

原子鐘輔助衛星定位儀校正系統之研究

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

林承毅* 林長青** 陳鶴欽*** 李旭志****

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

摘要

內政部國土測繪中心為落實國土測繪法對於測量儀器校正的要求，於 97 年成立「測量儀器校正實驗室」，並於 99 年通過財團法人全國認證基金會（TAF）認證，為國際間相互認可的實驗室，共有衛星定位儀、經緯儀及電子測距儀 3 個校正項目。

依據 TAF 規定，實驗室使用的儀器標準件必須定期辦理量測追溯，而辦理追溯需卸下標準件，導致校正服務中斷，將影響實驗室的作業能量，鑑此，該中心於 100 年購置原子鐘作為衛星定位儀標準件的時間與頻率參考來源，期以原子鐘取代衛星定位儀標準件辦理量測追溯，避免校正服務中斷，本研究探討以原子鐘作為時頻參考源，對於衛星定位儀校正系統之校正與量測能力的影響，並評估其可行性。

研究結果顯示，以原子鐘作為時間及頻率參考來源，對於校正與量測能力的影響量小於 1mm（超短基線由 2.8mm 變化至 3.4mm），影響不顯著，表示將原子鐘納入衛星定位儀校正系統，並取代衛星定位儀標準件辦理追溯的方式可行，並可讓校正系統營運不中斷，有效提升服務能量。

* 內政部國土測繪中心課員

** 內政部國土測繪中心專員

*** 內政部國土測繪中心技正

**** 內政部國土測繪中心課長

ABSTRACT

In order to implement the Land Surveying and Mapping Act, the National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of Interior, NLSC established the Surveying Instrument Calibration Laboratory, SICL in 2008. SICL issued the certification of Taiwan Accreditation Foundation, TAF in 2010. There are 3 calibration systems in SICL, the electronic distance measurement, the theodolite and the GPS satellite receiver calibration system.

In accordance with TAF required basis, the standard instrument has to be calibrated and trace to upper reference periodically. SICL must stop service because standard instrument of GPS satellite receiver handling measurement traceability. In order to continue operations, SICL add atomic clocks into the GPS satellite receiver calibration system, as time and frequency references. Atomic clock replaced standard instrument of GPS satellite receiver trace to upper reference is one of the solution of SICL operation continually. We analyzed the effect of Calibration and Measurement Capacity, CMC and discussed the feasibility of GPS Receiver Assisted with Atomic Clock to trace to upper reference.

The study has shown that, the CMC of GPS satellite receiver calibration system has teeny influence, hence atomic clock replaced standard instrument of GPS satellite receiver trace to upper reference is feasible.

關鍵字

Keywords

校正系統

Calibration System

原子鐘

Atomic Clock

校正與量測能力

Calibration and Measurement Capacity, CMC

一、前言

國土測繪法於 96 年 3 月公布，其子法「基本測量實施規則」第 24 條及「應用測量實施規則」第 12 條均明文規定，辦理測量業務之儀器設備應定期校正，其中「基本測量實施規則」更明定儀器應定期送國家度量衡標準實驗室或簽署國際實驗室認證聯盟相互承認辦法之認證機構所認證之實驗室辦理校正，而國內簽署相互承認辦法之認證機構為財團法人全國認證基金會（Taiwan Accreditation Foundation, TAF）。

內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）為中央測繪機關，為落實儀器校正制度並符合法規規定，於 97 年成立「測量儀器校正實驗室」（以下簡稱校正實驗室），建置相關校正設備，發展符合國際認證規範 ISO/IEC 17025 品質管理系統之作業程序，並於 99 年通過 TAF 校正實驗室認證，提供電子測距儀、經緯儀及衛星定位儀等儀器的校正服務。

校正實驗室的衛星定位儀校正作業系統（以下簡稱本系統）是建構在空間基線分析的基礎上，先以較高規格的儀器（參考標準件）測出基線長度標準值，再於辦理儀器校正時，以待校正儀器測量同一基線長度，將待校正儀器所測得之基線長度與標準值進行分析比較，並出具校正報告。依據 TAF 規定，參考標準件必須定期辦理量測追溯，校正實驗室每 3 年會將參考標準件送到國家度量衡標準實驗室進行校正，因參考標準件送校期間必須暫停實驗室營運，且送校後需重新辦理系統評估才能重新營運，影響時間長達 3 個月，對於校正實驗室影響甚巨。

為使校正服務不至中斷，國土測繪中心於 100 年購置原子鐘，將原子鐘外掛於參考標準件，使參考標準件的內部時間與頻率改由原子鐘提供，因頻率與時間為影響衛星定位測量的主要因素，故可將原子鐘所產生的時間及頻率檔送至國家時間及頻率標準實驗室辦理追溯，以時頻追溯的方式取代幾何追溯，也因不需將參考標準件卸下，故不影

響校正實驗室運作；本研究分析以原子鐘作為衛星定位儀外部時間及頻率參考，對於本系統校正與量測能力（Calibration and Measurement Capacity, CMC）影響，並評估以原子鐘追溯方式取代衛星定位儀參考標準件追溯方式之可行性。

二、衛星定位儀校正作業系統

本系統以靜態相對測量方式進行，分析固定點至待測點間的基線長度，分別有超短基線及中基線 2 個組合，為辦理校正業務，校正實驗室於所在之至善樓頂建置超短基線衛星定位儀校正場(以下簡稱校正場)，共有 8 個固定基樁，分別為校正基點 LS01 至 LS07 及固定基點 LS08，其中校正基點用於架設待校正件，固定基點則長期架設標準件，而校正實驗室所定的超短基線及中基線分別為校正基點與固定基點及中基線參考站間的空間基線，平均長度分別約 18 公尺及 80 公里，前述中基線固定站為財團法人工業技術研究院設置之 TNML 及 TCMS，皆為 IGS 追蹤固定站，一般而言，僅以 TNML 為中基線固定站，若 TNML 資料有缺失，則改以 TCMS 替代，圖 1 為校正場各基樁位置配置圖。

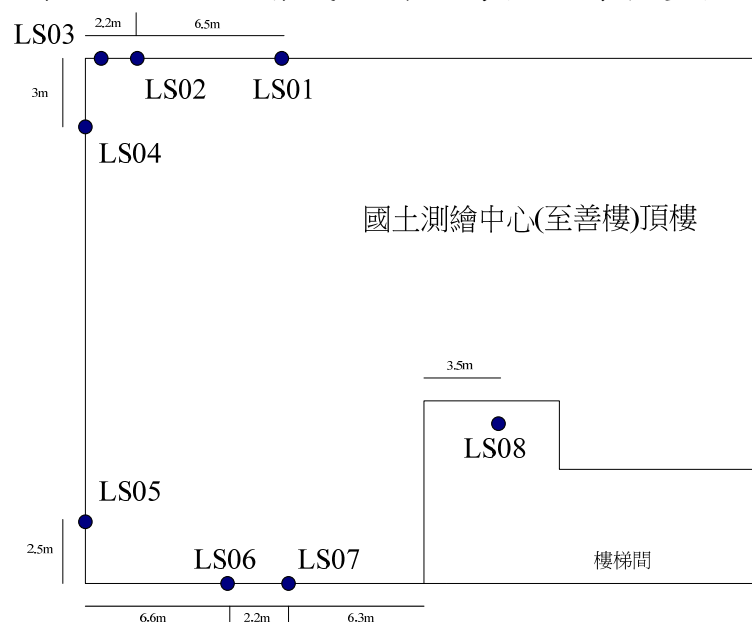


圖 1 超短基線衛星定位儀校正場基樁配置圖

（一）基線標準值訂定

超短基線與中基線長度的標準參考值於系統設計之初進行評估，以參考標準件設置於校正基點，每個點分別觀測 14 天，使用 Bernese 軟體計算每個校正基點與固定基點及中基線參考站間的 14 組空間基線長度，取平均值作為每個校正基點之超短基線與中基線長度的參考標準值，據以辦理校正業務。依據校正實驗室衛星定位儀校正作業程序【1】規定，系統運行後每季應辦理量測查核，於校正基點設置參考標準件，每個點分別觀測 2 天，計算超短基線與中基線的長度平均值，與參考標準值比較，若發現有變動之虞，則比照系統設計之初評估方式，重新辦理標準值計算。

（二）校正作業程序

本系統於辦理收件後，主要校正作業程序為觀測、資料分析及出具報告等 3 項，於觀測時設定待校正儀器最低觀測仰角為 15 度，資料紀錄間隔為 15 秒，並設置於校正基點上，至少連續觀測 8 小時；觀測後以 Bernese 軟體進行資料分析，配合天線盤相位中心偏移量、IGS 精密星曆、地球轉動參數、極運動改正資料及大氣延遲修正模式等參數，解算由待校正儀器所測得之超短基線及中基線長度，再與標準值比較得出器差值，並依據計算結果出具校正報告。

三、研究方法

本系統所使用的原子鐘外掛於固定基點之衛星定位儀標準件，提供外部時頻參考，本研究取外掛原子鐘前後的觀測資料，分別以衛星定位儀內部的石英鐘與外部原子鐘作為時間與頻率參考源，分析 2 種不同時頻來源的資料對於超短基線 CMC 的影響量，進而評估原子鐘納入本系統的可行性；量測不確定度的評估結果是訂定 CMC 的基礎，因此在決定校正系統的 CMC 之前，應先辦理量測不確定度評估。本研究依據國際標準組織（International Organization for Standardization, ISO）

出版之「量測不確定度指引」(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 2nd Edition, 1995, 簡稱 ISO-GUM)【6】評估前述 2 種時頻參考源的量測不確定度, 評估時需先建立量測系統模式, 確認不確定度來源, 並將各項誤差來源分為 A 類及 B 類不確定度, 予以量化, 其中 A 類以統計方法評估, B 類用其他方法評估, 估得各標準不確定度, 再合併成組合標準不確定度, 依特定信賴水準與有效自由度, 決定涵蓋因子, 並計算擴充不確定度, 上述評估流程敘述如下:

- (一) 建立量測系統模式(數學模式) $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ 。
- (二) 確認系統中的不確定度來源 X_i , 且 X_i 彼此為獨立不相關。
- (三) 將各項不確定度來源 X_i 予以分類並量化為 A 類及 B 類的標準不確定度 (Type A and Type B Standard Uncertainty) u_A 、 u_B , 其中 A 類標準不確定度的評估方法為利用統計分析, B 類標準不確定度的評估方法為 A 類評估方法以外的其他方法。計算或估計出所有 X_i 的最佳估計值 x_i , Y 的估計值 $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, 自由度 ν_i 及靈敏係數 $c(x_i) = c_i$, 其中 $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$ 。

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

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

$$= \sqrt{[u_1(y)]^2 + [u_2(y)]^2 + [u_3(y)]^2 + \dots + [u_n(y)]^2} \quad (1)$$

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

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

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

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

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

四、評估結果

本系統固定基點長期架設衛星定位儀標準件，作為超短基線固定參考點，本研究分析以參考標準件內部石英鐘及外部原子鐘作為時頻參考之超短基線量測不確定度，進而評估將原子鐘納入本系統並取代衛星定位儀標準件辦理量測追溯的可行性，分析方法依據 ISO-GUM 指引進行。

(一) 建立量測系統模式

本系統以靜態相對定位方法辦理校正，係由已知坐標之參考點推求出未知點的坐標。假設在某一坐標系中已知參考點 A 的位置向量為 R_A ，未知點 B 的位置向量為 R_B ，AB 間的向量為 ΔR_{AB} ，則可求得在相同坐標系中未知點 B 的位置向量，就超短基線而言，固定基點為已知參考點，校正基點為未知點，因此本系統的量測模式可以 $R_B = R_A + \Delta R_{AB}$ 表示。

(二) 確認不確定度來源

本系統的不確定度來源主要來源有：量測定位重複性、整置定平及定心、相位中心偏移量、IGS 衛星軌道、氣象修正模式及改正、來自一級追溯值及衛星定位儀頻率等，皆為彼此獨立不相關，其中來自衛星定位儀頻率僅於以原子鐘作為時頻參考源時有影響，若以石英鐘作為時間及頻率參考來源則無。依據 ISO-GUM 指引，前述誤差來源僅量測定位重複性之標準不確定度值屬 A 類；其餘之標準不確定度值皆屬 B 類。為便於分析與探討，分別定義以接收儀內部石英鐘 (Quartz Clock) 為時間參考頻率來源的參數及以外掛原子鐘 (Atomic Clock) 為時間及頻率參考來源的參數，不確定度來源分別以 x_{Q_i} 及 x_{A_i} 表示，標準不確定度分別以 $u(x_{Q_i})$ 及 $u(x_{A_i})$ 表示，其中下標 Q 代表石英鐘、A 代表原子鐘，如表 1 所示。

表 1 各項不確定度來源參數定義表

項目	超短基線			
	石英鐘		原子鐘	
	不確定度來源	標準不確定度	不確定度來源	標準不確定度
量測定位重複性	x_{Q1}	$u(x_{Q1})$	x_{A1}	$u(x_{A1})$
整置定平及定心	x_{Q2}	$u(x_{Q2})$	x_{A2}	$u(x_{A2})$
相位中心偏移量	x_{Q3}	$u(x_{Q3})$	x_{A3}	$u(x_{A3})$
IGS 衛星軌道	x_{Q4}	$u(x_{Q4})$	x_{A4}	$u(x_{A4})$
氣象修正模式及改正	x_{Q5}	$u(x_{Q5})$	x_{A5}	$u(x_{A5})$
來自一級追溯值	x_{Q6}	$u(x_{Q6})$	x_{A6}	$u(x_{A6})$
衛星定位儀頻率	-	-	x_{A7}	$u(x_{A7})$

(三) 計算各項不確定度來源之標準不確定度、自由度

1. 量測定位重複性

於各校正基點架設衛星定位儀標準件，分別取 14 天觀測資料，計算相對於固定基點間的距離，獲得校正基點之 14 組坐標，並分析三軸向標準差及單向度標準差，定出校正基點量測定位重複性之標準不確定度。表 2 及表 3 分別為固定基點以石英鐘及原子鐘作為時頻參考的分析結果，分別取單向度標準差之最大值作為校正基點量測定位重複性標準不確定度 $u(x_{Q1})=1.12mm$ ， $u(x_{A1})=0.93mm$ ，自由度為 $\nu_{Q1} = \nu_{A1} = 3 \times (14 - 1) = 39$ 。

表 2 各校正基點相對於固定基點之三軸向標準差（時間及頻率源：石英鐘）

點位	X軸向標準差 $\sigma_x(mm)$	Y軸向標準差 $\sigma_y(mm)$	Z軸向標準差 $\sigma_z(mm)$	單向度標準差(mm) $\sigma_{Q1} = [(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2) / 3]^{1/2}$
LS01	1.02	1.06	0.73	0.95
LS02	0.80	0.47	0.33	0.57
LS03	1.05	1.48	0.69	1.12
LS04	0.46	0.55	0.60	0.54
LS05	0.77	0.72	0.46	0.67
LS06	0.76	1.10	0.68	0.87
LS07	0.26	0.58	0.41	0.43

表 3 各校正基點相對於固定基點之三軸向標準差（時間及頻率源：原子鐘）

點位	X軸向標準差 $\sigma_x(\text{mm})$	Y軸向標準差 $\sigma_y(\text{mm})$	Z軸向標準差 $\sigma_z(\text{mm})$	單向度標準差(mm) $\sigma_{Q1} = [(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2) / 3]^{1/2}$
LS01	0.37	0.53	0.39	0.44
LS02	0.46	0.95	0.42	0.66
LS03	0.77	0.67	0.52	0.66
LS04	0.59	0.95	0.41	0.69
LS05	0.43	1.09	0.90	0.85
LS06	0.53	0.85	0.69	0.70
LS07	0.61	1.29	0.75	0.93

2. 量測定平及定心

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

3. 相位中心偏移量

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

4. IGS 衛星軌道

GPS 衛星星曆由 IGS 網站取得，估計其軌道準確度在 5cm 內，對單向度基線所造成的影響量為 5cm 除以衛星高度約 20000km，估計其變異為 $\pm 0.003 \times 10^{-6} \times D$ ，誤差屬矩形分布，且此項不確定度來源與接收儀時間及頻率參考來源無關，就超短基線而言，平均距離約 18m，將距離 D 以 18m 代入，其影響量為 $\pm 0.003 \times 10^{-6} \times 18 \times 10^3 = \pm 0.000054 \text{ mm}$ ，標準不確定度 $u(x_{Q4}) = u(x_{A4}) = 0.000054 / 3^{1/2} = 0.000032\text{mm}$ ，估算其相對不確定性皆為 20%，則自由度 $\nu_{Q4} = \nu_{A4} = (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

5. 氣象修正模式及改正

與訊號傳播有關的誤差中，電離層延遲誤差與對流層延遲誤差，分別是由訊號傳播路徑上自由電子與空氣折射所致，此誤差可用氣象模式加以修正且在相對定位計算過程中大部分已被消除，僅留下殘差對單向度基線所造成的影響量，估計其變異在 $\pm 0.002 \times 10^{-6} \times D$ ，此誤差屬矩形分布，且此項不確定度來源與接收儀時間及頻率參考來源無關，就超短基線而言，各基樁與 LS08 平均距離約 18m，將距離 D 以 18m 代入，其影響量為 $\pm 0.002 \times 10^{-6} \times 18 \times 10^3 = \pm 0.000036 \text{ mm}$ ，標準不確定度 $u(x_{Q5}) = u(x_{A5}) = 0.000036 / 3^{1/2} = 0.000021 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定性皆為 20%，則自由度 $\nu_{Q5} = \nu_{A5} (1/2) \times (20/100)^{-2} = 12.5$ 。

6. 來自一級追溯值

本系統標準件係追溯至國家度量衡標準實驗室之校正系統，因此該系統之量測不確定度會傳播至本系統，依據本系統標準件之校正報告及該實驗室靜態定位校正系統評估報告，本系統超短基線在 95% 信賴水準下之擴充不確定度分別為 2.0mm，涵蓋因子皆為 2.79，有效自由度 $\nu_{Q6} = \nu_{A6} = 48$ ，標準不確定度值 $u(x_{Q6}) = u(x_{A6}) = 0.72 \text{ mm}$ 。

7. 衛星定位儀頻率

本項不確定度來源僅以外掛原子鐘作為衛星定位儀時間及頻率參考時才會影響校正與量測能力，本系統衛星定位儀標準件外接原子鐘，經追溯至國家時間與頻率標準實驗室，其頻率穩定性約達 10^{-12} ，符合高精度儀器規格(小於 1×10^{-12})，估計其變異在 $2 \text{ mm} + 0.002 \times 10^{-6} \times D$ ，此誤差屬矩形分布，且此項不確定度來源與接收儀時間及頻率參考來源無關；就超短基線而言，平均距離約 18m，將距離 D 以 18m 代入，其影響量為 $2 \text{ mm} + 0.002 \times 10^{-6} \times 18 \times 10^3 = 2.000036 \text{ mm} \approx 2.00 \text{ mm}$ ，標準不確定度 $u(x_{A7}) = 2.00 / 3^{1/2} = 1.16 \text{ mm}$ ，估算其相對不確定性皆為 10%，則自由度 $\nu_{A7} = (1/2) \times (10/100)^{-2} = 50$

綜整上述各項不確定度來源之標準不確定度及自由度分析結果，本系統之超短基線與中基線之不確定度分析表，包含使用衛星接收儀內部石英鐘及外掛原子鐘之參考頻率來源結果，其中僅量測定位重複性及衛星定位儀頻率等 2 項不確定

度來源受不同時頻參考源影響，前述各項標準不確定度及自由度彙整如表 4。

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

不確定度來源	類別	時頻參考：石英鐘		時頻參考：原子鐘	
		標準不確定度	自由度	標準不確定度	自由度
1.量測定位重複性	A	1.12mm	39	0.93 mm	39
2.整置定平及定心	B	0.29 mm	12.5	0.29 mm	12.5
3.相位中心偏移量	B	0.06 mm	8	0.06 mm	8
4.IGS 衛星軌道	B	0.000032 mm	12.5	0.000032 mm	12.5
5.氣象修正模式及改正	B	0.000021 mm	12.5	0.000021 mm	12.5
6.來自一級追溯值	B	0.72 mm	48	0.72 mm	48
7.衛星定位儀頻率	B	-	-	1.16 mm	50

（四）計算組合標準不確定度

將表 3 內之各項標準不確定度及自由度值，分別代入公式 1 及 2，可分別求出以石英鐘及原子鐘為時頻參考的組合標準不確定度 u_{CQ} 及 u_{CA} ：

$$u_{CQ} = \sqrt{(u(x_{Q1})^2 + u(x_{Q2})^2 + u(x_{Q3})^2 + u(x_{Q4})^2 + u(x_{Q5})^2 + u(x_{Q6})^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$u_{CQ} = \sqrt{[(1.12)^2 + (0.29)^2 + (0.06)^2 + (0.000032)^2 + (0.000021)^2 + (0.83)^2]^{\frac{1}{2}}} = 1.36mm$$

$$u_{CA} = \sqrt{(u(x_{A1})^2 + u(x_{A2})^2 + u(x_{A3})^2 + u(x_{A4})^2 + u(x_{A5})^2 + u(x_{A6})^2 + u(x_{A7})^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$u_{CA} = \sqrt{[(0.93)^2 + (0.29)^2 + (0.06)^2 + (0.000032)^2 + (0.000021)^2 + (0.83)^2 + (1.16)^2]^{\frac{1}{2}}} = 1.68mm$$

（五）計算有效自由度

將表 3 內之各項標準不確定度及自由度值，分別代入式 1 及式 2，可分別求出以石英鐘及原子鐘為時頻參考的組合標準不確定度 v_{effQ} 及 v_{effA} ：

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

$$v_{effQ} = (1.36)^4 / \left(\frac{1.12^4}{39} + \frac{0.29^4}{12.5} + \frac{0.06^4}{8} + \frac{0.000032^4}{12.5} + \frac{0.000021^4}{12.5} + \frac{0.83^4}{48} \right) = 74$$

$$v_{effA} = (u_{CA})^4 / \left(\frac{u(x_{A1})^4}{v_{A1}} + \frac{u(x_{A2})^4}{v_{A2}} + \frac{u(x_{A3})^4}{v_{A3}} + \frac{u(x_{A4})^4}{v_{A4}} + \frac{u(x_{A5})^4}{v_{A5}} + \frac{u(x_{A6})^4}{v_{A6}} + \frac{u(x_{A7})^4}{v_{A7}} \right)$$

$$v_{effQA} = (1.68)^4 / \left(\frac{0.93^4}{39} + \frac{0.29^4}{12.5} + \frac{0.06^4}{8} + \frac{0.000032^4}{12.5} + \frac{0.000021^4}{12.5} + \frac{0.83^4}{48} + \frac{1.16^4}{50} \right) = 128$$

(六) 決定涵蓋因子

涵蓋因子是將標準不確定度轉換為擴充不確定度的媒介，可由學生 t 分配表查表而得，由前述有效自由度計算結果表配合 95%信賴水準，可查表得以石英鐘及原子鐘為時頻參考的涵蓋因子皆約為 1.98。

(七) 計算擴充不確定度

擴充不確定度為組合標準不確定度與涵蓋因子的乘積，由前述結果可求出以石英鐘及原子鐘為時頻參考的擴充不確定度分別為 2.83mm 及 3.43mm。

(八) 評估校正與量測能力。

至此吾人已經完成了本系統超短基線的量測不確定度評估，分別獲的以石英鐘及原子鐘作為時頻參考源的擴充不確定度，並以擴充不確定度作為本系統超短基線的 CMC，相關分析數據彙整如表 5。

表 5 校正與量測能力分析表

時間及頻率 參考來源	組合標準 不確定度	有效 自由度	涵蓋因子	擴充不確 定度	校正與量 測能力
石英鐘	1.36mm	74	1.98	2.8mm	2.8mm
原子鐘	1.68mm	128		3.4mm	3.4mm

五、結論

依國際標準組織(ISO)所出版之「量測不確定度指引」(ISO-GUM)方法，確認本系統各項不確定度來源，計算其擴充不確定度，經評估分析獲得本系統之 CMC，研究結果顯示，以外掛原子鐘取代衛星定位儀內部石英鐘作為時間及頻率參考來源後，超短基線校正項目之 CMC 由原本的 2.8mm 擴大到 3.4mm，增量小於 1mm，對於一般測量作業並無影響，因此將原子鐘納入衛星定位儀校正系統，以原子鐘取代衛星定位儀標準件辦理量測追溯的方式可行。

校正實驗室衛星定位儀校正作業系統之超短基線校正項目需使用固定基點的觀測資料，此觀測資料由衛星定位儀標準件提供，若將標

準件卸下辦理追溯，除了送國家標準實驗室辦理追溯之作業時間約 1 個月外，尚須重新辦理系統評估，約需 3 個月，因此將標準件卸下辦理追溯的影響時間約長達 4 個月，這段時間將無法提供校正服務，以 100 年度本實驗室辦理 90 部衛星定位儀校正估算，若因標準件送追溯停止辦理校正約減少辦理 30 部衛星定位儀校正，因此以原子鐘取代衛星定位儀標準件辦理追溯，不僅可使實驗室服務不中斷，也可增加校正作業能量。

本系統納入原子鐘作為衛星定位儀標準件時頻參考源後，因可提供全年不間斷的服務，校正數量有顯著的提升，101 年度共計辦理 134 部衛星定位儀校正工作，且校正實驗室於 101 年 11 月通過 TAF 延展認證，其中包含以原子鐘取代衛星定位儀標準件辦理量測追溯的方式及其相關作業程序，表示本方法亦獲得 TAF 的認可。

六、參考文獻

- (一) 內政部國土測繪中心(2012)衛星定位儀校正作業程序，SICL-3-03-0。
- (二) 內政部國土測繪中心(2012)，衛星定位儀校正系統評估，SICL-3-03-1。
- (三) 財團法人工業技術研究院(2009)，GPS 靜態及動態定位校正系統評估報告，07-3-91-0043。
- (四) 財團法人全國認證基金會(2013)，量測不確定度研討會訓練教材，8.2 版。
- (五) 國家度量衡標準實驗室(2010)，衛星定位儀校正報告，B991059。
- (六) ISO(1995)，Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 2nd Edition.