

# PPP-RTK 應用現況及未來發展探討

蕭世民<sup>1</sup> 楊名<sup>2</sup> 儲豐宥<sup>3</sup> 陳鶴欽<sup>4</sup>

## 摘要

內政部國土測繪中心為提供國內穩定的公分級即時定位服務，自 93 年起以網路即時動態定位(Network RTK, NRTK)技術為核心，建置 e-GPS 即時動態定位系統(e-GNSS 系統前身)，並提供服務迄今。NRTK 採用了觀測空間表示(Observation Space Representation, OSR)方法，此方法需要有較高頻寬的流量，因此當許多用戶同時在使用時，將有可能會影響到解算的效能。

精密單點定位(Precise Point Positioning, PPP)是一種可以提供高精度成果的定位技術，這種技術不須依賴參考站，只需要單台接收儀，便可以獲得精確的定位成果。PPP 的定位成果必須依賴高準確度的 GNSS 衛星軌道以及衛星時鐘誤差改正訊息，而這些改正訊息可以依據狀態空間表示(State Space Representation, SSR)方法傳送給使用者，傳輸的媒介則是可透過網際網路或通訊衛星。PPP-RTK 在原理上與 PPP 相似，但是額外地使用由區域參考站網產生的改正訊息，包含了衛星軌道改正、衛星時鐘誤差改正、相位及電碼(虛擬距離)觀測量的延遲偏差、電離層延遲改正及對流層延遲改正，這使得 PPP-RTK 可以有效縮短收斂時間。

與 NRTK 所採用的 OSR 技術相比，PPP-RTK 採用了 SSR 技術。相較於 OSR，SSR 在通訊傳輸上具有下列優勢：1. SSR 為單向傳輸，OSR 則為雙向傳輸；2. SSR 只需較小頻寬，OSR 所需頻寬較大；3. SSR 將每一項誤差誤差獨立表示，而 OSR 則是所有誤差項總和成一項。PPP-RTK 目前仍處於發展階段，國際標準的 SSR 訊息格式僅能支援 PPP (RTCM SSR 與 IGS SSR)，尚無法完全支援 PPP-RTK，因此不同 PPP-RTK 服務所使用的 SSR 格式及所支援的使用者端設備都不盡相同，對全面推廣 PPP-RTK 服務造成了障礙。

以 NRTK 為核心的 e-GNSS 即時動態定位系統在國內已獲得廣泛應用，但在行動通訊不良地區仍難以穩定提供服務，針對車輛或無人載具等大量使用者，若同時連線數超過千人，亦須考量伺服器端的軟硬體與頻寬限制。本中心經蒐集相關資料分析結果，採用 SSR 技術之 PPP-RTK 具備單向傳輸改正訊號特性，可望適時彌補前述網路 RTK 的不足之處，建置 PPP-RTK 服務為發展行動智慧城市的重要基礎設施。

**關鍵字：**Network RTK、PPP、PPP-RTK、SSR。

---

1內政部國土測繪中心 科員 Email：23051@mail.nlsc.gov.tw

2國立成功大學 教授

3國立政治大學 助理教授

4內政部國土測繪中心 科長

## 一、衛星定位技術演進

全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite Systems, GNSS)是各國導航衛星系統的總稱,包含了美國的全球定位系統 GPS, 歐盟的 Galileo, 俄羅斯的 GLONASS, 以及中國的北斗 (BDS) 等衛星系統, 除了基礎測量、工程測量、大地測量等具有高精度 GNSS 定位需求之應用外, 目前許多新興產業的出現, 例如無人機、自駕車、擴增實境(augmented reality)等, 促使了市場中對於 GNSS 的高精度的定位需求以及即時性的定位需求。然而由於 GNSS 觀測量容易受到觀測環境的影響, 因此造成了許多誤差存在於觀測量上, 例如軌道誤差、時鐘誤差、電離層延遲、對流層延遲等, 這些誤差使得獲得 GNSS 即時且高精度的定位成果成為一個困難的挑戰。為了滿足高精度即時動態的定位需求, 即時動態(Real-Time Kinematic, RTK)定位、網路即時動態(Network RTK, NRTK)定位、以及即時動態精密單點定位(PPP-RTK)技術相繼被提出。

### (一)RTK 及 NRTK

RTK 技術需要一個設立具有已知坐標的參考站(又稱基站或主站), 並利用無線電或網路傳播參考站的精密資訊給移動站, 藉此來解算其即時動態定位解。然而 RTK 技術會受限於參考站以及移動站之間的基線距離, 當此距離越長, 其定位成果精度會隨之下降, 這是由於受到與基線距離有關的誤差所導致, 例如軌道誤差、電離層及對流層延遲量等。為了克服 RTK 技術在距離上的限制, 網路即時動態定位(Network RTK, NRTK)技術首先被提出。不同於 RTK 只使用單一參考站, NRTK 技術採用了多個參考站組成的網型, 當使用者位在參考站觀測網中, NRTK 技術會根據使用者位置及附近之參考站位置來內插出與距離相關的系統誤差(包含了軌道誤差、電離層延遲、對流層延遲等), 如此一來便可以克服傳統 RTK 的距離限制。RTK 及 NRTK 採用了觀測空間表示(Observation Space Representation, OSR)方法, 此方法需要有較高頻寬的流量, 因此當許多用戶同時在使用時, 將有可能會影響到解算的效能。

內政部國土測繪中心(以下簡稱本中心)為提供國內穩定的公分級即時定位服務, 自 93 年起以 NRTK 技術為核心, 建置 e-GPS 即時動態定位系統(e-GNSS 系統前身), 並提供服務迄今, 目前於臺澎金馬地區穩定提供服務, 已成為國內空間資訊蒐集的主要工具之一。

### (二)PPP

精密單點定位(Precise Point Positioning, PPP)是一種可以提供高精度成果的定位技術, 這種技術不須依賴參考站, 只需要單台接收儀, 便可以獲得精確的定位成果。PPP 的定位成果必須依賴高準確度的 GNSS 衛星軌道以及衛星時鐘誤差改正訊息, 而這些改正訊息可以經由全球分布的參考站(例如全球 IGS 站)網型計算後獲得後, 再依據狀態空間表示(State Space Representation, SSR)方法傳送給使用者, 傳輸的媒介則是可透過網際網路或通訊衛星, PPP 構成架構如圖 1 所示, 缺點是

由於參考站網分布為全球性，導致收斂時間較長，一般需要 15~20 分鐘以上才能獲得 10 公分以下定位精度成果，也因此目前國內大多應用於後處理 (Post Processing)，或是 NRTK 無法提供服務之地區 (如海洋定位)。

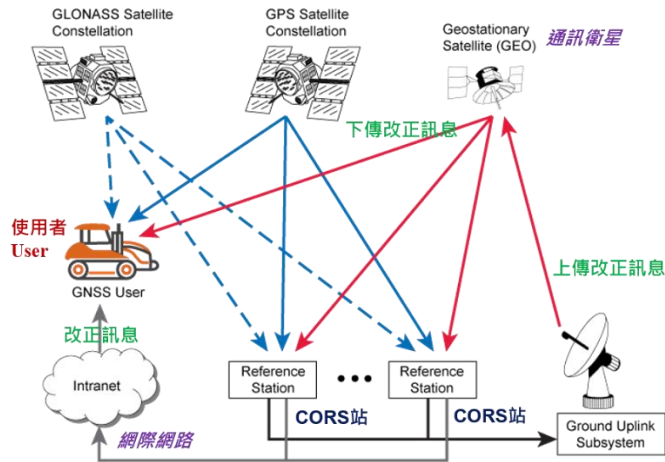


圖 1 PPP 架構圖 (<https://igs.org/wg/ppp-ar/#members>)

### (三) PPP-RTK

PPP-RTK 技術的出現即是為了有效縮短 PPP 的收斂時間以滿足即時定位的需求。PPP-RTK 在原理上與 PPP 相似，但是額外地使用由區域參考站網產生的改正訊息，包含了衛星軌道改正、衛星時鐘誤差改正、相位及電碼(虛擬距離)觀測量的延遲偏差、電離層延遲改正及對流層延遲改正，這使得 PPP-RTK 可以有效縮短收斂時間。雖然 PPP-RTK 是在 PPP 的基礎上加快收斂速度，但是 PPP-RTK 必須額外使用到區域參考站網資料，因此並不跟 PPP 一樣歸屬於全球性服務，而是歸屬於區域性服務。

與 NRTK 所採用的 OSR 技術相比，PPP 及 PPP-RTK 採用了 SSR 技術。相較於 OSR，SSR 在通訊傳輸上具有下列優勢：1. SSR 為單向傳輸，OSR 則為雙向傳輸；2. SSR 只需較小頻寬，OSR 所需頻寬較大；3. SSR 將每一項誤差誤差獨立表示，而 OSR 則是所有誤差項總和成一項。

由於其單向傳輸的特性，SSR 改正訊息除了可以透過網路傳輸之外，也可透過衛星訊號傳輸，例如 QZSS 的 L6 訊號及 Galileo 的 E6 訊號，因此在沒有網路通訊的地方，例如山區、遠洋等地點，也可以獲得 SSR 改正訊息。

## 二、國際間 PPP-RTK 應用現況

### (一) 日本 CLAS 服務

日本政府自 107 年起提供了一種可以達到公分級定位精度的 SSR 服務，稱作 CLAS (Centimeter Level Accuracy Service)，它提供了日本

本土區域的 PPP-RTK 定位服務。CLAS 利用全球網以及日本國內的參考站網計算出誤差之狀態參數。包含狀態參數的即時改正訊息會以 Compact SSR 格式來傳輸，傳輸方式可以透過網際網路或者 QZSS 衛星的 L6D 波段傳送至使用者，目前可支援 GPS、Galileo 以及 QZSS 三個星系。CLAS 服務目前使用於日本的農業、測繪等項目，也使用於無人載具的應用。

## (二)澳洲 Position Australia 服務

澳洲政府從 107 年起投資 2.249 億澳元發展 Positioning Australia 精密定位服務，該服務涵蓋範圍包含澳洲及紐西蘭，目前仍在先期測試中，規劃在有手機訊號的區域將經由網路提供使用者 SSR 改正訊息，預期可以達到 3-5 公分的定位精度；而在無手機訊號的區域則是經由通訊衛星提供改正訊息，預期定位精度在 10 公分左右。Positioning Australia 的服務目標包含提升農業、航空、海事、運輸、礦業等行業之效能，預期在未來 30 年內為澳洲及紐西蘭帶來 76 億美元的價值。

## (三)Trimble RTX-FAST 服務

Trimble 提供了兩種可以達到公分級的 SSR 服務，一種是 Trimble RTX，另一種則是 Trimble RTX Fast。RTX 提供了全球性的 PPP 定位服務，而 RTX Fast 則是僅提供區域性的 PPP-RTK 定位服務，其服務範圍目前涵蓋部分為美國以及部分歐洲區域。圖 2 中有標示”FAST”的範圍是目前提供 PPP-RTK 定位服務的區域，其餘區域則僅提供 PPP 服務。

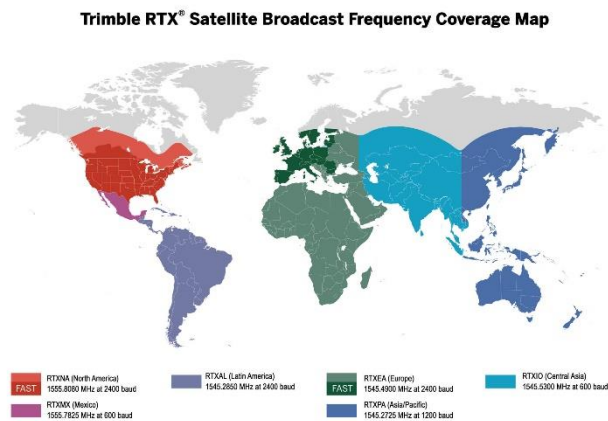


圖 2 Trimble RTX 服務涵蓋圖

(<https://positioningservices.trimble.com/resources/coverage-maps/>)

根據 Trimble 官方資訊指出，Trimble RTX Fast 服務所需收斂時間相較於 Trimble RTX 服務可大幅減少，針對達到 95%水平精度 2 公分的情況，收斂時間可以降低到 1 分鐘以內。Trimble 官方於 109 年 5 月發表，Trimble RTX Fast 已覆蓋北美和歐洲超過 500 萬平方英里的區域，其用戶包括了農業從事人員、測量師、GIS 專業人士，以及汽車業、建

築業等市場。

#### (四)Hexagon RTK from the sky 服務

Hexagon 公司推出的全球 PPP 服務為 RTK From the Sky，目標是在只使用全球參考站網的情況下，可以在約 1 分鐘內獲得公分級的定位精度，適用於自動化農業、礦業等應用。由於 RTK From the Sky 沒有利用區域參考站網來計算精密的電離層及對流層改正訊息，因此本質上屬於 PPP 之服務，且需要使用至少 GPS、Galileo、BDS 三星系的三頻觀測量 (L1/L2/L5, E1/E5/E6, B1/B2/B3)，並且在計算上配合其專屬之最佳化演算法，根據 Hexagon 公司在加拿大卡加利(Calgary)的測試成果，RTK From the Sky 可以在 1 分鐘內達到公分等級的 95%水平定位誤差水準。

### 三、PPP-RTK 資料格式

目前國際上並無統一的 SSR 資料格式可供不同 PPP 及 PPP-RTK 服務同時使用，各機構提供之 PPP 與 PPP-RTK 服務有其各自的 SSR 格式，以下介紹目前國際上使用的幾種公開格式，不包含儀器廠商所支援的自有資料格式（如 Trimble 與 Hexagon）。

#### (一)RTCM-SSR

RTCM SSR 是國際海運系統無線電技術委員會第 104 特別委員會 (RTCM SC104) 於 2007 年所制定的標準資料格式，其目標為制定一個標準化的 SSR 資料格式，此計畫總共分為四個階段:1. 提供衛星軌道誤差、時鐘誤差以及電碼衛星硬體延遲量偏差；2. 提供相位衛星硬體延遲量偏差以及垂直總電離層含量 (Vertical Total Electron Content, VTEC)；3. 提供更多大氣相關的改正資料；4. 壓縮資料容量。目前 RTCM SSR 只完成到第 1 階段，僅完成制定 GPS 以及 GLONASS 的衛星軌道誤差、時鐘誤差以及電碼衛星硬體延遲量偏差資料，僅支援 PPP 服務，不支援 PPP-RTK 服務。

#### (二)IGS-SSR

2020 年 IGS 組織制定與發佈 IGS SSR，是一個非國際標準且開放的 SSR 資料格式，可供給全球使用者研究與應用。IGS SSR 的設計是為了改善 RTCM SSR 只能提供 GPS 以及 GLONASS 的誤差改正訊息的問題，因此 IGS SSR 能夠包含多星系 GNSS 的誤差改正訊息，但其並不包含對流層改正訊息，僅支援 PPP 服務，不支援 PPP-RTK 服務。

#### (三)Compact SSR

Compact SSR 是日本三菱電機發展的 SSR 格式，為日本的 CLAS 服務所採用，可支援 PPP-RTK 服務，目前可被日本主流品牌的 GNSS 接收儀所支援。

#### (四)SPARTN

SPARTN 是第一個具備低頻寬，並且是業界認可的公開 SSR 格式，此格式主要鎖定在大眾應用市場，因此被部分接收模組廠商所採用。SPARTN 格式內容包含多星系(GPS、GLONASS、BDS、Galileo、QZSS)的改正訊息，目前已公開了 GPS 及 GLONASS 格式。由於改正訊息包括衛星相關誤差以及電離層和對流層延遲誤差，因此 SPARTN 能夠支援 PPP-RTK 服務。

#### 四、結論

近幾十年來，衛星定位技術由早期的單點定位，逐步演進到 RTK、NRTK、PPP 以及 PPP-RTK。RTK 提高了定位成果精度，但參考站與移動站的距離受到了限制；NRTK 解決了距離限制的問題，但仍有需雙向資料傳輸與資料傳輸量大等先天缺陷。採用 SSR 技術的 PPP 解決了 NRTK 需雙向資料傳輸的問題，結合區域參考站網的 PPP-RTK 更進一步改善收斂時間過長的缺點。

顯然，SSR 技術相較於 NRTK 使用的 OSR 技術有幾項優點，分別是 SSR 僅須單向傳輸、所需頻寬較小、以及傳輸方式具多樣性(網路、衛星)。這些 SSR 技術的優點讓 PPP-RTK 更適合應用於同一時間用戶數量眾多的大眾市場，如車輛與無人機載具等，以及可使用於遠洋、山區等無法收到網路訊號的地方。另一方面，相較於仍處於發展階段的 PPP-RTK，NRTK 在軟硬體發展皆已達成熟期，具備收斂時間較快、定位精度較佳且服務穩定性更好等優勢。另外 NRTK 採用的 OSR 訊息格式已是國際標準的 RTCM 格式，但目前國際標準的 SSR 訊息格式僅能支援 PPP (RTCM SSR 與 IGS SSR)，尚無法完全支援 PPP-RTK，因此目前不同 PPP-RTK 服務所使用的 SSR 格式及所支援的使用者端設備都不盡相同，無形中對全面推廣 PPP-RTK 服務造成了障礙。

以 NRTK 為核心的 e-GNSS 即時動態定位系統在國內已獲得廣泛應用，但在行動通訊不良地區仍難以穩定提供服務，針對車輛或無人載具等大量使用者，若同時連線數超過千人，亦須考量伺服器端的軟硬體與頻寬限制。本中心經蒐集相關資料分析結果，採用 SSR 技術之 PPP-RTK 具備單向傳輸改正訊號特性，可望適時彌補前述網路 RTK 的不足之處。展望未來，本中心期望能持續精益求精，規劃以國內現有的參考站網為基礎，逐步建置並提供臺灣地區 PPP-RTK 服務，以滿足跨領域的大眾市場應用需求。

#### 五、參考文獻

內政部國土測繪中心 (2021) 新世代 GNSS 定位技術研究報告，臺中。