

出國報告(出國類別：國際會議)

## 出席 2010 衛星導航定位技術論壇會議 報告書

服務機關：內政部國土測繪中心

姓名職稱：劉副主任正倫

陳技正鶴欽

楊課員枝安

派赴國家：中國上海(Shanghai, China)

出國期間：99 年 8 月 17 日至 8 月 22 日

報告日期：99 年 11 月 19 日



## 摘 要

衛星定位測量技術臺灣地區已廣泛應用於各項測量作業，內政部自 81 年開始採用全球衛星系統(Global Positioning System, GPS)技術進行國家基本測量，於臺灣本島及金門、馬祖外島設立 8 個永久性 GPS 衛星追蹤站，陸續完成一、二、三等衛星控制點的測量工作，據以定義新的臺灣大地基準(Taiwan Geodetic Datum 1997, TWD97)，並且於 89 年正式公告 TWD97 作為國家測量基準。本中心亦據此辦理後續三等控制點加密控制測量作業，於 84-92 年建置完成臺灣地區 4,710 點三等控制點，近年來更利用網路化 RTK 技術，建立全國性 e-GPS 衛星定位基準站即時動態定位系統建置作業，即時提供公分級定位服務。此外在測繪科技發展計畫中，亦編列計畫，發展「全球導航定位系統(GNSS)資料聯合處理技術作業」，提升國內衛星定位科研水準，以利我國未來衛星測量政策規劃、新進儀器設備引進、衛星測量研究發展與加速國土資料測製，提升我國衛星測量產業。

“CPGPS 2010 衛星導航定位技術論壇”於 2010 年 10 月 18-20 日在中國上海舉辦，會議主題是：“全球衛星導航定位系統——新型產業與國際交流”，本次論壇由全球華人定位導航協會(International Association of Chinese Professionals in Global Positioning Systems, CPGPS)主辦。目前，CPGPS 會員包括美國、加拿大、英國、德國、澳大利亞、芬蘭、日本等許多享譽海內外學術界的著名學者、產業界精英及相關行業的專家，他們積極活躍在國內外導航定位技術研究與應用的諸多領域，發揮著重要作用。

CPGPS 衛星導航定位技術論壇，其宗旨是為全球華人的衛星導航科技工作者、產業界提供一個新技術、新方法和新應用的交流平臺，形成國際衛星導航產業界與科技界交流互動，從而加強這一領域全球華人的交流與聯繫，共同勾畫衛星定位技術的未來發展藍圖。

透過參與本次論壇會議，了解衛星導航系統的技術發展和應用前景，作為我國推動衛星導航技術應用與發展之參考。

**關鍵字：**全球導航衛星系統、全球定位系統、北斗定位系統、伽利略定位系統



## 目錄

壹、	緣起及目的	1
貳、	出國行程	3
一、	會議時間及地點	3
二、	本次行程	9
參、	會議重要內容	10
一、	辦理單位	10
二、	研討會內容	10
三、	研討會論文數量	12
四、	重要參展廠商及單位	12
肆、	參加會議及參訪心得	16
一、	GPS 連續追蹤站蓬勃建立	16
二、	中國大陸未來十年重大測繪項目	16
三、	GNSS 導航定位算法	19
四、	GNSS 大氣科學應用	20
五、	華測衛星導航有限公司	21
六、	蘇州一光儀器有限公司	23
伍、	建議	25
一、	整合 GPS 衛星追蹤站，節省國家資源	25
三、	建立適合臺灣地區應用模式，提升衛星定位精度	26
四、	建立臺灣區域性修正模式，發展 GNSS 大氣科學	26
五、	落實測繪儀器校正制度，確保測繪成果品質	27
六、	持續規劃測繪科技發展方向，提升測繪技術與研發能量	27
七、	鼓勵參與各項研討會，擴大國際視野	28
陸、	本次技術論壇會議及參訪相關照片	29
柒、	附錄	37
	附錄一：江蘇省全球導航衛星連續運行參考站綜合服務系統介紹	37
	附錄二、本次參加人員發表文章	38
	附錄三：本次技術論壇會議收錄論文題目及作者	49

## 表目錄

表 1:2010CPGPS 衛星導航定位技術論壇開幕式議程表·····	3
表 2:2010CPGPS 簡報議程表·····	4
表 3:行程表·····	9

## 圖目錄

圖 1:論壇會議開幕式·····	29
圖 2:開幕式之陳俊勇院士專題報告·····	29
圖 3:會議參加人員報到情形·····	30
圖 4:參訪會議現場廠商攤位展示情形·····	30
圖 5:本中心同仁於會議展示廠商攤位合影·····	31
圖 6:會議展示廠商攤位情形·····	31
圖 7:臺灣參加人員(儲豐宥)論文現場發表情形·····	32
圖 8:產業與學術交流座談情形·····	32
圖 9:參訪華測公司技術創新獲獎情形·····	33
圖 10:華測公司 GPS 接收儀許可証 ·····	33
圖 11:本中心同仁與華測公司高層及澳洲葛林林教授交換意見 ·····	34
圖 12:本中心同仁與華測公司人員合影 ·····	34
圖 13:本中心同仁與蘇州一光儀器有限公司人員交換意見 ·····	35
圖 14:本中心同仁在蘇州一光儀器有限公司合影 ·····	35
圖 15:蘇州一光儀器有限公司產學合作情形 ·····	36
圖 16:本中心同仁參訪中翰儀器公司情形 ·····	36

## 壹、緣起及目的

測繪是建設的先鋒，提供了各項國土三維空間的資料及訊息，對於政府各項施政建設有重大的幫助，世界各先進國家如美、德、英、加拿大、日本、新加坡及澳大利亞皆非常重視國土測繪作業。測繪科技日新月異，本中心執行測繪科技發展計畫，目的在藉由引進新的測繪科技提升國土測繪的精度與效率，99 年度特編列經費赴大陸地區參加會議，以了解國際間衛星測量技術發展及北斗導航系統的未來發展趨勢，並經簽准同意由劉副主任正倫率控制測量課楊課員枝安及企劃課陳技正鶴欽等 3 人，出席會議並參訪測量儀器公司。

衛星定位技術、空載光達(LiDAR)、合成干涉孔徑雷達(InSAR)、精密重力測量、衛星影像製圖及海圖製作潮位修正等新的測繪技術發展，對於未來測繪領域將造成重大的技術突破與改革，在此時刻，政府部門更應投入於相關領域的研究與發展，以達成「強化知識創新體系」、「創新產業競爭優勢」、「增進全民生活品質」、「促進國家永續發展」、「強化自主國防科技」及「提升全民科技水準」的國家科學技術發展總目標。

GPS 衛星測量已被廣泛應用在各領域，可配合電子地圖、數碼城市等提供精確的定址服務 (Location Based Service, LBS) 改進生活品質，然而，隨著科技進步，除美國 GPS 外、俄羅斯 GLONASS、歐盟 Galileo 及中國大陸的北斗衛星定位系統也預定在近年內陸續更新系統或發射新衛星，預期未來多星系的衛星定位時代即將來臨，它將提供人們更多星系觀測資料及改善定位品質與成果，中國大陸近年來積極參與全球導航衛星系統的研發，除參與歐盟伽利略系統 (Galileo) 之外，也自主開發北斗導航衛星系統，截至 2010 年 8 月底已發射 5 顆北斗衛星，預定至 2010 年底將發射 7 顆北斗導航衛星，其進度已超越歐盟之伽利略系統。

“CPGPS 2010 衛星導航定位技術論壇”會議於 2010 年 10 月 18-20 日在中國上海舉辦，會議主題是：“全球衛星導航定位系統——新型產業與國際交流”，本次論壇由全球華人定位導航協會(International Association of Chinese Professionals in Global Positioning Systems, CPGPS)、中國科技部國家遙感中心、上海市科委、武漢大學/國家衛星定位工程技術研究中心四個單位共同主辦。全球華人定位導航協會 CPGPS 是一個非營利性的專業組織，它的目標是為會員提供衛星導航相關技術和資訊的交流平臺，為從事衛星導航人士提供專業知識和技術交流、培養和開發新的合作模式，促進衛星導航技術研究的技術進步，推動衛星導航在不同行業中的應用。目前，CPGPS 會員包括美國、加拿大、英國、德國、澳大利亞、芬蘭、日

本等許多享譽國際之海內外學術界的著名學者、產業界精英及相關行業的專家，他們積極活躍在國內外導航定位技術研究與應用的諸多領域，發揮著重要作用。

CPGPS 衛星導航定位技術論壇，其宗旨是為全球華人的衛星導航科技工作者、產業界提供一個新技術、新方法和新應用的交流平臺，形成國際衛星導航產業界與科技界交流互動，從而加強這一領域全球華人的交流與聯繫，共同勾畫衛星定位技術的未來發展藍圖，探討衛星導航系統的技術發展和應用前景，推動衛星導航技術進步與產業發展。

本次會議地點在中國上海，而會議期間也正是上海世界博覽會期間，會議第 3 天（8 月 20 日）主辦單位安排參訪世博，而本中心出席同仁為掌握這難得機會，利用空檔另外安排參訪上海華測導航技術有限公司，並於 8 月 21 日（星期六）參訪蘇州一光儀器有限公司，以能充分運用有限資源。



## 貳、 出國行程

### 一、 會議時間及地點

- 1.會議時間：99年8月18日至99年8月20日。
- 2.會議地點：中國上海光大會展中心
- 3.會議議程：如下表

表 1：CPGPS2010 衛星導航定位技術論壇開幕式議程表

大會日程表		
2010年8月18日		
序號	時間	活動
1	8：30-12：00	論壇開幕
2		論壇主席致辭
3		嘉賓致辭
4		院士報告
5		茶歇
6		特邀報告
7		午餐

表 2：2010CPGPS 簡報議程表

8 月 17 日(星期二) 報到

2010/8/18(星期三)		
會場一 (光大 9 號廳)	主題	主持人
14:00--15:00	衛星導航系統與增強	高揚 ALKAN Reha Metin
15:40-16:00	茶歇	
16:00-18:00	衛星導航系統與增強	
(英文報告)	共計 11 篇文章口頭發表	
會場二 (光大 7 號廳)	主題	主持人
14:00--15:00	GNSS 導航定位算法	徐培亮 馮延明
15:40-16:00	茶歇	
16:00-18:00	GNSS 導航定位算法	
	共計 12 篇文章口頭發表	
會場三 (光大 8 號廳)	主題	主持人
14:00--15:00	GNSS 在工程測量、大地測量及地球動力學應用	方鵬 沈雲中 金雙根
15:40-16:00	茶歇	
16:00-18:00	GNSS 在工程測量、大地測量及地球動力學應用	
(英文報告)	共計 11 篇文章口頭發表	

會場四 (分會場 2)	主題	主持人
14:00--15:00	GNSS 大氣科學	張克菲 袁運斌
15:40-16:00	茶歇	
16:00-18:00	GNSS 大氣科學	
	共計 11 篇文章口頭發表	
會場五 (分會場 3)	主題	主持人
14:00--15:00	GNSS/InSAR 融合與應用	許才軍 葛林林
15:40-16:00	茶歇	
16:00-18:00	GNSS/InSAR 融合與應用	
	共計 11 篇文章口頭發表	
會場六 (分會場 1)	主題	主持人
14:00--15:00	GNSS 接收儀終端技術	Jade MortOn 陸明泉
15:40-16:00	茶歇	
16:00-18:00	GNSS 接收儀終端技術	
	共計 11 篇文章口頭發表	

2010/8/19(星期四)		
會場一 (光大 9 號廳)	主題	主持人
08:30--10:10	衛星導航系統與增強	高揚 王解先
10:10--10:30	茶歇	
10:30--12:00	衛星導航系統與增強	

(英文報告)	共計 10 篇文章口頭發表	
會場二 (光大 7 號廳)	主題	主持人
08:30--10:10	GNSS 導航定位算法	徐培亮 馮延明
10:10--10:30	茶歇	
10:30--12:00	GNSS 導航定位算法	
	共計 10 篇文章口頭發表	
會場三 (光大 8 號廳)	主題	主持人
08:30--10:10	GNSS 在工程測量、大地測量及地球動力學應用	方鵬 沈雲中 金雙根
10:10--10:30	茶歇	
10:30--12:00	GNSS 在工程測量、大地測量及地球動力學應用	
	共計 10 篇文章口頭發表	
會場四 (光均 8 號廳)	主題	主持人
08:30--10:10	導航定位應用性能分析	戰興群 劉志越
10:10--10:30	茶歇	
10:30--12:00	導航定位應用性能分析	
	共計 10 篇文章口頭發表	
會場五 (光均 7 號廳)	主題	主持人
08:30--10:10	多傳感組合導航與新型導航技術	楊雲春 牛小驥

10:10--10:30	茶歇	
10:30--12:00	多傳感組合導航與新型導航技術	
	共計 10 篇文章口頭發表	
會場一 (光大 8 號廳)	主題	主持人
14:00--15:40	GNSS 在工程測量、大地測量及地球動力學應用	方鵬 沈雲中 金雙根
15:40--16:00	茶歇	
16:00--18:00	GNSS 在工程測量、大地測量及地球動力學應用	
	共計 6 篇文章口頭發表	
會場二 (光大 7 號廳)	主題	主持人
14:00--15:40	GNSS 大氣科學	張克菲 袁運斌
15:40--16:00	茶歇	
16:00--18:00	GNSS 大氣科學	
	共計 10 篇文章口頭發表	
會場三 (光昀 8 號廳)	主題	主持人
14:00--15:40	導航定位應用性能分析	戰興群 劉志越
15:40--16:00	茶歇	
16:00--18:00	導航定位應用性能分析	
	共計 11 篇文章口頭發表	

會場四 (光昀7號廳)	主題	主持人
14:00--15:40	多傳感組合導航與新型導航技術	許才軍 葛林林
15:40--16:00	茶歇	
16:00--18:00	多傳感組合導航與新型導航技術	
	共計 12 篇文章口頭發表	
會場五 (光大9號廳)	主題	主持人
15:00-17:00	導航衛星新興產業與學術交流研討會	大會主席



圖 1：2010CPGPS 會議地點

## 二、 本次行程

表 3：行程表

日期	停留地點	行程
99.8.17 (二)	臺灣--上海(報 到)	松山機場 (去程)
99.8.18 (三)	上海	參加 2010 GPGPS 技術論壇會議
99.8.19 (四)	上海	參加 2010 GPGPS 技術論壇會議
99.8.20 (五)	上海	參訪華測導航技術有限公司
99.8.21 (六)	蘇州	參訪蘇州一光儀器有限公司
99.8.22 (日)	上海—臺灣	松山機場(回程)

## 參、 會議重要內容

### 一、 辦理單位

本次會議主辦單位及協辦單位如下：

- 1.主辦單位：全球華人定位導航協會（CPGPS）
- 2.協辦單位：中國科技部國家遙感中心

武漢大學國家衛星定位系統工程技術研究中心

### 二、 研討會內容

本次會議討論主題如下：

#### 專題一、COMPASS/Galileo/GPS/GLONASS 衛星導航系統

- 1、 北斗衛星導航系統與應用
- 2、 衛星導航系統信號體制
- 3、 衛星導航系統地面資訊處理技術
- 4、 衛星導航系統時空基準
- 5、 GPS 現代化、GALILEO 系統設計與測試分析
- 6、 多模衛星導航系統相容與互操作

#### 專題二、衛星導航增強系統與應用

- 1、空基與地基增強系統設計與測試
- 2、增強系統即時精密資料處理技術
- 3、增強系統完好性監測
- 4、精密單點定位技術
- 5、CORS 系統與網路 RTK
- 6、增強系統終端集成開發與應用推廣

#### 專題三、GNSS 演算法

- 1、GNSS 資料參數估計及品質控制
- 2、GNSS 誤差分析、建模及精化
- 3、模糊度固定演算法
- 4、GNSS 反射信號處理與應用



#### 專題四、GNSS 大氣科學研究

- 1、對流層、電離層二、三維反演
- 2、掩星大氣探測
- 3、GNSS 氣象學應用
- 4、GNSS 全球電離層監測
- 5、大氣延遲模型精化與應用

#### 專題五、組合導航技術

- 1、慣性、地磁導航技術
- 2、GNSS/INS 組合導航
- 3、機載/車載導航系統
- 4、POS 系統及應用
- 5、姿態估計與 GNSS 機械控制

#### 專題六、GNSS 在工程測量、大地測量及地球動力學應用

- 1、大地測量基準、參考框架
- 2、衛星重力
- 3、精密工程測量
- 4、形變監測
- 5、高程傳遞與大地水準面精化
- 6、地震監測

#### 專題七、GNSS/InSAR 融合技術

- 1、GNSS 大氣反演與 InSAR 資料處理技術
- 2、InSAR 資料處理技術
- 3、GNSS/InSAR 聯合形變監測技術

#### 專題八、GNSS 接收機技術

- 1、射頻晶片設計
- 2、基帶設計與數位信號處理技術
- 3、接收機嵌入式基帶控制與導航定位演算法

- 4、接收機性能測試技術
- 5、高性能接收機技術
- 6、多模接收機

#### 專題九、新型導航定位與位置服務

- 1、LBS 系統
- 2、室內導航技術
- 3、無線電導航定位
- 4、量子導航
- 5、生物導航

### 三、 研討會論文數量

本次 CPGPS 技術論壇會議共計收錄論文 298 篇，其中經評定為口頭報告者共 155 篇。

### 四、 重要參展廠商及單位

此次會議參展廠商均為中國境內 GPS 軟、硬體製造及銷售廠商，除實地參訪的上海華測導航技術有限公司外，較具代表性廠商，介紹如下：

#### 1. 北京北斗星通導航技術股份有限公司

北京北斗星通導航技術股份有限公司是在 2000 年伴隨著中國北斗導航定位衛星成功發射，以推動中國衛星導航定位產業化發展為己任，創建而成的從事衛星導航定位業務的專業化公司。2007 年 8 月公司在深交所掛牌上市（股票代碼 002151）。現擁有 2 家全資子公司和 1 家控股子公司，並獲得 23 項實用新型專利技術，58 項軟體著作權及 30 餘項非專利技術。

該公司的主要業務是衛星導航定位產品供應、基於位置的資訊系統應用以及基於位置的運營服務，集研發、生產、銷售、運營為一體，服務於導航定位、指揮調度、精密測量、機械控制、目標監控、物聯網等軍民應用領域。

作為中國最早從事衛星導航定位業務的專業公司之一，北斗星通公司建立了“產品+系統應用+運營服務”的特有業務發展模式，致力於為用戶提供基於衛星導航定位技術的全面解決方案。該公司抓住了中國北斗全球衛星導航系統建設及其產業化機遇，從而實現做衛星導航產業化領先者的目標。

## 2. 北京合眾思壯科技股份有限公司

北京合眾思壯科技股份有限公司成立於 1994 年，始終專注於衛星導航定位技術的研究與應用，到今天已經發展成為中國衛星導航定位領域中，橫跨專業與民用兩大類市場的龍頭企業。2010 年 4 月，合眾思壯在深圳股票交易所掛牌上市，進一步加速企業的產業化進程。

該公司是以衛星導航定位技術為核心業務的專業型集團公司，集研發、生產、工程、銷售、服務為一體，產品和解決方案涵蓋 GPS/GLONASS/北斗及多系統組合導航與定位技術、高精度/高動態測量技術、GNSS 資料後處理/轉換、大型系統集成等領域。憑藉在 GIS 採集、高精度測量、系統工程、汽車導航、汽車資訊技術、航海電子、航空電子、北斗終端等多重領域的卓越實力，成為中國 GNSS 市場最大的設備提供商之一。

該公司是中國 GNSS 重點高新技術企業、技術創新試點企業，承擔了中國 GNSS 高新技術重大專項。公司每年投入的科研經費占銷售收入的 30%左右，1200 名員工中有 38%從事技術研發工作，所屬三大研究中心已獲取近百項專利與軟體著作權。

## 3. 北京耐威時代科技有限公司

耐威科技公司是致力於開發和生產導航、光電和現代信號處理方面的技術和產品。該公司在慣性及導航相關領域已取得國內外領先地位。

該公司的核心技術（慣性及衛星導航系統集成）的研製、開發和實現，多年來相繼推出了加速度計、陀螺儀、傾角感測器、磁羅盤、慣性測量單元、垂直陀螺儀、航姿系統、GNSS/INS 緊密組合系統、授時 GPS 接收機及 OEM 板卡、指北儀、車載多功能感測器、完全自主知識產權的光纖陀螺、鐳射主慣導、MEMS 高精度小型化等多個系列的成熟產品，同時擁有多項軟體專利技術。該公司於 2009 年 5 月順利通過品質管制體系(GJB9001A—2001 標準和 GB/T19001-2000 標準)認證。

該公司長期保持著和全球相關領域技術專家及領先企業的深入溝通與合作，繼 2009 年推出完全自主知識產權的光纖 IMU 及高精度鐳射主慣導後，受益於全球 MEMS 感測器技術的突破性發展，於 2010 年度再次推出基於 MEMS 技術的高精度小型化 NV-1000 系列產品。該產品系列陀螺零偏穩定性達到 2 度/小時，可替代中低精度光

織陀螺相應產品，並同時實現更小尺寸，更輕重量，以及在惡劣環境下的良好性能。

#### 4. 廣州南方衛星導航儀器有限公司

廣州南方衛星導航儀器有限公司（簡稱“南方衛星導航”），隸屬於南方測繪集團，是致力於全球衛星定位導航（GNSS）儀器的研發、生產、銷售於一體的高新技術產業公司。該公司服務於陸上和水上測量領域，產品涵蓋：靜態 GPS 測量系統、一體化 RTK GNSS 測量系統、手持 GNSS 資料獲取系統、GNSS 連續運行參考站系統（CORS）等。

該公司先後研製出中國第一台靜態 GPS 接收機、第一台實時差分 RTD GPS 接收機、第一台單頻 RTK GPS 接收機、第一台雙頻 RTK GPS 接收機、第一個全國產化的連續運行參考站系統（CORS）。今年公司年產值達四億，為行業的龍頭企業。南方衛星導航的產品銷量也一直穩居全國第一，屢創業界銷售奇蹟。

該公司導航人才技術實力雄厚，現有員工 300 餘人，其中由國務院、教授級高級工程師為核心的專職研發團隊有近百名人員；專職技術服務人員 100 多人。碩士、博士以上學歷占 20%，本科占 60%，高素質的人才為南方衛星導航的技術研發、產品轉化和技術推廣打下了雄厚的基礎。

#### 5. 廣州市中海達測繪儀器有限公司

中海達公司成立於 1999 年，是專業從事 GNSS 研發、生產、銷售的高科技產業集團。在全國建有 7 大技術服務中心、30 個分公司辦事處分支機構及涵蓋全國的銷售網路，年產值達三億。

該公司現有員工近 600 人，其中博士後、碩士、高級工程師等研發、技術精英近 80 名，均為長期致力於 GNSS 技術研發、生產、市場服務的行業專家及參與了 GNSS 國產化發展全過程的頂尖人才。該公司擁有專業級 GNSS 仿真環境實驗室、技術研發中心、國內一流的 GNSS 製造車間。

該公司致力於 GNSS 核心技術研發，積累了大量的自主知識產權，每年均有二十多個代表行業最新技術的研發成果湧現。中海達擁有四大核心業務，具有大陸唯一的全系列 GNSS 產品線，產品涵蓋：高精度測量型 GNSS 產品系列；超聲波數位化測深儀

系列；GIS 資料獲取系統；海洋工程應用集成系統；地質災害監測系統；並能根據用戶特殊需求量身定制、提供全面系統解決方案。該公司獲得技術專利 10 項，著作權 19 項；定位測深技術、CORS 雙頻接收機技術被專家評定為“達到國內領先，國際先進水準”；CORS 測量系統獲得廣州市科技進步一等獎；還先後獲國家相關部門頒發全國工業產品生產許可證、計量器具製造許可證和 CE 認證等。

## 6. 上海伽利略導航有限公司

上海伽利略導航有限公司是在上海市政府的直接支持下，於 2005 年成立的專注於導航定位元領域科研和產業的高科技企業。公司是上海市首批科教興市重大專案的承擔單位，也是在國家的支援下作為中國唯一的地區代表參與“中歐伽利略衛星導航合作計畫”的高科技企業。

導航定位產業被譽為增長最快的資訊產業分支之一，世界各個大國也紛紛建設各自的導航空間基礎設施來支持該產業的發展並把它作為國家安全的一個重要內容。上海伽利略導航有限公司順應產業發展趨勢，努力把公司打造成為中國導航定位產業的龍頭之一。

該公司主要從事衛星導航接收終端設備的研發生產、多模衛星導航芯片技術 (BD/GPS/GALILEO)、地面基礎設施建設及運營、基於位置的資訊服務、Web/WAP GIS 應用、無線通信技術以及相關產品的研究和開發、行業公眾應用服務系統的建設和運營。在中歐合作伽利略計畫和上海市政府的支持下，公司已經取得多項專利和軟體著作權，並開發出系列產品和服務。

## 肆、 參加會議及參訪心得

### 一、 GPS 連續追蹤站蓬勃建立

本次於CPGPS2010 衛星導航定位技術論壇發表之論文，共計有 10 餘篇探討有關GPS 連續運行參考站(Continuous Operational Reference System，簡稱 CORS)系統建立與測繪領域應用。中國大陸第一個實驗性 GPS CORS 是由武漢測繪科技大學於 1990 年代建立，而第一個實用化的即時動態 CORS 則是由深圳市於 2000 年啓動建設，2003 年正式成功通過驗收，開啓了大陸各省市積極籌建 CORS 系統之先河。2007 年中國第一個覆蓋全省的 CORS 系統於廣東省建立完成，共計有 78 個基準站，是目前大陸各省市基準站數量最多的 CORS 系統。截至 2009 年底，中國大陸已經有廣東、江蘇、江西 3 個省以及北京、上海 2 個直轄市建置完成轄區全覆蓋之 CORS 系統，其他各省也都正在積極籌建當中。有關江蘇省 CORS-JSCORS 系統介紹，請參考附錄一。

由本次研討會論文及現場展示會中各參展廠商提供之資料得知，目前已建置完成 CORS 系統之地區，除全面應用於傳統測繪業務外，也大力推廣其應用層面，例如：水壩監控、監測高層建物的擺動、監測橋樑穩定性、導航及物流監控等。此外，廣東省爲了提高用戶量，舉辦了 CORS 應用培訓班後，用戶量呈現大幅增加，目前用戶數已達 1000 多個，遍布該省各地區及各行業。另外上海市更結合精化大地水準面成果，基本解決了採用 RTK 測量同時可得到水準高程的問題，提供用戶增值服務。另測繪部門也開始和氣象、地質部門合作共同建站，以整合資源，降低各自建置的成本，擴大數據應用效益。

值得一提的是，中國大陸廠商除成功研發並自行生產全測站電子測距經緯儀及 GPS 接收儀外，更成功開發出網路 CORS 系統軟體 NRS，包含基站管理系統、用戶系統及數據處理中心。並且 2009 年在宜昌市建立的全中國產的 CORS 系統通過驗收，也代表著自主技術研發創新與突破，與目前市面上國外商用系統 Trimble、Leica 及 Topcon 系統分庭抗力。

### 二、 中國大陸未來十年重大測繪項目

中國未來十年重大測繪項目主要有四項，包含（一）中國民用測繪衛星。（二）中國大地基準現代化。（三）組建國家測繪應急中心。（四）數字中國地理信息網絡服務系統建設。

(一) 中國民用測繪衛星。

1、建立中國具有自主產權的民用航天遙感影像數據源

只有建立了長期、穩定、連續運行具有自主產權的的高分辨率立體測圖衛星，才能自主地、不依賴任何國外數據源進行空間數據基礎設施建設，大幅提升我國自主信息保障能力和獨立獲取全球空間信息的能力，計畫 2011 年發射。

2、高分辨率立體測圖衛星資源三號衛星主要運行參數

- (1) 510 公里高的太陽同步軌道。
- (2) 正視全色分辨率 2.5 公尺。
- (3) 地球南北 84 度緯度內無縫影像覆蓋。
- (4) 60 天對地觀測影像重複一次。

3、測繪衛星的後續研制

- (1) 發射資源三號衛星的後續衛星為我國 1：5 萬測繪提供穩定可靠的衛星數據源。
- (2) 1：2.5 萬立體測繪衛星的立項與研制。
- (3) X 波段單極化雙天線干涉雷達衛星研制。

(二) 中國大地基準現代化。

1、中國平面基準現代化的任務

- (1) 第一個任務：採用三維地心大地坐標系統。
- (2) 第二個任務：構建三維地心大地坐標框架。
  - A、構建 2000 國家 GPS 大地網。
  - B、構建 2000 國家大地網。
  - C、構建國家 GNSS CORS 站網。
  - D、建成中國衛星定位系統。

2、中國高程基準現代化的任務

完成第一個任務：施測國家第三期一等水準網系統。

- (1) 原則：加密一等水準網，取消二等水準網。
- (2) 任務：一等水準網由 100 環增加到 140 環，一等水準路線總長由 10 萬公里增至 12 萬公里。

### 3、大地基準現代化（二期）：構建國家 GNSS CORS 網

中國 CGCS2000 的高精度地心三維坐標框架點和點位所在處的地形變是一對矛盾，因此必須考慮如何保持這些大地框架點位高精度的現勢性，行之有效的技術措施就是構建全球衛星導航系統（GNSS）國家級連續運行站（CORS）系統。

- （1）需要制定 GNSS CORS 系統的國家級技術規範和標準，國家級規模上的統一規劃和設計。
- （2）明確國家民用 GNSS CORS 系統的主管部門及其職責。
- （3）建設 600 國家級 GNSS CORS，一個數據中心，一個通訊中心，向全國各行各業提供服務。

### 4、大地基準現代化（二期）：推算我國 cm 級精度大地水準面

對高程的需求今後主要由 GNSS 技術結合大地水準面來提供，這是高程控制網現代化的必經之路。在中國推算 cm 級精度大地水準面，就是由目前的 CQG2000 的精度由 $\pm 0.5\text{m}$  提高到 $\pm 0.1\text{m}$  左右，分辨率由 15' 提高到 5' 左右。

### 5、大地基準現代化：未來十年的我國大地基準

- （1）600 多個 CORS 站
- （2）6000 多個衛星控制網點
- （3）27400 多個國家一等水準網點
- （4）cm 級國家大地水準面

（三）組建國家測繪應急中心：主要利用測繪遙感技術監測地震災害。

（四）數字中國地理信息網絡服務系統建設。

#### 1、主要任務如下：

- （1）採集、處理和整合坐標數據、高程數據、重力場數據、影像數據、向量數據、地形數據等。
- （2）實現對多源、多尺度、建構地理信息數據的高效組織、網絡傳輸、管理和可視化。



- (3) 從構建”數字城市”著手，構建”數字中國”地理信息網絡服務系統。
- 2、總體目標：建成大中城市的數字地理空間框架更新機制；提供現勢、及時的地理信息服務；實現國家、省和市三級地理基礎信息的互聯互通。
- 3、數字城市基礎地理信息系統構成下列服務平台。
  - (1) 大地基準動態服務平台。
  - (2) 衛星導航定位綜合服務平台。
  - (3) 遙感影像綜合應用服務平台。
  - (4) 地理信息和地圖網絡服務平台。
  - (5) 集成應用服務平台。

### 三、 GNSS 導航定位算法

本專題主要在探討及研究 GNSS 衛星在導航定位的計算與精度。在中國大陸幾乎各大學都有相關科系，因此就讀的學生與研究人員，相形之下就顯得格外眾多，所以他們對某一主題的探討與研究會更深入與廣度，以及對我們認為已是非常明確的做法，再提出另外的思考方向或計算方法。在這主題主要探討與研究的方向是如何提高定位精度及更快速定位，而且其定位的計算已不是早期利用電碼的虛擬距離之 DGPS 方式，而是利用載波相位的高精度定位計算。要達到這兩個目標，在處理 GNSS 衛星資料上必須求得載波相位的整周波未定值，及偵測周波脫落，更進一步必須針對衛星訊號經過大氣層所受影響，進行評估與改善，以致能更快速更準確的計算出位置。由於中國大陸在 GNSS 方面的研究大多自行開發相關程式，而非使用商用套裝軟體，所以當有新的構想時，較容易進行程式的修改，以達到探討的目的。

在這個專題中有文章提到，利用單一時刻短基線 GPS 整周波未定值的解算，可利用單觀測量 C/A 電碼的差分觀測量計算出基線向量的搜索範圍，再利用 L1 及 L2 的寬巷組合，進而求解 L1 及 L2 的整周波未定值。因此，可求得正確的基線向量。此方法主要的特點在於利用單一時刻進行計算，所以無周波脫落的問題；以及與一般基線計算先求出周波未定值的實數解，再根據可能的整數值進行計算基線向量，求得最佳的基線向量之標準做法不同。亦有使用單差 GPS 觀測量進行動態精密單點定位的方法，其優點為可使用及不使用電碼距離進行輔助計算。當不使用電碼距離觀測量時，參數解算不受電碼距

離較大的噪音和多路徑的影響，可以達到更高的定位精度；然而，系統參數解算則需要更長的收斂時間，必需有較好的觀測數據品質。另有文章中提出電碼與載波相位觀測量間之精度給定概念，採用不同的權比例進行精密單點定位的計算，以求得最佳的基線向量。其假設兩者之間係獨立而不相關的，雖於現場有學者對此假設提出質疑，但於一般基線計算軟體皆忽略 L1 及 L2 觀測量之間的相關性，更何況是與電碼觀測量之間的相關性。因此，此概念可作為研究精密單點定位計算的參考。亦有文章中提到，利用既有的 CORS 衛星追蹤站建立區域對流層模型，提供給精密單點定位使用，而非以套裝軟體所提供的模型內定值。亦可估計電離參數提供給精密單點定位使用。

#### 四、 GNSS 大氣科學應用

本專題主要探討與研究利用 GNSS 衛星的觀測數據，推算大氣中電離層電子含量進而建立模式、建立對流層模式及計算大氣可降水量。對流層延遲是影響 GNSS 導航定位精度的重要誤差來源之一，對於即時導航用戶通常利用模型對其進行修正。採用國際上常用的 EGNOS 模型，並利用 ECMWF(European Center for Medium-Range Weather Forecasts) 資料在中國區域進行改進，建立中國區域的對流層延遲改正模型，該模型直接模型化對流層天頂延遲，把用戶起算點放到每個網格的平均高度上，減少高程改正的誤差累積。

利用 Bernese 軟體估算香港地區連續參考站網 12 個基站 2005 年~2009 年 6 月等 4.5 年的觀測數據，以及 5 個 IGS 站(中國的 BJFS、KUNM、WUHN 和日本的 TSKB、USUD) 的數據，計算香港地區的天頂對流層延遲，在分析高差以及對流層延遲水平變化對 GPS 測量精度影響及其規律的基礎上，建立符合香港地區的只需時間與位置輸入參數的精密對流層延遲改正模式，並對模型的精度進行檢驗。所得到的新模型在絕對天頂對流層延遲的平均精度約為 2cm，而在高差較大時的相對對流層延遲改正精度明顯優於經驗模型，約是 Saastamoinen 模型的 2~3 倍。

對流層延遲是 GNSS 衛星定位基線計算重要誤差來源，計算時常用模式及差分方式將其消除或減少其影響，以增進基線計算精度。然而，當地面測站及衛星位置已知，可利用 GNSS 觀測量反演計算對流層的影響量，進一步可反演計算大氣可降水量(Precipitable water vapor, PWV)。本專題亦有多篇論文進行此方面的研究，可作為我們研究之參考。其中，成都信息工程學院李國平教授連同廈門市及四川省氣象台研究人

員發表「基於 GPS-PWV 的不同雲系降水個例的綜合分析」，係利用成都地基 GPS 觀測網的觀測數據，結合自動氣象站資料計算出 30 分鐘間隔的 GPS 遙感的大氣可降水量（GPS-PWV）。按照降水性質，選取對流雲降水和層狀雲降水個例，分析不同類型降水過程中 GPS-PWV 的變化特徵。結果顯示，對流雲降水和層狀雲降水一般均發生在 GPS-PWV 的高值階段。

## 五、 華測衛星導航有限公司

上海華測導航技術有限公司是一家集 GNSS（全球導航衛星系統）研發、生產、銷售於一體的高科技產業集團。擁有 10 多年的研發、應用、服務經驗，目前在中國三十個省級城市設有服務中心，合作夥伴遍佈全世界。該公司一直以“振興中華，測繪天下”為己任，以“創國際領先水準，引領中國 GNSS 發展，改變世界 GNSS 格局”為目標。憑藉規範的管理、精湛的技術、高品質的產品和完善的服務，致力於高精度 GNSS 產品在各行業的應用，為用戶提供全球衛星定位及相關行業全方位、高技術的系統解決方案。

上海華測現有員工 400 餘人，其中 80 多人具有碩士、博士學位，公司與國內外一流大學、知名企業及國家各部委建立了廣泛聯繫，跟蹤國際前沿科技，推出了一系列具有世界領先水準的測繪、導航產品。自成立開始，華測集團便致力於 GNSS 接收機的研發，已先後與中國各大部委機關展開合作。採用國外先進的 GNSS 晶片、成套工藝流程，輔以華測公司成熟的專業技術。

該公司的主要產品和服務涵蓋高精度測量型 GNSS 接收機、雙頻即時動態 GNSS 接收機、手持 GIS 終端、無線數傳設備、水上測量產品、組合導航系統、變形監測系統以及系統集成等方面。華測是中國第一台雙頻毫米級 GNSS 測量接收機和中國國內第一塊自主知識產權的測量型 GNSS OEM 主板的研製者和推廣者，華測生產的 GNSS 接收機為中國生產測量型 GNSS 中精度最高的 GNSS 產品。並且為首家應用於 VRS 系統的中國生產 GNSS 移動站廠家。該公司先後通過了 ISO9001:2000 認證，歐盟 CE 認證，產品入選“國家重點新產品”計畫項目，榮獲“上海市科學進步獎”，還是測量界唯一獲得中國國家科技部、商務部、國家質監總局、國家環保總局聯合頒發重點新產品證書的企業，也是第 26 次南極科考和三江源大型科考活動測量產品指定供應商。

該公司主要產品儀器特色如下：

(1) 大地測量系列

華測 X91 GNSS RTK：多頻一體化 RTK 接收機

華測 X300 GNSS RTK：多頻一體化 RTK 接收機

華測 X90 GNSS RTK：雙頻一體化 RTK 接收機

華測 X60 GNSS RTK：雙頻分體化接收機

華測 X20 GNSS：單頻靜態測量接收機

(2) 水上測量系列

B20 信標機

D530 雙頻高精度測深儀

D330 單頻高精度測深儀

D130 手持高精度測深儀

V110 定位定向儀

X20R 實時差分 RTD

水上打樁系統

A20 姿態測量系統

(3) GIS 產品

LT200 手持 GIS 資料獲取器

GIS 參考站 HRS-3

GIS 參考站 HRS-2

(4) 系統集成

軟體方案：GPSensor 形變監測軟體

硬體方案：X60M/X300M GNSS 接收機

應用領域：橋樑、尾礦、滑坡、沉降

(5) 軟體系列

Compass 華測大地測量軟體

Landstar 華測測地通軟體

Hydronav 水上測量軟體 標準版 PDA 版

GPSensor 形變監測軟體

2010 年 8 月華測研製的中國國內第一款完全自主知識產權的測量型 GNSS 接收機，通過由武漢大學校長劉經南院士所率 9 人小組專家鑒定，讓 GNSS 接收機核心技術不再完全由歐美等企業完全壟斷，此外，該公司也配合中國政府於 2010 年 4 月參加“中非測繪合作座談會”並捐贈非洲國家 12 套 GNSS 設備，展開測繪國民外交。

此外該公司對每一出廠衛星接收儀均有完整儀器檢驗制度，除使用電子設備進行儀器本體及天線盤以電子示波器進行頻率驗證外，在該公司大樓樓頂一有一處實地資料接收測試廠，以作為儀器功能精度驗證使用。每部雙頻衛星接收儀（具 RTK 功能）價格約 12-15 萬台幣。（因涉及商業機密，故工廠生產線實地參訪均謝絕照相）

## 六、 蘇州一光儀器有限公司

蘇州一光儀器有限公司(原名蘇州第一光學儀器廠)成立於 1958 年，是中國專業生產測繪儀器的製造廠家，國家首批認定的江蘇省高新技術企業。產品“J2-2 光學經緯儀”、“DSZ2 自動安平水準儀”是客戶公認的最優產品。近幾年來，該公司在中國推出“全中文全站儀”、“OTS 免稜鏡測距全站儀”等產品，填補了中國生產全站儀的空白，市場佔有率逐年提升；隨著 GPS 興起，又推出了 SGS328、SGS528、SGS828 等多款 GPS 產品，滿足了市場和客戶需求。該公司在中國國內市場獲得較大發展的同時，也積極開拓國外市場，“一光”品牌產品已在全球 100 多個國家落地生根。

該公司以江蘇省現代測繪儀器工程技術研究中心和江蘇省企業技術中心為載體，聯合著名高校，依靠科技進步，加快機電一體化的高新技術產品的研發，現已成為國內測繪儀器最齊全，擁有國家專利、“國家級重點火炬計劃項目”最多的企業。公司 2006 年獲得“中國自主創新型企業”稱號，2007 年、2008 年連續被國家權威部門授予“中國製造業 500 強企業”。

蘇州一光儀器有限公司早期從事生產光學經緯儀及水準儀，後來陸續研發創新生產

電子水準儀及精密水準儀，近期並研發生產 GPS 衛星接收儀及 CORS RTK 移動站接收儀。蘇州一光儀器有限公司的銷售網絡已經遍布全中國大陸各地，用戶可選擇所在區域經銷商購買儀器。另外，該公司並與其中部分經銷商合作成立了地區服務中心，以方便用戶就近修理儀器，提供客戶服務需求。

蘇州一光儀器有限公司除為儀器製造生產公司外，還是肩負著測繪教學的重任，該公司為蘇州科技學院的教學實習基地與教學時訓基地、中國人民解放軍測繪學院的教學實習基地、南京信息工程大學的測繪工程實習基地……等等。訪談結束後，張總經理帶著我們參觀儀器製造工廠，讓我們實地瞭解經緯儀各個零件的製作過程、半成品、成品及儀器組裝。儀器組裝完竣後，需進行實機操作測試及高溫測試、低溫測試，以確保儀器能於各惡劣環境下順利操作，達成作業任務。

該公司約有 50 位員工是進行儀器校正作業，每位人員身旁就有一套多管軸校正系統(與本中心校正實驗室所使用之經緯儀校正工具多管軸系統功能相同)，測距部份亦在公司內有一套約 30 公尺之校正基線，另外亦有一套長距離校正基線場。因該公司水準儀及 GPS 接收儀等生產線業已遷移至蘇州工業園區，故僅參觀經緯儀的生產工廠，經口頭詢問，水準儀亦都有進行相關檢校驗證作業。

另蘇州一光儀器有限公司亦擔任國際各大測量儀器廠商代工，至少包含 LEICA、TOPCON、NIKON、SOKKIA 等國際主要廠商，經了解在不同代工廠品質要求下，會有不同的製作工法及品管要求，故其品質及價格亦不相同，所以在市面上，不同廠牌間有類似儀器型號，但是在價格及儀器品質上，則有所差異。

## 伍、 建議

### 一、 整合 GPS 衛星追蹤站，節省國家資源

本中心自 93 年度起至 95 年度止，建置完成臺灣地區 e-GPS 即時動態定位系統，目前納入系統中共有 78 個基準站，自 97 年 5 月 1 日開始試辦提供使用，並自 98 年 1 月 1 日起正式進入營運，提供服務。對照中國建置 CORS 系統的發展，我們可以說是站在領先的腳步。目前國內並非只有本中心建置 GPS 衛星追蹤站，如中央氣象局、中央地質調查所及台南縣政府，均各自基於業務需要建置，經統計目前臺灣地區已有高達 200 多個 GPS 衛星追蹤站，惟僅有部分站經過協議納入本中心 e-GPS 即時動態定位系統，未能充分發揮建站效益。

未來應積極邀集相關建置單位協調，整合國內 GPS 衛星追蹤站，考量區域分布與地形特性，將適合之 GPS 衛星追蹤站納入本中心 e-GPS 即時動態定位系統，節省重複建站及維護經費，並可提升系統定位效能。

### 二、 加強推廣宣導，擴大 e-GPS 定位系統應用效益

本中心 e-GPS 即時動態定位系統目前雖已有 224 個會員、749 組 VRS-RTK 用戶，然應用領域仍偏重測繪領域，未來應可再加強對其他領域應用的開發與宣導工作，拓展系統應用與服務範圍。尤其目前政府各相關單位正積極建立各項國土資訊資料，如公共管線、人手孔及道路資訊，惟主管單位尚未能充分了解本中心 e-GPS 即時動態定位系統，以致於作業規範中能未能納入，但從會員申請辦理業務可以看出，測繪廠商已經開始應用 e-GPS 系統辦理各項測繪作業，惟因未有適用於各項作業之技術規範，其作業成果品質無法充分確保。

未來可以加強對相關主管機關宣導推廣，充分應用 e-GPS 即時動態定位系統於各項國土資訊資料調查測繪工作，同時也應該研究建立一套完整的生產作業與技術規範、標準，讓主管部門和使用者都能確實了解應用本中心 e-GPS 即時動態定位系統所應遵循的作業規範及相應可以達到得定位精度。另外也應積極朝向研究 e-GPS 系統與國家大地基準 TWD97 之整合，研究建立由 e-GPS 系統維護國家動態三維大地基準之可行性。

### 三、 建立適合臺灣地區應用模式，提升衛星定位精度

GNSS 導航定位的算法已進步到使用載波相位計算的階段，已不再使用電碼計算，可大大提高定位精度。然而，使用載波相位資料雖可提高精度，但仍需克服所帶來的周波未定值及周波脫落的問題；臺灣目前基線計算已發展到精密單點定位及單一時刻基線計算的階段，且全臺灣亦已佈建數百個衛星追蹤站。因此，可對臺灣地區的 GNSS 衛星軌道精密、建立對流層模型及計算電離層參數進行研究與計算，進而提供給臺灣地區導航與測量界使用，以提高定位精度。

本中心在此領域，由測繪科技發展計畫 95-97 年間分別執行「全球導航衛星系統資料聯合處理技術發展作業」，藉由學術界力量，建立臺灣自主軟體及各項區域性修正模式，除可提升衛星測量成果精度外，亦可讓技術生根，提升國內衛星測量人才與技術發展。未來可持續納入衛星測量軟體技術開發作業，而且開發成本與硬體而言相對較為便宜，符合臺灣測繪技術發展趨勢。

### 四、 建立臺灣區域性修正模式，發展 GNSS 大氣科學

利用 GNSS 衛星觀測資料反演計算大氣可降水量，是 GNSS 衛星一個新的應用領域，GNSS 氣象學目前正快速發展中。氣象預報降水量有一套完整的系統，然而因無法取得大氣更準確的取樣，所以預報的準確度無法很準確。特別是，民國 98 年 8 月 8 日莫拉克颱風侵襲臺灣，帶來超乎想像的雨量，造成嚴重的災害。因此，有學者嘗試利用 GNSS 衛星觀測資料計算大氣可降水量，其可利用臺灣地區地面 GNSS 固定站長期連續的觀測資料及衛星軌道的精密星曆，計算出對流層的影響量，進而反演出大氣可降水量。雖可求得大氣可降水量的多寡，但並不代表一定會降水，應再配合氣象觀測資料，進行統計相關係數分析，建立大氣降水量模式，提供大氣降水量預估研究。

臺灣地區的 GNSS 衛星測量的發展已有數十年，大部分的基線計算皆是仰賴國外的套裝軟體，以及使用其內定幾種對流層模式，其模式主要為適合大範圍地區，無法很適切的應用於臺灣地區。因此，有必要針對臺灣地區建立區域對流層模式，以適應臺灣地區的氣候與地形，並獲取更高精度的定位結果。本中心 98 年度執行「發展臺灣區域性對流層延遲算模式作業先期研究作業」已具初步成效，未來可加強此一領域的研究發展。此外，藉由發展各項區域性大氣修正模式，除可改善定位成果精度外，亦可提供相關天



氣預測模式使用。

## 五、 落實測繪儀器校正制度，確保測繪成果品質

隨著社會經濟的迅速發展，測繪產品在人們的日常生活中扮演著越來越重要的角色。而測繪產品品質作為測繪事業和地理資訊產業發展的生命，不僅關係著國民經濟發展，同時也關係著國人的切身利益。中國國家測繪局今年成立了國家測繪產品品質檢驗測試中心，該中心將承擔中國範圍內的國家級品質監督檢驗工作，對國家重大測繪項目成果品質進行監督檢驗。

我國國土測繪法子法「基本測量實施規則」第 24 條及「應用測量實施規則」第 12 條均規定辦理測量所使用之儀器均應定期送國家度量衡標準實驗室，或簽署國際實驗室認證聯盟相互承認辦法之認證機構所認證之實驗室辦理校正。本中心於 97 年成立「測量儀器校正實驗室」，積極建置相關校正設備及發展符合國際認證規範 ISO/IEC 17025 之品質管理系統，並於 99 年 3 月通過 TAF 校正實驗室認證。

本中心測量儀器校正實驗室通過 TAF 認證後，除對本中心校正技術的肯定外，對於測量儀器校正制度的推動及建立更具指標性的意義。目前國內基層測繪機關或工程機關對於測繪儀器校正的觀念仍相當缺乏，本中心應以通過 TAF 認證之實驗室為基礎，除積極提供測繪儀器校正服務外，更應推廣測繪儀器校正的知識及觀念，進一步落實測繪儀器校正制度，確保各項測繪成果品質，提升政府公信力。

## 六、 持續規劃測繪科技發展方向，提升測繪技術與研發能量

由本次研討會九個專題研討主題來看，本中心目前執行的測繪科技計畫及規劃之測繪科技發展後續計畫（100-103 年）辦理「臺灣地區高程現代化作業技術發展計畫」、「建立航遙測感應器校正作業執行計畫」、「發展無人飛行載具航拍技術作業」及「測量儀器校正實驗室營運計畫」等，應是合乎目前測繪科技發展方向與潮流。未來應該在既有基礎及考量臺灣現有環境下，積極蒐集其他先進國家測繪技術發展趨勢，結合國內測繪學界與業界，共同研擬出具臺灣特色之測繪科技發展方向，並持續規劃具體執行計畫，以提升測繪技術與研發能量。

## 七、 鼓勵參與各項研討會，擴大國際視野

藉由本次研討會，讓出席同仁了解目前相關測繪政策、測繪儀器設備與衛星測量技術發展現狀。目前中國在測繪儀器設備及衛星測量技術上，已和美國、俄羅斯及歐盟並列為「導航技術輸出核心國家」，具有自主全球導航衛星系統（北斗衛星導航系統）及自有品牌之各式地面測量與衛星測量儀器設備，已成為世界測繪大國，其發展值得我們持續關注。未來對於相關國際或類似研討會，建議鼓勵國內產、官、學界多加參與，相互交流，以擴大視野。

陸、 本次技術論壇會議及參訪相關照片



圖 1:論壇會議開幕式



圖 2:開幕式之陳俊勇院士專題報告



圖 3:會議參加人員報到情形

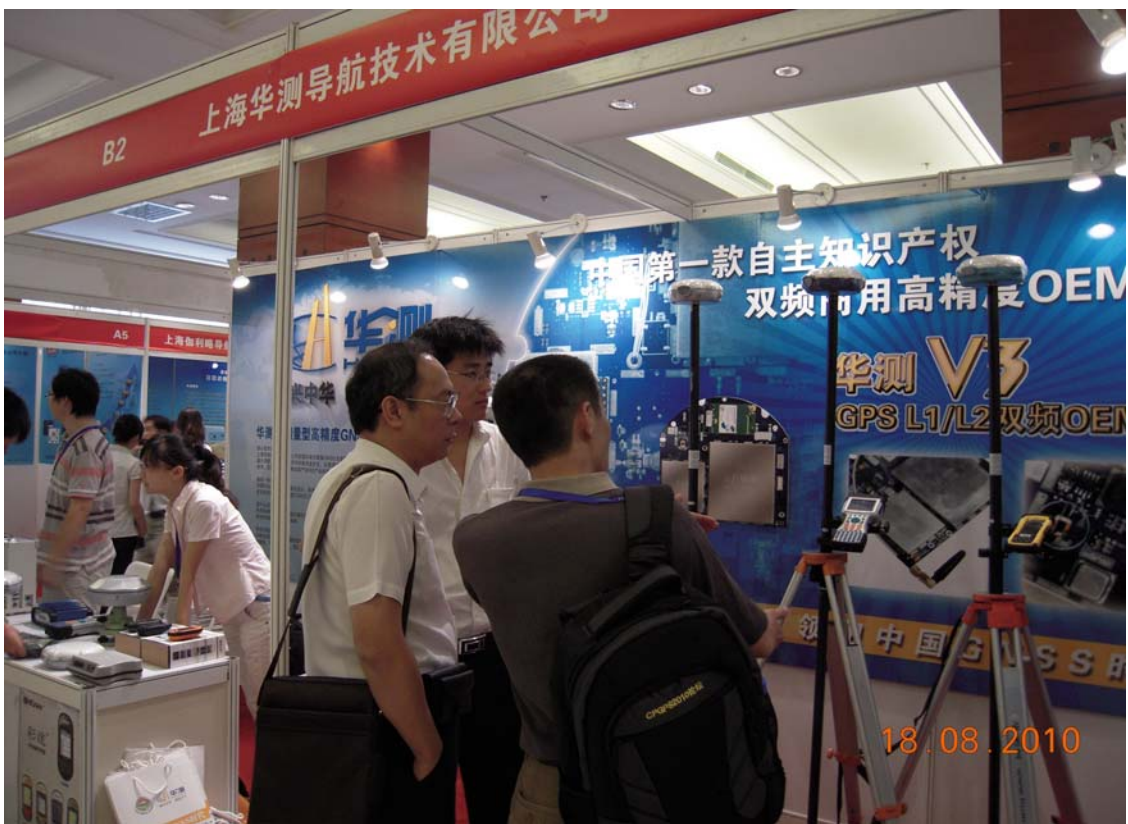


圖 4:參訪會議現場廠商攤位展示情形





圖 5:本中心同仁於會議展示廠商攤位合影



圖 6:會議展示廠商攤位情形



圖 7:臺灣參加人員(儲豐有)論文現場發表情形



圖 8:產業與學術交流座談情形





圖 9: 參訪華測公司技術創新獲獎情形



圖 10: 華測公司 GPS 接收儀許可證

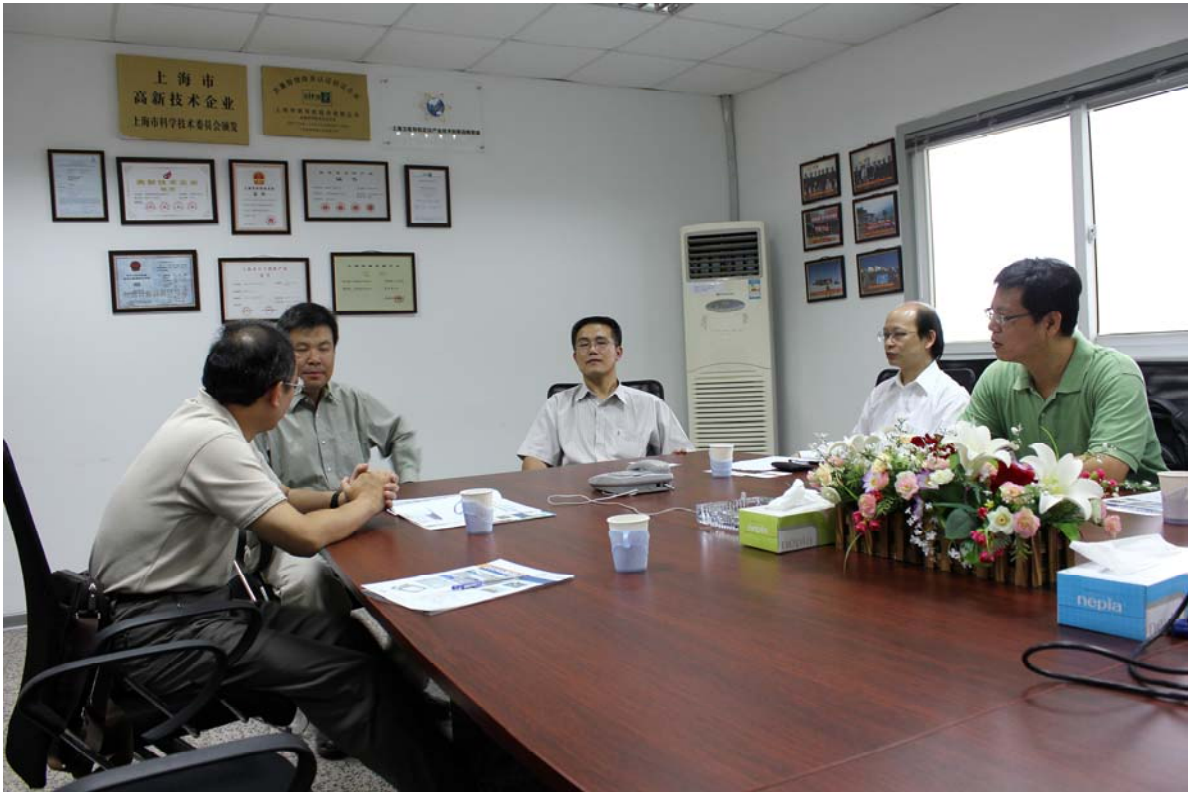


圖 11: 本中心同仁與華測公司高層及澳洲葛林林教授交換意見



圖 12: 本中心同仁與華測公司人員合影





圖 13: 本中心同仁與蘇州一光儀器有限公司人員交換意見

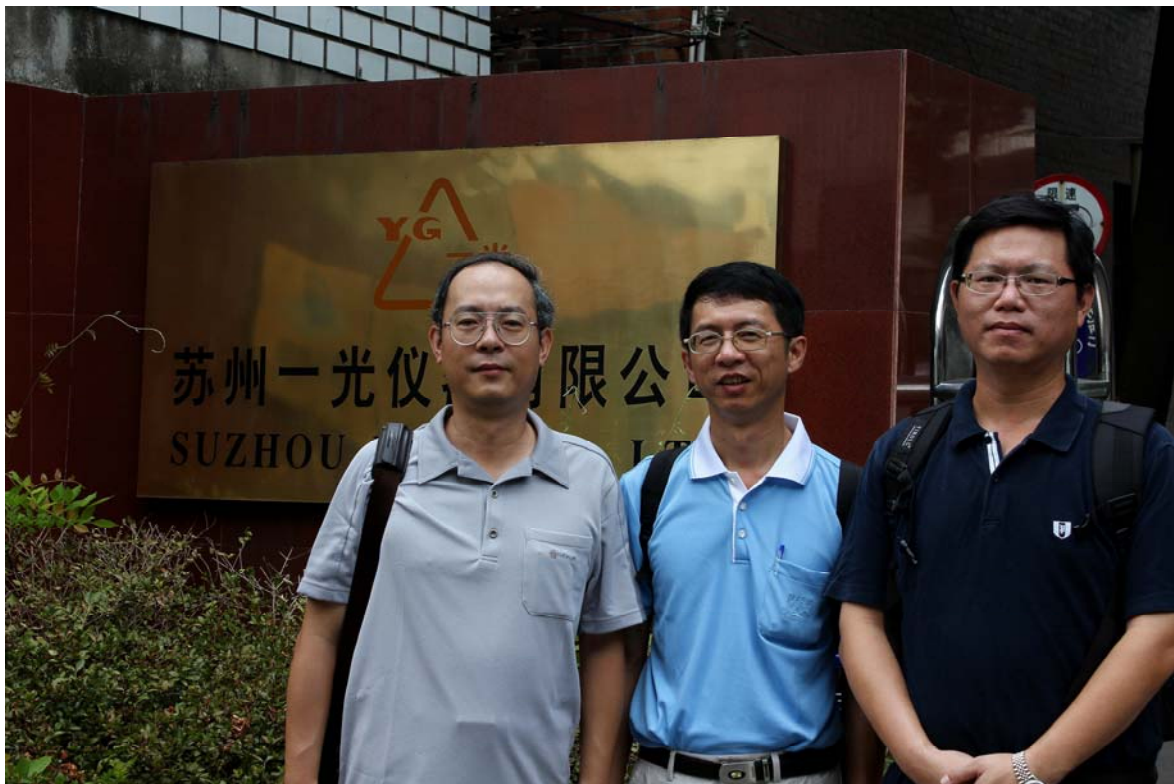


圖 14: 本中心同仁在蘇州一光儀器有限公司合影



圖 15: 蘇州一光儀器有限公司產學合作情形



圖 16: 本中心同仁參訪中翰儀器公司情形

## 柒、 附錄

### 附錄一：江蘇省全球導航衛星連續運行參考站綜合服務系統介紹

江蘇省全球導航衛星連續運行參考站綜合服務系統（Jiangsu Continuously Operating Reference Stations, JSCORS）專案是中國江蘇省測繪局"十一五"計畫的重點專案，由江蘇省測繪局和江蘇省氣象局共同投資建設。江蘇省測繪工程院負責專案的組織實施，武漢大學提供技術支援和監理服務，徠卡公司負責相關軟硬體技術服務。項目於 2006 年 7 月正式啓動，2006 年 12 月建成並投入運行。到目前爲止，已有 400 多個用戶註冊加入 JSCORS，使用 JSCORS 的網路 RTK 服務。

JSCORS 提供最小 1 秒採樣率的 RINEX 格式觀測資料下載服務，可作爲科研院所進行相關科研專案的實驗資料，亦可爲普通用戶的控制網聯合解算、RTK 後處理等工作提供觀測資料。提供全天候的網路 RTK、RTD 資料服務。可相容市面上所有支持差分的進口及國產 GNSS 接收機設備，支援 Leica、CMR、RTCM 等多種差分數據格式，同時具備 MAX (iMAX)、VRS、FKP 等多種差分演算法，支持 GPS、GLONASS 雙星差分。另外提供作爲坐標轉換、後處理虛擬站、正常高求取、地層下陷監測、地震變形等應用。

此外 JSCORS 也是作爲四維空間坐標參考基準，是在三維空間坐標資訊的基礎上加入了第四維—時間維，也就是建立動態的三維空間坐標參考基準框架。建立高精度四維空間坐標參考基準不但是基礎測繪完善的需要，也是現代測繪技術發展的必然結果。江蘇省現代四維空間坐標參考基準是江蘇省內各項測繪工作的參考框架。它的建立和維持，是以現代大地測量技術爲基礎，建立與國家空間資料基準框架相一致的江蘇省新一代四維空間坐標參考基準，爲“數位江蘇”地理資訊空間基礎框架、城市規劃、氣象預報、環境監測、交通管理等各項經濟建設提供廣泛的測繪服務。



# GPS/Galileo Long Baseline Computation Performance Analyses

**Chu, Feng-Yu<sup>1</sup> Yang, Ming<sup>1</sup> Chen, He-Chin<sup>2</sup> Liu, Jeng-Lun<sup>2</sup>**

1. Department of Geomatics National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

2. National Land Surveying and mapping Center, MOI, Taiwan

1 e-mail: P6894103@mail.ncku.edu.tw

**Abstract :** This study examines a GPS/Galileo unified approach to process the mutually compatible GPS and Galileo multi-frequency observables for high-precision long baseline determination. The proposed approach not only has the flexibility to deal with single-system (GPS or Galileo) or dual-system (GPS/Galileo) constellations, but also has the capability to handle dual-frequency and triple-frequency measurements. For verification, we first compare the unified approach with Bernese v5.0 software on one 2243-km test baseline. The test baseline is composed of 7-day actual observations collected at continuous GPS tracking stations located in East Asia. The proposed approach and Bernese software have produced highly compatible computational results that have successfully achieved several parts per billion (ppb) long-range relative positioning accuracy. In order to analyze the efficiency and accuracy of future GPS/Galileo long baseline determination, we also apply the unified approach to simulated GPS/Galileo multi-frequency observations and obtain the following conclusions that (1) the triple-frequency ambiguity resolution is more stable than the dual-frequency when the code noise is bad, (2) the fast long-baseline ambiguity resolution with an occupation within 30 minutes can become a reality provided that the environmental multipath effects are not too severe, and (3) future positioning accuracy of daily data processing at continuous tracking stations can be further improved .

**Keywords:** Global Positioning System, Galileo, Baseline Computation, Performance Analyses, Ambiguity Resolutions

## GPS/Galileo 長距離基線計算效能分析

**儲豐宥<sup>1</sup> 楊名<sup>1</sup> 陳鶴欽<sup>2</sup> 劉正倫<sup>2</sup>**

1 國立成功大學測量及空間資訊學系，臺南，臺灣

2 國土測繪中心，臺灣

1.P6894103@mail.ncku.edu.tw

**【摘要】**本研究提出一個處理 GPS 及 Galileo 觀測資料的長距離基線解算方法。此方法可處理任一單獨系統的觀測資料，也可合併處理雙系統資料；同時也可以彈性選擇處理雙頻或是三頻資料。為驗證此方法的正確性，本研究利用所提出的演算法計算連續 7 天的 GPS 觀測資料，並與 Bernese 程式計算結果比較；兩者獲得高度一致的成果，同時驗證此方法確可達到數個 ppm 的相對定位精度。為求進一步了解未來 GPS/Galileo 長基線計算的效率及定位精度，本研究並分析模擬資料獲致以下結論：(1)當電碼雜訊很大時，三頻週波值較雙頻頻穩健(2)長基線的快速靜態測量將可望在雙系統三頻觀測的情況下順利實現，(3)衛星追蹤站每日資料處理的定位精度亦將可望較目前進一步提升。

**【關鍵字】** 全球定位系統，Galileo，基線計算，週波值效益分析

### 1 引言

在不久的未來，現代化 GPS 的民用訊號系統除了

開放原有的雙頻 L1 以及 L2 訊號外，將增加第三頻率 L5，並且有更多的衛星顆數以及更好訊號品質給使用者(Hein, 2000)。同時，由歐盟所開發的 Galileo 系統

也具備了三個開放頻率 E1, E5a 以及 E5b 並與 GPS 訊號具有相容性<sup>[10]</sup>。整合式 GPS/Galileo 的計算有如下列優點：(1) 大幅的增加可視衛星數目以及幾何提高定位精度，尤其在城市高遮蔽區域<sup>[21]</sup>，(2) 擁有較高多於觀測以及幾何，因此週波值解算以及內、外可靠度優於目前的雙頻 GPS<sup>[14, 24, 28, 29]</sup>。

當整合 GPS 以及 Galileo 資料時，兩系統的坐標參考框架 WGS84(GPS)以及 Galileo(GTRF)的誤差大約在數公分等級，準確度已經符合導航以及大部分精密測量<sup>[11]</sup>。另外，由於 GPS 以及 Galileo 時間框架的不同步將產生一偏差量 GGTO (GPS-Galileo Time offset)，此偏差可以只多花費一顆衛星觀測量來消除；因此，GGTO 可以簡單的利用二次差分方式消除<sup>[11]</sup>，或引入額外未知參數方式估計此偏差<sup>[18]</sup>。

過去十年來許多針對 GPS 以及 Galileo 三頻相位週波值求解的研究被提出，如 TCAR(Three-Carrier Ambiguity Resolution)<sup>[29]</sup>，CIR(Cascade Integer Resolution)<sup>[13]</sup>，CAR(Cascade Ambiguity Resolution)<sup>[9]</sup> 以及 LAMBDA 法 (Least-squares Ambiguity Decorrelation Adjustment)<sup>[25]</sup>。傳統 CIR、TCAR 以及 CAR 相似地都以 geometry-free bootstrapping 的方式，並透過 Rounding 的方式獲得整數週波值。不同於三者，LAMBDA 利用了週波值之實數解以及變方-協變方矩陣來收尋整數週波值。由於 LAMBDA 的低相關化過程，週波值求解更有效率以及正確。

在 TCAR、CIR 以及 LAMBDA 的比較，LAMBDA 在 geometry-based 模式有較好的效益，且在 geometry-free 模式下三者也具有相似的效益 (Teunissen, 2002)。短基線單一時刻下，有研究利用 CAR 以及 LAMBDA 針對 Galileo 分析週波值效益，並指出四頻下 LAMBDA 較不會受到電碼雜訊影響，但是對 CAR 卻有很大的影響<sup>[12]</sup>。

GPS 基線計算在長度上可以分為長基線以及短基線，在實務上，依照使用者不同的需求可以簡單區分為靜態、動態以及即時動態。目前，靜態長基線計算已經為 GPS 追蹤站主要處理方式，並且廣泛的使用於估計追蹤站速度場變化，極移參數以及電離層模式等大地測量應用<sup>[2]</sup>。在未來 GNSS 時代下，目前針對雙頻 GPS 的演算法將不足以處理多系統多頻率的資料，因此本研究提供一種聯合的長基線計算方法可以彈性的計算未來多系統多頻的資料，可讓使用者根據不同的應用場合使用不同的觀測量。此外，本方法的週波值解算以 geometry-based 為基礎，並透過 LAMBDA 方法搜尋整數週波值。

本文第二節以及第三節分介紹使用的觀測量以及所提出的方法 GUA，第四節分利用位於東亞的真實追蹤站 TSKB 以及 FLNM 所構成的長度大約 2243km 的基線為測試資料，計算出連續 7 天每日解的 mean 以及 standard deviation，並相同的利用 Bernere v.5.0 的成果驗證其計算模型程式的正確性。在第五節，利用 GPS/Galileo 模擬資料分析相位以及電碼觀測量品質對於週波值效益的影響，並探討 GPS/Galileo 長基

線解算對於效率以及定位精度的提升。

## 2 現代化 GPS 以及 Galileo 的無電離層以及相位-電碼線性組合

現代化 GPS 衛星可以讓使用者獲得在 L1、L2 以及 L5 三個頻率上的相位以及電碼觀測量。相同地，Galileo 衛星也提供了 E1、E5b 以及 E5a 三個頻率上的相位以及電碼觀測量<sup>[9, 10]</sup>。在長基線計算的應用上，同時使用二次差分相位無電離層線性組合以及二次差分相位-電碼線性組合的方法可以獲得高精度的整數週波值解<sup>[15]</sup>；然而，隨者額外第三個頻率的加入，我們必須考慮由第三個頻率所組成的無電離層以及相位-電碼線性組合。因此，本節首先介紹了現代化 GPS 以及 Galileo 的基礎二次差分觀測方程式以及線性組合公式，接下來介紹二次差分相位無電離層線性組合以及二次差分相位-電碼線性組合。

### 2.1 現代化 GPS 以及 Galileo 的基礎二次差分觀測方程式

在同步觀測時間內，兩測站所收集的觀測量可以組成二次差分觀測量。當兩站觀測環境幾乎相同時，二次差分可以有效的消去觀測量上的衛星鐘差、接收儀鐘差，硬體延遲誤差，非零的初始相位值<sup>[5]</sup>。相同地，現代化 GPS 以及 Galileo 的三個頻率上的觀測量也能以相同的方法組成二次差分觀測量，三個頻率的二次差分相位以及電碼的觀測方程式如公式(1)至公式(6)所表示<sup>[7, 11]</sup>。

$$\Delta\nabla\Phi_1 = \Delta\nabla\rho - \Delta\nabla I + \Delta\nabla T + \Delta\nabla d_{orb} + \Delta\nabla d_{tide} + \lambda_1 \Delta\nabla N_1 + \Delta\nabla\varepsilon_{\Phi_1} + \Delta\nabla M_{\Phi_1} \quad (1)$$

$$\Delta\nabla\Phi_2 = \Delta\nabla\rho - \frac{f_1^2}{f_2^2} \Delta\nabla I + \Delta\nabla T + \Delta\nabla d_{orb} + \Delta\nabla d_{tide} + \lambda_2 \Delta\nabla N_2 + \Delta\nabla\varepsilon_{\Phi_2} + \Delta\nabla M_{\Phi_2} \quad (2)$$

$$\Delta\nabla\Phi_3 = \Delta\nabla\rho - \frac{f_1^2}{f_3^2} \Delta\nabla I + \Delta\nabla T + \Delta\nabla d_{orb} + \Delta\nabla d_{tide} + \lambda_3 \Delta\nabla N_3 + \Delta\nabla\varepsilon_{\Phi_3} + \Delta\nabla M_{\Phi_3} \quad (3)$$

$$\Delta\nabla P_1 = \Delta\nabla\rho + \Delta\nabla I + \Delta\nabla T + \Delta\nabla d_{orb} + \Delta\nabla d_{tide} + \Delta\nabla\varepsilon_{P_1} + \Delta\nabla M_{P_1} \quad (4)$$

$$\Delta\nabla P_2 = \Delta\nabla\rho + \frac{f_1^2}{f_2^2} \Delta\nabla I + \Delta\nabla T + \Delta\nabla d_{orb} + \Delta\nabla d_{tide} + \Delta\nabla\varepsilon_{P_2} + \Delta\nabla M_{P_2} \quad (5)$$

$$\Delta\nabla P_3 = \Delta\nabla\rho + \frac{f_1^2}{f_3^2} \Delta\nabla I + \Delta\nabla T + \Delta\nabla d_{orb} + \Delta\nabla d_{tide} + \Delta\nabla\varepsilon_{P_3} + \Delta\nabla M_{P_3} \quad (6)$$

其中下標號碼 1, 2, 3 分別代表三種不同的頻率，可以由表 1 所示； $\Delta\nabla$  為二次差分運算子； $\Phi$  為相位距離觀測量(單位：公尺)； $P$  為電碼觀測量(單位：公尺)； $f$  為頻率(單位：MHz)； $c$  為光速(單位：m/s)； $\rho$  代表衛星以及接收儀之間的幾何距(單位：公尺)； $I$  為電離層延遲量(單位：公尺)； $T$  為對流層延遲量(單位：公尺)； $d_{orb}$  為軌道誤差(單位：公尺)； $d_{tide}$  為潮汐誤差(單位：公尺)； $\lambda$  為波長(單位：公尺)； $N$  為週波值(單位：cycle)； $\varepsilon$  代表雜訊(單位：公尺)； $M$  代表多路徑影響(單位：公尺)。

表 1. 現代化 GPS 以及 Galileo 的三頻訊號以及對應的頻率

Constellation	Subscript	Signal	Fre.(MHz)
GPS	1	L1	1575.42
	2	L2	1227.60
	3	L5	1176.45
Galileo	1	E1	1575.42
	2	E5b	1207.14
	3	E5a	1176.45

## 2.2 三頻觀測量線性組合

觀測量線性組合是一種組合同一測站上多頻相位或是多頻電碼觀測量成為特殊觀測量的方法，在三頻觀測量下，相位線性組合如公式(7)所示，相同地，電碼線性組合如公式(8)所示<sup>[4]</sup>。

$$\Delta\nabla\Phi_{(i,j,k)} = \frac{if_1\Delta\nabla\Phi_1 + jf_2\Delta\nabla\Phi_2 + kf_3\Delta\nabla\Phi_3}{if_1 + jf_2 + kf_3} \quad (7)$$

$$\Delta\nabla P_{(l,n,m)} = \frac{lf_1\Delta\nabla P_1 + nf_2\Delta\nabla P_2 + mf_3\Delta\nabla P_3}{lf_1 + nf_2 + mf_3} \quad (8)$$

組合的相位以及電碼觀測方程式如公式(9)以及(10)所示：

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\Phi_{(i,j,k)} &= \Delta\nabla\rho - \beta_{(i,j,k)}\Delta\nabla I + \Delta\nabla T + \Delta\nabla d_{orb} \\ &+ \Delta\nabla d_{tide} + \lambda_{(i,j,k)}\Delta\nabla N_{(i,j,k)} + \Delta\nabla\varepsilon_{\Phi_{(i,j,k)}} \\ &+ \Delta\nabla M_{\Phi_{(i,j,k)}} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Delta\nabla P_{(l,n,m)} &= \Delta\nabla\rho + \beta_{(l,n,m)}\Delta\nabla I + \Delta\nabla T + \Delta\nabla d_{orb} \\ &+ \Delta\nabla d_{tide} + \Delta\nabla\varepsilon_{\Phi_{(l,n,m)}} + \Delta\nabla M_{\Phi_{(l,n,m)}} \end{aligned} \quad (10)$$

其中  $i, j, k, l, n, m$  為組合係數，組合的頻率如下所示：

$$f_{(i,j,k)} = if_1 + jf_2 + kf_3 \quad (11)$$

組合波長為：

$$\lambda_{(i,j,k)} = \frac{c}{f_{(i,j,k)}} \quad (12)$$

組合週波值為：

$$\Delta\nabla N_{(i,j,k)} = i\Delta\nabla N_1 + j\Delta\nabla N_2 + \Delta\nabla kN_3 \quad (13)$$

相位以及電碼線性組合上的電離層誤差放大因子分別如公式(14)以及公式(15)所示：

$$\beta_{(i,j,k)} = \frac{f_1^2(i/f_1 + j/f_2 + k/f_3)}{if_1 + jf_2 + kf_3} \quad (14)$$

$$\beta_{(l,n,m)} = \frac{f_1^2(l/f_1 + n/f_2 + m/f_3)}{lf_1 + nf_2 + mf_3} \quad (15)$$

若假設三個頻率上所有的二次差分相位以及電碼雜訊都分別為  $\Delta\nabla\sigma_{o,\Phi}^2$  ( $\pm m$ ) 以及  $\Delta\nabla\sigma_{o,P}^2$  ( $\pm m$ )，相位雜訊放大因子  $A_{(i,j,k)}$  以及電碼的雜訊放大因子  $A_{(l,n,m)}$  分別如下。

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\sigma_{(i,j,k)} &= \sqrt{\frac{(if_1)^2 + (jf_2)^2 + (kf_3)^2}{(if_1 + jf_2 + kf_3)^2}} \Delta\nabla\sigma_{o,\Phi} \\ &= A_{(i,j,k)} \Delta\nabla\sigma_{o,\Phi} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\sigma_{(l,n,m)} &= \sqrt{\frac{(lf_1)^2 + (nf_2)^2 + (mf_3)^2}{(lf_1 + nf_2 + mf_3)^2}} \Delta\nabla\sigma_{o,P} \\ &= A_{(l,n,m)} \Delta\nabla\sigma_{o,P} \end{aligned} \quad (17)$$

## 2.3 相位無電離層線性組合

電離層會受到磁場以及太陽黑子活動而造成難以模式化，是影響衛星觀測量的主要來源之一；但是，電離層為散射性的介質，其延遲量與頻率有關，實務上可採用雙頻觀測量來消去電離層影響。在三頻情況中，雙頻的選擇總共有三種，在現代化 GPS 包含了 L1/L2、L1/L5 以及 L2/L5 三種組合；在 Galileo 有 E1/E5a、E1/E5b 以及 E5a/E5b。

現代化 GPS 以及 Galileo 的雙頻相位觀測量所組成的無電離層組合(Ionosphere-Free combinations, IF)可利用公式(9)以及特定的組合係數  $i, j, k$  來獲得，而這些係數必須符合電離層誤差放大因子等於零，也就是不再受到電離層延遲的影響。IF 組合可以如下公式(18)以及表 2 內容所表示<sup>[20]</sup>。

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\Phi_{IF,(i,j,k)} &= \Delta\nabla\Phi_{(i,j,k)} \\ &= \Delta\nabla\rho - \beta_{(i,j,k)}\Delta\nabla I + \Delta\nabla T + \Delta\nabla d_{orb} \\ &+ \Delta\nabla d_{tide} + \lambda_{(i,j,k)}(i\Delta\nabla N_1 + j\Delta\nabla N_2 \\ &+ k\Delta\nabla N_3) + \Delta\nabla\varepsilon_{\Phi_{IF,(i,j,k)}} + \Delta\nabla M_{\Phi_{IF,(i,j,k)}} \end{aligned} \quad (18)$$

## 2.4 相位-電碼線性組合

相位-電碼線性組合(Phase-Code combinations, PC)目的是提供 IF 組合額外的週波值條件使得平差中可以獲得每一個頻率上的整數週波值，且避免秩虧現象<sup>[15]</sup>。PC 組合為同時使用了相位以及電碼觀測量的線性組合，我們可以利用公式(9)以及公式(10)推導出，如下公式(19)以及表 3 內容所表示：

$$\begin{aligned}
\Delta\nabla N_{PC(i,j,k,l,n,m)} &= \Delta\nabla\Phi_{(i,j,k)} - \Delta\nabla P_{(l,n,m)} \\
&= \lambda_{(i,j,k)}(i\Delta\nabla N_1 + j\Delta\nabla N_2 \\
&\quad + k\Delta\nabla N_3) - (\beta_{(i,j,k)} + \beta_{(l,n,m)})\Delta\nabla I \\
&\quad + \varepsilon_{\Delta\nabla N_{PC(i,j,k,l,n,m)}} + M_{\Delta\nabla N_{PC(i,j,k,l,n,m)}}
\end{aligned} \tag{19}$$

其中，藉由相位以及電碼觀測量的差值，幾何距、對流層延遲量、鐘差以及潮汐變化的影響可以被消除；另外，表 3 的組合係數可以使  $\beta_{(i,j,k)}$  等於  $-\beta_{(l,n,m)}$ ，因此電離層延遲量可以被消除。

若假設三個頻率上所有的二次差分相位以及電碼雜訊都分別為  $0.01 \cdot \Delta\nabla\sigma_{0,P}$  ( $\pm m$ ) 以及  $\Delta\nabla\sigma_{0,P}$  ( $\pm m$ )，其 PC 組合的雜訊  $\Delta\nabla\sigma_{N_{PC(i,j,k,l,n,m)}} (m)$  以及其雜訊放大尺度  $A_{(i,j,k,l,n,m)}$  可如公式(20)所示。

$$\begin{aligned}
\Delta\nabla\sigma_{N_{PC(i,j,k,l,n,m)}} &= \sqrt{A_{(i,j,k)}^2 10^{-4} + A_{(l,n,m)}^2} \cdot \Delta\nabla\sigma_{0,P} \\
&= A_{(i,j,k,l,n,m)} \cdot \Delta\nabla\sigma_{0,P}
\end{aligned} \tag{20}$$

然而，根據公式(20)，PC 組合的品質主要會受到電碼雜訊的影響，若要在平差計算中使用 PC 組合，要正確求解必須要注意到電碼精度是否足夠的準確或者是具有足夠長的觀測時間來提升 PC 組合的正確性。

### 3 現代化 GPS 以及 Galileo 聯合計算方法 (GUA)

針對長基線計算，本研究以最小二乘估計建立出一種可以聯合 GPS 以及 Galileo 觀測量的計算方法 (GUA)，並採用 LAMBDA 方式搜尋多頻率上的整數週波值，目的可以讓使用者彈性地使用多重頻率，多

重系統(星群)的觀測量。

#### 3.1 GUA 誤差改正方式

爲了高精度的成果，長基線上的系統誤差必須嚴格地消去，表 4 列出了 GUA 能夠處理的系統誤差以及對應的處理方式。在大氣部份，電離層以及對流層都會造成數公尺的誤差在衛星觀測量上，如公式 (18)，GUA 採用無電離層觀測量的方式消除此項誤差。對流層不同於電離層，屬於非色散性的介質，其延遲量大小與 GPS 的頻率無關但是會隨著衛星仰角的降低而增加，在天頂方向的數量大約爲 2 公尺。因此 GUA 引入了額外的參數來吸收對流層延遲量<sup>[3]</sup>，並依據仰角給權的方式降低低仰角下對流層濕分量所造成的影響<sup>[22]</sup>。

另外，GUA 以後處理計算方式處理靜態資料，並以最小二乘估計未知參數。後處理的優點在於可以使用 International GNSS Service (IGS)所供的精密星曆，以及觀測量品質的最佳化，包括了粗差偵測以及觀測量方差估計。精密星曆是由 IGS 後處理所獲得的產品，不具有及時性但卻可以提供給使用者高精度的衛星軌道。

由於地球受到月球以及太陽引力的影響造成了衛星觀測量上的潮汐誤差，包括了固體潮變化以及海洋負載。固體潮的影響可能達到數十公分的誤差，而海洋負載也可能達到十公分左右的誤差，尤其是在海岸區域。對於短基線來說，潮汐誤差可以忽略掉；但是，對於長基線靜態計算，潮汐誤差的改正是很重要的，尤其是來自於固體潮的影響。爲此，GUA 分別利用了固體潮以及海洋負載改正的模型<sup>[17]</sup>消除觀測量上的潮汐誤差。

表 2 現代化 GPS 以及 Galileo 的無電離層組合及其相關資訊

Constellation	Type	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	$\lambda_{(i,j,k)}$ (m)	$A_{(i,j,k)}$	$\beta_{(i,j,k)}$
GPS	L1/L2	77	-60	0	0.0063	2.98	0
	L1/L5	154	0	-115	0.0028	2.59	0
	L2/L5	0	24	-23	0.1247	16.64	0
Galileo	E1/E5b	77	-59	0	0.0058	2.81	0
	E1/E5a	154	0	-115	0.0028	2.59	0
	E5b/E5a	0	-115	118	0.0420	27.47	0

表 3 現代化 GPS 以及 Galileo 的相位-電碼組合及其相關資訊

Constellation	Type	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	$\lambda_{(i,j,k)}$ (m)	$A_{(i,j,k,l,n,m)}$
GPS	L1/L2	1	-1	0	1	1	0	0.86	0.72
	L1/L5	1	0	-1	1	0	1	0.75	0.72
	L2/L5	0	1	-1	0	1	1	5.86	0.78
Galileo	E1/E5b	1	-1	0	1	1	0	0.81	0.72
	E1/E5a	1	0	-1	1	0	1	0.75	0.72
	E5b/E5a	0	1	-1	0	1	1	9.76	0.90

精密星曆所提供的衛星位置是指向衛星質心坐標，將造成衛星質心以及天線之間存在一偏移量；不同的衛星(Block I, Block II/IIA, Block IIR, Block IIF)所產生的偏移量也不同。爲了改正此偏移量，GUA 應用了衛星相位中心改正的方式獲得正確的衛星坐標<sup>[1]</sup>。

接收儀中，訊號的接收衛置會隨者不同頻率以及衛星位置而改變，而這些偏移量或變化量必須要改正才可以正確地獲得接收儀的坐標；實務上，這些誤差可以利用率定的方式獲得，且不同類型的接收儀會有者不同的率定資訊。因此，GUA 可以讀入接收儀的率定資料進行接收儀天線相位中心改正<sup>[1]</sup>。

多路徑影響是指接收天線除了收到衛星的直接訊號外，可能還會收到經天線週遭地物反射之訊號所造成的誤差，當多路徑影響嚴重時可能造成衛星訊號失鎖(lose lock)以及週波脫落。多路徑效應會同時影響在電碼以及相位觀測量上，且低仰角訊號會比高仰角訊號還要敏感。實務上，多路徑影響可以透過大量長時間觀測量的方法來降低，但是此方法無法用於短時間的應用，如動態以及快速靜態<sup>[23]</sup>。

### 3.2 觀測量模型

GUA 定義了 'set' 單位來簡單地描述觀測量模型，每一個 set 包含了特定的 IF 組合以及對應的 PC 組合。由於 IF 組合聯合了 PC 組合計算，GUA 可以避免缺項而獲得每個觀測頻率上的基本週波值。

根據表 2，現代化 GPS 以及 Galileo 各有三種的 IF 組合可以使用。然而，必須要注意到現代化 GPS 的三種 IF 組合是彼此間不爲獨立，也就是說任一組合可以由其餘兩種組合所構成，也因此和平差中同時只有兩種組合可以使用。相同地，Galileo 也只能使用兩種組合。其中必須要注意 L2/L5 以及 E5a/E5b 有者過大的雜訊放大尺度，在只用雙頻觀測時較難獲得公分及的定位<sup>[19]</sup>。基於精密定位的考量，GUA 不採用這兩組 IF 組合。

整體而言，GUA 最多包含了四種獨立且可使用的 set；在此，根據公式(18)以及公式(19)，這四種可用 set 的觀測方程式分別爲：

在 GPS 情況下

set1: L1/L2

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\Phi_{IF,(77,-60,0)} &= \Delta\nabla\rho + 0.44\Delta\nabla N_{L1} - 0.38\Delta\nabla N_{L2} \\ &+ \Delta\nabla T + \Delta\nabla\varepsilon_{\Phi_{IF,(77,-60,0)}} + \Delta\nabla M_{\Phi_{IF,(77,-60,0)}} \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \Delta\nabla N_{PC,(1,-1,0,1,1,0)} &= 0.86\Delta\nabla N_{L1} - 0.86\Delta\nabla N_{L2} \\ &+ \varepsilon_{\Delta\nabla N_{PC,(1,-1,0,1,1,0)}} + M_{\Delta\nabla N_{PC,(1,-1,0,1,1,0)}} \end{aligned} \quad (22)$$

set2: L1/L5

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\Phi_{IF,(154,0,-115)} &= \Delta\nabla\rho + 0.43\Delta\nabla N_{L1} - 0.32\Delta\nabla N_{L5} \\ &+ \Delta\nabla T + \Delta\nabla\varepsilon_{\Phi_{IF,(154,0,-115)}} + \Delta\nabla M_{\Phi_{IF,(154,0,-115)}} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \Delta\nabla N_{PC,(1,0,-1,1,0,1)} &= 0.75\Delta\nabla N_{L1} - 0.75\Delta\nabla N_{L5} \\ &+ \varepsilon_{\Delta\nabla N_{PC,(1,-1,0,1,1,0)}} + M_{\Delta\nabla N_{PC,(1,-1,0,1,1,0)}} \end{aligned} \quad (24)$$

在 Galileo 情況下

set3: E1/E5b

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\Phi_{IF,(77,-59,0)} &= \Delta\nabla\rho + 0.45\Delta\nabla N_{E1} - 0.34\Delta\nabla N_{E5b} \\ &+ \Delta\nabla T + \Delta\nabla\varepsilon_{\Phi_{IF,(77,-59,0)}} + \Delta\nabla M_{\Phi_{IF,(77,-59,0)}} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \Delta\nabla N_{PC,(1,-1,0,1,1,0)} &= 0.81\Delta\nabla N_{E1} - 0.81\Delta\nabla N_{E5b} \\ &+ \varepsilon_{\Delta\nabla N_{PC,(1,-1,0,1,1,0)}} + M_{\Delta\nabla N_{PC,(1,-1,0,1,1,0)}} \end{aligned} \quad (26)$$

set4: E1/E5a

$$\begin{aligned} \Delta\nabla\Phi_{IF,(154,0,-115)} &= \Delta\nabla\rho + 0.43\Delta\nabla N_{E1} - 0.32\Delta\nabla N_{E5a} \\ &+ \Delta\nabla T + \Delta\nabla\varepsilon_{\Phi_{IF,(154,0,-115)}} + \Delta\nabla M_{\Phi_{IF,(154,0,-115)}} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \Delta\nabla N_{PC,(1,0,-1,1,0,1)} &= 0.75\Delta\nabla N_{E1} - 0.75\Delta\nabla N_{E5a} \\ &+ \varepsilon_{\Delta\nabla N_{PC,(1,0,-1,1,0,1)}} + M_{\Delta\nabla N_{PC,(1,0,-1,1,0,1)}} \end{aligned} \quad (28)$$

針對整合現代化 GPS 以及 Galileo 的基線計算，這四種 set 可以讓使用者彈性選擇；例如 set1 是設計給目前雙頻 GPS (L1/L2)，或者所有的 set 是設計給三頻 GPS/Galileo (L1/L2/L5/E1/E5b/E5a)。整體而言，這四種組合將可以產生一共 13 種不同的觀測量模型的情況，但是 13 種情況中有許多情況非常得近似，例如 L1/L2 以及 L1/L5 都相同的爲雙頻 GPS 的情況。因此，表 3 歸納了六種主要的情況以及所需的 set。

表 3 六種主要的情況

No.	scenarios	sets
1	GPS (L1/L2)	set1
2	Galileo (E1/E5b)	set4
3	GPS (L1/L2/L5)	set1 set2
4	Galileo (E1/E5a/E5b)	set3 set4
5	GPS/Galileo (L1/L2/E1/E5b)	set1 set4
6	GPS/Galileo (L1/L2/L5/E1/E5a/E5b)	set1 set2 set3 set4

### 3.3 對流層參數

對流層參數的引入在長基線計算中已成爲最普遍消除對流層誤差的方法。首先，在衛星 S 到接收儀 R 斜距上的對流層延遲量可以根據天頂方向延遲量以及映射函數的乘積獲得，對流層延遲量可以如公式(29)所示<sup>[3]</sup>：

$$T_R^S = T_R^{Zenith} \cdot MF(e_R^S) \quad (29)$$

在此， $T_R^{Zenith}$  爲接收儀 R 天頂方向的對流層延遲量， $MF(e_R^S)$  代表者從衛星 S 到接收儀 R 的映射函數， $e$  爲



仰角。本研究中，GUA 採用的映射函數可以如公式(30)所示，此映射函數是假設在大氣層是球形對稱，因此映射函數與方位角無關。

$$MF(e_R^S) = \frac{1}{\sin(e_R^S)} \quad (30)$$

最後，可將公式(29)以及(30)組合成由兩個不同接收儀以及不同衛星的二次差分對流層延遲量形式，如下公式(31)所示，包含了兩個測站上方的天頂延遲量以及映射函數。

$$\Delta VT = [T_{R_1}^{Zenith} \cdot MF(e_{R_1}^{S_1}) - T_{R_2}^{Zenith} \cdot MF(e_{R_2}^{S_1})] - [T_{R_1}^{Zenith} \cdot MF(e_{R_1}^{S_2}) - T_{R_2}^{Zenith} \cdot MF(e_{R_2}^{S_2})] \quad (31)$$

在此，下標 1 以及 2 代表不同的衛星以及接收儀， $T_{R_1}^{Zenith}$ ， $T_{R_2}^{Zenith}$  代表者兩站接收儀上方的天頂對流層延遲量。

### 3.4 最小二乘估計

最小二乘估計是目前 GPS 資料處理中最普遍的工具，可以利用觀測量以及透過觀測模型來獲得唯一的一組解，如公式(32)所示：

$$\mathbf{L} + \mathbf{V} = \mathbf{A}\mathbf{X}, \mathbf{Q}_{LL} \quad (32)$$

其中  $\mathbf{L}$  代表者觀測量向量， $\mathbf{X}$  為未知參數向量， $\mathbf{A}$  為線性化後的設計矩陣， $\mathbf{V}$  則為改正數向量， $\mathbf{A}$  為線性化後的設計矩陣， $\mathbf{Q}_{LL}$  為協方差矩陣。觀測量向量  $\mathbf{L}$  如公式(33)所示，它包含了二次差分的 IF 以及 PC 組合並假設有  $r$  個觀測量  $l$  在此向量中。

$$\mathbf{L} = [l^1 \ \dots \ l^r] \quad (33)$$

觀測量向量中的二次差分 IF 以及 PC 組合是由不同的衛星、測站、相位以及電碼觀測量所組成，這些線性組合造成了觀測量彼此互為相關。因此，方差-協方差矩陣  $\mathbf{Q}_{LL}$  必須先透過協方差傳播理論<sup>[16]</sup>來產生。

單一時刻下，未知數向量如公式(34)所示，包含了三個位置參數，二次差分的週波值(假設有  $m$  個週波值)以及兩站的天頂對流層延遲量。隨者觀測時間增加，週波值的數目會隨者衛星數目變化而逐漸增加；對流層參數數目則是每一小時多增加一對。

$$\mathbf{X} = [dx \ dy \ dz \ \Delta \nabla N^1 \ \dots \ \Delta \nabla N^m \ T_{R_1}^{Zenith} \ T_{R_2}^{Zenith}] \quad (34)$$

### 3.5 整數週波值搜尋以及 Ratio 值

LAMBDA 法所需的資訊只需要最小二乘估計出的週波值實數解以及斜方差矩陣，並且以低相關的方式達到搜尋整數週波值的最佳化，因此非常適合處理多重頻率或者多重系統的情況<sup>[25]</sup>。透過 LAMBDA 法，我們可以獲得最佳解以及次佳解，最佳解代表者有最小的改正數平方合，次佳解有者第二小的改正數平方合。

Ratio 值為週波值整數求解效率的判斷指標<sup>[16]</sup>，

Ratio 值  $R$  可以如公式(35)表示。

$$R = \frac{\Delta \hat{\sigma}_{2nd\ smallest}^2}{\Delta \hat{\sigma}_{smallest}^2} \quad (35)$$

其中  $\Delta \hat{\sigma}_{smallest}^2$  以及  $\Delta \hat{\sigma}_{2nd\ smallest}^2$  分別代表最小二乘中以約制條件產生的最佳解以及次佳解的後驗變方改正量，越高的 Ratio 值代表者較可靠的週波值解。除此之外，Ratio 值對於下列兩個情況相當敏感，(1)環境中無法被消除的系統誤差，例如多路徑，或是(2)錯誤的最小二乘模型以及觀測量的斜方差矩陣。

## 4 使用真實雙頻 GPS 資料定位精度分析

為了驗證 GUA 的計算模型以及成果的正確性，本研究使用了 Bernese GPS Software v5.0 的成果與 GUA 的成果作一比較。Bernese GPS Software v5.0 為瑞士伯恩大學針對 GPS 精密計算所開發出來的一套軟體目前，並且目前已廣泛被的應用於科學研究上，其成果具有相當可靠性。Bernese GPS Software v5.0 包含了許多計算模式，例如相對定位、精密單點定位 (PPP) 以及大氣模式化；另外，在處理資料上，此軟體可以處理靜態、動態以及網型的計算<sup>[1]</sup>。

測試基線為一條 2243 公里長的基線，位置如圖 1 所示，由日本的追蹤站 TSKB 到臺灣的追蹤站 FLNM，觀測時間包含了連續 7 天 24 小時的觀測量，日期為 2007/07/01 至 2007/07/07，兩站都相同為雙頻接收儀(L1 以及 L2)。

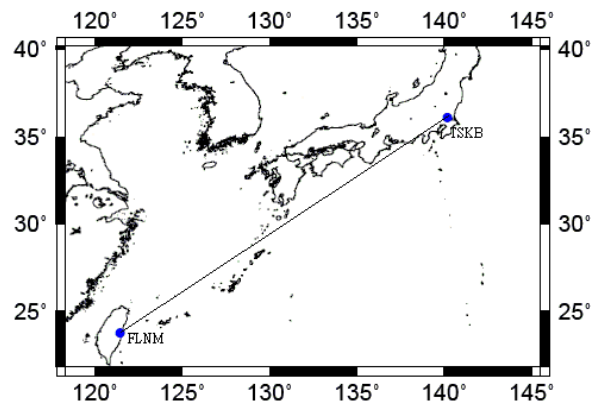


圖 1 測試基線展示(2243km)

利用 GUA 分別計算出 7 天的基線向量( $dx, dy, dz$ )，mean 值以及 3D standard deviation (3D STD)，其中衛星截仰角大於  $15^\circ$ ，衛星連續觀測時段長於 15 分鐘，對流層天頂延遲量的時間間隔為 1 小時。相同地，我們利用 Bernese 計算出 7 天的基線向量，mean 值以及

3D STD。成果比較如表 6 所示，Bernese 的 3D STD 為±0.017(m)，GUA 為±0.015 (m)，兩種方法都可以達到數個 parts per billion (ppb)長距離相對定位精度。

## 5 GPS/Galileo 長基線效能分析

本節中利用模擬器所產生現代化 GPS 以及 Galileo 的多重頻觀測量來分析長基線上效能的提升，並分為四個部分探討；第一個部為模擬器的介紹，第二部分為週波值求解效益分析，第三部為長基線快速靜態的可行性，第四部份分析了追蹤站的每日解定位精度改善幅度。

### 5.1 GPS/Galileo 模擬器

本研究使用 GNSS 模擬器<sup>[6]</sup>產生模擬的現代化 GPS 以及 Galileo 觀測量，模擬器可以根據使用者的需求來輸入所需的星群、訊號頻率、觀測量上的誤差以及測站位置。表 6 表示了模擬器中現代化 GPS 以及 Galileo 星群的資訊以及訊號頻率，而表 7 顯示了觀測量上誤差給予的方式。

表 7 中，為了讓模擬軌道誤差相等於精密星曆誤

差等級，軌道誤差大小設定為±0.1 (m)。另外，模擬器使用一階 Low-pass Butterworth filter 來產生多路徑的影響，所模擬出的多路徑影響為色雜訊(colored noise)，不同於雜訊是以隨機方式產生的白雜訊(white noise)。

### 5.2 GPS/Galileo 長基線週波值效益分析

在此，我們利用了 GUA 法比較了多重頻率，多重系統在長基線上靜態處理上的週波值效益變化，在分析流程中，首先探討測試資料的雜訊不含多路徑影響，目的在於可以正確的分析出理想狀態下的週波值效益的變化(或是解析的週波效益分析)；接下來，我們將雜訊內加入多路徑影響，使得雜訊的期望值不在是零而是具有偏差量的數值，藉此分析真實環境中的干擾對於週波值效益的影響。另外，週波值效益分析以 ratio value 為基礎來評估觀測時間段內的效益變化，並且在分析中探討了 4 種不同情況，第一個情況是代表目前 GPS 觀測量的單系統雙頻(L1/L2)，其餘三者分別是單系統三頻(E1/E5b/E5a)，雙系統雙頻(L1/L2/E1/E5b)以及雙系統三頻(L1/L2/L5E1/E5b/E5a)。

表 5 連續 7 天測試機線的定位成果

Software	Bernese			GUA		
Components	dx(±m)	dy(±m)	dz(±m)	dx(±m)	dy(±m)	dz(±m)
2007/07/01	-909107.915	-1672934.588	1185066.630	-909107.913	-1672934.586	1185066.630
2007/07/02	-909107.919	-1672934.586	1185066.620	-909107.921	-1672934.581	1185066.626
2007/07/03	-909107.906	-1672934.594	1185066.623	-909107.913	-1672934.588	1185066.632
2007/07/04	-909107.923	-1672934.579	1185066.628	-909107.922	-1672934.580	1185066.630
2007/07/05	-909107.902	-1672934.595	1185066.634	-909107.890	-1672934.579	1185066.630
2007/07/06	-909107.882	-1672934.601	1185066.616	-909107.901	-1672934.580	1185066.637
2007/07/07	-909107.904	-1672934.591	1185066.625	-909107.906	-1672934.604	1185066.626
Mean	-909107.907	-1672934.591	1185066.625	-909107.909	-1672934.585	1185066.630
STD	±0.014	±0.007	±0.006	±0.011	±0.009	±0.004

表 6 現代化 GPS 以及 Galileo 衛星星群資訊

Constellation	Num. of satellite	Num. of plane	Inclination	Orbit height(km)	Frequency(MHz)
Modernized GPS	28	6	55	20200	L1:1575.42 L2:1227.60 L5:1176.45
Galileo	30	3	56	24000	E1:1575.42 E5b:1207.14 E5a:1176.45

表 7 誤差產生方式

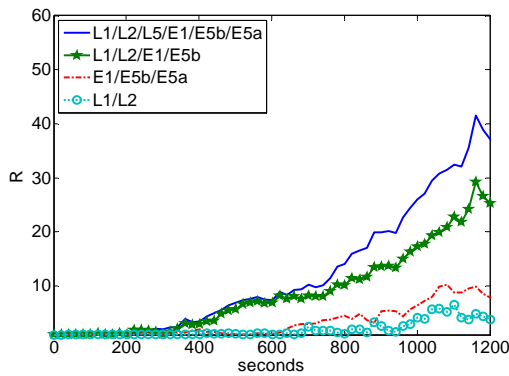
Noise	Rec. clock	Ion. delay	Trop. delay	Multipath	Orbit	GGTO
random generation	± 300(m)	Klobuchar Model(Klobuchar, 1987)	Modified Hopfield Model(Goad and Goodman, 1974)	First-order Low-pass Butterworth Filter (GPSof, 2003)	±0.1(m)	30 (ns)

### 5.2.1 受雜訊影響之週波值效益

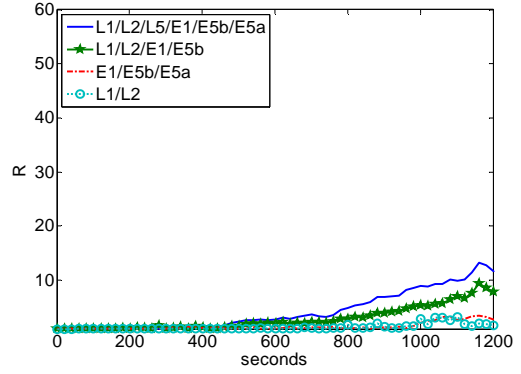
本研究在此探討了觀測量雜訊對於週波值效益的變化，分析中分別利用了不同等級的相位雜訊以及電碼雜訊來分析 4 種不同情況的週波值效益。測試資料為模擬的 TSKB 至 FLNM 的基線，觀測時間為 20 分鐘，GPS 以及 Galileo 衛星都為 7 顆，並在相位以及電碼觀測量上使用 6 種不同等級的雜訊，分別是 (phase =  $\pm 3\text{mm}$ , code =  $\pm 30\text{cm}$ )，(phase =  $\pm 6\text{mm}$ , code =  $\pm 30\text{cm}$ )，(phase =  $\pm 3\text{mm}$ , code =  $\pm 60\text{cm}$ )，(phase =  $\pm 3\text{mm}$ , code =  $\pm 100\text{cm}$ )，(phase =  $\pm 3\text{mm}$ , code =  $\pm 200\text{cm}$ )，(phase =  $\pm 3\text{mm}$ , code =  $\pm 300\text{cm}$ )。

成果可以由圖 2 所示，從圖 2 (a)中，在相位雜訊等級  $\pm 3\text{mm}$  下，雙系統情況高於單系統情況，雙(單)系統三頻情況效益高於雙(單)系統雙頻情況。圖 2(b)中，相較於相位雜訊  $\pm 3\text{mm}$  等級，4 種情況在相位雜訊  $\pm 6\text{mm}$  等級下的效益都相同地降低，但 4 種情況之間的關係依然相同。另外，由圖 2 (a)以及(c)~(f)，電碼雜訊對於三頻以及雙頻情況影響程度不同，隨者電碼雜訊的增大，E1/E5b/E5a 以及 L1/L2/L5E1/E5b/E5a 只受到些許的影響，但是 L1/L2 以及 L1/L2/E1/E5b 逐漸降低，尤其是 L1/L2/E1/E5b 最為明顯，甚至在圖 2(f)中 L1/L2/E1/E5b 低於 E1/E5b/E5a。

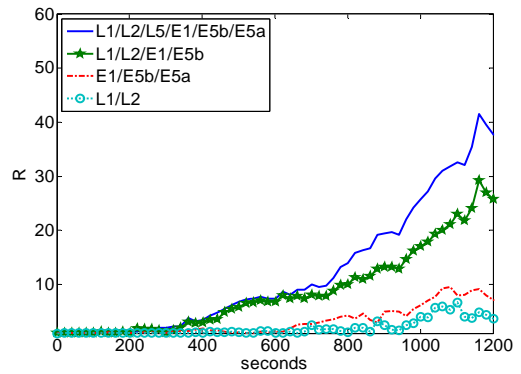
整體而言，由圖 2(a)以及圖 2(b)的比較，相位雜訊為影響所有情況週波值效益的主要因素。根據圖 2(f)，三頻情況可以明顯的降低電碼雜訊對週波值效益的影響；相較下，圖 2(a)中電碼雜訊較小時，雖然雙系統情況可以利用良好的衛星幾何來增加週波值效益，但是若無使用三頻觀測量，雙系統雙頻情況會因為電碼雜訊的影響而無法獲得穩健的效益。



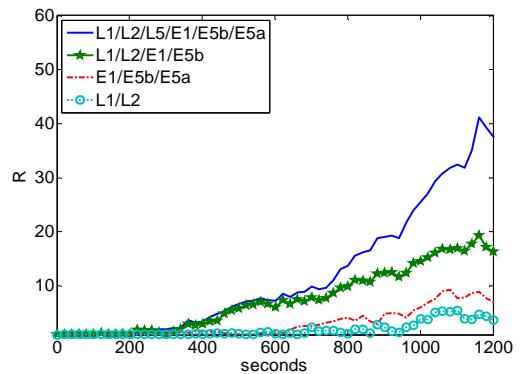
(a) Phase =  $\pm 3\text{mm}$ , Code =  $\pm 30\text{cm}$



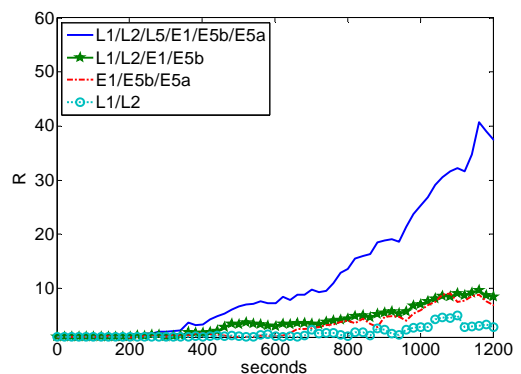
(b) Phase =  $\pm 6\text{mm}$ , Code =  $\pm 30\text{cm}$



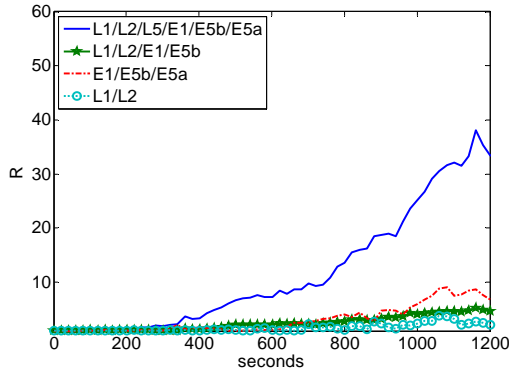
(c) Phase =  $\pm 3\text{mm}$ , Code =  $\pm 60\text{cm}$



(d) Phase =  $\pm 3\text{mm}$ , Code =  $\pm 100\text{cm}$



(e) Phase =  $\pm 3\text{mm}$ , Code =  $\pm 200\text{cm}$



(f) Phase =  $\pm 3\text{mm}$ , Code =  $\pm 300\text{cm}$

圖 2 六種不同等級雜訊下 4 種情況的週波值效益

### 5.2.2 受多路徑效應影響之週波值效益

多路徑效應的影響在真實環境中是不可避免的，因此本研究將多路徑的影響加入測試資料中並探討週波值效益的影響程度。測試資料為模擬的 TSKB 至 FLNM 的基線，觀測時間為 20 分鐘，GPS 以及 Galileo 衛星都為 7 顆，相為雜訊為  $\pm 3$  (mm)，電碼雜訊為  $\pm 30$  (cm)，相為多路徑為  $\pm 3$  (mm)，電碼多路徑為  $\pm 3$  (m)。

受到多路徑影響後的成果如圖 3 表示，與圖 2 相比，圖 4 中的效益大幅地降低許多；令人值得注意的是三頻情況也是較雙頻情況穩健，並且以 L1/L2/L5/E1/E5b/E5a 為最好。因此，除了相位雜訊外，多路徑也是主要影響三頻情況週波值解算的來源。

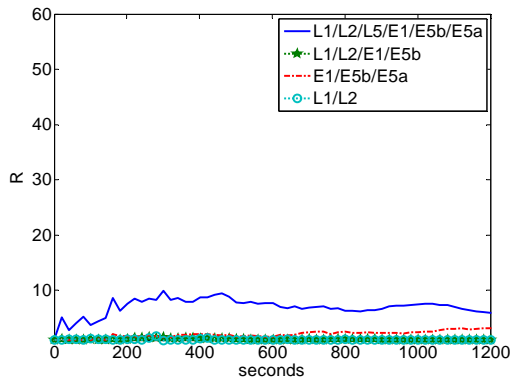


圖 3 多路徑影響下四種情況的週波值效益

### 5.3 GPS/Galileo 長基線快速靜態的可行性

快速靜態必須要在短觀測時間內獲得正確的整數週波值。根據圖 5，目前的 L1/L2 應用於長基線快速靜態的週波值效益甚低，但是 L1/L2/L5/E1/E5b/E5a 的週波值效益遠高於 L1/L2，這意味著未來長基線週波值解很有可能在 20 分內可以正確的被求解。

分析中為了評估衛星幾何變化對於成果的影響，因此測試資料使用模擬器產生了一天的基線資料 (TSKB 至 FLNM)，並將之區分為 48 個測試段，每個測試段為 30 分鐘，所有測試段的衛星平均顆數為 GPS

6 顆，Galileo 7 顆。相位雜訊設定為  $\pm 3\text{mm}$ ，電碼雜訊為  $\pm 0.3\text{m}$ ，多路徑影響分別以三種等級來探討，Case1 (phase multipath =  $\pm 1\text{mm}$ , code multipath =  $\pm 3\text{m}$ )，Case2 (phase multipath =  $\pm 3\text{mm}$ , code multipath =  $\pm 3\text{m}$ )，Case3 (phase multipath =  $\pm 5\text{mm}$ , code multipath =  $\pm 3\text{m}$ )。可行性的定義為 48 個測試段中成功求解的測試段所占的百分比，其中成功測試段的 Ratio 值必須符合高過 2.5 的門檻值；透過 GUA 逐一計算後，我們便可獲得 Case1、Case2 以及 Case3 中每個測試段的 Ratio 值並分析其可行性。

如表 8 所示，所有雙頻的情況都無法被成功執行，但是 L1/L2/L5/E1/E5b/E5a 在 Case1 下可以達到 100%，在 Case2 只可達到 81%，在 Case3 可達到 63%。因此，在多路徑較不嚴重的狀態下，使用 L1/L2/L5/E1/E5b/E5a 執行快速靜態有者較高的可行性。

### 5.4 GPS/Galileo 每日解定位精度分析

本研究在此探討當多重頻率，多重系統觀測資料應用在追蹤站上時對每日解定位精度的提升。測試資料為連續 7 天的模擬長基線 (TSKB 至 FLNM)；相位雜訊設定為  $\pm 3\text{mm}$ ，電碼雜訊為  $\pm 0.3\text{m}$ ，相位多路徑影響設定為  $\pm 5\text{mm}$ ，電碼多路徑設為  $\pm 3\text{m}$ 。分析中，以估計出 7 天基線向量的誤差 ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ) 以及 3D RMS 並討論不同情況之間的比較以及改善幅度。

根據表 9 中的 3D RMS，L1/L2 與其他情況比較上，L1/L2/L5/E1/E5b/E5 改善了約 43%，L1/L2/E1/E5b 也相同地改善了約 43%，而 L1/L2/L5 只有約 6% 的改善。另外，表 5 中所計算出之 L1/L2 的 3D STD 與表 9 中 L1/L2 的 3D RMS 非常近似，藉由此我們可以假設兩個表中的 L1/L2 精度在同一個精度等級，因此根據表 9，我們可推論使用 L1/L2/L5/E1/E5b/E5a 或 L1/L2/E1/E5b 於追蹤站計算上其定位精度有能力達到  $\pm 1$  公分左右。整體而言，雙系統情況擁有較好的衛星幾何，因此可以有效降低位置參數的不確定度並且比單系統情況提升 40% 左右。

### 6 結論

本研究提出一種精密的長基線聯合處理方式可以彈性處理 GPS 以及 Galileo 多系統多頻的觀測量，並且可以應用於大地測量以及地球科學研究。此方法最多有四個無電離層的類型 (L1/L2、L1/L5、E1/E5b、E1/E5a) 可使用，使用者可以根據不同應用任務選取所需的觀測量類型。

就長基線週波值效益而言，三頻情況可以降低電碼雜訊的影響加強週波值效益的穩健，雙系統情況可以藉由衛星幾何的增加而加速週波值解的效率。整體而言，以 L1/L2/L5/E1/E5b/E5a 具有最高的週波值效益。根據表 8，假設在多路徑影響不嚴重的情況下，L1/L2/L5/E1/E5b/E5a 可以在 30 分鐘內成功求解正確的整數週波值。

Galileo 的加入成功地提升了長基線定位的精

度。以追蹤站定位成果而言，與目前 GPS (L1/L2)相比，表 9 顯示出雙系統情況(L1/L2/L5/E1/E5b/E5a 或 L1/L2/E1/E5b)明顯地改善了許多。

本研究部分經費由內政部國土測繪中心「發展全球導航定位系統資料聯合處理技術作業」計畫補助，特此致謝。

## 7 致謝

表 8 六種主要情況的長基線快速靜態可行性

Multipath effects	L1/L2	E1/E5b	L1/L2/ E1/E5b	L1/L2/L5	E1/E5b/E5a	L1/L2/L5/ E1/E5b/E5a
Case1	0%	0%	2%	100%	100%	100%
Case2	0%	0%	0%	44%	60%	81%
Case3	0%	0%	0%	17%	31%	63%

表 9 六種主要情況的定位精度

Scenarios	Component (±m)	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	3D RMS
L1/L2	△x	0.008	0.006	0.008	0.010	0.001	0.020	0.003	<b>±0.017</b>
	△y	-0.021	-0.006	-0.003	-0.002	0.009	-0.013	-0.004	
	△z	-0.015	-0.008	-0.002	-0.007	0.003	-0.013	-0.004	
E1/E5b	△x	0.012	0.001	0.003	-0.007	-0.020	-0.004	0.004	<b>±0.017</b>
	△y	-0.004	-0.007	0.009	0.002	0.012	0.014	-0.009	
	△z	-0.006	-0.004	0.008	0.004	0.015	0.009	-0.005	
L1/L2/ E1/E5b	△x	0.010	0.008	0.001	-0.001	-0.003	0.006	0.005	<b>±0.010</b>
	△y	-0.009	-0.007	0.005	0.000	0.003	0.001	-0.006	
	△z	-0.009	-0.008	0.005	0.001	0.002	-0.001	-0.004	
L1/L2/L5	△x	0.014	0.004	0.013	0.011	-0.003	0.015	0.003	<b>±0.016</b>
	△y	-0.019	-0.003	-0.003	-0.007	0.010	-0.003	-0.008	
	△z	-0.015	-0.005	-0.005	-0.007	0.004	-0.008	-0.005	
E1/E5b/ E5a	△x	0.007	-0.001	0.000	-0.008	-0.017	-0.007	0.003	<b>±0.017</b>
	△y	0.001	-0.006	0.007	0.005	0.010	0.023	-0.001	
	△z	-0.003	-0.002	0.007	0.005	0.014	0.015	-0.003	
L1/L2/L5/ E1/E5b/ E5a	△x	0.009	0.004	0.005	-0.001	-0.006	0.001	0.004	<b>±0.010</b>
	△y	-0.005	-0.005	0.004	0.001	0.007	0.010	-0.004	
	△z	-0.007	-0.005	0.003	0.002	0.005	0.004	-0.004	

## 參考文獻

- King, R. W., 1996, GPS Meteorology: Direct Estimation of the Absolute Value of Precipitable Water, *Journal of Applied Meteorology*, vol. 35, no. 6, pp. 830-838.
- [1] Beutler, G., Bock, H., Dach, R., Fridez, P., Gäde, A., Hugentobler, U., Jäggi, A., Meindl, M., Mervart, L., Prange, L., Schaer, S., Springer, T., Urschl, C., and Walser, P., 2007, Bernese GPS Software Version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern.
- [2] Seeber, G., 2003, *Satellite Geodesy 2nd Edition*, New York, Walter de Gruyter.
- [3] Brockmann, E., 1996, *Combination of solutions for geodetic and geodynamic applications of the Global Positioning System (GPS)*, Ph. D. dissertation, Astronomical Institute, Bern, Switzerland.
- [4] Duan, J., Bevis, M., Fang, P., Bock, Y., Chiswell, S., Businger, S., Rocken, C., Solheim, F., Hove, T. v., Ware, R., McClusky, S., Herring, T. A., and [5] Feng, Y., 2008, GNSS three carrier ambiguity resolution using ionosphere-reduced virtual signals, *Journal of Geodesy* (Online first).
- [6] Goad, C. C., and Remondi, B. W., 1984, Initial relative positioning results using the global positioning system, *Bull. Geod.*, vol. 58, pp. 193-210.
- [7] GPSoft, 2003, *Satellite navigation toolbox 3.0*, Athens, Ohio, GPSoft LLC.
- [8] Han, S., and Rizos, C., 1999, The Impact of Two Additional Civilian GPS Frequencies on



- Ambiguity Resolution Strategies, Proc. 55th National Meeting U.S. Institute of Navigation, "Navigational Technology for the 21st Century", Cambridge, Massachusetts, pp. 315-321.
- [9] Hatch, R., Jung, J., Enge, P., and Pervan, B., 2000, Civilian GPS: The Benefits of Three Frequencies, *GPS Solutions*, vol. 3, no. 4, pp. 1-9.
- [12] Hein, G. W., Godet, J. L., Jean-Luc, M., Jean-Christophe, E., Philippe, L., Rafael, K., and Pratt, T., 2003, galileo frequency & signal design, *GPS World*, vol. 14, no. 6, pp. 30-37.
- [13] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Wasle, E., 2008, *GNSS-Global Navigation Satellite Systems*, Austria, Springer-Verlag Wien.
- [14] Ji, S., Chen, W., Zhao, C., Ding, X., and Chen, Y., 2007, Single epoch ambiguity resolution for Galileo with the CAR and LAMBDA methods, *GPS Solutions*, vol. 11, no. 4, pp. 259-268.
- [15] Jung, J., Enge, P., and Pervan, B., 2000, Optimization of Cascade Integer Resolution with Three Civil GPS Frequencies, Proc. ION GPS-2000, Salt Lake, USA, pp. 2191-2201.
- [16] Julien, O., Alves, P., Cannon, M. E., and Zhang, W., 2003, A Tightly Coupled GPS/Galileo Combination for Improved Ambiguity Resolution, Proc. ENC-GNSS 2003, Graz, Austria, CDROM, 14 pages.
- [17] Leick, A., 1995, *GPS satellite surveying 2nd*, United of States, John Willey & Sons
- [18] McCarthy, D. D., and Petit, G., 2003, IERS Conventions, IERS Technical Note, No. 32, IERS Conventions Centre.
- [19] Moudrak, A., Konovaltsev, A., Furthner, J., Hornbostel, A., and Hammesfahr, J., 2004, GPS Galileo Time Offset: How it Affects Positioning Accuracy and How to Cope with It, Proc. ION GNSS-04, Long Beach, CA, pp. 660-669.
- [20] Odijk, D., Teunissen, P. J. G., and Tiberius, C. C. J. M., 2002, Triple-Frequency Ionosphere-Free Phase Combinations for Ambiguity Resolution, Proc. ENC-GNSS 2002, Copenhagen, Denmark, pp. 27-30.
- [10] Hein, G. W., 2000, From GPS and GLONASS via EGNOS to Galileo - positioning and navigation in the third millennium, *GPS Solutions*, vol. 3, no. 4, pp. 39-47.
- [11] Kleusberg, A., and Teunissen, P. J. G., 1996, *GPS for Geodesy*, Germany, Springer-Verlag.
- [21] Odijk, D., 2003, Ionosphere-Free Phase Combinations for Modernized GPS, *Journal of Surveying Engineering*, vol. 129, no. 4, pp. 165-173.
- [22] O'Donnell, M., Watson, T., Fisher, J., Simpson, S., Brodin, G., Bryant, E., and Walsh, D., 2003, Galileo Performance, *GPS World*, vol. 14, no. 6, pp. 38-44.
- [23] Rothacher, M., Springer, T. A., Schaer, S., and Beutler, G., 1997, Strategies for Regional GPS Networks, Proc. IAG General Assembly, Rio.
- [24] Tiberius, C., Pany, T., Eissfeller, B., Joosten, P., and Verhagen, S., 2002, 0.99999999 confidence ambiguity resolution with GPS and Galileo, *GPS Solutions*, vol. 6, no. 1, pp. 96-99.
- [25] Teunissen, P. J. G., Joosten, P., and Jonkman, N. F., 1999, Evaluation of Long Range GNSS Ambiguity Resolution, Proc. 8th European CGSIC Meeting, Prague, Czech Republic, pp. 171-177.
- [26] Teunissen, P., Joosten, P., and Tiberius, C., 2002, A Comparison of TCAR, CIR and LAMBDA GNSS Ambiguity Resolution, Proc. ION GPS 2002, Portland, OR, pp. 24-27.
- [27] Verhagen, S., 2002, Performance Analysis of GPS, Galileo and Integrated GPS-Galileo, Proc. ION GPS 2002, Portland, OR, pp. 24-27.
- [28] Verhagen, S., and Joosten, P., 2003, Algorithms for design computations for integrated GPS - Galileo, Proc. GNSS 2003, Graz, Austria.
- [29] Vollath, U., Birnbach, S., and Landau, H., 1998, Analysis of Three-Carrier Ambiguity Resolution (TCAR) Technique for Precise Relative Positioning in GNSS-2, Proc. ION GPS-98, Nashville, USA, pp. 417-426.

### 附錄三：本次技術論壇會議收錄論文題目及作者

李智慧，陳秀萬<sup>2</sup>，許玉斌<sup>3</sup>，劉躍虎<sup>4</sup>，基於免疫蒙特卡羅的無線感測器網路移動節點定位跟蹤演算法研究，北京大學地球與空間科學學院遙感所

蘇懷洪，吳才聰<sup>2</sup>，馬昕<sup>3</sup>，羅夢佳<sup>4</sup>，跨區作業收割機動態導航技術，北京大學地球與空間科學學院遙感所 511 室

馬燕，陳秀萬<sup>2</sup>，吳雨航<sup>3</sup>，GPS 衛星軌道分析及其對單點定位的影響，北京大學遙感與地理資訊系統研究所

劉旭東，趙軍祥<sup>2</sup>，李強<sup>3</sup>，劉廣軍<sup>4</sup>，GPS 用於空間旋轉目標測量的方法研究，北京跟蹤與通信技術研究所

李曉，張軍<sup>2</sup>，朱衍波<sup>3</sup>，薛瑞<sup>4</sup>，基於 Kriging 方法的地基區域增強系統電離層誤差監測，北京航空航太大學電子資訊工程學院

韓磊，Kou，Yanhong<sup>2</sup>，Simulation and assessment of GPS signal quality degradation caused by satellite hardware failures，北京航空航太大學電子資訊工程學院

徐磊，張學軍<sup>2</sup>，一種新的衛星導航區域增強系統單頻濾波方法，北京航空航太大學電子資訊工程學院

張錚文，寇豔紅<sup>2</sup>，劉建勝<sup>3</sup>，發射信號不完善性對衛星導航系統內及系統間干擾的影響分析，北京航空航太大學電子資訊工程學院

陳雨，趙剡<sup>2</sup>，張華強<sup>3</sup>，吳發林<sup>4</sup>，天線指向資訊輔助 SINS/GPS 組合導航系統，北京航空航太大學儀器科學與光電工程學院

張華強，趙剡<sup>2</sup>，陳雨<sup>3</sup>，吳發林<sup>4</sup>，低成本多感測器組合導航系統在車載天線平臺中的研究與應用，北京航空航太大學儀器科學與光電工程學院

吳發林，趙剡<sup>2</sup>，基於 GNSS 掩星技術的極端天氣監測研究，北京航空航太大學儀器科學與光電工程學院

馮煒，吳星<sup>2</sup>，王留朋<sup>3</sup>，差分系統兩種電離層格網加權演算法性能分析，北京環球資訊應用開發中心

李躍華，黃觀文<sup>2</sup>，基於扣除氫鐘頻率漂移的原子時演算法研究，北京環球資訊應用開發中心

韓逸飛，沈沖飛<sup>2</sup>，李衛民<sup>3</sup>，基於弱信號處理的 SoC 架構設計，北京微電子技術研究所

沈沖飛，梅其元<sup>2</sup> 韓逸飛<sup>3</sup> 蘭利東<sup>4</sup>，GPS 基帶 SOC 軟硬協同設計與優化技術，北京微電子技術研究所應用開發二部

王亞男，SBAS 技術在礦區地面沉陷監測中的應用，長安大學

王宏宇，PS-InSAR 技術在西安地面沉降監測中的應用，長安大學

黃觀文，塗銳<sup>2</sup>，張勤<sup>3</sup>，王利<sup>4</sup>，一種基於多基準站綜合改正資訊的非差精密單點定位演算法，長安大學 地質工程與測繪學院

黃觀文，張勤<sup>2</sup>，塗銳<sup>3</sup>，李紅濤<sup>4</sup>，基於單差模式的連續載波相位時間傳遞（GPS DCP）方法，長安大學 地質工程與測繪學院

石震，楊志強<sup>2</sup>，楊建華<sup>3</sup>，楊帥<sup>4</sup>，黃大兵<sup>5</sup>，一種基於陀螺定向技術間接測量 ITRF 框架座標的方法，長安大學 地質工程與測繪學院

王利，張勤<sup>2</sup>，管建安<sup>3</sup>，張永奇<sup>4</sup>，孔令傑<sup>5</sup>，基於 GPS 技術的滑坡動態變形監測試驗結果與分析，長安大學地質工程與測繪學院

翟偉，張勤<sup>2</sup>，王慶良<sup>3</sup>，李振洪<sup>4</sup>，大同盆地現今地殼形變特徵及其地裂災害成因分析，長安大學地質工程與測繪學院



趙超英，楊成生 2，張勤 3，朱仁義 4，融合 MODIS 和 Envisat 寬幅資料方法用於汾渭盆地地形變監測研究，長安大學地質工程與測繪學院

朱武，張勤 2，趙超英 3，楊成生 4，王宏宇 5，GPS 與 CRInSAR 融合用於地裂縫監測研究，長安大學地質工程與測繪學院

塗銳，黃觀文 2，張勤 3，王利 4，基於 SEID 模型和 IGRF 模型的電離層變化規律研究，長安大學地質工程與測繪學院

塗銳，黃觀文 2，張勤 3，王利 4，蔣光偉 5，基於多基準站改正資訊和電離層區域模型改正的單頻精密單點定位演算法，長安大學地質工程與測繪學院

楊成生，張勤 2，趙超英 3，劉超 4，基於 GPS 和 MODIS 的大氣水汽季節性變化規律研究——以西安為例，長安大學地質工程與測繪學院

楊成生，張勤 2，趙超英 3，朱武 4，基於地形和 GPS 觀測的 SAR 影像大氣延遲估計，長安大學地質工程與測繪學院

龔雲，張貴剛 2，基於 GPS、水準、InSAR 資料融合的青藏高原三維形變場建立，長安大學地質工程與測繪學院

張雙成，張勤 2，王利 3，中國區域對流層折射改正模型（CATROP）的構建及應用，長安大學地質工程與測繪學院

張貴鋼，楊志強 2，王慶良 3，石震 4，龍門山斷裂帶三維滑動速率反演及其分段性研究，長安大學地質工程與測量學院

李國平，陳嬌娜 2，郝麗萍 3，基於 GPS -PWV 的不同雲系降水個例的綜合分析，成都資訊工程學院大氣科學學院

周澤波，李滾 2，郭杭 3，劉峻寧 4，附有約束條件的多感測器自適應融合導航演算法，電子科技大學空天科學技術研究院

鄧健，王慶 2，潘樹國 3，王姍姍 4，基於網路 RTK 內插模型外推精度分析研究，東南大學儀器科學與工程學院

張風，王慶 2，潘樹國 3，GNSS BINEX 資料格式分析與解碼方法，東南大學儀器科學與工程學院

趙興旺，王慶 2，潘樹國 3，鄧健 4，一種精密單點定位模糊度快速解算方法研究，東南大學儀器科學與工程學院

王孝青，張鵬 2，黨亞民 3，孫占義 4，用 MERIS 改正 InSAR 水汽延遲的研究，國家基礎地理資訊中心大地測量部

李志才，張鵬 2，蔣志浩 3，武軍艷 4，基於 GPS 觀測資料的青海玉樹地震斷層形變反演分析，國家基礎地理資訊中心大地測量部

萬祥，張孟陽 2，張爽娜 3，基於雙頻載波相位差分的航天器間相對定位工程化方法，航太恆星科技有限公司

范之國，高雋 2，田柳 3，范寧生 4，用於仿生偏振光導航的一維掃描式大氣偏振資訊檢測方法，合肥工業大學電腦與資訊學院圖像資訊處理研究室

吳兆福，Gao Fei，Tao Ting-ye，THE RESEARCH ON THE QUALITY CONTROL OF RTK POSITIONING，合肥工業大學土木與水利工程學院

樂洋，何秀鳳 2，含有不確定參數的區間模糊卡爾曼濾波建模，河海大學地球科學與工程學院

常亮，何秀鳳 2，劉敏 3，肖儒雅 4，基於 GPS 和 NCEP FNL 的 InSAR 大氣校正方法研究，河海大學衛星空間及資訊應用研究所

何敏，何秀鳳 2，利用 InSAR 技術監測濕地水位變化，河海大學衛星空間及資訊應用研究所

何敏，何秀鳳 2，Building Damage Detection Using Satellite SAR Images for Wenchuan Earthquakes，  
河海大學衛星空間及資訊應用研究所

藺玉亭，韓春好 2，李強 3，鄒本傑 4，GPS 系統時頻體制分析與實現性能評估，環球科技資  
訊中心

王勇，宋玉兵 2，薛崢 3，CORS 監測站的建設與應用，江蘇省測繪工程院 JSCORS 中心

沈飛，基於連續運行參考站的高精度 GPS 大地高快速獲取技術的研究，江蘇省測繪工程院  
JSCORS 中心

隋立芬，黃賢源 2，王冰 3，基於現代時間序列分析的有色雜訊處理方法研究，資訊工程大學  
測繪學院

隋立芬，牟忠凱 2，甘雨 3，幾種非線性濾波的性能分析及其改進，資訊工程大學測繪學院

甘雨，隋立芬 2，An Improved Sage-Husa Filtering for Correlated Noises in GNSS，資訊工程大學  
測繪學院

王佩賢，王克曉 2，單基站 CORS-RTK 精度探討，遼寧工程技術大學

劉友文，附有航向資訊約束的 GPS/DR 組合自適應 Kalman 濾波演算法，閩江學院地理科學系

吳繼忠，基於 GPS 觀測的 Baja California 地震地殼變形分析，南京工業大學土木工程學院

胡倩倩，曾慶化 2，劉建業 3，楊迪 4，動態載體的多星座導航衛星系統濾波演算法研究，南  
京航空航太大學導航研究中心

高樂，成英燕 2，張勇 3，劉立 4，板塊運動模型的速度場資料預處理，中國測繪科學研究院

李瑋，程鵬飛 2，秘金鐘 3，誤差改正模型及其對 GPS 精密單點定位的影響，中國測繪科學  
研究院

李淑慧，彭軍還 2，基於混沌神經網路的電離層 TEC 時間序列預測，中國地質大學（北京）  
土地科學技術學院

任超，基於級聯陷波空時處理的導航接收機抗干擾演算法，中國航太科技集團第五研究院 503  
所 導航室

韓濤，盧曉春 2，鄒德財 3，饒永南 4，劉楓 5，王雪 6，Han-Walker 星座中最短路由雙向選擇  
演算法，中國科學院國家授時中心

胡倩倩，曾慶化 2，劉建業 3，楊迪 4，動態載體的多星座導航衛星系統濾波演算法研究，南  
京航空航太大學導航研究中心

蔡明明，姜斌，曾慶化，劉偉 4，GPS/里程儀/電子羅盤/超聲波多資訊融合的機器人導航系統  
研究，南京航空航太大學自動化學院

文立，李榮冰 2，劉建業 3，謝非 4，一種全新的內嵌低成本 MEMS 慣性器件的 GPS 接收機設  
計，南京航空航太大學自動化學院導航研究中心

祝善虎，基於 LCMV 準則的 GPS 接收機空時抗干擾演算法研究，南京航空航太大學自動化學  
院導航研究中心

羅海濱，何秀鳳 2，採用改進的 GPS 和 DInSAR 綜合方法監測地表三維形變，南京資訊工程  
大學遙感學院測繪工程系

李雯琦，Wu Hong<sup>2</sup>，Zhang Nan<sup>3</sup>，Jin Yuang<sup>4</sup>，Guo Kai<sup>5</sup>，Augmenting GPS with CTTB for High  
Accuracy Positioning，南開大學信息技術科學學院

金力，崔曉偉 2，陸明泉 2，馮振明 4，帶相位和頻率回饋環路的 GNSS 弱信號跟蹤技術研究，  
清華大學電子工程系

郭英，程鵬飛 2，呂洪標 3，基於 Delaunay 三角網的 CORS 網路構造及其動態更新演算法，  
山東科技大學 測繪學院

孔巧麗，郭金運 2，盧秀山 3，不同基準對 GPS 網解算精度影響對比研究，山東科技大學 測繪與工程學院

徐賢勝，黃思訓 2，郭鵬 3，GPS/LEO 掩星後轉播反演技術，上海大學上海市應用數學和力學研究所

余超，朱秋芳 2，張謙 3，GPS/CAPS 雙模動態定位中的自適應 Kalman 濾波演算法研究，上海伽利略導航有限公司

劉俊甯，餘超 2，郭杭 3，GNSS 信號載噪比異常資訊模型及其應用研究，上海伽利略導航有限公司

劉俊甯，李實 2，胡華 3，周澤波 4，UWB/MESH 定位系統整合設計及性能測試，上海伽利略導航有限公司

朱秋芳，張謙 2，餘超 3，基於 Kalman 濾波的 GPS/GALILEO 組合導航定位技術研究，上海伽利略導航有限公司

陳德科，郭巍 2，王永泉 3，GIS 資料獲取系統中幾點關鍵技術的研究與實現，上海華測導航技術有限公司

郭巍，陳德科 2，王永泉 3，高精度雙頻 PPK 的研究與應用，上海華測導航技術有限公司

張欣，A Software Design Environment for BOCc(15,2.5) GNSS Receivers，上海交通大學航空航太學院

竇婧婧，戰興群 2，萬曉光 3，王博雄 4，引入 RAIM 的 GNSS/INS 組合導航姿態測量，上海交通大學航空航太學院 導航實驗室 2218 室

汪偉，於建成 2，史廷玉 3，張志全 4，天津 CORS 站點的穩定性分析，天津市測繪院三分院

汪偉，郭際明 2，史俊波 3，向巍 4，一種新的 GPS 軟體接收機信號跟蹤模式，天津市測繪院三分院

姚連璧，孫昊 2，王兵海 3，適用於高速鐵路工程的 GPS 網資料處理軟體和應用，同濟大學測量系

張麗娜，伍吉倉 2，基於 ROI\_PAC 的上海地面沉降研究，同濟大學測量系

郭志，胡叢璋 2，多普勒頻移對 GPS 信號捕獲的影響，同濟大學測量與國土資訊工程系

楊帆，胡叢璋 2，基於相位平滑偽距的單頻 GPS/GLONASS 組合定位，同濟大學測量與國土資訊工程系

楊玲，沈雲中 2，李博峰 3，GNSS 基準站對流層延遲的自適應濾波演算法，同濟大學測量與國土資訊工程系

李一鶴，沈雲中 2，GPS 觀測值的時間相關性對基線解算影響，同濟大學測量與國土資訊系

班保松，伍吉倉 2，張麗娜 3，基於 ALOS PALSAR 資料的玉樹地震地表變形觀測及初步分析，同濟大學土木大樓測量系

李浩軍，王解先 2，中國大陸構造環境監測網路參考框架確定，同濟大學土木學院測量與國土資訊工程系

劉榮建，洪振傑 2，郭鵬 3，非球對稱電離層掩星反演，溫州大學數學與資訊科學學院

陳鵬，姚宜斌 2，吳寒 3，劉強 4，周波 5，基於 Holt-Winters 模型的電離層總電子含量預報，武漢大學測繪學院

郭博峰，張小紅 2，郭斐 3，李星星 4，即時精密單點定位技術在海洋測繪中的應用，武漢大學測繪學院

郭斐，張小紅 2，李星星 3，于興旺 4，GLONASS 系統可用性分析及其在精密單點定位中的應用，武漢大學測繪學院

李星星,張小紅<sup>2</sup>、葛茂榮<sup>3</sup>, Network-based PPP-RTK with Zero-difference Ambiguity Resolution, 武漢大學測繪學院

黃海蘭, 病態模型參數估計及其在 GPS 整周模糊度解算中的應用, 武漢大學測繪學院

黃海蘭, GPS 資料處理中的對流層延遲估計策略研究, 武漢大學測繪學院

許才軍, 江國焰<sup>2</sup>, 王浩<sup>3</sup>, 溫揚茂<sup>4</sup>, 基於 GIS 的 InSAR 結果分析方法與應用, 武漢大學測繪學院

林曉靜, 王甫紅<sup>2</sup>, 導航星座星間距離觀測值的模擬生成方法研究, 武漢大學測繪學院

劉強, 姚宜斌<sup>2</sup>, 宋偉偉<sup>3</sup>, 陳鵬<sup>4</sup>, COSMIC 兩個定軌天線歸算方法及其對定軌影響研究, 武漢大學測繪學院

呂經利, 魏二虎<sup>2</sup>, 大地測量參數在環月探測中的應用分析研究, 武漢大學測繪學院

羅佳, 徐曉華<sup>2</sup>, 一種高精度低軌衛星軌道內插方法, 武漢大學測繪學院

郭際明, 孟祥廣<sup>2</sup>, 張紹成<sup>3</sup>, GNSS 精密單點定位中觀測值隨機模型的即時估計, 武漢大學測繪學院

魏二虎, 差分 VLBI 用於火星探測器定位的數學模型及參數研究, 武漢大學測繪學院

魏二虎, 田曉靜<sup>2</sup>, 基於“嫦娥一號”軌道分析的月球衛星軌道優化設計, 武漢大學測繪學院

萬俊堃, 徐曉華<sup>2</sup>, 楊茜<sup>3</sup>, 用 GPS 掩星探測結果構建大氣折射指數的數值模型, 武漢大學測繪學院

徐曉華, Zhang Kefei<sup>2</sup>, 汪海洪<sup>3</sup>, 南極地區 COSMIC 掩星廓線精度的季節變化研究, 武漢大學測繪學院

王浩，許才軍 2，溫揚茂 3，江國焰 4，基於寬幅 ScanSAR 的汶川地震地表變形的研究，武漢大學測繪學院

許才軍，江國焰 2，王浩 3，溫揚茂 4，基於 GIS 的 InSAR 結果分析方法與應用，武漢大學測繪學院

許雙安，姚宜斌 2，孔建 3，周波 4，易文婷 5，車載 GPS/INS 組合導航性能評估，武漢大學測繪學院

嚴韋，魏二虎 2，劉經南 3，EOP 估計精度對“嫦娥一號”模擬參數的靈敏度分析，武漢大學測繪學院

姚宜斌，孔建 2，許雙安 3，吳寒 4，許超鈴 5，正交最小二乘在 GPS 資料處理中的應用，武漢大學測繪學院

張紹成，郭際明 2，李冰皓 3，Rizos Chris 4，北斗二代可視性及相對定位精度預測研究，武漢大學測繪學院

朱爽，姚宜斌 2，張瑞 3，GPS 水汽計算與氣象預報，武漢大學測繪學院

趙辰，荆昊 2，謝翔 3，章芳林，關於不同環境下接收機定位精度的比較，武漢大學測繪學院

龔曉穎，李征航 2，劉萬科 3，王甫紅 4，基於實測地面站偽距觀測值的 GPS 星地聯合定軌，武漢大學測繪學院

李文，施闖 2，耿長江 3，辜聲峰 4，不同電離層改正模型在中國區域的改正精度分析，武漢大學測繪學院

王晶，張瑞 2，利用 GPS 資料分析汶川地震對成都和重慶 CORS 的影響，武漢大學測繪學院

王勝平，張紅梅 2，劉經南 3，基於 Tercom 與 SITAN 聯合的水下地磁匹配即時導航關鍵技術研究，武漢大學測繪學院



徐運，李星星 2，張小紅 3，一種 GRACE 衛星精密定軌中的周跳修復新方法，武漢大學測繪學院

許超鈴，郭際明 2，徐曉華 3，聯合地基 GPS 網路和空基 COSMIC 掩星觀測的中國區域可降水量應用研究，武漢大學測繪學院

易文婷，宋偉偉 2，樓益棟 3，嚴重信號遮擋後雙頻動態 PPP 快速初始化演算法，武漢大學測繪學院

張凱，柯灝 2，地形與地磁聯合匹配導航中相關係數選取方法研究，武漢大學測繪學院

趙建虎，張凱 2，地形與地磁聯合匹配導航中相關係數選取方法研究，武漢大學測繪學院

趙建虎，王勝平 2，基於地磁共生矩陣的水下地磁導航適配區選擇研究，武漢大學測繪學院

趙建虎，王愛學 2，王勝平 3，基於約束等值線平移的 ICCP 演算法研究，武漢大學測繪學院

楊博雄，柳林 2，基於空基偽衛星與 GNSS 的多模態導航系統研究，武漢大學測繪遙感資訊工程國家重點實驗室

孫紅星，Dorota A. Grejner-Brzezinska，Kinematic Precise Point Positioning for Wide Areas Based on Extended Kalman Filter with Single-Differenced Measurements，武漢大學測繪遙感資訊工程國家重點實驗室

孫紅星，Dorota A. Grejner-Brzezinska，Kinematic Precise Point Positioning for Wide Areas Based on Extended Kalman Filter with Single-Differenced Measurements，武漢大學測繪遙感資訊工程國家重點實驗室

孫紅星，YUAN Xiuxiao<sup>2</sup>，FU Jianhong<sup>3</sup>，The GPS/INS Integrated Positioning And Orientation In The Aerial Remote Sensing Based On The Precise Error Model，武漢大學測繪遙感資訊工程國家重點實驗室

魏二虎，李雪川 2，RADIOASTRON 用於地球定向參數估計的可行性研究，武漢大學地球空間環境與大地測量教育部重點實驗室

劉曉莉，胡晰怡 2，劉經南 3，趙齊樂 4，基於粒子濾波的 GNSS 接收機多徑抑制方法，武漢大學電氣工程學院

馮彥同，劉暉 2，唐衛明 3，徐瑩 4，網路 RTK 系統綜合誤差內插模型改進方法，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

郭思彤，劉暉 2，Delaunay 三角網在 CORS 基準站網型設計中的應用研究，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

陶庭葉，高飛 2，吳兆福 3，利用一類支援向量機探測單曆元 GPS 形變資料的粗差，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

徐瑩，劉暉 2，聶桂根 3，GNSS 線上資料處理系統的分析與成果比較，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

楊凱，趙倩 2，劉鴻飛 3，利用 SXCORS 資料分析山西河津地震同震位移，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

于興旺，郭斐 2，李星星 3，郭博峰 4，許運 5，估計電離層參數的非差精密單點定位，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

鄒蓉，劉暉 2，魏娜 3，李敏 4，COMPASS 地球參考框架的建立和維持，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

張彩虹，聶桂根 2，鄒蓉 3Crab 脈衝星的制動指數和大躍變的研究，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

姜衛平，趙倩 2，劉鴻飛 3，楊凱 4，子網劃分在大規模 GNSS 基準站網資料處理中的應用，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

劉暉，黃文明 2，鄒蓉 3，CORS 區域參考框架的建立方法研究，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

劉暉，何薇 2，劉經南 3，服務品質及其在連續運行參考站網路中的應用研究，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

劉炎炎，易文婷 2，葉世榕 3，江鵬 4，IGS 事後精密星曆產品不連續性分析及處理方法，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

葉世榕，劉炎炎 2，江鵬 3，易文婷 4，基於對流層先驗資訊的精密單點定位快速收斂方法，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

唐健，基於 DoDAF 的 PANDA 系統體系架構研究，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

方榮新，李敏 2，施闢 3，樓益棟 4，高頻動態 GPS 定位技術在地震學中的應用研究，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

祝會忠，趙齊樂 2，GPS 非差定位資料處理中的基線解算方法，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

耿長江，章紅平 2，唐衛明 3，地基 GPS 資料用於電離層同化的方法與精度分析，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

辜聲峰，施闢 2，樓益棟 3，單頻手持型接收機單點定位精度分析，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

胡羽中，施闢 2，章紅平 3，GAMIT、BERNESE 和 PANDA 陸態網路工程資料處理對比分析，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

樓益棟，宋偉偉 2，李廣文 3，劉炎炎 4，GPS 衛星高精度鐘差估計中的測站分佈影響分析，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

宋偉偉，樓益棟 2，施闖 3，姚宜斌 4，基於大規模 GPS 網的超快速實時鐘差估計方法，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

鄭豔麗，宋偉偉 2，樓益棟 3，精密衛星鐘差系統性誤差對精密單點定位的影響分析，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

張明，劉暉 2，基於 Windows CE 嵌入式高動態精密單點定位演算法研究與實現，武漢大學衛星導航定位技術研究中心

劉經南，李江衛 2，肖建華 3，白潔 4，基於 VRS 系統的精密正常高即時測量，武漢市勘測設計研究院

董興幹，黃丁發 2，一種單頻單站即時動態周跳探測與修復方法，西安交通大學土木學院測量工程系

湯伏全，龔雲 2，汪桂生 3，GPS/InSAR 融合技術在西部礦區採煤沉陷動態監測中的應用，西安科技大學測繪科學與技術學院

姚頑強，龔雲 2，基於 GPS 與 InSAR 技術的黃土地區公路滑坡監測研究，西安科技大學測繪科學與技術學院

劉甯，熊永良 2，徐韶光 3，內插和擬合算法應用於精密星曆和鐘差的比較研究，西南交通大學測量工程系

徐韶光，熊永良 2，劉甯 3，王德軍 4，利用地基 GPS 獲取即時可降水量，西南交通大學測量工程系

馮威，黃丁發 2，基於模糊函數的短基線單曆元 GPS 整周模糊度解算方法，西南交通大學土木學院測量工程系

羅小軍，黃丁發 2，劉國祥 3，基於三維 Delaunay 網路的 PS-DInSAR 技術及在城市沉降監測中的應用，西南交通大學土木學院測量工程系

李國重，李建文<sup>2</sup>，李軍正<sup>3</sup>，歸慶明<sup>4</sup>，基於圓概率誤差的 RAIM 可用性演算法研究，資訊工程大學

郭建峰，王海濤<sup>2</sup>，論三頻 GPS 資料的二階電離層延遲改正，資訊工程大學

李昌貴，LU Zhi-ping<sup>2</sup>，ZHAO Dong-qing<sup>3</sup>，An Implementation of OpenLS Route Service using Standard Web Services Technology，資訊工程大學

王冰，Sui Lifan<sup>2</sup>，The application of LAMBDA method in the mixed integer least squares problems，資訊工程大學

牟忠凱，隋立芬<sup>2</sup>，黃賢源<sup>3</sup>，觀測雜訊為有色雜訊的 UKF 姿態估計演算法，資訊工程大學 測繪學院

申絲茗，楊力<sup>2</sup>，郭建鋒<sup>3</sup>，基於敏感度分析的抗差估計在 GPS 基線解算中的應用，資訊工程大學 測繪學院

宋超，郝金明<sup>2</sup>，阮仁桂<sup>3</sup>，基於貝葉斯估計的平滑演算法研究，資訊工程大學 測繪學院

陳正生，呂志平<sup>2</sup>，趙冬青<sup>3</sup>，智慧緩存技術在導航服務中的應用，資訊工程大學測繪學院

李作虎，趙齊樂<sup>2</sup>，郝金明<sup>3</sup>，李建文<sup>4</sup>，範媚君<sup>5</sup>，GNSS 連續性評估研究，資訊工程大學測繪學院

張清華，隋立芬<sup>2</sup>，A Method of satellite precise clock offsets perdition based on trend item and random item estimation，資訊工程大學測繪學院

衡廣輝，歸慶明<sup>2</sup>，李濤<sup>3</sup>，相關觀測粗差探測的 Bayes 方法及其在 GPS 向量網平差中的應用，資訊工程大學理學院

李宗濤，Tie-jun WU<sup>2</sup>，Long-hua Ma<sup>3</sup>，Current State of Integrity Monitoring Technology for GPS/INS Integrated Systems，浙江大學

高樂，成英燕 2，張勇 3，劉立 4，板塊運動模型的速度場資料預處理，中國測繪科學研究院

李瑋，程鵬飛 2，秘金鐘 3，誤差改正模型及其對 GPS 精密單點定位的影響，中國測繪科學研究院

李淑慧，彭軍還 2，基於混沌神經網路的電離層 TEC 時間序列預測，中國地質大學（北京）土地科學技術學院

任超，基於級聯陷波空時處理的導航接收機抗干擾演算法，中國航太科技集團第五研究院 503 所 導航室

許龍，韓濤 2，盧曉春 3，徐勁松 4，城市環境下基於分別 Kalman 濾波的室內導航 TOA 球面 LSE 定位演算法，中國科學院國家授時中心

成芳，盧曉春 2，韓濤 3，王雪 4，劉楓 5，基於導航信號的星載鐘時頻特性分析方法研究，中國科學院國家授時中心導航與通信研究室

林權，羅海勇 2，劉少帥 3，趙方 4，張波 5，A Wireless Localization Algorithm with Spectral Decomposition of the Graph Laplacian Based on Semi-Supervised Learning，中國科學院計算技術研究所普適計算研究中心

魯郁，胡銳 2，楊雲春 3，一種低成本 GPS/INS 緊耦合組合導航系統，中國科學院微電子研究所通信與多媒體 SOC 實驗室

巴曉輝，劉海洋 2，劉彬 3，李健 4，陳傑 5，一款低成本 GPS/Galileo 雙模接收機捕獲引擎的設計，中國科學院微電子研究所通信與多媒體 SOC 研究室

巴曉輝，劉海洋 2，鄭睿 3，陳傑 4，一種有效的 GNSS 接收機載噪比估計方法，中國科學院微電子研究所通信與多媒體 SOC 研究室

劉志平，何秀鳳 2，基於實時序貫平差和組合觀測值的單曆元變形監測方法，中國礦業大學國土環境與災害監測國家測繪局重點實驗室

銀志敏，卞和方 2，徐凱帆 3，張秋昭 4，基於 ITRF2005 框架的 GPS 變形監測基準統一方法研究，中國礦業大學環境與測繪學院

王堅，李增科 2，高井祥 3，基於抗差 Bancroft 演算法的 IMU/GPS 組合導航模型研究，中國礦業大學環境與測繪學院

張秋昭，張書畢 2，卞和方 3，基於  $H^\infty$  濾波的低成本 SINS 動基座初始對準研究，中國礦業大學環境與測繪學院

連遠峰，趙剡 2，吳發林 3，基於自適應概率神經網路的組合導航系統故障診斷方法研究，中國石油大學（北京）電腦科學與技術系

匡翠林，戴吾蛟 2，羅三明 3，李陶 4，基於 CORS 資料監測天津地表沉降的資料處理策略，中南大學測繪與國土資訊工程系

蔡昌盛，高楊(音)，Development of Proper Weighting Schemes for Combined GPS/GLONASS Precise Point Positioning，中南大學校本部資訊物理工程學院

王潛心，徐天河 2，許國昌 3，抗差估計在機載 GPS 精密動態相對定位中的應用，中南大學資訊物理工程學院

王威，董緒榮 2，基於網路北斗指揮機的 WebGIS 監控系統的設計與實現，裝備指揮技術學院

鄭坤，董緒榮 2，柳麗 3，楊洋 4，中高軌導航衛星精密定軌的數值積分方法研究，裝備指揮技術學院

柳迪，董緒榮 2，逢淑濤 3，王威 4，光鐘與衛星時間系統新體制的概述，裝備指揮技術學院

柳麗，董緒榮 2，鄭坤 3，楊洋 4，基於星載 GNSS 和經驗力補償的高軌衛星定軌方法研究，裝備指揮技術學院

逢淑濤，董緒榮 2，王威 3，柳迪 4，GPS/GLONASS 姿態測量中求解整周模糊度方法的研究，裝備指揮技術學院

郭進軍，KONG Qiaoli<sup>2</sup>, SHEN Xiumei<sup>3</sup>, SUN Yu <sup>4</sup>, ZHENG Zuoya<sup>5</sup> , Precise geometric orbit determination of low-earth-orbit satellite from onboard GPS zero-difference data , 山東科技大學測繪學院

唐陽陽，楊東凱<sup>2</sup>，張波<sup>3</sup>，軟體接收機演算法複雜度分析及即時化研究，北京航空航太大學電子資訊工程學院

張炳琪，李健<sup>2</sup>，陳禾<sup>3</sup>，劉峰<sup>4</sup>，北斗導航系統電文播發方案研究，北京理工大學電子與資訊學院

張賢立，陳霄<sup>2</sup>，施闖<sup>3</sup>，GPS 接收機軟體中導航電文處理的測試技術，中國空間技術研究院 503 所

Jin Shuanggen , What can GPS do in Geodesy and Geodynamics? , Center for Space Research, University of Texas at Austin, TX 78759, USA

S. Nilesh Gopaul , Jian-Guo Wang , Jiming Guo , Adaptive Kaman Filter Based on Posteriori Variance-Covariance Components Estimation , Department of Earth and Space Science & Engineering, York University

Jizhang Sang , Kefei Zhang<sup>2</sup> , A New Concept of Real Time Improvement of Atmospheric Mass Density Model Coefficients and Its Validation Using CHAMP GPS Data , EOS Space Systems Pty Ltd, Australia

ALKAN, Reha Metin , PRECISE POINT POSITIONING (PPP) PERFORMANCE of LOW-COST GPS RECEIVERS IN MARINE APPLICATIONS USING ON-LINE PPP SERVICE , Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Geomatics Engineering Department, Maslak, TR-34469, Istanbul, Turkey

Ashraf El-Assal,Ahmed El-Rabbany<sup>2</sup>, Saad Mesbah<sup>3</sup>,GPS outage recovery using wavelet and neural network models for multibeam hydrography,Arab Academy for Science and Technology and Maritime Transport, Egypt



Zhang Yan, Kubo Nobuaki<sup>2</sup>, Komatu Satoru<sup>3</sup>, Performance Evaluation of GPS/INS Fusion Algorithm Based on Dynamic Reliability Estimation, Laboratory of Communication Engineering, Tokyo University of Marine Science and Technology, Tokyo, Japan

儲豐宥，楊名<sup>2</sup>，陳鶴欽<sup>3</sup>，劉正倫<sup>4</sup>，GPS/Galileo 長距離基線計算效能分析，國立成功大學測量及空間資訊學系，台南，台灣

Shun Zhang，Kefei Zhang, Hai Xu, Ming Zhu，Seamless solutions for indoor and outdoor tracking using NLOS auto-correction technique，School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University, Melbourne, VIC 3000, Australia

Hai Xu，Keifei Zhang, Suqin Wu, Ming Zhu，A low-cost wheelchair-based multi-sensor monitoring system for Paralympics games，School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University, Melbourne, Australia

Ying Li，Kefei Zhang, Chuan-sheng Wang, Robert Norman，An investigation into the errors of atmospheric retrieval derived from GPS Radio Occultation，School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University, Melbourne, VIC 3000, Australia

Chen Wu，姬生月<sup>2</sup>，Equatorial ionospheric scintillation monitoring and predicting based on GPS network in Hong Kong，The hong Kong Polytechnic University, Hong Kong

