101-301000100G826

原子鐘輔助衛星定位儀校正作業系統能量之研究

研究人員

企劃課課員　林承毅

企劃課專員　林長青

企劃課技正　陳鶴欽

企劃課課長　李旭志

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 101 年 9 月

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

A Study on the Ability of Global Positioning System Receiver Calibration System Assisted with Atomic Clock

By
Cheng-Yi Lin
Chang-Ching Lin
He-Chin Chen
Hsu-Chih Lee

September, 2012

目次

表次 ..... **II**

圖次 ..... **III**

摘要 ..... **V**

第一章、緒論 **1**

第一節、前言 1
第二節、研究動機與目的 1
第三節、文獻回顧 2
第四節、問題陳述 3
第五節、研究流程與方法 4

第二章、研究理論 **5**

第一節、衛星定位原理 5
第二節、原子鐘特性及作業原理 11

第三章、衛星定位儀校正作業系統 **13**

第一節、衛星定位儀校正場 13
第二節、校正作業程序與管理事項 16
第三節、量測系統追溯 20
第四節、量測不確定度 21

第四章、實驗與分析 **23**

第一節、原子鐘之量測追溯 23
第二節、原子鐘對精密單點定位精度的影響 24
第三節、原子鐘對靜態相對定位精度的影響 30
第四節、原子鐘對衛星定位儀校正作業系統的影響 35

第五章、結論與建議 **51**

第一節、結論 51
第二節、建議 53

參考文獻 **54**

附錄 1 原子鐘校正報告 **55**

附錄 2 衛星定位儀校正系統資料處理計算手冊 **59**

表次

表 2-1 三種 PPP 模型之比較 …… 10
表 3-1 衛星定位儀校正場各單元規格表 …… 16
表 4-1 不同時間段 LS08 靜態相對定位之三軸向標準差 …… 31
表 4-1 相同時間段 LS08 靜態相對定位之三軸向標準差 …… 34
表 4-5 不確定度分析參數表（時間及頻率源：內部石英鐘） …… 37
表 4-6 不確定度分析參數表（時間及頻率源：外部原子鐘） …… 37
表 4-7 機率分配函數與標準差的對應關係 …… 38
表 4-8 相對不確定性與自由度的對應關係 …… 38
表 4-9 各校正基點相對於 LS08 之三軸向標準差（時間及頻率源：內部石英鐘） …… 39
表 4-10 LS08 相對於 TNML 之三軸向標準差（時間及頻率源：內部石英鐘） …… 39
表 4-11 LS08 相對於 TCMS 之三軸向標準差（時間及頻率源：內部石英鐘） …… 40
表 4-12 各校正基點相對於 LS08 之三軸向標準差（時間及頻率源：外掛原子鐘） …… 41
表 4-13 LS08 相對於 TNML 之三軸向標準差（時間及頻率源：外掛原子鐘） …… 41
表 4-14 LS08 相對於 TCMS 之三軸向標準差（時間及頻率源：外掛原子鐘） …… 42
表 4-15 校正基點相對於 LS08 之不確定度分析表（時間及頻率源：內部石英鐘） …… 45
表 4-16 校正基點相對於 TNML 之不確定度分析表（時間及頻率源：內部石英鐘） …. 46
表 4-17 校正基點相對於 TCMS 之不確定度分析表（時間及頻率源：內部石英鐘） …. 46
表 4-18 校正基點相對於 LS08 之不確定度分析表（時間及頻率源：外掛原子鐘） …… 47
表 4-19 校正基點相對於 TNML 之不確定度分析表（時間及頻率源：外掛原子鐘） …. 47
表 4-20 校正基點相對於 TCMS 之不確定度分析表（時間及頻率源：外掛原子鐘） …. 48
表 4-21 各基線組合與時頻參考源之標準組合不確定度及有效自由度…… 49
表 4-22 各基線組合與時頻參考源之涵蓋因子及擴充不確定度…… 50
表 4-23 本系統各時間及頻率參考源與基線組合之校正與量測能力…… 50

圖次

圖 1-1 研究流程圖 ……4
圖 2-1 單點定位示意圖 ……7
圖 2-2 相對定位示意圖 ……8
圖 3-1 超短基線衛星定位儀校正場點位分布示意圖…… 14
圖 3-2 衛星定位儀校正場點位分佈示意圖…… 14
圖 3-3 校正基點照片 …… 15
圖 3-4 固定基點照片 …… 15
圖 3-5 中基線固定站照片 …… 15
圖 3-6 量測不確定度評估流程圖 …… 22
圖 4-1 LS08 衛星定位儀頻率校正結果…… 23
圖 4-2 精密單點定位演算法資料處理流程…… 24
圖 4-3 資料蒐集及處理示意圖 …… 25
圖 4-4 精密單點定位處理器主視窗系統畫面…… 25
圖 4-5 使用 SPP 方式對 NE18 進行定位分析 …… 27
圖 4-6 使用 SPP 方式對 LS08 進行定位分析…… 27
圖 4-7 使用 PPP 方式對 NE18 進行定位分析 …… 28
圖 4-8 使用 PPP 方式對 LS08 進行定位精度分析…… 28
圖 4-9 LS08 及 NE18 之衛星顆數及 PDOP 值示意圖…… 29
圖 4-10 NE18 時錶漂移估算(PPP、精密星曆) …… 29
圖 4-11 LS08 時錶漂移估算(PPP、精密星曆)…… 30
圖 4-12 不同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TNML，時頻參考石英鐘)‥ 31
圖 4-13 不同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TNML，時頻參考原子鐘)‥ 32
圖 4-14 不同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TCMS，時頻參考石英鐘)‥ 32
圖 4-15 不同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TCMS，時頻參考原子鐘)‥ 32
圖 4-16 相同時間段相對定位分析資料蒐集及計算方式 …… 34
圖 4-17 相同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TCMS，時頻參考原子鐘)‥ 34
圖 4-18 相同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TCMS，時頻參考石英鐘)‥ 34
圖 4-19 相同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TWTF，時頻參考原子鐘)‥ 35

圖 4-20 相同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TWTF，時頻參考石英鐘)‥ 35

摘要

關鍵詞：校正系統、原子鐘、校正與量測能力

內政部國土測繪中心為落實國土測繪法對於測量儀器校正的要求，於 96 年起開始籌備「測量儀器校正實驗室」，並於 99 年通過財團法人全國認證基金會(TAF)認證，成為國際間相互認可的實驗室，共有衛星定位儀、經緯儀及電子測距儀 3 個校正項目。

依據 TAF 規定，校正實驗室使用的儀器標準件必須定期辦理量測追溯，但本實驗室衛星定位儀校正作業系統之標準件一旦辦理追溯，就必須停止校正服務，將影響本系統的作業能量，有鑑於此國土測繪中心乃於 100 年購置原子鐘作為衛星定位儀的時間與頻率參考來源，期以原子鐘取代衛星定位儀標準件辦理量測追溯，本研究將探討以原子鐘作為時頻參考源對於 GPS 定位精度的影響，並計算將原子鐘納入本系統的校正與量測能力，進而評估其可行性。

研究結果顯示，以原子鐘作為時間及頻率參考來源，對於單點定位、精密單點定位及靜態相對定位之結果，皆有正面幫助，此外，校正與量測能力的變化量小於 1㎜（超短基線由 3.1㎜ 變化至 3.4㎜，中基線由 13㎜ 變化至 14㎜)，對本系統校正作業的影響不明顯，表示將原子鐘納入本系統，並取代衛星定位儀標準件辦理追溯的方式可行，且可讓校正系統營運不中斷，有效提升服務能量。

ABSTRACT

Keywords：Calibration system, Atomic Clock,
Calibration and Measurement Capacity, CMC

In order to implement the Land Surveying and Mapping Act, the National Land Surveying and Mapping Center(NLSC) established the Surveying Instrument Calibration Laboratory(SICL) in 2007. The accreditation issue to SICL by Taiwan Accreditation Foundation (TAF) was seen in 2010. Three calibration systems in the SICL, the electronic distance measurement, the theodolite, and the GPS satellite receiver, have been accredited.

In accordance with the TAF's regulations of traceability, the standard instrument in laboratory must be periodically calibrated. During this time period, the SICL calibration service for GPS satellite receiver must be suspended temporarily because of the absence of the standard instrument. It really influences the operation capability of GPS receiver calibration service. In view of avoiding interrupted service, an atomic clock was procured in 2010 to be the reference for frequency and time. The atomic clock is connected with the standard instrument when the calibration operation is on-going. The frequency of atomic clock is adopted to replace that of the original built-in quartz clock in the standard instrument. A focus of this paper is to discuss the influence of positioning precision with the atomic clock plug-in. It's succeeding interesting topic is to test the feasibility of adding the atomic clock into the GPS receiver calibration system.

This study has shown that observation with plug-in atomic clock makes no influence to the calibration. It can also promote the capacity of calibration for SICL. In other words, this method might be one of the solutions for SICL to follow the TAF's regulations with no absence of the standard instrument during traceability, and the GPS calibration service can be uninterrupted.

第一章、緒論

第一節、前言

全球定位系統（Global Positioning System, GPS），是目前世界各國廣泛使用的定位工具，具有全天候作業、操作簡便且經濟效益高的特性，其應用極為廣泛，舉凡導航、地球監測、大地測量、控制測量等。而 GPS 所測得成果不僅有平面向坐標，同時還有垂直向坐標，因此亦經常應用在垂直系統之監測與測量，如大地起伏之測量、垂直變形之監測等；但 GPS 高程精度相較於水平精度約略遜 2~3 倍，其原因可能是對流層折射效應不易改正、接收儀內部時鐘的誤差以及載波週波脫落現象所致。因此本研究嘗試以原子鐘作為 GPS 外部頻率參考來源，期能進而提升 GPS 相對定位的精度及可靠度。

第二節、研究動機與目的

國土測繪法已於 96 年 3 月公布，其子法「基本測量實施規則」第 24 條及「應用測量實施規則」第 12 條均明文規定，辦理測量業務之儀器設備應定期送校，其中「基本測量實施規則」更明定儀器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，而國內簽署相互承認辦法之認證機構為財團法人全國認證基金會（Taiwan Accreditation Foundation, TAF）。內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）為中央測繪機關，為落實儀器校正制度並符合法規規定，於 97 年成立「測量儀器校正實驗室」（以下簡稱校正實驗室），建置相關校正設備，發展符合國際認證規範 ISO/IEC 17025 品質管理系統之作業程序，並於 99 年 3 月 10 日通過 TAF 校正實驗室認證（實驗室編號 2218），提供電子測距儀校正、經緯儀校正及衛星定位儀校正等服務。

校正實驗室的衛星定位儀校正系統是建構在空間基線分析的基礎上，計算固定基點與待校正基點間的基線長度，以定位精度較佳的衛星定位儀作為參考標準件置於待校正基點，測得與固定基點間之基線長度並視為標準值，在辦理校正時，將待校正儀器所測得之基線長

度與標準值進行分析比較，並出具校正報告；依據 TAF 規定，參考標準件必須定期辦理追溯，目前校正實驗室每 2 年會將參考標準件送到國家度量衡標準實驗室進行追溯，每次辦理期程約 1 個月，因參考標準件追溯期間必須暫停實驗室營運，影響甚鉅，為使校正服務不至中斷，國土測繪中心於 100 年購置原子鐘，將原子鐘外掛於參考標準件，使參考標準件的時間與頻率由原子鐘提供，因時間為影響衛星定位測量的主要因素，故往後在辦理追溯時僅需將原子鐘所產生的時間及頻率檔送至國家時間及頻率標準實驗室追溯，不需將參考標準件拆下，故不影響校正實驗室運作；本研究計畫分析以原子鐘作為衛星定位儀外部時間及頻率參考，對於定位結果的影響，並評估以原子鐘追溯方式取代衛星定位儀校正系統參考標準件追溯方式之可行性。

第三節、文獻回顧

GPS 接收儀通常使用的是石英晶體振盪器，儘管精密的時鐘資料可從 GPS 衛星鐘獲得，當所有參加觀測的接收儀嚴格的在同一時段觀測時，接收儀時鐘誤差可以通過差分消除，但時鐘頻率的短期穩定性和長期穩定性仍直接影響觀測數據的精度（王培源，2007）。

GPS 接收儀內建石英鐘的時間偏移量優於銣原子鐘平均約 4 個級數，在頻率穩定度方面（取 30 秒），石英鐘的表現遜於銣原子鐘平均約 2 個級數，兩者在時間偏移量及頻率穩定度各有優劣。而當 GPS 的頻率源由石英鐘換為銣原子鐘時，在靜態相對定位中，N 方向的定位精度由 4.6 mm 變為 1.0~1.9 mm，提升了約 3 mm 的精度；E 方向的定位精度由 3.5 mm 變為 1.2~1.6 mm，提升了約 2 mm 的精度；但在高程向的定位上，其定位精度由原先的 8.9 mm 變為 5.9~6.3 mm，提升了約 3 mm 的高程向精度，顯示頻率源的好壞確實會影響 GPS 相對定位之精度（葉大綱，2005）。

使用外接高精度原子鐘的觀測資料在動態定位求解時，高程向精度由 1.7 公分提高至 1.1 公分，且高程向定位精度由平面向定位精度的 2.5 倍降為 1.5 倍（林修國，2005）。

因此衛星定位精度與接收儀的時間及頻率參考源有直接的關

係，本研究將以校正實驗室之衛星定位儀校正作業系統為例，以外掛原子鐘取代衛星定位儀內部石英鐘作為時間及頻率源，對定位結果及校正與量測能力進行探討。

第四節、問題陳述

國土測繪中心校正實驗室衛星定位儀校正系統係採用靜態相對測量方式進行，分析固定點至待測點間的相對距離，分別有超短基線及中基線 2 個組合，其中超短基線固定點參考站為國土測繪中心自行設置之固定基點 LS08，中基線固定點參考站採用工業技術研究院建立之連續觀測站 TNML 或 TCMS，辦理校正期間固定基點參考站架設之高精度衛星定位接收儀（稱為參考標準件）與待校正件實施同步的觀測，作為計算參考依據。

依據國際認證規範 ISO/IEC 17025 之品質管理系統條文對於「量測追溯性」的規定，參考標準件需定期送國家標準實驗室辦理校正，追溯上級參考標準；國土測繪中心校正實驗室衛星定位儀校正系統目前辦理追溯方式為直接將參考標準件送至工業技術研究院實施校正，針對參考標準件幾何特性的量測能力進行校正，並出具校正報告，完成量測追溯。

綜上所述，為符合國際認證規範規定，參考標準件必須定期送校，然而國土測繪中心校正實驗室辦理衛星定位儀校正時需要參考標準件與待校正件同步觀測，故送校其間校正實驗室無法辦理校正業務，必須暫停營運；另因辦理衛星定位校正需要精密星曆資料，使得參考標準件送校時間往往長達 1 個月，對於校正實驗室服務能量有重大影響。

為解決上述問題，本研究計畫以原子鐘作為衛星定位儀參考標準件的外部頻率來源，讓原子鐘提供參考標準件穩定的頻率，建立以原子鐘輔助衛星定位儀校正作業系統之作業程序及追溯方式，待系統建置完成後，以原子鐘送校取代參考標準件送校，因原子鐘校正僅需將原子鐘所紀錄過去某時間段的頻率檔案以電子交換的方式傳送至中華電信研究所國家時間與頻率標準實驗室校正，儀器本體可維持正常

營運，避免送校期間無法正常營運的狀況。

第五節、研究流程與方法

為瞭解以原子鐘作為衛星定位儀外部參考時間及頻率來源對GPS定位結果的影響，吾人計畫分別對以衛星定位儀內部石英鐘及外掛原子鐘作為時間及頻率參考源的觀測資料進行分析，將以單點定位（Single Point Positioning, SPP）、精密單點定位（Precise Point Positioning, PPP）及靜態相對定位（Static Relative Positioning）的方法，分別計算2種不同時間及頻率參考源之觀測資料定位結果並加以分析；除了分析3種定位方法的結果外，亦計畫對於校正實驗室衛星定位儀校正作業系統重新辦理系統評估，比較以原子鐘外掛於衛星定位儀標準件前後，對校正與量測能力（Calibration and Measurement Capability, CMC），的影響，進一步探討將原子鐘納入衛星定位儀校正作業系統的可行性，研究流程如圖1-1所示。

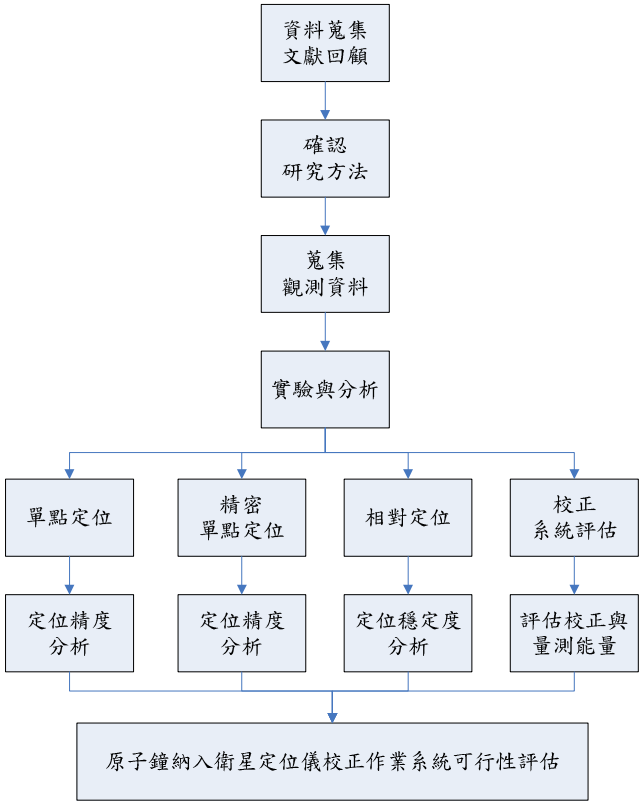


圖1-1 研究流程圖

第二章、研究理論

全球衛星定位系統發展至今，各種定位方法與導航技術已趨成熟，應用層面也越來越廣泛，除了各項技術與應用之外，儀器校正也越來越受到重視，國土測繪中心為了確保測量成果品質，遂成立測量儀器校正實驗室，提供儀器校正的服務。本章將介紹全球衛星定位系統定位原理、原子鐘作業原理及衛星定位儀校正的方法及程序。

第一節、衛星定位原理

衛星定位方式主要是透過精準的量測衛星所發射的無限電訊號傳遞到接收儀所需要的時間，獲得衛星到接收儀間的空間向量，藉由已知的衛星位置，推求點位的三度空間坐標，主要的觀測量有虛擬距離觀測量與載波相位觀測量兩種，基本上都是距離的量測，理論上只要同時觀測三顆以上的衛星，獲得三個空間距離，配合廣播星曆提供的衛星位置，可透過空間後方交會法解算出衛星定位儀所在點位的位置，一般而言目前衛星定位測量常用的單點定位與相對定位的方法，分別是採用虛擬距離觀測量與載波相位觀測量來計算定位結果。

衛星定位測量中，影響觀測量精度的主要誤差來源一般可分與GPS 衛星有關、與信號傳播有關及與接收儀有關三種，而這些誤差並不是都能夠消除，大部分可透過差分的方法與數學模式的修正來減少誤差量。本節將針對上述所提衛星定位觀測量、測量方法、誤差來源及誤差消除方式逐一說明。

一、衛星定位觀測量

GPS 的觀測量主要有虛擬距離觀測量與載波相位觀測量兩種，虛擬距離觀測是以虛擬噪聲碼（Pseudo Range Noise, PRN）電碼來進行測距，而 PRN 碼是衛星根據本身的原子鐘所發射的一種二元碼，當衛星定位儀在某個時刻收到來自衛星的訊號時，會根據本身的時鐘產生一組結構相同的二元碼，與接收到的訊號進行相關批配，當兩個訊號達到最大相關時，可得到一個訊號傳播的時間延遲，這個時間延遲乘以訊號傳遞的速度，即可獲得衛星與衛星定位儀間的距離。載波相

位觀測量則是以波長為基礎所推得的距離觀測量，與虛擬距離測量相同，衛星與接收儀會根據自身的時鐘產生載波相位，分析來自衛星訊號與接收儀訊號的相位差求得其間的距離。

二、GPS 誤差

衛星定位儀所紀錄的資料中含有各種誤差，依來源主要可分為三類，分別為與衛星有關的誤差，與信號傳播有關的誤差及與衛星定位儀有關的誤差，其中與衛星有關的有衛星軌道誤差及衛星時鐘誤差，與信號傳播有關的有電離層延遲誤差、對流層延遲誤差及多路徑效應的影響，與衛星定位儀有關的有接收儀時鐘誤差、週波未定值與週波脫落、天線相位中心偏差等。在處理資料計算基線向量時必須將上述誤差儘可能的消除，但並非所有誤差皆可消除，有些可透過差分（Differential）與雙頻資料線性組合的方式來加以改正，有些可透過數學模式加以修正，有些則無法預測，更難以修正，只能避免其發生。

差分與雙頻資料線性組合，為目前最常用於消除 GPS 觀測誤差的方式，差分可分為一次差、二次差及三次差，其中一次差可消除衛星或衛星定位儀時鐘誤差，二次差可同時消除衛星及接收儀時鐘誤差，三次差則用來消除因週波未定值引起的誤差或偵測週波脫落的現象；雙頻資料線性組合則有無電離層線性組合（L3）、無幾何距線性組合（L4）、寬向線性組合（L5）及窄向線性組合（L6）等，其中 L3 可消除載波相位觀測量中的電離層效應，L4 可消除載波相位觀測量中的對流層效應，L5 及 L6 可用於計算週波未定值及週波脫落的偵測。

三、單點定位

單點定位（SPP）又稱為絕對定位，是利用單一測站之觀測量處理而得該點相對於地心之坐標，定位的基礎為空間距離的後方交會，理論上僅需要三個獨立的距離觀測量便可以求解測站的空間坐標，此觀測量為衛星到衛星定位儀間單程的測距，這個距離因受到衛星時鐘與接收儀時鐘無法保持嚴密同步的影響，導致距離觀測量包含誤差，故一般稱為虛擬距離（Pseudorange）。其中衛星的時鐘誤差可依據衛星廣播星曆中的時鐘參數加以修正，而接收儀的時鐘誤差則難以確

定，所以會將此誤差視為未知數與測站坐標一併求解，故實際上單點定位至少需要觀測 4 顆以上的衛星，才能對接收儀時鐘誤差的部分加以改正，但因對流層與電離層所引起的訊號傳遞延遲誤差仍無法改正，以致精度較差，一般單點定位是透過虛擬距離與廣播星曆的衛星軌道參數和時鐘差進行改正。由於虛擬距離的觀測雜訊達數十公分、衛星廣播星曆的軌道精度為數公尺、衛星時鐘差的改正精度為數十奈秒，加上公尺級的電離層及對流層延遲之影響，這種單點定位技術之精度約只可達十公尺等級。

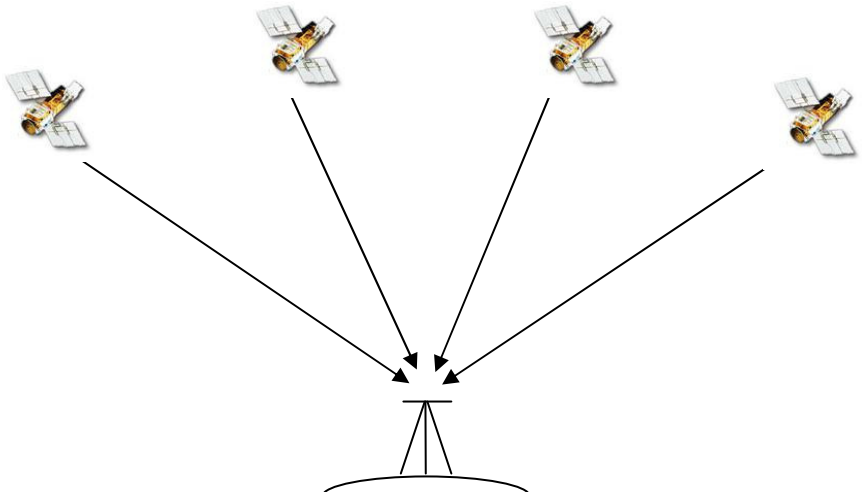


圖 2-1 單點定位示意圖

四、相對定位

相對定位原理基本上是以 2 部接收儀為基礎，1 部擺在已知點上觀測，稱為主站（Bsae Station），另 1 部擺在待測點上，稱為移動站（Rover），觀測衛星資料求得主站與移動站間的基線向量，待測點的坐標就可推算而得。實際上相對定位測量會在同一個時間點實施觀測，若主站與移動站在 10 公里之內（曾清凉），則各種環境條件較為接近，有利於基線求解並提高定位精度，目前大部分的衛星定位測量皆以此法為基礎，並擴大為多點同時定位，亦稱為網狀定位（Network Positioning），可獲得較佳的測量精度。

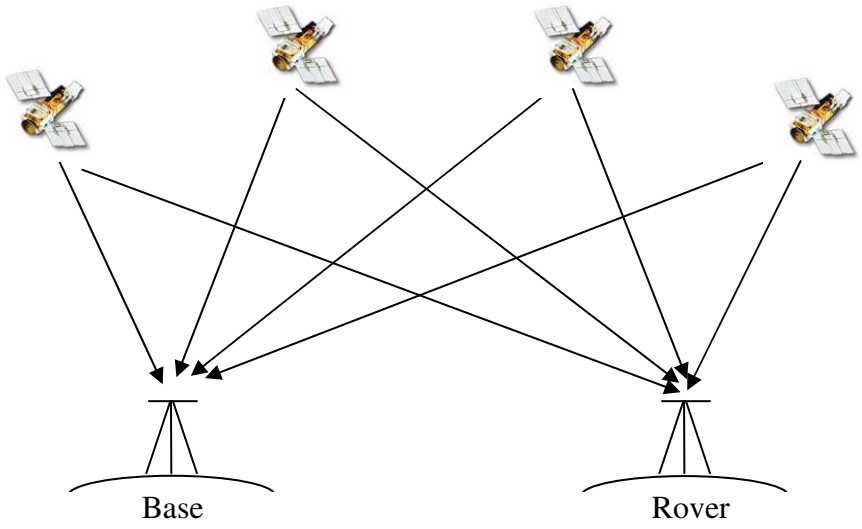


圖 2-2　相對定位示意圖

五、精密單點定位

精密單點定位（PPP），以單部衛星定位儀的觀測數據（含未差分的虛擬距離與載波相位觀測量）配合國際 GNSS 服務組織（International GNSS Service, IGS）提供的衛星精密星曆和時鐘差，在全球任意位置都可以獲得即時的或後級處理的高精度定位成果。精密單點定位因僅有單部接收儀的資料，無法以差分的方式消除各種誤差，所以為了處理衛星時鐘差，需以 IGS 分布全球的 GPS 觀測站資料求解精密的衛星時鐘差加以改正。至於接收儀時鐘差，則將其視為未知參數，以最小二乘平差法，在求解點位坐標時一併解算。常用的 PPP 數學模型列舉如下：

（一）傳統模型：使用雙頻載波相位與虛擬距離觀測量所組成之無電離層模型 (Zumberg et al., 1997)，其公式簡化如下:

$$P_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} p_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} p_2 = \rho + cdl + d_{trop} + \varepsilon(p_{IF})$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_2 = \rho + cdl + d_{trop} + B_{IF} + \varepsilon(\Phi_{IF})$$

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

量雜訊及未被模型化的誤差。

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

$$P_{IFL1} = \frac{1}{2}(p_1 + \Phi_1) = \rho + cdl + d_{trop} + \frac{1}{2}\lambda_1 N_1 + \varepsilon(p_{IFL1})$$

$$P_{IFL2} = \frac{1}{2}(p_2 + \Phi_2) = \rho + cdl + d_{trop} + \frac{1}{2}\lambda_2 N_2 + \varepsilon(p_{IFL2})$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}\Phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}\Phi_2 = \rho + cdl + d_{trop} + B_{IF} + \varepsilon(\Phi_{IF})$$

其中 P_{IFL1} 與 P_{IFL2} 分別為 L1 與 L2 二個頻率上虛擬距離與載波相位組合之觀測量；Φ_{IF} 為載波相位 Φ_1 與 Φ_2 無電離層線性組合；$\varepsilon(P_{IFl1})$、$\varepsilon(P_{IFl2})$ 與 $\varepsilon(\Phi_{IFl})$ 分別為三種觀測量之觀測量雜訊及未被模型化的誤差。

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

$$P_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}p_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}p_2 = \rho + cdl + d_{trop} + \varepsilon(p_{IF})$$

$$\Phi_{IF} = \Phi_{IF}(i) - \Phi_{IF}(i-1)$$
$$= \rho(i) - \rho(i-1) + c(dl(i) - dl(i-1)) + d_{trop}(i) - d_{trop}(i-1) + \varepsilon(\Delta\Phi_{IF})$$
$$= \Delta\rho + c\Delta dl + \Delta d_{trop} + \varepsilon(\Delta\Phi_{IF})$$

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

到目前為止，傳統模型為三種模型中應用最廣泛的一種，然其在實際應用中也有不足之處。首先為無電離層相位組合觀測值中的組合週波未定值只能以實數參數進行估計，故無法利用週波未定值的整數

特性，未知參數的估值只能隨著觀測量的累積與幾何的變化逐步地區於收斂；其次，組合觀測值的雜訊被放大了，觀測雜訊為原始電碼和載波相位觀測量雜訊的 3 倍，雜訊越大，收斂的位置誤差也越大，故計算過程中趨於收斂所需的時間也越長。

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

無週波未定值模型採用前後觀測時刻之相位差來消除初始相位週波未定值，如此可以有效地降低對電腦資源的需求。相位差觀測量只能求解位置差，而無法得到使用者的絕對位置解。可由電碼確定位置再由相位觀測量確定位置差，將每個時刻的位置和位置差組合起來即可獲得接收儀的動態軌跡。時刻相位差是同一顆衛星的二個相位觀測量之差，若前後時刻追蹤的衛星有改變，則這些衛星的相位觀測值實際上沒被利用，從而造成觀測資料的使用率相對較低。此外，相位差觀測值雖消除了週波未定值參數，但卻增加觀測值間的數學相關性，實際應用的過程中，為了數據處理的方便，這種相關性一般是被忽略的。

綜上所述，此三種模型最主要的區別為週波未定值之處理策略，表 2-1 比較這三種模型之週波未定值處理策略、優點及缺點。

表2-1 三種PPP模型之比較

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

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

精密單點定位有以下之關鍵之處：

（一）衛星軌道精度需達公分級，故吾人須使用 IGS 提供精度達 3~5 公分之精密星曆。

（二）衛星時鐘差的改正需達奈秒級，除噴射推進實驗室（Jet Propulsion Laboratory, JPL）提供 30 秒間隔之時鐘差外，IGS 及其他分析中心均提供五分鐘間隔的時鐘差。

（三）解算過程須考慮固體潮、大洋負荷、衛星天線相位變化等誤差的改正模型。

（四）在定位過程中採用無差分觀測量，同時虛擬距離觀測量在初始階段作為輔助觀測值參加解算。

（五）精密單點定位無法固定整數週波未定值，計算過程中需要一段收斂的過程。

第二節、原子鐘特性及作業原理

一、原子鐘特性

在每一台原子鐘的核心有一團銫（Cesium）或銣（Rubidium）的原子雲，這些原子天生具有共振特性，就像鐘擺一樣；利用一束穿越原子雲的雷射光，物理學家可計算原子震盪的速度，並以之計算時間。每一種原子都有自己的特徵振動頻率。利用原子的某一固定振盪，所做成的國際標準計時器。由於同一元素所有的原子都是一樣的，因此利用原子的特性所製成的計時器，也就具有高度的可靠性與複製性。這種時鐘的優劣依賴於它的穩定性和準確性，也就是說，這個時鐘要提供一個持續不變的輸出頻率，並使它的測量頻率與原子的

共振頻率相同。科學家們預言這種時鐘可以提高航空技術、通信技術（如移動電話和光纖通信技術等的應用水平），同時可用於調整衛星運行的精確軌道、外層空間的航空和聯接太空船等。

二、原子鐘作業原理

原子鐘的準確時間是全球衛星定位系統的核心技術，可以說沒有原子鐘就沒有全球衛星定位系統。時間如同距離、重量、方向一樣也是一個物理量，也如同其他的物理量一樣必須使用一個量度單位做計算的標準，一般日常使用的最短時間單位是秒。表示的單位越精細則計算越精準，時鐘的計時週期越短(頻率越高)則準確度越高。以石英震盪頻率為周期的石英震盪器鐘錶的出現，是計時器準確度的一大進步，石英震盪頻率約五百萬赫茲(Hz)，相對機械鐘錶的每秒一次震盪頻率大為提高，也代表時鐘的準確性提高。普通原子鐘的工作原理，原子束經過能階選擇器選出被激勵到高能階的原子，再經過兩區段的微波選擇器及另一個能階選擇器，挑選出合格的原子，最後被原子偵測器捕捉，作為諧振頻率的共振對象。衛星定位系統應用原子鐘的時間頻率做基頻，產生的信號頻率做距離計算的參考，它向地面發射的民用頻道頻率是 1575.42MHz，換算成波長約 19 公分，依照通信理論接收端可以三分之一波長的辨識，也就是理論上定位的準確度約六公分，可知時鐘信號與定位準確度有密切關係。

第三章、衛星定位儀校正作業系統

國土測繪中心為辦理儀器校正作業，自 95 年起展辦衛星定位儀校正作業，建置校正場及相關儀器設備，於 96 年成立測量儀器校正實驗室（以下簡稱本實驗室），制訂符合 ISO/IEC17025 規範的作業文件與程序，並於 99 年通過財團法人全國認證基金會（Taiwan Accreditation Foundation, TAF）認證，成為國際間相互認可的實驗室，所出具的報告也可得到國際間的承認，本章將針對本實驗室之衛星定位儀校正作業系統（以下簡稱本系統）相關作業規定、程序、系統評估方式及量測與作業能力作介紹。

第一節、衛星定位儀校正場

本實驗室於國土測繪中心所在之至善樓頂建置超短基線衛星定位儀校正場(以下簡稱校正場)，共有 8 個固定基樁，用於架設衛星定位儀，分別為校正基點 LS01 至 LS07 及固定基點 LS08，各基樁頂面皆裝有強制定心基座，所有基座於校正場建立時，皆以水準管氣泡定平，於校正觀測時再安裝可旋轉式轉接頭（Adapter）以利旋轉天線盤及整置儀器，可減少人為定心誤差。校正基點用來架設待校正的衛星定位儀，固定基點長期架設衛星定位儀標準件作為校正參考，辦理校正時會針對超短基線及中基線 2 組基線長度進行校正，超短基線是指校正基點與固定基點間的空間基線長度，平均長度約 18 公尺；中基線是指中基線固定站（TNML 或 TCMS）與校正基點間的空間基線長度，長度約 80 公里，校正場各單元說明如下：

一、校正基點(LS01~LS07)：

（一）由國土測繪中心設置於至善樓頂樓。

（二）辦理校正時將待校正衛星定位儀整置於校正基點上。

二、校正基點(LS01~LS07)：

（一）由國土測繪中心設置於至善樓頂樓。

（二）辦理校正時將待校正衛星定位儀整置於校正基點上。

三、固定基點(LS08)：

（一）國土測繪中心設置於至善樓頂樓。

（二）全年長期連續接收衛星定位觀測資料。

（三）透過 TopNET 軟體，經由本中心內部網路，自動將衛星定位每日原始觀測資料下載至實驗室電腦。

（四）為超短基線靜態相對定位固定點。

四、中基線固定站(TNML 及 TCMS)：

（一）由工研院所設置，為 IGS 國際追蹤站。

（二）全年長期連續接收衛星定位觀測資料，可經由 IGS 網站下載。

（三）為校正系統之中基線靜態相對定位固定點。

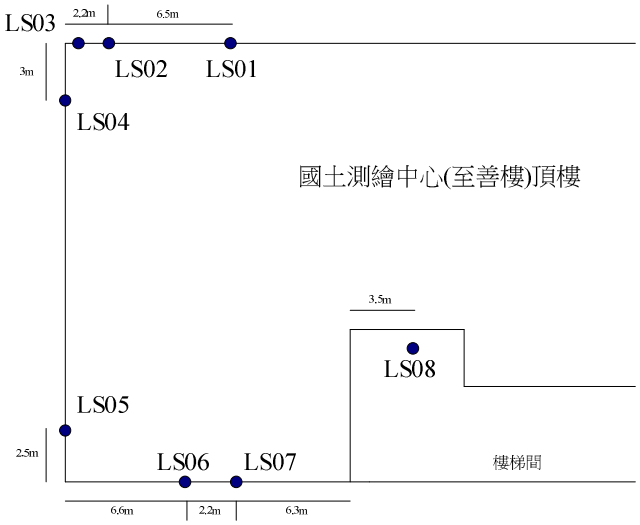


圖 3-1　超短基線衛星定位儀校正場點位分布示意圖

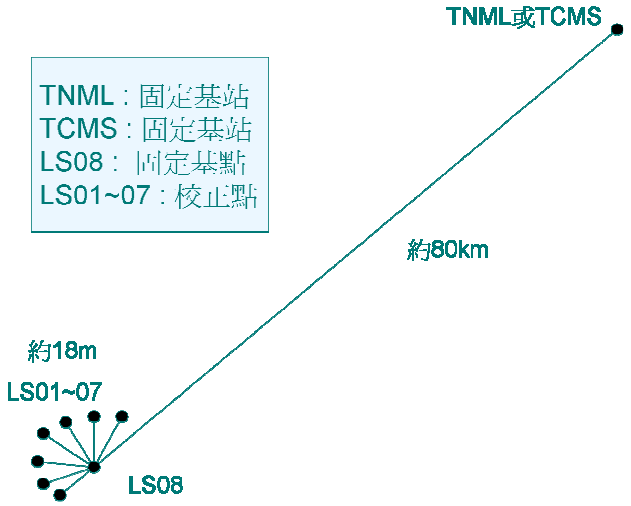


圖 3-2　衛星定位儀校正場點位分佈示意圖

圖 3-3 校正基點照片

圖 3-4　固定基點照片

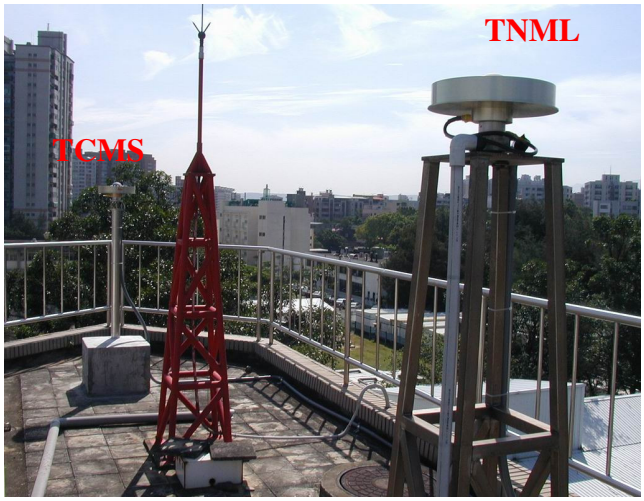


圖 3-5　中基線固定站照片

表 3-1　衛星定位儀校正場各單元規格表

主要儀具					備註
名稱	廠牌/型	序號	數量	規格	
超短基線衛星定位儀校正場 (< 20 m)	自建	N/A	1	1.不鏽鋼校正基點 7 座(分別編號為 LS01、LS02、LS03、LS04、LS05、LS06 及 LS07) 2.可調式轉接頭(adapter)強制定心基座 3.混泥土底座不鏽鋼固定基點 1 座(LS08)	校正裝置
固定站 TNML	工研院 自建	N/A	1	N/A	中基線參考站
固定站 TCMS	工研院 自建	N/A	1	N/A	中基線參考站
衛星定位儀含環型天線	TOPCON NET G3 CR.G3 TPSH	401-01629 3830600	1	靜態：5 mm＋0.5×10^{-6}×D，D 係距離	標準件 LS08
衛星定位儀含環型天線	TOPCON NET G3 CR.G3 TPSH	401-01651 3830602	1	靜態：5 mm＋0.5×10^{-6}×D，D 係距離	標準件
衛星定位儀含環型天線	TOPCON GB1000 NOV503+ CR SPKE	220332 DOW-204	1	靜態：5 mm＋0.5×10^{-6}×D，D 係距離	標準件
BERNESE 5.0	瑞士伯恩大學	36315-JUL-2004	-	1000 km 相對定位 0.01 ppm 準確度	計算軟體
銣震盪器	SRS FS725	107385	1	5×10^{-11} / day	標準件

第二節、校正作業程序與管理事項

本實驗室依據 ISO/IEC17025 實驗室認證規範，制定品質與技術相關管理事項及作業程序等文件，依文件內容辦理實驗室各項校正作業，本系統以靜態相對定位方法，透過 Bernese 5.0 軟體解算，推求校正件在校正基點（LS01~LS07）與中基線固定站（TNML 或 TCMS）及固定基點 LS08 之間坐標差分量/斜距。比較相同校正基點上之參考值，求得校正件靜態相對定位之器差，辦理校正時之相關管理事項與作業程序概述如下：

一、準備事項

（一）校正件應附操作手冊及電源供應設備。

（二）檢查校正件電池電量，不足者應依衛星定位儀操作手冊說

明方式，執行充電作業。

（三）校正人員實施校正前，校正人員應參閱衛星定位儀校正作業程序。

（四）確認及記錄校正件及天線盤廠牌型號及序號，填寫在『衛星定位儀靜態相對定位校正記錄表』。若檢查發現缺失或缺少配件，應通知顧客先行將儀器送修或補足必要配件。

（五）在待校區將校正件及天線盤從儀器箱取出，檢視外觀、記憶體及一般性能。

（六）檢查校正場校正基點強制定心基座，不得有鬆動現象。

（七）檢查長期置於固定基點 LS08 之衛星定位儀標準件，是否正常接收衛星觀測資料。

（八）執行校正作業時，應維持校正件周圍不得有雜物阻擋及干擾。

二、校正步驟

（一）打開校正場校正基點不鏽鋼螺帽，將校正件天線盤以可調式轉接頭整置於校正基點強制定心基座上，旋轉天線盤上方向註記至北方位置後固定。檢查天線電纜線兩端，分別穩固接合在天線盤及校正件接頭座上。

（二）開啟校正件電源，依操作手冊設定衛星定位儀最低衛星觀測仰角（Cut off Angle）為 15 度、最少衛星觀測數為 3 顆衛星、衛星觀測資料取樣間隔（Sample Rate)15 秒。

（三）估計記憶體容量應可容納 8 個小時的資料量及充足的電池電量。

（四）開始進行觀測，記錄起始觀測時間，並觀察儀器之記錄指示燈號（如記錄燈號正常顯示或記綠筆數增加），以確認觀測資料應儲存於記憶體，連續觀測 8 小時，並填寫於校正記錄表。

（五）觀測結束後，關機，於校正紀錄表中記錄結束觀測時間。

三、完成校正後應有步驟

（一）結束觀測，將校正件關機，鬆開所有線接頭，小心使力將

校正件天線盤從校正基點上取下來，正確放回儀器箱前應清潔儀器，蓋上箱蓋，扣緊儀器箱扣環。

（二）取下可調式轉接頭(adapter)，蓋上各校正基點不鏽鋼保護螺帽。

（三）依儀器操作手冊，下載各校正件及衛星定位儀標準件觀測資料。所有下載觀測資料檔均需轉換成 RINEX 格式資料檔，而記錄檔案主檔名稱(PPPPDDDX 八碼)以觀測基點之點名(PPPP 四碼)及當日 Day of Year 日期(DDD 三碼)為原則，第八碼(X 一碼)為 A，而副檔名(.YYO 三碼)以西元年之後 2 位數字(YY)再加上英文字 O 組合而成，係 RINEX 轉檔軟體自動產生，亦為國際標準格式。例：校正基點 LS01 於 2012 年 2 月 2 日觀測，檔案為 LS01033A.12O。

（四）確認各校正件及衛星定位儀標準件所觀測的衛星資料已經下載完成，並將各檔名填寫於校正紀錄表如附件。

四、資料分析

中基線固定站 TNML 及 TCMS 兩者相距約 6m，皆為 IGS 追蹤固定站，一般而言，僅以 TNML 為中基線靜態相對定位之參考站，若 TNML 資料有缺失，則改以 TCMS 為參考站，進行資料分析並產生校正報告。

（一）本系統係分析衛星定位儀觀測資料，根據衛星定位測量理論，使用瑞士伯恩大學開發之科學研究用衛星定位測量計算軟體 Bernese 5.0，準確評估固定基點 LS08、中基線固定站 TNML 或 TCMS 與各校正基點之坐標差分量/斜距。

（二）資料處理計算係解算校正件與固定基點 LS08 間之超短基線坐標差分量/斜距及校正件與中基線固定站 TNML 或 TCMS 間之中基線坐標差分量/斜距，與標準件所測得之基線坐標差分量/斜距與參考值比較，得到器差，有關資料分析說明如下：

1. 超短基線靜態相對定位以固定基點 LS08 為基準，利用靜態相對定位方法，經 Bernese 5.0 軟體解算，得校正

件在校正基點之定位坐標，並推求校正基點相對於 LS08 之坐標差分量/斜距 A，相關參數說明如下：

(1)坐標系統：ITRF2000

(2)求解頻率：L1&L2

(3)整數週波未定值求解法：QIF

(4)對流層改正：Saastamoinen

(5)軌道型式：IGS 精密星曆

(6)約制 LS08 坐標

2. 中基線靜態相對定位以中基線固定站 TNML 或 TCMS 為基準，利用靜態相對定位方法，經 Bernese 5.0 軟體解算，得校正件在校正基點之定位坐標，並推求校正件相對於 TNML 或 TCMS 之坐標差分量/斜距，相關參數說明如下：

(1)坐標系統：ITRF2000

(2)求解頻率：L3

(3)整數週波未定值求解法：QIF

(4)對流層改正：Saastamoinen

(5)軌道型式：IGS 精密星曆

(6)約制 TNML 或 TCMS 坐標

3. 基線坐標差分量/斜距參考值

(1)本系統設計之初，以標準件於各校正基點上辦理 10 天以上之觀測，解算各校正基點與 LS08 之間及各校正基點與 TNML 或 TCMS 之間的坐標差分量/斜距，取 10 天以上觀測平均值為校正之參考值。

(2)本系統運作後，依據系統評估報告每季辦理一次量測查核，將標準件置於各校正基點辦理觀測，取 2 天的觀測資料進行計算，1 年內之量測查核結果均不得超出查核上下限（系統評估參考值之 3 倍標準差）。

(3)每季量測查核，若發現基點有變動之虞，應比照系

統設計之初，各校正基點觀測 10 天以上，LS08 亦同步觀測，重新辦理系統評估。

第三節、量測系統追溯

依據 ISO/IEC170252 對於量測追溯性的規定，為確保校正結果之準確度及有效性，凡用於校正之所有設備及對校正結果有顯著影響的輔助設備，應在其納入服務前加以校正。所謂量測追溯是指待測量於量測儀器或物質量測的顯示值，經由一個或多個階段校正作業後，能與待測量於國家標準之值做比較的程序。本系統校正過程中所使用儀器設備有衛星定位儀標準件與原子鐘標準件（延展認證通過後）需辦理量測追溯，其中衛星定位儀標準件送往國家度量衡標準實驗室（工業技術研究院)辦理校正，原子鐘送往國家時間與頻率標準實驗室（中華電信電信研究所）辦理校正，上述兩家實驗室皆已通過 TAF 認證，代表該實驗室所出具報告內之校正數據是可追溯至國家標準的。就本系統量測追溯而言，除儀器設備外，在校正過程中尚需輔助資料及衛星定位測量解算軟體，如衛星定位儀天線相位中心偏移量、TNML 及 TCMS 衛星觀測資料檔、IGS 精密軌道(Final Orbit)、地球轉動參數、極運動改正資料、大氣延遲改正模式等，上述輔助資料皆為 GPS 之全球組織所公布的參考標準，可直接使用亦已具追溯性，相關資訊如下：

一、衛星定位儀天線相位中心偏移量與變化量改正資料。可經由網址 http：//www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/取得，這些改正數值由美國國家大地測量局（National Geodetic Survey, NGS）率定。

二、中基線固定站 TNML 及 TCMS 衛星觀測資料檔。可經由網址 ftp：//cddis.gsfc.nasa.gov/gps/data/daily/取得，此站坐標由 IGS 追蹤站所推求。

三、IGS 精密軌道（Final Orbit）。可以從網址 http：//igscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html 取得。

四、地球轉動參數、極運動改正資料及大氣延遲改正模式。這些數值由國際地球旋轉服務組織（International Earth Rotation Service,

IERS）提供，網址 http：//hpiers.obspm.fr/。

五、衛星定位測量解算研究軟體。採用瑞士伯恩大學天文研究所（AIUB）研發的 Bernese 軟體，該軟體也是全球定位系統大學聯盟（University NAVSTAR Consortium, UNAVCO）建議軟體，其功能參考網址 http：//www.bernese.unibe.ch/。

六、標準件每 2 年辦理追溯校正一次。

第四節、量測不確定度

本研究依國際標準組織（International Organization Standardization, ISO）出版之「量測不確定度指引」（Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 2nd Edition,1995，簡稱 ISO-GUN），評估本系統的量測不確定度，將各項誤差來源分為 A 類及 B 類不確定度，並予以量化，其中 A 類以統計方法評估，B 類用其他方法評估，兩者皆以假設性機率分布為基礎，估得各標準不確定度，再合併成組合標準不確定度，依特定信賴水準與有效自由度，決定涵蓋因子，計算擴充不確定度，評估流程如圖 3-6，本系統量測不確定度分析於第四章詳述。

一、建立量測系統模式（數學模式）$Y = f(X_1, X_2, X_3, \cdots, X_n)$。

二、確認系統中的不確定度來源 X_i，且 X_i 彼此為獨立不相關。

三、將各項不確定度來源 X_i 予以分類並量化為 A 類及 B 類的標準不確定度（Type A and Type B Standard Uncertainty）u_A、u_B，其中 A 類標準不確定度的評估方法為利用統計分析，B 類標準不確定度的評估方法為 A 類評估方法以外的其他方法。計算或估計出所有 X_i 的最佳估計值 x_i，Y 的估計值 $y = f(x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n)$，自由度 ν_i 及靈敏係數 $c(x_i) = c_i$，其中 $c_i = \dfrac{\partial f}{\partial x_i}$。

四、評估 A、B 兩類標準不確定度後，再依量測不確定度傳遞原理計算組合標準不確定度（Combined standard uncertainty）

$$u_c^{\,2}(y) = [c_1 u(x_1)]^2 + [c_2 u(x_2)]^2 + [c_3 u(x_3)]^2 + \ldots\ldots + [c_n u(x_n)]^2$$

$$= [u_1(y)]^2 + [u_2(y)]^2 + [u_3(y)]^2 + ... + [u_n(y)]^2 \quad (3\text{-}1)$$

五、依 Welch-Satterthwaite 公式計算有效自由度（Effective degrees of freedom）

$$\nu_{eff} = \frac{u_c{}^4(y)}{\frac{u_1{}^4(y)}{\nu_1} + \frac{u_2{}^4(y)}{\nu_2} + \frac{u_3{}^4(y)}{\nu_3} + ... + \frac{u_n{}^4(y)}{\nu_n}} \quad (3\text{-}2)$$

六、依所選定95%的信賴水準（Confidence Level），可由 t 分配表中查得涵蓋因子（Coverage Factor）κ。

七、以組合標準不確定度$u_c(y)$乘上涵蓋因子κ後，得出擴充不確定度（Expanded Uncertainty）$U(y) = \kappa \times u_c(y)$。

八、完成評估報告敘述量測結果y及標準不確定度$u_c(y)$、擴充不確定度$U(y)$。

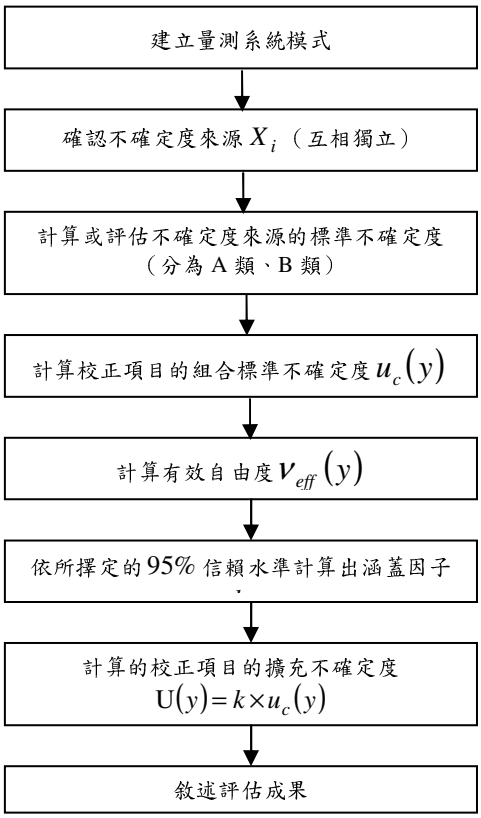


圖 3-6 量測不確定度評估流程圖

第四章、實驗與分析

本研究主要目的是為瞭解分別以衛星定位儀內部石英鐘及外掛原子鐘作為時間及頻率參考來源對於衛星定位精度及本系統的影響，本章將探討原子鐘追溯方式並分析分別使用衛星接收儀內部石英鐘與外部原子鐘作為時間及頻率參考來源，對於精密單點定位、相對定位及本系統校正與量測能力的影響。

第一節、原子鐘之量測追溯

架設於校正場固定基點之衛星定位儀標準件，其外掛原子鐘頻率穩定性校正，係追溯至國家時間與頻率標準實驗室（目前經濟部標準檢驗局委託中華電信研究所代管負責維運），其校正結果以 Overlapping Allan Deviation 表示如圖 4-1，每 1 秒取 1 個資料點，共 245760 點，經線性分析得頻率偏移量（Frequency Offset）為-7.5×10^{-11}。顯示 6 萬多秒平均觀測間隔時間（Averaging Time, Second），頻率穩定性以 Overlapping Allan Deviation 表示約 10^{-12}，符合長短期頻率穩定性要求，原子鐘校正報告如附錄 1。

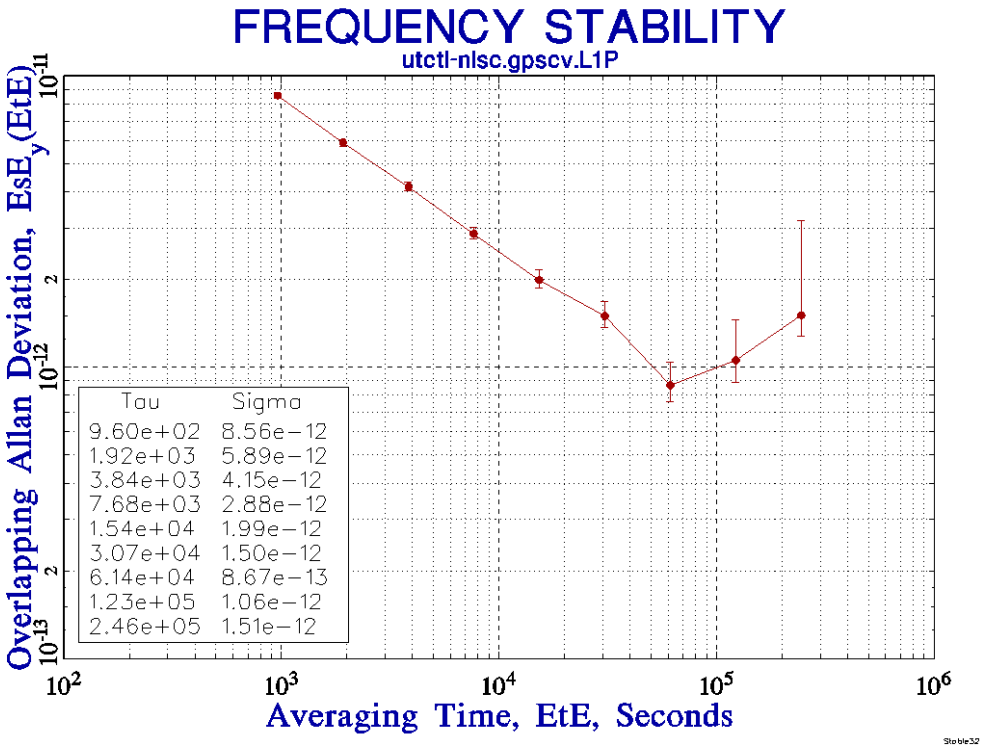


圖 4-1　LS08 衛星定位儀頻率校正結果

第二節、原子鐘對精密單點定位精度的影響

PPP 是利用高精度的衛星星曆和衛星時鐘差，以及單台接收儀的雙頻載波相位觀測值進行定位，再利 IGS 所提供的精密星曆，實現了全球都可以使用高精度定位結果，因此，精密單點定位在目前高精度的測量工程和動態導航定位都具有無可限量的應用前景，且隨著 GLONASS、Galileo 與 Compass 等全球導航定位系統相繼投入，可以預見未來精密單點定位在導航及定位領域上，將帶來一次新的技術革命。

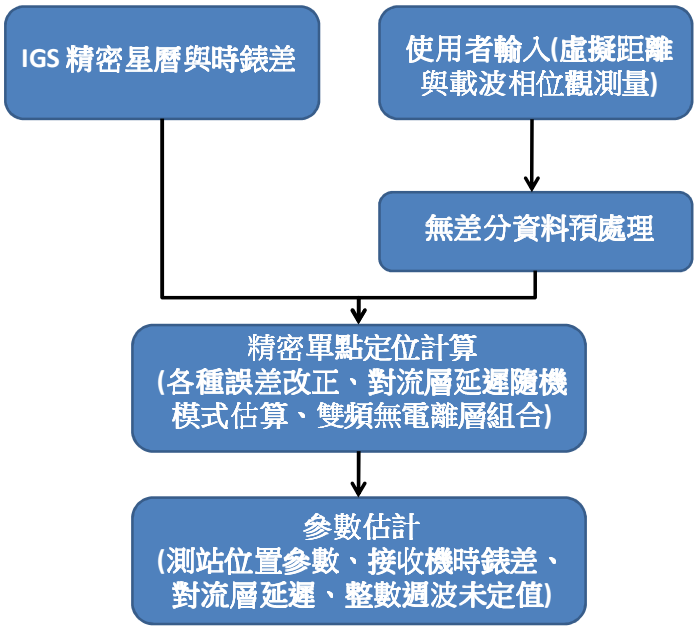


圖 4-2　精密單點定位演算法資料處理流程

一、資料蒐集及工具介紹

接收儀時錶差為影響精密單點定為之因素之一，一般接收儀內所安裝石英鐘精度約 10^{-8}~10^{-9}，而本實驗室所購置的銣原子鐘精度為 10^{-12}，為了解前述 2 種時間及頻率來源對 PPP 定位精度影響，吾人於 101 年 8 月 5 日在國土測繪中心校正場，蒐集校正基點之觀測資料，每 15 秒紀錄 1 筆資料，共計 24 小時，並使用分流器將同一天線盤接收資料分流至相同廠牌及型號（TOPCON NETG3）但不同接收儀主機。資料蒐集及處理流程如附圖 4-3，其中以外部原子鐘為參考時頻來源的資料以 LS08 命名，以內部石英鐘為參考時頻來源的資料以 NE18 命名。

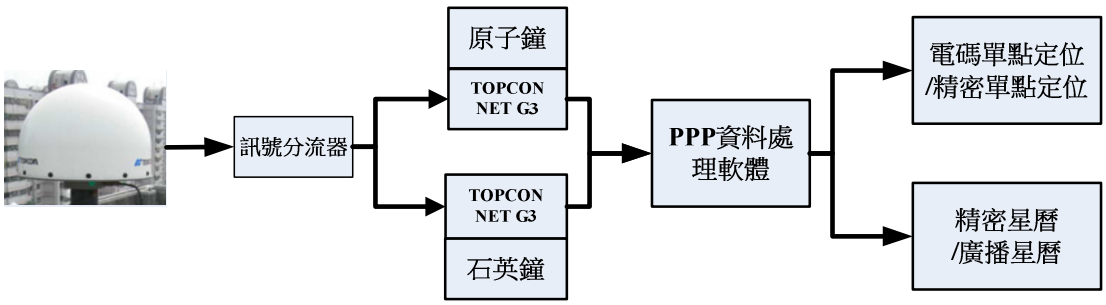


圖 4-3　資料蒐集及處理示意圖

本研究所使用 PPP 處理軟體為國土測繪中心委託成功大學在 98 年度所開發之處理精密單點定位靜態與動態的 GPS 解算軟體，其功能主要包含 PPP 觀測資料輸入與輸出設定及解算坐標結果，因本次實驗資料型態為靜態模式，故僅進行靜態測試。

該軟體可獨立在 Windows 作業系統執行，如圖 4-4 所示，當開啟主程式之後，即進入主視窗系統畫面，內容包含選單系統、設定參數、處理模式、視窗縮放及求助等下拉式選單可供選擇。

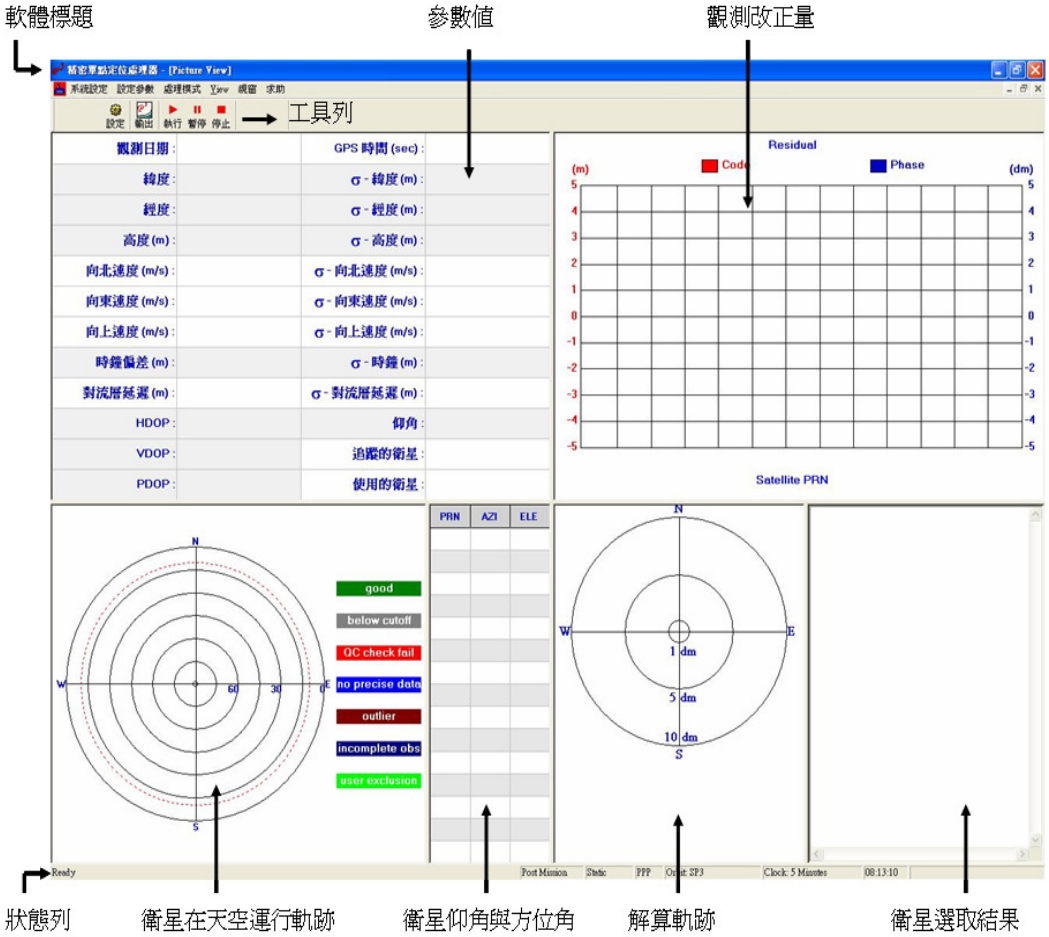


圖 4-4　精密單點定位處理器主視窗系統畫面

二、SPP 及 PPP 在靜態定位精度分析

一般導航設備多接收單頻衛星訊號，且通常用於需要快速得到定位成果的狀況，因此吾人先使用廣播星曆及單頻資料以 SPP 方式對 LS08 及 NE18 觀測資料(24HR)進行定位精度分析，計算結果如圖 4-5 及 4-6 所示，其成果顯示兩者之定位結果無明顯差異，其經度、緯度及高程方向的均方根（Root Mean Square, RMS）皆約為 2.3 公尺、0.5 公尺及 18.6 公尺，因此可推斷使用外掛原子鐘或內部石英鐘為時頻參考源的觀測資料，以單頻資料配合廣播星曆在 SPP 解算方法的定位精度無明顯差別。

故吾人改使用雙頻資料配合精密星曆以 PPP 解算方式對 LS08 及 NE18 進行分析，計算結果如圖 4-7 及 4-8 所示，NE18（時頻參考內部石英鐘）的 RMS 在緯度方向約為 0.2 公尺、經度方向約為 0.4 公尺及高程方向約為 0.7 公尺；改使用 LS08（時頻參考外掛原子鐘）後，其均方根 RMS 在緯度方向約為 0.06 公尺、經度方向約為 0.12 公尺及高程方向約為 0.14 公尺，顯示以外掛原子鐘作為時頻參考源對 PPP 定位精度有明顯提升，平面方向約提升 3 倍、高程方向約提升 5 倍。

觀察圖 4-9 發現，部分時段(如 13800 秒及 69000 秒附近)，因衛星升降造成點位精度因子（Position Dilution of Precision, PDOP）值變化較大，再分別對照圖 4-7 及 4-8，發現以內部石英鐘作為時頻參考的定位誤差，受 PDOP 值變化影響較為顯著，然而使用外掛原子鐘作為時頻參考的定位誤差，則不受 PDOP 值變化的影響，顯示以外掛原子鐘為時頻參考不僅可提升定位精度且具有較高的定位穩定性。

PPP 在解算過程會以多項式方式估算接收儀時錶漂移，圖 4-10 為使用內部石英鐘為時頻參考源的接收移時錶漂移，由該圖可看出其接收儀時錶漂儀具有週期性，經分析其週期約 7-8 小時，顯示雖然計算過程中使用精密星曆，但其周期性與一般廣播星曆 2 小時更新 1 次資料似乎有倍數關係，顯示以內部石英鐘為時頻參考源的觀測資料進行定位計算時，其時錶漂移估算仍須透

過廣播星曆；而圖 4-11 顯示，以外部原子鐘為時頻參考源的觀測資料進行定位計算時，其時錶漂移則無周期性，與時間成一次線性關係。

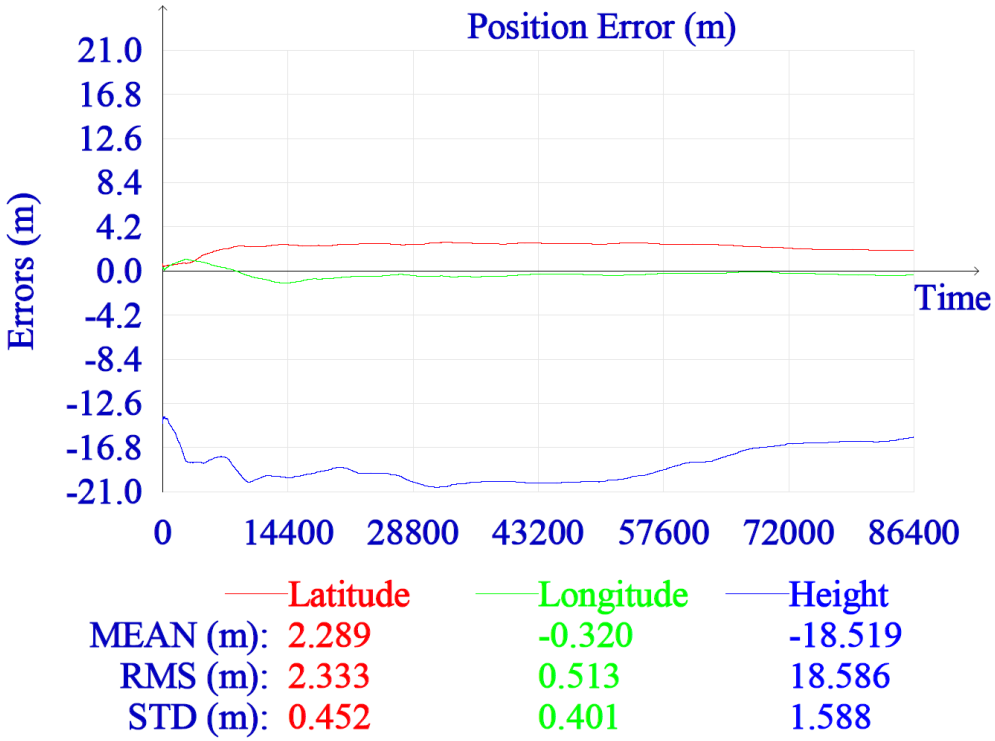


圖 4-5　使用 SPP 方式對 NE18 進行定位分析

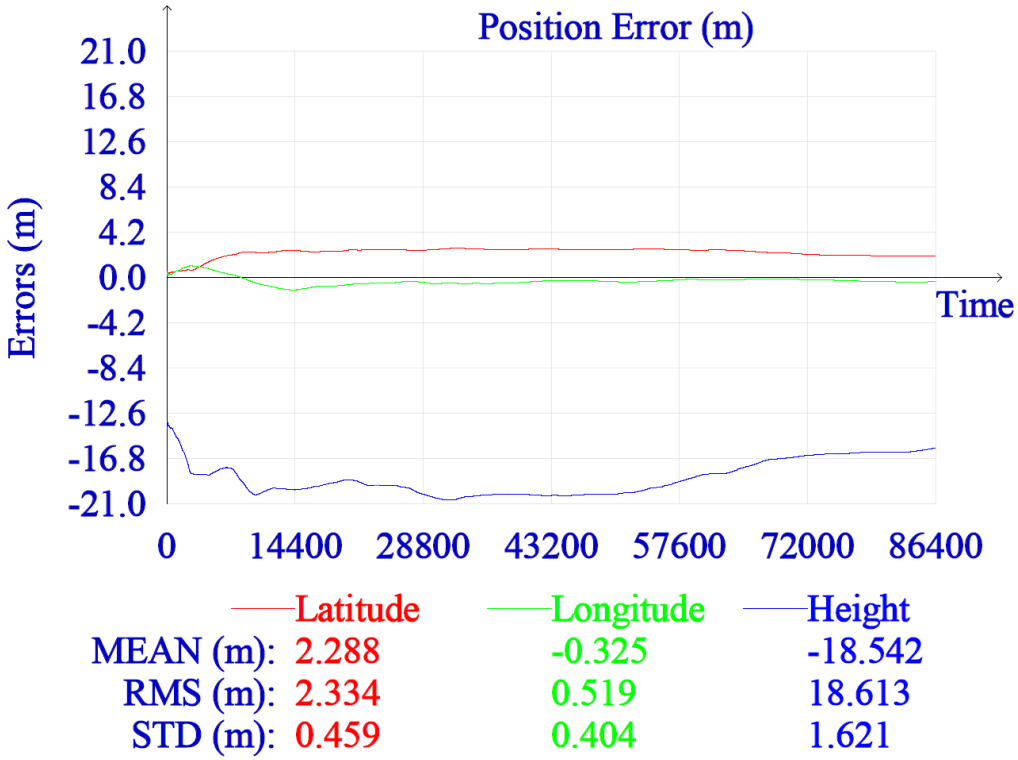


圖 4-6　使用 SPP 方式對 LS08 進行定位分析

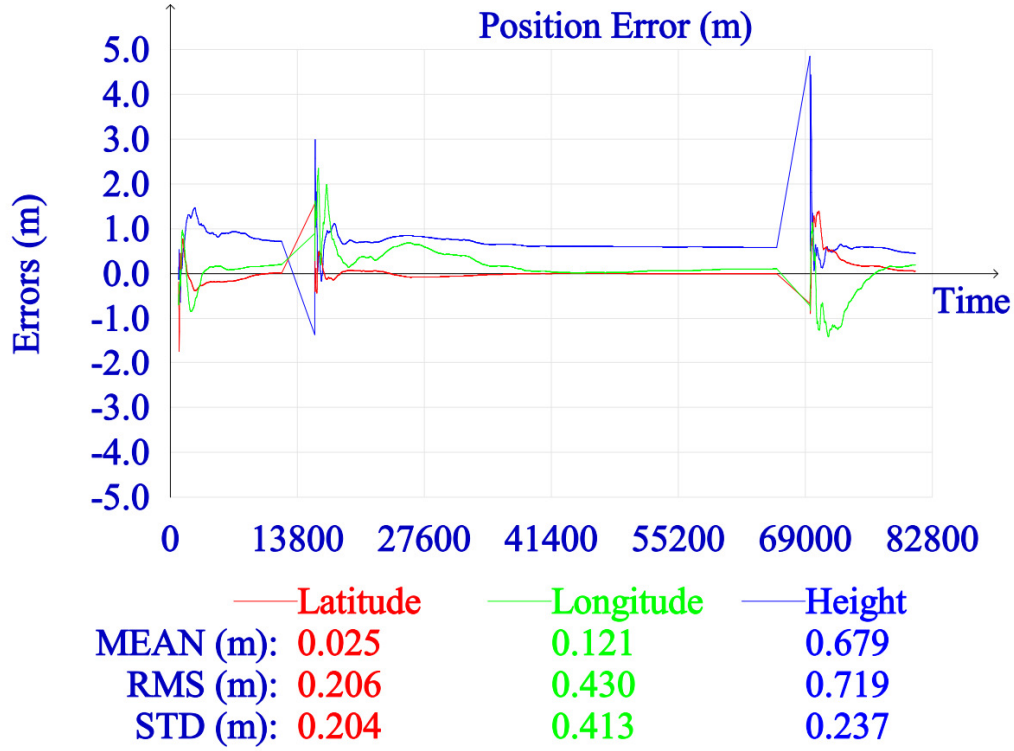


圖 4-7　使用 PPP 方式對 NE18 進行定位分析

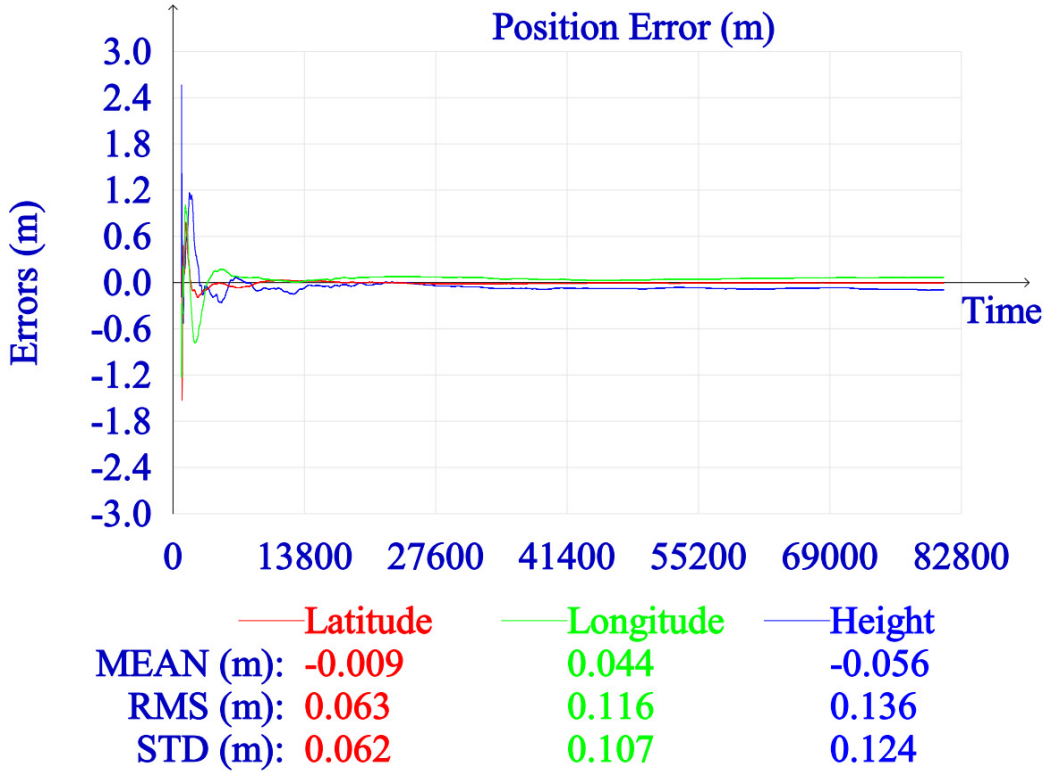


圖 4-8　使用 PPP 方式對 LS08 進行定位精度分析

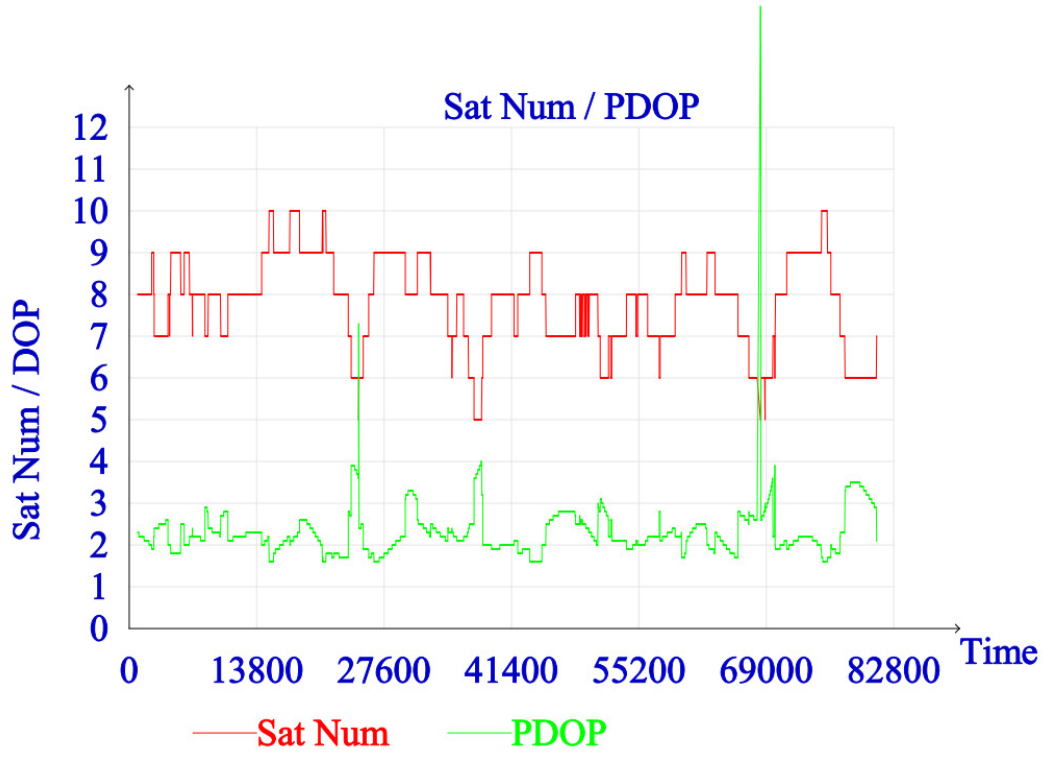


圖 4-9　LS08 及 NE18 之衛星顆數及 PDOP 值示意圖

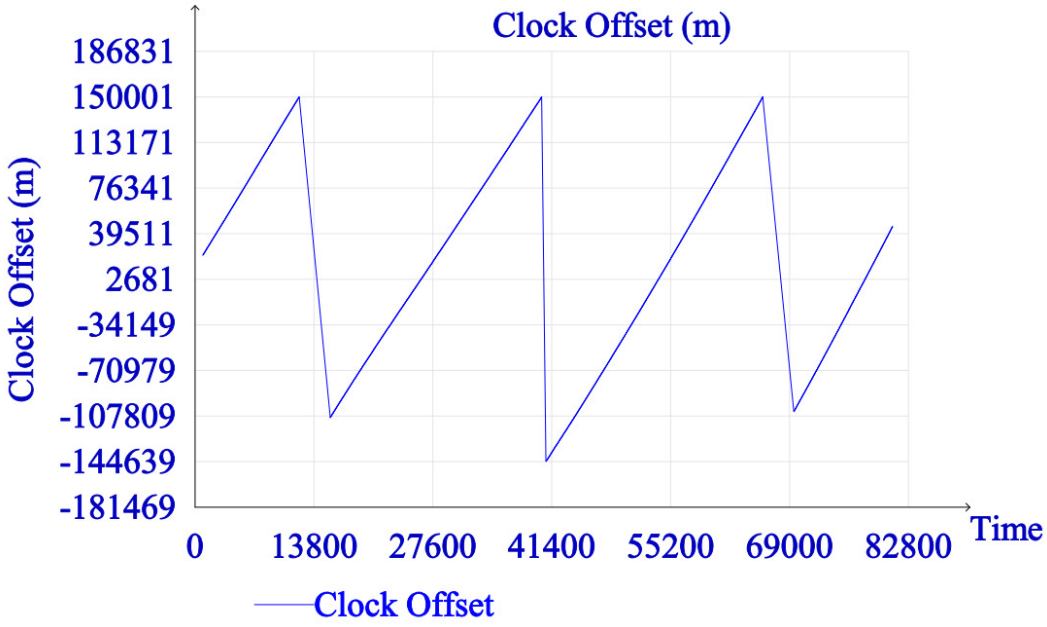


圖 4-10　NE18 時錶漂移估算(PPP、精密星曆)

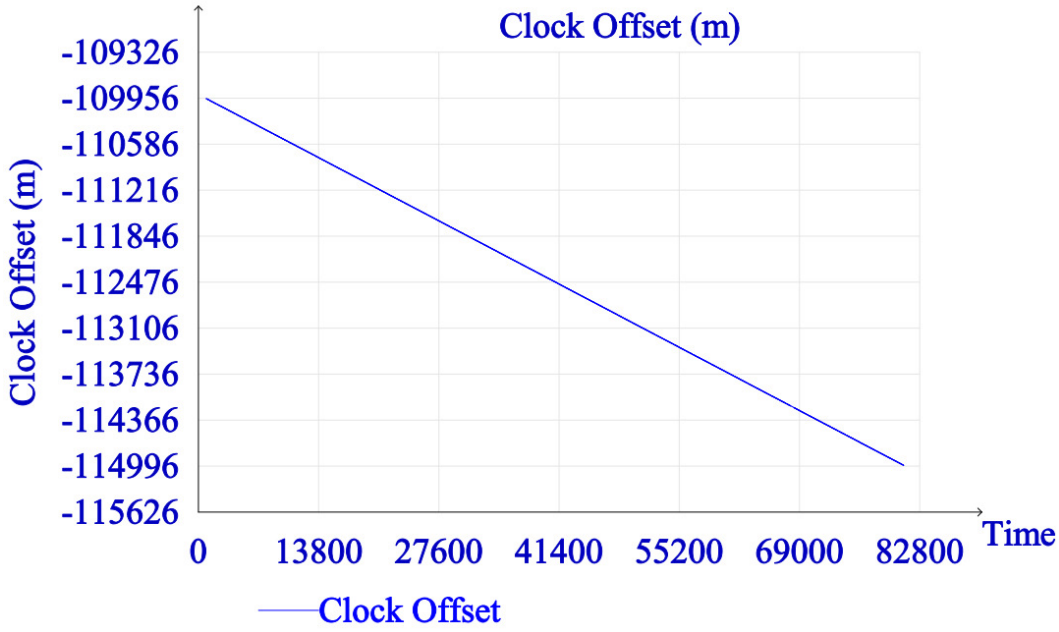


圖 4-11　LS08 時錶漂移估算(PPP、精密星曆)

第三節、原子鐘對靜態相對定位精度的影響

相對定位為 GPS 目前最常用，精度也是最高的一種衛星定位方式，本系統亦是用靜態相對定位的方法來進行衛星定位儀的校正工作，因此使用接收儀內部石英鐘或外掛原子鐘作為時頻參考對靜態相對定位精度的影響，是我們非常關心的課題，以下將針對不同觀測時段及相同觀測時段，分別以 2 種時頻參考源的資料來進行靜態相對定位精度的重現性分析：

一、不同時間段觀測資料

分別以 TNML 及 TCMS 為參考固定站，以不同時間段且觀測長時間的資料，計算固定基點 LS08 到 TNML 及 TCMS 兩條基線長度，推算 2 組 LS08 的 ITRF2000 坐標，分析其定位坐標重現性。

吾人在 2008 年第 317 日到 2009 年第 63 日期間與 2012 年第 2 日到同年第 112 日期間，蒐集 LS08 的觀測資料，第 1 個時間段以內部石英鐘為時頻參考源，第 2 個時間段則以外掛原子鐘為時頻參考源，2 個時間段分別取 66 天及 56 天的觀測資料進行計算分析。

計算結果顯示，固定 TNML 及 TCMS 為參考站的 LS08 坐標，

以內部石英鐘及外掛原子鐘為時頻參考源的三軸向標準差如表 4-1 所示，時頻參考外掛原子鐘比時頻參考內部石英鐘的定位精度，在 XYZ 三個軸項皆放大約 1mm，此結果與吾人所預期的狀況不一致，一般而言，時頻參考外掛原子鐘會比內部石英鐘有較高的穩定度，對於衛星與接收儀時間不同步所造成的定位誤差應有一定程度的改善，但以本次計算結果來看並非如此，推斷可能是因為衛星定位受天候影響頗高，若要以不同時間段的觀測資料來分析，建議以更長時間的資料來消除環境的影響。前述 2 個時間段觀測資料所計算得之各組 LS08 坐標值減去平均值後之較差量折線圖如圖 4-12 至圖 4-15。

表 4-1　不同時間段 LS08 靜態相對定位之三軸向標準差

時間及頻率參考源	固定參考站	X 軸標準差 σ_X（m）	Y 軸標準差 σ_Y（m）	Z 軸標準差 σ_Z（m）	觀測時間段（DOY）
內部石英鐘	TNML	2.35	4.70	3.09	2008 317 到 2009 063
	TCMS	2.61	4.92	4.38	
外掛原子鐘	TNML	2.43	3.93	2.82	2012 002 到 2012 112
	TCMS	2.82	4.97	4.13	

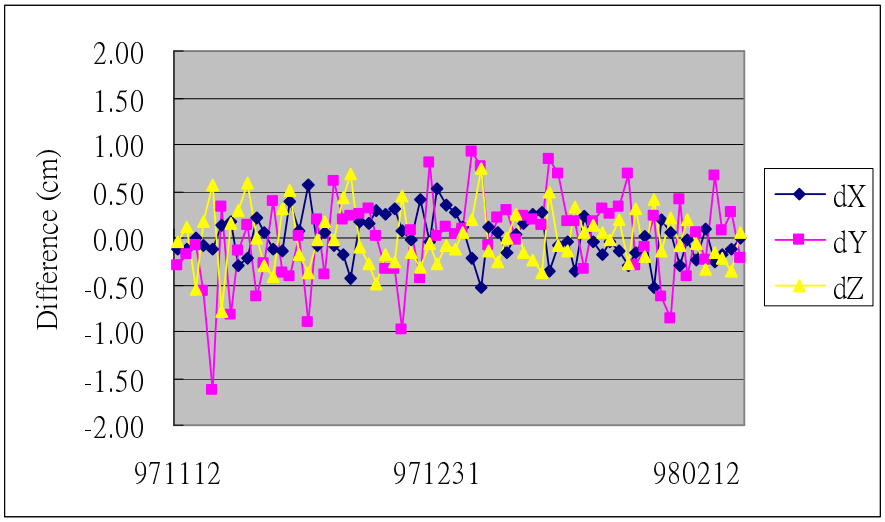


圖 4-12　不同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TNML，時頻參考石英鐘)

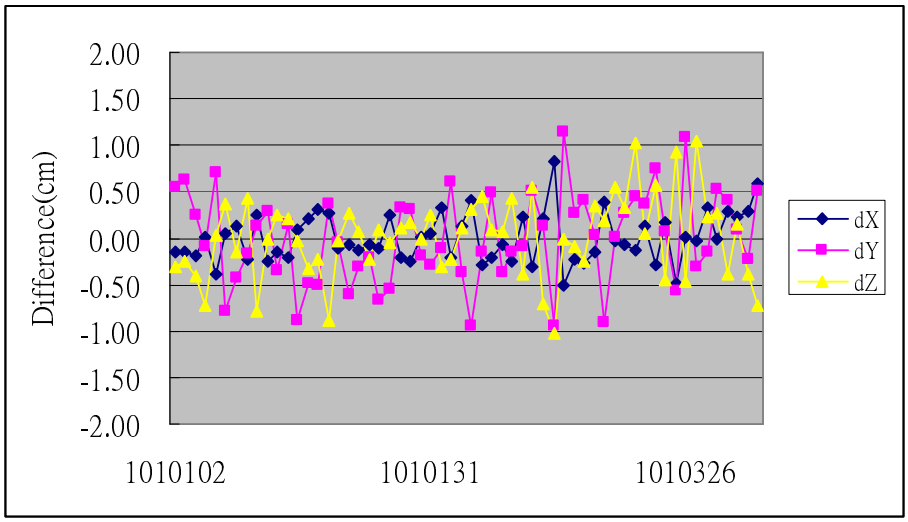


圖 4-13　不同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TNML，時頻參考原子鐘)

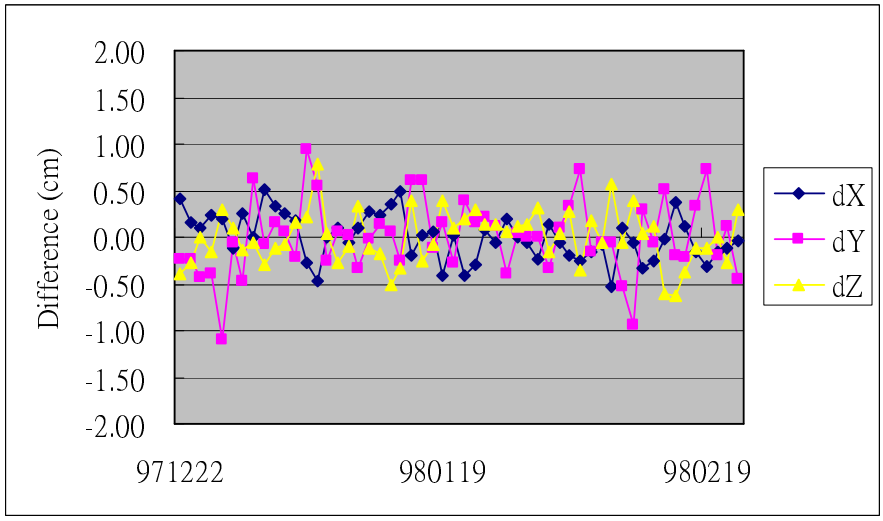


圖 4-14　不同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TCMS，時頻參考石英鐘)

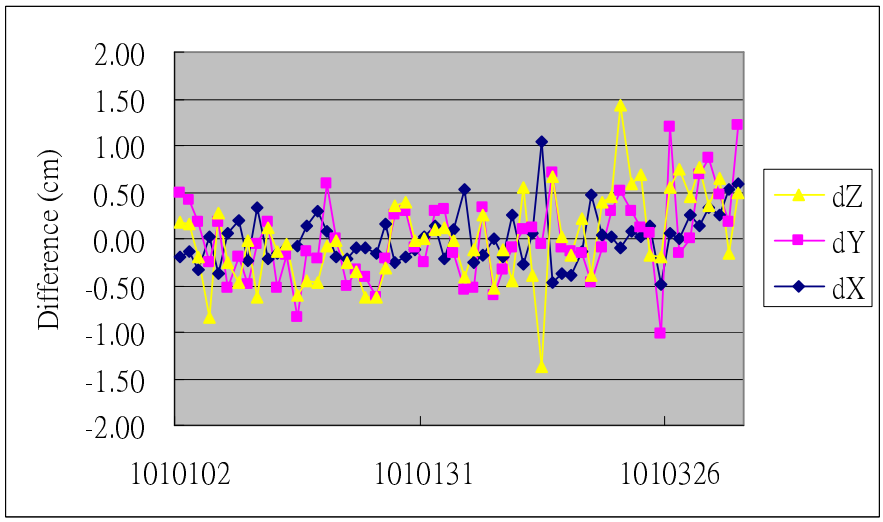


圖 4-15　不同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TCMS，時頻參考原子鐘)

二、相同時間段觀測資料

探討完不同時間段觀測資料的定位結果，為了更進一步瞭解不同時頻參考源對定位精度的影響，吾人再分析相同時間段，分別以內部石英鐘及外掛原子鐘為時頻參考源的觀測資料，固定 TCMS 及 TWTF 為參考站，分別計算 2 組觀測資料所得之 LS08 到固定參考站的距離，推算 LS08 的 ITRF2000 坐標。

為取得同時段的資料，將 LS08 天線盤的訊號以分流器接到相同廠牌及型號的 2 部衛星接收儀，時頻參考分別為內部石英鐘及外掛原子鐘，資料蒐集方式如圖 4-16 所示，針對 2012 年第 218 日到第 224 日共 7 天的觀測資料，進行定位坐標重現性分析。

結果顯示，固定 TCMS 為參考站，以內部石英鐘為時頻參考之觀測資料定位結果，LS08 三軸向坐標標準差分別為 $\sigma_x = 0.008m$ 、$\sigma_y = 0.018m$ 及 $\sigma_z = 0.013m$ ；以原子鐘為時頻參考的觀測資料定位結果，LS08 三軸向坐標標準差分別為 $\sigma_x = 0.007m$ 、$\sigma_y = 0.016m$ 及 $\sigma_z = 0.010m$，以時頻參考外掛原子鐘與內部石英鐘的觀測資料相比，定位結果之三軸向標準差分別提升了 0.001m、0.002m 及 0.003m。

另外固定 TWTF 為參考站，以內部石英鐘為時頻參考之觀測資料定位結果，LS08 三軸向坐標標準差分別為 $\sigma_x = 0.005m$ 、$\sigma_y = 0.007m$ 及 $\sigma_z = 0.010m$；以原子鐘為時頻參考的觀測資料定位結果，LS08 三軸向坐標標準差分別為 $\sigma_x = 0.005m$ 、$\sigma_y = 0.006m$ 及 $\sigma_z = 0.011m$ ，以時頻參考外掛原子鐘與內部石英鐘的觀測資料相比，以三軸向標準差而言，x 方向沒有改變、y 方向提升了 0.001m、z 方向降低了 0.001m。

綜上所述，相同時間段觀測資料，大部分以外掛原子鐘作為時頻參考源相較於以內部石英鐘為時頻參考源的觀測資料，其靜態相對定位精度有所提升，約在 1~3 個 mm 的範圍內。上述 2 組資料計算結果坐標值減去平均值後之較差量折線圖如圖 4-17 至圖 4-20，LS08 坐標三軸向標準誤差統計結果如表 4-2。

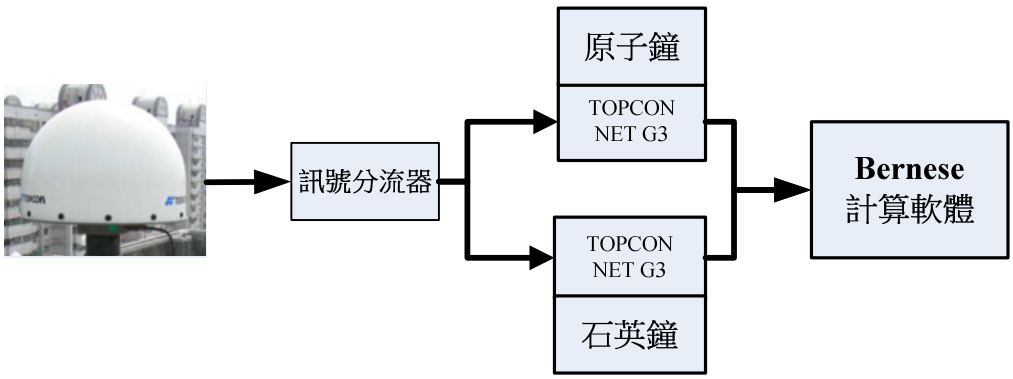


圖 4-16　相同時間段相對定位分析資料蒐集及計算方式

表 4-1　相同時間段 LS08 靜態相對定位之三軸向標準差

時間及頻率參考源	固定參考站	X 軸標準差 σ_X（m）	Y 軸標準差 σ_Y（m）	Z 軸標準差 σ_Z（m）	觀測時間段（DOY）
內部石英鐘	TCMS	0.008	0.018	0.013	2012 218 到 2012 224
	TWTF	0.007	0.016	0.010	
外掛原子鐘	TCMS	0.005	0.017	0.010	
	TWTF	0.005	0.006	0.011	

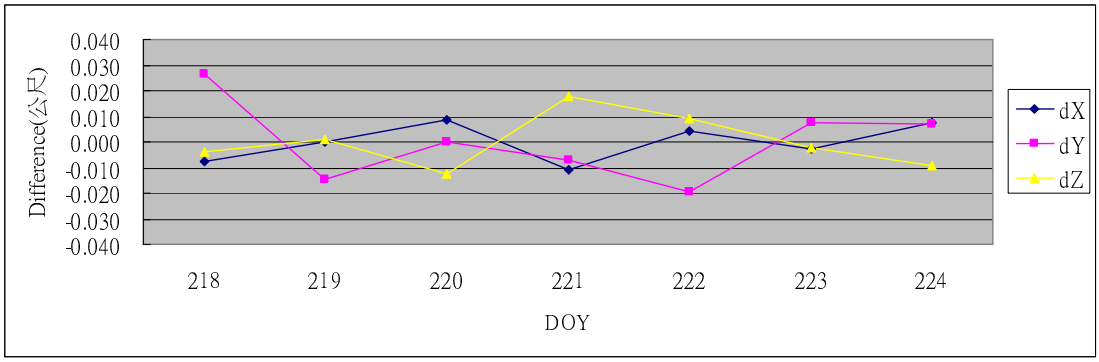


圖 4-17　相同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TCMS，時頻參考原子鐘）

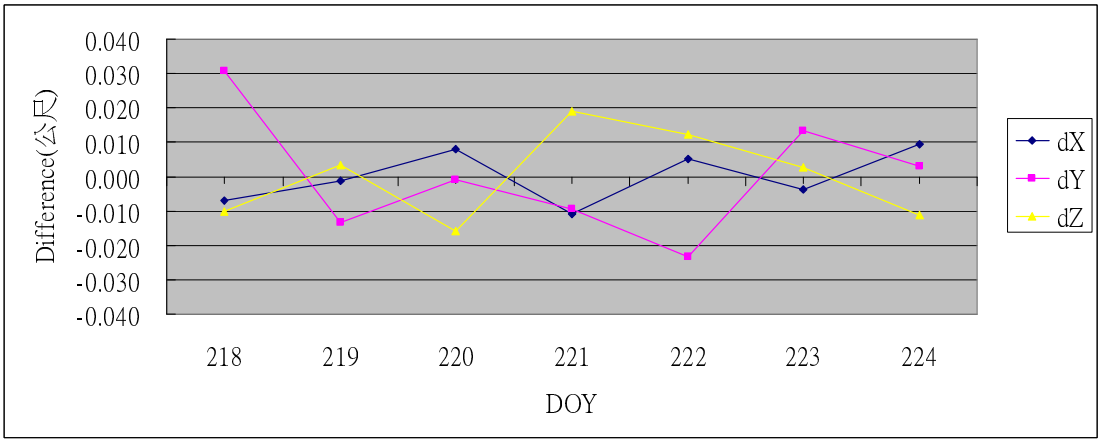


圖 4-18 相同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TCMS，時頻參考石英鐘)

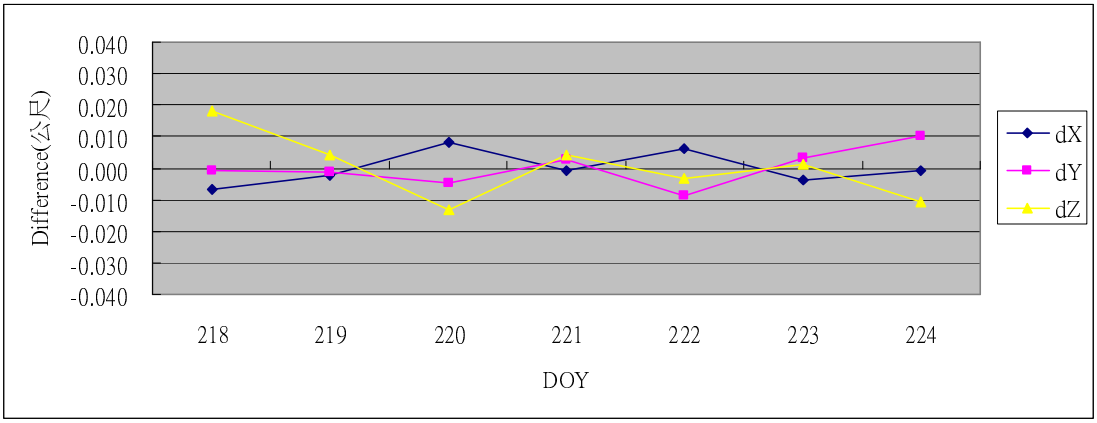


圖 4-19 相同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TWTF，時頻參考原子鐘)

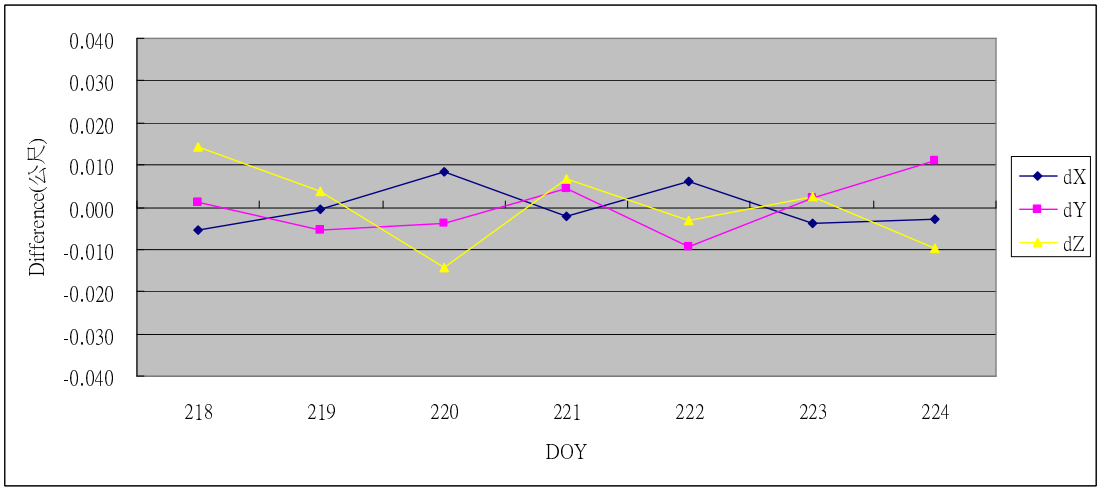


圖 4-20 相同時間段 LS08 坐標較差折線圖（固定 TWTF，時頻參考石英鐘)

第四節、原子鐘對衛星定位儀校正作業系統的影響

本實驗室的原子鐘裝置於固定基點 LS08 之標準件上，為瞭解原子鐘對於本系統校正能力的影響，最直接的方法就是辦理系統評估，分析與計算各種不確定度來源、標準不確定度、組合標準不確定度、擴充不確定度及校正與量測能力。以下將分別分析以衛星定位儀內部石英鐘與外部原子鐘作為參考時間及頻率來源之系統評估，並計算校正與量測能力。

一、量測不確定度（依第三章第四節方法及流程進行評估）

（一）建立量測系統模式

本系統以靜態相對定位作為校正測量方法，簡單的說就是求解兩測站之間相對位置的一種定位方法，其目的就是從已知坐標之參考點推求出未知點的坐標。假設在某一坐標

系中參考測站 A 的位置向量為已知，可利用 GPS 衛星決定出在相同坐標系中兩點間的基線向量，而根據向量方程式：

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

則可求得在相同坐標系中未知測站 B 的位置向量 R_B。而坐標 B 組合不確定度 $u_B = \left[u(R_A)^2 + u(\Delta R_{AB})^2\right]^{1/2}$，式中 $u(R_A)$ 表示已知點坐標之組合不確定度；$u(\Delta R_{AB})$ 表示已知點與未知點間向量之組合不確定度。若測站 A 為約制點，將視 $u(R_A)$ 為 0，則 $u_B = u(\Delta R_{AB})$。表示 B 點坐標的誤差來源皆由基線向量誤差而來，即 $u(\Delta R_{AB})$ 為相對定位之各項誤差來源的集合。

（二）不確定度來源

本系統誤差的主要來源有：量測定位重複性、整置定平及定心、相位中心偏移量、IGS 衛星軌道、氣象修正模式及改正、來自一級追溯值及衛星定位儀頻率等，皆為彼此獨立不相關，其中來自衛星定位儀頻率的不確定度來源僅於以外掛原子鐘作為時間及頻率參考來源時納入，若以衛星定位儀內部石英鐘作為時間及頻率參考來源，則不納入。依據 ISO-GUN 指引，前述誤差來源僅量測定位重複性之標準不確定度值屬 A 類；其餘之標準不確定度值皆屬 B 類。為便於分析與探討，分別定義以接收儀內部石英鐘（Quartz Clock）為時間參考頻率來源的參數及以外掛原子鐘（Atomic Clock）為時間及頻率參考來源的參數，不確定度來源分別以以 x_{Qi} 及 x_{Ai} 表示，標準不確定度分別以 $u(x_{Qi})$ 及 $u(x_{Ai})$ 表示，其中下標 Q 代表石英鐘、A 代表原子鐘，如表 4-5 及表 4-6。

表 4-5 不確定度分析參數表（**時間及頻率源：內部石英鐘**）

項目 \ 基線	超短基線		中基線			
	LS01~LS07 至 LS08		LS01~LS07 至 TNML		LS01~LS07 至 TCMS	
	不確定度來源	標準不確定度	不確定度來源	標準不確定度	不確定度來源	標準不確定度
量測定位重複性	x_{Q1}	$u(x_{Q1})$	x_{Q7}	$u(x_{Q7})$	x_{Q13}	$u(x_{Q13})$
整置定平及定心	x_{Q2}	$u(x_{Q2})$	x_{Q8}	$u(x_{Q8})$	x_{Q14}	$u(x_{Q14})$
相位中心偏移量	x_{Q3}	$u(x_{Q3})$	x_{Q9}	$u(x_{Q9})$	x_{Q15}	$u(x_{Q15})$
IGS 衛星軌道	x_{Q4}	$u(x_{Q4})$	x_{Q10}	$u(x_{Q10})$	x_{Q16}	$u(x_{Q16})$
氣象修正模式及改正	x_{Q5}	$u(x_{Q5})$	x_{Q11}	$u(x_{Q11})$	x_{Q17}	$u(x_{Q17})$
來自一級追溯值	x_{Q6}	$u(x_{Q6})$	x_{Q12}	$u(x_{Q12})$	x_{Q18}	$u(x_{Q18})$

表 4-6 不確定度分析參數表（**時間及頻率源：外部原子鐘**）

項目 \ 基線	超短基線		中基線			
	LS01~LS07 至 LS08		LS01~LS07 至 TNML		LS01~LS07 至 TCMS	
	不確定度來源	標準不確定度	不確定度來源	標準不確定度	不確定度來源	標準不確定度
量測定位重複性	x_{A1}	$u(x_{A1})$	x_{A8}	$u(x_{A8})$	x_{A15}	$u(x_{A15})$
整置定平及定心	x_{A2}	$u(x_{A2})$	x_{A9}	$u(x_{A9})$	x_{A16}	$u(x_{A16})$
相位中心偏移量	x_{A3}	$u(x_{A3})$	x_{A10}	$u(x_{A10})$	x_{A17}	$u(x_{A17})$
IGS 衛星軌道	x_{A4}	$u(x_{A4})$	x_{A11}	$u(x_{A11})$	x_{A18}	$u(x_{A18})$
氣象修正模式及改正	x_{A5}	$u(x_{A5})$	x_{A12}	$u(x_{A12})$	x_{A19}	$u(x_{A19})$
來自一級追溯值	x_{A6}	$u(x_{A6})$	x_{A13}	$u(x_{A13})$	x_{A20}	$u(x_{A20})$
衛星定位儀頻率	x_{A7}	$u(x_{A7})$	x_{A14}	$u(x_{A14})$	x_{A21}	$u(x_{A21})$

（三）標準不確定度及自由度

計算標準不確定度及自由度的方法隨不確定度來源分類的不同所有差異，本研究中 A 類標準不確定度係利用統計分析而得，對應的自由度$\nu = n - 1$，其中 n 為樣本數；B 類

標準不確定度係則以估計變異值 H 及誤差之機率分布形式推估（如表 4-7），自由度以估計其相對不確定性查表而得（如表 4-8）。

表 4-7 機率分配函數與標準差的對應關係

機率分配	標準不確定度
1.U 型分配	$\frac{H}{\sqrt{2}}$
2.矩形分配	$\frac{H}{\sqrt{3}}$
3.三角形分配	$\frac{H}{\sqrt{6}}$
4.常態分配	$\frac{H}{\sqrt{9}}$

表 4-8 相對不確定性與自由度的對應關係

相對不確定性 $R\%$	自由度 $v \approx \frac{1}{2}\left[\frac{100}{R}\right]^2$
10％	50
20％	12.5
25％	8
33％	4.5
50％	2

1. 量測定位重複性

以架設於固定基點 LS08 上標準漸得觀測資料為分析數據來源，分別計算以接收儀內部石英鐘為及外掛原子鐘為時頻參考源的超短基線與中基線量測定位重複性，進而推求對應之標準不確定度及自由度。

(1)LS01~LS07 至 LS08（**時間及頻率源：內部石英鐘**）

各校正基點於 2008 年 11 月至隔年 2 月間，整置衛星定位儀，計算各校正基點相對於 LS08 的基線長度，以天為單位，各點分別計算 14 天，獲得各校正基點之 ITRF2000 地心坐標，並分析各校正基點三軸向標準差、基線長標準差及單向度標準差如表

4-9。綜整校正基點連續觀測定位成果，取表 4-9 中單向度標準差之最大值$\sigma_{Q1}=1.12mm$，作為校正基點量測定位重複性標準不確定度$u(xQ_1)=1.12mm$，自由度$\nu_{Q1}=3\times(14-1)=39$。

表 4-9　各校正基點相對於 LS08 之三軸向標準差**（時間及頻率源：內部石英鐘）**

點位	X軸向標準差 σ_X(mm)	Y軸向標準差 σ_Y(mm)	Z軸向標準差 σ_Z(mm)	基線長標準差 σ_S(mm)	單向度標準差$\sigma_{Q1}=[(\sigma_X^2+\sigma_Y^2+\sigma_Z^2)/3]^{1/2}$ (mm)
LS01	1.02	1.06	0.73	1.04	0.95
LS02	0.80	0.47	0.33	0.76	0.57
LS03	1.05	1.48	0.69	0.61	**1.12**
LS04	0.46	0.55	0.60	0.64	0.54
LS05	0.77	0.72	0.46	0.67	0.67
LS06	0.76	1.10	0.68	0.31	0.87
LS07	0.26	0.58	0.41	0.44	0.43

(2)LS01~LS07 至 TNML**（時間及頻率源：內部石英鐘）**

固定基點 LS08 於 2008 年第 317 日起至 2009 年第 63 日期間，整置衛星定位儀，以天為單位，共擷取 66 天完整資料，計算 LS08 相對於 TNML 的基線長度，獲得 66 組 LS08 之 ITRF2000 地心坐標。取 LS08 相對於 TNML 之量測定位重複性單向度標準差為校正基點量測定位重複性之標準不確定度$u(x_{Q7})=3.52mm$，自由度$\nu_{Q7}=3\times(66-3)=195$。

表 4-10　LS08 相對於 TNML 之三軸向標準差**（時間及頻率源：內部石英鐘）**

點位	X軸向標準差 σ_X(mm)	Y軸向標準差 σ_Y(mm)	Z軸向標準差 σ_Z(mm)	基線長標準差 σ_S(mm)	單向度標準差$\sigma_{Q2}=[(\sigma_X^2+\sigma_Y^2+\sigma_Z^2)/3]^{1/2}$ (mm)
LS08	2.35	4.70	3.09	3.85	3.52

(3)LS01~LS07 至 TCMS（**時間及頻率源：內部石英鐘**）

固定基點 LS08 於 2008 年第 317 日起至 2009 年第 63 日期間，整置衛星定位儀，計算 LS08 相對於 TCMS 的基線長度，以天為單位，共計算 54 天，獲得 54 組 LS08 之 ITRF2000 地心坐標。取 LS08 相對於 TCMS 之量測定位重複性單向度標準差為校正基點量測定位重複性標準不確定度 $u(x_{Q13}) = 3.13mm$ ，自由度 $\nu_{Q13} = 3\times(66-3) = 195$ 。

表 4-11　LS08 相對於 TCMS 之三軸向標準差（**時間及頻率源：內部石英鐘**）

點位	X軸向標準差 σ_X(mm)	Y軸向標準差 σ_Y(mm)	Z軸向標準差 σ_Z(mm)	基線長標準差 σ_S(mm)	單向度標準差$\sigma_{Q3} = [(\sigma_X^2+\sigma_Y^2+\sigma_Z^2)/3]^{1/2}$ (mm)
LS08	2.43	3.93	2.82	3.31	3.13

(4)LS01~LS07 至 LS08（**時間及頻率源：外掛原子鐘**）

各校正基點於 2012 年 1 月至同年 4 月間，整置衛星定位儀，計算各校正基點相對於 LS08 的基線長度，以天為單位，各點分別計算 14 天，獲得各校正基點之 ITRF2000 地心坐標，並分析各校正基點三軸向標準差、基線長標準差及單向度標準差如表 4-12。綜整校正基點連續觀測定位成果，取表 4-12 中單向度標準差之最大值 $\sigma_{A1} = 0.93mm$ ，作為校正基點量測定位重複性標準不確定度 $u(x_{A1}) = 0.93mm$ ，自由度 $\nu_{A1} = 3\times(14-1) = 39$ 。

表 4-12　各校正基點相對於 LS08 之三軸向標準差**（時間及頻率源：外掛原子鐘）**

點位	X軸向標準差 σ_X(mm)	Y軸向標準差 σ_Y(mm)	Z軸向標準差 σ_Z(mm)	基線長標準差 σ_S(mm)	單向度標準差$\sigma_{A1} = [(\sigma_X^2+\sigma_Y^2+\sigma_Z^2)/3]^{1/2}$ (mm)
LS01	0.37	0.53	0.39	0.31	0.44
LS02	0.46	0.95	0.42	0.39	0.66
LS03	0.77	0.67	0.52	0.59	0.66
LS04	0.59	0.95	0.41	0.41	0.69
LS05	0.43	1.09	0.90	0.79	0.85
LS06	0.53	0.85	0.69	0.54	0.70
LS07	0.61	1.29	0.75	0.52	**0.93**

(5)LS01~LS07 至 TNML**（時間及頻率源：外掛原子鐘）**

固定基點 LS08 於 2012 年第 2 日起至同年第 112 日期間，整置衛星定位儀，以天為單位，共擷取 56 天完整資料，計算 LS08 相對於 TNML 的基線長度，獲得 56 組 LS08 之 ITRF2000 地心坐標。取 LS08 相對於 TNML 之量測定位重複性單向度標準差為校正基點量測定位重複性標準不確定度 $u(x_{A7}) = 4.09mm$，自由度 $\nu_{A7} = 3\times(56-3) = 165$。

表 4-13　LS08 相對於 TNML 之三軸向標準差**（時間及頻率源：外掛原子鐘）**

點位	X軸向標準差 σ_X(mm)	Y軸向標準差 σ_Y(mm)	Z軸向標準差 σ_Z(mm)	基線長標準差 σ_S(mm)	單向度標準差$\sigma_{A2} = [(\sigma_X^2+\sigma_Y^2+\sigma_Z^2)/3]^{1/2}$ (mm)
LS08	2.61	4.92	4.38	4.80	4.09

(6)LS01~LS07 至 TCMS**（時間及頻率源：外掛原子鐘）**

固定基點 LS08 於 2012 年第 2 日起至同年第 112 日期間，整置衛星定位儀，以天為單位，共擷取 56 天完整資料，計算 LS08 相對於 TCMS 的基線長度，獲得 56 組 LS08 之 ITRF2000 地心坐標。取 LS08

相對於 TCMS 之量測定位重複性單向度標準差為校正基點量測定位重複性標準不確定度 $u(x_{A7})=4.07mm$，自由度 $\nu_{A7}=3\times(56-3)=165$。

表 4-14　LS08 相對於 TCMS 之三軸向標準差**（時間及頻率源：外掛原子鐘）**

點位	X軸向標準差 σ_X(mm)	Y軸向標準差 σ_Y(mm)	Z軸向標準差 σ_Z(mm)	基線長標準差 σ_S(mm)	單向度標準差$\sigma_{A3}=[(\sigma_X^2+\sigma_Y^2+\sigma_Z^2)/3]^{1/2}$ (mm)
LS08	2.82	4.97	4.13	4.58	4.07

2. 整置定平及定心

本系統以強制定心基樁整置衛星定位儀天線盤，該定心設備於校正場建立時，即以水準管氣泡定平，其定平及定心等誤差，估計其變異量為±0.50mm，誤差屬矩形分布，且此項不確定度來源與接收儀時間及頻率參考來源無關，因此整置定平及定心的標準不確定度 $u(x_{Q2})=u(x_{Q8})=u(x_{Q14})=u(x_{A2})=u(x_{A9})=u(x_{A16})=0.50/3^{1/2}=0.29mm$，估算其相對不確定性為 20%，自由度 $\nu_{Q2}=\nu_{Q8}=\nu_{Q14}=\nu_{A2}=\nu_{A9}=\nu_{A16}=(1/2)\times(20/100)^{-2}=12.5$。

3. 相位中心偏移量

衛星定位測量觀測值，是以定位儀天線盤的相位中心位置為準，而本系統使用天線盤的相位中心與幾何中心偏移量，最大變異量為±0.10mm，誤差屬矩形分布，且此項不確定度來源與接收儀時間及頻率參考來源無關，則相位中心偏移量的標準不確定度 $u(x_{Q3})=u(x_{Q9})=u(x_{Q15})=u(x_{A3})=u(x_{A10})=u(x_{A17})=0.10/3^{1/2}=0.06mm$，估算其相對不確定性為 25%，自由度 $\nu_{Q3}=\nu_{Q9}=\nu_{Q15}=\nu_{A3}=\nu_{A10}=\nu_{A17}=(1/2)\times(25/100)^{-2}=8$。

4. IGS 軌道誤差

GPS 衛星星曆(GPS Satellite Ephemeris)由 IGS 網站取得精密軌道(Final Orbits)，估計其準確度在 5cm 內，對單向度基線所造成的影響量等於 5 cm 除以衛星高度約 20000 km，估計其變異為$\pm 0.003\times 10^{-6}\times D$，誤差屬矩形分布，且此項不確定度來源與接收儀時間及頻率參考來源無關，就 LS01~LS07 至 LS08 而言，平均距離約 18m，將距離 D 以 18m 代入，其影響量為$\pm 0.003\times 10^{-6}\times 18\times 10^{-3}=\pm 0.000054mm$，標準不確定度$u(x_{Q4})=u(x_{A4})=0.000054/3^{1/2}=0.000032mm$；另 LS01~LS07 至 TNML 或 TCMS 間之平均距離皆約為 80km，將距離 D 以 80km 代入，其影響量為$\pm 0.003\times 10^{-6}\times 80\times 10^{-6}=\pm 0.24mm$，標準不確定度$u(x_{Q10})=u(x_{Q16})=u(x_{A11})=u(x_{A18})=0.24/3^{1/2}=0.13mm$，估算其相對不確定性皆為 20%，則自由度$\nu_{Q4}=\nu_{Q10}=\nu_{Q16}=\nu_{A4}=\nu_{A11}=\nu_{A18}=(1/2)\times(20/100)^{-2}=12.5$。

5. 氣象修正模式及改正

與訊號傳播有關的誤差中，電離層延遲誤差與對流層延遲誤差，分別是由訊號傳播路徑上自由電子與空氣折射所致，此誤差可用氣象模式加以修正。本項誤差在相對定位計算過程中大部分已被消除，僅留下殘差對單向度基線所造成的影響量，估計其變異在$\pm 0.002\times 10^{-6}\times D$，此誤差屬矩形分布，且此項不確定度來源與接收儀時間及頻率參考來源無關，就 LS01~LS07 至 LS08 而言，各基樁與 LS08 平均距離約 18m，將距離 D 以 18m 代入，

其影響量為$\pm 0.002\times 10^{-6}\times 18\times 10^{3}=\pm 0.000036mm$，標準不確定度$u(x_{Q5})=u(x_{A5})=0.000036/3^{1/2}=0.000021mm$；另LS01~LS07至TNML或TCMS間之平均距離皆約為80km，將距離D以80km代入，其影響量為$\pm 0.002\times 10^{-6}\times 80\times 10^{-6}=\pm 0.16mm$，標準不確定度$u(x_{Q11})=u(x_{Q17})=u(x_{A12})=u(x_{A19})=0.16/3^{1/2}=0.093mm$，估算其相對不確定性皆為20%，則自由度$\nu_{Q5}=\nu_{Q11}=\nu_{Q17}=\nu_{A5}=\nu_{A12}=\nu_{A19}=(1/2)\times(20/100)^{-2}=12.5$。

6. 來自一級追溯值

本系統標準件係追溯至國家度量衡標準實驗室之校正系統，因此該系統之量測不確定度會傳播至本系統，依據本系統標準件之校正報告及該實驗室靜態及動態定位校正系統評估報告，本系統LS01~LS07至LS08與LS01~LS07至TNML或TCMS之校正組合，在95%信賴水準下之擴充不確定度分別為2.3 mm及14 mm，涵蓋因子皆為2.79，有效自由度及標準不確定度值如下：

$\nu_{Q6}=\nu_{A6}=47.3$、$\nu_{Q12}=\nu_{Q18}=\nu_{A13}=\nu_{A20}=80.9$

$u(x_{Q6})=u(x_{A6})=0.83mm$

$u(x_{Q12})=u(x_{Q18})=u(x_{A13})=u(x_{A20})=0.52mm$。

7. 衛星定位儀頻率

本項不確定度來源僅以外掛原子鐘作為衛星定位儀時間及頻率參考時才會影響校正與量測能力，本系統衛星定位儀標準件外接原子鐘，經追溯至國家時間與頻率標準實驗室，其頻率穩定性約達10^{-12}，符合高精度儀器規格(小於1×10^{-12})，估計其變異在$2mm+0.002\times 10^{-6}\times D$，此

誤差屬矩形分布，且此項不確定度來源與接收儀時間及頻率參考來源無關；就 LS01~LS07 至 LS08 而言，各基樁與 LS08 平均距離約 18m，將距離 D 以 18m 代入，可得其影響量 $2mm + 0.002\times10^{-6}\times18\times10^{3} \approx 2.00mm$，標準不確定度 $u(x_{A7}) = 2.00/3^{1/2} = 1.16mm$；另 LS01~LS07 至 TNML 或 TCMS 間之平均距離皆約為 80km，將距離 D 以 80km 代入，其影響量為 $2mm + 0.002\times10^{-6}\times80\times10^{6} = 2.16mm$，標準不確定度 $u(x_{A14}) = u(x_{A21}) = 2.16/3^{1/2} = 1.25mm$；估算其相對不確定性皆為 10%，則自由度 $\nu_{A7} = \nu_{A14} = \nu_{A21} = (1/2)\times(10/100)^{-2} = 50$。

綜整上述各項不確定度來源之標準不確定度及自由度分析結果，本系統之超短基線與中基線之不確定度分析表，包含使用衛星接收儀內部石英鐘及外掛原子鐘之參考頻率來源結果，彙整如表 4-15 到表 4-20。

表 4-15　校正基點相對於 LS08 之不確定度分析表**（時間及頻率源：內部石英鐘）**

不確定度來源	類別	變異量(a)	除數 (b)	標準不確定度值 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏係數 (d)	標準不確定度分量 (e)= (c) × (d)	自由度
量測定位重複性$u(x_{Q1})$	A	1.12 mm	1	1.12 mm	1	1.12 mm	39
整置定平及定心$u(x_{Q2})$	B	1.00 mm	$\sqrt{3}$	0.58 mm	1	0.58 mm	12.5
相位中心偏移量$u(x_{Q3})$	B	0.30 mm	$\sqrt{3}$	0.18 mm	1	0.18 mm	8
IGS衛星軌道$u(x_{Q4})$	B	0.000054 mm	$\sqrt{3}$	0.000032 mm	1	0.000032 mm	12.5
氣象修正模式及改正$u(x_{Q5})$	B	0.000036 mm	$\sqrt{3}$	0.000021 mm	1	0.000021 mm	12.5
來自一級追溯值$u(x_{Q6})$	B	2.30 mm	2.79	0.83 mm	1	0.83 mm	47.3

表 4-16 校正基點相對於 TNML 之不確定度分析表(**時間及頻率源：內部石英鐘**)

不確定度來源	類別	變異量(a)	除數 (b)	標準不確定度值 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏係數 (d)	標準不確定度分量 (e)= (c) × (d)	自由度
量測定位重複性$u(x_{Q7})$	A	3.52 mm	1	3.52 mm	1	3.52 mm	195
整置定平及定心$u(x_{Q8})$	B	1.00 mm	$\sqrt{3}$	0.58 mm	1	0.58 mm	12.5
相位中心偏移量$u(x_{Q9})$	B	0.30 mm	$\sqrt{3}$	0.18 mm	1	0.18 mm	8
IGS衛星軌道$u(x_{Q10})$	B	0.24 mm	$\sqrt{3}$	0.14 mm	1	0.14 mm	12.5
氣象修正模式及改正 $u(x_{Q11})$	B	0.16 mm	$\sqrt{3}$	0.093 mm	1	0.093 mm	12.5
來自一級追溯值$u(x_{Q12})$	B	14 mm	2.79	5.02 mm	1	5.02 mm	80.9

表 4-17 校正基點相對於 TCMS 之不確定度分析表(**時間及頻率源：內部石英鐘**)

不確定度來源	類別	變異量(a)	除數 (b)	標準不確定度值 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏係數 (d)	標準不確定度分量 (e)= (c) × (d)	自由度
量測定位重複性$u(x_{Q13})$	A	3.13 mm	1	3.13 mm	1	3.13 mm	159
整置定平及定心$u(x_{Q14})$	B	1.00 mm	$\sqrt{3}$	0.58 mm	1	0.58 mm	12.5
相位中心偏移量$u(x_{Q15})$	B	0.30 mm	$\sqrt{3}$	0.18 mm	1	0.18 mm	8
IGS衛星軌道$u(x_{Q16})$	B	0.24 mm	$\sqrt{3}$	0.14 mm	1	0.14 mm	12.5
氣象修正模式及改正 $u(x_{Q17})$	B	0.16 mm	$\sqrt{3}$	0.093 mm	1	0.093 mm	12.5
來自一級追溯值$u(x_{Q18})$	B	14 mm	2.79	5.02 mm	1	5.02 mm	80.9

表 4-18　校正基點相對於 LS08 之不確定度分析表**(時間及頻率源：外掛原子鐘)**

不確定度來源	類別	變異量(a)	除數 (b)	標準 不確定度值 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏 係數 (d)	標準 不確定度分量 (e)= (c) × (d)	自由度
量測定位重複性$u(x_{A1})$	**A**	**0.93 mm**	**1**	**0.93 mm**	**1**	**0.93 mm**	**39**
整置定平及定心$u(x_{A2})$	B	0.50 mm	$\sqrt{3}$	0.29 mm	1	0.29 mm	12.5
相位中心偏移量$u(x_{A3})$	B	0.10 mm	$\sqrt{3}$	0.06 mm	1	0.06 mm	8
IGS衛星軌道$u(x_{A4})$	B	0.000054 mm	$\sqrt{3}$	0.000031 mm	1	0.000031 mm	12.5
氣象修正模式及改正 $u(x_{A5})$	B	0.000036 mm	$\sqrt{3}$	0.000021 mm	1	0.000021 mm	12.5
來自一級追溯值$u(x_{A6})$	B	2.00 mm	2.79	0.72 mm	1	0.72 mm	48
衛星定位儀頻率$u(x_{A7})$	**B**	**2.00 mm**	$\sqrt{3}$	**1.16 mm**	**1**	**1.16 mm**	**50**

表 4-19 校正基點相對於 TNML 之不確定度分析表**(時間及頻率源：外掛原子鐘)**

不確定度來源	類別	變異量(a)	除數 (b)	標準 不確定度值 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏 係數 (d)	標準 不確定度分量 (e)= (c) × (d)	自由度
量測定位重複性$u(x_{A8})$	**A**	**4.09 mm**	**1**	**4.09 mm**	**1**	**4.09 mm**	**165**
整置定平及定心$u(x_{A9})$	B	0.50 mm	$\sqrt{3}$	0.29 mm	1	0.29 mm	12.5
相位中心偏移量$u(x_{A10})$	B	0.10 mm	$\sqrt{3}$	0.06 mm	1	0.06 mm	8
IGS衛星軌道$u(x_{A11})$	B	0.24 mm	$\sqrt{3}$	0.14 mm	1	0.14 mm	12.5
氣象修正模式及改正 $u(x_{A12})$	B	0.16 mm	$\sqrt{3}$	0.093 mm	1	0.093 mm	12.5
來自一級追溯值$u(x_{A13})$	B	14 mm	2.79	5.02 mm	1	5.02 mm	80
衛星定位儀頻率$u(x_{A14})$	**B**	**2.16 mm**	$\sqrt{3}$	**1.25 mm**	**1**	**1.25 mm**	**50**

表 4-20 校正基點相對於 TCMS 之不確定度分析表**（時間及頻率源：外掛原子鐘）**

不確定度來源	類別	變異量(a)	除數 (b)	標準不確定度值 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏係數 (d)	標準不確定度分量 (e)= (c) × (d)	自由度
量測定位重複性$u(x_{A15})$	**A**	**4.07 mm**	**1**	**4.07 mm**	**1**	**4.07 mm**	**165**
整置定平及定心$u(x_{A16})$	B	0.50 mm	$\sqrt{3}$	0.29 mm	1	0.29 mm	12.5
相位中心偏移量$u(x_{A17})$	B	0.10 mm	$\sqrt{3}$	0.06 mm	1	0.06 mm	8
IGS衛星軌道$u(x_{A18})$	B	0.24 mm	$\sqrt{3}$	0.14 mm	1	0.14 mm	12.5
氣象修正模式及改正$u(x_{A19})$	B	0.16 mm	$\sqrt{3}$	0.093 mm	1	0.093 mm	12.5
來自一級追溯值$u(x_{A20})$	B	14 mm	2.79	5.02 mm	1	5.02 mm	80
衛星定位儀頻率$u(x_{A21})$	**B**	**2.16 mm**	$\sqrt{3}$	**1.25 mm**	**1**	**1.25 mm**	**50**

（四）標準組合不確定度及有效自由度

評估了各不確定度來源之標準不確定度及自由度後，吾人可依量測不定度傳遞原理計算組合標準不確定度（公式 3-1），再依 Welch-Satterthwaite 公式計算有效自由度（公式 3-2）。

將表 4-15 內之各項標準不確定度及自由度值，分別代入公式 3-1 及 3-2，可得本系統超短基線以接收儀內部石英鐘的時間及頻率為參考源之組合標準不確定度u_{CQ1}及有效自由度v_{effQ1}：

$$u_{CQ1} = \left(u(x_{Q1})^2 + u(x_{Q2})^2 + u(x_{Q3})^2 + u(x_{Q4})^2 + u(x_{Q5})^2 + u(x_{Q6})^2\right)^{1/2}$$

$$u_{CQ1} = \left[(1.12)^2 + (0.58)^2 + (0.18)^2 + (0.000032)^2 + (0.000021)^2 + (0.83)^2\right]^{1/2} = 1.53mm$$

$$v_{effQ1} = \left(u_{CQ1}\right)^4 \Bigg/ \left(\frac{u(x_{Q1})^4}{v_{Q1}} + \frac{u(x_{Q2})^4}{v_{Q2}} + \frac{u(x_{Q3})^4}{v_{Q3}} + \frac{u(x_{Q4})^4}{v_{Q4}} + \frac{u(x_{Q5})^4}{v_{Q5}} + \frac{u(x_{Q6})^4}{v_{Q6}}\right)$$

$$v_{effQ1} = (1.53)^4 \Bigg/ \left(\frac{1.12^4}{39} + \frac{0.58^4}{12.5} + \frac{0.18^4}{8} + \frac{0.000032^4}{12.5} + \frac{0.000021^4}{12.5} + \frac{0.83^4}{47.3}\right) = 91$$

依相同的方法，再將表 4-16 到 4-20 內之之各項標準不確定度及自由度值，分別代入公式 3-1 及 3-2，可得到各項對應的組合標準不確定度及有效自有度，計算結果彙整如表 4-21。

表 4-21 各基線組合與時頻參考源之標準組合不確定度及有效自由度

基線組合		時間及頻率參考來源	標準組合不確定度	有效自由度
超短基線	校正基點-LS08	石英鐘	$u_{CQ1}=1.53mm$	$v_{effQ1}=91$
		原子鐘	$u_{CA1}=1.68mm$	$v_{effA1}=129$
中基線	LS08-TNML	石英鐘	$u_{CQ2}=6.17mm$	$v_{effQ2}=167$
		原子鐘	$u_{CA2}=6.60mm$	$v_{effA2}=195$
	LS08-TCMS	石英鐘	$u_{CQ3}=5.95mm$	$v_{effQ3}=148$
		原子鐘	$u_{CA3}=6.59$	$v_{effA3}=195$

（五）擴充不確定度

擴充不確定度U係為涵蓋因子k與標準組合不確定度u_c的乘積，其中u_c可從表 4-21 獲得，而k則可由統計 t 分配表查得，吾人評估本系統所有基線組合計算結果之信賴水準皆為 95%，以超短基線配合接收儀內部石英鐘的時間及頻率為參考源的組合為例，其有效自由度$v_{effQ1}=91$，經查表得涵蓋因子$k=1.99$，可得$U_{Q1}=u_{CQ1}\times k_{Q1}=1.53mm\times 1.99=3.04mm\approx 3.1\text{mm}$。

依相同的方法，再將表 4-21 內之之各項組合標準不確定度及有效自由度值，分別查 t 分配表獲得涵蓋因子後，配合公式$U=k\times u_c$，可得到各項對應的擴充不確定度，計算結果彙整如表 4-22。

表 4-22 各基線組合與時頻參考源之涵蓋因子及擴充不確定度

基線組合		時間及頻率參考來源	涵蓋因子 k	擴充不確定度 $U = k \times u_c$
超短基線	校正基點-LS08	石英鐘	k_{Q1}	$U_{Q1} = k_{Q1} \times u_{CQ1} \approx 3.1mm$
		原子鐘	k_{A1}	$U_{A1} = k_{A1} \times u_{CA1} \approx 3.4mm$
中基線	LS08-TNML	石英鐘	k_{Q2}	$U_{Q2} = k_{Q2} \times u_{CQ2} \approx 13mm$
		原子鐘	k_{A2}	$U_{A2} = k_{A2} \times u_{CA2} \approx 14mm$
	LS08-TCMS	石英鐘	k_{Q3}	$U_{Q3} = k_{Q3} \times u_{CQ3} \approx 12mm$
		原子鐘	k_{A3}	$U_{A3} = k_{A3} \times u_{CA3} \approx 14mm$

二、校正與量測能力

以上分別對以接收儀內部石英鐘及外掛原子鐘作為本系統衛星定位儀標準件時間及頻率來源的系統評估，其中包含了超短基線及中基線等 3 個基線組合，共得到 6 組不同情況下的擴充不確定度（表 4-22），以石英鐘作為時頻參考源的評估結果而言，超短基線直接以對應的擴充不確定度作為校正與量測量力，另中基線因其擴充不確定度分別為 12mm 及 13mm，為保守估計，以較大值 13mm 作為校正與量測能力；另以原子鐘作為時頻參考源的評估結果而言，其因中基線的 2 組擴充不確定度相同，故直接以超短基線及中基線之擴充不確定度作為其對應之校正及量測能力。

表 4-23 本系統各時間及頻率參考源與基線組合之校正與量測能力

時間及頻率參考來源	基線組合	參考站	擴充不確定度（mm）	校正與量測能力（mm）
內部石英鐘	超短基線	LS08	3.1	3.1
	中基線	TNML	13	13
		TCMS	12	
外掛原子鐘	超短基線	LS08	3.4	3.4
	中基線	TNML	14	14
		TCMS	14	

第五章、結論與建議

第一節、結論

一、傳統單點定位（SPP）是透過虛擬距離與廣播星曆的衛星軌道參數和時鐘差進行改正。由於虛擬距離的觀測雜訊達數十公分、廣播星曆的軌道精度為數米、衛星時鐘差的改正精度為數十奈秒，加上公尺級的電離層及對流層延遲之影響，這種 SPP 定位之精度只可達十公尺等級。本研究以 24 小時的資料進行 SPP 解算，所得之定位結果，在經度、緯度及高程方向的 RMS 分別為 2.3 公尺、0.5 公尺及 18.6 公尺，其中平面的定位誤差比預期要好，由計算過程的定位誤差收斂情形顯示，定位誤差會隨著觀測時間的增加而逐漸變小，因此本研究得到比預期更好的定位結果，應是以較長時間的觀測數據計算所致。

二、研究結果顯示以接收儀外掛原子鐘提供穩定的時間及頻率參考源，與使用接收儀內部石英鐘作為時間及頻率參考源，對於精密單點定位（PPP）的精度有明顯地改善。以同一天 24 小時的觀測資料，進行 PPP 定位分析，時頻參考源為原子鐘的觀測資料定位結果，在經度、緯度及高程方向的 RMS 分別為 0.06 公尺、0.12 公尺及 0.14 公尺；時頻參考源為石英鐘的觀測資料定位結果，在經度、緯度及高程方向的 RMS 分別為 0.2 公尺、0.4 公尺及 0.7 公尺，顯示在經緯度方向及高程方向以原子鐘作為時頻參考的定位誤差遠小於以石英鐘作為時頻參考的定位誤差，即以衛星定位儀外掛原子鐘提供穩定的時間及頻率參考源可獲得較高的 PPP 定位精度。

三、PPP 在解算過程以多項式方式估算接收儀時錶漂移，研究資料顯示，使用內部石英鐘為時頻參考源的接收移時錶漂移具有週期性，其週期約 7-8 小時，顯示雖然計算過程中使用精密星曆，但其週期性與一般廣播星曆 2 小時更新 1 次的資料似乎有倍數關係，表示以內部石英鐘為時頻參考源的觀測資料進行 PPP 計算時，其時錶漂移估算仍須透過廣播星曆；然而以外掛原子鐘為時

頻參考源的觀測資料進行 PPP 計算時，其時錶漂移則無周期性，與時間成一次線性關係。前述以石英鐘與原子鐘作為時頻參考對於時間偏移所造成之週期性與線性現象，可於後續研究再深究其真正關係。

四、以外掛原子鐘取代衛星定位儀內部石英鐘作為時間及頻率參考源的觀測資料，對於同一時間段的觀測資料而言，對靜態相對定位的精度有小幅提升。研究結果顯示，時頻參考源為原子鐘的觀測量，其靜態相對定位精度，在 ITRF 地心坐標 XYZ 的三軸向的標準差分別為 0.005 公尺、0.017 公尺及 0.010 公尺；時頻參考源為石英鐘的觀測量，其靜態相對定位精度，三軸向的標準差分別為 0.008 公尺、0.018 公尺及 0.013 公尺，顯示以原子鐘為時頻參考源的三軸向定位精度約可提升約 1~3mm。

五、依國際標準組織（ISO）所出版之「量測不確定度指引」（ISO-GUN）方法，確認本系統各項不確定度來源，計算其擴充不確定度，經評估分析獲得本系統之校正與量測能力（CMC），研究結果顯示，以外掛原子鐘取代衛星定位儀內部石英鐘作為時間及頻率參考來源後，超短基線校正項目之 CMC 由原本的 3.1mm 擴大到 3.4mm，中基線校正項目之 CMC 由原本的 13mm 擴大到 14mm，2 個項目的校正與量測能力皆有變化，但都僅在 1mm 以下，對於一般測量作業並無影響，因此將原子鐘納入衛星定位儀校正作業系統，以原子鐘辦理追溯取代衛星定位儀標準件辦理追溯的方式為可行的方式。

六、本實驗室衛星定位儀校正作業系統之超短基線校正項目需使用固定基點（LS08）的觀測資料，此觀測資料由衛星定位儀標準件提供，若將標準件卸下辦理追溯，除了送國家標準實驗室辦理追溯之作業時間約 1 個月外，尚須重新辦理系統評估，約需 3 個月，因此將標準件卸辦理追溯的影響時間約長達 4 個月，這段時間將無法提供校正服務，以 100 年度本實驗室辦理 90 部衛星定位儀校正估算，若因標準件送追溯停止辦理校正約減少辦理 30 部衛星定位儀校正，因此以原子鐘取代衛星定位儀標準件辦理追

溯，不僅可使實驗室服務不中斷，也可增加校正作業能量。

第二節、建議

一、測量儀器的良窳關乎測量成果品質的優劣，國土測繪法對於儀器校正的規定，已使得各界瞭解儀器校正的重要性，並開始辦理校正，惟對於儀器校正報告內容的理解以及應視儀器使用頻率、情形訂定校正週期並定期送校的觀念仍有不足，建議國土測繪中心可針對校正報告內容的理解與儀器需定期辦理校正的觀念加強宣導。

二、依據本研究結果顯示，以原子鐘作為時間及頻率參考標準件，取代衛星定位儀標準件辦理量測追溯是可行的，建議國土測繪中心向財團法人全國認證基金會（TAF）申請認證，將原子鐘納入衛星定位儀校正作業系統，作為時頻參考源標準件，於認證通過後，改以原子鐘為衛星定位儀外部時間及頻率參考源，取代衛星定位儀辦理量測追溯作業，維持實驗室服務不間斷，以加強服務品質及提升校正作業能量。

參考文獻

一、王培源、譚業春、郭唐永、鄒彤、李欣、沈基玲，2007，高精度時間頻率基礎輔助 GPS 定位的研究與實現，大地測量與地球動力學期刊。

二、內政部國土測繪中心，2012，衛星定位儀校正作業程序，SICL-3-03-0。

三、內政部國土測繪中心，2012，衛星定位儀校正系統評估，SICL-3-03-1。

四、內政部國土測繪中心，2010，發展臺灣區域性對流層延遲估算模式先期研究報告，內政部國土測繪中心委託研究案報告。

五、林長青、陳鶴欽、曾耀賢、劉正倫、林燕山，2010，衛星定位接收儀觀測時間對超短基線精度之研，內政部國土測繪中心自行研究報告。

六、林修國，2005，利用外接高精度原子鐘改善 GPS 高程向定位精度之研究，第 24 屆測量學術及應用研討會。

七、曾清凉、儲慶美，1999，GPS 衛星測量原理與應用，成大衛星資訊研究中心技術叢書 003 號。

八、葉大綱、陳春盛、王傳盛、李瓊武，2005，接收儀時錶誤差影響 GPS 定位精度之研究，第 24 屆測量學術及應用研討會。

九、Shen, X., and Gao, Y., 2002. Kinematics Processing Analysis of Carrier Phase-based Precise Point Positioning, Proceedings of FIG XXII International Congress, Washington, DC.

十、Zumberge, J.F. ,Heflin, M.B. ,Jefferson, D.C. ,Watkins, M.M. ,Webb, F.H. , 1997. Precise Point Positioning For the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks. Journal of Geophysical Research, Vol. 102, no. B3, pp. 5005-5017.

附錄 1 原子鐘校正報告

BIPM

校 正 報 告

TAF
Calibration Laboratory
N0815

報告日期：100 年 11 月 25 日

報告編號：FTC-2011-10-41

儀器名稱：GPS 接收機+銣原子頻率標準

廠牌型號：TOPCON NET-G3/STANFORD RESEARCH SYSTEMS FS725

儀器序號：401-01629/107385

送校單位：內政部國土測繪中心

上項儀器經本實驗室校正，結果如內文。
本報告含封面及 3 頁內文，分離使用無效。

廖嘉旭
國家時間與頻率標準實驗室負責人

國家時間與頻率標準實驗室

經濟部標準檢驗局委託中華電信股份有限公司電信研究所辦理

報告編號：FTC-2011-10-41
頁　　次　：4 之 2頁

中華電信股份有限公司電信研究所
地　　址：桃園縣楊梅鎮高榮里民族路5段551巷12號
電　　話：(03)4244228

本實驗室標準件、附件、追溯源及相關資料

1. 本報告使用本實驗室校正標準信號為參考標準
2. ISO GUM（1995）所提出的方法與程序並不完全適用於時頻量測領域。本實驗室係以現行振盪器時頻穩定度的計算方式結合 ISO GUM 相關原則進行不確定度評估。
3. 本校正系統相對於國際度量衡局(BIPM)之不確定度：≤2.0E-12 (95% 信賴水準)。
   本校正系統相對於國際度量衡局(BIPM)之時間間隔不確定度≤1.0ns，時間標度不確定度≤100ns，皆為 95% 信賴水準。
4. 本報告共 4 頁，僅對送校之物件有效。除非獲得實驗室之書面同意，本報告不得摘錄或分離使用，但全部複製除外。
5. 本實驗室所維持之時頻國家標準，係經由國際傳時比對直接追溯至 BIPM 標準。
6. 校正方法：
   參考本實驗室「遠端時頻校正程序書」(NSTF-ICT-RTFCS-001)，將本實驗室接至時頻標準信號之衛星接收機產生的 CGGTTS 格式資料與待校儀器(包含衛星接收機與頻率振盪器)產生相同格式的結果進行比對，取得儀器輸出頻率之準確度及穩定度。
   註:實際上本次校正所使用之 Ashtech Z12T 及 TOPCON NET-G3 接收機之規格性能表現均不遜於實驗室通過認證之 **TL-MASTER-01** 接收機，故不確定度還是依據本校正系統「遠端時頻校正系統不確定度評估報告」(NSTF-MSVP-RTFCS-001)來作評估使用。
7. 使用標準件及設備：

設備名稱		設備廠牌及型號	序號
TL 端設備		Ashtech Z12T	RT920012202
遠端設備		TOPCON NET-G3	401-01629
國家時頻標準實驗室校正標準信號	頻率標準器	CH1-75	76052
	相位微調器	AOG 110	0012000001

報告編號：FTC-2011-10-41
中華電信股份有限公司電信研究所　　頁　　次：4 之 3 頁
地　　址：桃園縣楊梅鎮高榮里民族路5段551巷12號
電　　話：(03)4244228

校正件相關資料

客戶名稱：內政部國土測繪中心
地　　址：台中市南屯區黎明路二段 497 號 4 樓
校正件名稱：GPS 接收機+銣原子頻率標準
廠牌/型號： TOPCON NET-G3/STANFORD RESEARCH SYSTEMS FS725
序號 ：401-01629/107385
收件日期：100年10月05日
校正日期：100年10月05日 至 100年10月19日
熱機時間：一天　　環境溫度: (23±1)℃　　相對濕度: (50±10)%
校正結果：1.量測委校儀器輸出 10 MHz 之信號
(1)頻率準確度 ：(如附圖一) [(ft - fr)/fr]-7.5×10^{-11}
(2)頻率穩定度 ：(如附圖二)

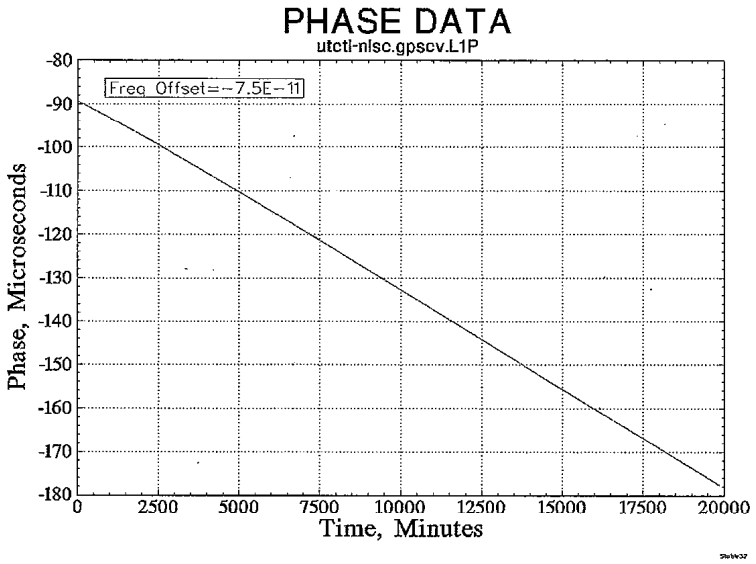
取樣時間(秒)	頻率穩定度
960	8.6E-12
1920	5.9E-12
3840	4.2E-12
7680	2.9E-12
15360	2.0E-12
30720	1.5E-12
61440	8.7E-13
122880	1.1E-12
245760	1.5E-12

(3)擴充不確定度：≤2.0×10^{-12}，涵蓋因子：2

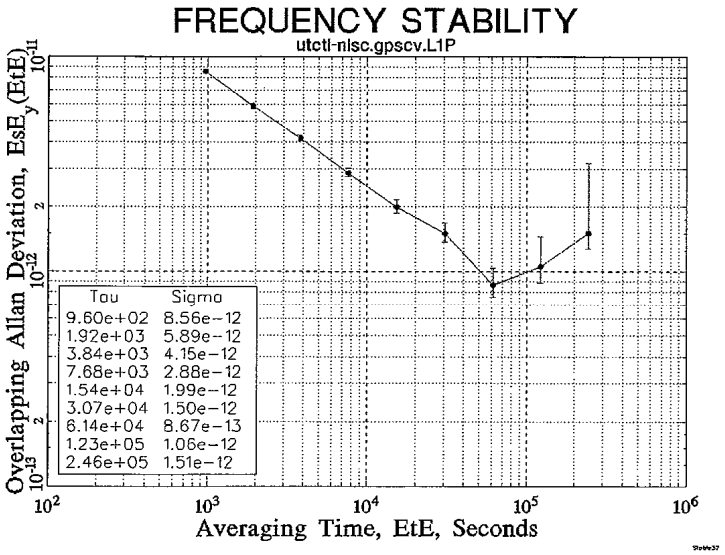
報告簽署人：

報告編號：FTC-2011-10-41
頁　　次：4之4頁

中華電信股份有限公司電信研究所
地　　址：桃園縣楊梅鎮高榮里民族路5段551巷12號
電　　話：(03)4244228



(圖一)



(圖二)

附錄 2 衛星定位儀校正系統資料處理計算手冊

本校正系統資料係以 Bernese 5.0 軟體進行計算，而軟體本身計算時所需檔案已按照規則皆有預設檔，檔名亦有一定規則，分為星曆檔、資料檔、點位檔。以(2008 年)97 年 11 月 12 日星期三辦理衛星定位儀觀測為例，推算當天的 GPS DAY 為 317，至 ftp：//igscb.jpl.nasa.gov/component/prods_cb.html 網站查相關資料，該星期為第 1505 周的第 3 天。(如圖 1，11 月 12 日星期三早上 8 點以後進入該網站，當天資料尚未出現，可得知第 1505 周，該周星期日為第 0 天、星期一為第 1 天...依序至星期六為第 6 天)

本日為 97 年 11 月 12 日

		Day of the Week						
		S	M	T	W	Th	F	S
GPS Week	1505	Rapid	Rapid	Ultra18				
	1504	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid
	1503	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid

圖 1　至 IGS 網站查詢所顯示之圖

將所需的星曆檔置於計算目錄裏的 ORB 子目錄、資料檔置於計算目錄裏的 RAW 子目錄、點位檔置於計算目錄裏的 STA 子目錄，放置完成後即可執行計算，其步驟如下：

一、超短基線靜態相對定位

(一)新增路徑及資料夾 D:\Bern\71112**X**，→ D:\Bern\71112**X**

(二)於 D:\Bern\71112**X** 內新增 9 個資料夾，各自命名為 ATM、BPE、OBS、ORB、ORX、OUT、RAW、SOL 及 STA。

(三)各資料夾所需資料，請參考圖 2，分述如下：

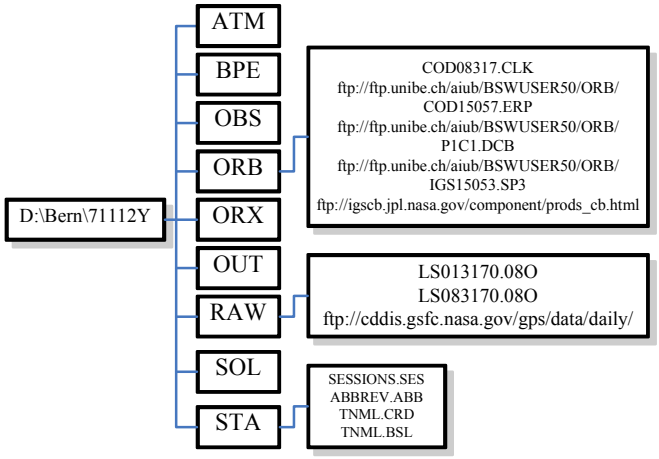


圖 2　Bernese 5.0 軟體計算所需檔案分布圖（**超短基線**）

(1)RAW 內所需資料

(1-1)將置於校正基點 LS01~LS07(以下均以 LS01 為代表)的衛星定位儀觀測資料下載並轉檔命名為 LS013170.08O。

(1-2)將置於**固定基點 LS08** 的衛星定位儀標準件觀測資料下載並轉檔命名為 **LS08**3170.08O。

(1-3)將 LS013170.08O 及 **LS08**3170.08O 置於 D:\Bern\71112**X**\RAW 下。

(2)ORB 所需資料，請參考圖 2

(2-1)至各網站下載資料：

A.ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSWUSER50/ORB/下載COD08317.CLK

B.ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSWUSER50/ORB/下載COD15057.ERP

C.ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSWUSER50/ORB/下載P1C1.DCB

D.ftp://igscb.jpl.nasa.gov/component/prods_cb.html下載IGS15053.SP3

(2-2)將COD08317.CLK、COD15057.ERP、P1C1.DCB及IGS15053.SP3儲存至D:\Bern\71112**X**\ORB下。

(3)STA所需資料，請參考圖2

(3-1)將舊有檔案SESSION.SES、ABBREV.ABB、**LS08**.CRD及**LS08**.BSL儲存至D:\Bern\71112**X**\STA下。

(3-2)打開檔案SESSION.SES，編輯第2行為

LIST_OF_SESSIONS 1　“3170” “2008 11 12” “00 00 00” “2008 11 12” “23 59 59”

(四)自行命名建立一個MS-DOS批次檔案，內容為

PERL C:\BERN50\GPSUSER\SCRIPT**LS08**_S15.PL 2008 317 D:/Bern/71112**X**

並執行該檔案，此時Bernese 5.0軟體計算中。

(五)計算結束，於D:\Bern\71112**X**\STA下 **LS08**.CRD內容將出現LS01的坐標，自行計算LS01與**LS08**之坐標差及斜距A_1，而已知超短基線參考值R_1，可求得A_1- R_1器差。

二、超短基線靜態相對定位

(一)新增路徑及資料夾 D:\Bern\71112**Y**，→ D:\Bern\71112**Y**

(二)於 D:\Bern\71112**Y** 內新增 9 個資料夾，各自命名為 ATM、BPE、OBS、ORB、ORX、OUT、RAW、SOL 及 STA。

(三)各資料夾所需資料，請參考圖 3，分述如下：

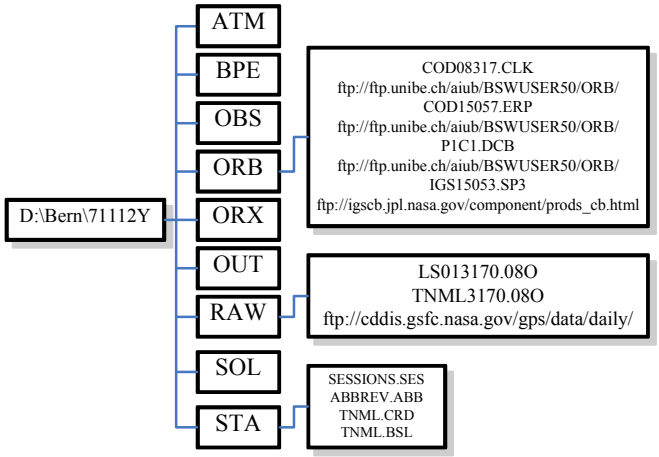


圖 3 Bernese 5.0 軟體計算所需檔案分布圖(**中基線**)

(1)RAW 內所需資料

(1-1)將置於校正基點 LS01~LS07(以下均以 LS01 為代表)的衛星定位儀觀測資料下載並轉檔命名為 LS013170.08O。

(1-2) 至網站 ftp：//cddis.gsfc.nasa.gov/gps/data/daily/，將**工研院固定站 TNML** 的觀測資料 **TNML**3170.08O 下載。

(1-3)將 LS013170.08O 及 **TNML**3170.08O 置於 D:\Bern\71112**Y**\RAW 下。

(2)ORB 所需資料，請參考圖 3

(2-1)至各網站下載資料：

A.ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSWUSER50/ORB/下載COD08317.CLK

B.ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSWUSER50/ORB/下載COD15057.ERP

C.ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSWUSER50/ORB/下載P1C1.DCB

D.ftp://igscb.jpl.nasa.gov/component/prods_cb.html下載IGS15053.SP3

(2-2)將COD08317.CLK、COD15057.ERP、P1C1.DCB及IGS15053.SP3儲存至D:\Bern\71112**Y**\ORB下。

(3)STA所需資料，請參考圖3

(3-1)將舊有檔案SESSION.SES、ABBREV.ABB、**TNML**.CRD及**TNML**.BSL儲存至D:\Bern\71112**Y**\STA下。

(3-2)打開檔案SESSION.SES，編輯第2行為

LIST_OF_SESSIONS 1 “3170” “2008 11 12” “00 00 00” “2008 11 12” “23 59 59”

(四)自行命名建立一個MS-DOS批次檔案，內容為

PERL C:\BERN50\GPSUSER\SCRIPT**TNML**_S15.PL 2008 317 D:/Bern/71112**Y**

並執行該檔案，此時Bernese 5.0軟體計算中。

(五)計算結束，於D:\Bern\71112**Y**\STA下**TNML**.CRD內容將出現LS01的坐標，自行計算LS01與**TNML**之坐標差及斜距A_1，而已知超短基線參考值R_1，可求得A_1- R_1器差。