

112 年度開發 GNSS 連續觀測站 遠距頻率校正技術委託研究

成果報告

A study on the development for remote frequency
calibration techniques at GNSS stations

受委託單位：國立台北大學

研究主持人：葉大綱

研究期程：中華民國112年2月至112年10月

研究經費：新臺幣83萬6仟元

內政部國土測繪中心委託研究

中華民國 112 年 10 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目錄

目錄	I
圖目錄	III
表目錄	IV
摘要	V
Abstract.....	VI
名詞解釋	VII
第一章 研究主旨	1
第二章 文獻回顧	4
2-1 分析方法的比較.....	4
2-2 遠距頻率校正之應用及國際發展趨勢	10
2-3 遠距頻率校正之國際發展趨勢- Real-time GNSS time transfer	10
2-4 應用於 GNSS 觀測站之可行性	12
第三章 研究說明	13
3-1 資料蒐集.....	13
3-2 GPS 共視法比對解算時間偏移量	15
3-3 頻率穩定度與頻率偏移量計算	17
3-3-1 頻率穩定度(Frequency stability)	17
3-3-2 頻率偏移量(Frequency offset)	18
3-3-3 計算方式驗證	21
第四章 研究成果	25
4-1 時間偏移量.....	25
4-2 頻率穩定度以及頻率偏移量	31
4-3 頻率誤差對於精密單點定位精度之影響	47
4-4 頻率誤差對於靜態相對定位精度之影響	51
第五章 成果結論	58
參考文獻	60
附件一、需求訪談紀錄	63
附件二、期中審查委員意見及回覆表	65
附件三、期末報告審查委員意見及回覆表	77
附件四、研討會論文	82
附件五、遠距頻率校正計算軟體	85

附件六、各站頻率穩定度及頻率偏移量 86

圖目錄

圖2-1、衛星雙向傳時系統架構圖	5
圖2-2、國內 TL 實驗室曾經參與之衛星雙向傳時鏈路示意圖	6
圖2-3、共視法時頻比對架構	8
圖3-1、GNSS 測站分布圖	15
圖3-2、TWTF 與 TLT5 共鐘相位法之頻率穩定度	22
圖3-3、TWTF 與 TLT5 共鐘相位法之頻率偏移量	22
圖3-4、TWTF 共鐘之時間偏移量	23
圖3-5、TWTF 共鐘去掉 boundary 後的時間偏移量	24
圖3-6、TWTF 共鐘之 Overlap Allan Deviation	24
圖4-1、各站平均頻率穩定度	32
圖4-2、各站平均頻率偏移量	33
圖4-3、PPP 定位精度與頻率誤差	51
圖4-4、短距離 DD 定位精度與頻率誤差	55
圖4-5、中距離 DD 定位精度與頻率誤差	56
圖4-6、長距離 DD 定位精度與頻率誤差	57

表目錄

表1-1、國內主要建置 GNSS 連續觀測站單位統計表	1
表2-1、不同的時頻比較技術之差異	9
表3-1、14處 GNSS 觀測站	13
表4-1、時間偏移量.....	27
表4-2、每日頻率穩定度及頻率偏移量	34
表4-3、頻率誤差之測站分類	48
表4-4、四類頻率誤差與 PPP 不同解算時間之定位精度.....	49
表4-5、頻率誤差與短中長距離之測站分類	52
表4-6、短中長距離四類頻率誤差與 DD 不同解算時間之定位精度	53

摘要

本研究為維護基本控制點品質，參考國際發展趨勢，以 GPS 共視法開發 GNSS 遠距頻率校正技術，透過未差分的 GPS 相位資料計算接收儀時間偏差量與頻率穩定度。由期刊文獻資料顯示，國際上 GNSS 遠距頻率校正技術使用精密單點定位(Precise Point Positioning, PPP)可以達到奈秒級的精度，採用共視法進行遠距頻率校正為最適合 GNSS 觀測站之校正方式。本研究分別利用相位法與電碼法解算 14 處 GNSS 觀測站之時間偏差量，並以頻率穩定度與頻率偏差量進行精度驗證，所得到的精度與 GPS 衛星規格相同，顯示 GPS 遠距頻率校正技術已可應用於台灣測站。七美 CIME 與萬榮 WARO 之 GNSS 觀測站的時間偏差量、頻率穩定度與頻率偏差量之數值較衛星規格相差甚大，推斷為其內部石英震盪器異常所致。頻率穩定度及頻率偏差量對 PPP 定位精度的影響大於對靜態相對定位(double-difference, DD)定位精度的影響，由於 DD 差分定位消除時錶誤差，使頻率穩定度及頻率偏差量最差的 WARO 及 CIME 其 DD 定位精度仍良好。從解算時間對定位精度的影響來看，PPP 在解算時間 4 小時以上精度才大幅提升，而 DD 在解算時間 2 小時以上精度即大幅提升。

關鍵字：遠距頻率校正、時間偏差量、頻率穩定度、頻率偏差量、GPS 定位精度

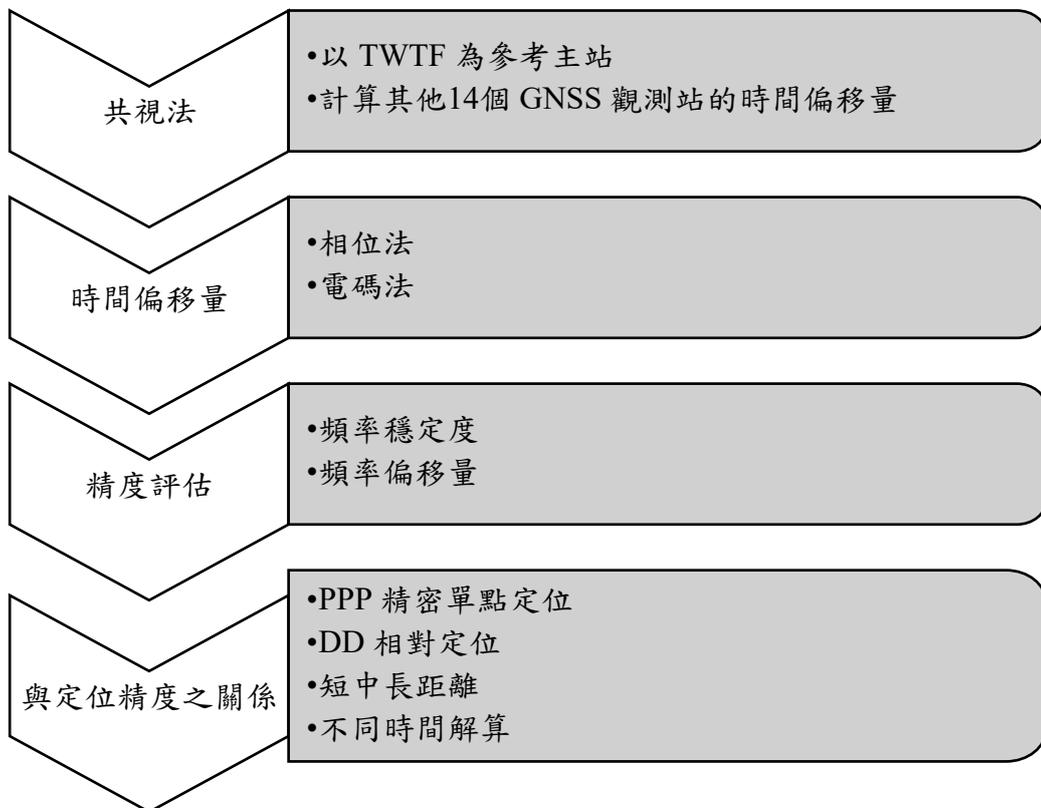
Abstract

This study aims to maintain the quality of basic control points by referencing international development trends and devising GNSS remote frequency calibration techniques utilizing GPS common-view method. The time offset and frequency stability of the receiver are computed using undifferenced GPS phase data. Scholarly literature indicates that international GNSS remote frequency calibration techniques employing Precise Point Positioning (PPP) time transfer can achieve nanosecond precision. Among the calibration approaches, the common-view method proves to be the most feasible for GNSS observation stations. This study undertakes the calculation of time offset for 14 GNSS observation stations using both the phase method and the code method. The accuracy is validated through assessments of frequency stability and frequency offset. The resulting accuracy aligns with that of GPS satellite specifications, affirming the applicability of GPS remote frequency calibration techniques to stations in Taiwan. Notably, the time offset, frequency stability, and frequency offset of the GNSS observation stations located at CIME and WARO exhibit considerable discrepancies compared to satellite specifications, thereby implying abnormalities within their internal quartz oscillators. The impact of frequency stability and frequency offset on PPP positioning accuracy is greater than that on double-difference (DD) positioning accuracy. Since DD eliminates the clock error by means of differential positioning, the DD positioning accuracy of WARO and CIME with the worst frequency stability and frequency offset is still good. From the perspective of the impact of solution time on positioning accuracy, the accuracy of PPP is significantly improved when the time period of data is more than 4 hours, while the accuracy of DD is greatly improved when the time period of data is more than 2 hours.

Keywords: Remote frequency calibration, phase offset, frequency stability, frequency offset, GPS positioning accuracy

名詞解釋

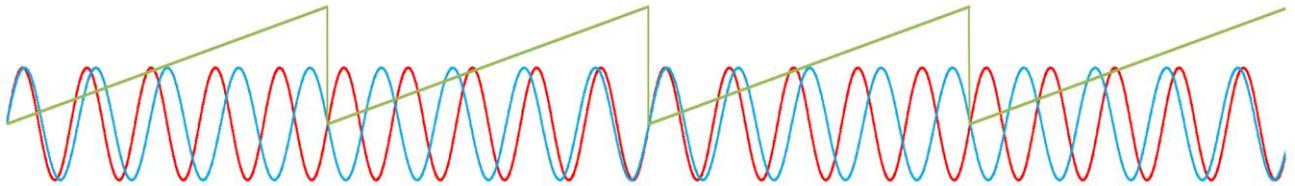
1. 時間傳輸(time transfer)：指從 A 點到 B 點的時間傳遞，其意義與時間偏移相同，故有時亦稱時間偏移，本文使用時間傳輸。
2. 時間偏移量(相位差, phase offset)：指時間差，本文在共視法架構下，以 TWTF 為參考主站(clock A)，計算 TWTF 站的鐘差減去另一測站的鐘差(clock B)，即為時間偏移量，可用以下算式呈現：
$$[(\text{clock B})-\text{GPS time}] - [(\text{clock A})-\text{GPS time}]$$
即在 t 時刻時 clock B – clock A 可得到時間偏移量。
3. 頻率穩定度(Frequency stability)：為時間偏移量的精度評估方式，計算時間偏移的頻率的穩定度，算法詳3-3節。
4. 頻率偏移量(Frequency offset)：為時間偏移量的精度評估方式，計算時間偏移的頻率的偏移，算法詳3-3節。



遠距頻率校正技術流程

5. 跨相：

1. 假設現在我們有一個參考正弦波(紅色)，一個待測正弦波(藍色)，兩個波有固定的頻率差，如下圖。



2. 當我們比對兩個波的相位差時，會發現其差值(綠色)會逐漸增加，一定週期後又回到0(如圖)，這個現象稱為跨相，因為兩個波的相位差的最大值即為參考正弦波之週期，超過週期後相位差會再由0開始逐漸增加，因此相位差不可能超過週期。
3. GPS 測距碼(ranging code)的 code frequency 1.023 MHz，當我們在做 GPS 時間差比對時也會遇到跨相，差值必定小於約 $1 \mu\text{s}$ ($\pm 500 \text{ ns}$)。GPS 碼的 chip rate 是 1 M，做 time transfer 時實際上是比相位差，這個差值是不會超過 $1 \mu\text{s}$ 的 ($\pm 500 \text{ ns}$)。
4. 遇跨相時，參考波及待測波實際頻率差需處理跨相點後方可計算，步驟如 3-3-2 節所述。

第一章 研究主旨

隨著GNSS訊號的現代化及定位精度的提升，加上大地測量型GNSS接收儀的價格也大幅下降，使得國內許多政府機關及學術單位紛紛建立GNSS連續觀測站，國內建站較多的單位主要包括：中央研究院地球科學研究所、經濟部地質調查及礦業管理中心、交通部中央氣象署、經濟部水利署、內政部地政司及國土測繪中心。目前國內主要建置GNSS連續觀測站的單位統計如下表1-1，數量已超過400座，廣泛的應用在測繪、板塊、斷層、地震、氣象及地層下陷等領域。

表1- 1、國內主要建置GNSS連續觀測站單位統計表

單位名稱	測站數量	主要廠牌	應用領域
中央研究院 地球科學研究所	60	Trimble	板塊運動研究
經濟部 地質調查及礦業 管理中心	90	Trimble	斷層調查
交通部 中央氣象署	160	Trimble Topcon	地震觀測 水氣求定
經濟部 水利署	20	Leica	地層下陷監測
內政部地政司 及國土測繪中心	90	Trimble Topcon	國土測繪 e-GNSS服務

隨著蓬勃發展的網際網路及無線數據通訊傳輸技術，即時動態定位測量已是國際測繪科技與定位技術之主流，國土測繪中心自2004年採虛擬基準站即時動態定位技術，於2008年完成建置「全國性e-GPS衛星定位基準站即時動態定位系統」與測試分析作業，並於2014年更新臺灣本島地區連續觀測站接收儀，且更名為「全國性e-GNSS衛星定位基準站即時動態定位系統」，結合雙星衛星定位、線上坐標轉換等核心技術讓本系統在使用上更為便利。後又於2019年正式開放臺灣本島地區全星系定位服務，並建立衛星觀測資料品質自動檢核機制，整體系統運用與資料供應層面上更即時性及高精度。

國內包括國家度量衡標準實驗室、民間校正實驗室及國土測繪中心，雖然已經建立GNSS接收儀的靜態及動態校正系統，且通過全國認證基金會（TAF）的認證。但由於GNSS連續觀測站並不適合將儀器拆卸下來送回實驗室進行校正，若採游校（攜帶原子鐘至各站進行頻率比對）曠日廢時，故目前國內的GNSS連續觀測站僅於設站時進行校正追溯，後續以自動化監控e-GNSS基準站觀測資料品質，藉由接收下來的觀測資料進行初步GNSS訊號品質檢核，針對衛星數、衛星幾何分布因子、訊雜比、多路徑效應進行管制，為目前採用的e-GNSS系統品保方案。

為維護基本控制點品質，將參考國際發展趨勢，透過未差分的GPS相位資料計算接收儀頻率偏差，開發GNSS遠距頻率校正技術，並探討頻率誤差對於短、中、長距離靜態相對定位及精密單點定位精度之影響。

國土測繪中心的e-GNSS即時動態定位系統，截至 109 年 12 月 31 日止累計註冊會員數為 1,006 個，有效會員數為 812 個，109 年度服務費收入已達 1,254萬元，已廣為國內的產官學界使用。由於GNSS連續觀測站資料的使用，已從學術界逐步深化至業界，如何確保這些GNSS連續觀測站所提供的資料可靠度，建立一套GNSS資料品質監控系統應是相當重要的。如此，即能在觀測資料接收的早期，針對各GNSS連續觀測站的資料品質進行管制，藉由GNSS連續觀測站遠距頻率校正技術之建立，當儀器發生故障或環境發生變化時，能早期發現問題儘

早處理異常狀況，藉以確保各GNSS連續觀測站所提供的資料是可靠的，讓使用者對於資料的使用上更具信心。

第二章 文獻回顧

衛星追蹤站觀測資料的品質將影響定位精度，影響範圍涵蓋板塊運動研究、斷層調查、地震觀測、水氣求定、地層下陷監測以及國土測繪中心所提供的 e-GNSS 服務。葉大綱(2005)研究五項觀測資料品質指標，發現以接收儀內部頻率穩定度的影響最大，其次為週波脫落，再來為多路徑效應。為維護衛星追蹤站基本控制點品質，將參考國際發展趨勢，透過未差分的 GPS 相位資料計算接收儀頻率偏差，開發 GNSS 遠距頻率校正技術。

2-1 分析方法的比較

遠距時間和頻率比較方法有衛星雙向傳時技術 TWSTFT (Two-way satellite time and frequency transfer)、GPS AV (all-in-view)、GPS CV (common-view)與 Optical fiber 法，以下介紹各項方法：

一、 衛星雙向傳時技術 TWSTFT

衛星雙向傳時係相隔兩地之時頻實驗室，在同一時間透過同步衛星將其標準信號傳出，並被對方所接收及量測，假設同一時間信號所歷經的路徑延遲是雙向對稱的，此路徑延遲便得以消除進而計算出雙方時間的偏差，達成兩地時間比對之目的。圖2-1為系統的架構圖，雙方實驗室將所維持的標準時間信號經傳時數據機展頻調變後，轉成為射頻信號，透過衛星鏈路傳遞到對方實驗室。另一方面當天線接收射頻信號後降為中頻，再以傳時調變機解調出時間信號。雙方實驗室利用時間計數器量測發送自己信號到接收對方信號的時間，經互相交換量測資料後，可以計算出雙方標準時間的差距。

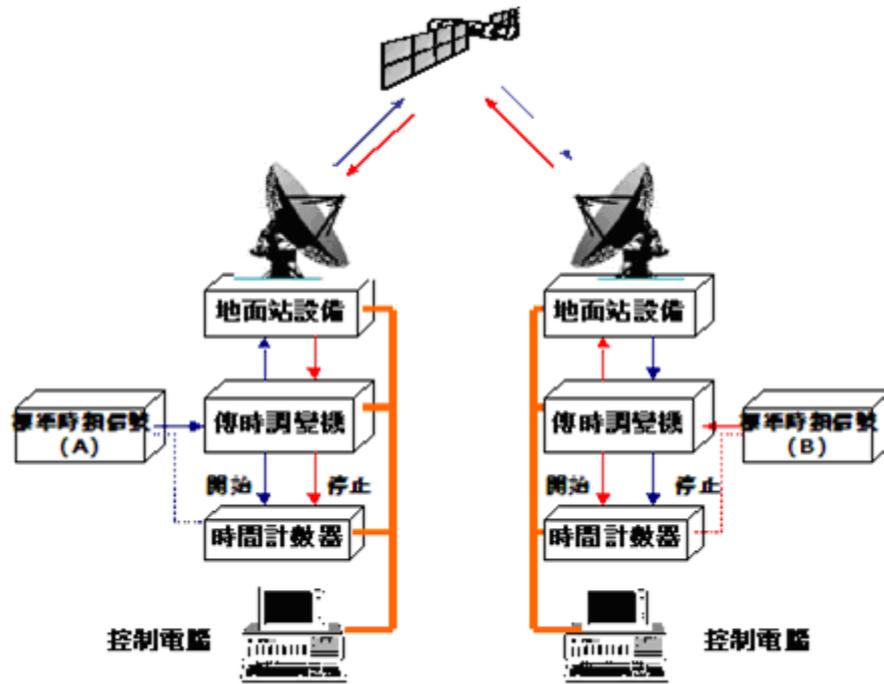


圖2- 1、衛星雙向傳時系統架構圖

衛星雙向傳時是目前最精準的時頻校核技術之一。此技術的優點是傳時過程中的各項變動因素，如衛星位置、電離層與對流層所造成傳時延遲的變化等，可互相抵銷而取得極佳的精確度，其不確定度可優於0.5奈秒 (ns)。以往國際的傳時比對有很長一段時間仰賴 GPS 共視法。近年來，由於衛星雙向傳時技術可提供較高的精確度，有越來越多國家的標準時頻實驗室利用此技術進行標準時頻的校核工作。目前透過此技術所進行的傳時比對數據，已成為國際度量衡局(BIPM)用來計算國際原子時(TAI)的主要資料之一。

目前國內的國家時間與頻率標準實驗室(TL)與國際合作發展傳時技術，曾經透過此技術所進行之時間比對實驗，包括(1)亞美鏈路，經由夏威夷 KPGO 與美國 USNO 組成雙向傳時比對鏈路。(2)歐亞鏈路，包括德國 PTB、日本 NICT、俄羅斯 SU、中國 NTSC、中國 NIM、印度 NPLI 及本國國家實驗與頻率標準實驗室 TL 等七個國家級實驗室所組成雙向傳時比對鏈路(圖2-2)。未

來將陸續進行衛星地面站的校正工作。

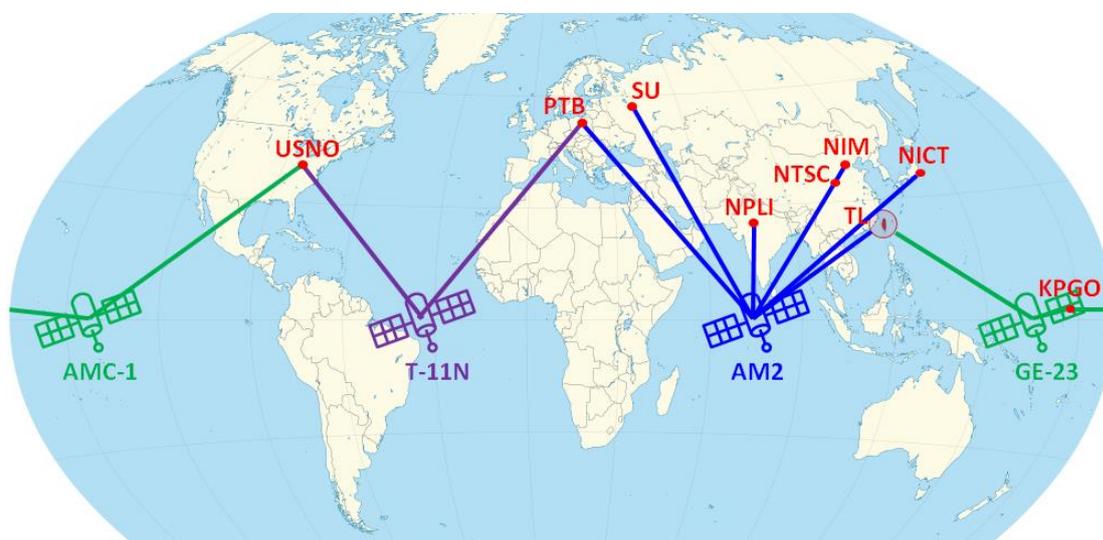


圖2- 2、國內TL實驗室曾經參與之衛星雙向傳時鏈路示意圖

實驗室使用 TWSTFT 的目的，在於持續監控 UTC(TL)，確保與 UTC 的同步性，以應用於提供國內產業時頻量測及校正之追溯源頭，並藉由資訊、通信等技術傳遞國家標準時間，以滿足社會大眾對標準時頻應用之需求。

TWSTFT 方法是一種主動技術，各地的地面站點發射和接收信號，這些信號是參考本地時鐘信號的。可以通過在兩個站點上測量信號傳播延遲的差異，來計算兩個時鐘信號之間的差異。這需要昂貴和耗費人力的地面設施。

二、 GPS CV 共視法及 AV 全視法

與 TWSTFT 相比之下，在 GNSS 時間和頻率傳輸框架中的地面設置僅包括接收器。每個 GNSS 衛星都發射包含其位置信息以及其內部時鐘與共同系統時間的偏移量的信號。因此，每個接收器可以對衛星的時鐘或參考到與接收器連接的本地時鐘的共同系統時間進行信號傳播時間測量。之後通過交換

測量數據來計算兩個站點之間的本地時鐘信號鏈接。這樣可以消除衛星時鐘的影響。

在進行國際時頻比對時，利用同步衛星及導航衛星可建立不同的時頻比對技術。以導航衛星而言，GPS 為主要代表系統，在使用 GPS 進行實驗室間遠端時頻比對時，通常採用共視法以提高精確度。GPS 共視法是利用 GPS 衛星之訊號作為共視法之參考訊號源，進行相隔兩地實驗室時頻之比對，而兩地實驗室共視法系統須包含 GPS 接收機、時間間隔計數器、標準時間訊號等設備。

如下圖所示，當實驗室 K1及 K2進行時頻比對時，實驗室通過接收機接收來自相同衛星的訊號，並將解算的結果與實驗室 UTC 相比，再經由資料交換，可進一步分析 Clock (K1)與 Clock (K2)間的時間差，此架構稱為導航衛星共視比對架構。

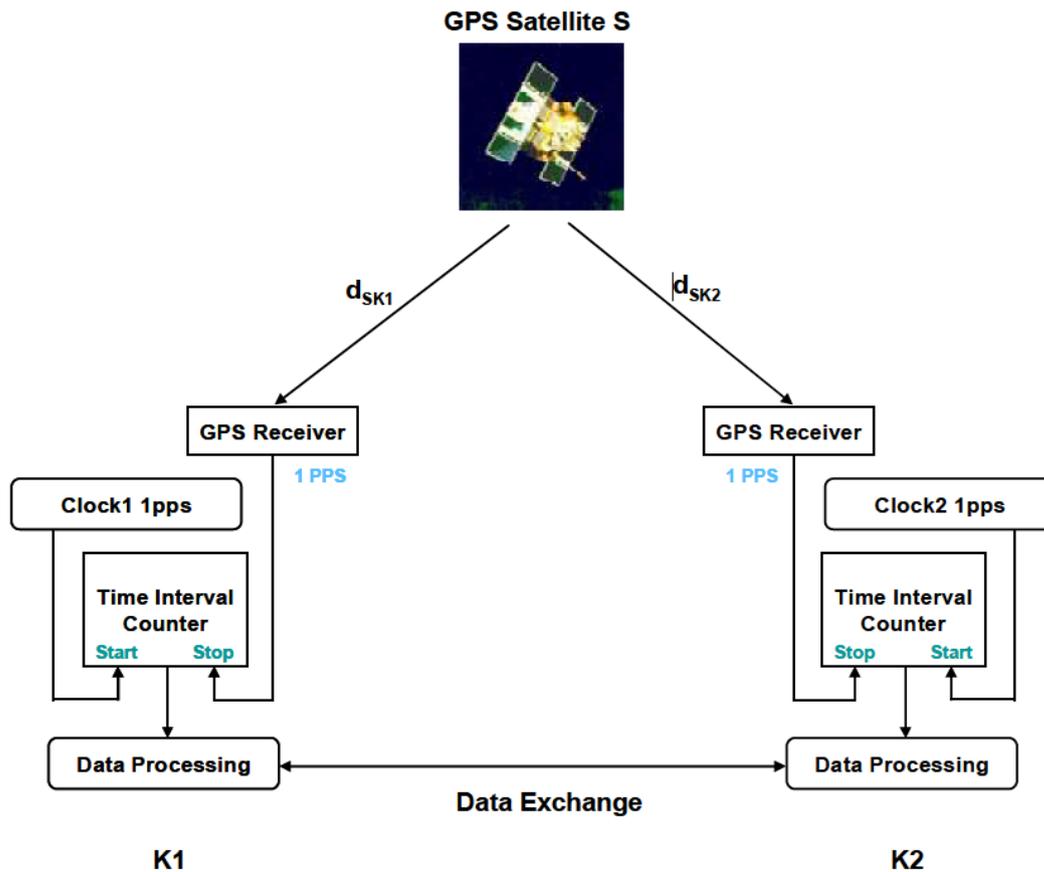


圖2- 3、共視法時頻比對架構

CV 表示首先為每個時刻點由兩個接收器獨立計算在兩個接收器都能觀察到的每個衛星之間的差異，然後計算平均值。在 AV 模式下，首先獨立計算每個接收器相對於 GNSS 系統時間，包括所有跟踪的衛星的解，並基於平均值進行差異化。對於 CV 比較，原則上一個單一衛星的信號就足夠了。

由於 CV 方法要求衛星在兩個站點都可見，因此操作距離受到限制，就像 TWSTFT 一樣。在 AV 模式下，由於每個站點都參考共同的時間參考，因此可以比較地球相反位置上的時鐘，但 GNSS 系統時間的噪聲部分轉移到時間比較結果中。

TWSTFT 方法的優點在於信號同時以雙向方式傳播，地球大氣層引起的錯誤可以被第一項抵消。但是，GNSS 時間傳輸的成本和人力成本較低，因

為只需要接收設備，無需信號發射，原則上地球上的任何可接收 GNSS 訊號之地點皆可操作。

三、 Optical fiber

近年來，已經開發了一些新的通過光纖發送光信號來比較兩個遠程時鐘的方法，主要的實驗是為了比較遠程實驗性的光頻標準，已經進行了關於通過光纖使用雙向技術進行時間傳輸的初步實驗。然而，使用光纖進行時間和頻率傳輸是一種點對點的技術，目前只適用於短距離鏈路，而且與 GPS 相比是一種非常昂貴的方法。

不同的時間和頻率比較技術的典型操作距離各不相同：GPS 時間傳輸可在全球範圍內使用，只要有一個無阻礙的天空視野即可。TWSTFT 方法由於要求地面站與同步衛星之間存在直接的視線，僅適用於同步衛星的訊號覆蓋區域，一般為幾千公里。基於光纖的時間和頻率傳輸由於價格因素目前僅特殊領域使用。

表2- 1、不同的時頻比較技術之差異

技術	距離	設施	費用
GPS AV	無限制 (對空無遮蔽即可)	接收儀	低
GPS CV	5000 km (兩站須接收同一顆衛星)	接收儀	低
TWSTFT	10000 km (同步衛星訊號覆蓋區域)	訊號發射器 接收儀	高
Optical fiber	3000 km	光纖鏈路	高

2-2 遠距頻率校正之應用及國際發展趨勢

遠距頻率校正已經發展的很成熟，使用 PPP 可以達到非常高的精度。全球衛星導航系統 GPS 是遠程授時的主要工具，可進行原子時間尺度和振盪器的頻率比較；透過將兩個站點的本地時間尺度引用到衛星上的原子鐘，或通過測量傳輸的二進位碼到一個共同的參考時間，以進行時頻比較。除了測量電碼，現代 GPS 接收器還能夠追蹤載波頻率的相位，但接收器和衛星之間該頻率的初始週波數未知。透過將這些載波相位測量與電碼測量相結合，以及參考站計算的校正數據，可以用 PPP 精密單點定位方法得到高精度的接收器位置和時間偏移量。

Ray and Senior (2005) 回顧了 GPS 測地方法在高精度全球時間和頻率比較方面的發展和狀態。綜合性地考慮了發射衛星和接收器站的硬件效應、數據分析和解釋以及與獨立結果的比較。其他 GPS 技術依賴於單頻數據或假定使用同時觀測之間的差異來消除大多數系統誤差。通過將現代測地學的完整觀測建模應用於 GPS 載波相位和虛擬距離的雙頻觀測，可以將定時比較的精度從數奈秒級(ns)提高到接近 100 皮秒級(ps, $1\text{E}-12$ second)。對於一天的平均間隔，作者推斷 GPS 測地技術的極限 Allan 偏差約為 $1.4 \times 1\text{E}-15$ 。時間比較的精度由於通過 GPS 接收器和天線鏈校準絕對儀器延遲的能力而確定，目前約為 1.8 奈秒。測地鐘測量可用於大多數主要計時實驗室，以及通過國際 GPS 服務的例行產品用於許多其他跟踪站和衛星。

2-3 遠距頻率校正之國際發展趨勢- Real-time GNSS time transfer

GNSS 時間傳輸(time transfer)技術是一種基於衛星導航系統的高精度時間傳輸方法，已廣泛應用於時間和頻率。由於 GNSS 時間傳輸技術的發展以及用戶對即時(real-time)時間服務應用需求的擴大，即時時間傳輸技術已成為重要的研究方向。GNSS 精密單點定位 (PPP) 是 GNSS 時間傳輸技術中最常用的方法之一。

隨著設施的發展，即時 GNSS PPP 的應用越來越廣泛。Chen 等人(2022) 展示並評估了國際 GNSS 服務 (IGS) 產品在近即時 PPP 時間傳輸技術中的性能。從時間實驗室觀測數據計算了一組 PPP 解，並提供了 IGS 的三種產品，包括超快速 (IGU)、快速 (IGR) 和最終 (IGS final) 軌道和時鐘偏移產品。IGS final 和 IGR 產品具有極高的精度和穩定性，並被用作與 IGU 產品進行時間傳輸的參考。使用 IGU 產品執行的近即時時鐘偏移和比較鏈，可為近即時應用提供 0.5 ns 的精度時間比較服務。

Yu 等人(2016) 針對現有的載波相位時間傳輸(time transfer)算法的限制，提出了一種 GNSS 全球導航衛星系統即時時間偏移算法。透過通視衛星建立未差分觀測方程之間的關係，同時計算出衛星時鐘偏移和站間時間傳輸的結果。該方法僅透過衛星星曆獲得站間時間傳輸結果，不使用衛星精確時鐘產品，並且不受衛星時鐘誤差和採樣率的限制。不同於傳統的通視方法，該算法通過估算即時衛星時鐘偏移來消除衛星時鐘偏移參數。實驗結果表明，該算法的時間傳輸精度與 GNSS 載波相位算法相同，並且更適合即時時間傳輸。

Wang 等人(2023) 表示利用長基線時間傳輸藉由使用精密點定位 (PPP) 或整數精密點定位 (IPPP) 方法進行後處理批次最小二乘調整，可以達到相當高的頻率穩定性。對於即時 PPP 使用者來說，時間傳輸的結果會因為基於濾波器的處理模式而降低精度，以及即時衛星軌道和時鐘相較於最終軌道和時鐘的精度降低。即時動態差分 (RTK) 時間傳輸可以顯著降低與衛星有關的誤差，但是基線長度的限制與 RTK 定位相似。此外，傳送原始觀測值而非狀態空間表示 (SSR) 產品可能會對數據傳輸施加壓力，並帶來與延遲和預測相關的困難。該研究測試了 PPP-RTK 技術，該技術結合了 PPP 和 RTK 方法的優點，用於即時長基線時間傳輸，作為上述兩種方法的替代方法，它允許對長基線進行時間傳輸，同時不依賴於外部高採樣率和高精度的衛星時鐘。通過傳遞在 PPP-RTK 區域網絡中產生的衛星時鐘和衛星相位偏差，可以在用戶和參考網站之間估計時間差，達到用戶

之間分隔很遠的穩定時間傳輸。使用雙頻 GPS 和 Galileo 數據，在歐洲範圍內測試了 PPP-RTK 時間傳輸，範圍約為千公里。計算了兩個以氫鐘為參考頻率之 GNSS 接收機內部時間差，即 884 公里基線 BRUX-ONSA 和 920 公里基線 WTZR-ONSA 的時間傳輸結果。在平均時間為秒時，當以站點固定、靜態或動態模式處理用戶坐標時，可以達到次秒級別(sub-second)的 Modified Allan Deviation (MDEV)偏差水平。在動態模式下，中位數時鐘殘差可以在 2 分鐘和 15 分鐘內分別收斂到 1 ns 和 0.3 ns，而在靜態和固定模式下收斂時間更短。當增加了 150 顆低地球軌道 (LEO) 衛星的模擬觀測時，時鐘殘差可以在所有三種估算模式下分別在 30 秒和 3.5 分鐘內收斂到 1 ns 和 0.3 ns。

2-4 應用於 GNSS 觀測站之可行性

由以上文獻可知，遠距頻率校正已發展的相當成熟，使用 PPP 可以達到奈秒級的時間偏差精度，對於遠距頻率校正技術應用於 GNSS 觀測站的可行性，就設施、經濟、距離等技術綜合考量下(表 2-1)，採用 CV 共視法進行遠距頻率校正，為最適合 GNSS 觀測站之校正方式。

第三章 研究說明

本研究以GPS遠距頻率校正之技術，透過GPS共視法（GPS common view）與國家時間與頻率標準實驗室之標準時間進行比對，藉由未差分的GPS相位資料以及國家度量衡局(以下簡稱BIPM)建議的電碼計算方法，計算TWTF站與國土測繪中心GNSS觀測站接收機之頻率偏移及頻率穩定度。由GNSS觀測站中挑選14處，每個測站觀測時間為一週的資料來進行計算與精度驗證。

3-1 資料蒐集

為進行GPS遠距頻率校正技術之計算以及精度驗證，本研究以中華電信研究院管理之楊梅TWTF站為參考主站，並選擇13處短、中、長不同基線距離、不同型號接收儀、GPS鐘或外接鉤鐘的GNSS觀測站，測站資訊列表如下，包含陽明山YMSM、工研院TNML、南寮SHJU、麗水派出所TC32、測繪中心LSB0、二林VR02、和美VR01、萬榮WARO、成大測量CKSV、金門KMNM、大武DAWU、瑪家MAJA、七美CIME，其中TWTF外接國家標準時頻訊號，TNML、LSB0為外接鉤鐘，TWTF、TNML、CKSV、KMNM屬於IGS站，接收儀廠牌型號有SEPT POLARX4TR、Trimble Alloy、Trimble NetR9、Leica GR50、Topcon Net-G3A。

表3- 1、14處GNSS觀測站

基線距離	站名	點號	接收儀廠牌型號	建置機關
主站	楊梅	TWTF	SEPT POLARX4TR 外接國家標準時頻訊號	中華電信研究院 (IGS站)
短	陽明山	YMSM	Trimble Alloy	內政部地政司

基線距離	站名	點號	接收儀廠牌型號	建置機關
	工研院	TNML	Trimble NetR9 外接鈷鐘	工研院 (IGS站)
	南寮	SHJU	Trimble NetR9	國土測繪中心
中	麗水派出所 (烏日)	TC32	Trimble Alloy	臺中市政府地政局
	測繪中心	LSB0	Trimble NetR9 外接鈷鐘	國土測繪中心
	二林	VR02	Trimble NetR9	國土測繪中心
	和美	VR01	Leica GR50	國土測繪中心
	萬榮	WARO	Topcon Net-G3A	國土測繪中心
長	成大測量	CKSV	Trimble Alloy	國土測繪中心 (IGS站)
	金門	KMNM	Trimble Alloy	國土測繪中心 (IGS站)
	大武	DAWU	Trimble NetR9	國土測繪中心
	瑪家	MAJA	Leica GR50	國土測繪中心
	七美	CIME	Topcon NET-G3A	國土測繪中心

(資料來源：<https://egnss.nlsc.gov.tw/content.aspx?i=20150625102426570>)

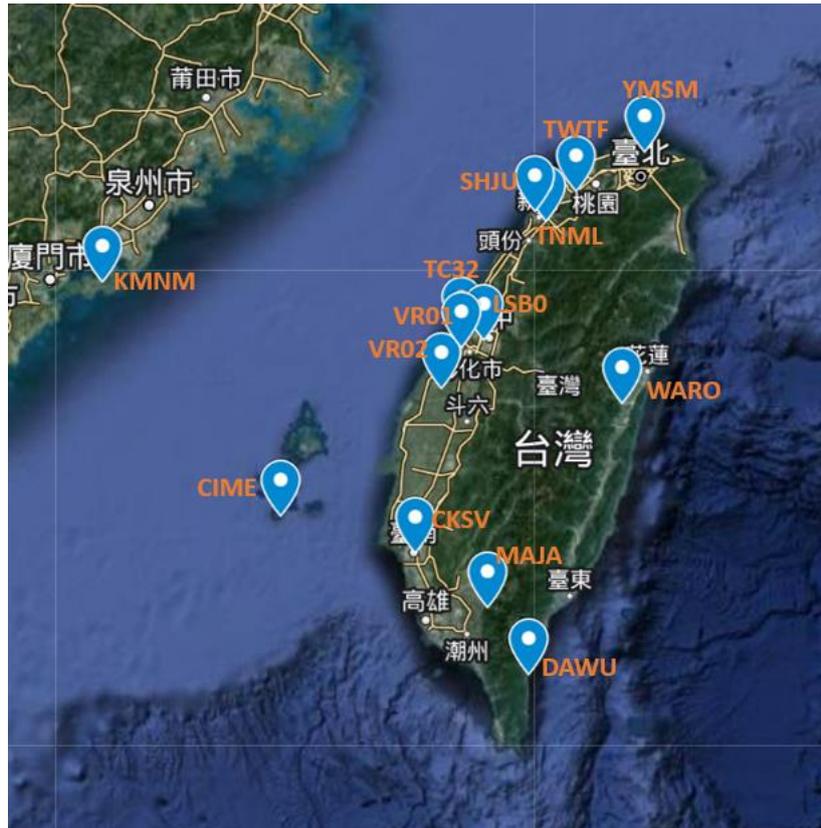


圖3- 1、GNSS測站分布圖

在資料解算時間選擇上，因冬季環境干擾因素較小，解算精度較佳，因此本研究選擇2023年1月1日到1月7日之觀測成果進行計算。資料由內政部國土測繪中心e-GNSS即時動態定位系統網站提供。(<https://egnss.nlsc.gov.tw/rinexquery.aspx>)

3-2 GPS共視法比對解算時間偏移量

本研究開發之GPS遠距頻率校正技術將採用GPS共視法(GPS Common View)方式。在進行國際時頻比對時，利用同步衛星及導航衛星可建立不同的時頻比對技術；以導航衛星而言，GPS為主要代表系統，在使用GPS進行實驗室間遠端時頻比對時，通常採用共視法以提高精確度。GPS共視法是利用GPS衛星之訊號作為共視法之參考訊號源，進行相隔兩地實驗室時頻之比對。本研究藉由中華電信

研究院國家時間及頻率標準實驗室負責維持的TWTF站當作頻率參考站，當參考站(K1)及GNSS觀測站(K2)進行時頻比對時，實驗室通過接收機接收來自相同衛星的訊號，並將解算的結果與實驗室參考站相比，再經資料交換，可進一步分析Clock (K1)與Clock (K2)間的時間差，即為GNSS觀測站(K2)的時間偏移量(相位差，phase offset)。計算時間偏移量的方式採相位法以及電碼法：

一、 相位法

相位法是透過未差分的GPS相位資料推求接收儀時錶誤差，計算時採用瑞士伯恩大學天文研究所(AIUB)研發的Bernese軟體進行計算。為了求得較準確的接收儀時頻訊息，解算前除了以rxsmt程式(需修正其錯誤)對於相位資料進行週波脫落偵測及平滑化處理外，於參數預估程式gpsest(需更新clkrmx副程式)解算未知值的過程中，再以resrms程式利用輸出的殘差反覆消除雜訊較大的觀測時段及衛星，即可求得較準確的接收儀內部時間偏移量。

二、 電碼法

GPS電碼時頻傳送技術用於國際時頻比對上已行之有年，早期是以C/A電碼觀測量為基礎產生時間同步訊號，世界各國實驗室使用BIPM所制定的衛星追蹤時刻表鎖定特定衛星以達成實驗室間衛星共視(common view)，利用此共視技術可降低衛星端所產生的誤差，使兩實驗室間時間比對誤差約為3~10奈秒。近年來，利用雙頻GPS接收機解算P1及P2電碼，P1/P2電碼的線性組合得到電離層延遲的估測值以消除信號通過大氣層時所產生的誤差使GPS電碼傳時技術的精確度提高到奈秒，約有85%的TAI(International Atomic Time)鏈路採用此方式進行各國國家標準實驗室間的時頻比對。計算上假設地面天線之精密位置已知，透過GPS接收機產生之P1/P2偽距(pseudorange)及觀測檔(navigation message)，以迭代法計算可以得出GPS衛星P1/P2電碼實際發出時間，修正衛星電碼偏差、相對論效應、大氣延遲效應、Sagnac效應後

可得出衛星時間與GPS接收機內部參考時鐘之時間差。一般可使用BIPM 公開軟體 r2cggts.f進行解算。

3-3 頻率穩定度與頻率偏移量計算

3-3-1 頻率穩定度(Frequency stability)

實際上由於振盪器的頻率會不斷飄移，傳統以平均值為基準計算之標準差會發散，無法用以評估振盪器頻率品質，通常以美國時頻統計專家 David Allan 所定義的 Overlap Allan Deviation 或 Modified Allan Deviation 來進行頻率的穩定度評估；Modified Allan Deviation 可以多觀察 White FM noise，Overlap Allan Deviation 對於 White PM noise 跟 White FM noise 是分不出來的，不過對於第一個平均區間來說，兩個算出來的值是一樣的。在評估頻率穩定度時，一般標準是用 Overlap Allan Deviation。

本研究在計算頻率穩定度時，採用 Overlap Allan Deviation 方法計算，並取第一個平均區間進行比較，其計算公式為：

$$\sigma_y(\tau) = \left[\frac{1}{2(N-2m)\tau^2} \sum_{k=1}^{N-2m} [x_{k+2m} - 2x_{k+m} + x_k]^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

其中：

x_k ：每一時間節點的偏移量(相位差)

τ ：取樣時間

N ：時間節點數

m ：取樣組數

BIPM 與 IGS 皆使用間距 300 秒之 rinex 觀測檔計算，因此本研究參考國際慣例，取樣區間採用 300 秒，若在取樣區間內時鐘之雜訊主要為白雜訊(White Noise)，

則取樣間隔縮短時，穩定度將變差，間隔提高，穩定度則變好。Modify Allan Deviation 的計算方法則是透過資料的二次差分後再進行標準差的計算，其計算公式如下：

$$\bar{x}_k = (x_{k+1} + x_k)/2 \quad (2)$$

$$\bar{y}'_k = \frac{\bar{x}_{k+2} - \bar{x}_k}{\tau} \quad (3)$$

$$MOD\sigma_y(\tau) = \left[\frac{1}{2(N-3m+1)} \sum_{k=1}^{N-3m+1} (\bar{y}'_{k+m} - \bar{y}'_k)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

其中：

x_k ：每一時間節點的偏移量

\bar{x}_k ：相鄰二時間節點的平均值

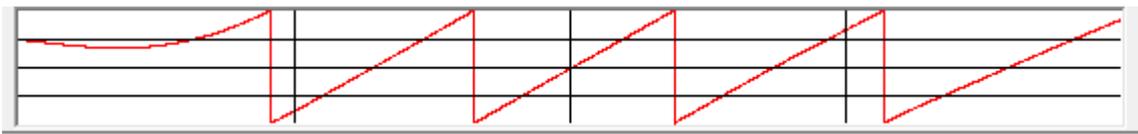
τ ：取樣時間

N ：時間節點數

3-3-2 頻率偏移量(Frequency offset)

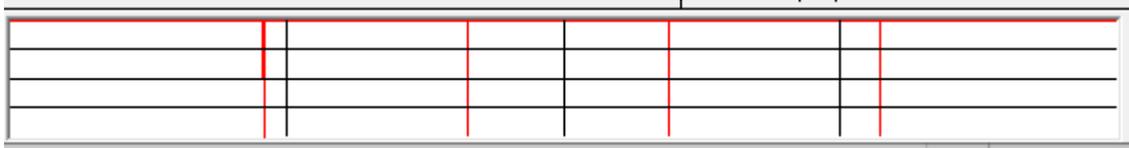
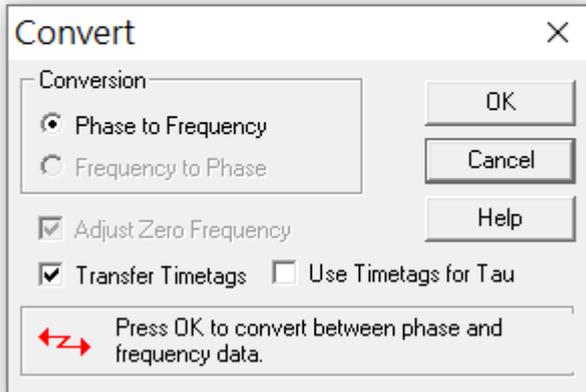
頻率偏移量的定義是 $(f_0 - f)/f_0$ ，取相位差(phase offset)的線性擬合(linear fit)來做平均。一般使用stable32軟體計算(<http://www.stable32.com/>)頻率穩定度與頻率偏移量，在計算頻率偏移量時，發現CIME、WARO因為有跨相問題，必須用其他方法才能估出近似的frequency offset，用stable32的修正過程如下(以WARO為例)：

一、用Stable32開啟WARO MJD59949這天的資料，可以發現跨相。



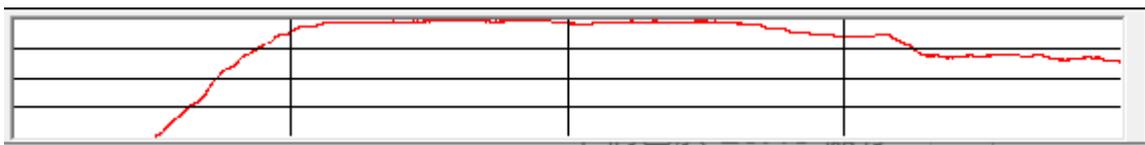
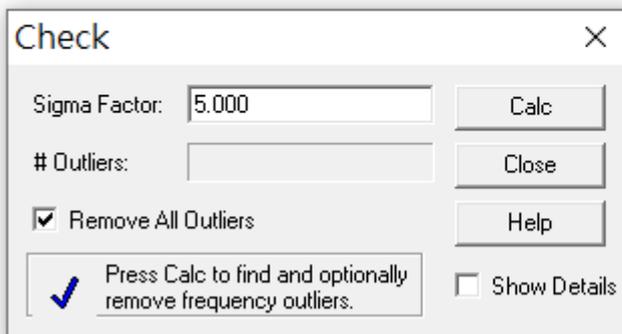
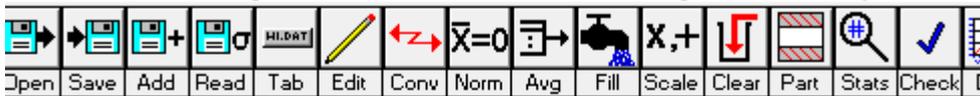
二、使用Conv功能將phase轉成頻域，可以發現在跨相時的頻率有不正常變化。

File Edit Analysis Plot Generate Utili



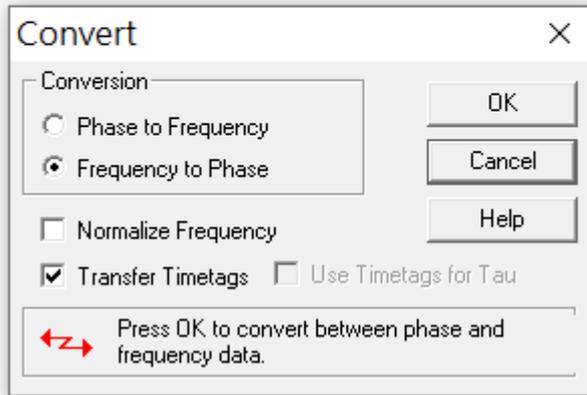
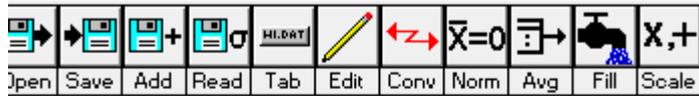
三、 使用check功能，移除outliers。

File Edit Analysis Plot Generate Utility Tabs Options



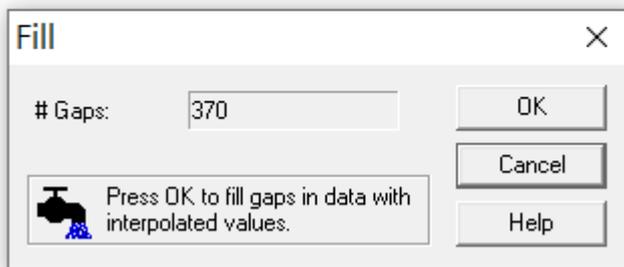
四、 用Conv功能轉回相位差，此時跨相已大致解決。

File Edit Analysis Plot Generate Utility

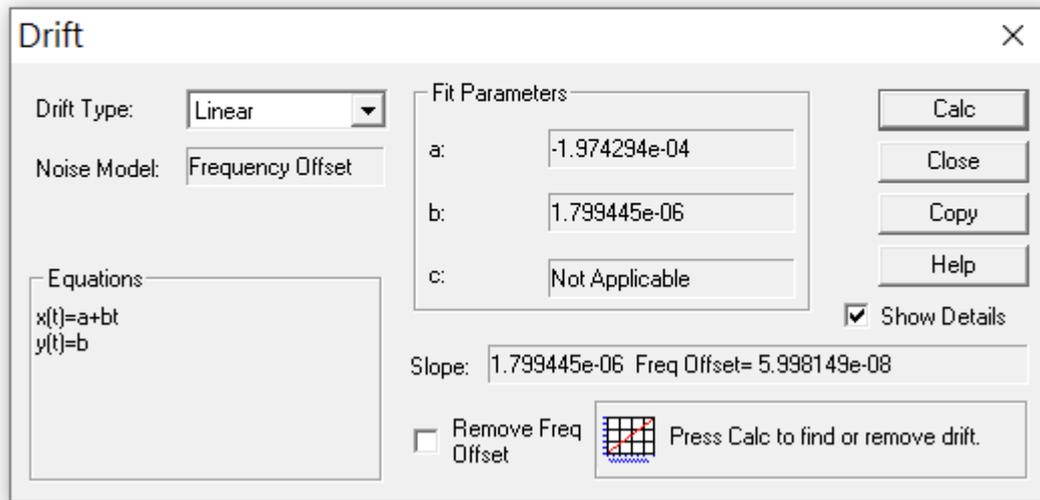
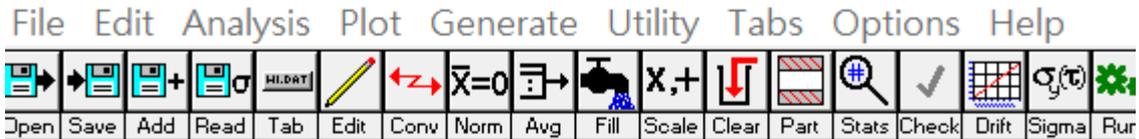


五、 使用Fill功能補點。

File Edit Analysis Plot Generate Utility



六、 使用Drift功能直接計算frequency offset，這樣的結果會比較接近接收機內部震盪器的真正frequency offset。



3-3-3 計算方式驗證

不同於電碼法有BIPM建議的解算流程，相位法解算時間偏移量是利用Bernese軟體進行，由於該軟體提供多種設定方式，為驗證相位法計算之正確性，先以共站共鐘之TWTF與TLT5接收儀的資料來計算頻率穩定度及偏移量，結果發現兩接收儀之偏移量相同(圖3-4)，因此驗證相位法計算方式為正確。上述相位法驗證有三種，包含：

- 一、 PPP-FREE：解算時沒有設定參考鐘，Bernese程式自行設定以TWTF為參考站。
- 二、 PPP-TWTF-1：解算後設定參考鐘(TWTF)。
- 三、 PPP-TWTF-2：解算前後皆設定參考鐘。(TWTF)

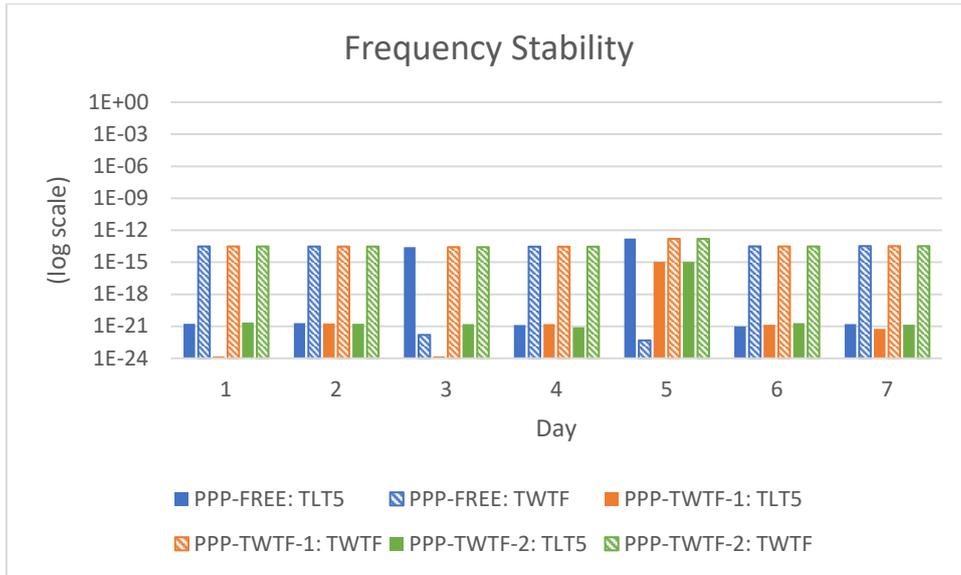


圖3- 2、TWTF與TLT5共鐘相位法之頻率穩定度
(左邊Y軸是log scale，最下及最上之數值分別是0與1)

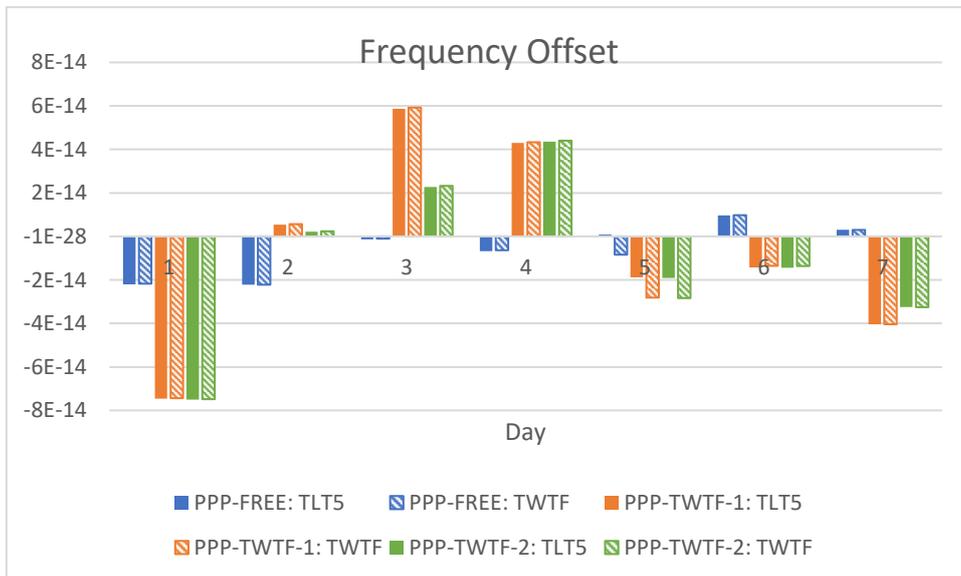


圖3- 3、TWTF與TLT5共鐘相位法之頻率偏移量

三種相位法結果(圖3-2、圖3-3)得出的頻率穩定度與偏移量都在鐘差精度範圍(1E-12)內，因此三種結果都正確，由於PPP-FREE與電碼法結果最接近，因此後續探討頻率誤差對於短距離、中距離、長距離靜態相對定位及精密單點定位精度之影響時，頻率穩定度與偏移量將採用相位法PPP-FREE的計算結果。

電碼法亦可採共站共鐘方式驗證計算結果，以TLT5接收儀做為參考站，評估TWTF的頻率穩定度及偏移量。其計算出的時間偏移量(相位差，phase offset)如下圖，時間範圍為2023/1/1~2023/1/7，所得出的時間偏移量在 10^{-12} 秒(Picoseconds)的範圍，屬於正常偏差值，去掉boundary後，基本是一致的，符合共用參考時鐘的結果。評估頻率穩定度的Overlap Allan Deviation也很合理，共鐘結果是white noise佔大部分。

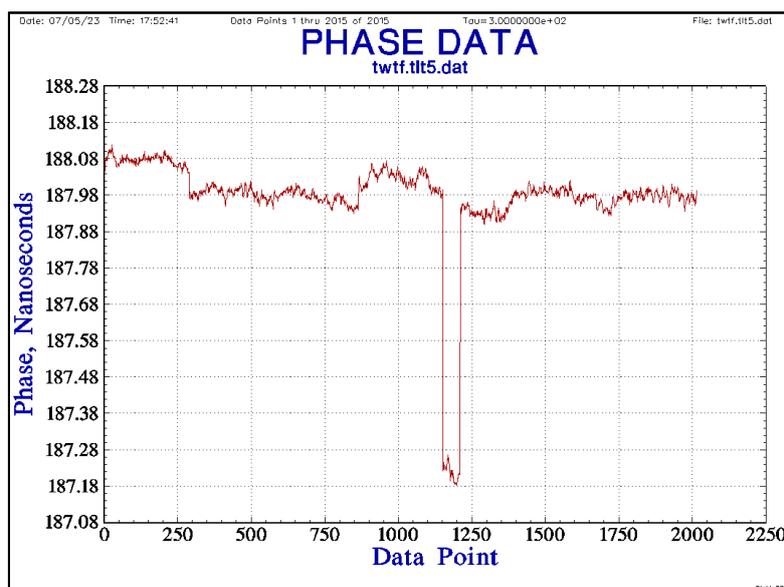


圖3- 4、TWTF共鐘之時間偏移量

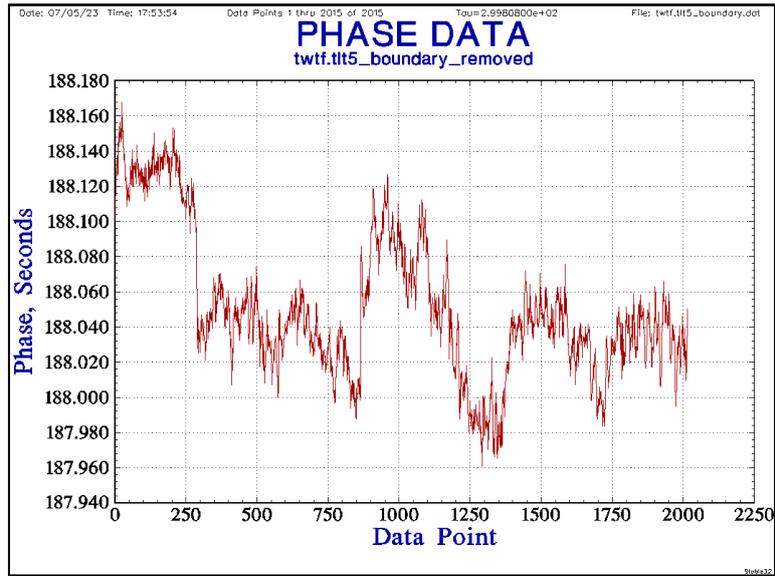


圖3- 5、TWTF共鐘去掉boundary後的時間偏移量

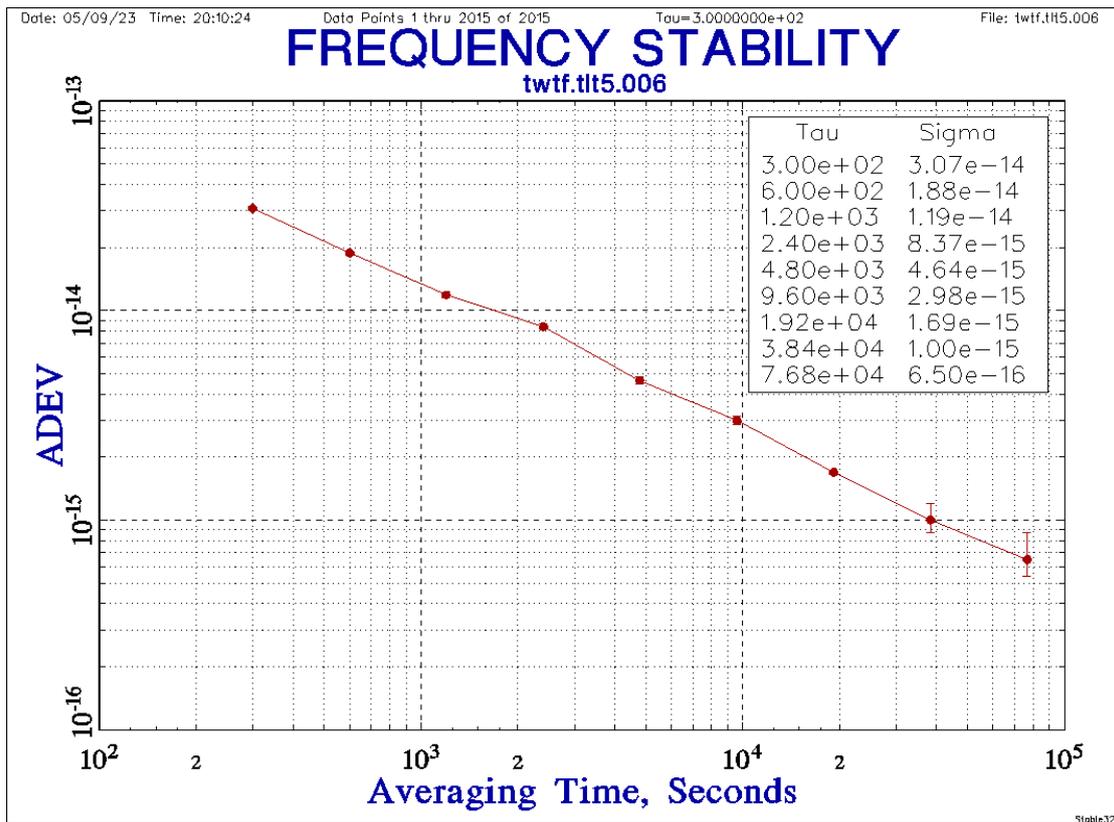


圖3- 6、TWTF共鐘之Overlap Allan Deviation

第四章 研究成果

本研究利用14處GNSS觀測站(含參考主站TWTF)開發GPS遠距頻率校正技術，透過GPS共視法(GPS common view)與國家時間與頻率標準實驗室(即參考主站TWTF)之標準時間進行比對，利用GPS未差分相位資料(相位法)，以及國際度量衡局(Bureau International des Poids et Mesures, BIPM)建議的電碼計算方法計算GNSS接收機時間偏移量，再以頻率偏移(frequency offset)及頻率穩定度(frequency stability)進行精度驗證。每個測站的觀測時間為2023年1月1日至1月7日，觀測時間間隔為5分鐘(300秒)。

4-1 時間偏移量

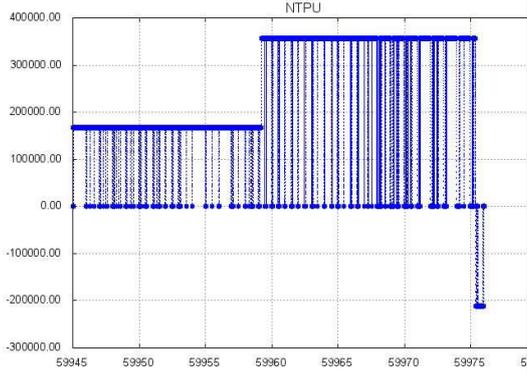
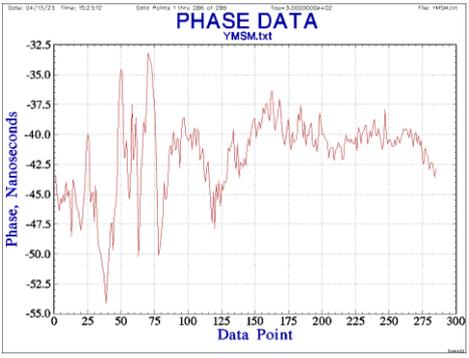
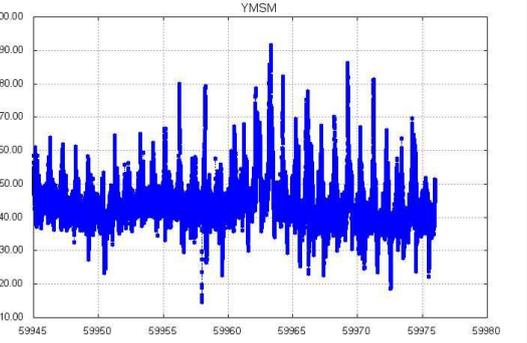
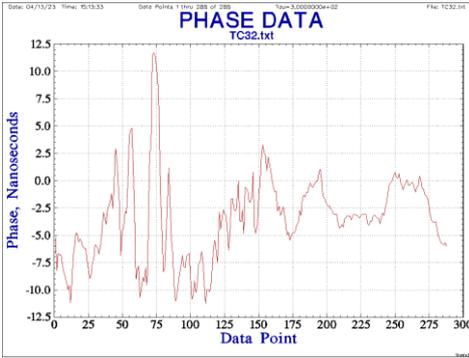
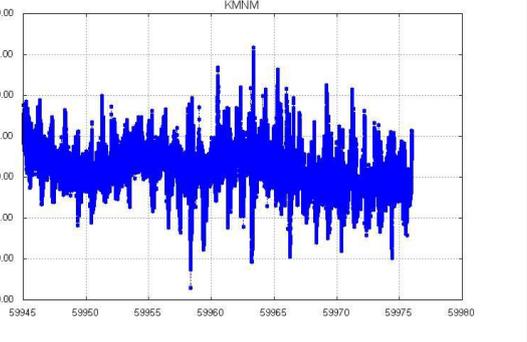
首先以相位法與電碼法分別計算13處GNSS觀測站接收儀的時間偏移量(相位差)，如表4-1所示。依照衛星時間偏移量的規格，應該在正負30~50 ns，但同樣都是Topcon Net-G3A的七美CIME與萬榮WARO，其時間偏移量達正負500000 ns(電碼法)，斜率很大，若是斜率大，cycle slip應會很大，再計算cycle slip，CIME站觀測資料數與週波脫落數的比值Observation/cycle slips (o/slps)為45，WARO o/slps = 831，可知七美站每45筆資料有1筆週波脫落，其cycle slip較大。應進一步確認是否石英震盪器壞掉，或是頻率沒有鎖GPS所造成，如果鎖定GPS後，按雙頻接收機的性能，時間偏差在幾十ns以內算合理，若偏差量太大則代表接收儀出現異常，一般先懷疑是內部震盪器失鎖，而看frequency offset的結果(如後所述)也是如此；如果是溫控型石英震盪器，頻率偏移量大約在 $1E-8$ ~ $1E-9$ 左右。若是溫度補償型，大約在 $1E-6$ 左右(free run下)。

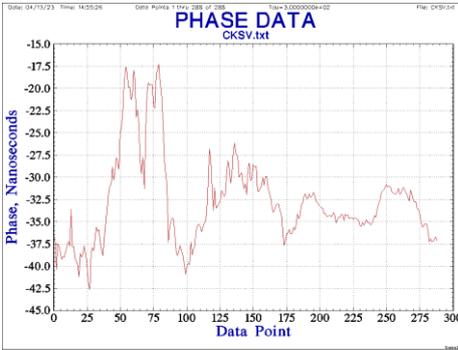
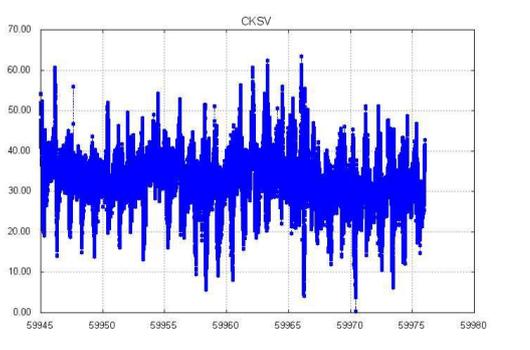
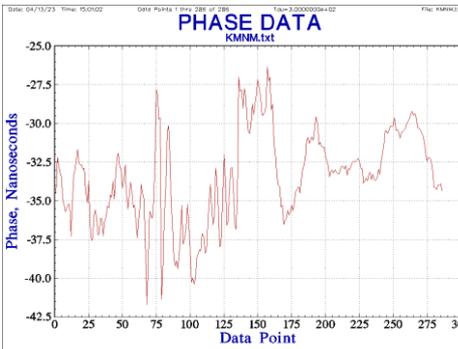
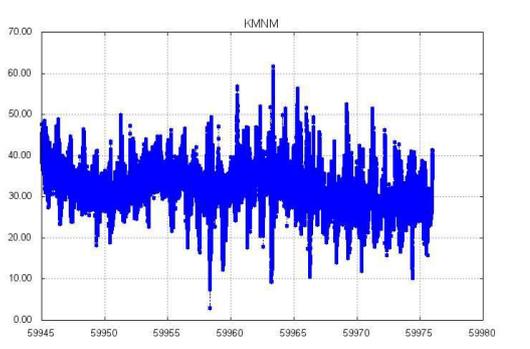
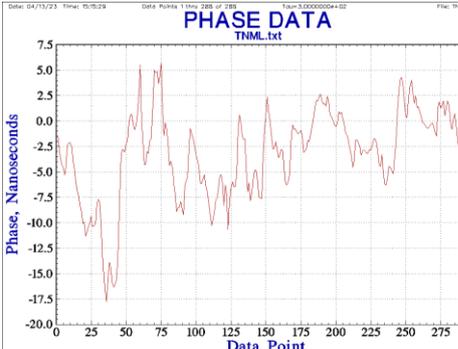
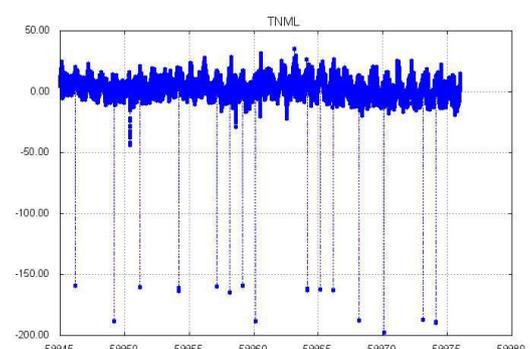
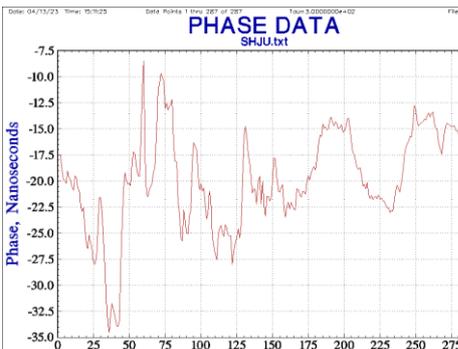
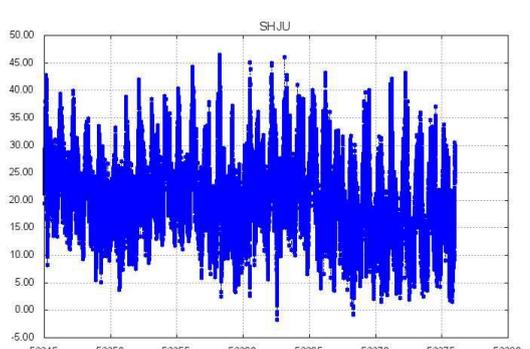
以相位法計算時間偏移量時，發現原本使用的NTPU站因L2設定問題，因此無法解出，不過不影響電碼法解算。後續將不使用NTPU站進行評估頻率誤差與定位精度的關係，移除NTPU站後共計13處GNSS觀測站。

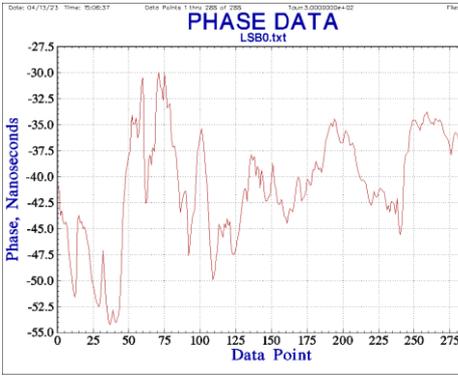
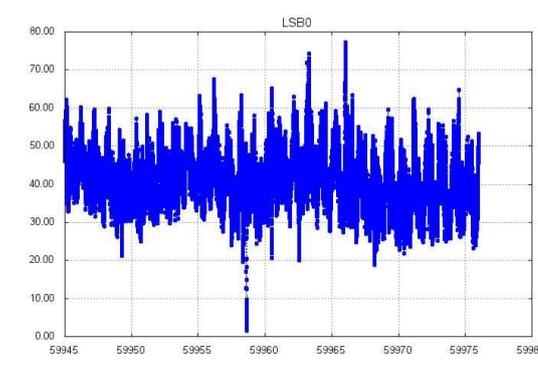
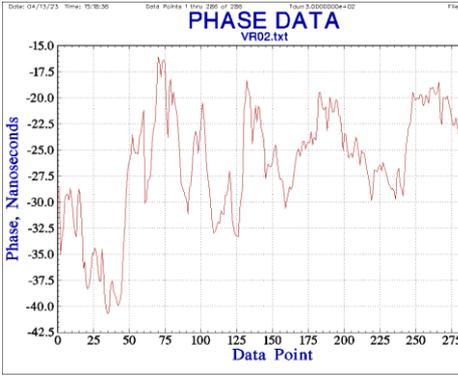
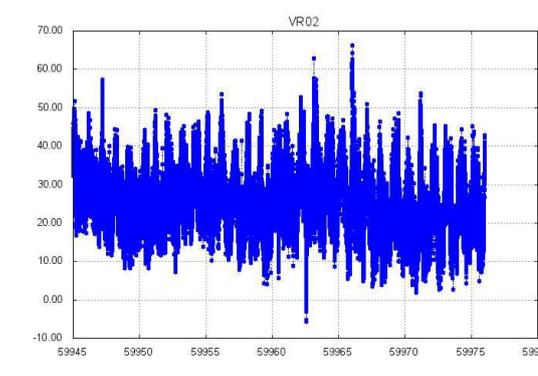
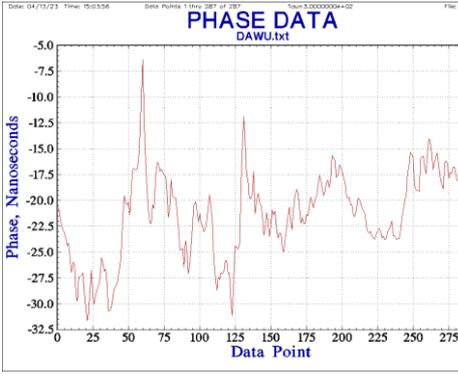
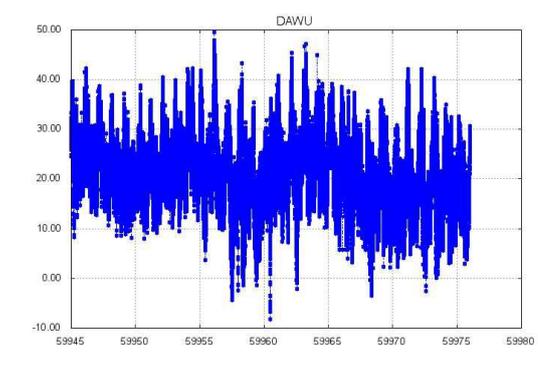
在以電碼法計算GNSS接收機時間偏移量時，發現不同接收儀型號針對不同種類的衛星有不同的P1記錄方式，Trimble的接收儀沒有紀錄GPS衛星的P1資料，但有紀錄GLONASS的P1資料；Topcon的接收儀則記錄GPS與GLONASS兩種衛星的P1資料；Leica的接收儀則對GPS與GLONASS兩種衛星的P1資料都沒紀錄。不過並不影響電碼法解算。以衛星時頻校正而言，GPS跟Galileo的時頻最精準，北斗的時頻精確度差GPS半個數量級(order)，GLONASS最差，與GPS差了一個order，BIPM在時頻上也不用GLONASS衛星，因此在時頻校正方面，星系的選擇應列入考量。

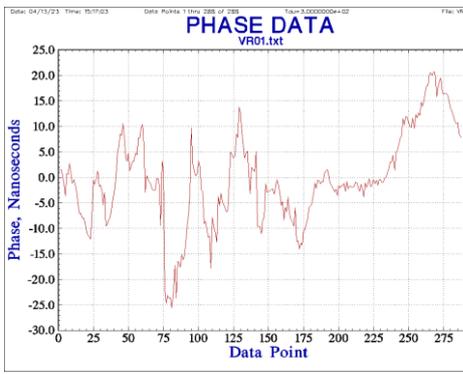
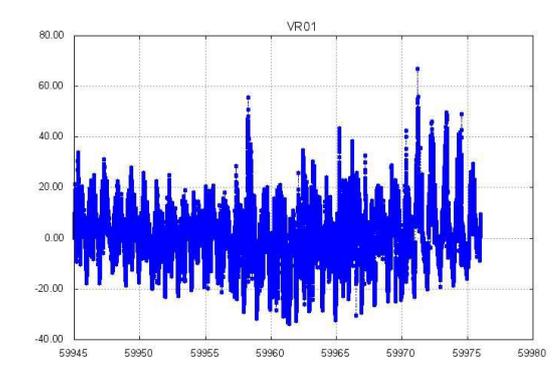
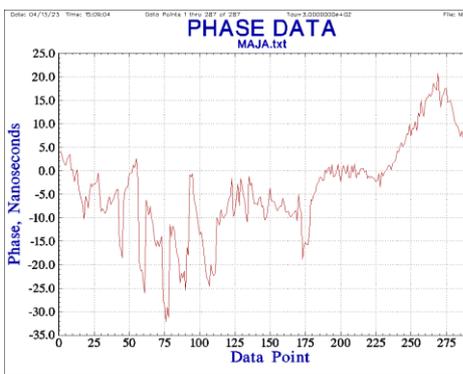
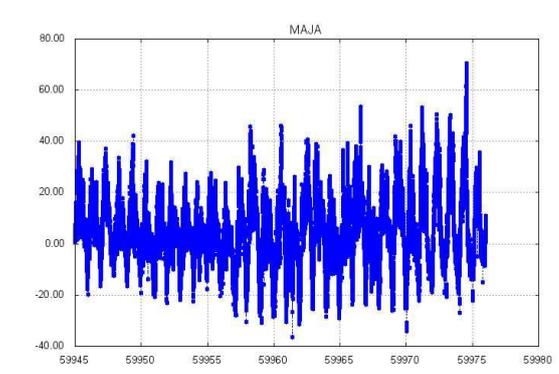
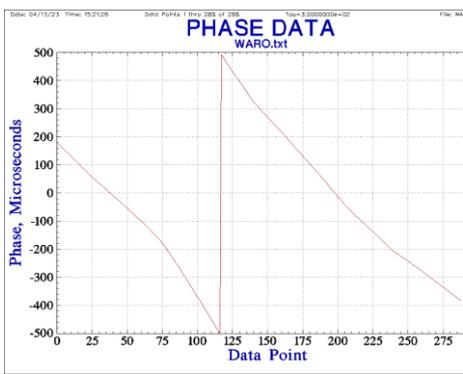
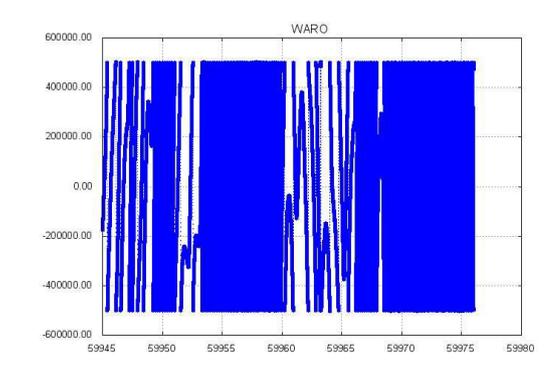
以電碼法計算GNSS接收機時間偏移量的結果，發現工研院TNML有幾個點出現異常低的值，查看RINEX檔案，發現多了G28這顆衛星，而G28已經於2021年6月28日退役，應不在運轉列中；將之轉換成CGGTTS (CCTF Group on GNSS Time Transfer Standards, CCTF is the Consultative Committee for Time and Frequency)格式時，G28的鐘差達到2.8微秒，與其他顆衛星差異很大，因此推斷造成極低偏移量的原因即為未剔除G28衛星所致。已於後續計算中，將G28衛星剔除。

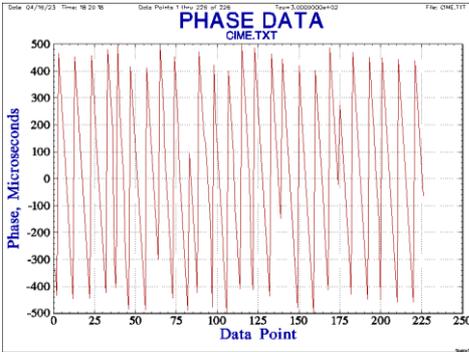
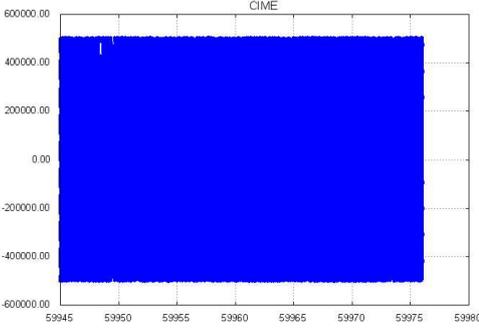
表4- 1、時間偏移量

站名	接收 儀廠 牌型 號	相位法	電碼法 (橫軸為MJD時間，縱軸為時間偏移量 ns)
台北 大學 NTPU	Trimble Alloy 外接 鈷鐘	因L2設定問題而無法解算。	 <p>NTPU</p>
陽明 山 YMS M	Trimble Alloy	 <p>PHASE DATA YMSM.txt</p>	 <p>YMSM</p>
麗水 派出所(烏 日) TC32	Trimble Alloy	 <p>PHASE DATA TC32.txt</p>	 <p>KMNM</p>

站名	接收 儀廠 牌型 號	相位法	電碼法 (橫軸為MJD時間，縱軸為時間偏移量 ns)
成大 測量 CKSV	Trimble Alloy		
金門 KMNM	Trimble Alloy		
工研 院 TNML	Trimble NetR9 外接 鈦鐘		
南寮 SHJU	Trimble NetR9		

站名	接收 儀廠 牌型 號	相位法	電碼法 (橫軸為MJD時間，縱軸為時間偏移量 ns)
測繪 中心 LSB0	Trimble NetR9 外接 鈦鐘		
二林 VR02	Trimble NetR9		
大武 DAWU	Trimble NetR9		

站名	接收 儀廠 牌型 號	相位法	電碼法 (橫軸為MJD時間，縱軸為時間偏移量 ns)
和美 VR01	Leica GR50		
瑪家 MAJA	Leica GR50		
萬榮 WARO	Topcon Net- G3A		

站名	接收儀廠牌型號	相位法	電碼法 (橫軸為MJD時間，縱軸為時間偏移量ns)
七美 CIME	Topcon NET-G3A		

4-2 頻率穩定度以及頻率偏移量

完成時間偏移量的計算之後，接著計算各站的頻率穩定度(Frequency stability)以及頻率偏移量(Frequency offset)。各站於2023/1/1~1/7的平均頻率穩定度與頻率偏移量如圖4-1與圖4-2，其中圖4-1(下)與圖4-2(下)為剔除穩定度與偏移量離合理範圍($1E-12$)較遠的測站。由圖可看出接收儀型號為Topcon Net-G3A的CIME與WARO之頻率穩定度與頻率偏移量較差，NTPU因L2設定錯誤導致資料異常，在剔除該異常站後，其他站的頻率穩定度與頻率偏移量由三種相位法及電碼法計算結果皆相當一致且合理，惟接收儀型號惟Leica GR50的MAJA與VR01兩站之頻率穩定度稍微略差。

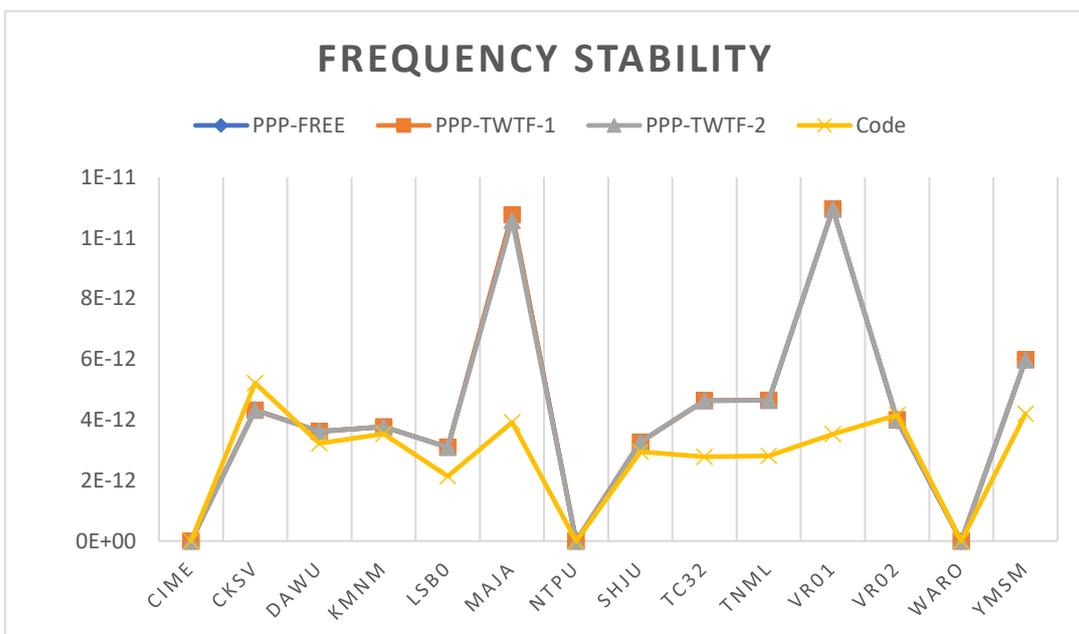
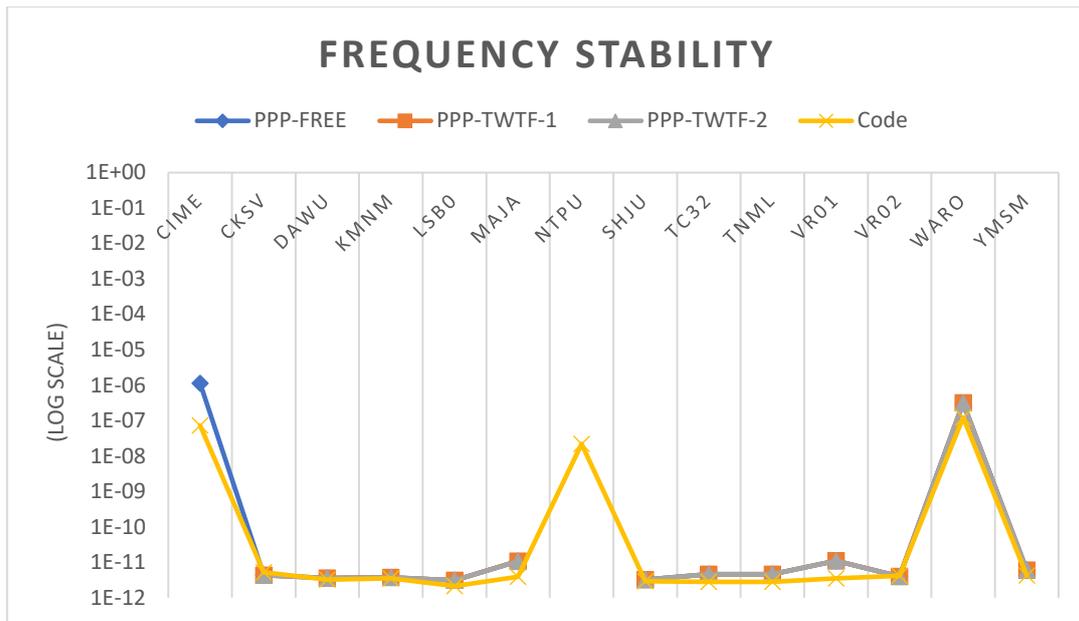


圖4-1、各站平均頻率穩定度

(圖4-1(下)為剔除離合理範圍(1E-12)較遠的測站)

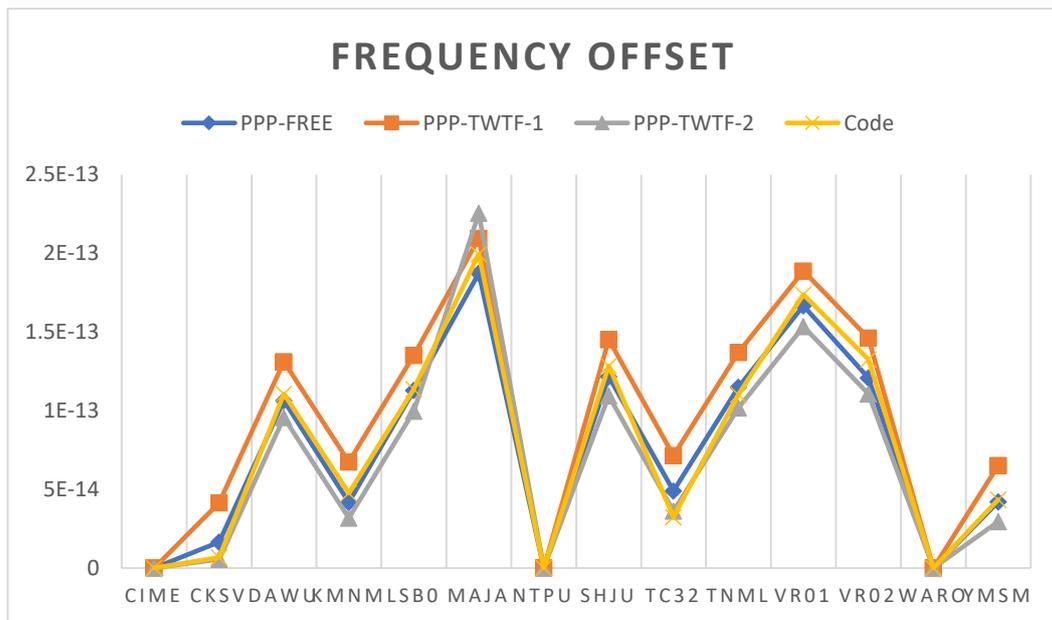
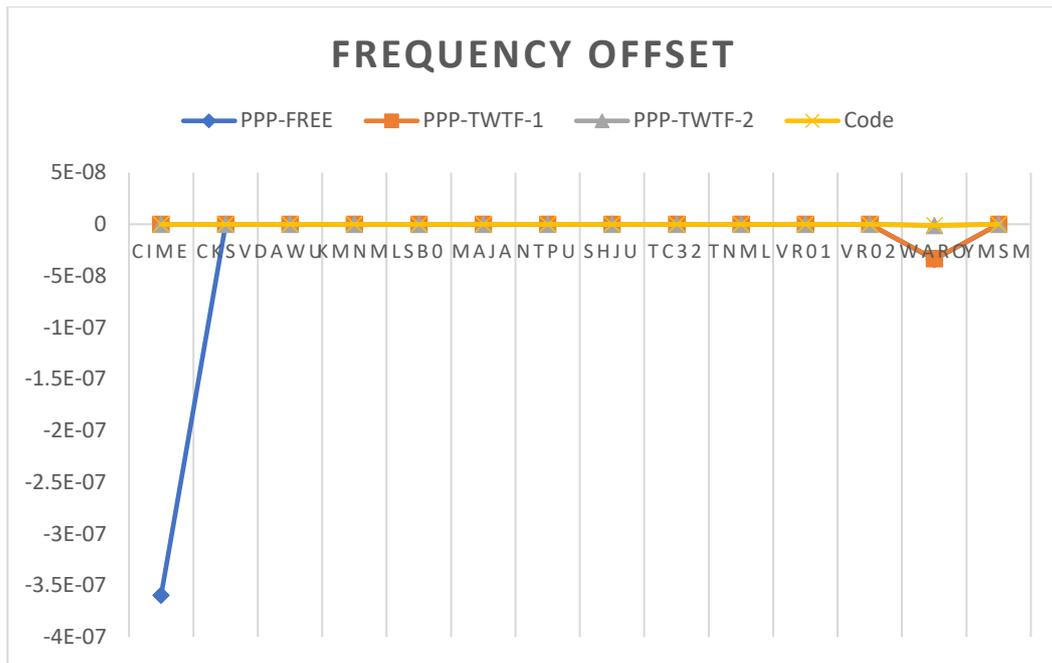
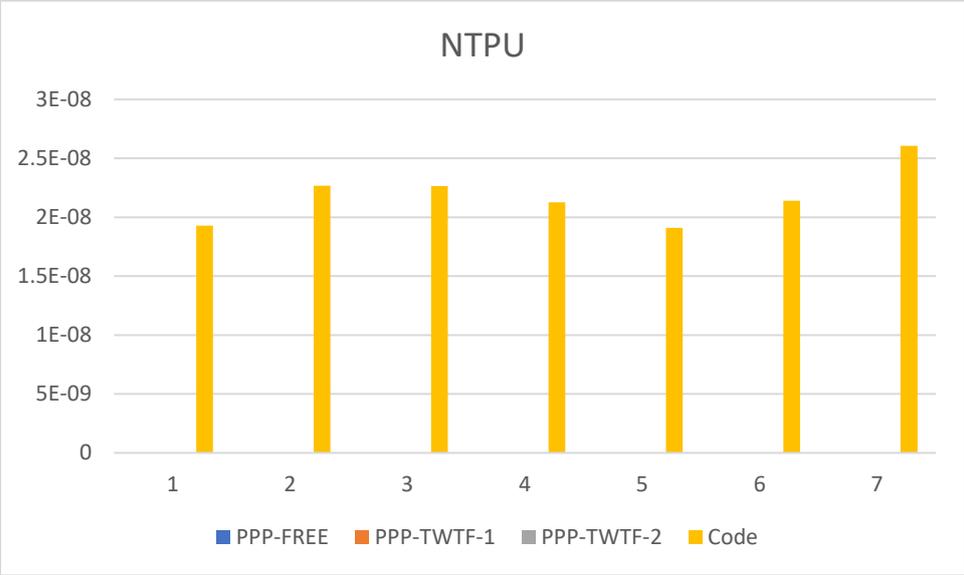
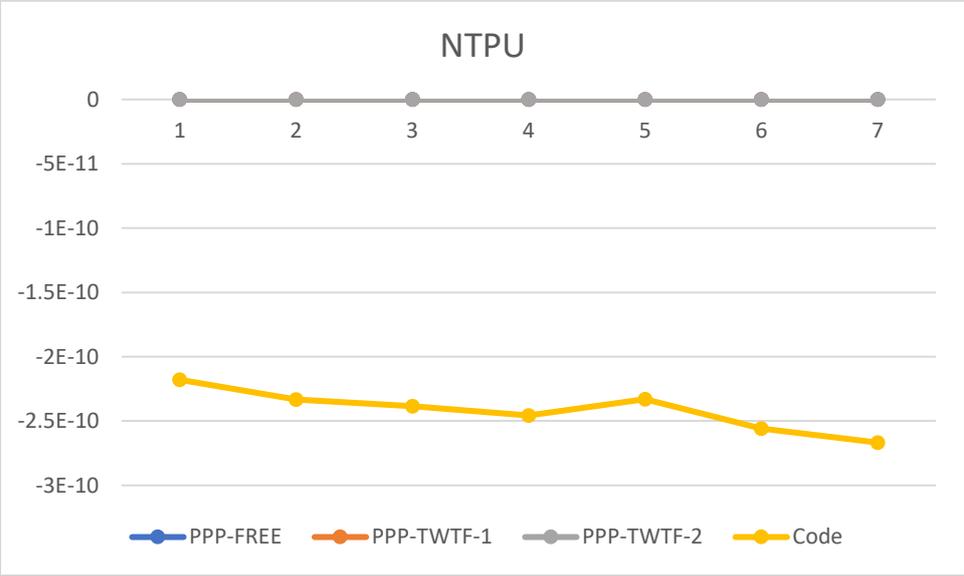


圖4- 2、各站平均頻率偏移量

(圖4-2(下)為剔除離合理範圍(1E-12)較遠的測站)

各站七天每日的頻率穩定度及頻率偏移量如下表列，可以看到除了異常的CIME與WARO兩站以外，各站使用三種相位法所計算的頻率穩定度皆一致，與電碼法計算結果也在精度範圍(1E-12)；在頻率偏移量方面，相位法與電碼法計算結果都在精度範圍，而以相位法PPP-FREE計算的偏移量與電碼法最一致。

表4- 2、每日頻率穩定度及頻率偏移量

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
台北大 學 NTPU	Trimble Alloy 外接鈷 鐘	<div style="text-align: center;">NTPU</div>  <table border="1" style="display: none;"> <caption>Frequency stability data (Estimated)</caption> <thead> <tr> <th>Day</th> <th>Code</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.9E-08</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.3E-08</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.3E-08</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.1E-08</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.9E-08</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.1E-08</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.6E-08</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;">NTPU</div>  <table border="1" style="display: none;"> <caption>Frequency offset data (Estimated)</caption> <thead> <tr> <th>Day</th> <th>Code</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>-2.2E-10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>-2.4E-10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>-2.4E-10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>-2.5E-10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>-2.4E-10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>-2.6E-10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>-2.7E-10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Day	Code	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	1	1.9E-08	0	0	0	2	2.3E-08	0	0	0	3	2.3E-08	0	0	0	4	2.1E-08	0	0	0	5	1.9E-08	0	0	0	6	2.1E-08	0	0	0	7	2.6E-08	0	0	0	Day	Code	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	1	-2.2E-10	0	0	0	2	-2.4E-10	0	0	0	3	-2.4E-10	0	0	0	4	-2.5E-10	0	0	0	5	-2.4E-10	0	0	0	6	-2.6E-10	0	0	0	7	-2.7E-10	0	0	0
Day	Code	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2																																																																														
1	1.9E-08	0	0	0																																																																														
2	2.3E-08	0	0	0																																																																														
3	2.3E-08	0	0	0																																																																														
4	2.1E-08	0	0	0																																																																														
5	1.9E-08	0	0	0																																																																														
6	2.1E-08	0	0	0																																																																														
7	2.6E-08	0	0	0																																																																														
Day	Code	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2																																																																														
1	-2.2E-10	0	0	0																																																																														
2	-2.4E-10	0	0	0																																																																														
3	-2.4E-10	0	0	0																																																																														
4	-2.5E-10	0	0	0																																																																														
5	-2.4E-10	0	0	0																																																																														
6	-2.6E-10	0	0	0																																																																														
7	-2.7E-10	0	0	0																																																																														

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
陽明山 YMSM	Trimble Alloy	<div data-bbox="422 414 1385 985"> <p style="text-align: center;">YMSM</p> <table border="1"> <caption>Frequency Offset Data (Bar Chart)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5.8E-12</td><td>5.8E-12</td><td>5.8E-12</td><td>4.2E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>5.8E-12</td><td>5.8E-12</td><td>5.8E-12</td><td>4.0E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>6.3E-12</td><td>6.3E-12</td><td>6.3E-12</td><td>4.8E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>5.5E-12</td><td>5.5E-12</td><td>5.5E-12</td><td>5.5E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>6.8E-12</td><td>6.8E-12</td><td>6.8E-12</td><td>4.0E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>5.5E-12</td><td>5.5E-12</td><td>5.5E-12</td><td>3.3E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>6.0E-12</td><td>6.0E-12</td><td>6.0E-12</td><td>3.3E-12</td></tr> </tbody> </table> </div> <div data-bbox="422 1019 1385 1590"> <p style="text-align: center;">YMSM</p> <table border="1"> <caption>Frequency Stability Data (Line Chart)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>6.0E-14</td><td>0.0E+00</td><td>1.5E-14</td><td>7.5E-14</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.0E-14</td><td>6.0E-14</td><td>3.5E-14</td><td>6.0E-14</td></tr> <tr><td>3</td><td>8.0E-14</td><td>1.95E-13</td><td>4.5E-14</td><td>7.5E-14</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.5E-14</td><td>1.7E-13</td><td>8.5E-14</td><td>4.0E-14</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.5E-14</td><td>4.5E-14</td><td>5.0E-14</td><td>1.5E-14</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.5E-14</td><td>-1.0E-14</td><td>-1.0E-14</td><td>-1.0E-14</td></tr> <tr><td>7</td><td>5.5E-14</td><td>-1.0E-14</td><td>-1.5E-14</td><td>4.5E-14</td></tr> </tbody> </table> </div>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	5.8E-12	5.8E-12	5.8E-12	4.2E-12	2	5.8E-12	5.8E-12	5.8E-12	4.0E-12	3	6.3E-12	6.3E-12	6.3E-12	4.8E-12	4	5.5E-12	5.5E-12	5.5E-12	5.5E-12	5	6.8E-12	6.8E-12	6.8E-12	4.0E-12	6	5.5E-12	5.5E-12	5.5E-12	3.3E-12	7	6.0E-12	6.0E-12	6.0E-12	3.3E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	6.0E-14	0.0E+00	1.5E-14	7.5E-14	2	4.0E-14	6.0E-14	3.5E-14	6.0E-14	3	8.0E-14	1.95E-13	4.5E-14	7.5E-14	4	2.5E-14	1.7E-13	8.5E-14	4.0E-14	5	1.5E-14	4.5E-14	5.0E-14	1.5E-14	6	1.5E-14	-1.0E-14	-1.0E-14	-1.0E-14	7	5.5E-14	-1.0E-14	-1.5E-14	4.5E-14
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	5.8E-12	5.8E-12	5.8E-12	4.2E-12																																																																														
2	5.8E-12	5.8E-12	5.8E-12	4.0E-12																																																																														
3	6.3E-12	6.3E-12	6.3E-12	4.8E-12																																																																														
4	5.5E-12	5.5E-12	5.5E-12	5.5E-12																																																																														
5	6.8E-12	6.8E-12	6.8E-12	4.0E-12																																																																														
6	5.5E-12	5.5E-12	5.5E-12	3.3E-12																																																																														
7	6.0E-12	6.0E-12	6.0E-12	3.3E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	6.0E-14	0.0E+00	1.5E-14	7.5E-14																																																																														
2	4.0E-14	6.0E-14	3.5E-14	6.0E-14																																																																														
3	8.0E-14	1.95E-13	4.5E-14	7.5E-14																																																																														
4	2.5E-14	1.7E-13	8.5E-14	4.0E-14																																																																														
5	1.5E-14	4.5E-14	5.0E-14	1.5E-14																																																																														
6	1.5E-14	-1.0E-14	-1.0E-14	-1.0E-14																																																																														
7	5.5E-14	-1.0E-14	-1.5E-14	4.5E-14																																																																														

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
麗水派出所 (烏日) TC32	Trimble Alloy	<p style="text-align: center;">TC32</p> <table border="1"> <caption>Frequency stability (Bar Chart Data)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.5E-12</td><td>4.5E-12</td><td>4.5E-12</td><td>2.8E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>5.2E-12</td><td>5.2E-12</td><td>5.2E-12</td><td>3.4E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.5E-12</td><td>3.5E-12</td><td>3.5E-12</td><td>2.4E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>3.5E-12</td><td>3.5E-12</td><td>3.5E-12</td><td>2.4E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>4.3E-12</td><td>4.3E-12</td><td>4.3E-12</td><td>2.5E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>6.3E-12</td><td>6.3E-12</td><td>6.3E-12</td><td>2.9E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>4.9E-12</td><td>4.9E-12</td><td>4.9E-12</td><td>2.8E-12</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">TC32</p> <table border="1"> <caption>Frequency offset (Line Chart Data)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.5E-14</td><td>-1.5E-14</td><td>0.0E+00</td><td>4.5E-14</td></tr> <tr><td>2</td><td>5.0E-14</td><td>7.5E-14</td><td>5.0E-14</td><td>5.0E-14</td></tr> <tr><td>3</td><td>9.0E-14</td><td>2.1E-13</td><td>5.5E-14</td><td>7.0E-14</td></tr> <tr><td>4</td><td>7.0E-14</td><td>2.1E-13</td><td>1.25E-13</td><td>5.0E-14</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.0E+00</td><td>3.5E-14</td><td>3.5E-14</td><td>-1.5E-14</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.5E-14</td><td>-1.0E-14</td><td>-1.0E-14</td><td>-1.0E-14</td></tr> <tr><td>7</td><td>6.0E-14</td><td>0.0E+00</td><td>-1.0E-14</td><td>3.5E-14</td></tr> </tbody> </table>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	4.5E-12	4.5E-12	4.5E-12	2.8E-12	2	5.2E-12	5.2E-12	5.2E-12	3.4E-12	3	3.5E-12	3.5E-12	3.5E-12	2.4E-12	4	3.5E-12	3.5E-12	3.5E-12	2.4E-12	5	4.3E-12	4.3E-12	4.3E-12	2.5E-12	6	6.3E-12	6.3E-12	6.3E-12	2.9E-12	7	4.9E-12	4.9E-12	4.9E-12	2.8E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	4.5E-14	-1.5E-14	0.0E+00	4.5E-14	2	5.0E-14	7.5E-14	5.0E-14	5.0E-14	3	9.0E-14	2.1E-13	5.5E-14	7.0E-14	4	7.0E-14	2.1E-13	1.25E-13	5.0E-14	5	0.0E+00	3.5E-14	3.5E-14	-1.5E-14	6	1.5E-14	-1.0E-14	-1.0E-14	-1.0E-14	7	6.0E-14	0.0E+00	-1.0E-14	3.5E-14
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	4.5E-12	4.5E-12	4.5E-12	2.8E-12																																																																														
2	5.2E-12	5.2E-12	5.2E-12	3.4E-12																																																																														
3	3.5E-12	3.5E-12	3.5E-12	2.4E-12																																																																														
4	3.5E-12	3.5E-12	3.5E-12	2.4E-12																																																																														
5	4.3E-12	4.3E-12	4.3E-12	2.5E-12																																																																														
6	6.3E-12	6.3E-12	6.3E-12	2.9E-12																																																																														
7	4.9E-12	4.9E-12	4.9E-12	2.8E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	4.5E-14	-1.5E-14	0.0E+00	4.5E-14																																																																														
2	5.0E-14	7.5E-14	5.0E-14	5.0E-14																																																																														
3	9.0E-14	2.1E-13	5.5E-14	7.0E-14																																																																														
4	7.0E-14	2.1E-13	1.25E-13	5.0E-14																																																																														
5	0.0E+00	3.5E-14	3.5E-14	-1.5E-14																																																																														
6	1.5E-14	-1.0E-14	-1.0E-14	-1.0E-14																																																																														
7	6.0E-14	0.0E+00	-1.0E-14	3.5E-14																																																																														

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
成大測 量 CKSV	Trimble Alloy	<div style="text-align: center;">CKSV</div> <table border="1"> <caption>Frequency stability data (Estimated)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.5E-12</td><td>4.5E-12</td><td>4.5E-12</td><td>2.5E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.0E-12</td><td>4.0E-12</td><td>4.0E-12</td><td>3.2E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>4.8E-12</td><td>4.8E-12</td><td>4.8E-12</td><td>5.5E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>3.5E-12</td><td>3.5E-12</td><td>3.5E-12</td><td>4.8E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>4.8E-12</td><td>4.8E-12</td><td>4.8E-12</td><td>7.2E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>3.8E-12</td><td>3.8E-12</td><td>3.8E-12</td><td>7.8E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>4.6E-12</td><td>4.6E-12</td><td>4.6E-12</td><td>5.5E-12</td></tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;">CKSV</div> <table border="1"> <caption>Frequency offset data (Estimated)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>-1.5E-14</td><td>-8.0E-14</td><td>-6.5E-14</td><td>-1.0E-14</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.5E-14</td><td>7.0E-14</td><td>4.0E-14</td><td>5.5E-14</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.5E-14</td><td>1.6E-13</td><td>0.5E-14</td><td>-1.0E-14</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.0E-14</td><td>1.6E-13</td><td>7.5E-14</td><td>0.5E-14</td></tr> <tr><td>5</td><td>-1.0E-14</td><td>2.0E-14</td><td>2.0E-14</td><td>-1.5E-14</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.5E-14</td><td>0.0E-14</td><td>0.0E-14</td><td>1.0E-14</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.5E-14</td><td>-4.0E-14</td><td>-5.0E-14</td><td>-1.0E-14</td></tr> </tbody> </table>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	4.5E-12	4.5E-12	4.5E-12	2.5E-12	2	4.0E-12	4.0E-12	4.0E-12	3.2E-12	3	4.8E-12	4.8E-12	4.8E-12	5.5E-12	4	3.5E-12	3.5E-12	3.5E-12	4.8E-12	5	4.8E-12	4.8E-12	4.8E-12	7.2E-12	6	3.8E-12	3.8E-12	3.8E-12	7.8E-12	7	4.6E-12	4.6E-12	4.6E-12	5.5E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	-1.5E-14	-8.0E-14	-6.5E-14	-1.0E-14	2	4.5E-14	7.0E-14	4.0E-14	5.5E-14	3	3.5E-14	1.6E-13	0.5E-14	-1.0E-14	4	2.0E-14	1.6E-13	7.5E-14	0.5E-14	5	-1.0E-14	2.0E-14	2.0E-14	-1.5E-14	6	1.5E-14	0.0E-14	0.0E-14	1.0E-14	7	2.5E-14	-4.0E-14	-5.0E-14	-1.0E-14
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	4.5E-12	4.5E-12	4.5E-12	2.5E-12																																																																														
2	4.0E-12	4.0E-12	4.0E-12	3.2E-12																																																																														
3	4.8E-12	4.8E-12	4.8E-12	5.5E-12																																																																														
4	3.5E-12	3.5E-12	3.5E-12	4.8E-12																																																																														
5	4.8E-12	4.8E-12	4.8E-12	7.2E-12																																																																														
6	3.8E-12	3.8E-12	3.8E-12	7.8E-12																																																																														
7	4.6E-12	4.6E-12	4.6E-12	5.5E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	-1.5E-14	-8.0E-14	-6.5E-14	-1.0E-14																																																																														
2	4.5E-14	7.0E-14	4.0E-14	5.5E-14																																																																														
3	3.5E-14	1.6E-13	0.5E-14	-1.0E-14																																																																														
4	2.0E-14	1.6E-13	7.5E-14	0.5E-14																																																																														
5	-1.0E-14	2.0E-14	2.0E-14	-1.5E-14																																																																														
6	1.5E-14	0.0E-14	0.0E-14	1.0E-14																																																																														
7	2.5E-14	-4.0E-14	-5.0E-14	-1.0E-14																																																																														

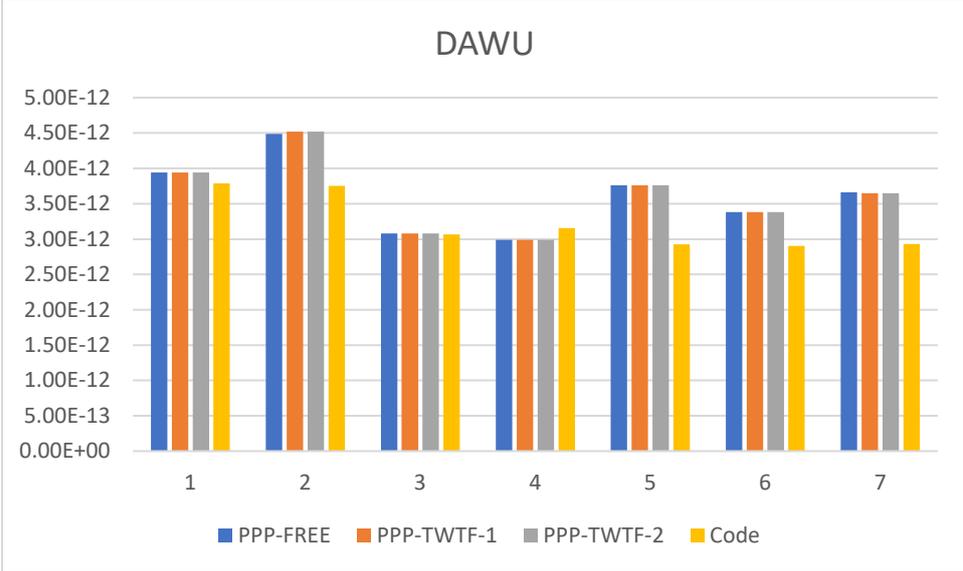
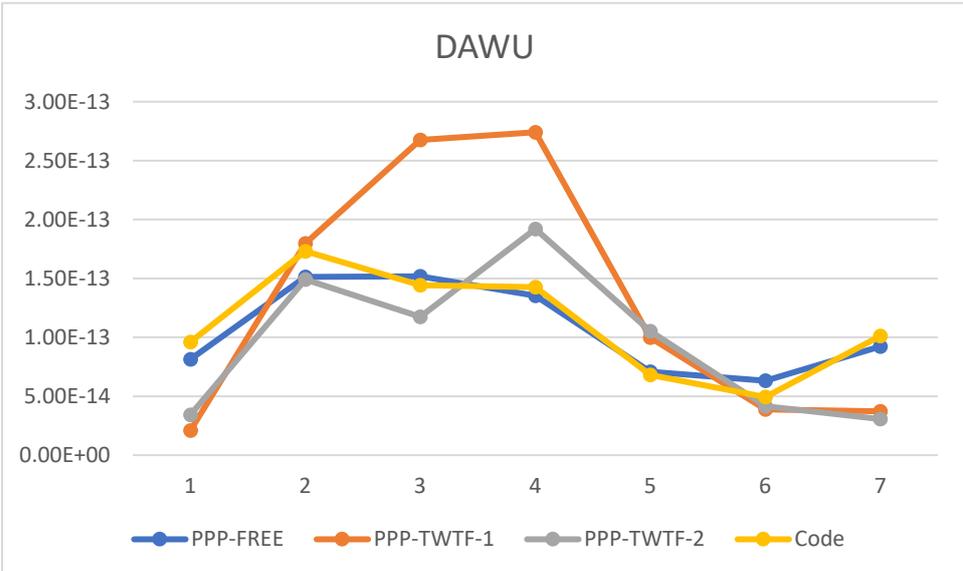
站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
金門 KMNM	Trimble Alloy	<div data-bbox="422 414 1385 985"> <p style="text-align: center;">KMNM</p> <table border="1"> <caption>Frequency stability (Bar Chart)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.20E-12</td><td>4.20E-12</td><td>4.20E-12</td><td>3.80E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.10E-12</td><td>4.10E-12</td><td>4.10E-12</td><td>3.80E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>4.00E-12</td><td>4.00E-12</td><td>4.00E-12</td><td>4.20E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>3.20E-12</td><td>3.20E-12</td><td>3.20E-12</td><td>4.10E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>3.70E-12</td><td>3.70E-12</td><td>3.70E-12</td><td>2.50E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>3.10E-12</td><td>3.10E-12</td><td>3.10E-12</td><td>2.90E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>3.50E-12</td><td>3.50E-12</td><td>3.50E-12</td><td>3.10E-12</td></tr> </tbody> </table> </div> <div data-bbox="422 1019 1385 1590"> <p style="text-align: center;">KMNM</p> <table border="1"> <caption>Frequency offset (Line Chart)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5.00E-14</td><td>0.00E+00</td><td>1.00E-14</td><td>7.50E-14</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.50E-14</td><td>6.50E-14</td><td>3.50E-14</td><td>6.50E-14</td></tr> <tr><td>3</td><td>6.50E-14</td><td>1.85E-13</td><td>3.50E-14</td><td>6.50E-14</td></tr> <tr><td>4</td><td>4.50E-14</td><td>1.85E-13</td><td>1.05E-13</td><td>5.50E-14</td></tr> <tr><td>5</td><td>3.50E-14</td><td>6.50E-14</td><td>6.50E-14</td><td>2.50E-14</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.00E-14</td><td>0.00E+00</td><td>0.00E+00</td><td>0.50E-14</td></tr> <tr><td>7</td><td>3.00E-14</td><td>-2.50E-14</td><td>-3.50E-14</td><td>3.50E-14</td></tr> </tbody> </table> </div>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	4.20E-12	4.20E-12	4.20E-12	3.80E-12	2	4.10E-12	4.10E-12	4.10E-12	3.80E-12	3	4.00E-12	4.00E-12	4.00E-12	4.20E-12	4	3.20E-12	3.20E-12	3.20E-12	4.10E-12	5	3.70E-12	3.70E-12	3.70E-12	2.50E-12	6	3.10E-12	3.10E-12	3.10E-12	2.90E-12	7	3.50E-12	3.50E-12	3.50E-12	3.10E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	5.00E-14	0.00E+00	1.00E-14	7.50E-14	2	4.50E-14	6.50E-14	3.50E-14	6.50E-14	3	6.50E-14	1.85E-13	3.50E-14	6.50E-14	4	4.50E-14	1.85E-13	1.05E-13	5.50E-14	5	3.50E-14	6.50E-14	6.50E-14	2.50E-14	6	2.00E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.50E-14	7	3.00E-14	-2.50E-14	-3.50E-14	3.50E-14
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	4.20E-12	4.20E-12	4.20E-12	3.80E-12																																																																														
2	4.10E-12	4.10E-12	4.10E-12	3.80E-12																																																																														
3	4.00E-12	4.00E-12	4.00E-12	4.20E-12																																																																														
4	3.20E-12	3.20E-12	3.20E-12	4.10E-12																																																																														
5	3.70E-12	3.70E-12	3.70E-12	2.50E-12																																																																														
6	3.10E-12	3.10E-12	3.10E-12	2.90E-12																																																																														
7	3.50E-12	3.50E-12	3.50E-12	3.10E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	5.00E-14	0.00E+00	1.00E-14	7.50E-14																																																																														
2	4.50E-14	6.50E-14	3.50E-14	6.50E-14																																																																														
3	6.50E-14	1.85E-13	3.50E-14	6.50E-14																																																																														
4	4.50E-14	1.85E-13	1.05E-13	5.50E-14																																																																														
5	3.50E-14	6.50E-14	6.50E-14	2.50E-14																																																																														
6	2.00E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.50E-14																																																																														
7	3.00E-14	-2.50E-14	-3.50E-14	3.50E-14																																																																														

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
工研院 TNML	Trimble NetR9 外接鈷 鐘	<div style="text-align: center;">TNML</div> <table border="1"> <caption>Frequency Offset Data (Bar Chart)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3.50E-12</td><td>3.50E-12</td><td>3.50E-12</td><td>2.50E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>3.50E-12</td><td>3.50E-12</td><td>3.50E-12</td><td>2.50E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.00E-12</td><td>3.00E-12</td><td>3.00E-12</td><td>2.50E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.80E-12</td><td>2.80E-12</td><td>2.80E-12</td><td>2.50E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>3.00E-12</td><td>3.00E-12</td><td>3.00E-12</td><td>2.50E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.40E-11</td><td>1.40E-11</td><td>1.40E-11</td><td>5.00E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>3.00E-12</td><td>3.00E-12</td><td>3.00E-12</td><td>2.50E-12</td></tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;">TNML</div> <table border="1"> <caption>Frequency Stability Data (Line Chart)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>9.00E-14</td><td>3.00E-14</td><td>4.00E-14</td><td>1.00E-13</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.30E-13</td><td>1.50E-13</td><td>1.20E-13</td><td>1.40E-13</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.60E-13</td><td>2.80E-13</td><td>1.30E-13</td><td>1.50E-13</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.40E-13</td><td>2.80E-13</td><td>2.00E-13</td><td>1.40E-13</td></tr> <tr><td>5</td><td>7.00E-14</td><td>1.00E-13</td><td>1.00E-13</td><td>6.00E-14</td></tr> <tr><td>6</td><td>8.00E-14</td><td>5.00E-14</td><td>5.00E-14</td><td>5.00E-14</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.20E-13</td><td>6.00E-14</td><td>5.00E-14</td><td>1.00E-13</td></tr> </tbody> </table>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	3.50E-12	3.50E-12	3.50E-12	2.50E-12	2	3.50E-12	3.50E-12	3.50E-12	2.50E-12	3	3.00E-12	3.00E-12	3.00E-12	2.50E-12	4	2.80E-12	2.80E-12	2.80E-12	2.50E-12	5	3.00E-12	3.00E-12	3.00E-12	2.50E-12	6	1.40E-11	1.40E-11	1.40E-11	5.00E-12	7	3.00E-12	3.00E-12	3.00E-12	2.50E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	9.00E-14	3.00E-14	4.00E-14	1.00E-13	2	1.30E-13	1.50E-13	1.20E-13	1.40E-13	3	1.60E-13	2.80E-13	1.30E-13	1.50E-13	4	1.40E-13	2.80E-13	2.00E-13	1.40E-13	5	7.00E-14	1.00E-13	1.00E-13	6.00E-14	6	8.00E-14	5.00E-14	5.00E-14	5.00E-14	7	1.20E-13	6.00E-14	5.00E-14	1.00E-13
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	3.50E-12	3.50E-12	3.50E-12	2.50E-12																																																																														
2	3.50E-12	3.50E-12	3.50E-12	2.50E-12																																																																														
3	3.00E-12	3.00E-12	3.00E-12	2.50E-12																																																																														
4	2.80E-12	2.80E-12	2.80E-12	2.50E-12																																																																														
5	3.00E-12	3.00E-12	3.00E-12	2.50E-12																																																																														
6	1.40E-11	1.40E-11	1.40E-11	5.00E-12																																																																														
7	3.00E-12	3.00E-12	3.00E-12	2.50E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	9.00E-14	3.00E-14	4.00E-14	1.00E-13																																																																														
2	1.30E-13	1.50E-13	1.20E-13	1.40E-13																																																																														
3	1.60E-13	2.80E-13	1.30E-13	1.50E-13																																																																														
4	1.40E-13	2.80E-13	2.00E-13	1.40E-13																																																																														
5	7.00E-14	1.00E-13	1.00E-13	6.00E-14																																																																														
6	8.00E-14	5.00E-14	5.00E-14	5.00E-14																																																																														
7	1.20E-13	6.00E-14	5.00E-14	1.00E-13																																																																														

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
南寮 SHJU	Trimble NetR9	<p style="text-align: center;">SHJU</p> <table border="1"> <caption>Frequency stability (Bar Chart)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3.90E-12</td><td>3.90E-12</td><td>3.90E-12</td><td>3.75E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>3.60E-12</td><td>3.60E-12</td><td>3.60E-12</td><td>2.90E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.30E-12</td><td>3.30E-12</td><td>3.30E-12</td><td>3.25E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.85E-12</td><td>2.85E-12</td><td>2.85E-12</td><td>2.30E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>3.15E-12</td><td>3.15E-12</td><td>3.15E-12</td><td>3.05E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>3.15E-12</td><td>3.15E-12</td><td>3.15E-12</td><td>2.85E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.75E-12</td><td>2.75E-12</td><td>2.75E-12</td><td>2.40E-12</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">SHJU</p> <table border="1"> <caption>Frequency offset (Line Chart)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>8.0E-14</td><td>3.0E-14</td><td>4.0E-14</td><td>1.15E-13</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.50E-13</td><td>1.70E-13</td><td>1.45E-13</td><td>1.65E-13</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.60E-13</td><td>2.70E-13</td><td>1.25E-13</td><td>1.55E-13</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.65E-13</td><td>3.00E-13</td><td>2.20E-13</td><td>1.75E-13</td></tr> <tr><td>5</td><td>8.0E-14</td><td>1.15E-13</td><td>1.15E-13</td><td>9.0E-14</td></tr> <tr><td>6</td><td>8.0E-14</td><td>6.0E-14</td><td>5.5E-14</td><td>7.5E-14</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.30E-13</td><td>7.0E-14</td><td>6.0E-14</td><td>1.30E-13</td></tr> </tbody> </table>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	3.90E-12	3.90E-12	3.90E-12	3.75E-12	2	3.60E-12	3.60E-12	3.60E-12	2.90E-12	3	3.30E-12	3.30E-12	3.30E-12	3.25E-12	4	2.85E-12	2.85E-12	2.85E-12	2.30E-12	5	3.15E-12	3.15E-12	3.15E-12	3.05E-12	6	3.15E-12	3.15E-12	3.15E-12	2.85E-12	7	2.75E-12	2.75E-12	2.75E-12	2.40E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	8.0E-14	3.0E-14	4.0E-14	1.15E-13	2	1.50E-13	1.70E-13	1.45E-13	1.65E-13	3	1.60E-13	2.70E-13	1.25E-13	1.55E-13	4	1.65E-13	3.00E-13	2.20E-13	1.75E-13	5	8.0E-14	1.15E-13	1.15E-13	9.0E-14	6	8.0E-14	6.0E-14	5.5E-14	7.5E-14	7	1.30E-13	7.0E-14	6.0E-14	1.30E-13
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	3.90E-12	3.90E-12	3.90E-12	3.75E-12																																																																														
2	3.60E-12	3.60E-12	3.60E-12	2.90E-12																																																																														
3	3.30E-12	3.30E-12	3.30E-12	3.25E-12																																																																														
4	2.85E-12	2.85E-12	2.85E-12	2.30E-12																																																																														
5	3.15E-12	3.15E-12	3.15E-12	3.05E-12																																																																														
6	3.15E-12	3.15E-12	3.15E-12	2.85E-12																																																																														
7	2.75E-12	2.75E-12	2.75E-12	2.40E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	8.0E-14	3.0E-14	4.0E-14	1.15E-13																																																																														
2	1.50E-13	1.70E-13	1.45E-13	1.65E-13																																																																														
3	1.60E-13	2.70E-13	1.25E-13	1.55E-13																																																																														
4	1.65E-13	3.00E-13	2.20E-13	1.75E-13																																																																														
5	8.0E-14	1.15E-13	1.15E-13	9.0E-14																																																																														
6	8.0E-14	6.0E-14	5.5E-14	7.5E-14																																																																														
7	1.30E-13	7.0E-14	6.0E-14	1.30E-13																																																																														

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
測繪中 心 LSB0	Trimble NetR9 外接鈷 鐘	<div style="text-align: center;">LSB0</div> <table border="1"> <caption>Frequency stability (Bar Chart Data)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3.80E-12</td><td>3.80E-12</td><td>3.80E-12</td><td>2.30E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>3.20E-12</td><td>3.20E-12</td><td>3.20E-12</td><td>2.10E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.30E-12</td><td>3.30E-12</td><td>3.30E-12</td><td>2.20E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.70E-12</td><td>2.70E-12</td><td>2.70E-12</td><td>1.80E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>2.90E-12</td><td>2.90E-12</td><td>2.90E-12</td><td>2.10E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.50E-12</td><td>2.50E-12</td><td>2.50E-12</td><td>1.90E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.70E-12</td><td>2.70E-12</td><td>2.70E-12</td><td>2.10E-12</td></tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;">LSB0</div> <table border="1"> <caption>Frequency offset (Line Chart Data)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.00E-13</td><td>4.00E-14</td><td>5.00E-14</td><td>1.10E-13</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.40E-13</td><td>1.60E-13</td><td>1.30E-13</td><td>1.50E-13</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.30E-13</td><td>2.40E-13</td><td>9.00E-14</td><td>1.20E-13</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.70E-13</td><td>3.00E-13</td><td>2.20E-13</td><td>1.60E-13</td></tr> <tr><td>5</td><td>6.00E-14</td><td>9.00E-14</td><td>1.00E-13</td><td>6.00E-14</td></tr> <tr><td>6</td><td>7.00E-14</td><td>5.00E-14</td><td>5.00E-14</td><td>6.00E-14</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.10E-13</td><td>4.00E-14</td><td>4.00E-14</td><td>1.00E-13</td></tr> </tbody> </table>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	3.80E-12	3.80E-12	3.80E-12	2.30E-12	2	3.20E-12	3.20E-12	3.20E-12	2.10E-12	3	3.30E-12	3.30E-12	3.30E-12	2.20E-12	4	2.70E-12	2.70E-12	2.70E-12	1.80E-12	5	2.90E-12	2.90E-12	2.90E-12	2.10E-12	6	2.50E-12	2.50E-12	2.50E-12	1.90E-12	7	2.70E-12	2.70E-12	2.70E-12	2.10E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	1.00E-13	4.00E-14	5.00E-14	1.10E-13	2	1.40E-13	1.60E-13	1.30E-13	1.50E-13	3	1.30E-13	2.40E-13	9.00E-14	1.20E-13	4	1.70E-13	3.00E-13	2.20E-13	1.60E-13	5	6.00E-14	9.00E-14	1.00E-13	6.00E-14	6	7.00E-14	5.00E-14	5.00E-14	6.00E-14	7	1.10E-13	4.00E-14	4.00E-14	1.00E-13
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	3.80E-12	3.80E-12	3.80E-12	2.30E-12																																																																														
2	3.20E-12	3.20E-12	3.20E-12	2.10E-12																																																																														
3	3.30E-12	3.30E-12	3.30E-12	2.20E-12																																																																														
4	2.70E-12	2.70E-12	2.70E-12	1.80E-12																																																																														
5	2.90E-12	2.90E-12	2.90E-12	2.10E-12																																																																														
6	2.50E-12	2.50E-12	2.50E-12	1.90E-12																																																																														
7	2.70E-12	2.70E-12	2.70E-12	2.10E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	1.00E-13	4.00E-14	5.00E-14	1.10E-13																																																																														
2	1.40E-13	1.60E-13	1.30E-13	1.50E-13																																																																														
3	1.30E-13	2.40E-13	9.00E-14	1.20E-13																																																																														
4	1.70E-13	3.00E-13	2.20E-13	1.60E-13																																																																														
5	6.00E-14	9.00E-14	1.00E-13	6.00E-14																																																																														
6	7.00E-14	5.00E-14	5.00E-14	6.00E-14																																																																														
7	1.10E-13	4.00E-14	4.00E-14	1.00E-13																																																																														

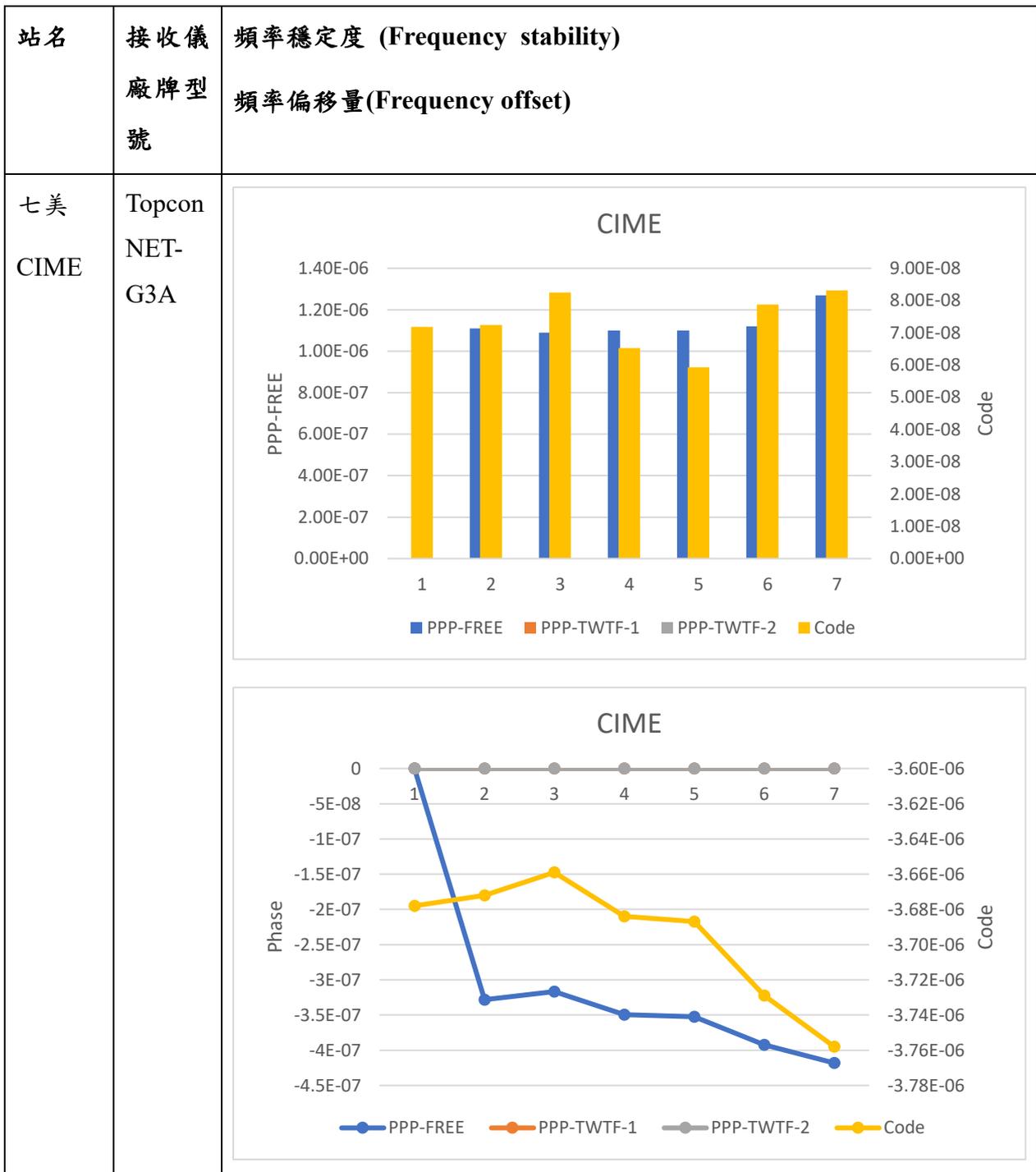
站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
二林 VR02	Trimble NetR9	<div style="text-align: center;">VR02</div> <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Frequency Stability Data (Estimated)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.5E-12</td><td>4.5E-12</td><td>4.5E-12</td><td>4.5E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>3.8E-12</td><td>3.8E-12</td><td>3.8E-12</td><td>3.8E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.8E-12</td><td>3.8E-12</td><td>3.8E-12</td><td>5.2E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>3.3E-12</td><td>3.3E-12</td><td>3.3E-12</td><td>3.5E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>3.4E-12</td><td>3.4E-12</td><td>3.4E-12</td><td>3.4E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>3.7E-12</td><td>3.9E-12</td><td>3.9E-12</td><td>3.9E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>4.3E-12</td><td>4.3E-12</td><td>4.3E-12</td><td>3.8E-12</td></tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;">VR02</div> <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Frequency Offset Data (Estimated)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.1E-13</td><td>6.0E-14</td><td>7.0E-14</td><td>1.4E-13</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.3E-13</td><td>1.5E-13</td><td>1.2E-13</td><td>1.5E-13</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.5E-13</td><td>2.7E-13</td><td>1.2E-13</td><td>1.6E-13</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.4E-13</td><td>2.8E-13</td><td>2.0E-13</td><td>1.5E-13</td></tr> <tr><td>5</td><td>7.0E-14</td><td>1.0E-13</td><td>1.1E-13</td><td>8.0E-14</td></tr> <tr><td>6</td><td>7.0E-14</td><td>5.0E-14</td><td>5.0E-14</td><td>7.0E-14</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.3E-13</td><td>6.0E-14</td><td>6.0E-14</td><td>1.3E-13</td></tr> </tbody> </table>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	4.5E-12	4.5E-12	4.5E-12	4.5E-12	2	3.8E-12	3.8E-12	3.8E-12	3.8E-12	3	3.8E-12	3.8E-12	3.8E-12	5.2E-12	4	3.3E-12	3.3E-12	3.3E-12	3.5E-12	5	3.4E-12	3.4E-12	3.4E-12	3.4E-12	6	3.7E-12	3.9E-12	3.9E-12	3.9E-12	7	4.3E-12	4.3E-12	4.3E-12	3.8E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	1.1E-13	6.0E-14	7.0E-14	1.4E-13	2	1.3E-13	1.5E-13	1.2E-13	1.5E-13	3	1.5E-13	2.7E-13	1.2E-13	1.6E-13	4	1.4E-13	2.8E-13	2.0E-13	1.5E-13	5	7.0E-14	1.0E-13	1.1E-13	8.0E-14	6	7.0E-14	5.0E-14	5.0E-14	7.0E-14	7	1.3E-13	6.0E-14	6.0E-14	1.3E-13
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	4.5E-12	4.5E-12	4.5E-12	4.5E-12																																																																														
2	3.8E-12	3.8E-12	3.8E-12	3.8E-12																																																																														
3	3.8E-12	3.8E-12	3.8E-12	5.2E-12																																																																														
4	3.3E-12	3.3E-12	3.3E-12	3.5E-12																																																																														
5	3.4E-12	3.4E-12	3.4E-12	3.4E-12																																																																														
6	3.7E-12	3.9E-12	3.9E-12	3.9E-12																																																																														
7	4.3E-12	4.3E-12	4.3E-12	3.8E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	1.1E-13	6.0E-14	7.0E-14	1.4E-13																																																																														
2	1.3E-13	1.5E-13	1.2E-13	1.5E-13																																																																														
3	1.5E-13	2.7E-13	1.2E-13	1.6E-13																																																																														
4	1.4E-13	2.8E-13	2.0E-13	1.5E-13																																																																														
5	7.0E-14	1.0E-13	1.1E-13	8.0E-14																																																																														
6	7.0E-14	5.0E-14	5.0E-14	7.0E-14																																																																														
7	1.3E-13	6.0E-14	6.0E-14	1.3E-13																																																																														

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
大武 DAWU	Trimble NetR9	<div style="text-align: center;">DAWU</div>  <table border="1" data-bbox="422 414 1385 985"> <caption>Frequency stability (Bar Chart)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3.90E-12</td><td>3.90E-12</td><td>3.90E-12</td><td>3.70E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.40E-12</td><td>4.40E-12</td><td>4.40E-12</td><td>3.70E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.00E-12</td><td>3.00E-12</td><td>3.00E-12</td><td>3.00E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.90E-12</td><td>2.90E-12</td><td>2.90E-12</td><td>3.10E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>3.70E-12</td><td>3.70E-12</td><td>3.70E-12</td><td>2.90E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>3.30E-12</td><td>3.30E-12</td><td>3.30E-12</td><td>2.80E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>3.60E-12</td><td>3.60E-12</td><td>3.60E-12</td><td>2.90E-12</td></tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;">DAWU</div>  <table border="1" data-bbox="422 1019 1385 1590"> <caption>Frequency offset (Line Chart)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>8.00E-14</td><td>2.00E-14</td><td>3.00E-14</td><td>9.00E-14</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.50E-13</td><td>1.80E-13</td><td>1.50E-13</td><td>1.70E-13</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.50E-13</td><td>2.60E-13</td><td>1.10E-13</td><td>1.40E-13</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.30E-13</td><td>2.70E-13</td><td>1.90E-13</td><td>1.40E-13</td></tr> <tr><td>5</td><td>7.00E-14</td><td>1.00E-13</td><td>1.00E-13</td><td>6.00E-14</td></tr> <tr><td>6</td><td>6.00E-14</td><td>3.00E-14</td><td>4.00E-14</td><td>4.00E-14</td></tr> <tr><td>7</td><td>9.00E-14</td><td>3.00E-14</td><td>3.00E-14</td><td>1.00E-13</td></tr> </tbody> </table>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	3.90E-12	3.90E-12	3.90E-12	3.70E-12	2	4.40E-12	4.40E-12	4.40E-12	3.70E-12	3	3.00E-12	3.00E-12	3.00E-12	3.00E-12	4	2.90E-12	2.90E-12	2.90E-12	3.10E-12	5	3.70E-12	3.70E-12	3.70E-12	2.90E-12	6	3.30E-12	3.30E-12	3.30E-12	2.80E-12	7	3.60E-12	3.60E-12	3.60E-12	2.90E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	8.00E-14	2.00E-14	3.00E-14	9.00E-14	2	1.50E-13	1.80E-13	1.50E-13	1.70E-13	3	1.50E-13	2.60E-13	1.10E-13	1.40E-13	4	1.30E-13	2.70E-13	1.90E-13	1.40E-13	5	7.00E-14	1.00E-13	1.00E-13	6.00E-14	6	6.00E-14	3.00E-14	4.00E-14	4.00E-14	7	9.00E-14	3.00E-14	3.00E-14	1.00E-13
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	3.90E-12	3.90E-12	3.90E-12	3.70E-12																																																																														
2	4.40E-12	4.40E-12	4.40E-12	3.70E-12																																																																														
3	3.00E-12	3.00E-12	3.00E-12	3.00E-12																																																																														
4	2.90E-12	2.90E-12	2.90E-12	3.10E-12																																																																														
5	3.70E-12	3.70E-12	3.70E-12	2.90E-12																																																																														
6	3.30E-12	3.30E-12	3.30E-12	2.80E-12																																																																														
7	3.60E-12	3.60E-12	3.60E-12	2.90E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	8.00E-14	2.00E-14	3.00E-14	9.00E-14																																																																														
2	1.50E-13	1.80E-13	1.50E-13	1.70E-13																																																																														
3	1.50E-13	2.60E-13	1.10E-13	1.40E-13																																																																														
4	1.30E-13	2.70E-13	1.90E-13	1.40E-13																																																																														
5	7.00E-14	1.00E-13	1.00E-13	6.00E-14																																																																														
6	6.00E-14	3.00E-14	4.00E-14	4.00E-14																																																																														
7	9.00E-14	3.00E-14	3.00E-14	1.00E-13																																																																														

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
和美 VR01	Leica GR50	<div data-bbox="422 414 1385 987"> <p style="text-align: center;">VR01</p> <table border="1"> <caption>Frequency stability data (Estimated values)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>1.14329E-22</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.10E-11</td><td>1.10E-11</td><td>1.10E-11</td><td>3.80E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>8.80E-12</td><td>8.80E-12</td><td>8.80E-12</td><td>3.40E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>9.80E-12</td><td>9.80E-12</td><td>9.80E-12</td><td>3.00E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>9.40E-12</td><td>9.40E-12</td><td>9.40E-12</td><td>3.00E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.50E-11</td><td>1.50E-11</td><td>1.50E-11</td><td>4.20E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.02E-11</td><td>1.02E-11</td><td>1.02E-11</td><td>3.50E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.25E-11</td><td>1.25E-11</td><td>1.25E-11</td><td>4.00E-12</td></tr> </tbody> </table> </div> <div data-bbox="422 1019 1385 1594"> <p style="text-align: center;">VR01</p> <table border="1"> <caption>Frequency offset data (Estimated values)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.70E-13</td><td>1.10E-13</td><td>1.25E-13</td><td>1.85E-13</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.50E-13</td><td>1.70E-13</td><td>1.45E-13</td><td>1.70E-13</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.20E-13</td><td>3.40E-13</td><td>1.90E-13</td><td>2.25E-13</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.60E-13</td><td>3.00E-13</td><td>2.15E-13</td><td>1.70E-13</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.55E-13</td><td>1.90E-13</td><td>1.90E-13</td><td>1.60E-13</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.80E-13</td><td>1.80E-13</td><td>1.80E-13</td><td>2.05E-13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.20E-13</td><td>0.20E-13</td><td>0.20E-13</td><td>0.80E-13</td></tr> </tbody> </table> </div>	Point	PPP-FREE	1.14329E-22	PPP-TWTF-2	Code	1	1.10E-11	1.10E-11	1.10E-11	3.80E-12	2	8.80E-12	8.80E-12	8.80E-12	3.40E-12	3	9.80E-12	9.80E-12	9.80E-12	3.00E-12	4	9.40E-12	9.40E-12	9.40E-12	3.00E-12	5	1.50E-11	1.50E-11	1.50E-11	4.20E-12	6	1.02E-11	1.02E-11	1.02E-11	3.50E-12	7	1.25E-11	1.25E-11	1.25E-11	4.00E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	1.70E-13	1.10E-13	1.25E-13	1.85E-13	2	1.50E-13	1.70E-13	1.45E-13	1.70E-13	3	2.20E-13	3.40E-13	1.90E-13	2.25E-13	4	1.60E-13	3.00E-13	2.15E-13	1.70E-13	5	1.55E-13	1.90E-13	1.90E-13	1.60E-13	6	1.80E-13	1.80E-13	1.80E-13	2.05E-13	7	0.20E-13	0.20E-13	0.20E-13	0.80E-13
Point	PPP-FREE	1.14329E-22	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	1.10E-11	1.10E-11	1.10E-11	3.80E-12																																																																														
2	8.80E-12	8.80E-12	8.80E-12	3.40E-12																																																																														
3	9.80E-12	9.80E-12	9.80E-12	3.00E-12																																																																														
4	9.40E-12	9.40E-12	9.40E-12	3.00E-12																																																																														
5	1.50E-11	1.50E-11	1.50E-11	4.20E-12																																																																														
6	1.02E-11	1.02E-11	1.02E-11	3.50E-12																																																																														
7	1.25E-11	1.25E-11	1.25E-11	4.00E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	1.70E-13	1.10E-13	1.25E-13	1.85E-13																																																																														
2	1.50E-13	1.70E-13	1.45E-13	1.70E-13																																																																														
3	2.20E-13	3.40E-13	1.90E-13	2.25E-13																																																																														
4	1.60E-13	3.00E-13	2.15E-13	1.70E-13																																																																														
5	1.55E-13	1.90E-13	1.90E-13	1.60E-13																																																																														
6	1.80E-13	1.80E-13	1.80E-13	2.05E-13																																																																														
7	0.20E-13	0.20E-13	0.20E-13	0.80E-13																																																																														

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
瑪家 MAJA	Leica GR50	<p style="text-align: center;">MAJA</p> <table border="1"> <caption>Frequency stability data (Estimated)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.20E-11</td><td>1.20E-11</td><td>1.20E-11</td><td>4.50E-12</td></tr> <tr><td>2</td><td>9.00E-12</td><td>9.00E-12</td><td>9.00E-12</td><td>3.50E-12</td></tr> <tr><td>3</td><td>9.00E-12</td><td>9.00E-12</td><td>9.00E-12</td><td>3.50E-12</td></tr> <tr><td>4</td><td>9.50E-12</td><td>9.50E-12</td><td>9.50E-12</td><td>3.50E-12</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.30E-11</td><td>1.30E-11</td><td>1.30E-11</td><td>4.00E-12</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.10E-11</td><td>1.10E-11</td><td>1.10E-11</td><td>3.50E-12</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.15E-11</td><td>1.15E-11</td><td>1.15E-11</td><td>4.00E-12</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">MAJA</p> <table border="1"> <caption>Frequency offset data (Estimated)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.40E-13</td><td>1.80E-13</td><td>1.90E-13</td><td>2.60E-13</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.50E-13</td><td>1.70E-13</td><td>1.40E-13</td><td>1.70E-13</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.50E-13</td><td>3.70E-13</td><td>2.20E-13</td><td>2.60E-13</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.90E-13</td><td>3.20E-13</td><td>2.40E-13</td><td>1.90E-13</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.90E-13</td><td>2.10E-13</td><td>2.20E-13</td><td>2.00E-13</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.00E-13</td><td>1.70E-13</td><td>1.70E-13</td><td>2.00E-13</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.80E-13</td><td>0.10E-13</td><td>0.10E-13</td><td>0.80E-13</td></tr> </tbody> </table>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	1.20E-11	1.20E-11	1.20E-11	4.50E-12	2	9.00E-12	9.00E-12	9.00E-12	3.50E-12	3	9.00E-12	9.00E-12	9.00E-12	3.50E-12	4	9.50E-12	9.50E-12	9.50E-12	3.50E-12	5	1.30E-11	1.30E-11	1.30E-11	4.00E-12	6	1.10E-11	1.10E-11	1.10E-11	3.50E-12	7	1.15E-11	1.15E-11	1.15E-11	4.00E-12	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	2.40E-13	1.80E-13	1.90E-13	2.60E-13	2	1.50E-13	1.70E-13	1.40E-13	1.70E-13	3	2.50E-13	3.70E-13	2.20E-13	2.60E-13	4	1.90E-13	3.20E-13	2.40E-13	1.90E-13	5	1.90E-13	2.10E-13	2.20E-13	2.00E-13	6	2.00E-13	1.70E-13	1.70E-13	2.00E-13	7	0.80E-13	0.10E-13	0.10E-13	0.80E-13
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	1.20E-11	1.20E-11	1.20E-11	4.50E-12																																																																														
2	9.00E-12	9.00E-12	9.00E-12	3.50E-12																																																																														
3	9.00E-12	9.00E-12	9.00E-12	3.50E-12																																																																														
4	9.50E-12	9.50E-12	9.50E-12	3.50E-12																																																																														
5	1.30E-11	1.30E-11	1.30E-11	4.00E-12																																																																														
6	1.10E-11	1.10E-11	1.10E-11	3.50E-12																																																																														
7	1.15E-11	1.15E-11	1.15E-11	4.00E-12																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	2.40E-13	1.80E-13	1.90E-13	2.60E-13																																																																														
2	1.50E-13	1.70E-13	1.40E-13	1.70E-13																																																																														
3	2.50E-13	3.70E-13	2.20E-13	2.60E-13																																																																														
4	1.90E-13	3.20E-13	2.40E-13	1.90E-13																																																																														
5	1.90E-13	2.10E-13	2.20E-13	2.00E-13																																																																														
6	2.00E-13	1.70E-13	1.70E-13	2.00E-13																																																																														
7	0.80E-13	0.10E-13	0.10E-13	0.80E-13																																																																														

站名	接收儀 廠牌型 號	頻率穩定度 (Frequency stability) 頻率偏移量(Frequency offset)																																																																																
萬榮 WARO	Topcon Net- G3A	<p style="text-align: center;">WARO</p> <table border="1"> <caption>Frequency stability (Bar Chart Data)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>~1.9E-07</td> <td>~1.5E-07</td> <td>~1.5E-07</td> <td>~0.8E-07</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>~2.8E-07</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>~1.3E-07</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>~3.4E-07</td> <td>~3.4E-07</td> <td>~3.4E-07</td> <td>~1.3E-07</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>~1.9E-07</td> <td>~2.4E-07</td> <td>~2.4E-07</td> <td>~0.7E-07</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>~3.9E-07</td> <td>~4.4E-07</td> <td>~4.4E-07</td> <td>~1.6E-07</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>~4.4E-07</td> <td>~4.1E-07</td> <td>~4.1E-07</td> <td>~1.8E-07</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>~2.8E-07</td> <td>~3.3E-07</td> <td>~3.3E-07</td> <td>~1.1E-07</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">WARO</p> <table border="1"> <caption>Frequency offset (Line Chart Data)</caption> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>PPP-FREE</th> <th>PPP-TWTF-1</th> <th>PPP-TWTF-2</th> <th>Code</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>~-2.0E-08</td> <td>~-2.0E-08</td> <td>~-0.5E-08</td> <td>~-0.2E-08</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>~-2.5E-08</td> <td>~0.0E+00</td> <td>~0.0E+00</td> <td>~0.0E+00</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>~-3.2E-08</td> <td>~-3.5E-08</td> <td>~0.8E-08</td> <td>~0.2E-08</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>~-2.5E-08</td> <td>~-2.5E-08</td> <td>~-0.8E-08</td> <td>~-0.8E-08</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>~-6.0E-08</td> <td>~-5.0E-08</td> <td>~0.1E-08</td> <td>~0.1E-08</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>~-6.5E-08</td> <td>~-6.0E-08</td> <td>~-0.5E-08</td> <td>~-0.5E-08</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>~-1.8E-08</td> <td>~-1.5E-08</td> <td>~0.3E-08</td> <td>~0.3E-08</td> </tr> </tbody> </table>	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	~1.9E-07	~1.5E-07	~1.5E-07	~0.8E-07	2	~2.8E-07	0	0	~1.3E-07	3	~3.4E-07	~3.4E-07	~3.4E-07	~1.3E-07	4	~1.9E-07	~2.4E-07	~2.4E-07	~0.7E-07	5	~3.9E-07	~4.4E-07	~4.4E-07	~1.6E-07	6	~4.4E-07	~4.1E-07	~4.1E-07	~1.8E-07	7	~2.8E-07	~3.3E-07	~3.3E-07	~1.1E-07	Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code	1	~-2.0E-08	~-2.0E-08	~-0.5E-08	~-0.2E-08	2	~-2.5E-08	~0.0E+00	~0.0E+00	~0.0E+00	3	~-3.2E-08	~-3.5E-08	~0.8E-08	~0.2E-08	4	~-2.5E-08	~-2.5E-08	~-0.8E-08	~-0.8E-08	5	~-6.0E-08	~-5.0E-08	~0.1E-08	~0.1E-08	6	~-6.5E-08	~-6.0E-08	~-0.5E-08	~-0.5E-08	7	~-1.8E-08	~-1.5E-08	~0.3E-08	~0.3E-08
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	~1.9E-07	~1.5E-07	~1.5E-07	~0.8E-07																																																																														
2	~2.8E-07	0	0	~1.3E-07																																																																														
3	~3.4E-07	~3.4E-07	~3.4E-07	~1.3E-07																																																																														
4	~1.9E-07	~2.4E-07	~2.4E-07	~0.7E-07																																																																														
5	~3.9E-07	~4.4E-07	~4.4E-07	~1.6E-07																																																																														
6	~4.4E-07	~4.1E-07	~4.1E-07	~1.8E-07																																																																														
7	~2.8E-07	~3.3E-07	~3.3E-07	~1.1E-07																																																																														
Point	PPP-FREE	PPP-TWTF-1	PPP-TWTF-2	Code																																																																														
1	~-2.0E-08	~-2.0E-08	~-0.5E-08	~-0.2E-08																																																																														
2	~-2.5E-08	~0.0E+00	~0.0E+00	~0.0E+00																																																																														
3	~-3.2E-08	~-3.5E-08	~0.8E-08	~0.2E-08																																																																														
4	~-2.5E-08	~-2.5E-08	~-0.8E-08	~-0.8E-08																																																																														
5	~-6.0E-08	~-5.0E-08	~0.1E-08	~0.1E-08																																																																														
6	~-6.5E-08	~-6.0E-08	~-0.5E-08	~-0.5E-08																																																																														
7	~-1.8E-08	~-1.5E-08	~0.3E-08	~0.3E-08																																																																														



4-3 頻率誤差對於精密單點定位精度之影響

將 GNSS 測站資料以 PPP 方法進行解算，採用 112 年 1 月 1 日至 1 月 7 日共七天的資料，考量地籍測量實務上衛星定位測量外業作業時間，將觀測資料

分為每日解、8 小時解、4 小時解（一等衛星控制點）、2 小時解（二等衛星控制點）、1 小時解（加密衛星控制點）來進行解算，1 小時解使用每天第一個小時的資料解算、2 小時解使用每天前兩個小時的資料解算、4 小時解使用每天前四個小時的資料解算、8 小時解使用每天前八個小時的資料解算、每日解使用每天的資料解算。位置解算完成後，使用臺灣地區大地基準及坐標系統轉換程式 Modified TaiWan Datum CONversion program (MTWDCON) 將 TWD97 (X, Y, Z) 座標轉換為 TWD97 (N, E, h) 座標。接著計算各 GNSS 測站的標準偏差(σ)。

為評估頻率誤差對 PPP 定位精度的影響，我們依據頻率穩定度以及頻率偏移量將 GNSS 站進行分類，如表 4-3，其中頻率穩定度與偏移量分別為各類測站的平均值，第一類與第二類的頻率穩定度與偏移量在標準範圍內，尤以第一類最佳，第三類與第四類超出標準範圍，以第四類最差。

表4- 3、頻率誤差之測站分類

類別	頻率穩定度	頻率偏移量	GNSS 站
第一類	3.73E-12	7.26E-14	YMSM, TNML, SHJU, TC32, LSB0, VR02, CKSV, KMNM, DAWU
第二類	1.09E-11	1.77E-13	VR01, MAJA
第三類	3.04E-07	-3.42E-08	WARO
第四類	1.13E-06	-3.60E-07	CIME

為了將這四類頻率誤差與 PPP 定位精度相比較，分別計算這四類 GNSS 站的平均定位精度，其中水平向定位精度(σ_H)及垂直向定位精度(σ_V)計算方式如下：

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum \sigma_N^2}{n} + \frac{\sum \sigma_E^2}{n}}$$

$$\sigma_V = \frac{\sum \sigma_h}{n}$$

其中 n 為該類別之 GNSS 測站個數， σ_N 為該 GNSS 站 N 方向的標準偏差， σ_E 為該 GNSS 站 E 方向的標準偏差， σ_h 為該 GNSS 站 h 方向的標準偏差。各類別水平向(H)及垂直向(V)不同解算時間的平均定位精度以及平均頻率穩定度與偏移量如表 4-4 所示。

表 4-4、四類頻率誤差與 PPP 不同解算時間之定位精度

	頻率穩定度	頻率偏移量	PPP-1h (mm)	PPP-2h (mm)	PPP-4h (mm)	PPP-8h (mm)	PPP-24h (mm)
第一類-H	3.7E-12	7.3E-14	12.2	5.5	2.6	1.3	1.0
第二類-H	1.1E-11	1.8E-13	12.6	6.6	3.5	1.6	1.0
第三類-H	3.0E-07	-3.4E-08	12.8	6.1	1.9	1.9	1.0
第四類-H	1.1E-06	-3.6E-07	42.4	26.8	27.6	19.7	5.0
第一類-V	3.7E-12	7.3E-14	29.7	13.0	8.5	5.2	3.9
第二類-V	1.1E-11	1.8E-13	24.5	13.7	8.0	4.0	5.5
第三類-V	3.0E-07	-3.4E-08	31.3	8.4	8.2	7.0	2.9
第四類-V	1.1E-06	-3.6E-07	160.2	105.5	122.1	34.4	29.9

將表 4-4 整理為圖 4-3 PPP 定位精度與頻率誤差比較圖，左邊縱軸為定位精度，右邊縱軸為頻率誤差，橫軸為各類別水平與垂向在不同解算時間的結果，

例如橫軸上的第一類-H，紅色 bar 為 PPP 1 小時解算的水平向定位精度(mm)、橘色是 2 小時、黃色是 4 小時、綠色是 8 小時、藍色飾 24 小時，黑色圓點加實線代表頻率穩定度，灰色空心圓加虛線代表頻率偏移量，圖中頻率偏移量以絕對值呈現。由圖中可以看到：

- 一、 第四類定位精度最差。為了便於比較，將定位精度的範圍固定在 0 mm ~ 40 mm，注意在第四類的紅色(PPP-1h)和橘色線(PPP-2h)皆遠超出 40 mm，數值請參考表 4-4。
- 二、 第三類雖然頻率穩定度與偏移量不在標準範圍，但其水平定位精度仍正常，唯高程向定位精度稍差。
- 三、 PPP 不同時間解算精度，當以 1 小時解算時，定位精度最差，而隨著解算時間拉長時，定位精度則大幅提升，在水平向與垂直向都有解算時間越長定位精度越高的現象。

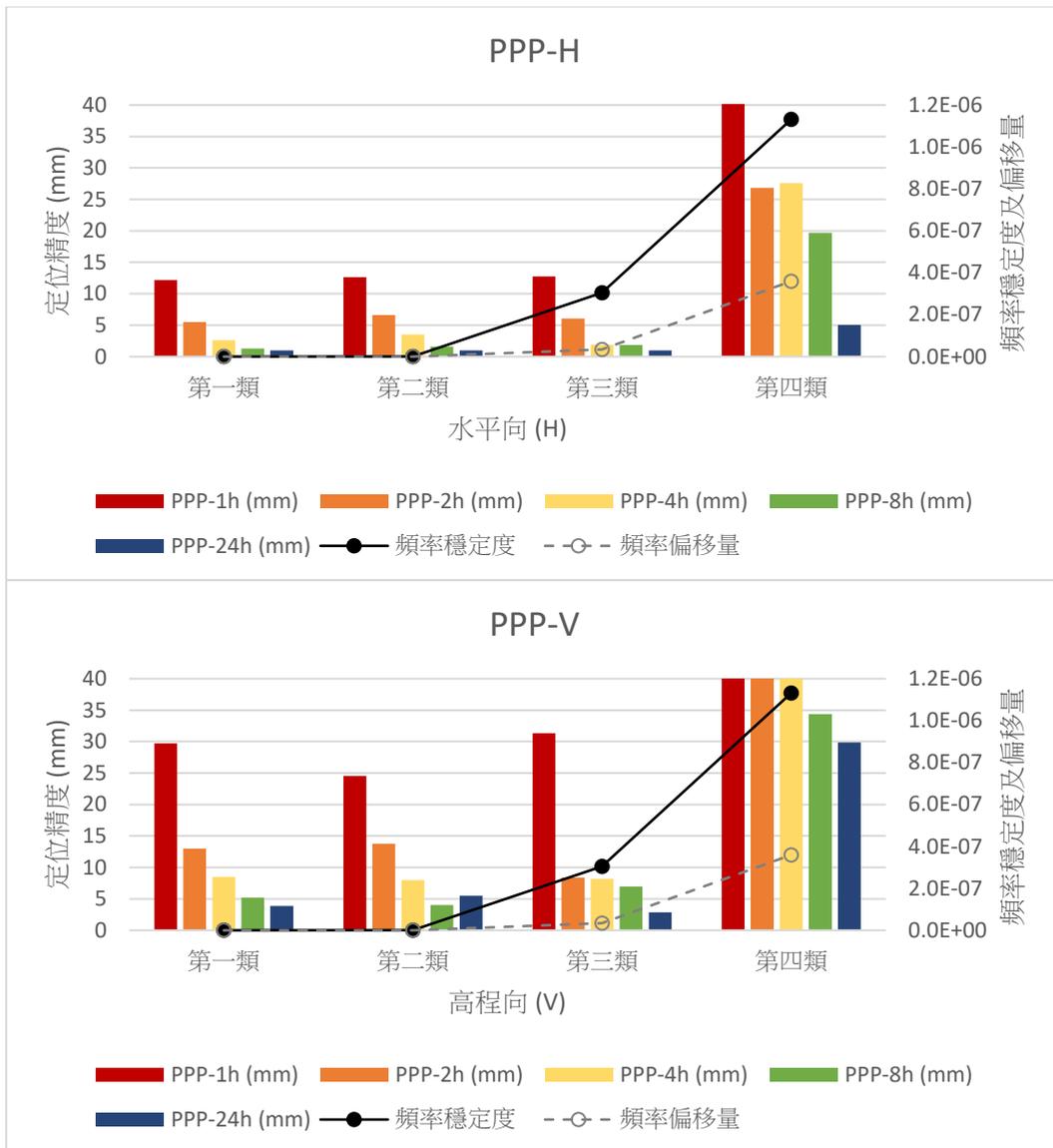


圖4- 3、PPP定位精度與頻率誤差

4-4 頻率誤差對於靜態相對定位精度之影響

以 DD 方法解算 GNSS 測站資料，運用靜態相對定位，固定 TWTF 主站以基線解算的方式，計算其他 GNSS 站的坐標。資料時間及解算時間跟 PPP 方法相同，112/1/1~1/7 共七天，分為 1、2、4、8、24 小時解算每日資料，同樣進行座標轉換並計算各站標準偏差，接著評估頻率誤差對 DD 定位精度的影響。使

用前述依據頻率穩定度以及頻率偏移量將 GNSS 站進行分類的結果，再依據不同基線長度(相對於楊梅 TWTF 站)將各類再分為短、中、長距離，以比對不同距離的頻率誤差對 DD 定位精度的影響，分類如表 4-5 所示。

表4- 5、頻率誤差與短中長距離之測站分類

基線長度	類別	GNSS 站
短距離	第一類	YMSM, TNML, SHJU
中距離	第一類	TC32, LSB0, VR02
	第二類	VR01
	第三類	WARO
長距離	第一類	CKSV, KMNM, DAWU
	第二類	MAJA
	第四類	CIME

為了比較頻率誤差與 DD 定位精度，分別計算短中長距離四類 GNSS 站的平均水平及垂直定位精度，計算方式如前述，可得到表 4-6 短中長距離四類頻率誤差與 DD 不同解算時間之定位精度結果。

表 4-6、短中長距離四類頻率誤差與 DD 不同解算時間之定位精度

基線	類別	頻率穩定度	頻率偏移量	DD-1h (mm)	DD-2h (mm)	DD-4h (mm)	DD-8h (mm)	DD-24h (mm)
短距離	第一類-H	4.6E-12	9.3E-14	2.6	2.5	1.0	1.0	0.6
	第一類-V	4.6E-12	9.3E-14	19.5	8.0	8.0	4.5	2.8
中距離	第一類-H	3.9E-12	9.4E-14	9.2	2.8	1.4	1.3	0.7
	第二類-H	1.1E-11	1.7E-13	10.3	5.9	2.9	1.1	0.6
	第三類-H	3.0E-07	-3.4E-08	5.2	2.0	1.6	1.8	0.9
	第一類-V	3.9E-12	9.4E-14	27.3	15.2	8.2	6.4	4.1
	第二類-V	1.1E-11	1.7E-13	23.9	15.6	6.5	6.1	5.1
	第三類-V	3.0E-07	-3.4E-08	37.6	14.9	8.8	9.3	3.6
長距離	第一類-H	3.9E-12	5.5E-14	3.4	1.7	1.2	1.5	0.6
	第二類-H	1.1E-11	1.9E-13	9.2	5.3	2.6	1.4	0.6
	第四類-H	1.1E-06	-3.6E-07	6.8	2.3	0.8	1.0	N/A
	第一類-V	3.9E-12	5.5E-14	14.4	11.0	9.3	9.5	4.1
	第二類-V	1.1E-11	1.9E-13	15.1	11.3	9.9	9.4	5.7
	第四類-V	1.1E-06	-3.6E-07	13.3	17.2	5.5	7.8	N/A

將表 4-6 整理為圖 4-4 至圖 4-6 分別為短、中、長距離 DD 定位精度與頻率誤差比較圖，各圖左右縱軸範圍皆一致(與圖 4-3PPP 定位精度與頻率誤差的縱軸範圍相同)。由圖中可以看到：

- 一、 短距離的部分只有第一類頻率穩定度及偏移量較佳的測站，此類定位精度良好，且隨著解算時間增加，其定位精度也提高。
- 二、 中距離的部分有第一、二、三類，解算時間2小時以上，精度就有大幅提高。第三類雖然頻率穩定度與偏移量不在標準範圍，但其定位精度仍良好。

- 三、 長距離的部分有第一、二、四類，與中距離一樣在解算時間2小時以上，精度就大幅提升。而第四類雖然頻率穩定度與偏移量很差，但其定位精度仍然不錯。
- 四、 DD 法因使用差分定位消除時錶誤差，所以雖然第三、四類頻率誤差較大，卻不影響其定位精度的表現。而 PPP 法第三類定位精度仍佳，第四類才對定位精度有影響。雖然需要有更多的測站資料才能定出頻率誤差影響定位精度的門檻值，但由第三、四類結果可知，頻率誤差在頻率穩定度 $3.0E-07$ 以及頻率偏移量 $3.4E-08$ 時，PPP 定位精度仍然良好；而頻率誤差在頻率穩定度 $1.1E-06$ 以及頻率偏移量 $3.6E-07$ 時，使用 DD 定位精度仍然良好。
- 五、 第四類僅有七美 CIME 一站，以 Bernese 使用 DD 解算24小時位置坐標無法解算成功，應為 CIME 站的觀測資料在 UTC 時間9~24時較差，以致於加入更多觀測資料之後反而無法求解。

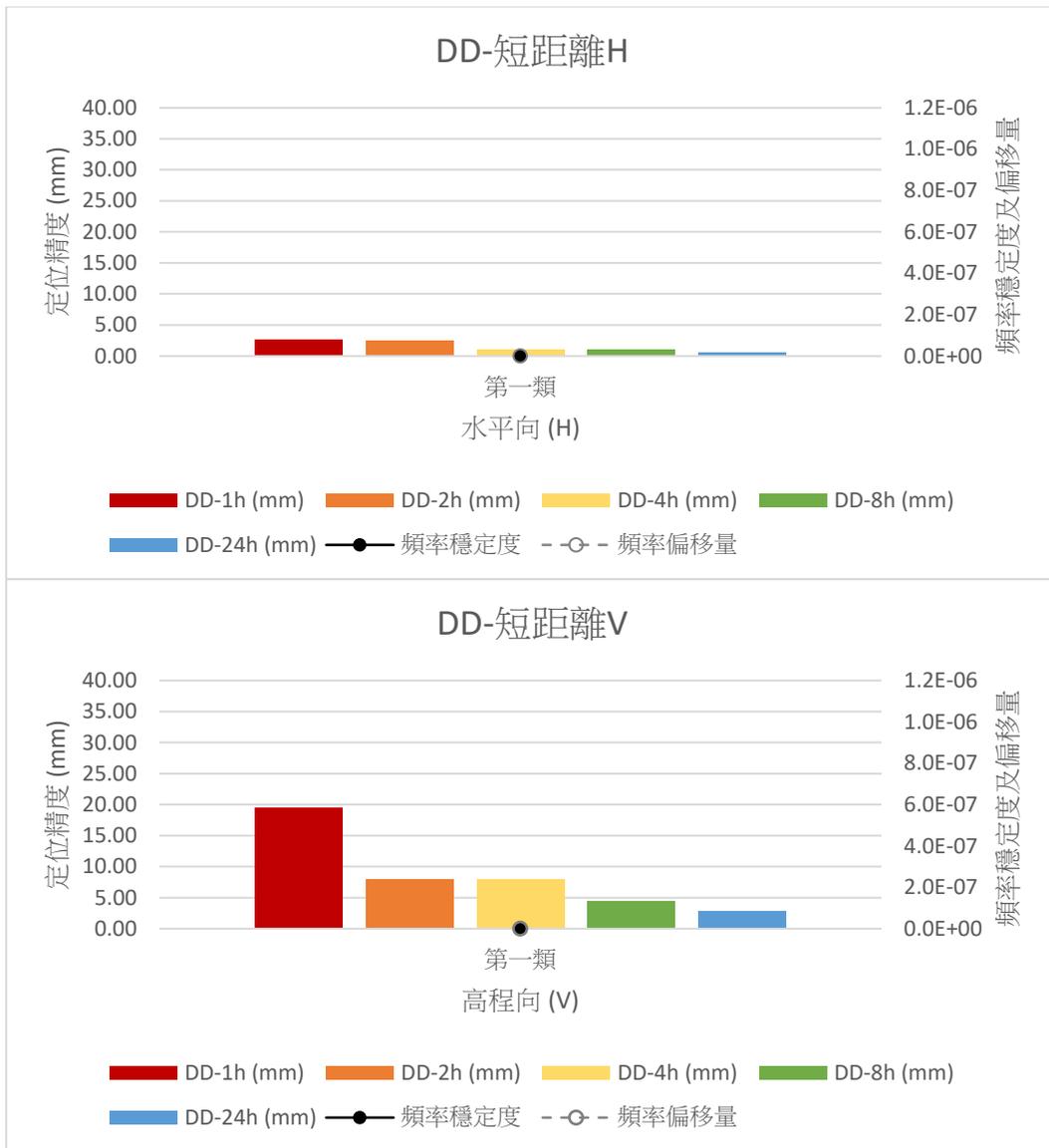


圖4- 4、短距離DD定位精度與頻率誤差

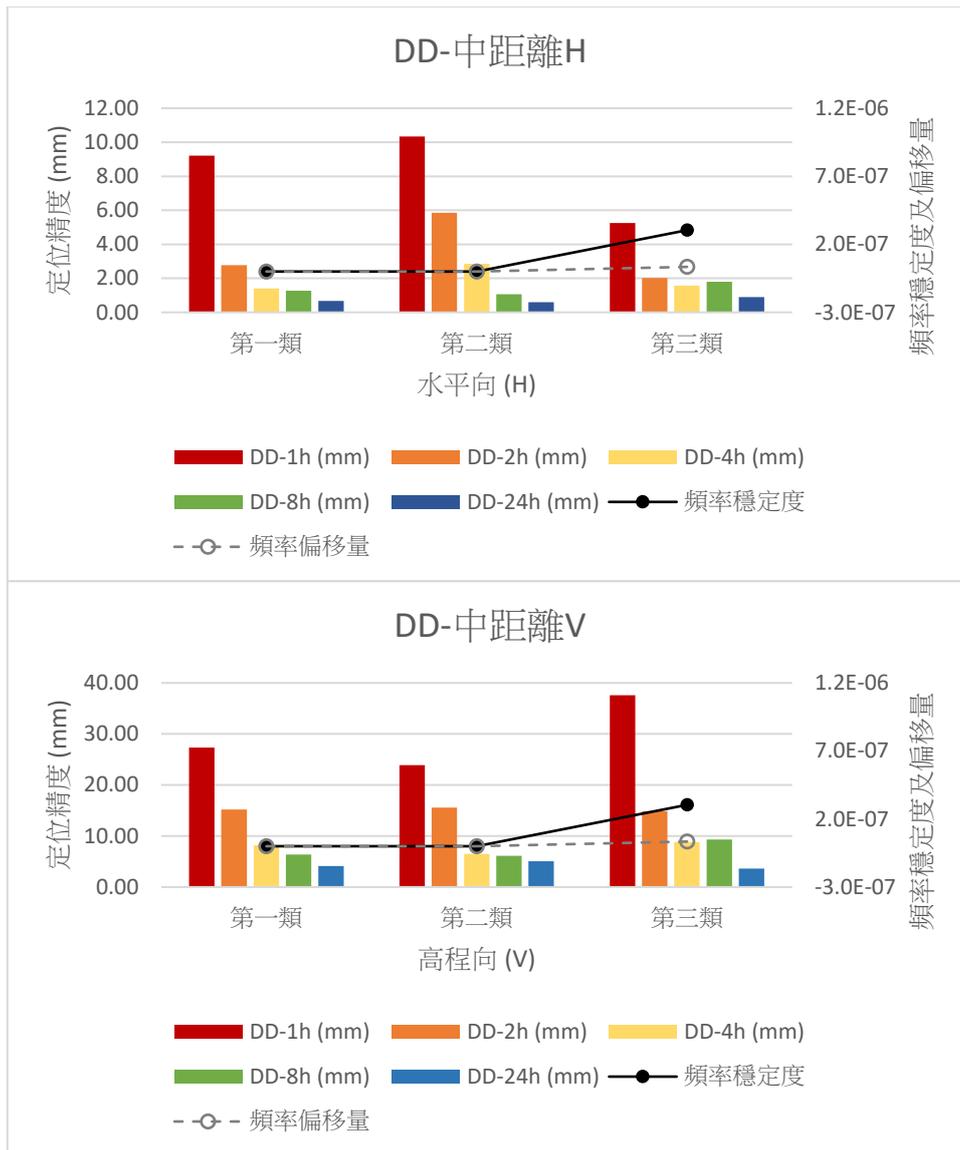


圖4- 5、中距離DD定位精度與頻率誤差

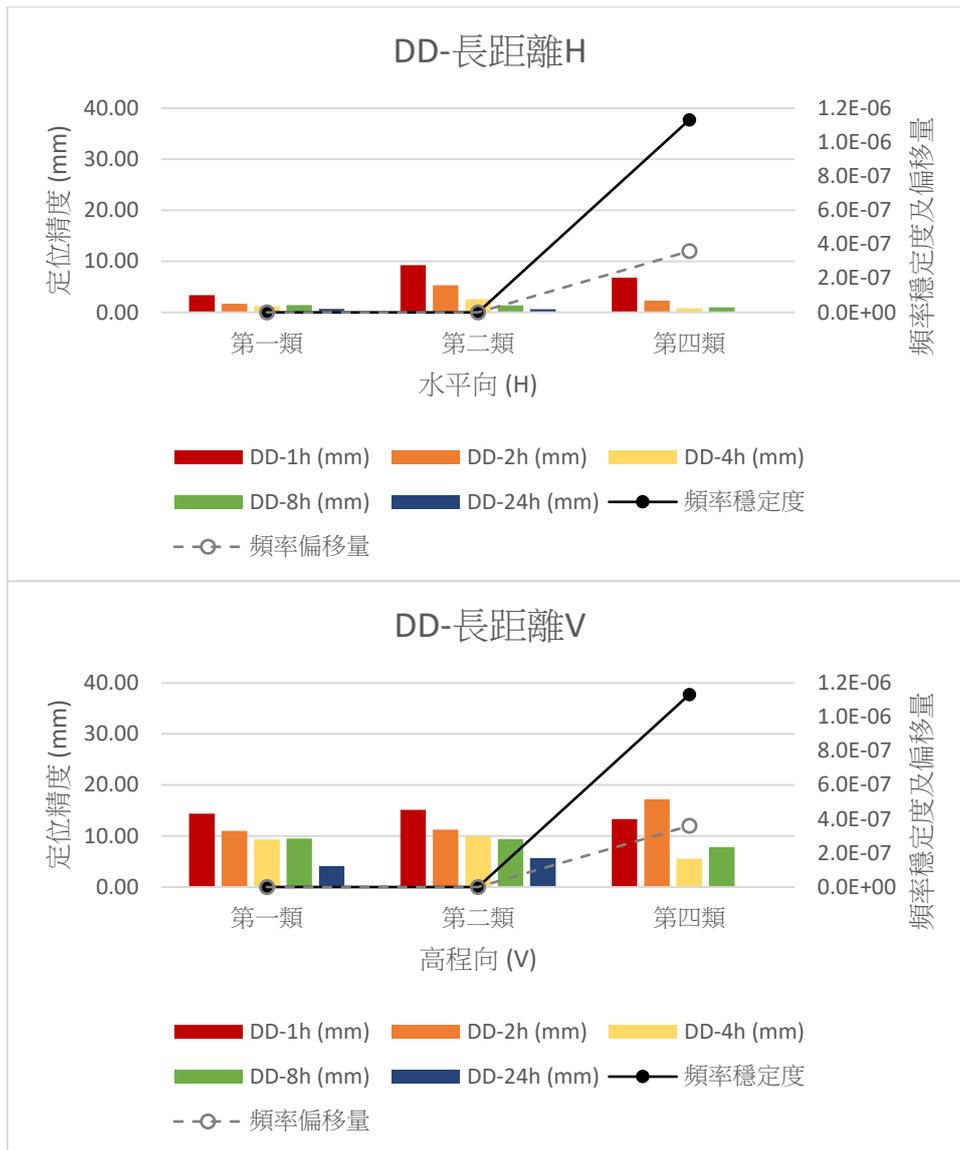


圖4- 6、長距離DD定位精度與頻率誤差

第五章 成果結論

本期報告已完成契約要求之工作項目：(1)蒐集國際學術論文，分析國際發展趨勢，(2)透過未差分的GPS相位資料計算接收儀頻率偏差，(3)開發GPS遠距頻率校正之技術，(4)探討頻率誤差對於短距離、中距離、長距離靜態相對定位及精密單點定位精度之影響。研究成果總結如下：

- 一、 由期刊文獻資料顯示，國際上GNSS遠距頻率校正技術發展已成熟，使用PPP可以達到奈秒級的時間偏差精度，對於遠距頻率校正技術應用於GNSS觀測站的可行性，就設施、經濟、距離等技術綜合考量下，採用共視法進行遠距頻率校正，為最適合GNSS觀測站之校正方式。
- 二、 採共視法研究GPS遠距頻率校正技術，分別利用相位法與電碼法解算14處GNSS觀測站之時間偏差量，並以頻率穩定度與頻率偏移量進行精度驗證，所得到的精度與GPS衛星規格相同，其中時間偏差量規格在正負30~50 ns、頻率穩定度與頻率偏移量規格在 $1E-12$ ，表示開發之GPS遠距頻率校正技術已成熟可供使用。
- 三、 利用相位法與電碼法解算七美CIME與萬榮WARO之GNSS觀測站的時間偏差量、頻率穩定度與頻率偏移量時，發現其數值較衛星規格相差甚遠，衛星時間偏移量的規格應該在正負30~50 ns，但七美CIME與萬榮WARO其時間偏移量達正負500000 ns(電碼法)，兩站同樣都是Topcon Net-G3A的，推斷為其內部石英震盪器異常所致。
- 四、 頻率誤差(頻率穩定度及頻率偏移量)對PPP定位精度的影響大於DD定位精度的影響，係由於DD差分定位消除時錶誤差之故，使頻率穩定度及頻率偏移量最差的第三類(WARO)及第四類(CIME)其DD定位精度仍良好，由第三、四類結果看來，使用PPP定位時，頻率誤差在頻率穩定度低於 $3.0E-07$ 以及頻率偏移量低於 $3.4E-08$ 時，定位精度仍良好；而採DD定位

時，頻率誤差在頻率穩定度低於 $1.1E-06$ 以及頻率偏移量低於 $3.6E-07$ 時，仍可保持好的定位精度。從解算時間對定位精度的影響來看，PPP在解算時間4小時以上精度才大幅提升，而DD在解算時間2小時以上精度即大幅提升。

五、 研討會論文發表，本團隊已於今年五月前往日本參加IEEE IFCS-EFTF 2023 國際時頻研討會 (Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium and the European Frequency and Time Forum)，並發表一篇與本計畫相關之論文(The 6-Year Long Term Total Delay Variations Investigation of TL GPS Stations – According to a Virtual Ensemble Receiver，如附件四)。

六、 遠距頻率校正計算軟體提供。計算軟體需架構在Bernese 5.2下執行，共提供軟體檔案及執行流程如下：

(一)PCF程序檔

(二)設定檔OPT(視窗介面設定參數CLK)

(三)自動處理程序SCRIPT

未來發展建議：

一、 本研究所建立的頻率校正作業方式及成果目前看起來是有效性，未來可以以此為範本，協助測繪中心建立一套eGNSS基準站遠距校正(或查核)作業方式，提升作業效率並確保成果品質。

二、 建議下一年度可執行游校比對：透過游校方式攜帶銩原子鐘至5處衛星基準站進行直接比對，以驗證評估直接頻率校正與遠距頻率校正差異。

參考文獻

1. 葉大綱(2005)。GPS 接收儀資料品質監控系統及校正系統之建立。博士論文，國立交通大學土木工程學系，新竹市。
2. Allan, D. W., & Weiss, M. (1980). Accurate time and frequency transfer during common-view of a GPS satellite. Proc. 1980 IEEE Freq. Contr. Symp., Philadelphia, PA, 334-356.
3. Allan, D. W., & Thomas, C. (1994). Technical directives for standardization of GPS time receiver software. *Metrologia*, 31, 69-79.
4. Azoubib, J., & Lewandowski, W. (1998). CGGTTS GPS/GLONASS data format Version 02. 7th CGGTTS meeting.
5. Chen, M., Yuan, H., Ma, J., Li, Z., Guang, W., Zhang, J., & Zhang, H. (2022). Performance Evaluation of Near Real-time GNSS PPP Time Transfer with IGS Products. *International Journal of Electrical and Computer Engineering Research*.
6. Collins, P. (2008). Isolating and estimating undifferenced GPS integer ambiguities. Proc. of the 2008 National Technical Meeting of the Institute of Navigation (San Diego, CA, 28–30 January), 720–732.
7. Defraigne, P., & Bruyninx, C. (2001). Time Transfer for TAI using a geodetic receiver, An Example with the Ashtech ZXII-T. *GPS Solutions*, 5(2), 43-50.
8. Defraigne, P., Bruyninx, C., Clarke, J., Ray, J., & Senior, K. (2001). Time transfer to TAI with geodetic receivers. Proc. symposium EFTF, Neuchatel, mars 2001, ed. FSRM, 517-521.
9. Defraigne, P., Bruyninx, C., & Guyennon, N. (2007). PPP and phase only GPS frequency transfer. Proc. 21st EFTF (Geneva, May 29–June 1, 2007), 904–908.
10. Defraigne, P., & Petit, G. (2003). Time transfer to TAI using geodetic receivers. *Metrologia*, 40, 184-188.

11. Defraigne, P., & Petit, G. (2019). CGGTTS-Version 2E: an extended standard for GNSS Time Transfer. *Metrologia*.
12. Dow, J. M., Neilan, R. E., & Gendt, G. (2005). The international GPS service (IGS): celebrating the 10th anniversary and looking to the next decade. *Advances in Space Research*, 36, 320-326.
13. Jiang, Z., & Lewandowski, W. (2011). Some remarks on the CCTF CGGTTS format. *Proc. EFTF 2011*, 317-322.
14. Wang, K., Sun, B., Qin, W., Mi, X., El-Mowafy, A., & Yang, X. (2023). A method of real-time long-baseline time transfer based on the PPP-RTK. *Advances in Space Research*, 71(3), 1363-1376. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.10.062>.
15. Levine, J. (1999). Time transfer using multi-channel GPS receivers. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 46(2), 392-398.
16. Lin, S. Y., et al. (2014). A Modification of Z12T Metronome Time Transfer System. *Proc. EFTF 2014*.
17. Lin, S. Y., Tseng, W. H., Lin, H. T., Huang, Y. J., & Feng, K. M. (2010). Long-term Inconsistency between TWSTFT and GPS Time Transfer Results in PTB-TL and NICT-TL Time Links. *Proc. EFTF 2010*.
18. Lin, S. Y., & Jiang, Z. (2017). GPS All in View Time Comparison using Multi-receiver Ensemble. *Proc. EFTF 2017*.
19. Loyer, S., et al. (2012). Zero-difference GPS ambiguity resolution at CNES–CLS IGS analysis center. *Journal of Geodesy*, 86, 991–1003.
20. Petit, G. (2009). The TAIPPP pilot experiment. *Proc. EFTF-IFCS 2009 Joint Conf. (Besancon, 20–24 April 2009)*, 116-119.
21. Petit, G., & Jiang, Z. (2008). GPS Precise point positioning for TAI computation. *IJNO Article ID 562878*.

22. Petit, G., & Arias, F. (2009). Use of IGS products in TAI applications. *Journal of Geodesy*, 83, 327-334.
23. Petit, G., Harmegnies, A., Mercier, F., Perosanz, F., & Loyer, S. (2011). The time stability of PPP links for TAI. *Proc. EFTFIFCS 2011 Joint Conf.* (San Francisco, CA, 2–5 May 2011), 1014–1045.
24. Ray, J., & Senior, K. (2005). Geodetic techniques for time and frequency comparisons using GPS phase and code measurements. *Metrologia*, 42, 215-232.
25. Yu, H. L., Hao, J. M., Xie, J. T., Tian, Y. G., & Chen, Y. L. (2016). A Real-time Algorithm of GNSS Time Transfer. *Acta Astronomica Sinica*, 57(3), 320–325.

附件一、需求訪談紀錄

內政部國土測繪中心

「112年度開發GNSS連續觀測站遠距頻率校正技術委託研究採購案」(NLS-112-31) 需求訪談會議紀錄

時間：112年2月15日(星期三)下午14時

地點：內政部國土測繪中心第3會議室

主席：陳科長鶴欽 紀錄：國立臺北大學連紫猗

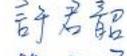
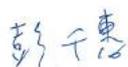
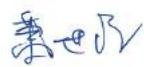
出席人員：如後附會議簽到表

結論：

1. 本校可提供GPS之時間偏移量及頻率穩定度之解算程序，解算之PCF、OPT程序檔都將編寫相關流程，可於Bernese 5.2架構下使用。
2. 由於連續站之儀器拆卸不便，本案採遠距頻率校正技術完成追溯。
3. 有關本案測站選擇乙節，修改如下：
 - (1)短距離基線部分，由於原選定之泰安(Leica GR50)與新店(Topcon NET-G3A)已撤站，擬找其他短基線之Leica GR50與Topcon NET-G3A舊型號之測站取代；惟因短基線測站現在多已更換新型儀器，若無法找到適當測站，將挑選架設Trimble Alloy型號之測站取代。
 - (2)中距離基線部分，因LSB0採用外接銻原子鐘，將另尋其他安裝Trimble NetR9機型之測站加入計算分析。
 - (3)長距離基線部分，將加入成大測量 (CKSV)及金門 (KMNM)等國內IGS站進行解算比對。
 - (4)Trimble Alloy為較新型號儀器，將在短、中、長基線各找1個測站加入分析。
4. 在資料解算時間之選擇，因冬季環境干擾因素較小，解算精度較佳，本案將選擇冬季之觀測成果進行計算。
5. 本案將訂定查核點作為品質檢核管理機制。

內政部國土測繪中心

「112 年度開發 GNSS 連續觀測站遠距頻率校正技術委託
研究採購案」(NLSC-112-31) 需求訪談會議

時 間：112 年 2 月 15 日(星期三)下午 14 時 00 分	
地 點：本中心第 3 會議室	
主 席：陳科長鶴欽 	
出席單位	簽到處
國立臺北大學	 
內政部國土測繪中心	    

附件二、期中審查委員意見及回覆表

內政部國土測繪中心

112年度開發 GNSS 連續觀測站遠距頻率校正技術委託研究採購案
(NLSC-112-31)

期中報告審查會提列意見及回覆表

姓名	提列意見	意見回覆	期中報告 修正版 對應頁數
李 委 員 瓊 武	1. 本研究證明遠距頻率校正技術方法可行，建議未來可依此建立校正程序，以確認連續觀測站服務品質。	感謝委員建議，本技術可提供校正程序使用。	-
	2. 建議調整文件中奈秒格式問題，如單位 ns 與數字之間應有空格。	文件單位格式已修正。	P49
儲 委 員 豐 宥	1. 建議明確定義並解釋「時間偏移」、「頻率偏差」及「頻率穩定性」等名詞，以增加對本研究之了解。	感謝委員建議，已新增名詞解釋一節補充說明。	P V
	2. 建議統一名詞，如 P9之時間傳輸、時間偏移英文都為 time transfer，P13提及	已將名詞統一。	P9、 P13

姓名	提列意見	意見回覆	期中報告 修正版 對應頁數
	時間偏移卻有不同之解釋 (phase offset)。		
	3. GPS CV 法在文章中說明有基線上的限制，然而研究中另外採用的 PPP 無差分法(無需基線考量)來計算頻率穩定度是否會與之相衝突?建議可增加一分析流程來敘述之。	本研究以共視法(GPS CV)的架構，分別採用相位法與電碼法計算測站之時間偏移量，並進行時間偏移量的精度評估(含頻率穩定度與頻率偏移量)。PPP 無差分法為計算定位精度使用，用在探討 GPS 鐘穩定度與定位精度的關係。	P V
	4. 建議補充說明 PPP-FREE 等三種方法如何計算出頻率穩定或頻率偏差，或有無相關文獻可輔助其計算。	PPP-FREE 等三種方法為計算時間偏移量的方式，如 3-3-3 節所述，詳見 Bernese5.2 操作手冊 15.3 節 (P365-371)及 23.4.4 節 (P607-633)，頻率穩定度及頻率偏差量計算方式如 3-3 節。	P14-18
	5. P18，請補充說明共站共鐘是如何設計?	TLT5 與 TWTF 同屬中華電信研究所之接收儀，位於同一站內，且同樣使用標準時頻訊號(氫鐘)。	-

姓名	提列意見	意見回覆	期中報告 修正版 對應頁數
	6. 七美與萬榮的頻率穩定度及頻率偏移均呈現不好之成果，為何於 PPP 靜態分析中卻只有七美之定位精度不佳，建議於期末報告中建立一個判斷機制來解釋其原因。	未來可採用與七美和萬榮之接收儀型號同為 Topcon Net-G3A 的測站進行比較。期末報告將探討不同時間長度的定位精度是否與頻率穩定度及頻率偏移量有影響。	-
陳 委 員 鶴 欽	1. 參考文獻格式需統一，另部分引用參考文獻有缺漏情形。如：葉大綱老師博士論文，請予以補充。	感謝委員指正，已補充修正。	P3、 P51-P53
	2. 本研究只使用 GPS 星系，其他星系是否可用？	在以衛星時頻校正而言，GPS 跟 Galileo 的時頻最精準，北斗的時頻精確度差 GPS 半個數量級(order)，GLONASS 最差，與 GPS 差了一個 order，BIPM 在時頻上也不用 GLONASS 衛星，因此在時頻校正方面，星系的選擇應列入考量。	P23
	3. 依 P11，表3-1內容，部分基站有外接國家標準時頻訊號或外接鈷鐘等是否有等級差異，請補充說明。	TWTF 主站為外接國家標準時頻訊號，其使用氫鐘，穩定度最高(10-22)，LSB0、TNML、NTPU 外接鈷鐘穩	P11

姓名	提列意見	意見回覆	期中報告 修正版 對應頁數
		定度次之(10-12)，其他使用內部石英鐘，穩定度最差。	
	4. P25，請說明表4-1相位法中為何缺少 NTPU 基站成果資料?	NTPU 站因 L2 設定問題而無法解算。	P23
	5. 七美與萬榮的頻率穩定度及頻率頻率偏移均呈現不佳情形，而 PPP 靜態分析中卻僅七美之定位精度不佳，萬榮仍在精度範圍內，建議未來可研究儀器頻率穩定度及頻率頻率偏移超過多少門檻值後，將會影響 PPP 靜態定位精度。	感謝委員建議。 使用 PPP 定位時，頻率誤差在頻率穩定度低於 3.0E-07 sec 以及頻率偏移量低於 3.4E-08 sec 時，定位精度仍良好；而採 DD 定位時，頻率誤差在頻率穩定度低於 1.1E-06 sec 以及頻率偏移量低於 3.6E-07 sec 時，仍可保持好的定位精度。	P55-56
	6. 研究中使用到的子程式，未來可否授權予本中心作技術轉移使用？	將提供研究使用的程式含 Bernese 程序檔 PCF、OPT、SCRIPT。	P56
邱委員	1. P10及結論均有提到使用 CV 共視法之考量因素有設施、經濟及距離等因素，請針對該3種因素補充說明。	感謝委員建議，已補充於表 2-1。	P8

姓名	提列意見	意見回覆	期中報告 修正版 對應頁數
明全	2. 依 P13，3-2節內容，本研究使用多種軟體及程式，P15 也提及使用 stable32 軟體，後續請在期末報告說明本研究使用哪些軟體（程式）及各軟體（程式）在本研究的功能及取得方式。	遵照辦理。	-
	3. P18 提及 TLT5接收儀，請補充說明該接收儀是屬何單位（站）。	TLT5 與 TWTF 主站同屬於中華電信研究所之接收儀，兩者共站共鐘。	P18
	4. P28-29，圖4-1及4-2，是以 TWTF 為參考站，請將 TWTF 從圖中移除。	已修正。	P28-29
林委員承毅	1. P46表4-3各站結果顯示，TWTF 氫鐘的穩定度高達 10^{-22} ，而 LSB0、TNML、NTPU 的銩鐘卻與其他使用內部石英鐘的穩定度同為 10^{-12} 等級，為何外接銩鐘沒有比石英鐘好？	本研究採用 Overlap Allan Deviation 方法計算頻率穩定度，取樣區間為 300 秒，且因銩鐘有被 GPS 鎖相，所以計算得出的銩鐘與石英鐘穩定度同等級，若取樣區間降低至 1~2 秒或 30 秒，即可比較出差別。	-
	1. 報告內容部分文字誤繕或贅字（如附件）。	感謝委員指正，已修改。	-

姓名	提列意見	意見回覆	期中報告 修正版 對應頁數
業務科	2. P20，圖3-3與圖3-4請確認並修正。	兩圖誤植為相反，已修正。	P20

第一章 研究主旨

隨著GNSS訊號的現代化及定位精度的提升，加上大地測量型GNSS接收儀的價格也大幅下降，使得國內許多政府機關及學術單位紛紛建立GNSS連續觀測站，國內建站較多的單位主要包括：中央研究院地球科學研究所、經濟部中央地質調查所、交通部中央氣象局、經濟部水利署、內政部地政司及中心。目前國內主要建置GNSS連續觀測站的單位統計如下表1，數量已超過400座，廣泛的應用在測繪、板塊、斷層、地震、氣象及地層下陷等領域。

表1-1、國內主要建置GNSS連續觀測站單位統計表

單位名稱	測站數量	主要廠牌	應用領域
中央研究院 地球科學研究所	60	Trimble	板塊運動研究
經濟部 中央地質調查所	90	Trimble	斷層調查
交通部 中央氣象局	160	Trimble Topcon	地震觀測 水氣求定
經濟部 水利署	20	Leica	地層下陷監測
內政部地政司 及國土測繪中心	90	Trimble Topcon	國土測繪 e-GNSS服務

隨著蓬勃發展的網際網路及無線數據通訊傳輸技術，即時動態定位測量已是國際測繪科技與定位技術之主流，國土測繪中心自2004年採虛擬基準站即時

(請移除多餘空格)

動態定位技術，於2008年完成建置「全國性e-GPS衛星定位基準站即時動態定位系統」與測試分析作業，並於2014年更新臺灣本島地區連續觀測站接收儀，且更名為「全國性e-GNSS衛星定位基準站即時動態定位系統」，結合雙星衛星定位、線上坐標轉換等核心技術讓本系統在使用上更為便利。後又於2019年正式開放臺灣本島地區全星系定位服務，並建立衛星觀測資料品質自動檢核機制，整體系統運用與資料供應層面上更即時性及高精度。

國內包括國家度量衡標準實驗室、民間校正實驗室及國土測繪中心，雖然已經建立GNSS接收儀的靜態及動態校正系統，且通過全國認證基金會（TAF）的認證。但由於GNSS連續觀測站並不適合將儀器拆卸下來送回實驗室進行校正，若採游校（攜帶原子鐘至各站進行頻率比對）曠日廢時，故目前國內的GNSS連續觀測站大多數未完成校正追溯，而改以自動化監控e-GNSS基準站觀測資料品質，藉由接收下來的觀測資料進行初步GNSS訊號品質檢核，針對衛星數、衛星幾何分布因子、訊雜比、多路徑效應進行管制，是目前採用的e-GNSS系統品保方案。

為維護基本控制點品質，將參考國際發展趨勢，透過未差分的GPS相位資料計算接收儀頻率偏差，開發GNSS遠距頻率校正技術，並探討頻率誤差對於短、中、長距離靜態相對定位及精密單點定位精度之影響。

國土測繪中心的e-GNSS即時動態定位系統，截至109年12月31日止累計註冊會員數為1,006個，有效會員數為812個，109年度服務費收入已達~~1,254~~萬元，已廣為國內的產官學界使用。由於GNSS連續觀測站資料的使用，已從學術界逐步深化至業界，如何確保這些GNSS連續觀測站所提供的資料可靠性，建立一套GNSS資料品質監控系統應是相當重要的。如此，即能在觀測資料接收的早期，針對各GNSS連續觀測站的資料品質進行管制，藉由GNSS連續觀測站遠距頻率校正技術之建立，當儀器發生故障或環境發生變化時，能早期發現問題儘早處理異常狀況，藉以確保各GNSS連續觀測站所提供的資料是可靠的，讓使用者對於資料的使用上更具信心。

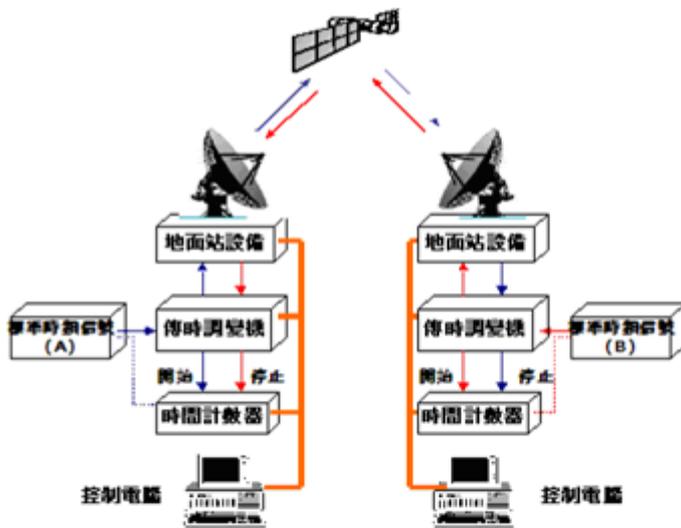


圖2-1、衛星雙向傳時系統架構圖

衛星雙向傳時是目前最精準的時頻校核技術之一。此技術的優點是傳時過程中的各項變動因素，如衛星位置、電離層與對流層所造成傳時延遲的變化等，可互相抵銷而取得極佳的精確度，其不確定度可優於0.5奈秒(ns)。以往國際的傳時比對有很長一段時間仰賴GPS共視法。近年來，由於衛星雙向傳時技術可提供較高的精確度，有越來越多國家的標準時頻實驗室利用此技術進行標準時頻的校核工作。目前透過此技術所進行的傳時比對數據，已成為國際度量衡局(BIPM)用來計算國際原子時(TAI)的主要資料之一。

目前國內的國家時間與頻率標準實驗室(TL)與國際合作發展傳時技術，曾經透過此技術所進行之時間比對實驗，包括(1)亞美鏈路，經由夏威夷KPGO與美國USNO組成雙向傳時比對鏈路。(2)歐亞鏈路，包括德國PTB、日本NICT、俄羅斯SU、中國NTSC、中國NIM、印度NPLI及本實驗TL等七個國家級實驗室所組成雙向傳時比對鏈路(圖2-2)。未來將陸續進行衛星地面站的校正工作。

第三章研究說明

本研究以GPS遠距頻率校正之技術，透過GPS共視法（GPS common view）與國家時間與頻率標準實驗室之標準時間進行比對，藉由未差分的GPS相位資料以及BIPM建議的電碼計算方法，計算TWTF站與國土測繪中心GNSS觀測站接收機之頻率偏移及頻率穩定度。由GNSS觀測站中挑選14處，每個測站觀測時間為一週的資料來進行計算與精度驗證。

3-1 資料蒐集

為進行GPS遠距頻率校正技術之計算以及精度驗證，本研究以中華電信研究所管理之楊梅TWTF站為參考主站，並選擇14處短、中、長不同基線距離、不同型號接收儀、GPS鐘或外接鈷鐘的GNSS觀測站，測站資訊列表如下，包含台北大學NTPU、陽明山YMSM、工研院TNML、南寮SHJU、麗水派出所TC32、測繪中心LSB0、二林VR02、和美VR01、萬榮WARO、成大測量CKSV、金門KMNM、大武DAWU、瑪家MAJA、七美CIME，其中TWTF外接國家標準時頻訊號，NTPU、TNML、LSB0為外接鈷鐘，TWTF、TNML、CKSV、KMNM屬於IGS站，接收儀廠牌型號有SEPT POLARX4TR、Trimble Alloy、Trimble NetR9、Leica GR50、Topcon Net-G3A。

表3-1、14處GNSS觀測站

基線距離	站名	點號	接收儀廠牌型號	建置機關
主站	楊梅	TWTF	SEPT POLARX4TR 外接國家標準時頻訊號	中華電信研究所 (IGS站)
短	台北大學	NTPU	Trimble Alloy	台北大學

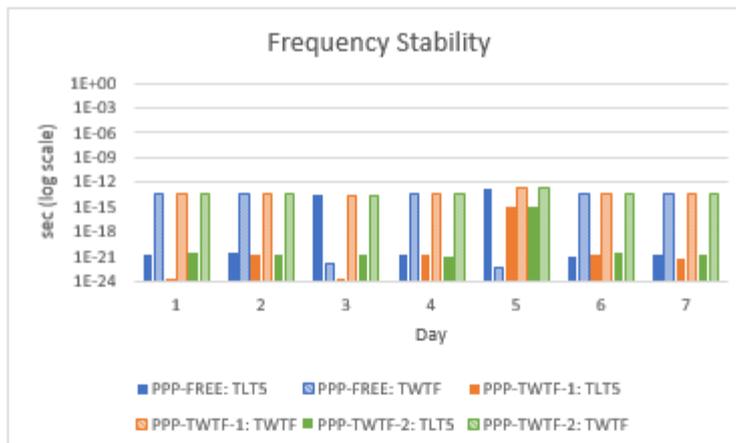


圖3-1、TWTF與TLTS共鐘相位法之頻率穩定度
(左邊Y軸是log scale，最下及最上之數值分別是0與1)

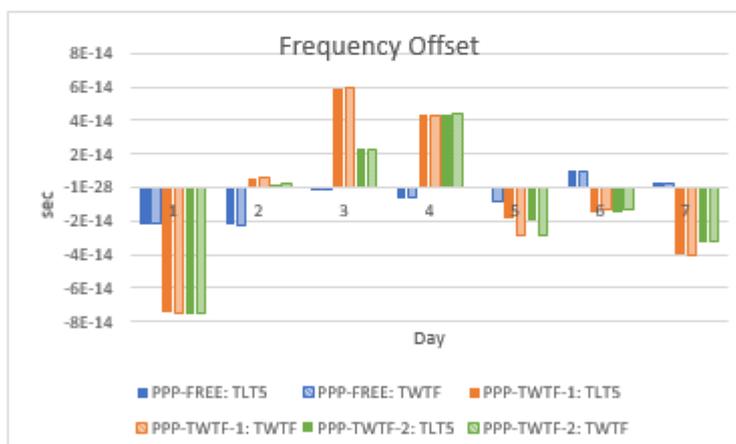


圖3-2、TWTF與TLTS共鐘相位法之頻率偏移量

三種相位法結果(圖3-2、圖3-3)得出的頻率穩定度與偏移量都在鐘差精度範圍(1E-12)內，因此三種結果都正確，由於PPP-FREE與電碼法結果最接近，因此後續(下期報告)相位法將採用PPP-FREE計算方式。

電碼法亦可採共站共鐘方式驗證計算結果，以TLTS接收儀做為參考站，評

估TWTF的頻率穩定度及偏移量。其計算出的時間偏移量(相位差, phase offset)如下圖, 時間範圍為2023/1/1~2023/1/7, 所得出的時間偏移量在 10^{-12} 秒(Picoseconds)的範圍, 屬於正常偏差值, 去掉boundary後, 基本是一致的, 符合共用參考時鐘的結果。評估頻率穩定度的Overlap Allan Deviation也很合理, 共鐘結果是white noise佔大部分。

請確認圖3-3與圖3-4是否錯置, 如有, 請修正。

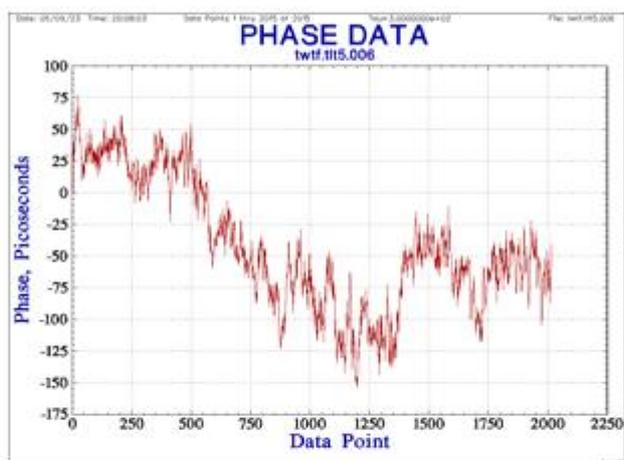


圖3-3、TWTF共鐘之時間偏移量

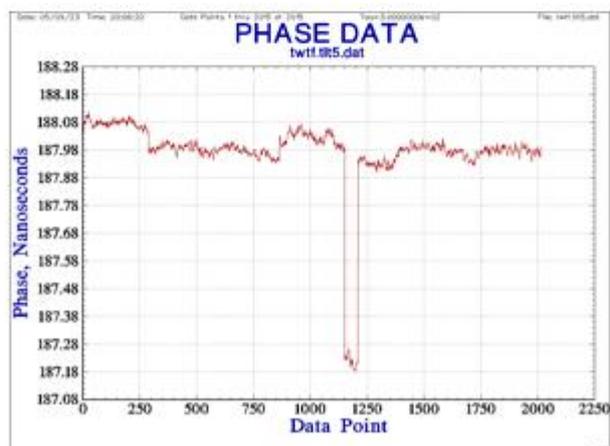


圖3-4、TWTF共鐘去掉boundary後的時間偏移量

附件三、期末報告審查委員意見及回覆表

內政部國土測繪中心

112年度開發 GNSS 連續觀測站遠距頻率校正技術委託研究採購案
(NLSC-112-31)

期末報告審查會提列意見及回覆表

姓名	提列意見	意見回覆	成果報告 對應頁數
楊 委 員 名	1. 報告書中頻率穩定度及頻率偏移量的單位為秒，為何都是秒，頻率應無單位，請再確認。(例如：表 4-2)	感謝委員檢視，頻率穩定度及頻率偏移量應無單位，已修正於報告內文。	P22、 31~34、 51、 55~57
	2. P17、18 頁計算頻率穩定度之公式建議加入公式編號。	已加入公式編號。	P17、18
	3. P25，有關七美站與萬榮站時間偏移量較大之敘述中提及「...cycle slip 應會很大...」指得是 o/slps 值會比較大嗎?句意不是很明確，請再補充說明。	CIME 七美站觀測資料數與週波脫落數的比值 Observation/cycle slips (o/slps) 為 45，WARO 萬榮站 o/slps = 831，可知七美站每 45 筆資料有 1 筆週波脫落，其 cycle slip 較萬榮站大。	P25
	4. P51，請說明 DD 方法是指相對定位或基線計算方式?	DD 方法指的是運用靜態相對定位，固定 TWTF 主站以基	P50

		線解算的方式，計算其他 GNSS 站的坐標。	
儲 委 員 豐 宥	1. 建議補充相位法及電碼法的接收儀時鐘差估值加以介紹。	感謝委員建議，計算方法可參見 Bernese5.2 操作手冊 15.3 節(P365-371)及 23.4.4 節(P607-633)。	附於期末光碟
	2. 本案相位法及電碼法是使用單頻或雙頻?	相位法及電碼法皆使用雙頻。	P25
	3. P52，表 4-6 第四類解算 24 小時為何沒有成果?	第四類僅有七美 CIME 一站，以 Bernese 使用 DD 解算 24 小時位置坐標無法解算成功，應為 CIME 站的觀測資料在 UTC 時間 9~24 時較差，以致於加入更多觀測資料之後反而無法求解。	P53、54
邱 委 員 明 全	1. P50、54 圖 4-3、4-4、4-5，請將水平(H)與高程(V)分開繪製，以利辨別差異。	感謝委員指教，已將圖 4-3、4-4、4-5、4-6 水平(H)與高程(V)分開繪製。	P51、P55~57
	2. P16-18 中所使用之軟體程式，請將軟體取得方式、軟體功能、資料處理流程所使用到的軟體及其設定參數等，整理並節錄於附錄。	已將使用軟體及其處理流程新增於附件五。	P85
	1. P1，提到地調所及氣象局已更名，請修正為地質調	感謝委員檢視，內文已修正。	P1

彭 委 員 千 惠	查及礦業管理中心、中央氣象署。		
	2. P29、P30，大武、和美、瑪家電碼法之圖像上下顛倒，請修正。	感謝委員檢視，圖像已修正。	P29、P30
	3. P26，有關 CGGTTS 表示什麼？	CGGTTS (CCTF Group on GNSS Time Transfer Standards)是一種格式的名稱，為時間比對的標準交換格式。 CCTF (Consultative Committee for Time and Frequency)	P26
蕭 委 員 世 民	1. 請提供本年度各站計算後之成果資料，以利後續評估參考。	謝謝委員指教，各站頻率穩定度與頻率偏移量列於附件六。	P86
	2. 有關接收儀內之頻率校正，是否有建議的校正週期？	國際度量衡局 BIPM 建議每兩年校正一次。	-
陳 委 員 鶴 欽	1. 頻率偏移及穩定性精度驗證之觀測資料取樣間隔為 300 秒，與一般為衛星觀測資料處理為 1、5、30 秒不一樣，請問取樣 300 秒是否有特定意義或規定？如果時間縮短是否會影響頻率精度？	謝謝委員指教。300 秒的取樣間隔為 BIPM 與 IGS 時頻計算的慣用取樣間隔，本研究的評估方式亦參照國際慣例。如果間隔縮短，則穩定度將變差，間隔提高，穩定度則變好。	P17

	2. 本研究所建立的頻率校正作業方式及成果目前看起來是有效性，未來是否可以以此為範本，協助測繪中心建立一套 eGNSS 基準站遠距校正(或查核)作業方式，提升作業效率並確保成果品質。	感謝委員建議。未來可依據本計畫建立的頻率校正作業方式，建立一套 eGNSS 基準站遠距校正(或查核)作業方式。建議下年度可進行游校比對。	P59
業 務 科	1. 需求訪談為本年度工作項目，建議將相關內容放入期末報告參考附件。	感謝委員指教，需求訪談相關內容已新增於附件一。	P63
	2. P13、第三章研究說明與 P25、第四章研究成果均提到本研究使用之 GNSS 觀測站數量，有不一致情形，請修正調整。	已統一修正為 14 處。	P25
	3. 報告內容部分文字誤繕（如附件），請參考修正。	已修正。	P52

4-4 頻率誤差對於靜態相對定位精度之影響

以 DD 方法解算 GNSS 測站資料，資料時間及解算時間跟 ~~PP~~^{PPP} 方法相同，112/1/1~1/7 共七天，分為 1、2、4、8、24 小時解算每日資料，同樣進行座標轉換並計算各站標準偏差，接著評估頻率誤差對 DD 定位精度的影響。使用前述依據頻率穩定度以及頻率偏移量將 GNSS 站進行分類的結果，再依據不同基線長度(相對於楊梅 TWTF 站)將各類再分為短、中、長距離，以比對不同距離的頻率誤差對 DD 定位精度的影響，分類如表 4-5 所示。

表4- 5、頻率誤差與短中長距離之測站分類

基線長度	類別	GNSS 站
短距離	第一類	YMSM, TNML, SHJU
中距離	第一類	TC32, LSB0, VR02
	第二類	VR01
	第三類	WARO
長距離	第一類	CKSV, KMNM, DAWU
	第二類	MAJA
	第四類	CIME

附件四、研討會論文

Lin, S-Y., Yeh, T-k., Lien, T-Y., The 6-Year Long Term Total Delay Variations Investigation of TL GPS Stations – According to a Virtual Ensemble Receiver, IEEE International Frequency Control Symposium and the European Frequency and Time Forum, Toyama, Japan, May 15 – May 19, 2023.

The 6-Year Long Term Total Delay Variations Investigation of TL GPS Stations – According to a Virtual Ensemble Receiver

Shinn-Yan Lin

National Standard Time and Frequency Laboratory
TL, Chunghwa Telecom Co., Ltd.
Taoyuan City, Taiwan
sylin@cht.com.tw

Ta-Kang Yeh and Tzu-Yi Lien

Department of Real Estate and Built Environment
National Taipei University
New Taipei City, Taiwan

Summary—We use a virtual ensemble GPS receiver [1] which CCGTTS outputs are the weighted average of all calibrated physical receivers in ensemble to monitor the GPS C1/P1/P2 total delays' (TOTDLY) [2] variation of each physical receiver. Since the virtual ensemble receiver is the collective representation of all receivers in ensemble and the outliers and divergent measurements from the physical receivers in ensemble would be filtered out by weighting procedure, the equivalent TOTDLY of the virtual ensemble receiver would be more stationary and qualified as a reference. A co-location 6-year long-term common clock difference (CCD) was calculated to examine the trends and variation ranges of the GPS C1/P1/P2 TOTDLY of physical receivers. We found, even the co-location CCD procedure cancelled out the most known common noises, the CCD results showed the 6-years P1/P2 TOTDLY variation ranges of all receivers were about $-0.5 \sim 0.5$ ns with different trends. Since the GPS P3 we used for GPS Time Transfer (GPSTT) is the ionosphere free combination of P1 and P2, there would cause about 1.5 ns time instability for GPSTT. We also found each receiver's C1/P1 trends were similar, it may imply the TOTDLY variation is related to the carrier frequency of GPS signal.

Keywords—GNSS calibration; Total delay; CCGTTS; Virtual GPS Ensemble Receiver

I. INTRODUCTION

The Global Positioning Systems time transfer (GPSTT) is one of the major inter-continental time and frequency comparison technology; about 85% UTC (Coordinated Universal Time) laboratories use GPSTT as their UTC time links [3]. The typical GPSTT uses two single-receiver stations (including antenna, cables, time and frequency reference signals and a GPS receiver) at both sites. If the GPS satellite instrument delays, relativistic effects, Sagnac effect, ionosphere delay, tropo-sphere delay, etc. are perfectly modeled and compensated; therefore, the two realized GPS time both stations observed are identical. When the total delay (TOTDLY, the total electronic delay between the phase center of the antenna and the time reference point of the GPS station, including REF DLY, CAB DLY, and INT DLY) [2] of the two GPS stations are finely calibrated; the GPS system time could be the common reference and get the accurate time difference

between the reference time of two stations. But in practice, except it's difficult to perfectly model and compensate the noises from GPS satellite clock and atmosphere effects; in recent years, some studies [4-10] showed the TOTDLY of GPS station is not stationary but might be affected by environmental conditions or some unknown factors up to 1-3 ns per year. Consequently, the TOTDLY variations of a GPS station would be introduced into its GPSTT results, and besides, if the GPSTT/TWSTFT (Two Way Satellite Time and Frequency Transfer) stations are calibrated by the traveling GPS calibrators, the TOTDLY variation of the traveling GPS calibrators would also be introduced into the calibration results, further affect the time comparison of the calibrated GPSTT/TWSTFT stations.

The BIPM (Bureau international des poids et mesures) gave the minimum GPS link uncertainty (including the calibration uncertainty and measurement uncertainty) of UTC time links to be 1.8 ns, and the calibration uncertainty, uCal, contribute most of the link uncertainty (BIPM Circular T [3], Section 5) The time instability of the TOTDLY of GPS station is one of the key factors affect the GPSTT results.

To investigate the long term TOTDLY variation of the GPS receivers, we use the virtual ensemble GPS receiver of TL, named to be TLE1, as the reference receiver to measure the TOTDLY fluctuation of the GPS C1/P1/P2 code of 4 physical receivers in ensemble. The C1/P1/P2 CCGTTS outputs of TLE1 is the weighting results of the C1/P1/P2 CCGTTS [11] outputs of all the physical receivers in TLE1. The TLE1 of all receivers in ensemble, the CCD results of physical receivers versus TLE1 can be treated as the CCD results of physical receiver with respect to their collective average representation, and relatively reflect their C1/P1/P2 TOTDLY variations.

The brief description of the virtual ensemble receiver model and the CCD test were illustrated in section II. A very long-term CCD test of 4 GPS receivers versus TLE1 from 2016 to 2022 were investigated, the results would be discussed in section III.

II. VIRTUAL ENSEMBLE RECEIVER MODEL AND CCD TEST

The virtual ensemble receiver, which we named as TLE1, is the weighted result of the physical receivers in ensemble. At initial, we first compensated the TOTDLY of each receiver in TLE1 according to the result of 2016 BIPM G1 calibration campaign (calibration ID 1001 2016) [12], then generated the CCGTTS files of each receiver using the r2cggts software [13]. Due to the time and frequency reference sources of all TOTDLY aligned receivers in TLE1 are all the same (UTC(TL), see Table I) and the antennae are located in a small area (2.5 m × 6 m, Fig. 1) that the noises from satellite clocks, atmosphere effects, and local time and frequency references are almost the same, the P3 (ionosphere combination of P1 and P2) REFGPS values of each receiver's CCGTTS output at each epoch of each GPS satellite should be the same. The standard deviation of their P3 REFGPS can be used to pick up and remove the outliers. We set the weighting function of each C1/P1/P2 code of each receiver k at each epoch t of each GPS satellite i :

$$w_{k,j}(t, i) = 1/N(t, i),$$

$$\text{if } |\text{REFGPS}_{k,p3}(t, i) - \mu\text{REFGPS}_{p3}(t, i)| \leq 1 \sigma$$

$$w_{k,j}(t, i) = 0,$$

$$\text{if } |\text{REFGPS}_{k,p3}(t, i) - \mu\text{REFGPS}_{p3}(t, i)| > 1 \sigma \quad (1)$$

where $j = \text{C1/P1/P2}$, $\mu\text{REFGPS}_{p3}(t, i)$ is the average of P3 REFGPS at epoch t of GPS satellite i , σ is the standard deviation of $\text{REFGPS}_{k,p3}(t, i)$, $N(t, i)$ is the total number of receivers which $w_{k,j}(t, i) \neq 0$.

Here we used a harsh conditions because the expected $\text{REFGPS}_{k,p3}(t, i)$ with respect to $\mu\text{REFGPS}_{p3}(t, i)$ is always 0 and the weight equation (1) is just used for removing the outliers.

The $\text{REFGPS}_{\text{TLE1},j}(t, i)$ is the weight average of all physical receiver in ensemble:

$$\text{REFGPS}_{\text{TLE1},j}(t, i) = \sum_k w_{k,j}(t, i) \cdot \text{REFGPS}_{k,j}(t, i) \quad (2)$$

The P3 REFGPS of TLE1 at each epoch t of each GPS satellite i are ionosphere free combination of P1 and P2:

$$\text{REFGPS}_{\text{TLE1},P3}(t, i)$$

$$= \alpha \cdot \text{REFGPS}_{\text{TLE1},P1}(t, i) - \beta \cdot \text{REFGPS}_{\text{TLE1},P2}(t, i) \quad (3)$$

Where $\alpha=2.545$ and $\beta=1.545$ are the ionosphere free combination coefficients.

From 2016 to 2022, the TLE1 was composed of 4-6 aligned receivers, except some traveling GPS calibrators had been temporarily joined and retreated, TLE1 had 4 main physical receivers (Table I).

TABLE I THE 4 MAIN RECEIVER IN TLE1

Station	Components			
	Antenna	Antenna Cable	Receiver Model	Reference
TLT1	Sepchoke_B3E6 SPKE	FSJ1-50A	Ashtech Z12T	20 MHz 1PPS
TLT2	JAV_Ringsant_G 3T	FSJ1-50A	TTS-4	5 MHz 1PPS
TLT3	Sepchoke_B3E6 SPKE	FSJ1-50A	GTR-50	10 MHz 1PPS
TLT4	ASH701945C_M SCIS	FSJ1-50A	PolaRx4 Pro	10 MHz 1PPS

The receiver TLT2 was under fixing from April to June 2019 and March to April 2021, failed and retreated from TLE1 at Jan 2022; the TLT3 was under fixing at April 2018 and re-joined TLE1 at September 2018; the TLT4 retreated from TLE1 in October 2020. The receiver TLT1 is kept in TLE1 in whole period.

Once a new or fixed physical receiver joined TLE1, its C1/P1/P2 TOTDLY would be aligned and compensated with respect to TLE1, therefore we can make sure the TOTDLY variation of the new added receiver would be smoothly introduced into the TLE1. Since the outliers and irregular jumps of each physical receiver could be averaged out by the weighting processes, the C1/P1/P2 REFGPS of TLE1 can be treated as the average presentation of the physical receivers in ensemble and would be more stationary than any physical receiver in ensemble.



Fig. 1 The antennae of physical receivers in ensemble are located in a 2.5 m × 6 m area

The CCGTTS outputs of TLE1 were used as the reference to investigate the TOTDLY variations of the receiver TLT1, TLT2, TLT3, and TLT4. Since the TOTDLY of each physical receiver was aligned with respect to TLE1, we calculate their CCD with TLE1 using their C1/P1/P2 CCGTTS outputs and observed their CCD residues. The results will be shown and discussed in section III.

III. RESULT AND CONCLUSIONS

The 6-years GPS C1/P1/P2 CCD of TLT1, TLT2, TLT3, and TLT4 versus TLE1 were shown in Fig 2. As we expected, all receivers' TOTDLY variations were not stationary. All variation ranges were about -0.5~+0.5 ns. Furthermore, the P1/P2 CCD variation trends were all different. That may imply the receiver hardware delay variations may not be directly

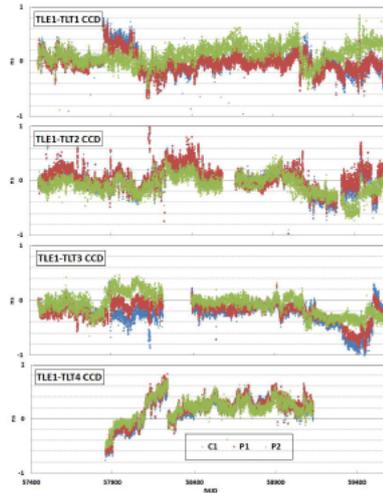


Fig. 2 The 6-years long term GPS C1/P1/P2 CCD of 4 physical receivers with respect to TLE1

affected by the common environment effects such as indoor/outdoor humidity and temperature or the external 1 PPS/10 MHz instability. We also noted there is no obvious periodical or seasonal pattern in the 6 years observation, that also implies the temperature is not the immediate cause of the TOTDLY variations.

We also noted, relative to GPS P2, the GPS C1/P1 TOTDLY variations seem to have the similar trends (Fig. 3 of TLT1 as example), that the TOTDLY variation probably correlate with the wavelength of carrier frequency (L1/L2).

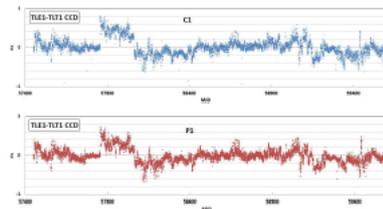


Fig. 3 The C1 and P1 CCD of TLT1 with respect to TLE1

One possibility is the impedance mismatch of antenna cable connectors induce reflection in antenna cable and cause group

delay variation (which is wavelength dependent). It could be verified when we finish the long-term GPS C2/P2 CCD test.

Since the GPS P3 which we actually used for GPSTT is the ionosphere free combination of P1 and P2, the ± 0.5 ns P1/P2 TOTDLY variation would cause ± 1.5 ns GPSTT time instability, it roughly fit the minimum calibration uncertainty BIPM assigned [14] and might be the current limitation of long term GPSTT.

The TLE1 is the collective representation of all physical receivers in ensemble, we reasonably believe it's more stable than any physical receiver in ensemble. Unlike the physical receiver may fail, the time transfer using the virtual ensemble receiver could be continuously operated even if any receiver in ensemble retreats or disordered. That we could consider using the virtual ensemble receiver to be the reference receiver for time transfer or calibration to avoid the time scale jump caused by the change of physical reference receiver.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of Interior, Taiwan, for financially supporting this research under grant number NLSC-112-31.

REFERENCES

- [1] S. Y. Lin and Z. Jiang, "GPS All in View Time Comparison using Multi-receiver Ensemble", Proc. EFTF 2017
- [2] Z. Jiang, L. Tisserand and G. Petit, "Tests of the BIPM portable calibration station - METODE: MEasurement of TotaL Delay", Proc. PTIT 2012.
- [3] [ftp://ftp2.bipm.fr/pub/tai/Circular-T](http://ftp2.bipm.fr/pub/tai/Circular-T)
- [4] Z. Jiang, D. Matsakis, S. Mitchell, L. Breakiron, A. Bauch, D. Piester, H. Maseno and L. G. Bernier, "Long-term instability of GPS-based time transfer and proposals for improvements", Proc. PTIT 2011
- [5] Z. Jiang et al., BIPM Technology Memorandum TM263
- [6] Z. Jiang, D. Matsakis and V. Zhang, "Long-term instability in UTC time links", Proc. PTIT 2017.
- [7] Z. Jiang, F. Arias, W. Lewandowski, G. Petit, "BIPM Calibration Scheme for UTC Time Links", Proc. EFTF 2011, pp 1064-1069
- [8] S.Y. Lin et al., "A Modification of Z11T Metronome Time Transfer System", Proc. EFTF 2014
- [9] S. Y. Lin et al., "The Status Report of TL", report of 2014 TWSTFT WG Meeting
- [10] S. Y. Lin, W. H. Tseng, H. T. Lin, Y. J. Huang, and K. M. Feng, "Long-term Inconsistency between TWSTFT and GPS Time Transfer Results in PTB-TL and NICT-TL Time Links", Proc. EFTF 2010
- [11] P. Defnigne and G. Petit, CGGTS-Version 2E, an extended standard for GNSS Time Transfer, METROLOGIA May 2019.
- [12] https://webtai.bipm.org/ftp/pub/tai/publication/time-calibration/Current/1001-2016_GPSP3C1_Group1-trip_V1-5.pdf
- [13] ftp://bipm-ftp-01.ecritel.net/soft/r2cggts
- [14] https://webtai.bipm.org/ftp/pub/tai/publication/guss-calibration/guidelines/bipmcalibration_guidelines_v40.pdf
- [15] D.W. Allan, M.A. Weiss., "Accurate Time and Frequency Transfer During Common-View of a GPS Satellite", Proc. Frequency Control Symposium, 1980, pp. 334-336.
- [16] D.W. Allan and C. Thomas, "Technical Directives for Standardization of GPS Time Receiver Software", Metrologia, 1994, 31, pp. 69-79.
- [17] Z. Jiang and G. Petit, "Time transfer with GPS satellites all in view", ATF2004: 18 - 19 Oct. 2004, Beijing

附件五、遠距頻率校正計算軟體

軟體	功能	處理流程
<p>Bernese 5.2 付費軟體</p> <p>架構在 Bernese 5.2 下的執行程式(含 PCF、OPT、SCRIPT)由本團隊葉大綱老師編碼，可無償提供測繪中心使用</p>	<p>相位法計算時間偏移量</p>	<p>一、PCF 程序檔 二、設定檔 OPT(視窗介面設定參數 CLK) 三、自動處理程序 SCRIPT，解算前以 rnxsmr 程式對於相位資料進行週波脫落偵測及平滑化處理，於參數預估程式 gpsest (需更新 clkrmx 副程式) 解算未知值的過程中，再以 resrms 程式利用輸出的殘差反覆消除雜訊較大的觀測時段及衛星，即可求得較準確的接收儀內部時間偏移量。</p>
<p>r2cggts.f 免費公開軟體(需取得原作者同意使用)</p>	<p>電碼法計算時間偏移量</p>	<p>假設地面天線之精密位置已知，透過 GPS 接收機產生之 P1/P2 偽距(pseudorange)及觀測檔(navigation message)，以迭代法計算可以得出 GPS 衛星 P1/P2 電碼實際發出時間，修正衛星電碼偏差、相對論效應、大氣延遲效應、Sagnac 效應後可得出衛星時間與 GPS 接收機內部參考時鐘之時間差。</p>
<p>stable32 http://www.stable32.com/ 免費公開軟體</p>	<p>計算頻率穩定度及頻率偏移量</p>	<p>計算頻率穩定度時，採用 Overlap Allan Deviation 方法計算，取樣區間採用 300 秒。頻率偏移量則取相位差(phase offset)的線性擬合(linear fit)來做平均。</p>

附件六、各站頻率穩定度及頻率偏移量

GNSS 站	頻率穩定度		頻率偏移量	
	相位法	電碼法	相位法	電碼法
CIME	1.13E-06	7.33E-08	-3.60E-07	-3.40E-11
CKSV	4.32E-12	5.21E-12	1.66E-14	6.70E-15
DAWU	3.61E-12	3.22E-12	1.07E-13	1.11E-13
KMNM	3.77E-12	3.54E-12	4.16E-14	4.75E-14
LSB0	3.09E-12	2.14E-12	1.13E-13	1.14E-13
MAJA	1.08E-11	3.91E-12	1.87E-13	2.00E-13
NTPU	-	2.18E-08	-	-2.40E-10
SHJU	3.27E-12	2.95E-12	1.22E-13	1.29E-13
TC32	4.63E-12	2.78E-12	4.90E-14	3.23E-14
TNML	4.65E-12	2.81E-12	1.15E-13	1.10E-13
TWTF	1.52E-22	1.28E-12	-3.80E-16	3.26E-15
VR01	1.09E-11	3.53E-12	1.67E-13	1.74E-13
VR02	3.97E-12	4.15E-12	1.21E-13	1.33E-13
WARO	3.04E-07	1.23E-07	-3.40E-08	-1.10E-09
YMSM	5.98E-12	4.20E-12	4.21E-14	4.35E-14