (強制附合平差後已知點坐標不變)，同時因平差模式中已知點坐標分量可單獨約制，故已知點坐標二、三維混同的問題亦可輕易解決。

本研究於組(虛擬)基線時,採用方法是先將點位組成 TIN 網,參考下圖 2.14。

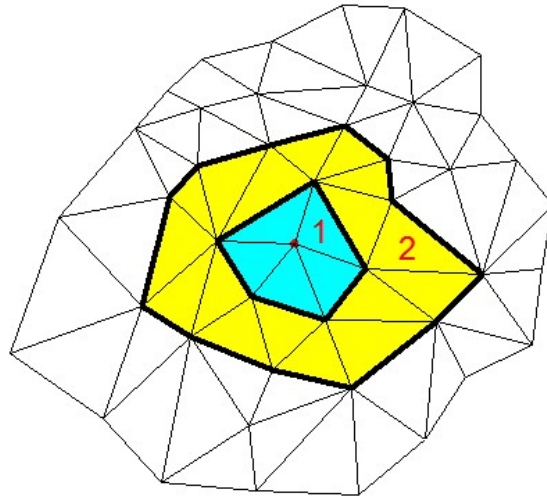


圖 2.14 組成虛擬基線示意圖

每個點位以自己為中心(點),透過 TIN 網的三角形往外延伸 1-2 層(圖中多邊形 1 為第 1 層,多邊形 2 為第 2 層),凡延伸範圍內的三角形之端點,均與中心點位組成基線向量,並依距離給予不同權值(距離為 0 時權為無限大),此方式符合經驗上距離愈相近的點位間相互影響力愈大,且當待轉換(內差)位置等於已知點位置時,轉換後無坐標差值(因與已知點組成一條長度為 0 的基線,其權為無限大,平差後改正量極小可視為 0)。本研究同時提供 2 種轉換方式,一是逐點轉換,另一是整批轉換,逐點轉換是將單一待測點與已知點組基線向量並進行強制附合平差,多個待測點逐點進行;整批轉換則是將整批待測點與已知點組基線向量,進行一次整體(網)平差,此方式下,鄰近的待測點與待測點間亦會組成基線向量,如此可使待測點在轉換前的相對關係,於平差中會具有影響力(約制力)。

為比較基線網形平差法坐標轉換的成果,本研究實驗中另採最小二乘配置(LSC)法進行計算,目前最小二乘配置法中常使用 6 參數 Affine 轉換作為函數模式,並將平面與高程分開處理,為一次本研究則是採用三維 7 參數轉換作為函數模式,因為為非線性方程式,故過程中是先線性化後以迭代方式求解。

最小二乘配置法之模式如下：

$$L = AX + s + n$$

式中 AX 為坐標轉換的數學式， s 為信號 (signal)， n 為雜訊 (noise)。若以本研究來說明， L 為轉換後坐標， AX 為轉換前坐標代入三維 7 參數轉換式 (趨勢函數)， s 為每一點位坐標所含的信號 (signal)， n 為每一點位坐標的雜訊 (視為隨機誤差)。

依最小二乘法解算後得：

$$\hat{X} = (A^T (\Sigma_{ss} + \Sigma_{nn})^{-1} A)^{-1} A^T (\Sigma_{ss} + \Sigma_{nn})^{-1} L$$

$$\hat{s} = \Sigma_{ss} (\Sigma_{ss} + \Sigma_{nn})^{-1} (L - A\hat{X})$$

$$\hat{n} = \Sigma_{nn} (\Sigma_{ss} + \Sigma_{nn})^{-1} (L - A\hat{X})$$

假設信號 s 、 n 的隨機性質僅與點位間距離有關，和方位、位置無關，利用既有資料進行分析，可推估點位間信號的協變函數，將每兩點位間距離代入協變函數計算，即可得到式中 Σ_{ss} 。

第七節 潛在之使用者及推廣

本系統主要功能是進行基線網形平差計算作業，因控制測量為辦理各項測量業務之首要工作，而目前較常用的控制測量方法，除傳統地測外便是採用衛星定位測量方法，該法最後必須進行基線網形平差，故凡需採用衛星定位方式辦理控制測量業務者，均是使用本系統的對象。

本系統現為免費提供全國各直轄市、縣（市）政府地政測量相關機關使用，並依國土測繪中心軟體授權收費標準提供各界申請授權使用，目前基本控制測量及加密控制測量分屬中央及地方的權責，業務的執行不論是機關自辦或委外辦理，均是使用本系統，是目前本系統的主要使用者。除了地政測量機關以外，依國土測繪法規定，應用測量應依基本控制測量及加密控制測量成果辦理，故其他機關或測繪業者，若以衛星定位測量方法辦理加密控制測量時，亦可使用本系統，是系統潛在之使用者。

此外，Network RTK（如國土測繪中心之 e-GNSS）測量因施測方便快捷，其精度亦符合某些作業之要求，目前已逐漸普及，然而其測量的坐標成果如要與法定坐標系統有較佳的結合，通常還需加測已知點來進行坐標轉換。本系統創新應用網形平差法來進行坐標轉換，提供了一種嶄新的轉換方法，而類似的坐標轉換工作，在各種測量作業中，為常有之需求，故有坐標轉換作業需求之單位或測繪業者，均是系統潛在之使用者。

依據本系統運用於各種測量作業，其使用對象及情形，簡單整理如下表2.7：

表 2.7 本系統前在使用者分析

項次	作業項目	使用對象	使用情形	說明
1	基本控制測量	中央主管機關 (內政部、國土測繪中心)	現使用者	
2	加密控制測量	各直轄市、縣(市)政府	現使用者	
3	應用測量	各政府機關 各測繪業	潛在使用者	依國土測繪法規定，應用測量應依基本控制測量及加密控制測量成果辦理。
4	其他測量	各政府機關 各測繪業	潛在使用者	凡以衛星定位方式辦理基線網形之測量，無論是否需聯測法定坐標系統，均可使用。
5	坐標轉換	各政府機關 各測繪業	潛在使用者	凡需辦理不同坐標系統間點位坐標轉換工作，均可使用(網形平差法坐標轉換)。

另外，為了解本系統使用狀況及效益，國土測繪中心曾針對使用本系統辦理重測區加密控制測量之相關作業人員進行系統使用滿意度調查，調查時間為 104 年 5 月 27 日至 6 月 19 日止，調查對象總計 62 人，其中國土測繪中心人員 34 人，直轄市、縣(市)政府人員 28 人。調查結果如下：(詳細結果請參考附錄 1)

1. 功能版面設計方面，89%人員感到很滿意。
2. 操作流程設計方面，87%人員感到很滿意。
3. 系統整體滿意程度方面，85%人員感到很滿意。
4. 作業效能提升方面，60%人員認為可提升40%~50%，19%人員認為可提升30%~40%。
5. 節省購置商用軟體經費方面，19%人員認為可節省約50~100萬元，47%人員認為可節省約10~50萬元。

本系統開發完成後，國土測繪中心先自行辦理試辦及成果驗證，並自 103 年度下半年開始對外推廣使用時，先於 103 年 11 月 13 日於地方研習中心辦理系統教育訓練，參加人員計有 40 人；又於 104 年 3 月 2 日辦理公開展示及訓練，向地方政府及民間測繪業廠商介紹本系統並實機操作示範，計有地方政府人員 15 人、測繪公司 6 人及國土測繪中心人員 9 人參與；另外，本系統於 104 年以「發展衛星測量基線網形平差系統之研究」為題，投稿第 34 屆測量及空間資訊研討會(如附錄 2)，並於會中發表。

104 年起每年固定在地方研習中心舉行 1 班 40 人次得教育訓練，並配合部分縣市政府需求，至當地進行推廣，另部分大專院校測量及土木相關系所也申請本項軟體作為教學使用，另國土測繪中心也此將系統參加中華民國地籍測量學會所舉辦第 2 屆金界獎產品技術類比賽，榮獲特優獎，並於 105 年 7 月 1 日該學會舉辦之「第 18 屆第 2 次會員大會暨衛星定位測量與地籍測量管理系統應用研討會」中頒發獎座，由鄭副主任彩堂代表出席領獎，如圖 2.15。



圖 2.15 國土測繪中心鄭彩堂副主任代表領取第 2 屆金界獎特優獎

第三章 虛擬基線網形平差應用測試

為利用本系統「虛擬基線網形平差」及「最小二乘配置法七參數轉換」功能，發展以本中心 e-GNSS 即時動態定位系統辦理二級加密控制測量之作業方式，規劃選取已辦理地籍圖重測區域進行測試，比較「e-GNSS 即時動態定位系統」及「傳統靜態 GPS」兩者辦理加密控制測量之成果差異，並檢視以「e-GNSS 即時動態定位系統」辦理之成果可否符合二級加密控制測量作業相關規範，測試項目包含觀測時間長度分析、觀測時間間隔分析、加密成果分析等，實驗流程如圖 3.1。

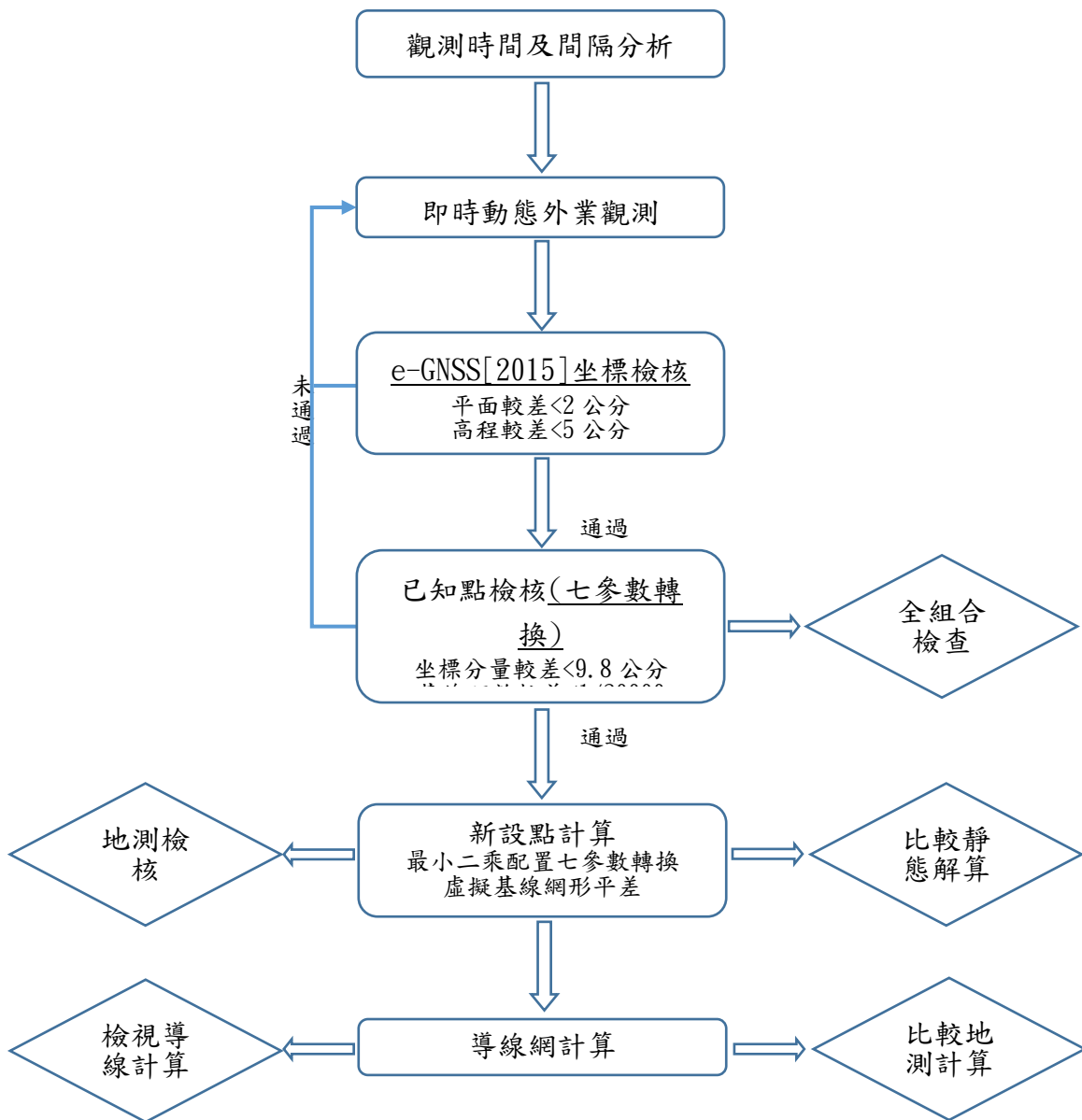


圖 3.1 實驗流程圖

第一節 觀測時間長度分析

依本中心「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」規定，加密控制測量作業需進行 2 測回之 20 分鐘靜態觀測，2 測回間需間隔 1 小時以上，將觀測資料進行後處理解算獲得即時動態定位成果後，再進行坐標轉換獲得法定坐標成果。另本中心 103 年度自行研究報告「三維即時坐標轉換輔助 VBS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究」顯示，VBS-RTK 觀測時間越長，獲得固定解之觀測量越多，但對精度提升無明顯幫助。因此，為評估縮短作業時間，以 105 年度澎湖縣西嶼鄉地籍圖重測區之加密控制測量作業區域為實驗區，共計 28 點加密控制點(圖 3.2)，利用本中心「e-GNSS 即時動態定位系統」在各加密控制點進行 60 分鐘觀測，並分別計算 60 分鐘、20 分鐘及 3 分鐘之即時動態定位成果，以 60 分鐘觀測成果為基準，比較觀測 20 分鐘及 3 分鐘之成果差異，分析 e-GNSS 單點定位精度是否受觀測時間長度影響。



圖 3.2 澎湖縣西嶼鄉地籍圖重測區加密控制點分布圖

經計算觀測 20 分鐘及 3 分鐘之坐標成果與觀測 60 分鐘之坐標成果，比較之結果顯示觀測 3 分鐘之成果亦可能比觀測 20 分鐘更接近 60 分鐘成果，惟不論觀測 20 分鐘或 3 分鐘，其坐標平面較差均在 2 公分內，高程較差亦均在 5 公分內，約為 e-GNSS 即時動態定位系統 1 倍中誤差精度範圍內，屬合理誤差範圍，顯示觀測時間長短，對 e-GNSS 系統單點定位精度並無影響（表 3.1），故採觀測 3 分鐘（180 筆固定解）進行測試。

表 3.1 e-GNSS 即時動態定位系統觀測時間長度坐標成果比較表 (單位：M)

點號	平面較差 (60-20)	高程較差 (60-20)	平面較差 (60-3)	高程較差 (60-3)
B264	0.003	-0.047	0.005	-0.004
F135	0.002	0.003	0.005	-0.003
F147	0.003	-0.007	0.003	-0.003
GA02	0.003	0.005	0.005	-0.001
GA03	0.003	0.006	0.003	0.001
GA07	0.005	-0.011	0.006	-0.001
GA08	0.005	-0.003	0.004	0.006
GA12	0.004	0.008	0.015	0.011
GD06	0.003	-0.041	0.006	0.001
GD14	0.005	0.006	0.006	0.001
GD17	0.010	-0.040	0.013	-0.002
GD19	0.004	-0.041	0.007	-0.005
GD20	0.003	-0.038	0.007	-0.003
GE01	0.003	-0.040	0.006	-0.003
GE02	0.002	0.004	0.004	-0.002
GE03	0.001	0.000	0.011	-0.002
GE04	0.004	-0.036	0.003	0.001
GE05	0.005	0.000	0.007	-0.002
GE06	0.006	-0.049	0.004	-0.004
GE07	0.002	-0.006	0.004	-0.006
GE08	0.001	-0.003	0.002	-0.002
GE09	0.004	-0.007	0.002	-0.002
GE10	0.001	-0.010	0.002	-0.002
GE11	0.005	-0.007	0.010	-0.001
SY03	0.005	0.000	0.003	-0.001
SY04	0.010	-0.040	0.010	-0.003
SY05	0.002	0.009	0.017	0.015
X025	0.002	-0.035	0.003	-0.004

第二節 觀測時間間隔分析

為避免單次觀測無法發現週波未定值求解不佳影響定位精度，作業方式採 2 測回觀測，本實驗比較 2 測回觀測間隔時間在 1 小時內與 1 小時以上之成果差異，實驗區為 105 年度澎湖縣西嶼鄉地籍圖重測區，測試點位包含加密控制點及部分圖根點，共計 67 點（圖 3.3）。

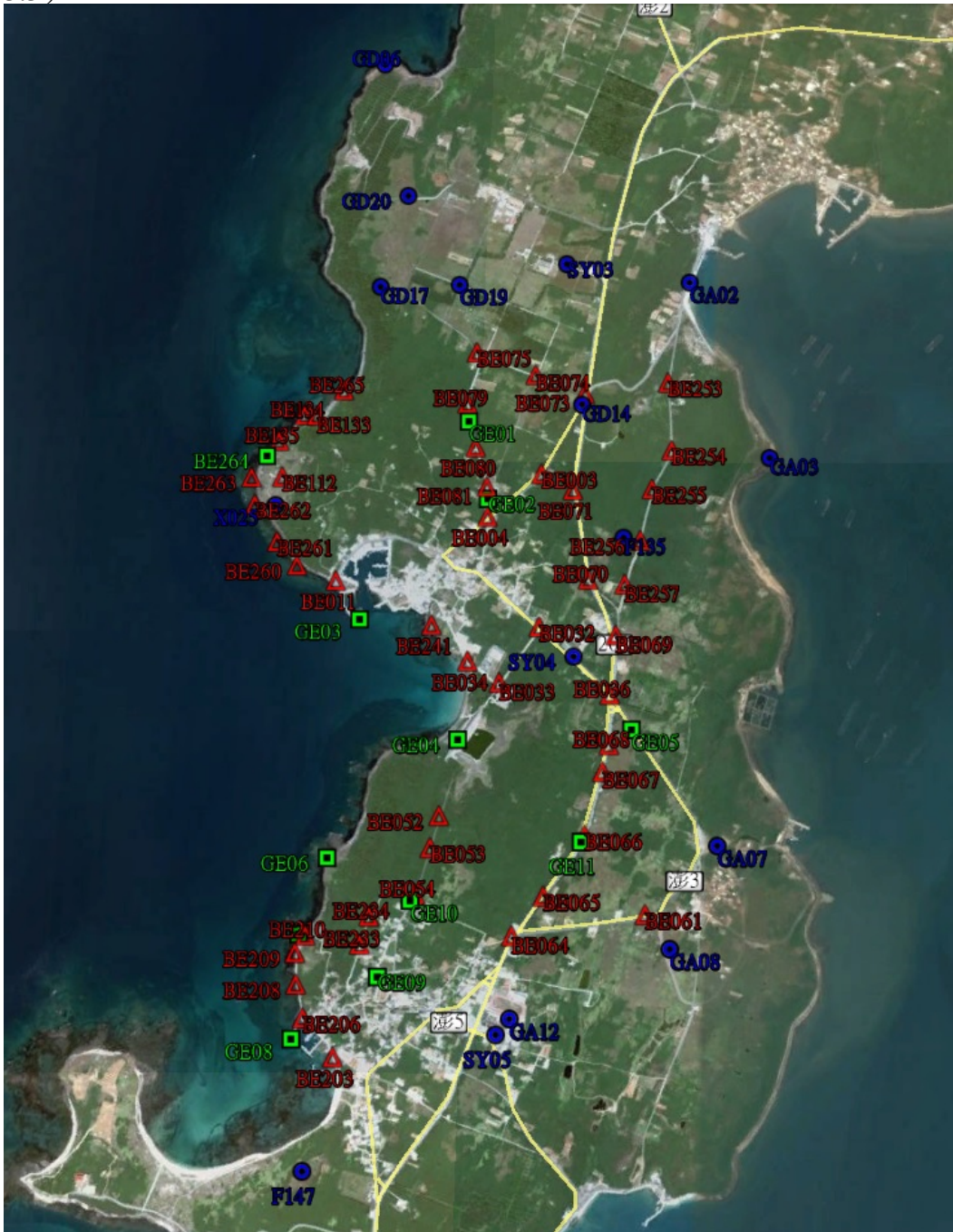


圖 3.3 澎湖縣西嶼地籍圖重測區加密控制點及圖根點分布圖

實驗結果，無論加密點或圖根點，兩者坐標成果較差在 e-GNSS 即時動態定位系統 1 倍中誤差精度範圍內達 97% (表 3.2)，最大較差亦僅 2.5 公分，顯示 2 測回觀測間隔時間之長短對成果並無顯著影響，故決定採 2 測回觀測間隔時間不予限制，僅需所有設備重新開機之作業方式進行測試。

表 3.2 測回間不同間隔時間成果分析表 (單位：M)

點號	平面坐標較差	高程坐標較差
BD168	0.003	0.005
BD176	0.004	0.039
BD177	0.000	0.000
BE003	0.004	0.009
BE004	0.001	-0.002
BE112	0.002	-0.005
BE011	0.008	0.035
BE012	0.004	-0.002
BE133	0.011	0.003
BE134	0.013	-0.016
BE135	0.002	0.028
BE203	0.010	0.003
BE206	0.009	-0.006
BE207	0.007	0.014
BE208	0.025	0.037
BE209	0.005	0.025
BE210	0.003	-0.022
BE234	0.005	0.000
BE241	0.005	-0.002
BE253	0.013	-0.001
BE254	0.004	-0.006
BE255	0.003	-0.003
BE256	0.014	-0.026
BE257	0.010	-0.034
.	.	.
.	.	.
.	.	.

2 測回不同間隔時間平面較差統計		
範圍	點數	比例
0~1 公分	50	74.63%
1~2 公分	15	22.39%
2 公分以上	2	2.98%

2 測回不同間隔時間高程較差統計		
範圍	點數	比例
0~2 公分	48	71.64%
2~5 公分	19	28.36%
5 公分以上	0	0.00%

第三節 觀測方式及資料處理

為確保動態觀測成果品質，以觀測資料固定解筆數做為資料量之限制條件，設定單測回最少須獲得 180 筆固定解成果，並經剔除 3 倍中誤差後可用資料筆數需大於 150 筆，其平均值為該測回坐標成果，再將 2 測回坐標成果取平均視為觀測點位之坐標成果（表 3.3）。

表 3.3 西嶼實驗區 e-GNSS 觀測 2 測回坐標成果表（單位：M）

點號	N	E	h	水平 中誤差	高程 中誤差	計算 筆數	總點數	觀測量 使用比率	平面 較差	高程 較差	平均 N	平均 E	平均 h
BD168A	2613418.419	302409.326	46.795	0.007	0.028	185	185	100.0%	0.012	-0.005	2613418.418	302409.320	46.797
BD168B	2613418.416	302409.314	46.800	0.007	0.024	186	187	99.5%					
BD176A	2613664.122	302748.260	22.219	0.009	0.016	180	181	99.4%	0.015	-0.001	2613664.127	302748.255	22.220
BD176B	2613664.131	302748.249	22.220	0.013	0.023	180	180	100.0%					
BD177A	2613773.238	302785.141	22.705	0.011	0.020	181	181	100.0%	0.009	-0.013	2613773.237	302785.137	22.712
BD177B	2613773.236	302785.133	22.718	0.006	0.009	162	182	89.0%					
BE003A	2613045.200	302223.364	45.413	0.006	0.011	183	183	100.0%	0.008	-0.015	2613045.198	302223.360	45.420
BE003B	2613045.196	302223.357	45.428	0.006	0.009	182	182	100.0%					
BE004A	2612869.412	302009.101	40.485	0.008	0.014	185	186	99.5%	0.004	0.001	2612869.414	302009.101	40.485
BE004B	2612869.416	302009.100	40.485	0.006	0.011	184	184	100.0%					
BE095A	2613205.172	301741.801	37.022	0.013	0.021	180	182	98.9%	0.008	0.020	2613205.169	301741.804	37.012
BE095B	2613205.165	301741.806	37.002	0.008	0.015	179	182	98.4%					
BE112A	2613033.413	301159.562	34.068	0.010	0.030	186	186	100.0%	0.019	-0.016	2613033.421	301159.568	34.076
BE112B	2613033.428	301159.574	34.084	0.011	0.021	185	185	100.0%					
BE011A	2612608.498	301395.667	23.318	0.012	0.017	185	185	100.0%	0.012	0.006	2612608.492	301395.667	23.315
BE011B	2612608.486	301395.666	23.312	0.007	0.023	182	183	99.5%					
BE012A	2612456.946	301501.007	21.567	0.010	0.013	183	183	100.0%	0.016	0.012	2612456.946	301500.999	21.561
BE012B	2612456.946	301500.991	21.555	0.020	0.093	274	274	100.0%					
BE133A	2613288.836	301285.949	24.376	0.013	0.021	182	182	100.0%	0.018	0.015	2613288.843	301285.955	24.369
BE133B	2613288.850	301285.961	24.361	0.008	0.013	186	186	100.0%					
BE134A	2613291.399	301236.397	22.913	0.013	0.023	185	185	100.0%	0.016	0.019	2613291.391	301236.395	22.904
BE134B	2613291.384	301236.393	22.894	0.011	0.026	181	184	98.4%					
BE135A	2613183.968	301137.138	28.869	0.010	0.015	183	183	100.0%	0.008	-0.014	2613183.964	301137.139	28.876
BE135B	2613183.960	301137.140	28.883	0.008	0.032	195	196	99.5%					
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

第四節 已知點檢核

利用七參數轉換將已知點動態觀測資料由 e-GNSS【2015】坐標系統轉換至法定坐標系統，依照加密控制測量作業規範，即各坐標分量較差 < 9.8 公分，基線長度較差 $< 1/20000$ 或 3 公分 $+6\text{ppm}\times L$ ，方位角較差 < 20 秒（表 3.4），用以檢查已知點是否有所變動。此外，將動態觀測成果及七參數轉換成果進行全組合比較，因坐標系統不同，忽略坐標分量較差部分，僅檢核基線長度較差 $< 1/20000$ 或 3 公分 $+6\text{ppm}\times L$ ，方位角較差 < 20 秒（表 3.5），確保轉換前後點位間相對位置維持在合理範圍內。

表 3.4 已知點成果檢核報表

☆☆☆ 內政部國土測繪中心 ☆☆☆

點位坐標檢測成果報表

檢測坐標 點號	檢測坐標 N (m)	原始坐標 E (m)	原始坐標 N (m)	較差 (原-檢) E (m)	dN(m)	dE(m)	差值	
1	3022	2752100.271	275255.940	2752100.269	275255.941	-0.002	0.001	0.002
2	4014	2753851.254	278151.881	2753851.246	278151.889	-0.008	0.008	0.011
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
共 7 個點，其中最大較差 dN(H211 : 0.021) dE(H211 : -0.030) d(H211 : 0.037)								

點號	檢測高程	原始高程	高程較差	
1	3022	222.182	222.133	-0.049
2	4014	126.401	126.381	-0.020
·	·	·	·	·
·	·	·	·	·
·	·	·	·	·
共 7 個點，其中最大較差 (H192 : 0.070)				

<<<< 距離檢核 >>>>

: [較差] $> 1/20000 \times$ [距離] ! : [較差]判定為 # , 惟小於 3.0 cm

測站	測站	檢測距離(m)	反算距離(m)	較差	距離/較差	容許值#	備註
3022	4014	3385.497	3385.499	-0.002	1640064	0.169	
3022	GD32	1690.861	1690.854	0.006	270367	0.085	
·	·	·	·	·	·	·	
·	·	·	·	·	·	·	
·	·	·	·	·	·	·	
相對精度最低為 GD32 --> H192 : 1 / 48169							

<<<< 方位角檢核 >>>>

測站	測站	檢測方位角	反算方位角	較差(秒)	備註
3022	4014	58-50-29.17	58-50-29.70	-0.53	
3022	GD32	62-53-54.11	62-53-54.81	-0.70	
·	·	·	·	·	
·	·	·	·	·	
·	·	·	·	·	
方位角較差最大為 4014 --> H192 : -2.91 秒 (1228.217 m)					

表 3.5 已知點成果檢核報表

☆☆☆ 內政部國土測繪中心 ☆☆☆

點位坐標檢測成果報表

檢測坐標 點號	檢測坐標 N (m)	原始坐標		較差 (原-檢)		dN(m)	dE(m)	差值
		E (m)	N (m)	E (m)				
1 3021	2753513.698	277265.287	2753513.519	277265.757	-0.179	0.470	0.503	
2 3022	2752100.269	275255.941	2752100.090	275256.410	-0.179	0.469	0.502	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

共 8 個點，其中最大較差 dN(HP50 : -0.181) dE(HP50 : 0.471) d(HP50 : 0.505)

點號	檢測高程	原始高程	高程較差
1 3021	204.158	204.144	-0.014
2 3022	222.133	222.130	-0.003
⋮	⋮	⋮	⋮

共 8 個點，其中最大較差 (HP50 : -0.039)

<<<< 距離檢核 >>>>

: [較差] > 1/20000 × [距離]

! : [較差]判定為 # , 惟小於 3.0 cm

測站	測站	檢測距離(m)	反算距離(m)	較差	距離/較差	容許值#	備註
3021	3022	2456.741	2456.742	-0.001	2734579	0.123	
3021	4014	951.867	951.867	0.000	99999999	0.048	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

相對精度最低為 3021 --> H192 : 1 / 455705

<<<< 方位角檢核 >>>>

測站	測站	檢測方位角	反算方位角	較差(秒)	備註
3021	3022	234-52-35.03	234-52-35.08	-0.05	
3021	4014	69-09-25.63	69-09-25.35	0.28	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

方位角較差最大為 3021 --> 4014 : 0.28 秒 (948.684 m)

第五節 成果計算及檢核

利用「虛擬基線平差」及「最小二乘配置法七參數轉換」分別計算新設加密點成果，並比照傳統靜態測量實施地測檢核，其檢核成果需符合上述規定，即基線長度較差 $< 1/20000$ ，方位角較差 < 20 秒（表 3.6）。此外，強制附合後之坐標成果需與點位動態觀測之坐標成果進行全組合檢查（忽略坐標分量較差部分），以確保點位相對關係無明顯錯誤，再將動態測量成果取代傳統靜態測量成果進行後續圖根測量之導線網平差計算。

表 3.6 地測檢核成果報表

衛星定位測量成果與地面觀測成果比較表

觀測資料檔：105XA.OBS

坐標資料檔：04.地測檢核_網平.ctl

投影基準：TWD97

地 測 海水面 投 影 改正後

點(1)	點(2)	平 距	改 正	改 正	距 離	反算距離	較差	相對精度
GE09	F147	792.009	-0.006	-0.053	791.950	791.914	0.036	22012
GE09	GE10	321.681	-0.002	-0.022	321.657	321.664	-0.007	46653
GE09	GE08	415.638	-0.002	-0.028	415.608	415.597	0.011	37221
GE07	GE08	408.856	-0.002	-0.028	408.827	408.826	0.001	596778
GE03	GE06	960.370	-0.004	-0.064	960.302	960.307	-0.005	187016
GE06	GE07	316.542	-0.002	-0.021	316.519	316.504	0.015	21470
GE03	GE04	642.088	-0.003	-0.043	642.042	642.038	0.004	143579
GE11	GA08	555.734	-0.004	-0.037	555.693	555.683	0.010	53972
GE05	GA07	580.789	-0.004	-0.038	580.747	580.726	0.020	28486
GE01	GE02	332.253	-0.002	-0.022	332.229	332.221	0.008	44128
GE08	F147	510.111	-0.003	-0.034	510.074	510.049	0.025	20417

後視	測站	前視	地測角度	反算角度	較差(")
GE08	GE09	F147	325-04-45.0	325-04-36.2	8.8
GE08	GE09	GE10	147-28-17.0	147-28-00.0	17.0
F147	GE08	GE09	242-43-39.0	242-43-42.3	-3.3
F147	GE08	GE07	190-24-40.0	190-24-34.8	5.2
GE06	GE07	GE08	163-37-37.0	163-37-34.6	2.4
GE04	GE03	GE06	45-56-45.0	45-56-37.0	8.0

第四章 虛擬基線網形平差應用測試結果分析

挑選北（大溪重測區）、中（沙鹿重測區）、南（麻豆重測區）及離島（西嶼重測區）各一地籍圖重測區進行測試，以上實驗區皆已完成靜態觀測及計算，坐標系統為 TWD97，且成果皆符合加密控制測量規範，藉由對各實驗區進行即時動態觀測及資料處理計算，分析臺灣本島不同區域及離島之實驗成果與傳統靜態測量成果之差異，並檢視可否符合加密控制測量規範（坐標分量較差 <9.8 公分；基線長度較差 $<1/20000$ 或 3 公分 $+6\text{ppm}\times L$ ；方位角較差 <20 秒），評估本實驗所研擬作業方式之可行性。

第一節 大溪實驗區

本實驗區包含已知點 8 點，新設點 19 點，共計 27 點（圖 4.1），觀測資料經計算合格後進行七參數轉換檢核已知點，平面較差最大 3.7 公分，高程較差最大 7.0 公分，基線長度相對精度最低為 $1/48169$ （基線長度：862.649 公尺，坐標反算較差 0.018 公尺），方位角較差最大為 -2.91 秒，符合加密控制測量作業手冊規範，點位較差情形如圖 4.2，另將動態觀測坐標成果與七參數轉換坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 $1/345538$ （基線長度：343.277 公尺，坐標反算較差 0.001 公尺），方位角較差最大為 0.66 秒，顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。



圖 4.1 大溪實驗區範圍圖

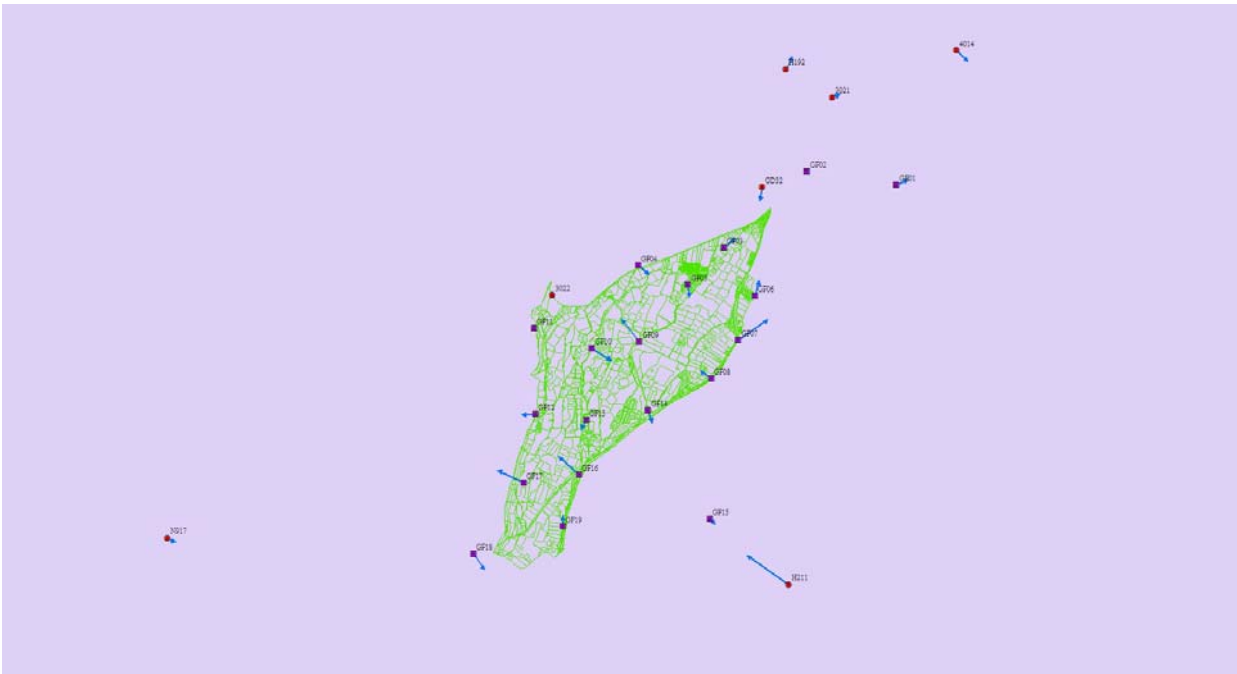


圖 4.2 大溪實驗區點位較差圖

將通過檢核之已知點作為轉換共軛點進行最小二乘配置七參數轉換，計算加密控制測量成果，並將計算成果與動態觀測坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 1/18691 (GF15-H211，基線長度：749.013 公尺，坐標反算較差 0.040 公尺)，H211 為舊圖根點，精度稍差尚屬合理，方位角較差最大為-2.87 秒，顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。加密控制點成果經地測檢核，基線長度相對精度最低為 1/22334 (地測改正後距離：760.166 公尺，坐標反算較差 0.034 公尺)，夾角較差最大為-17.4 秒，符合加密控制測量作業手冊地測檢核規範。

另以虛擬基線網形平差計算加密控制測量成果，並將計算成果與動態觀測坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 1/28053 (基線長度：749.000 公尺，坐標反算較差 0.027 公尺)，方位角較差最大為 3.04 秒，顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。加密控制點成果經地測檢核，基線長度相對精度最低為 1/23630 (地測改正後距離：760.166 公尺，坐標反算較差 0.032 公尺)，夾角較差最大為-16.1 秒，符合加密控制測量作業手冊地測檢核規範。

分別將「虛擬基線網形平差」及「最小二乘配置法七參數轉換」計算之點位坐標與「傳統靜態 GPS」計算之點位坐標進行比較，最小二乘配置法七參數轉換計算成果平面較差最大 2.7 公分，高程較差最大 7.3 公分，虛擬基線網型平差計算成果平面較差最大 3.1 公分，高程較差最大 8.8 公分，統計結果如表 4.1，參考加密控制測量作業規範，坐標分量較差需小於 9.8 公分，測試結果均符合。再分別將兩者坐標成果取代「傳統靜態 GPS」坐標成果進行後續導線網平差計算，並比較圖根點坐標成果，本實驗區總計 279 點圖根點，以最小二乘配置法七參數轉換計算成果推算之圖根點平面較差最大 2.5 公分，以虛擬基線網形平差計算成果推算之圖根點平面較差最大 2.4 公分，統計結果如表 4.2，導線網計算均符合規範；參考地籍圖重測作業手冊規範，以 RTK 施測圖根點較差需小於 3 公分，上述測試結果亦均符合。

表 4.1 動態計算與「傳統靜態 GPS」成果差異分析表（單位：M）

點號	七參數 LSC 平面較差	七參數 LSC 高程較差	虛擬基線網形平差 平面較差	虛擬基線網形平差 高程較差
GF01	0.011	0.039	0.011	0.037
GF02	0.007	-0.020	0.006	-0.009
GF03	0.013	-0.008	0.016	-0.020
GF04	0.009	-0.071	0.012	-0.088
GF05	0.008	-0.009	0.009	-0.025
GF06	0.013	0.021	0.015	0.012
GF07	0.027	0.073	0.031	0.064
GF08	0.010	0.030	0.006	0.019
GF09	0.021	0.028	0.019	0.009
GF10	0.016	0.042	0.019	0.029
GF11	0.005	0.017	0.004	0.007
GF12	0.010	-0.010	0.005	-0.036
GF13	0.007	-0.040	0.008	-0.061
GF14	0.009	0.037	0.013	0.021
GF15	0.008	0.020	0.021	0.023
GF16	0.020	0.008	0.014	-0.010
GF17	0.021	0.070	0.013	0.050
GF18	0.013	0.051	0.021	0.031
GF19	0.009	0.027	0.009	0.012

七參數 LSC			虛擬基線網形平差		
範圍	點數	比例	範圍	點數	比例
0~2 公分	15	78.95%	0~2 公分	16	84.21%
2~5 公分	4	21.05%	2~5 公分	3	15.79%
5~9.8 公分	0	0.00%	5~9.8 公分	0	0.00%
9.8 公分以上	0	0.00%	9.8 公分以上	0	0.00%

表 4.2 圖根點計算成果差異分析表 (單位：M)

點號	七參數 LSC_平面較差	虛擬基線網形平差_平面較差
BH001	0.003	0.003
BH002	0.001	0.001
BH003	0.004	0.005
BH004	0.007	0.009
BH005	0.009	0.011
BH006	0.010	0.013
BH007	0.009	0.013
BH008	0.010	0.013
BH009	0.011	0.014
BH010	0.014	0.017
BH011	0.013	0.016
BH012	0.008	0.010
BH013	0.006	0.009
BH014	0.005	0.008
BH015	0.007	0.010
BH016	0.007	0.010
BH017	0.011	0.014
BH018	0.004	0.005
BH019	0.005	0.006
BH020	0.006	0.008
BH021	0.007	0.009
BH022	0.009	0.009
BH023	0.011	0.011
BH024	0.008	0.010
BH025	0.007	0.009
⋮	⋮	⋮

七參數 LSC			虛擬基線網形平差		
範圍	點數	比例	範圍	點數	比例
0~2 公分	272	97.49%	0~2 公分	275	98.57%
2~3 公分	7	2.51%	2~3 公分	4	1.43%
3 公分以上	0	0.00%	3 公分以上	0	0.00%

第二節 沙鹿實驗區

本實驗區包含已知點 12 點，新設點 9 點，共計 21 點 (圖 4.3)，觀測資料經計算合格後進行七參數轉換檢核已知點，平面較差最大 1.8 公分，高程較差最大 4.0 公分，基線長度相對精度最低為 1/21152 (基線長度：367.748 公尺，坐標反算較差 0.017 公尺)，方位角較差最大為 -12.50 秒，符合加密控制測量作業手冊規範，點位較差情形如圖 4.4，另將動態觀測坐標成果與七參數轉換坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 1/324111 (基線長度：276.980 公尺，坐標反算較差 0.001 公尺)，方位角較差最大為 -1.26 秒，顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。

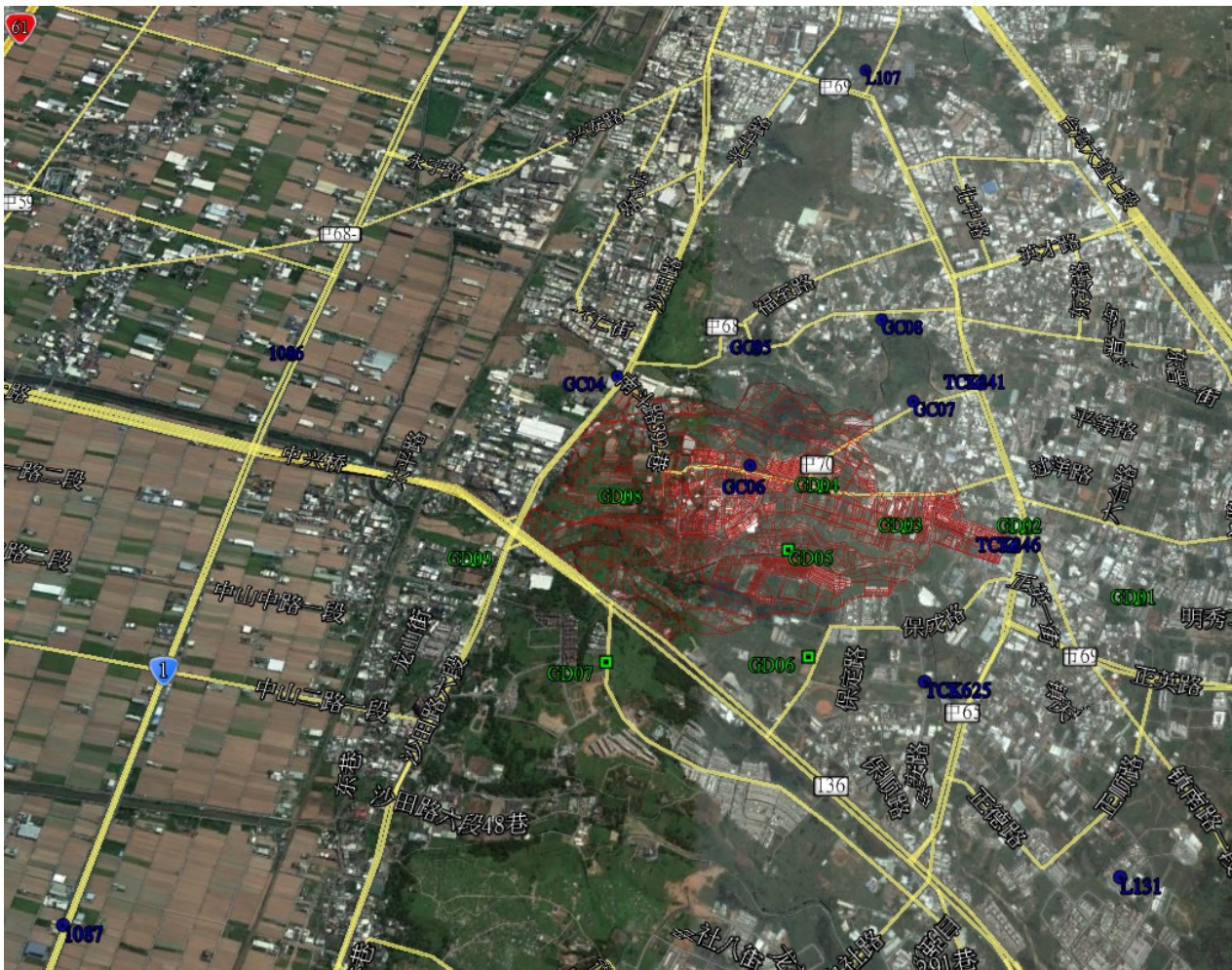


圖 4.3 沙鹿實驗區範圍圖



圖 4.4 沙鹿實驗區點位較差圖

將通過檢核之已知點作為轉換共軛點進行最小二乘配置七參數轉換，計算加密控制測量成果，並將計算成果與動態觀測坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 $1/21010$ （基線長度：367.748 公尺，坐標反算較差 0.018 公尺），方位角較差最大為 -13.24 秒，顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。加密控制點成果經地測檢核，基線長度相對精度最低為 $1/20557$ （地測改正後距離：641.482 公尺，坐標反算較差 0.031 公尺），夾角較差最大為 $-9.5''$ ，符合加密控制測量作業手冊規範。

另以虛擬基線網形平差計算加密控制測量成果，並將計算成果與觀測之坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 $1/21010$ （基線長度：367.748 公尺，坐標反算較差 0.018 公尺），方位角較差最大為 $-13.24''$ ，顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。加密控制點成果經地測檢核，基線長度相對精度最低為 $1/20692$ （地測改正後距離：641.482 公尺，坐標反算較差 0.031 公尺），夾角較差最大為 $-10.2''$ ，符合加密控制測量作業手冊規範。

分別將「虛擬基線網形平差」及「最小二乘配置法七參數轉換」計算之點位坐標與「傳統靜態 GPS」計算之點位坐標進行比較，最小二乘配置法七參數轉換計算成果平面較差最大 2.3 公分，高程較差最大 2.0 公分，虛擬基線網形平差計算成果平面較差最大 2.3 公分，高程較差最大 3.4 公分，統計結果如表 4.3，參考加密控制測量作業規範，坐標分量較差需小於 9.8 公分，測試結果均符合。再分別將兩者坐標成果取代「傳統靜

態 GPS」坐標成果進行後續導線網平差計算，並比較圖根點坐標成果，本實驗區總計 256 點圖根點，以最小二乘配置法七參數轉換計算成果推算之圖根點平面較差最大 2.5 公分，以虛擬基線網形平差計算成果推算之圖根點平面較差最大 2.3 公分，統計結果如表 4.4，導線網計算均符合規範，參考地籍圖重測作業手冊規範，以 RTK 施測圖根點較差需小於 3 公分，測試結果均符合。

表 4.3 動態計算與「傳統靜態 GPS」成果差異分析表（單位：M）

點號	七參數 LSC 平面較差	七參數 LSC 高程較差	虛擬基線網形平差 平面較差	虛擬基線網形平差 高程較差
GD01	0.008	-0.008	0.010	0.007
GD02	0.022	0.000	0.023	0.001
GD03	0.011	-0.019	0.011	0.000
GD04	0.023	0.001	0.018	0.019
GD05	0.003	0.012	0.005	0.034
GD06	0.010	-0.011	0.006	0.004
GD07	0.014	-0.020	0.010	0.004
GD08	0.007	-0.007	0.004	0.006
GD09	0.006	-0.012	0.008	-0.003

七參數 LSC			虛擬基線網形平差		
範圍	點數	比例	範圍	點數	比例
0~2 公分	7	77.78%	0~2 公分	8	88.89%
2~5 公分	2	22.22%	2~5 公分	1	11.11%
5~9.8 公分	0	0.00%	5~9.8 公分	0	0.00%
9.8 公分以上	0	0.00%	9.8 公分以上	0	0.00%

表 4.4 圖根點計算成果差異分析表 (單位：M)

點號	七參數 LSC_平面較差	虛擬基線網形平差_平面較差
BE001	0.017	0.017
BE002	0.018	0.018
BE003	0.019	0.017
BE004	0.021	0.020
BE005	0.019	0.019
BE006	0.022	0.021
BE007	0.024	0.023
BE008	0.007	0.007
BE009	0.009	0.007
BE010	0.003	0.002
BE011	0.006	0.005
BE012	0.002	0.003
BE013	0.001	0.001
BE014	0.004	0.002
BE015	0.002	0.004
BE016	0.007	0.004
BE017	0.008	0.004
BE018	0.008	0.004
BE019	0.008	0.004
BE020	0.004	0.003
BE021	0.006	0.008
BE022	0.001	0.004
BE023	0.002	0.005
BE024	0.007	0.006
BE025	0.011	0.007
⋮	⋮	⋮

七參數 LSC			虛擬基線網形平差		
範圍	點數	比例	範圍	點數	比例
0~2 公分	240	93.75%	0~2 公分	253	98.83%
2~3 公分	16	6.25%	2~3 公分	3	1.17%
3 公分以上	0	0.00%	3 公分以上	0	0.00%

第三節 麻豆實驗區

本實驗區包含已知點 16 點，新設點 4 點，共計 20 點（圖 4.5），觀測資料經計算合格後進行七參數轉換檢核已知點，平面較差最大 4.5 公分，高程較差最大 9.8 公分，基線長度相對精度最低為 1/16659（GA61-GA62，基線長度：378.477 公尺，坐標反算較差 0.023 公尺），惟其較差 2.3 公分，小於 3 公分，方位角較差最大為 18.48 秒，符合加密控制測量作業手冊規範，點位較差情形如圖 4.6，另將動態觀測坐標成果與七參數轉換坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 1/468948（基線長度：467.884 公尺，坐標反算較差 0.001 公尺），方位角較差最大為 -0.72 秒，顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。

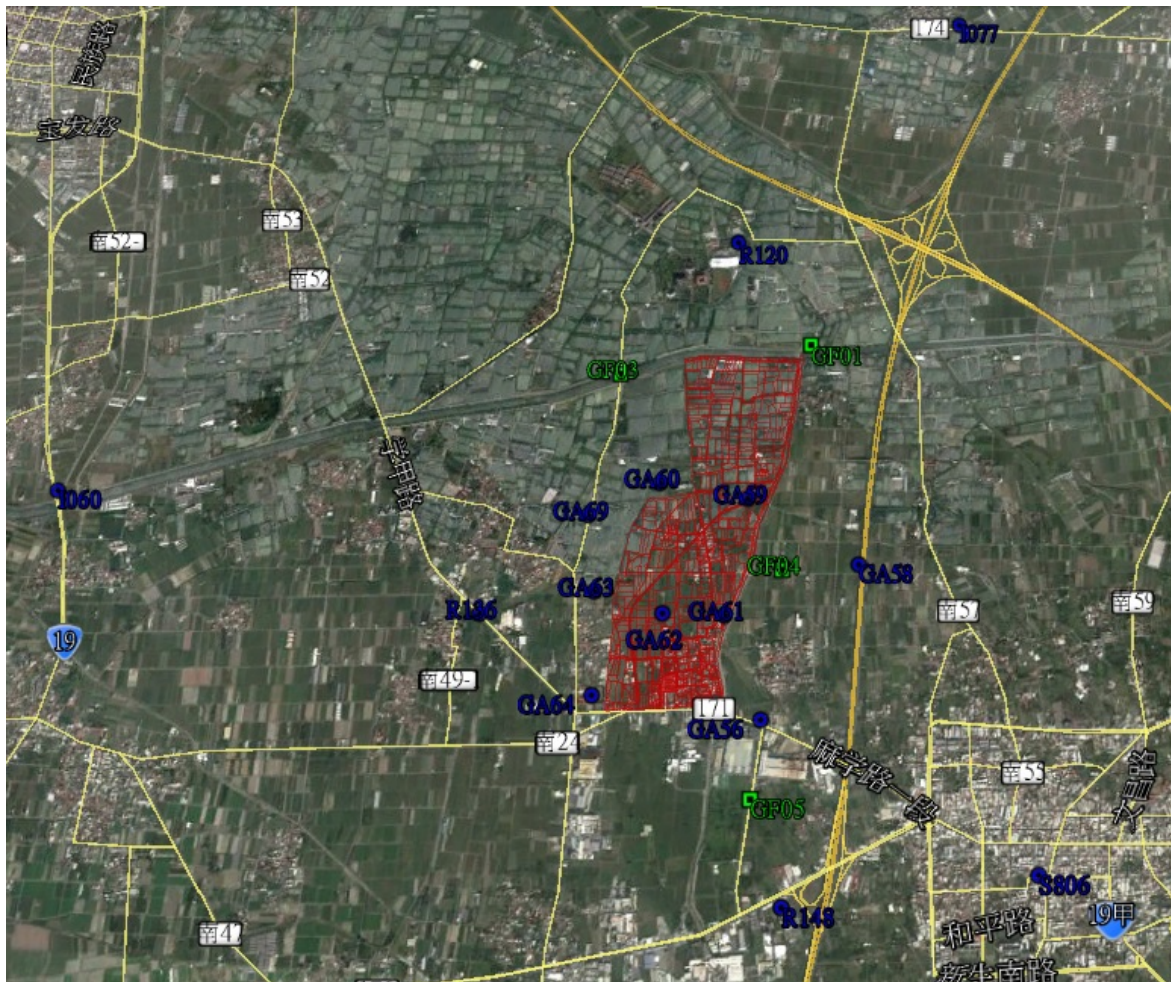


圖 4.5 麻豆實驗區範圍圖



圖 4.6 麻豆實驗區點位較差圖

將通過檢核之已知點作為轉換共軛點進行最小二乘配置七參數轉換，計算加密控制測量成果，並將計算成果與動態觀測坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 1/14820 (GA63-R136，基線長度：698.769 公尺，坐標反算較差 0.047 公尺)，該兩點均為已知點，不影響計算成果，方位角較差最大為 17.93 秒，顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。加密控制點成果經地測檢核，基線長度相對精度最低為 1/20277(地測改正後距離：467.870 公尺，坐標反算較差 0.023 公尺)，夾角較差最大為-9.3 秒，符合加密控制測量作業手冊規範。

另以虛擬基線網形平差計算加密控制測量成果，並將計算成果與與動態觀測坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 1/14820 (GA63-R136，基線長度：698.769 公尺，坐標反算較差 0.047 公尺)，該兩點均為已知點，不影響計算成果，方位角較差最大為 17.93 秒，顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。加密控制點成果經地測檢核，基線長度相對精度最低為 1/20019 (地測改正後距離：493.545 公尺，坐標反算較差 0.025 公尺)，夾角較差最大為-9.6 秒，符合加密控制測量作業手冊規範。

分別將「虛擬基線網形平差」及「最小二乘配置法七參數轉換」計算之點位坐標與「傳統靜態 GPS」計算之點位坐標進行比較，最小二乘配置法七參數轉換計算成果平面較差最大 2.1 公分，高程較差最大 7.9 公分，虛擬基線網形平差計算成果平面較差最大 2.0 公分，高程較差最大 8.7 公分，統計結果如表 4.5，參考加密控制測量作業規範，

坐標分量較差需小於 9.8 公分，測試結果均符合。再分別將兩者坐標成果取代「傳統靜態 GPS」坐標成果進行後續導線網平差計算，並比較圖根點坐標成果，本實驗區總計 212 點圖根點，以最小二乘配置法七參數轉換計算成果推算之圖根點平面較差最大 2.1 公分，以虛擬基線網形平差計算成果推算之圖根點平面較差最大 1.3 公分，統計結果如表 4.6，導線網計算均符合規範，參考地籍圖重測作業手冊規範，以 RTK 施測圖根點較差需小於 3 公分，測試結果均符合。

表 4.5 動態計算與「傳統靜態 GPS」成果差異分析表（單位：M）

點號	七參數 LSC 平面較差	七參數 LSC 高程較差	虛擬基線網形平差 平面較差	虛擬基線網形平差 高程較差	
GF01	0.021	-0.079	0.012	-0.087	
GF03	0.011	-0.043	0.005	-0.059	
GF04	0.016	-0.021	0.013	-0.008	
GF05	0.012	-0.017	0.020	0.006	
七參數 LSC			虛擬基線網形平差		
範圍	點數	比例	範圍	點數	比例
0~2 公分	3	75.00%	0~2 公分	4	100%
2~5 公分	1	25.00%	2~5 公分	0	0.00%
5~9.8 公分	0	0.00%	5~9.8 公分	0	0.00%
9.8 公分以上	0	0.00%	9.8 公分以上	0	0.00%

表 4.6 圖根點計算成果差異分析表 (單位：M)

點號	七參數 LSC_平面較差	虛擬基線網形平差_平面較差
BF01	0.001	0.001
BF02	0.002	0.002
BF03	0.002	0.002
BF04	0.001	0.001
BF05	0.001	0.001
BF06	0.001	0.001
BF07	0.002	0.001
BF08	0.001	0.001
BF09	0.001	0.000
BF10	0.000	0.000
BF11	0.001	0.001
BF12	0.001	0.001
BF13	0.001	0.001
BF14	0.000	0.000
BF15	0.000	0.000
BF16	0.001	0.001
BF17	0.000	0.000
BF18	0.000	0.000
BF19	0.001	0.001
BF20	0.001	0.001
BF21	0.000	0.001
BF22	0.001	0.001
BF23	0.000	0.000
BF24	0.001	0.001
BF25	0.000	0.001
⋮	⋮	⋮

七參數 LSC			虛擬基線網形平差		
範圍	點數	比例	範圍	點數	比例
0~2 公分	212	100.00%	0~2 公分	212	100.00%
2~3 公分	0	0.00%	2~3 公分	0	0.00%
3 公分以上	0	0.00%	3 公分以上	0	0.00%

第四節 西嶼實驗區

本實驗區包含已知點 16 點，新設點 12 點，共計 28 點（圖 4.7），觀測資料經計算合格後進行七參數轉換檢核已知點，平面較差最大 5.1 公分，高程較差最大 33.7 公分，經比對靜態計算資料 GA02、GD06 及 SY03 高程有誤，設為平面控制點，目前本功能尚無法設定各分量約制條件，本測試區高程不列入考量，僅針對平面成果探討，基線長度相對精度最低為 1/5211，方位角較差最大為 58.56"，經分析精度不符者為 GA12-SY05，其距離僅 81.67 公尺，排除此基線後，基線長度相對精度最低為 1/20836（基線長度：399.135 公尺，坐標反算較差 0.019 公尺），方位角較差最大為 -7.38"，符合加密控制測量作業手冊規範，點位較差情形如圖 4.8，另將動態觀測坐標成果與七參數轉換坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 1/65729（基線長度：208.367 公尺，坐標反算較差 0.003 公尺），方位角較差最大為 -0.89"，顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。

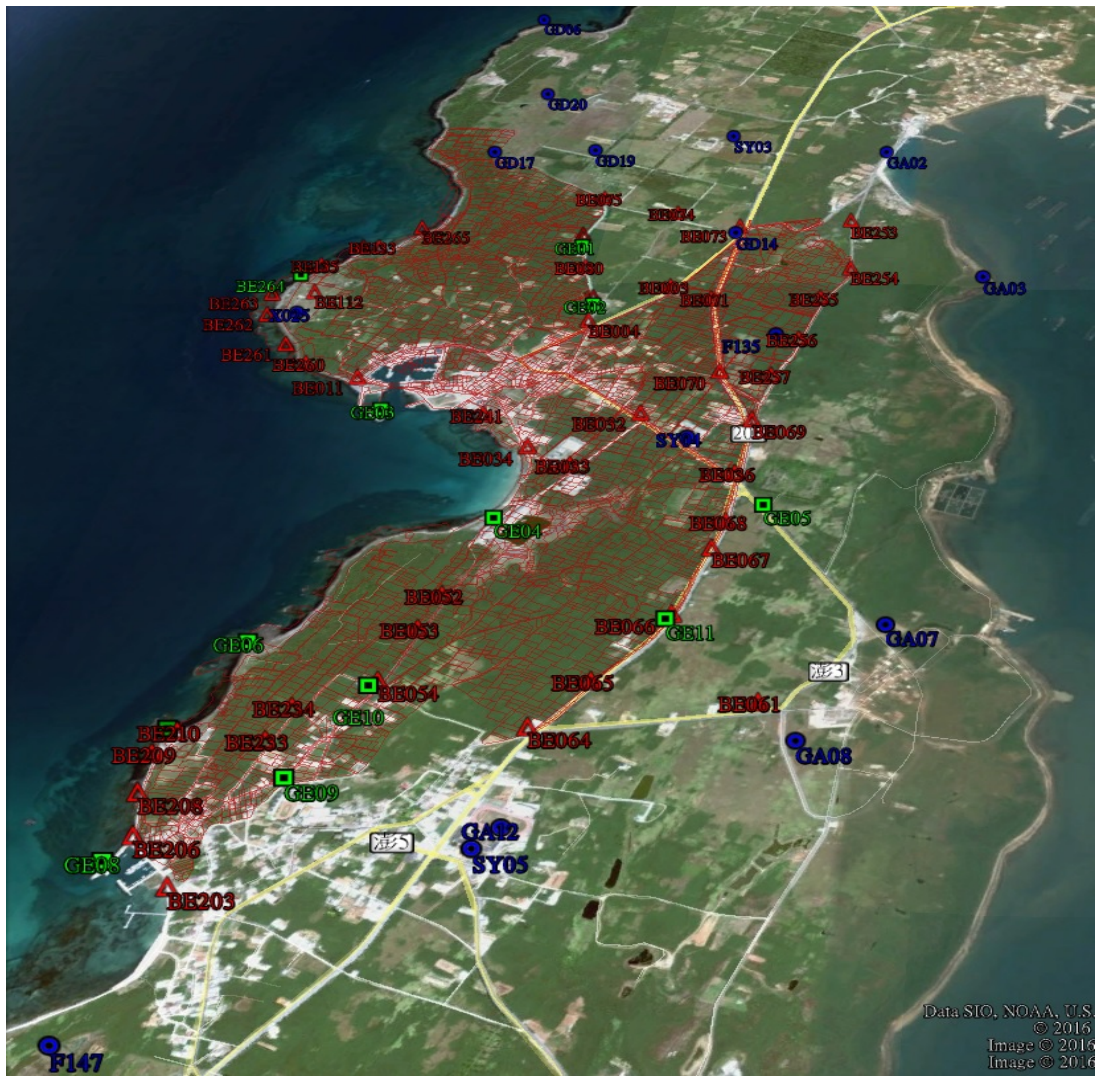


圖 4.7 西嶼實驗區範圍圖

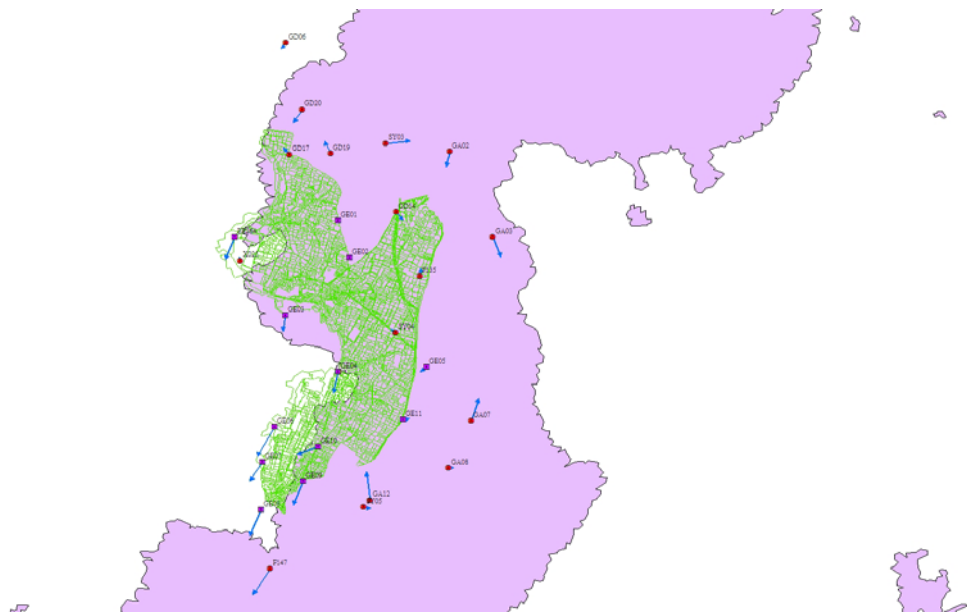


圖 4.8 西嶼實驗區點位較差圖

將通過檢核之已知點作為轉換共軛點進行最小二乘配置七參數轉換，計算加密控制測量成果，並將計算成果與動態觀測坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 1/20836（基線長度：399.135 公尺，坐標反算較差 0.019 公尺），方位角較差最大為 -7.35”（已排除 GA12-SY05），顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。加密控制點成果經地測檢核，基線長度相對精度最低為 1/24384（地測改正後距離：580.789 公尺，坐標反算較差 0.024 公尺），夾角較差最大為 16.1” ，符合加密控制測量作業手冊規範。

另以虛擬基線網形平差計算加密控制測量成果，並將計算成果與動態觀測坐標成果進行全組合檢查，基線長度相對精度最低為 1/20836（基線長度：399.135 公尺，坐標反算較差 0.019 公尺），方位角較差最大為 -7.35”（已排除 GA12-SY05），顯示轉換前後點位間相對關係無明顯錯誤。加密成果經地測檢核，基線長度相對精度最低為 1/20417（地測改正後距離：510.111 公尺，坐標反算較差 0.025 公尺），夾角較差最大為 17.0” ，符合加密控制測量作業手冊規範。

分別將「虛擬基線網形平差」及「最小二乘配置法七參數轉換」計算之點位坐標與「傳統靜態 GPS」計算之點位坐標進行比較，最小二乘配置法七參數轉換計算成果平面較差最大 2.9 公分，高程較差最大 14.4 公分，虛擬基線網形平差計算成果平面較差最大 3.2 公分，高程較差最大 23.0 公分，經查該點係舊圖根點 BE264，且本實驗區靜態測量計算時，有 3 個已知點高程方向並未強制約制，統計結果如表 4.7，參考加密控制測量作業規範，坐標分量較差需小於 9.8 公分，測試結果均符合。再分別將兩者坐標成果取代「傳統靜態 GPS」坐標成果進行後續導線網平差計算，並比較圖根點坐標成果，本實驗區總計 253 點圖根點，以最小二乘配置法七參數轉換計算成果推算之圖根點平面較差最大 2.5 公分，以虛擬基線網形平差計算成果推算之圖根點平面較差最大 2.8 公分，統計結果如表 4.8，導線網計算均符合規範，參考地籍圖重測作業手冊規範，以 RTK 施測圖根點較差需小於 3 公分，測試結果均符合。

表 4.7 動態觀測與「傳統靜態 GPS」成果差異分析表（單位：M）

點號	七參數 LSC 平面較差	七參數 LSC 高程較差	虛擬基線網形平差 平面較差	虛擬基線網形平差 高程較差
GE01	0.002	0.058	0.000	-0.001
GE02	0.001	0.057	0.003	0.001
GE03	0.014	0.054	0.019	0.022
GE04	0.018	0.098	0.025	0.082
GE05	0.006	0.128	0.012	0.092
GE06	0.029	0.072	0.032	0.102
GE07	0.019	0.057	0.020	0.107
GE08	0.024	0.057	0.019	0.142
GE09	0.022	0.062	0.022	0.099
GE10	0.018	0.031	0.018	0.046
GE11	0.005	0.034	0.009	0.005
BE264	0.020	-0.144	0.024	-0.230

七參數 LSC			虛擬基線網形平差		
範圍	點數	比例	範圍	點數	比例
0~2 公分	9	75.00%	0~2 公分	8	66.67%
2~5 公分	3	25.00%	2~5 公分	4	33.33%
5~9.8 公分	0	0.00%	5~9.8 公分	0	0.00%
9.8 公分以上	0	0.00%	9.8 公分以上	0	0.00%

表 4.8 圖根點計算成果差異分析表 (單位：M)

點號	七參數 LSC_平面較差	虛擬基線網形平差_平面較差
BE001	0.002	0.002
BE002	0.002	0.003
BE003	0.004	0.005
BE004	0.005	0.008
BE005	0.007	0.011
BE006	0.010	0.014
BE007	0.011	0.015
BE008	0.013	0.017
BE009	0.014	0.019
BE010	0.014	0.018
BE100	0.010	0.013
BE101	0.011	0.014
BE102	0.011	0.013
BE103	0.010	0.013
BE104	0.009	0.012
BE105	0.009	0.011
BE106	0.009	0.011
BE107	0.008	0.010
BE108	0.007	0.009
BE109	0.007	0.009
BE011	0.014	0.018
BE110	0.007	0.009
BE111	0.009	0.011
BE112	0.012	0.015
BE001	0.002	0.002
⋮	⋮	⋮

七參數 LSC			虛擬基線網形平差		
範圍	點數	比例	範圍	點數	比例
0~2 公分	212	83.79%	0~2 公分	209	82.61%
2~3 公分	41	16.21%	2~3 公分	44	17.39%
3 公分以上	0	0.00%	3 公分以上	0	0.00%

第五節 小結

1. 與傳統靜態測量比較，即時動態定位測量在確認現場透空及無線通訊狀況良好之情形下，可各點獨立作業，惟點位間之相對精度，需慎重使用，可考量增加檢核機制，如檢核新測設點位間之距離角度。
2. 透過最小二乘配置七參數轉換或虛擬基線網形平差計算，配合適當的作業方式及檢核機制，應可將即時動態定位技術應用於二級加密控制測量作業並符合相關規範。
3. 在虛擬基線網形平差計算上，可再探討進行強制附合時所使用之已知點範圍或數量，以使計算成果能更接近傳統靜態測量網形平差成果。
4. 無論最小二乘配置七參數轉換或虛擬基線網形平差計算，需再增加調整已知點各分量約制條件之功能，避免計算成果受不正確分量影響。
5. 完整建立各階段計算作業的檢核機制，剔除錯誤之觀測及計算資料，確保最終坐標成果的可靠度。

第五章 結論與建議

第一節 結論

控制測量為所有測量工作之基礎，凡是利用衛星定位方式辦理控制測量時，皆可使用本系統進行網形平差計算，應用可謂十分廣泛。本系統之發展結合電腦與測量專業知識，在電腦方面充分利用圖形顯示、視覺化視窗元件、Windows API 及多工平行處理技術，提高操作便利性及資料處理效能；而測量方面則運用測量專業理論及知識，創新發展許多資料檢核、計算處理方法，如基線交會法偵錯、重要基線法閉合圈檢核、三角環線閉合圈檢核及成果精度檢核報表等項目，可有效且快速檢核基線計算之錯誤，讓使用者可容易上手且辨別測量成果精度，以利後續各項測繪使用，確保成果品質，且所提方法均有獨立作為研究議題的潛力，在國內外相關軟體亦為首見，具有高度的創新性。

本平差系統於民國 102 年底初步開發完成並開始測試，並在 103 年度地籍圖重測作業面開始使用，每年超過 70 個地籍圖重測區(或地政機關)使用本系統辦理加密控制測量作業。本系統持續努力維持系統功能穩定運作，同時針對使用者所提建議，進行系統修正，使系統更符合於操作及使用需求，並且仍不斷的創新功能，迄今已陸續增加衛星測量作業前之網路地圖服務功能、資料成果檢核及應用虛擬基線網形平差法進行坐標轉換功能等，系統整體功能已愈來愈完善。另外在使用者問卷調查方面，整體滿意度超過 85%，對每一個使用機關若購買類似本系統之工具軟體，每套軟體至少可節省 10 萬元以上之費用，而一般民間測繪業可依規費法取得軟體授權，增加國庫規費收入。

有關 e-GNSS 觀測時間分析，以西嶼測區測試結果顯示，將觀測 60 分鐘當作參考值，觀測 20 分鐘及 3 分鐘的成果，其平面坐標較差均在 2 公分以內，高程較差在 5 公分以內，其較差約為以 e-GNSS 技術辦理外業測量之 1 倍中誤差精度範圍內(平面約為 2 公分)，屬合理誤差範圍，且與國土測繪中心 103 年度「三維即時坐標轉換輔助 VBS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究」研究報告所獲結論相同，顯示 3 分鐘(180 筆固定解)成果與靜態 60 分鐘測量成果精度相當，精度足敷後續控制測量使用。

重覆觀測時間間隔部分，以西嶼測區測試結果顯示，比較 2 測回觀測時間間隔不同，兩者坐標成果較差在 e-GNSS 即時動態定位系統 1 倍中誤差精度範圍內達 97%，最大較差亦僅 2.5 公分，顯示 2 測回觀測間隔時間之長短對成果並無顯著影響，故採 2 測回觀測

間隔時間無需限制，僅需將所有設備重新開機之作業方式進行測試。

成果精度方面，在符合 3 分鐘(180 筆固定解)且通過 3 倍中誤差檢定並結合虛擬基線法之觀測成果，分述如下：

1. 大溪實驗區：本區 27 個加密控制點，虛擬基線網形平差計算成果與傳統靜態測量成果進行比較，平面較差最大 3.1 公分，高程較差最大 8.8 公分，成果尚符合加密控制測量作業規範(坐標分量較差需小於 9.8 公分)。再將此坐標成果進行後續導線網平差計算驗證，並比較圖根點坐標成果，本區總計 279 點圖根點，以虛擬基線網形平差計算成果推算之圖根點平面較差最大 2.4 公分，導線網計算均符合規範，且符合地籍圖重測作業手冊規範，以 RTK 施測圖根點較差需小於 3 公分規定。
2. 沙鹿實驗區：本區 21 個加密控制點，虛擬基線網形平差計算成果與傳統靜態測量成果進行比較，平面較差最大 2.3 公分，高程較差最大 3.4 公分，成果尚符合加密控制測量作業規範。再將此坐標成果進行後續導線網平差計算驗證，並比較圖根點坐標成果，本區總計 256 點圖根點，以虛擬基線網形平差計算成果推算之圖根點平面較差最大 2.3 公分，導線網計算均符合規範，且符合地籍圖重測作業手冊規範，以 RTK 施測圖根點較差需小於 3 公分規定。
3. 麻豆實驗區：本區 20 個加密控制點，虛擬基線網形平差計算成果與傳統靜態測量成果進行比較，平面較差最大 2.0 公分，高程較差最大 8.7 公分，成果尚符合加密控制測量作業規範。再將此坐標成果進行後續導線網平差計算驗證，並比較圖根點坐標成果，本區總計 212 點圖根點，以虛擬基線網形平差計算成果推算之圖根點平面較差最大 1.3 公分，導線網計算均符合規範，且符合地籍圖重測作業手冊規範，以 RTK 施測圖根點較差需小於 3 公分規定。
4. 西嶼實驗區：本區 28 個加密控制點，虛擬基線網形平差計算成果與傳統靜態測量成果進行比較，平面較差最大 2.9 公分，高程較差最大 23.0 公分，平面成果尚符合加密控制測量作業規範(惟高程超過 9.8 公分)。再將此坐標成果進行後續導線網平差計算驗證，並比較圖根點坐標成果，本區總計 253 點圖根點，以虛擬基線網形平差計算成果推算之圖根點平面較差最大 2.3 公分，導線網計算均符合規範，且符合地籍圖重測作業手冊規範，以 RTK 施測圖根點較差需小

於 3 公分規定。

綜上，使用 e-GNSS 作業方式結合虛擬基線網形平差方式，所得成果在加密及圖根測量等級均小於 3 公分，符合相關規定，但是因目前都市地區土地價值高漲時代，在都市地區使用此技術仍需審慎考量，以地籍測量實施規則第 74 條規定市地 $2 \text{ 公分} + 0.3\sqrt{S}$ 公分(S 系邊長，以公尺為單位)，所遭遇不確定風險將增高，但是在農地($4 \text{ 公分} + 1\sqrt{S}$ 公分)及山區($8 \text{ 公分} + 2\sqrt{S}$ 公分)等地區因規定較為寬鬆，則相關成果精度應足敷後續戶地測量。

在符合 3 分鐘(180 筆固定解)且通過 3 倍中誤差檢定並結合虛擬基線法之觀測成果，與傳統靜態測量比較，於無線網路通訊及透空良好狀態下，即時動態定位測量可各點獨立作業且節省人力，惟點位間之相對精度仍無法百分百確保符合法令規定，需慎重使用，可考量增加檢核機制，如檢核新測設點位間之距離角度，以確保成果可靠度。

第二節 建議

衛星測量已是目前辦理各項控制測量最普遍的作業方式，傳統靜態衛星測量資料處理(包含基線計算及網形平差)仍有其必要性且成果精度高，但因應包含美國 GPS、俄羅斯 GLONASS、歐盟 GALILEO 及中國 BEIDOU 等多星系全球導航衛星系統的蓬勃發展及網路化即時動態定位技術進步，e-GNSS 動態測量作業方式也將是未來控制測量得作業選項之一，衛星基線網形平差系統亦將持續遭遇到每個觀測成果點均為獨立之情況，對於本研究仍有下列建議事項，讓未來系統更容易便利操作及因應各種狀況。建議事項分述如下：

1. 持續進行系統維護，讓國內各機關及測繪業均能在統一的工具或模式下進行衛星基線網形平差，使各方有一致的審核標準及工具，符合相關法令規定，有利後續測繪成果分享及交換。
2. 擴大人員訓練及推廣，國土測繪中心應擴大宣傳本系統，除原本地政機關在每年地方研習中心辦理教育訓練，應可定期向國內測繪業及其他辦理測繪作業之行政機關(如水利署、營建署…)辦理推廣訓練，讓各單位能有統一作法及標準，必要時針對國內設有測繪科系之大專院校高中職辦理推廣訓練，向下扎根，教學學習與職場應用無縫接軌。
3. 傳統靜態衛星定位測量於各級控制測量作業均已訂定相關規範及作業方式，目前本平差系統具有可將動態測量成果透過「虛擬基線網形平差」功能，獲得新

設點位法定坐標成果，後續可針對動態觀測成果進行分析，藉以確認可符合何種等級控制測量規範，並研擬合適作業方式及訂定各階段計算成果檢核機制，俾於實務應用上節省人力及作業時間。

4. 目前本平差系統之「虛擬基線網形平差」功能，於計算時所採用範圍為計算點位往外擴 2 個 TIN 的範圍組成虛擬基線網，因此 2 個 TIN 範圍以外點位將不互相影響，未來可再測試將範圍擴大，比對擴大範圍後之計算成果是否更接近傳統靜態強制附合成果，藉以分析最佳計算範圍。
5. 本平差系統於計算靜態測量成果時可針對已知點各分量調整約制狀態，故已知點可為全控點、平控點或高控點，而「虛擬基線網形平差」目前僅可使用全控點作為已知點，未來將研究如何在平差模式中讓已知點各分量可設定為是否約制，以符實際作業需求。

參考文獻

- 內政部，2007，基本測量實施規則，內政部 96 年 11 月 15 日台內地第 0960173460 號令訂定，臺北。
- 內政部國土測繪中心，2010，採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制測量即圖根測量作業手冊，臺中。
- 內政部國土測繪中心，2015，基本測量及圖資測製後續計畫中程綱要計畫書，臺中，72 頁。
- 內政部國土測繪中心，2015a，中華民國地籍測量學會金界獎參獎申請書，臺中，18 頁。
- 內政部國土測繪中心，2016，e-GNSS 即時動態定位入口網站，<http://www.egnss.nlsc.gov.tw/>，最近查詢 2016.12.01。
- 王文俊，2013，應用 GNSS 快速靜態與 e-GNSS 比較加密圖根控制測量之研究，國防大學理工學院碩士論文，桃園，78 頁。
- 王建得，2016，應用 e-GNSS 檢核地籍圖重測區加密控制測量精度分析之研究，國防大學理工學院碩士論文，桃園，124 頁。
- 楊名，1997，公分級 GPS 衛星即時動態定位系統，中國測量工程，第 39 卷第四期，第 1-18 頁。
- 陳鶴欽，2008，結合低價單頻 GPS 接收儀與虛擬參考站定位精度之研究，國立成功大學博士論文，臺南，91 頁。
- 劉榮增、黃立信、何啟佑，2011，e-GPS 系統應用於地籍圖重測加密控制測量之研究，地籍測量，第 30 卷第 2 期，第 16-31 頁。

附錄1：衛星測量基線網形平差系統使用滿意度調查表

本項問卷主要為調查重測相關作業人員針對本中心自行開發之衛星測量基線網形平差系統之使用滿意度，調查期間為 104 年 5 月 27 日至 6 月 19 日止，調查的對象中有 62 人使用過此系統，其中本中心測量隊有 34 人、直轄市縣政府有 28 人，各項分析如下：

(一) 調查對象：

表1. 調查對象分配表

	本中心測量隊	直轄市縣政府
個數	34	28
百分比	55%	45%

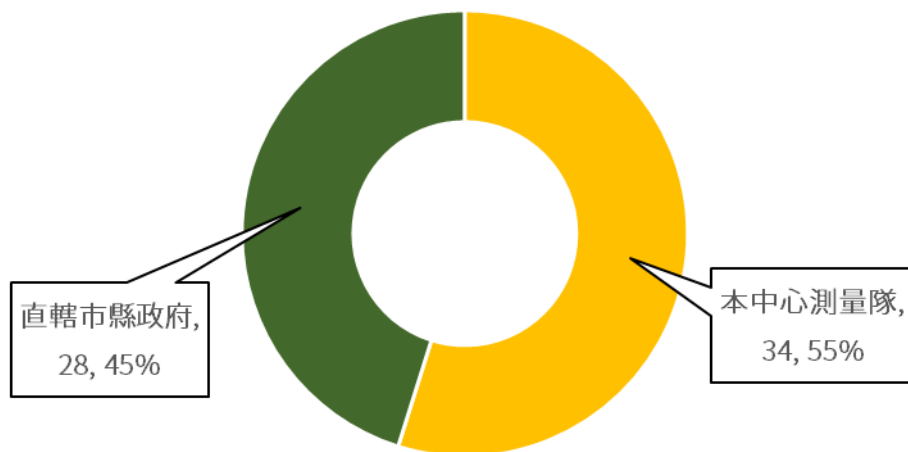


圖1. 調查對象分配圖

(二) 各項問題：

1. 請問您對衛星測量基線網形平差系統功能版面之設計滿意嗎？

總答題人數為 62，整體滿意度為 100%，其中認為非常滿意佔 40%，認為很滿意佔 49%，認為尚可佔 11%，如表及圖所示。

表2. 衛星測量基線網形平差系統功能版面之滿意度分配表

	非常滿意	很滿意	尚可	不滿意	非常不滿意	總和
本中心測量隊	11	17	6	0	0	34
直轄市縣政府	14	13	1	0	0	28
總計	25	30	7	0	0	62
百分比	40%	49%	11%	0%	0%	

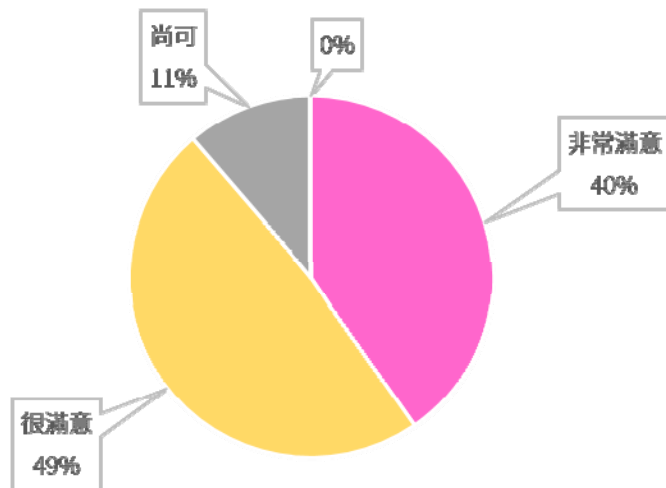
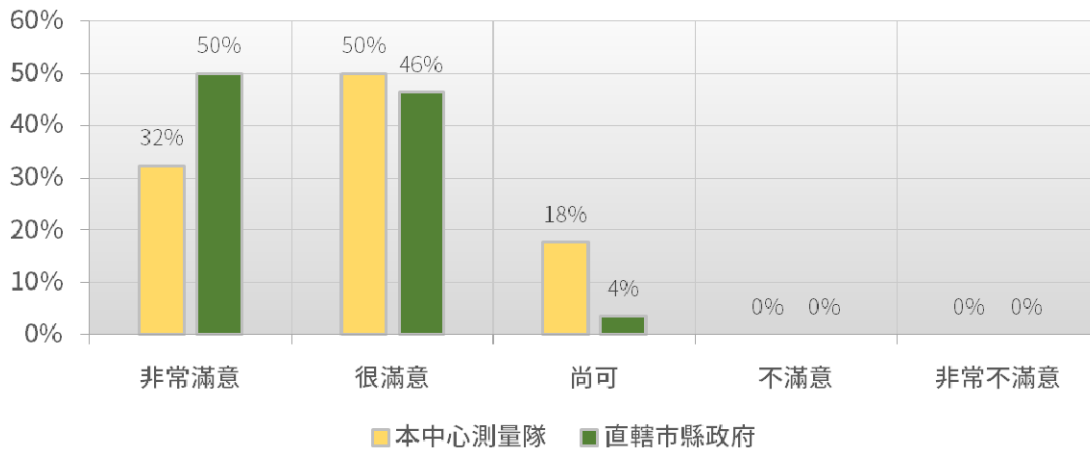


圖2. 衛星測量基線網形平差系統功能版面之滿意度分配圖

2. 請問您對衛星測量基線網形平差系統操作流程之設計滿意嗎？

總答題人數為 62，整體滿意度為 100%，其中認為非常滿意佔 35%，認為很滿意佔 52%，認為尚可佔 13%，如表及圖所示。

表3. 衛星測量基線網形平差系統操作流程之滿意度分配表

	非常滿意	很滿意	尚可	不滿意	非常不滿意	總和
本中心測量隊	9	19	6	0	0	34
直轄市縣政府	13	13	2	0	0	28
總計	22	32	8	0	0	62
百分比	35%	52%	13%	0%	0%	

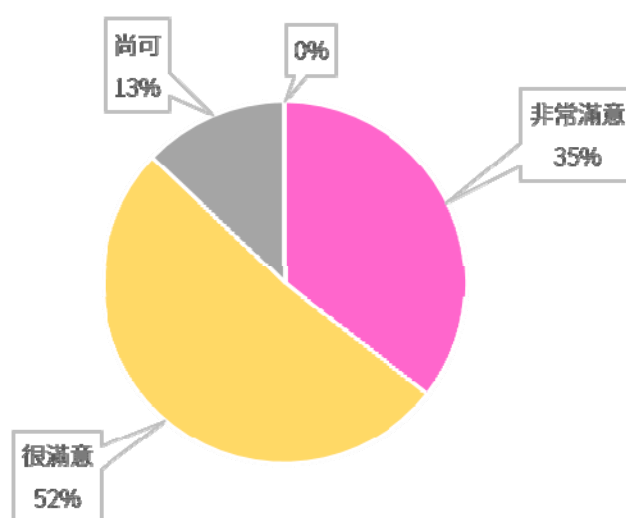
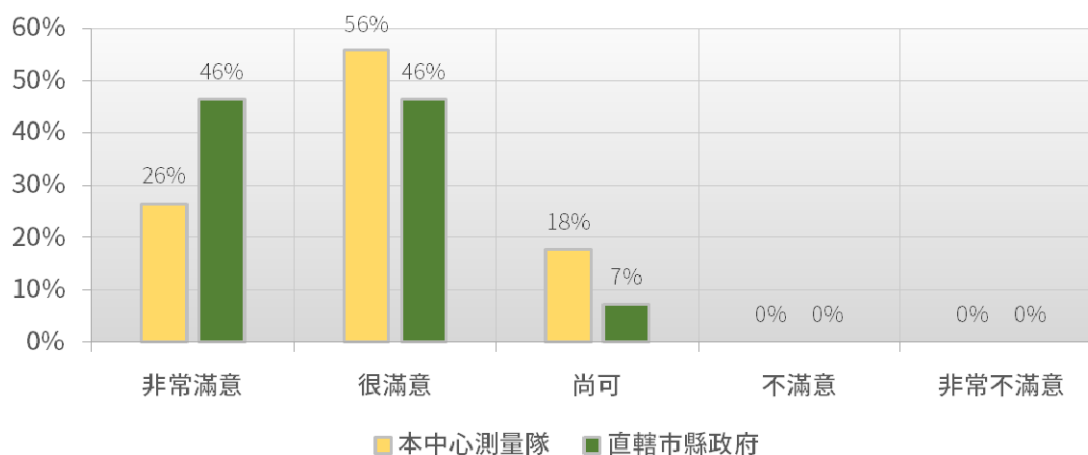


圖3. 衛星測量基線網形平差系統操作流程之滿意度分配圖

3. 請問您對本系統整體的滿意程度為何？

總答題人數為 62，整體滿意度為 100%，其中認為非常滿意佔 45%，認為很滿意佔 40%，認為尚可佔 15%，如表及圖所示。

表4. 對本系統整體的滿意程度之滿意度分配表

	非常滿意	很滿意	尚可	不滿意	非常不滿意	總和
本中心測量隊	13	15	6	0	0	34
直轄市縣政府	15	10	3	0	0	28
總計	28	25	9	0	0	62
百分比	45%	40%	15%	0%	0%	

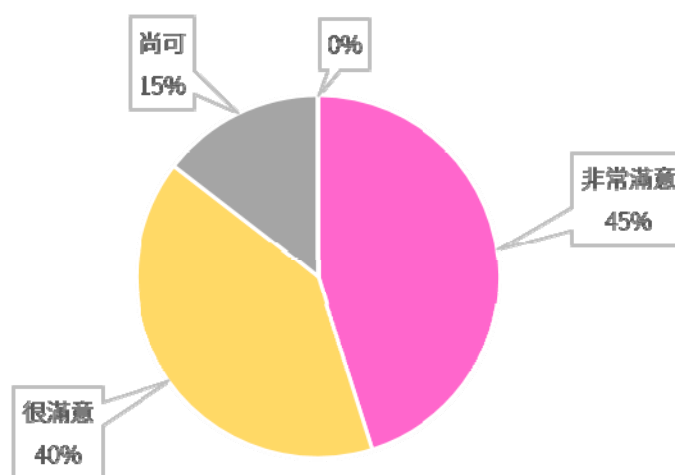
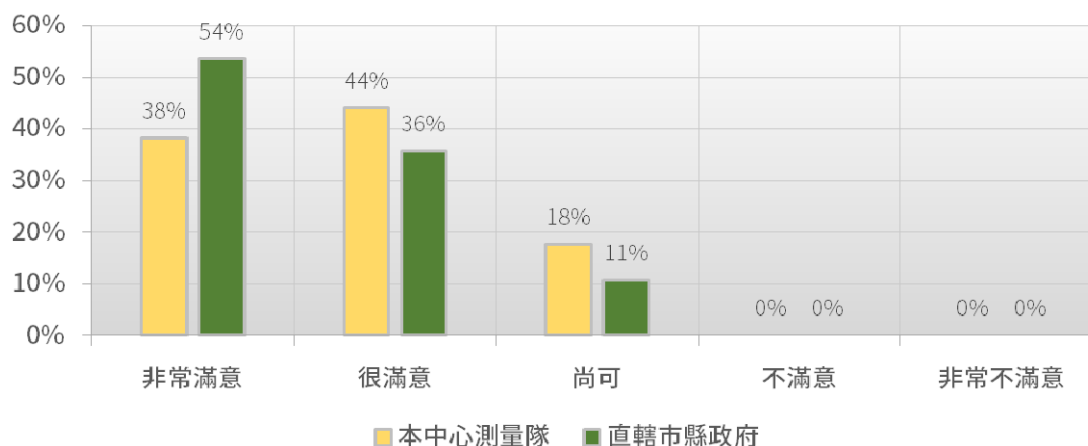


圖4. 對本系統整體的滿意程度之滿意度分配圖

4. 請問使用衛星測量基線網形平差系統對計算效能提升之百分比？

總答題人數為 62，回答其他答案(不知道)有 3 人佔全體 4.8%，其餘 59 人中認為效

能提升 40%~50% 佔全體 60%，認為效能提升 30%~40% 佔全體 19%，認為效能提升 20%~30% 佔全體 13%，認為效能提升 10%~20% 佔全體 2%，認為效能提升 10% 以下佔全體 2%。

表5. 衛星測量基線網形平差系統對計算效能提升百分比之分配表

	40% ~50%	30% ~40%	20% ~30%	10% ~20%	10% 以下	其他	總和
本中心測量隊	20	5	5	1	1	2	34
直轄市縣政府	17	7	3	0	0	1	28
總計	37	12	8	1	1	3	62
百分比	60%	19%	13%	2%	2%	4%	

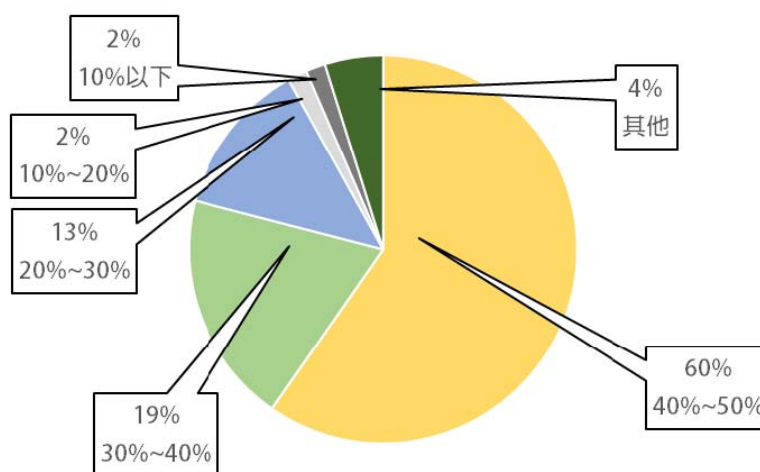
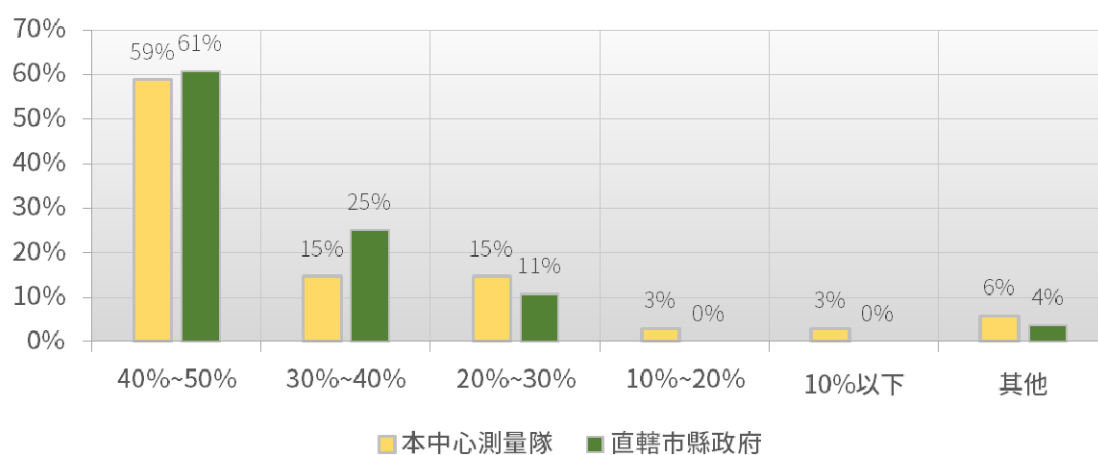


圖5. 衛星測量基線網形平差系統對計算效能提升百分比之分配圖

5. 請問使用衛星測量基線網形平差系統進行控制測量內業計算，可為貴單位節省約略多少購置商用軟體經費？

總答題人數為 62，5 人回答其他意見，其餘 57 人中估計可節省經費 50~100 萬佔全體 19%，估計可節省經費 10~50 萬佔全體 47%，估計可節省經費 10 萬以下佔全體 26%，如表及圖所示。

表6. 衛星測量基線網形平差系統進行控制測量內業計算，

可節省購置商用軟體經費之分配表

	50~100 萬	10~50 萬	10 萬以下	其他	總和
本中心測量隊	9	13	7	5	34
直轄市縣政府	3	16	9	0	28
總計	12	29	16	5	62
百分比	19%	47%	26%	8%	

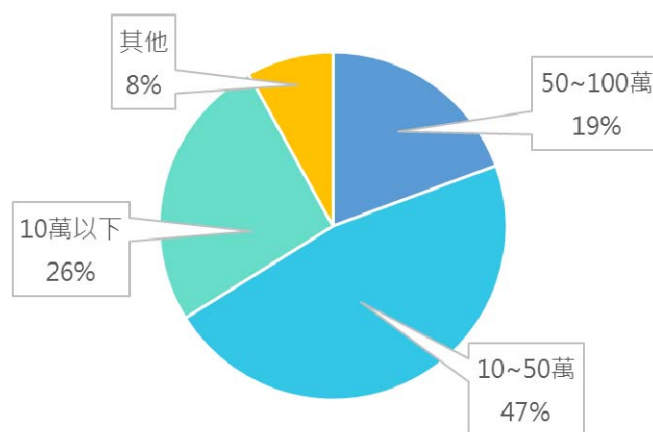
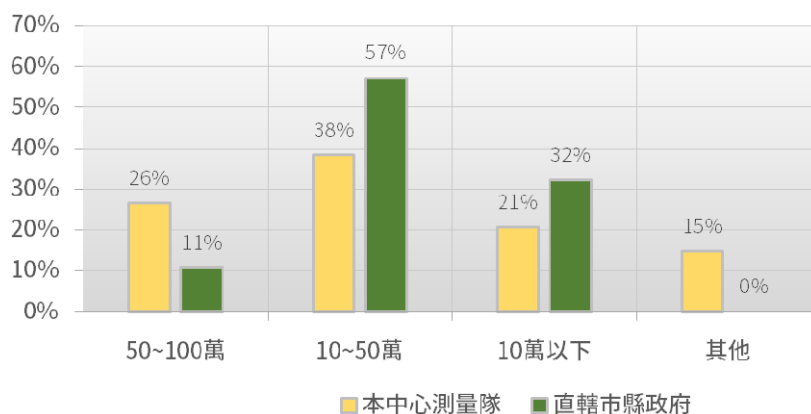


圖6. 衛星測量基線網形平差系統對計算效能提升之分配圖

發展衛星測量基線網形平差系統之研究

湯凱佩¹ 陳鶴欽² 梁旭文³

¹內政部國土測繪中心專員 ²內政部國土測繪中心技正 ³內政部國土測繪中心課長

摘要

控制測量係辦理各項細部測量外業之基礎，內政部國土測繪中心以衛星定位方式辦理控制測量作業中，原基線網形平差計算所使用程式為「中文化網形平差程式」，係91年度委外開發使用，該程式同時授權提供縣市政府地政及測量相關單位使用，惟近年來因電腦作業系統改變等因素，該程式已不敷使用，經國土測繪中心自行重新發展新平差程式，除了原有平差解算功能外，新增加相關檢核功能，並強化圖形顯示及操作介面，未來更規劃開發時段規劃的輔助工具，及相關文件圖表製作等功能，使程式成為一套較完整的系統。本研究選擇103年度11個地籍圖重測區加密控制點成果進行測試，同時選擇102年度全國性之基本控制點檢測作業成果，與商用TURBONET平差程式測試比對，研究結果顯示，就坐標成果而言，新程式與原程式成果相同率達96%（強制附合平差成果），而與TURBONET程式成果相同率更高達99.7%，少數不相同者其差異均在1mm（資料取位最小單位）之內，考量捨位所造成之誤差，成果可視為相同，新程式增加許多資料修整及偵錯輔助功能，並將文字資料與圖形相關聯，提供圖形化操作介面，可提高整體作業效率。

關鍵字：坐標轉換、基線網形差平差、全球定位系統、衛星測量。

前言

目前內政部國土測繪中心(以下簡稱國土測繪中心)採用衛星定位方式辦理控制測量作業所使用之基線網形平差程式，係91年度委外案中所開發，並於93年發布啟用，程式名稱為「中文化網形平差程式」(以下稱原程式)，該程式除測繪中心外，亦提供縣市政府地政及測量相關單位使用。程式之計算核心以Fortran語言撰寫，操作介面則是以微軟公司之Visual Basic語言開發，運作上是透過操作介面叫(call)用核心程式完成計算工作，產生相關成果檔後再讀取成果。原程式在使用上執行效率較差，介面親和力亦有不足，且因委外開發，原設計團隊已解散，無法新增功能。而目前所遭遇的最嚴重問題，則是因微軟公司Visual Basic程式語言與該公司其他軟體如Office等共用部分軟體元件，隨著微軟公司Windows作業系或Office軟體更新或升級，已發生原程式與部分更新後元件或動態函式庫(.dll)不相容的問題，造成無法於版本較新的系統(含部分Windows XP及Win 7以上作業系統)上安裝。

另外依據現行法規，辦理加密控制測量作業需辦理除原規定成果精度(包含邊長標準誤差及95%信心區間基線精度)，亦須針對基線網中圖形閉合差(包含產生圖形閉合圈、可剔除之基線數目佔總獨立基線數比例、各分量之平均閉合差、各分量之閉合差對閉合圈總邊長之比數及全系各分量之平均閉合差對閉合圈總邊長之比數等項目)、基線重複性(重複觀測基線水平分量之差值及垂直分量之差值)等相關項目進行檢核，惟目前相關商業軟體針對上開項目並無提供上述相關檢合報表。為此，國土測繪中心規畫自行研究開發解算程式，除亦針對原程式進行相關功能補強，另將增加上開相關檢核功能，並強化圖形顯示及操作介面。

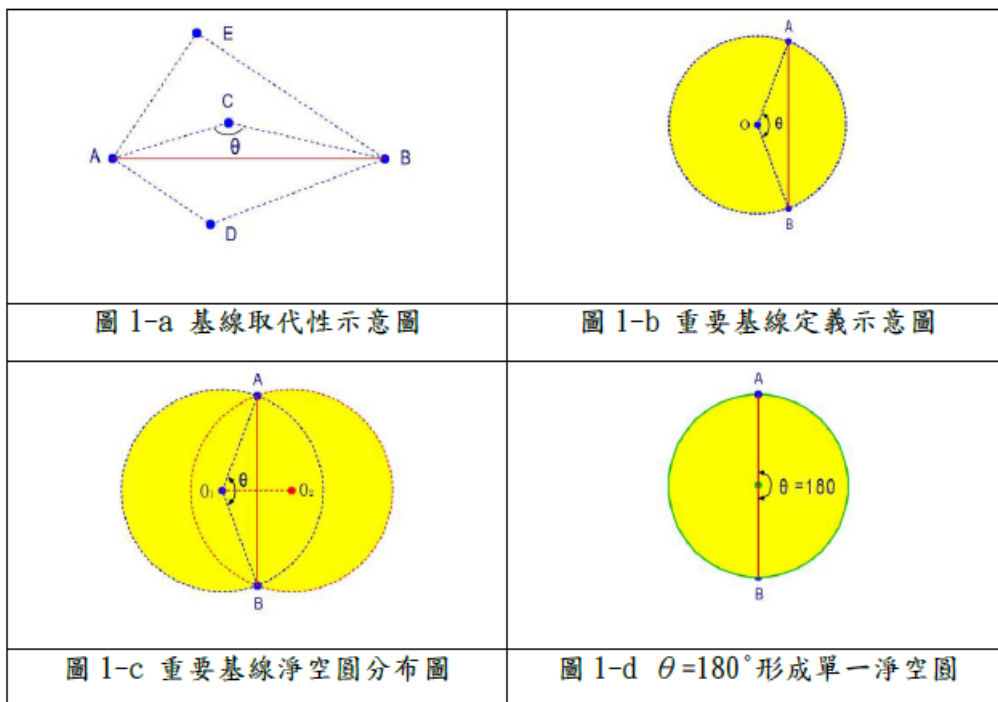
● 重要基線及重要基線法閉合圈檢核

辦理加密控制測量作業中，由於全組合之基線數量多，由這些基線組成閉合圈時，數量龐大(30點左右的基線網即可組成數十萬個以上的閉合圈)且運算時間過久，實務上並不可

行。本研究提出一可行之方法，首先定義重要基線，並基於重要基線產製一有限數量且唯一的不規則多邊形網，並對該多邊形網進行不同範圍大小的環線閉合圖檢核，藉由逐步擴大閉合圖的大小進行檢核，可確保每個局部範圍內的基線閉合成果，符合測量上鄰近（局部）範圍內較差較小的原則。

參考圖1-a，基線AB與第三點C所形成之 $\angle ACB$ ，當該角度愈大（鈍）時，表示AB愈可由AC及BC兩條（較短的）基線所替代，亦即視AB可被替代性較高故較不重要，此為重要基線之意涵。而重要基線之定義便是以此為出發，參考圖1-b，針對一條基線，在給定的圓心角度條件下，若存在圓形空間內無其他點位（淨空）可與基線兩端點形成另兩條基線取代之，則該基線為重要。

1. **重要基線定義：**基線AB，通過以AB為弦之圓，其圓心為O， $\angle AOB$ 為圓心角， θ 為角度條件（ $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ ），對基線AB而言，若存在有圓其圓心角大於 θ ，且圓內無其他點位（淨空），則AB為重要基線。圖1-c所示為在設定的 θ 角條件下，AB為重要基線時，其淨空圓可能之位置分布圖（圓心分布於 O_1 至 O_2 連線）；另一種說法，意即在圖1-3c標示黃色的區域內若能找到一圓通過A及B，且圓內為淨空無其他點位，則AB為重要基線。圖1-3d所示係 θ 角設定為 180° 時，形成單一圓之情形。



2. 空間中點群所形成之重要基線具備之特性：

- (1) 每一點與其最近的點（距離最短）必為重要基線。
- (2) 每一點位均有重要基線與之相連。
- (3) 任意兩點之間必可由重要基線組成之路徑串連。重要基線將各點串連，形成一網絡。
- (4) 二維空間之點群所形成之重要基線必不相交。
- (5) 由點群所解算（形成）的一組重要基線具唯一性。

3. 閉合檢核

解算出重要基線後，部分最外圍點位僅單一基線所串連未形成閉合，可再進行求解外圍基線後，如此，這些基線會形成相連接的封閉多邊形網（類似 TIN 網，但組成者非全為三角形），以下稱這些多邊形為最小閉合圈。

資料計算及分析

為了解新開發系統之功能，採用實際的GPS測量基線觀測資料，由新程式進行計算處理，以驗證程式之正確性及完整性，並期待找出程式之隱藏錯誤。選擇國土測繪中心103年度11地籍圖重測區進行平行測試，分別為新程式與原程式平差計算成果比對及新程式功能測試，其方法如下：

1. 平差計算成果比對：本項工作是在資料完成檢核、剔錯處理後，在相同的條件下由原程式與新程式各自進行平差計算，並比對兩程式計算成果（包括各項成果輸出檔）。前面所稱相同的條件係指平差時設定的約制點條件、基線數量和基線剔除狀況均要相同，並以原程式計算結果為正確，視比對結果是否一致來驗證新程式之正確性。

2. 新程式功能測試：平行作業時以原程式採現行資料處理方法步驟進行，相同的方法步驟亦以新程式進行之，驗證新程式是否完整支援現行作業需求。另外，新程式所增加之偵錯、檢核等輔助功能，亦以實際資料進行操作，測試功能是否正確執行，以及操作介面設計是否妥適，同時檢驗新程式剔除錯誤能力。藉由各項操作測試，檢驗新程式功能之完整性。

● 新程式與原程式平差計算成果比對

本項工作為比對新程式與原程式之平差計算成果，主要目的為驗證平差計算核心程式是否正確，實際做法則是比對平差輸出成果檔案中重要的資料項，如坐標成果*.CTL及*.COR檔中之點位坐標值、標準誤差，平差成果*.OUT檔中之基線觀測量改正數、標準化改正數及其他檔案如*.CMP、*.PPM檔中之平差前後基線長度較差、相對精度等，由於計算成果輸出時，各項數值均已經過取位而有捨位誤差，其中如坐標值、基線向量值、長度（距離）值等，均取至小數點以下三位（即mm），故本次成果比對將差異為1mm者仍視為一致。比對結果，結果顯示兩程式計算成果一致。

在各項比對項目中，點位坐標（包括坐標值及標準誤差）為最重要之比對項目，因此，本次作業特別針對坐標成果差異進行統計。基線網形平差採間接觀測平差模式，其觀測方程式如下：

$$L + V = AX \quad (L \text{ 為基線觀測值}, V \text{ 為改正數}, X \text{ 為未知數}, A \text{ 為係數矩陣})$$

每條基線有3個觀測量（基線向量），可列成觀測方程式如下：

$$L = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 \\ y_2 - y_1 \\ z_2 - z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & x_2 & y_2 & z_2 \end{bmatrix}^T = AX$$

組合全部的觀測方程式後以最小二乘法進行平差求解，其中各點位坐標 (x_i, y_i, z_i) 即是待求解之未知數。坐標值未知數 $X = (A^T P A)^{-1} A^T P L = N^{-1} A^T P L$ ，其中 P 為權矩陣， N 為法矩陣。坐標解算後，可推算其他數值，包括如平差後基線向量（2點坐標相減）、平差後基線長度（2點距離），平差後基線向量與平差前基線向量（觀測值，為已知）相減可得基線觀測量改正數、平差前後基線長度相減可得基線長度較差、長度較差除以基線長度可得相對精度、長度較差可推算PPM（如30mm + K ppm，求K值）等，以上說明了他項成果由坐標成果簡易推求的方法，

也點出了平差後點位坐標成果的重要性，此即前述坐標值為最重要比對項目的理由。當坐標成果正確，則推求的他項成果亦為正確，是以倘原、新程式兩者平差後坐標成果比對一致，則其他多項成果比對亦會一致。

經彙整11個測試區點位坐標比對結果，成果顯示，除斗六測區強制附合平差比對成果，點位坐標差值有2點 $\geq 2\text{mm}$ ，其餘坐標比對結果差值均 $\leq 1\text{mm}$ ，且多數點位坐標成果相同。斗六測區比對成果不如預期，經查其原因係已知點PJ27之高程值經檢核有明顯偏差，於平差時高程不納入約制，但因原程式無法針對已知點位坐標(N、E、h)單個分量(h)進行不約制，故採用權宜作法是先將該點位改為未知點，並利用強制附合平差計算得該點平差後坐標，以平差後坐標分量取代有問題的分量(h)，再將該點位改成已知點進行約制，此方式是希望藉由平差後的坐標分量(h)補足點位坐標，並且認為補足後的3坐標分量均納入約制(以下稱模式1)，其平差成果會與只約制N、E分量(以下稱模式2)之結果相同，然而此條件若要成立，則模式2平差後所得之h應與模式1所約制的h值相同，模式1、2分別為原程式及新程式所採用之計算方式，而事實上兩模式計算之成果不會完全相同。

最後，為維持平差條件一致，利用新程式平差結果所得之(N₀、E₀、h₂)，以h₂取代h₀為已知高程，代入原程式重新平差計算(強制附合)並再次比對平差結果，得84個點位坐標全部相同。斗六測區案例同時驗證了新程式可針對點位的坐標分量各別進行約制，在計算上比起原程式更具彈性。

表1為整合各重測區點位坐標比對成果統計表，結果顯示最小約制平差結果，坐標不同之點數約佔7%，坐標差值均 $\leq 1\text{mm}$ ；強制附合平差結果，坐標不同之點數約佔4%，坐標差值均 $\leq 1\text{mm}$ 。

表 1 點位坐標比對結果統計表

平差方式	比對點數	坐標差 1mm 點數	坐標差 2mm (含)以上點數	坐標不同 點數比例	備註
最小約制	547	39	0	7.1 %	
強制附合	547	22	0	4.0 %	斗六測區採重新平差結果統計

● 新程式與TURBONET程式平差計算成果比對

另外為了解大形網解算能力，本次額外加入102年度基本控制點檢測計算，該檢測作業範圍涵蓋臺灣本島、澎湖及金門，網形基線數量13,921條，點數1,452點，其中約制點51點，檢測點1,401點，因為資料量龐大，又原程式計算速度較慢，故採用TURBONET 2.33版程式取代原程式進行計算處理。本項工作同樣將驗證新程式的正確性及功能完整性。

功能完整性驗證方面，從最初的資料偵錯、錯誤修正及基線剔除，到最後的平差計算，新程式均可獨立完成，功能性上亦有不錯的表現，實際作業中利用新功能「時段接合法偵錯」，成功發現2個點位重複命名，並利用修改工具快速完成修正，另外，計算結果排序列表搭配圖形顯示，文字資料與圖形(幾何位置)相關聯輔助人員進行判斷，並同時提供簡易操作介面進行基線剔除，整體作業效率明顯提高。

正確性驗證方面，則是利用完成修正錯誤並剔除不正確基線之資料，在相同的條件下，

以新程式及TURBO-NET程式各自進行平差計算，比對兩者坐標及坐標標準誤差成果。

坐標成果比對：比對1,401個檢測點中有1,397個點位坐標完全相同，相同率達99.7%，僅4個點坐標差異為1mm，因坐標成果輸出時係取至小數點以下3位（即mm），若考量捨位可能造成的誤差，兩程式平差後坐標可視為完全相同。

坐標標準誤差比對：TURBO-NET程式成果輸出時，坐標標準誤差取位至小數點以下3位（1mm），新程式則取位至小數點以下4位（0.1mm），取位問題所造成的誤差，理論上應在0.5mm之內。而實際經撰寫工具程式比對1,452點位共4,356個標準誤差（1,452×3， σ_N 、 σ_E 、 σ_H ），結果得較差值均 ≤ 0.5 mm，與預期完全相符合，比對結果坐標標準誤差可視為完全相同。

本檢測計算為一大型網平差計算，點數高達1,452點，平差中每一點位有3個未知數（x, y, z），故法方程式矩陣N之階數超過4300×4300，計算過程矩陣的相乘、求逆等，執行巨量的浮點數加減乘除運算，任何錯誤發生將導致最後的計算結果錯誤，甚至造成系統當機，而最終比對結果顯示兩者解算點位成果幾乎一致（僅4點坐標差值1mm）。TURBONET程式屬商業軟體，其計算成果已經過驗證，經由此次的比對成果，驗證了新程式的正確性及可靠度。

結論與建議

1. 研究成果顯示，新程式計算成果與原程式及TURBO-NET程式計算成果比對幾乎相同，就坐標成果而言，新程式與原程式成果相同率達96%（強制附合平差成果），而與TURBO-NET程式成果相同率更高達99.7%，少數不相同者其差異均在1mm（資料取位最小單位）之內，考量捨位所造成之誤差，成果可視為相同。
2. 以新程式實際進行衛星基線網形平差計算作業，各項功能經測試均可正常運作，從資料轉檔、載入、偵錯、修正、基線剔除至最後平差計算，可獨立完成計算作業，顯示程式功能完整，而試辦中成功完成102年度基本控制點檢測計算作業，亦展現程式處理大型網能力。
3. 與原程式相較，新程式增加許多資料修整及偵錯輔助功能，並將文字資料與圖形相關聯，提供圖形化操作介面，可提高整體作業效率。並且可在WINDOWS 7已上作業系統運常運作，減少後續重複投資。
4. 建議未來可開發時段規劃輔助子系統，提供視覺化的輔助，於電腦畫面上提供時段模擬，可立即檢視觀測網形及時段重疊情形，同時也於時段規劃時提供重要基線網絡作為參考。
5. 可開發網形規劃圖製作子系統：介接國土測繪中心中心圖台取得影像底圖，並將已知點、新設點等展繪於底圖上，最後再將展繪成果輸出成本中心「圖形繪製系統」檔案格式，進行後續製圖作業。

參考文獻

1. 衛星測量基線網形平差系統簡介，2014，內政部國土測繪中心，臺中，23頁。

附錄 3：靜態基線成果精度

桃園市 大溪重測區 二級加密控制測量 成果精度檢核報表

精度檢核項目		檢核內容	檢核結果	備註
圖形閉合差	產生圖形閉合圈	產生閉合圈總數：0		為三角形閉合圈，閉合圈基線源自 2 個(含)以上不同時段。
	各分量之閉合差 $\leq 80+5 \times 10^{-6}L$	各分量閉合差： $\Delta X: 0.0 \text{ mm (L: 0.00 km)}$ $\Delta Y: 0.0 \text{ mm (L: 0.00 km)}$ $\Delta Z: 0.0 \text{ mm (L: 0.00 km)}$ L：閉合圈長	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
基線重複性	重複觀測基線水平分量之 差值 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：71 差值最大值：26 mm 差值與基線長比值最大值： 1/18295	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	重複觀測基線垂直分量之 差值 $\leq (75+15 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：71 差值最大值：65 mm 差值與基線長比值最大值：1/7410	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
成果精度	邊長標準誤差 $\leq (15+3 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：1225 未通過數：0 邊長標準誤差最大值：4.84 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	95% 信心區間 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：405 未通過數：0 邊長改正量最大值：30.98 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	點位坐標中誤差 水平分量 ≤ 10 垂直分量 ≤ 30	檢核點數：50 未通過點數：0 各方向最大值： N: 3.58 mm, (GE05) E: 3.69 mm, (GF02) h: 9.14 mm, (H195)	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	約制點：GA06
成果檢查人員：		複檢人員：		

檢查日期：105 年 12 月 2 日

臺中市 沙鹿重測區 二級加密控制測量
成果精度檢核報表

精度檢核項目		檢核內容	檢核結果	備註
圖形閉合差	產生圖形閉合圈	產生閉合圈總數：144		為三角形閉合圈，閉合圈基線源自2個(含)以上不同時段。
	各分量之閉合差 $\leq 80+5 \times 10^{-6}L$	各分量閉合差： $\Delta X: 16.0 \text{ mm (L: 7.78 km)}$ $\Delta Y: -34.0 \text{ mm (L: 9.53 km)}$ $\Delta Z: 53.0 \text{ mm (L: 10.84 km)}$ L：閉合圈長	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
基線重複性	重複觀測基線水平分量之 差值 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：101 差值最大值：21 mm 差值與基線長比值最大值： 1/36175	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	重複觀測基線垂直分量之 差值 $\leq (75+15 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：101 差值最大值：28 mm 差值與基線長比值最大值： 1/11670	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
成果精度	邊長標準誤差 $\leq (15+3 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：1081 未通過數：0 邊長標準誤差最大值：3.15 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	95% 信心區間 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：389 未通過數：0 邊長改正量最大值：23.24 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	點位坐標中誤差 水平分量 ≤ 10 垂直分量 ≤ 30	檢核點數：47 未通過點數：0 各方向最大值： N: 2.66 mm, (X106) E: 2.34 mm, (L107) h: 6.15 mm, (L107)	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	約制點：GC04
成果檢查人員：		複檢人員：		

檢查日期：105 年 12 月 2 日

臺南市 麻豆重測區 二級加密控制測量
成果精度檢核報表

精度檢核項目		檢核內容	檢核結果	備註
圖形閉合差	產生圖形閉合圈	產生閉合圈總數：499		為三角形閉合圈，閉合圈基線源自2個(含)以上不同時段。
	各分量之閉合差 $\leq 80+5 \times 10^{-6}L$	各分量閉合差： $\Delta X: -36.0 \text{ mm (L: 14.23 km)}$ $\Delta Y: -50.0 \text{ mm (L: 12.40 km)}$ $\Delta Z: 58.0 \text{ mm (L: 11.12 km)}$ L：閉合圈長	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
基線重複性	重複觀測基線水平分量之 差值 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：33 差值最大值：18 mm 差值與基線長比值最大值： 1/52856	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	重複觀測基線垂直分量之 差值 $\leq (75+15 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：33 差值最大值：23 mm 差值與基線長比值最大值： 1/24436	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
成果精度	邊長標準誤差 $\leq (15+3 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：210 未通過數：0 邊長標準誤差最大值：3.34 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	95% 信心區間 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：140 未通過數：0 邊長改正量最大值：29.62 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	點位坐標中誤差 水平分量 ≤ 10 垂直分量 ≤ 30	檢核點數：21 未通過點數：0 各方向最大值： N: 2.52 mm, (I077) E: 2.51 mm, (I077) h: 6.46 mm, (I060)	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	約制點：GA62
成果檢查人員：		複檢人員：		

檢查日期：105年11月30日

澎湖縣 西嶼重測區 二級加密控制測量
成果精度檢核報表

精度檢核項目		檢核內容	檢核結果	備註
圖形閉合差	產生圖形閉合圈	產生閉合圈總數：429		為三角形閉合圈，閉合圈基線源自2個(含)以上不同時段。
	各分量之閉合差 $\leq 80+5 \times 10^{-6}L$	各分量閉合差： $\Delta X: -24.0 \text{ mm (L: 2.92 km)}$ $\Delta Y: 57.0 \text{ mm (L: 2.92 km)}$ $\Delta Z: -34.0 \text{ mm (L: 4.08 km)}$ L：閉合圈長	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
基線重複性	重複觀測基線水平分量之 差值 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：36 差值最大值：20 mm 差值與基線長比值最大值： 1/31489	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	重複觀測基線垂直分量之 差值 $\leq (75+15 \times 10^{-6}L)$	重複觀測基線數量：36 差值最大值：18 mm 差值與基線長比值最大值： 1/66060	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
成果精度	邊長標準誤差 $\leq (15+3 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：378 未通過數：0 邊長標準誤差最大值：1.91 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	95% 信心區間 $\leq (30+6 \times 10^{-6}L)$	檢核數量：168 未通過數：0 邊長改正量最大值：14.08 mm	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	
	點位坐標中誤差 水平分量 ≤ 10 垂直分量 ≤ 30	檢核點數：28 未通過點數：0 各方向最大值： N: 1.91 mm, (SY03) E: 1.68 mm, (SY03) h: 4.50 mm, (SY03)	<input checked="" type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過	約制點：SY04
成果檢查人員：		複檢人員：		

檢查日期：105 年 11 月 30 日