

110 年度新世代 GNSS 定位技術應用 委託研究採購案研究報告

Application of New Generation GNSS Positioning Technique in Year 2021

受委託單位：國立成功大學

研究主持人：國立成功大學測量及空間資訊學系 楊名教授

協同主持人：國立政治大學地政學系 儲豐宥助理教授

研究期程：中華民國 110 年 3 月至 110 年 11 月

研究經費：新臺幣玖拾伍萬元

內政部國土測繪中心 委託研究

中華民國 110 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表機關意見)

摘要

全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite Systems, GNSS)包含多個國家與地區的衛星定位系統，主要任務為提供定位及授時服務，並已經成為國家重要建設基礎工具。GNSS 的定位技術與時俱進，其中精密單點定位(Precise Point Positioning, PPP)只需要單台接收儀就可以獲得國際大地參考框架(International Terrestrial Reference Frame, ITRF)下之公分級定位成果。然而，PPP 通常需要一段長時間的收斂時間。因此，近年來國際上多個政府部門與廠商企業正在發展精密單點定位即時動態定位 (PPP Real-Time Kinematic, PPP-RTK)技術來有效縮短 PPP 之收斂時間。為了使臺灣在新世代 GNSS 定位技術應用上與國際發展現況接軌，本研究分析與探討了 PPP-RTK 技術應用於臺灣地區之相關議題。本研究報告之內容包含了 PPP 及 PPP-RTK 之技術背景和原理介紹、國際間 PPP-RTK 服務現況的資料收集、以及臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性評估。

關鍵字：全球導航衛星系統、精密單點定位、即時動態、可行性評估

Abstract

The Global Navigation Satellite Systems (GNSS) comprise the satellite positioning systems developed by several countries and regions to provide positioning and timing services, and therefore have become an important means for national infrastructure. One of the recent progresses of GNSS positioning techniques is Precise Point Positioning (PPP), which is able to provide centimeter-level positioning results in the International Terrestrial Reference Frame (ITRF). However, PPP generally requires a long observation time, the so-called convergence time, to produce centimeter-level positioning results. As a result, in recent years multiple international governments and private companies have proposed a new GNSS technique called PPP real-time kinematic (PPP-RTK) that can effectively shorten the convergence time. In order to implement the new GNSS technique in Taiwan, this research analyzes and investigates key issues related to potential PPP-RTK's development in Taiwan. The content of this research report includes introduction of PPP and PPP-RTK techniques, information collection regarding international PPP-RTK services, and feasibility assessment of PPP-RTK's development and application in Taiwan.

Keywords: global navigation satellite systems, precise point positioning, real-time kinematic, feasibility assessment

目 錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
第一章 研究主旨	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 委託工作項目及內容	2
1.3 工作期程及交付成果	3
第二章 研究背景與文獻回顧	5
2.1 GNSS 發展現況.....	5
2.2 RTK 與 Network RTK 發展現況.....	9
2.3 PPP 發展現況	10
2.4 Network RTK 結合 PPP 之發展現況.....	16
2.5 PPP-RTK 發展現況	18
第三章 PPP 定位原理與研究說明.....	21
3.1 GNSS 觀測量	21
3.2 OSR 以及 SSR 技術介紹	23
3.3 PPP 定位原理	29
3.3.1 空中一次差分技術	30
3.3.2 PPP 數學模型	31
3.4 RTK、Network-RTK 及 PPP-RTK 定位之演進.....	32
3.5 PPP、PPP-RTK 原理介紹及比較.....	35
第四章 臺灣地區建置 PPP-RTK 服務可行性研究成果.....	41
4.1 國際間 PPP-RTK 服務資訊	41
4.1.1 Trimble RTX Fast	41
4.1.2 CLAS.....	45
4.1.3 Positioning Australia.....	49
4.1.4 Hexagon RTK From the Sky.....	50
4.1.5 Geo++ GNSMART2.....	54
4.1.6 國際間 PPP-RTK 應用現況	59
4.2 國際間 PPP、PPP-RTK 使用之公開資料格式	62
4.2.1 RTCM SSR.....	62
4.2.2 IGS SSR	64

4.2.3 Compact SSR.....	65
4.2.4 SPARTN.....	65
4.2.5 BDS PPP SSR.....	66
4.3 臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性研究.....	67
4.3.1 國際間 PPP-RTK 服務之資料蒐集.....	67
4.3.2 臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性分析.....	71
第五章 結論與建議.....	81
第六章 參考文獻.....	84
附錄 A 工作進度報告.....	89
附錄 B 原廠回覆電郵.....	106
附錄 C 期中報告審查意見處理情況.....	119
附錄 D 期末報告審查意見處理情況.....	126

圖目錄

圖 2.1 PPP 構成架構。	11
圖 2.2 John Deere StarFire™ 6000 SF1、SF3 服務所使用之接收儀 (左圖)，與 RTK 服務之基站(右圖)	13
圖 2.3 John Deere StarFire™ 所支援之服務區域	13
圖 2.4 StarFire™ 6000 SF1 以及 SF3 服務之比較	14
圖 2.5 臺灣線上精密單點定位服務(TOPS)	15
圖 2.6 PPP 定位誤差、收斂門檻與收斂時間之關聯	16
圖 2.7 NovAtel RTK assist 服務所支援之服務區域，圖中綠色範圍	17
圖 3.1 內政部國土測繪中心 e-GNSS 基本定位原理示意圖	25
圖 3.2 SSM 概念示意圖	27
圖 3.3 在 SSR 傳輸訊息中，每個參數傳輸的時間間隔示意圖	28
圖 3.4 PPP 示意圖	29
圖 3.5 空中一次差	30
圖 3.6 PPP-RTK 是 PPP 以及 Network RTK 的融合	34
圖 3.7 RTK 定位至 PPP-RTK 定位之演進	35
圖 3.8 徑向(radial)、沿軌道方向(along-track)、垂直軌道面(cross-track)軌道向量組成	36
圖 3.9 Network RTK、PPP 以及 PPP-RTK 之比較	40

圖 4.1 Trimble RTX 以及 Trimble RTX Fast 所支援之服務區域	42
圖 4.2 Trimble RTX 服務架構.....	43
圖 4.3 Trimble RTX Fast 服務架構.....	43
圖 4.4 Trimble RTX 與 Trimble RTX Fast 服務的收斂時間成果	44
圖 4.5 CLAS 架構	46
圖 4.6 MADOCA 與 CLAS 之比較	47
圖 4.7 Magellan Systems Japan 接收儀之主機板.....	48
圖 4.8 Magellan Systems Japan 接收儀	48
圖 4.9 Positioning Australia 服務支援的服務區域 (澳洲部分).....	50
圖 4.10 兩種服務的 95%水平定位誤差收斂時間圖	52
圖 4.11 RTK From the Sky 全球測試成果.....	53
圖 4.12 NovAtel OEM719 主機板.....	53
圖 4.13 GNSMART2 資料傳播架構.....	54
圖 4.14 Network RTK 服務方式.....	55
圖 4.15 GNSMART2 可擴展服務的對象.....	55
圖 4.16 GNSMART 2 定位性能	56
圖 4.17 SPARTN PPP-RTK 所支援的服務地區	57
圖 4.18 ZED-F9P 以及 ZED-F9R 的晶片	58
圖 4.19 ZED-F9P 之接收模組，代號 C099-F9P	58

圖 4.20 美國與加拿大地區可支援 Super Cruise 的道路	60
圖 4.21 準天頂衛星兼容高精度定位使用端(AQLOC-VCX).....	61
圖 4.22 PPP-RTK 服務 Roadmap	80

表目錄

表 1.1 110 年度工作項目期程及成果進度	4
表 2.1 GPS、Galileo、QZSS、BDS-2 以及 BDS-3 系統頻率介紹	7
表 2.2 GPS、GLONASS、Galileo、BDS 以及 QZSS 之比較	8
表 2.3 RTK、Network RTK、PPP 以及 PPP-RTK 的比較	19
表 3.1 GNSMART 的函數模型和隨機模型的標準設定	26
表 4.1 TerraStar-C Pro 以及 TerraStar-X 之比較	51
表 4.2 GNSS RTCM SSR 差異	64
表 4.3 目前國際之 SSR 開放格式之比較(G:GPS, E:Galileo, C: BDS, J:QZSS, R:GLONASS, S: SBAS; ():未來已決定加入)	66
表 4.4 各種 PPP-RTK 服務模式之比較	68
表 4.5 比較不同 PPP-RTK 服務/軟體在管理者端之影響	72
表 4.6 比較不同 PPP-RTK 服務/軟體在使用者端之影響	76

第一章 研究主旨

內政部國土測繪中心「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用委託研究」之主要執行內容主要包含精密單點定位 PPP (Precise Point Positioning) 以及 PPP-RTK (PPP - Real Time Kinematic) 之技術背景和原理介紹、國際間 PPP、PPP-RTK 服務現況之資料蒐集、以及 PPP-RTK 應用於台灣之可行性評估。本研究期待能夠提供一個良好的基礎，使臺灣在新世代 GNSS 定位技術應用方面順利與國際接軌。

1.1 計畫緣起

內政部國土測繪中心因應衛星定位科技與數據通訊技術的興起，於 92 年委託財團法人成大研究發展基金會辦理先期研究規畫工作，完成採用虛擬基準站即時動態定位技術 VBS-RTK (Virtual Base Station - Real Time Kinematic) 之可行性評估後，續於 93 年度起開始建置 e-GPS 系統 (e-GNSS 系統前身)，並於 95 年建置完成，自 98 年起開始營運至今，現已成為國內各領域辦理空間資訊蒐集的重要工具。

隨著近年來科技的日新月異，在衛星定位系統部分，除了傳統的 GPS 與 GLONASS 外，還有 BDS、Galileo 與 QZSS 等衛星系統也陸續提供服務；在行動數據通訊部分，國內正處在從 4G 邁向 5G 的階

段，可以想見未來數據傳輸的頻寬會更大，速度會更快；在設備端部分，定位晶片的量產使得衛星定位設備平價化，促成許多非測繪領域應用引進新式衛星定位技術，提升定位成果精度。未來可預期高精度定位成果(數位內容)結合 AIOT (The Artificial Intelligence of Things)、大數據資料處理技術，讓物聯網世界皆可隨時得到公分等級以上的定位精度，勢必將觸發不同民生領域更多的應用與發展。

為推動國內衛星定位技術發展與應用，本研究分析精密單點定位 PPP 技術應用於臺灣地區之議題，同時探討未來配合 5G 通訊與物聯網等產業之衛星定位技術發展。

1.2 委託工作項目及內容

一、 PPP 定位原理探討

- (1) PPP、PPP-RTK 與 Network RTK 之原理。
- (2) PPP 定位方法、技術及相關資源。
- (3) 國際間 PPP 服務使用現狀 (real-time 與 post-processing)。
- (4) 5G 通訊結合衛星定位服務 (須包含 PPP) 應用於民生領域之議題探討。

二、 臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性研究

- I、國際間 PPP-RTK 服務之資料蒐集，對象至少須包含 Trimble

RTX 服務與 GEO++之 GNSMART2 軟體，內容至少須包含技術與服務提供模式、資料傳輸格式、使用者端定位設備相容性、預估建置經費、年度保固（Warranty）費用等議題。

II、以前項蒐集之資料進行臺灣地區建置 PPP-RTK 服務可行性分析，內容須包含以下項目：

1. 管理者端：

(1) 不同服務或軟體提供服務與營運之模式。

(2) 與機關現有 e-GNSS 系統營運模式之比較，及對 e-GNSS 系統營運影響之分析。

2. 使用者端：

(1) 分析提供 PPP-RTK 服務之模式對現有 e-GNSS 系統使用者端設備支援性。

(2) 評估未來使用者端設備可能遭遇之問題。

三、辦理需求訪談

四、研究成果發表

1.3 工作期程及交付成果

依據委託工作項目，本案工作內容以及進度如表 1.1 所示：

表一.1 110 年度工作項目日期程及成果進度

一、月份	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	備	註
二、工作項目											
研究計畫書(修正版)											
國內外相關文獻蒐集											
PPP (Precise Point Positioning)定位原理探討											
臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性研究											
問卷調查或/及廠商訪談											
期中報告											
專家學者座談會											
期末報告											
預定進度 (累積數)	15%	27%	38%	53%	65%	79%	88%	97%	100%		
	<p>說明：1 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。</p> <p>2 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每 1 小格粗組線為 1 分，統計求得本計畫之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。</p> <p>3 科技計畫請註明查核點，作為每 1 季所預定完成工作項目之查核依據。</p>										



：預定進度



：已完成進度

第二章 研究背景與文獻回顧

2.1 GNSS 發展現況

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(Global Positioning System, GPS)，歐盟的 Galileo，俄羅斯的 GLONASS，以及中國大陸的北斗(BDS navigation System, BDS)等衛星系統。GPS衛星的發展從傳送雙頻定位訊號一直發展至如今最新的三頻定位訊號，一共經歷了Block I、Block II/IIA、Block IIR/IIR-M、Block IIF、Block III等衛星系列，並在Block IIF以及Block III之後正式進入三頻定位的時代 (<https://www.gps.gov/>)。Galileo已於2020年完成部署24顆運作的中等軌道 (Medium Earth Orbit, MEO)衛星(<http://www.esa.int/>)。Galileo除了提供民用三頻E1、E5b、E5a訊號之外，還提供了E6頻率訊號於商業服務(Hein and Pany, 2002)。俄羅斯政府於2002年之後開始進行GLONASS的改革更新，發射了新型衛星GLONASS-M，GLONASS-K1，GLONASS-K2。除此之外，GLONASS-K1和GLONASS-K2在訊號傳輸上除了原有的FDMA (Frequency Division Multiple Access)系統之外，也加入了CDMA (Code Division Multiple Access)的訊號；GLONASS-K1採用FDMA系統提供G1以及G2訊號，並以CDMA系統提供了G3的

訊號，GLONASS-K2則是在G1、G2、G3訊號上同時傳輸了FDMA以及CDMA兩種系統(<https://www.glonass-iac.ru/en/index.php>)。QZSS是一個針對日本區域的定位系統，目的是提升GPS在日本區域的連續性以及可用性。於2003開始執行QZSS衛星發射計畫，開始時QZSS只有三顆傾斜地球同步軌道(Inclined Geosynchronous Orbit, IGSO)衛星，如今QZSS又額外包含了一顆地球靜止軌道(Geostationary Earth Orbit, GEO)衛星，共四顆衛星。QZSS提供了與GPS完全相同的L1、L2、以及L5的訊號。另外由於QZSS的IGSO衛星具有特殊的軌道設計，因此在任何時間都會有一顆高仰角($> 70^\circ$)的IGSO衛星位在日本的天頂(或準天頂)上空 (<https://qzss.go.jp/en/>)。中國的北斗系統的發展主要有三個步驟(中國衛星導航系統辦公室，2019)。第一個步驟是建立北斗一號(BDS-1)系統。在1994年啟動BDS-1系統工程建設；在2000年發射2顆GEO軌道衛星；在2003年發射3顆GEO衛星，進一步的提供定位、授時、廣域差分和電子通訊等服務。第二個步驟是建立北斗二號(BDS-2)系統。於2004年啟動BDS-2系統工程建設；於2012年完成14顆衛星，包含了5顆GEO衛星、5顆IGSO衛星、以及4顆MEO衛星的佈署。BDS-2在兼容BDS-1的基礎上，為亞太地區用戶提供定位、授時、廣域差分和電子通訊服務。第三個步驟是建立北斗三號(BDS-3)系統，於2009年啟動BDS-3建設，並於2020年完成30顆額定衛星的佈署，包含24顆

MEO衛星、3顆IGSO衛星以及3顆GEO衛星。BDS-3相同地提供了用戶提供定位、授時、廣域差分和電子通訊服務，除此之外BDS-3的GEO衛星還提供了星基增強(透過B1C訊號傳輸此信息)以及精密單點定位PPP服務(透過B2b訊號傳輸此信息)。BDS-3於2020年的6月23號發射了最後一顆的BDS-3衛星。BDS-3的佈署有效地增加了BDS的衛星顆數，並使得BDS達到具有FOC (Fully Operational Capability)的定位系統。為了增加BDS與其他星系的相容性，BDS-3衛星共有五種頻率，除了包含BDS-2原有的B1I、B2b、B3之外還多了與GPS的L1及L5相容的訊號B1C以及B2a (Pan et al., 2017)。表2.1介紹了GPS、Galileo、QZSS、BDS訊號之頻率以及名稱，表2.2為GPS、GLONASS、Galileo、BDS以及QZSS在衛星顆數、軌道等方面之比較。

表二.1 GPS、Galileo、QZSS、BDS-2 以及 BDS-3 系統頻率介紹

Frequency (MHz)	GPS	Galileo	BDS-2	QZSS	BDS-3
1575.420	L1	E1		L1	B1c
1561.098			B1I		B1
1278.750		E6			
1268.520			B3		B3
1227.600	L2			L2	
1207.140		E5b	B2b		B2b
1176.450	L5	E5a		L5	B2a

表二.2 GPS、GLONASS、Galileo、BDS 及 QZSS 之比較
(2021/05/01)

	GPS 	GLONASS 	Galileo 	BDS 	QZSS 
現今衛星顆數	31	24	24	48 (6 GEO/ 12 IGSO/ 30 MEO)	4 (1 GEO/ 3 IGSO)
軌道面數	6	3	3	IGSO/MEO: 3	IGSO: 3
軌道傾角	55°	64.9°	56°	IGSO/MEO: 55°	IGSO: 43°
軌道高度	20200 km	19100 km	23230 km	IGSO/GEO: 35786 km MEO: 21528 km	IGSO/GEO: 35786 km
運行週期	11h. 58m.	11h. 15m.	14h. 05m.	IGSO/MEO: 24h. MEO: 12h. 50m.	IGSO: 24h.
時間系統	GPST	GLST	GST	BDT	QZSST
與 GPST 之轉換關係	NA	GPST ≈ GLST- 3h+UTC leap sec	GPST ≈ GST	GPST ≈ BDT+14 sec	GPST ≈ QZSST
坐標系統	WGS84	PZ-90.11	GTRF	CGCS2000	JGS
使用頻率 (MHz)	L1 : 1575.42 L2 : 1227.60 (L5 : 1176.45, 目	G1 : 1602+ k × 0.5625 G2 : 1246+ k × 0.4375	E1 : 1575.42 E5a : 1176.45	B1I : 1561.098 B1C : 1575.42 (第三代) B2a : 1176.45	L1: 1575.42 L2: 1227.60 L5: 1176.45 LEX(E6):

	前只限於 Block IIF 型號衛星)	G3 :1202.0 25 k: 隨機噪聲碼	E5b : 1207.14 (E6 : 1278.75, 商用)	(第三代) B2b : 1207.14 B3 : 1268.52	1278.75
訊號傳輸方式	CDMA	FDMA/ CDMA	CDMA	CDMA	CDMA

2.2 RTK 與 Network RTK 發展現況

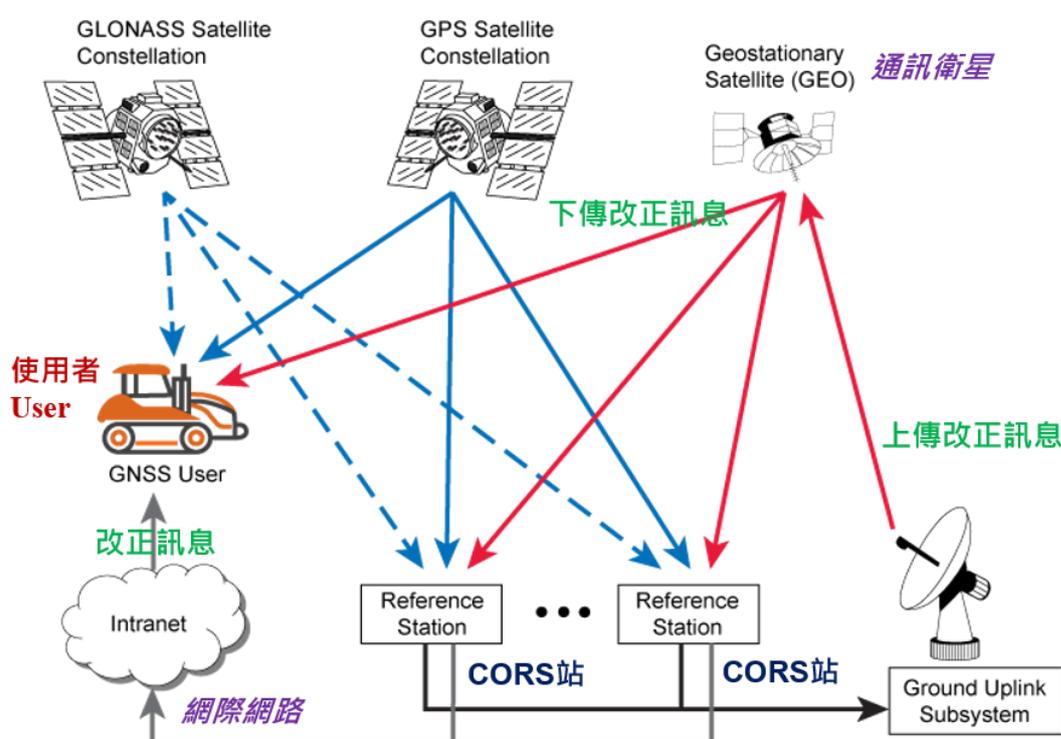
除了基礎測量、工程測量、大地測量等具有高精度 GNSS 定位需求之應用外，目前許多新興產業的出現，例如無人機、自駕車、擴增實境(augmented reality)等，促使了市場中對於 GNSS 的高精度的定位需求以及即時性的定位需求。然而由於 GNSS 觀測量容易受到觀測環境的影響，因此造成了許多誤差存在於觀測量上，例如軌道誤差、時鐘誤差、電離層延遲、對流層延遲等，這些誤差使得獲得 GNSS 即時且高精度的定位成果成為一個困難的挑戰。為了滿足高精度即時動態的定位需求，即時動態(Real-Time Kinematic, RTK)定位、網路即時動態(Network RTK)定位、以及即時動態精密單點定位(PPP-RTK)技術相繼被提出。

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)，並利用無線電傳播參考站的精密資訊給移動站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(NovAtel Inc., 2015)，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。另一方面，RTK 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(Geo++, 2015)，因此當許多用戶同時在使用相同的參考站時，將會影響到 RTK 的效能(NovAtel Inc., 2015)。為了克服 RTK 技術在距離上的限制，Network RTK 技術首先被提出。不同於 RTK 只使用單一參考站，Network RTK 技術採用了多個參考站組成的網型(Euler, 2008)，例如連續觀測參考站(Continuous Operating Reference Station, CORS)觀測網。當使用者位在 CORS 觀測網中，Network RTK 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。Network RTK 技術目前包含了 FKP (Flächen Korrektur Parameter)技術(Wübbena et al., 2001)、MAC (Master Auxiliary Concept)技術及 VRS (Virtual Reference Station)技術(Chen et al., 2011)。然而由於 Network RTK 技術採用與 RTK 相同的觀測空間表示 OSR 方法，因此在數據傳輸時依然需要較高的頻寬流量(Geo++, 2015)。

2.3 PPP 發展現狀

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 CORS 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(請參考 2.5 節)傳送給使用者，傳輸的媒介則是可透過網際網路與/或通訊衛星(NovAtel Inc., 2015)。PPP 構成架構如圖 2.1 所示。



圖二.1 PPP 構成架構。

(<https://www.igs.org/wg/precise-point-positioning-ppp/>)

PPP 在發展初期是以後處理(post-processing)模式為主。目前國際上有數個線上(online)後處理 PPP 計算服務，包含美國 JPL 的 APPS、加拿大 CSRS 的 CSRS-PPP、University of New Brunswick 的 GAPS、歐洲 GMV 的 magicGNSS 以及本團隊發展的 TOPS (Taiwan Online PPP Service)等，這些服務都支援 GNSS 資料標準交換格式 RINEX (Receiver Independent Exchange Format)。

目前國際上的應用主流是即時(real-time)PPP，並且已有相當數量的民間公司提供商業服務模式，例如 John Deere (NavCom)的 StarFire 系列、OmniSTAR 的 OmniSTAR 系列、VERIPOS 的 Apex 及 Ultra 系列、Hemisphere 的 Atlas 系列、Trimble 的 RTX 系列、Fugro 的 Starfix 系列、NovAtel 的 TerraStar 系列、Oceanering 的 C-Nav 系列、GMV 的 magicGNSS PPP 系列、BDS PPP 等。

以 John Deere 的 StarFire 系列為例，它是結合了全球導航衛星系統(GNSS)與自駕控制技術的一套自動導引系統，普遍使用於農業用途，大多應用在澳洲、美洲及歐洲等國家。John Deere 的農業管理產品包含了StarFire™ 6000 SF1、SF3、RTK 接收儀(如圖 2.2)，其中StarFire™ 6000 SF1 與 SF3 支援即時 PPP 定位服務，而StarFire™ 6000 RTK 則支援傳統 RTK 定位服務。John Deere PPP 定位服務所使

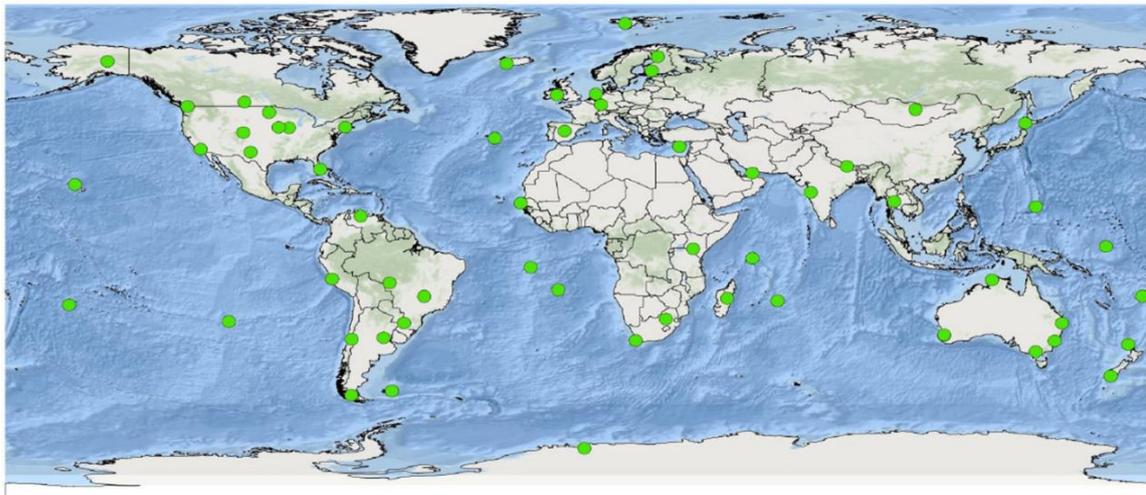
用的全球 CORS 站分布如圖 2.3 所示。



圖二.2 John Deere StarFire™ SF1、SF3 服務所使用之接收儀(左圖)

及StarFire™ RTK 服務所使用之設備(右圖)

(<https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/starfire-6000-receiver-with-sf3/>)

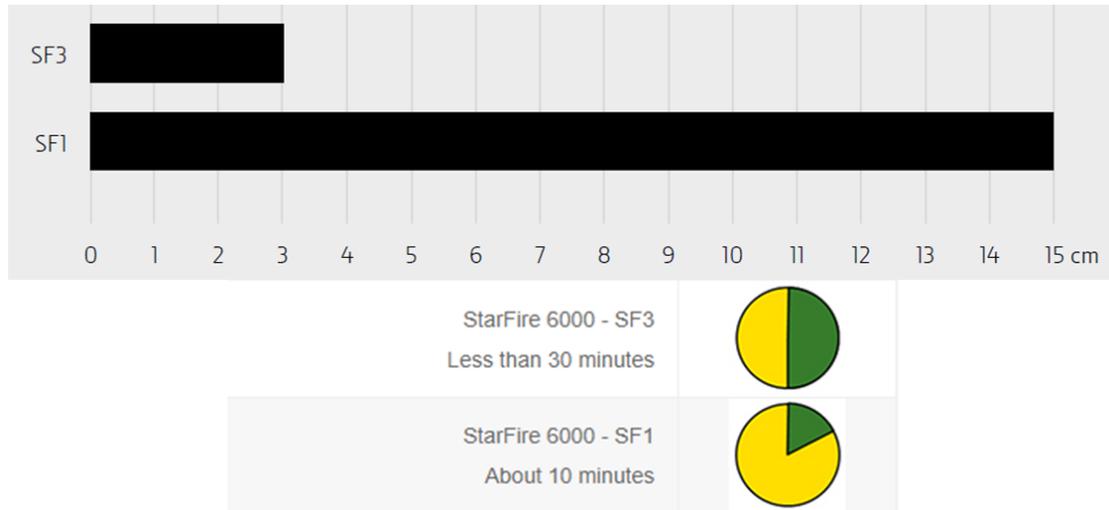


圖二.3 John Deere StarFire™ SF1 與 SF3 使用的全球 CORS 站

(John Deere, 2016)

StarFire™ SF1 與 SF3 服務支援 GPS 和 GLONASS 雙星系，並可透過 L 波段通訊衛星與網際網路傳輸改正訊息。根據 John Deere 官

方實際測試結果，免費的 SF1 服務可在 10 分鐘內達到 15 公分的定位精度，至於需額外收費的 SF3 服務(官方標價大約為台幣 2143 元/月)，則是可在 30 分鐘內達到 3 公分的定位精度，如圖 2.4 所示。



圖二.4 StarFire™ SF1、SF3 之定位效能比較

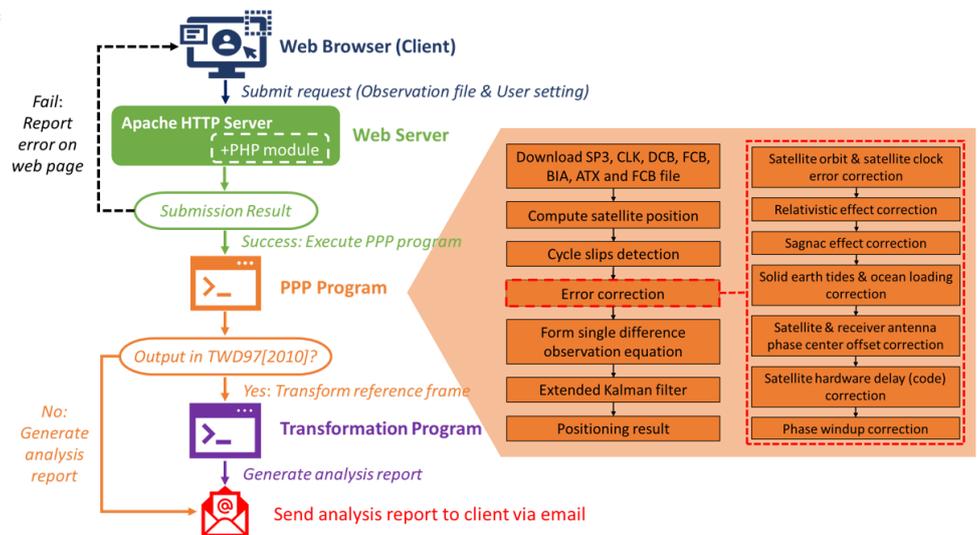
(<https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/starfire-6000-receiver-with-sf3/>)

從圖 2.4 可知，PPP 的最大缺點是需要較長的收斂時間 (convergence time) 才能獲得公分級定位成果。一般而言，PPP 的收斂時間會隨著衛星幾何分佈以及觀測量品質而變化，但通常至少需要 15 分鐘(張小紅等，2017)；王鼎鈞(2020)曾以 u-blox F9P 接收模組在臺灣地區實際測試 PPP 的收斂時間，亦發現約需 15 分鐘才能完成收斂。然而對於自駕車等需要即時、高精度位置資訊的應用而言，在衛星訊號失鎖(穿越橋梁、隧道或是被建築物遮蔽)以後需要長達 15 分鐘的收斂時間是無法滿足其需求的。因此目前 PPP 之應用服務主要是使

用在不容易發生衛星訊號失鎖(loss of lock)的非都會區。

本研究採用後處理 PPP 模式分析國土測繪中心連續站 CKSV 一天的資料作為檢視收斂時間的範例。這裡使用的後處理 PPP 軟體為 TOPS，是本團隊發展的臺灣線上精密單點定位服務之簡稱(許懷謙，2021)。TOPS 可支援 GPS 與 GLONASS 雙星系之動態定位，且可支援 ITRF 與 TWD97[2010]之間的自動坐標轉換，處理架構如圖 2.5 所示。

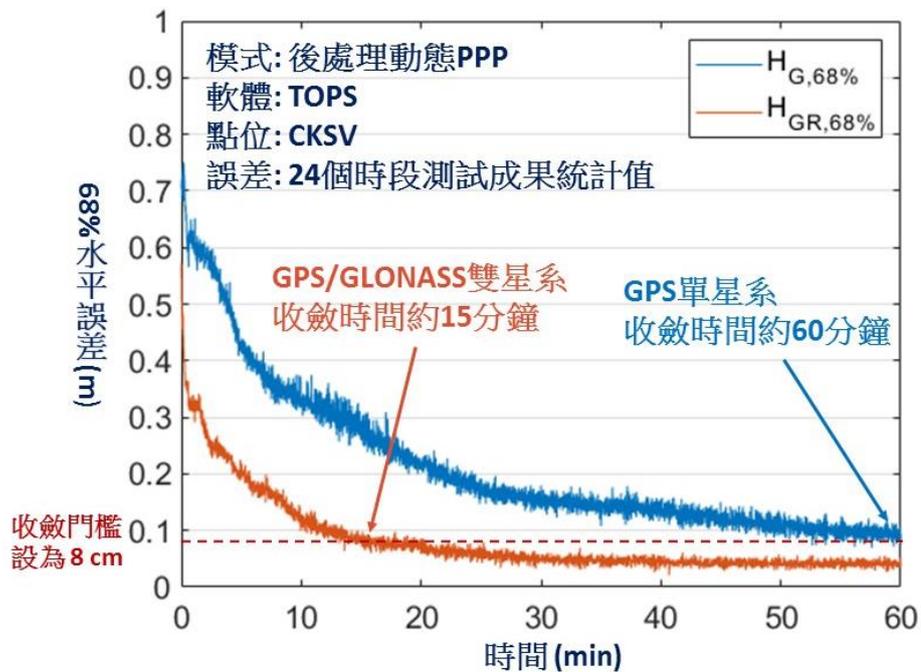
- Taiwan Online PPP Service (TOPS)
- 由成功大學測量系與政治大學地政系共同開發
- 以 Matlab 程式語言為基礎，可處理的 GNSS 星系如下：
 - GPS
 - GLONASS
 - Galileo (測試中)
 - BDS (測試中)
 - QZSS (測試中)
- 支援靜態及動態定位模式
- 內建 TWD97 變位模式，支援 ITRF 與 TWD97[2010]之自動轉換



圖二.5 臺灣線上精密單點定位服務(TOPS) (許懷謙，2021)

本研究將 CKSV 一天的資料分為 24 個時段(每一個時段 3600 秒)，即可統計時段內每秒鐘的 68% 水平定位誤差值，並展示於圖 2.6。此時若選擇 8 公分作為水平誤差之收斂門檻(圖中之虛線)，可得知使用 GPS 及 GLONASS 雙星系資料的收斂時間約為 15 分鐘。當然，若是

選擇更不同精度的收斂門檻(例如 5 公分)或是選擇不同的定位誤差統計標準(例如 95%)，收斂時間也會對應地改變。

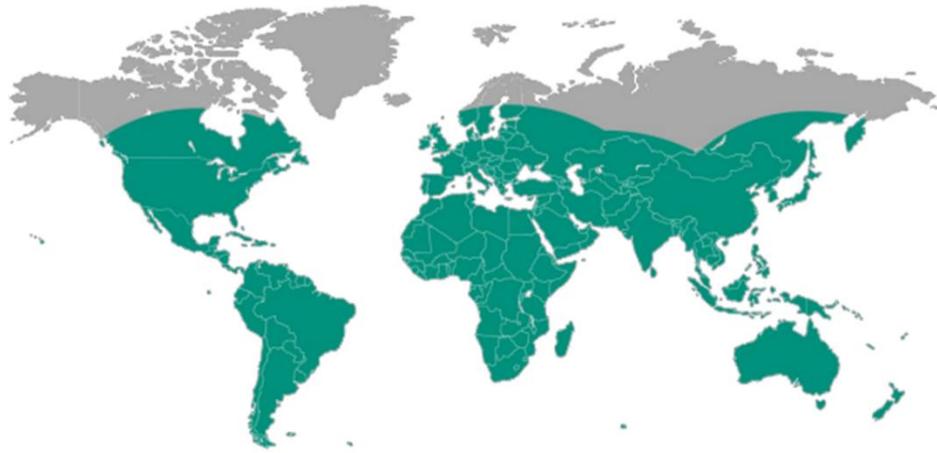


圖二.6 PPP 定位誤差、收斂門檻與收斂時間之關聯

2.4 Network RTK 結合 PPP 之發展現況

目前國際上已有 Network RTK 結合 PPP 服務的產品，目的是要解決在 Network RTK 通訊中斷時(例如手機收不到基地台訊號)，如何繼續定位及維持定位精度的問題。以下分別介紹 NovAtel RTK Assist 以及 Trimble xFill 兩種服務。

根據 NovAtel 官網資訊，RTK Assist 的服務範圍已接近於涵蓋全球，如圖 2.7 所示。



圖二.7 NovAtel RTK Assist 支援之服務區域(綠色範圍)

(NovAtel Inc., 2019)

RTK Assist 的使用者可透過 L 波段通訊衛星接收 NovAtel TerraStar 服務產製之 SSR 改正訊息，因此當使用者的 Network RTK 通訊中斷，導致無法接收到 Network RTK 伺服器所傳來的 OSR 改正訊息時，RTK Assist 可以利用從通訊衛星接收到的 SSR 改正訊息繼續提供定位服務。RTK Assist 可提供 5 公分的定位精度，而且最長可持續運作達到 20 分鐘(NovAtel Inc., 2019)。

根據 Trimble 官網資訊，Trimble xFill 的服務範圍涵蓋全球並可支援 GPS、GLONASS、Galileo、BDS 和 QZSS 五星系。Trimble xFill 的工作原理跟 RTK Assist 相似，在 Network RTK 通訊中斷時，Trimble xFill 的使用者可利用從通訊衛星接收到的 Trimble RTX SSR 改正訊息繼續執行公分級定位，並且最長持續時間可以達到 20 分鐘(Trimble, 2019)。

2.5 PPP-RTK 發展現況

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 CORS 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(Teunissen and Khodabandeh, 2014)，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 CORS 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 Network RTK 所採用的 OSR 方法相比，PPP-RTK 採用了狀態空間表示 SSR 方法。相較於 OSR 方法，SSR 方法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 SSR 是將每一項誤差獨立出來，電離層延遲量可以不再需要使用雙頻觀測量來消除，因此理論上單頻接收儀也能實現 PPP-RTK (Wübbena et al., 2005)。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、Galileo 的 E6 訊號(Hirokawa and Fernández-Hernández, 2020)、以及 BDS 的 B2b 訊號(中國衛星導航系統管理辦公室, 2020)，

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。表 2.3 為 European GNSS Agency (2019) 針對 RTK、Network RTK、PPP 以及 PPP-RTK 所做的比較。其中 Phase-based PPP 代表可以提供整數解之定位成果（未使用電離層及對流層改正）、而 Code-based PPP 代表只能提供實數解之定位成果（未使用電離層及對流層改正）。Phase-based PPP 以及 Code-based PPP 可以參閱 International GNSS Service (2020)。表 2.3 並顯示 PPP-RTK 服務(使用了電離層及對流層改正)在 1 分鐘以內(< 1 min)即可成功獲得 10 公分以內(< dm) 的定位精度。

表二.3 RTK、Network RTK、PPP 以及 PPP-RTK 的比較
(European GNSS Agency, 2019)'

	RTK	Network RTK			Phase based PPP	Code based PPP	PPP-RTK
	RS	FKP	MAC	VRS/PRS			
Errors corrected	Orbit error, Clock error, Bias, Ionospheric delay, Tropospheric delay				Orbit error, Clock error, Bias, Iono/Tropospheric delay (PPP-RTK)		
Approach	OSR (Observation State Representation)				SSR (State Space Representation)		
Accuracy	cm				< dm	~3dm	< dm
Mean convergence time	< 5s				20 min	< 1s	< 5s – 1 min
Largest service area	Local	Regional			Global	Global	Global
Required bandwidth	Medium	Medium	High	Medium	Low	Low	Low -Medium

PPP-RTK 近年來已從理論探討逐漸落實到實際應用。國際間著名 PPP-RTK 服務模式包含了美國 Trimble 公司的 RTX Fast、日本政府推出的 Centimeter Level Augmentation Service (CLAS)、澳洲政府機構 Geoscience Australia (GA)正在發展中的 Positioning Australia、瑞典 Hexagon 及旗下 NovAtel 公司推出的 RTK From the Sky、此外在伺服器軟體方面有德國 Geo++公司發展的 GNSMART2。以上 PPP-RTK 服務與軟體的官方網站整理如下：

RTX Fast

<https://positioningservices.trimble.com/services/rtx/>

CLAS

https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv06_clas.html

Positioning Australia

<https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/positioning-australia/about-the-program>

RTK From the Sky

<https://hexagonpositioning.com/about-us/press-releases/hexagons-rtk-from-the-sky-brings-instant-gnss-accuracy-worldwide>

GNSMART2

<https://www.geopp.de/gnsmart/>

第三章 PPP 定位原理與研究說明

本章主要介紹 PPP 以及 PPP-RTK 定位方法。內容包含這兩種方法的數學原理以及相關知識，例如 OSR、SSR、RTK 定位及 Network RTK 定位等。

3.1 GNSS 觀測量

臺灣目前常用的 GNSS 衛星包含了美國的 GPS、俄羅斯的 GLONASS、歐盟的 Galileo、中國大陸的 BDS、日本的 QZSS 五種衛星系統。這些星系的衛星傳輸訊號至地表之接收儀，當接收儀收到衛星傳輸的訊號之後會計算出衛星發射訊號時刻至接收儀收到訊號時刻之時間差，再乘上光速便可獲得衛星與接收儀的距離。一般在定位時會使用虛擬距離(pseudorange)和載波相位(carrier phase)兩種觀測量，分別如下表示。

A. 虛擬距離觀測量

虛擬距離即為當衛星發射訊號至接收儀後，接收儀便會複製出結構與衛星發射之電碼相同的二元碼，此時再找出兩個二元碼之間的時間偏移量(time shift)，再將此偏移量乘上光速，便可得虛擬距離觀測量(Teunissen and Montenbruck, 2017)。接下來，以 GPS 衛星系統為範例，當進行了地球旋轉改正、相對論改正、衛星相位中心偏移改正之

後，虛擬距離之觀測方程式可以表示如下：

$$P_f^s = \rho^s + c \cdot (dt - dT^s) + d_{ion,f}^s + d_{trop}^s + b_f + b_f^s + \varepsilon_{P_f^s} \quad (3.1)$$

其中

s ：GPS 系統中某衛星。

f ：GPS 系統中某頻率。

P ：虛擬距離觀測量。

c ：光速。

dt, dT ：接收儀和衛星的時鐘誤差。

r ：衛星到接收儀天線的幾何距離。

d_{ion} ：衛星至接收儀訊號傳播路徑上之電離層延遲量。

d_{trop} ：衛星至接收儀的對流層誤差。

b ：接收儀電碼硬體延遲量偏差。

b^s ：衛星電碼硬體延遲量偏差。

$\varepsilon_{P_f^s}$ ：多路徑效應和其他雜訊。

B. 載波相位觀測量

載波相位觀測量和虛擬距離觀測量相同，在訊號傳播的途中也會

受到接收儀和衛星的時鐘誤差影響、衛星軌道誤差的影響、大氣層中對流層和電離層對訊號造成延遲、衛星和接收儀的硬體延遲量偏差、多路徑效應和其他雜訊，但是必須額外考慮週波未定值的問題。進行了地球旋轉改正、相對論改正、衛星相位中心偏移改正、相位纏繞改正之後，載波相位之觀測方程式改寫如下：

$$\Phi_f^s = \rho^s + c \cdot (dt - dT^s) - d_{ion,f}^s + d_{trop}^s + B_f + B_f^s + \lambda_f \cdot N_f + \varepsilon_{\Phi_f^s} \quad (3.2)$$

其中

Φ ：載波相位觀測量。

B ：接收儀相位硬體延遲量偏差。

B^s ：衛星相位硬體延遲量偏差。

λ ：衛星訊號的波長。

N ：衛星訊號的整數周波未定值。

$\varepsilon_{\Phi_f^s}$ ：多路徑效應和其他雜訊。

3.2 OSR 以及 SSR 技術介紹

從公式(3.1)及(3.2)可以知道 GNSS 訊號包含了許多種類的系統誤差。包含了衛星時鐘誤差、電離層影響、對流層影響、衛星硬體延遲、

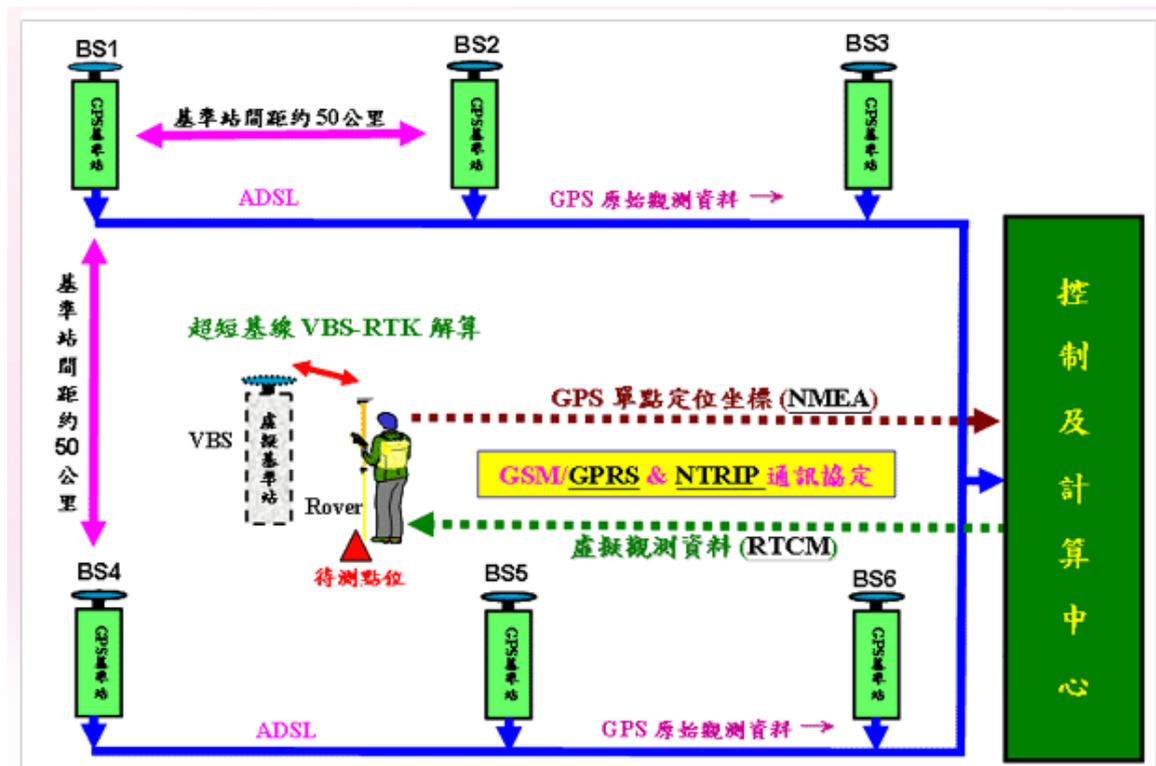
以及接收儀硬體延遲，除此之外，若在幾何距 ρ^{ij} 中引入了廣播星曆提供的衛星位置後，星曆本身的不確定值將會成為衛星軌道誤差。這些誤差及影響必須要有效的消除才可以達到公分級的定位精度。

當利用一個 CORS 網型的輔助來決定網型內某一移動站之位置時，CORS 的控制中心會利用參考站來計算出每一顆衛星的距離改正量 (range correction)，其概念上的意義為衛星時鐘誤差、電離層影響、對流層影響、衛星硬體延遲、軌道誤差以及接收儀硬體延遲的總和。除此之外，距離改正量會因不同衛星、不同測站、不同時刻而改變，因此控制中心必須根據使用者在網型的位置以及時間，來內插出使用者專屬的距離改正量。這種方式就稱作 OSR (Observation State Representation)。

海上服務無線電技術委員 (Radio Technical Commission for Maritime Services, RTCM) 制定了許多通訊上的傳輸訊息格式，其中也包含了 OSR 的內容以及訊息格式 (RTCM Special Committee, 2016)。此外 OSR 的技術有數種，它們分別以不同的訊息格式傳輸於使用者，例如虛擬參考站法 (Virtual Reference Station, VRS)、區域改正參數法 (Flachen Korrektur Parameter, FKP) 等 (Wübbena et al., 2001)。現今的 RTK 定位以及 Network RTK 定位都是以 OSR 方法所實現。RTCM 的訊息可以透過無線電或網路傳送至使用者，如台灣現行的 e-GNSS 即

時動態定位服務，就是透過網路行動通訊傳送 RTCM 訊息給使用者。

下圖 3.1 為內政部國土測繪中心所建立之 e-GNSS 運作示意圖，其中利用 RTCM 傳輸 VRS 虛擬觀測資料給使用者。



圖三.1 內政部國土測繪中心 e-GNSS 基本定位原理示意圖

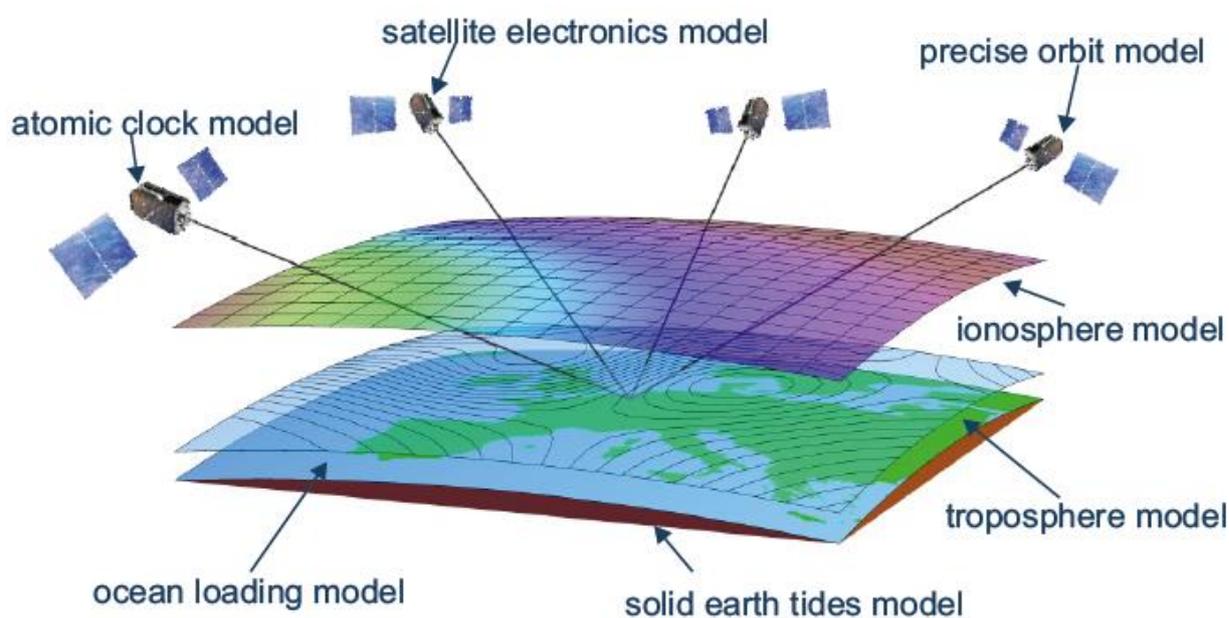
Wübbena et al. (2005) 採用一個全球的 CORS 網型以及嘗試用數種附有參數的數學模型來模式化衛星訊號誤差，稱作 State Space Modeling (SSM)。SSM 針對不同衛星觀測量上的誤差使用了不同的函數模型(functional model)以及隨機模型(stochastic model)，並且考慮了參數的動態(dynamic)行為，也就是參數的狀態。表 3.1 介紹了 Geo++

的 GNSMART 系統所使用的 SSM 以及其相關衛星誤差之函數模型和隨機模型。表中，SSM 估計出的狀態參數包含了軌道誤差差異量(相對於廣播星曆)、衛星時鐘誤差差異量(相對於廣播星曆)、衛星相位以及電碼硬體延遲量、接收儀時鐘誤差、接收儀相位以及電碼硬體延遲量、電離層以及對流層模型的參數。圖 3.2 是 SSM 的概念示意圖，說明 SSM 採用了多種類的模型來將衛星觀測量誤差模式化。

表三.1 GNSMART 的函數模型和隨機模型的標準設定
(Wübbena et al., 2005)

<i>Error Component</i>	<i>Functional and Stochastic Model</i>
satellite clock	dynamic 2nd order polynomial as the difference to broadcast clock plus white noise process
signal delay (sv)	constant plus integrated white noise with low variance
satellite orbit	difference to broadcast orbit as 3D cartesian (along-track, cross-track and normal) errors with Gauss-Markov process
ionosphere	3 step model: - dynamic single or multi layer functional model with 2D polynomial (geomagnetic latitude, local time) or spherical harmonics - satellite dependent dynamic functional biases - 3D Gauss-Markov process with 1 parameter per receiver-satellite combination to describe the remaining ionospheric effect
troposphere	correction with Niell troposphere model 3 step model for residual troposphere: - dynamic functional model with 3D polynomial (latitude, longitude, height) or spherical harmonics with height gradients for dry and wet components - dynamic mapping function improvement for low elevations - dynamic station dependent zenith delay parameters for dry and wet components
receiver clock offset	white noise process
signal delay (rv)	constant with integrated white noise process
satellite PCV	correction
receiver PCV	correction
multipath (rv)	elevation and/or signal to noise dependent weighting
measurement noise	white noise
ambiguity	constant
receiver coordinates	static or kinematic for unknown stations

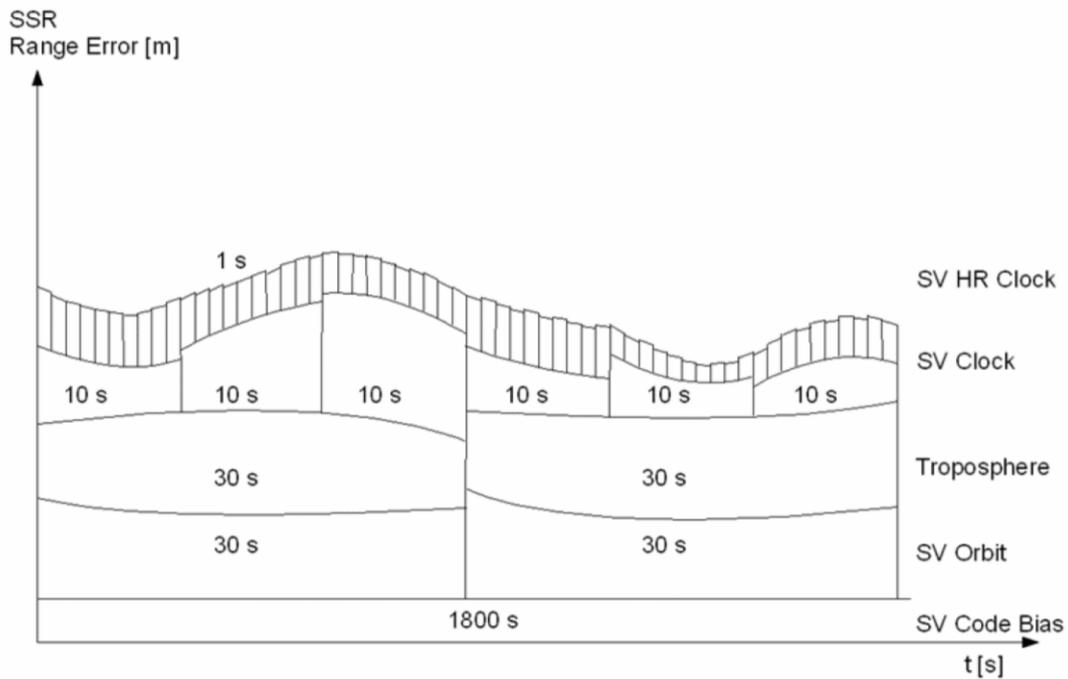
將衛星相關、電離層以及對流層的狀態參數以改正訊息之方式傳送給使用者來進行定位，這種方法稱之為 SSR (State Space Representation)。SSR 實現出的定位技術有 PPP 以及 PPP-RTK 兩種，但是 SSR 的訊息格式及內容在國際上尚未統一，例如目前的 IGS SSR 以及 RTCM SSR 格式可以用於 PPP；而 Compact SSR 以及 SPARTN 格式可以用於 PPP-RTK (European GNSS Agency, 2019; International GNSS Service, 2020; Sapcorda, 2020)。PPP 以及 PPP-RTK 定位的原理介紹可參閱 3.5 以及 3.6 節；SSR 的格式種類介紹可參閱 4.7 節。



圖三.2 SSM 概念示意圖(Geo++, 2015)

在 OSR 以及 SSR 的比較上，可歸納如以下數點：

1. OSR 需傳輸每顆衛星在每個時刻之距離改正量，相較之下，SSR 只需傳輸模型之狀態參數即可。根據狀態參數之變化程度，例如因為衛星硬體延遲量或對流層參數在數秒內變化不大，所以 SSR 不需要每個時刻都傳輸改正參數，如下圖 3.3 所示。這說明了 SSR 在傳輸訊息上只需要較小的頻寬即可滿足需求。



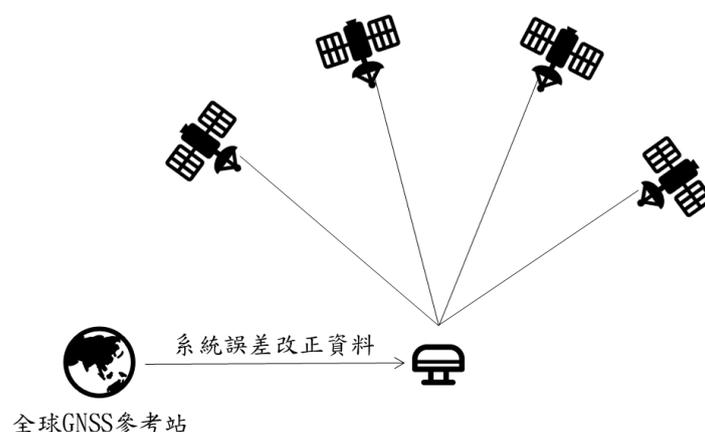
圖三.3 在 SSR 傳輸訊息中，每個參數傳輸的時間間隔示意圖
(Schmitz, 2012)

2. OSR 必須透過參考站以及移動站之間的雙向通訊傳輸，因為距離改正量的產生必須知道移動站的近似位置。相較之下，SSR 是空間狀態模式化計算，因此不需要考慮移動站之位置，也就是單向通訊傳輸即可滿足需求。

3. OSR 只能透過無線電或網際網路傳送，但是 SSR 除了透過網路以外還能透過衛星的 L-band 通訊頻率傳送，大幅增加其適用性，特別是在山區、遠洋等地區。

3.3 PPP 定位原理

PPP 是利用高精度衛星星曆和衛星時錶誤差產品等改正訊息，處理單台接收儀的電碼及相位觀測量，並獲得接收儀的三維位置解。此觀念最初在 1997 年由美國加州理工大學噴射推進實驗室 Zumberg 等人所提出，使用者可透過單台接收儀便能得到公分等級的高精度定位成果，圖 3.4 為 PPP 的示意圖。



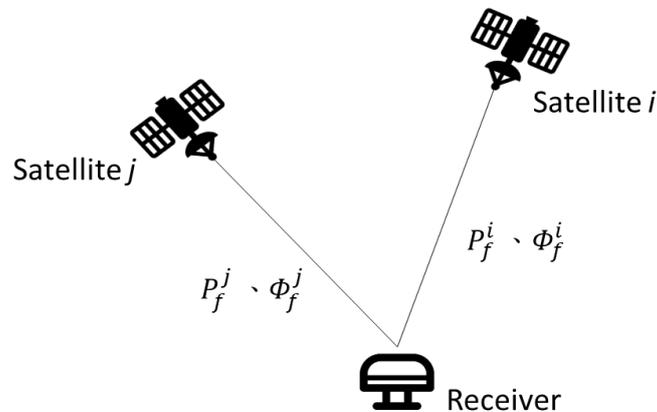
圖三.4 PPP 示意圖

由於 PPP 最大優勢在於無需仰賴參考站的設置，可以單機作業以及不受與參考站之間的距離限制，因此可直接提供國際地球參考框架(ITRF)下的高精度坐標。PPP 定位可以採用非差分觀測量之方法

或採用空中一次差(衛星間差分)的方法(Khodabandeh and Teunissen, 2015)，這裡將介紹採用一次差分觀測量之方法。

3.3.1 空中一次差分技術

空中一次差(衛星間差分)是將一部接收儀在同一時刻獲得兩顆衛星的觀測量進行相減，此法能消去接收儀的時鐘誤差 dt 、接收儀電碼硬體延遲量偏差 b 、接收儀相位硬體延遲量偏差 B 。假設在某一時刻下，接收儀追蹤到衛星 i 以及衛星 j ，將靠近天頂之衛星 i 設為主衛星，另一顆衛星 j 設為副衛星，如下圖 3.5 所示：



圖三.5 空中一次差

空中一次差的電碼與相位觀測量可分別由 $P_f^{ij} = P_f^i - P_f^j$ ，以及 $\Phi_f^{ij} = \Phi_f^i - \Phi_f^j$ 獲得。它們的觀測方程式可如下表示(Leick et al., 2015):

$$P_f^{ij} = \rho^{ij} - c \cdot dT^{ij} + d_{ion,f}^{ij} + d_{trop}^{ij} + b_f^{ij} + \varepsilon_{P_f^{ij}} \quad (3.3)$$

$$\Phi_f^{ij} = \rho^{ij} - c \cdot dT^{ij} + \lambda_f \cdot N_f^{ij} - d_{ion,f}^{ij} + d_{trop}^{ij} + B_f^{ij} + \varepsilon_{\Phi_f^{ij}} \quad (3.4)$$

3.3.2 PPP 數學模型

這裡將介紹一種簡單的 PPP 數學模型，它利用了空中一次差的技術，因此可以消除與接收儀有關的時鐘誤差以及硬體延遲量，此外還能保持單點定位的優點。在(3.3)以及(3.4)引入了星曆所提供的衛星三維坐標值之後，星曆中的不準確數值將會造成軌道誤差於觀測方程式內，這裡以 d_{orb} 表示。因此，(3.3)以及(3.4)將可以變化如下：

$$P_f^{ij} = \rho^{ij} + d_{orb}^{ij} - c \cdot dT^{ij} + d_{ion,f}^{ij} + d_{trop}^{ij} + b_f^{ij} + \varepsilon_{P_f^{ij}} \quad (3.5)$$

$$\Phi_f^{ij} = \rho^{ij} + d_{orb}^{ij} - c \cdot dT^{ij} + \lambda_f \cdot N_f^{ij} - d_{ion,f}^{ij} + d_{trop}^{ij} + B_f^{ij} + \varepsilon_{\Phi_f^{ij}} \quad (3.6)$$

然而，(3.5)以及(3.6)依然存在整數週波值與衛星相位硬體延遲量高相關而導致秩虧的問題，因此必須將整數週波未定值與此硬體延遲量合併為一項來解決此問題，另外，衛星電碼硬體延遲量可由廣播星曆所提供的 TGD (Timing Group Delay) 資訊消除。最後，PPP 的數學模型如下：

$$P_f^{ij} = \rho^{ij} + d_{orb}^{ij} - c \cdot dT^{ij} + d_{ion,f}^{ij} + d_{trop}^{ij} + \varepsilon_{P_f}^{ij} \quad (3.7)$$

$$\Phi_f^{ij} = \rho^{ij} + d_{orb}^{ij} - c \cdot dT^{ij} + \lambda_f \cdot \widetilde{N}_f^{ij} - d_{ion,f}^{ij} + d_{trop}^{ij} + \varepsilon_{\Phi_f}^{ij} \quad (3.8)$$

其中 $\widetilde{N}_f^{ij} = N_f^{ij} + B_f^{ij}$ 。這裡需注意， \widetilde{N}_f^{ij} 不再具有整數特質。

在一方面，上述(3.7)及(3.8)有收斂時間較長、無法提供即時解以及無法求解整數週波未定值的明顯缺點，在另一方面，高精度衛星星曆以及鐘差等產品通常無法即時獲得，這兩方面的缺陷將大幅限制了 PPP 的應用層面。因此近年為了增加 PPP 的應用廣度，許多單位開始推廣即時 PPP 以及 PPP-RTK 定位。它們不但具有即時性，同時還保持了 PPP 的準確性。這兩種定位方法可參閱 3.5 節以及 3.6 節。

3.4 RTK、Network-RTK 及 PPP-RTK 定位之演進

RTK 定位由三個部分組成，分別為參考站、移動站及無線電數據通訊設備。RTK 定位是 OSR 最早的定位技術，參考站之無線電數據通訊設備會將參考站的距離改正量(range correction)，或是參考站接收的觀測量，傳送至移動站端以計算出公分級的定位解。

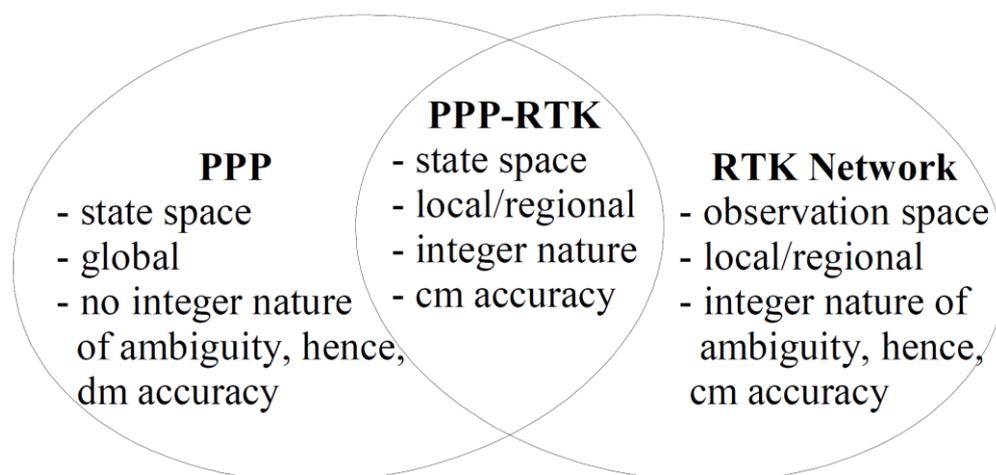
RTK 定位受限於參考站以及移動站之間的距離，因為距離越遠將導致兩站的電離層以及對流層影響的差異變大，如此一來參考站所傳輸的距離改正量便無法有效消除移動站所受到的電離層以及對流層

的影響。為了克服此限制，Network RTK 定位應運而生。Network RTK 跟 RTK 相同，也是使用 OSR 技術，但是 Network RTK 定位額外地利用了一個區域 CORS 網型，此區域 CORS 網型的控制中心會利用移動站附近之數個參考站的距離改正量進行線性內插出移動站位置專屬的距離改正量，或是計算出移動站附近的虛擬參考站(Virtual Reference Station, VRS)觀測量，再傳送給移動站。如此一來當移動站在網型內進行定位時，就可以大幅降低電離層以及對流層的影響。

Network RTK 雖然成功地克服了 RTK 基線距離的限制因素，但是在傳輸訊息時仍然有必須依賴網路通訊、資料雙向傳輸、傳輸頻寬較大，這三項來自於 OSR 技術的限制。一旦網路通訊功能受限或是在沒有網路訊號的地點，Network RTK 的服務效能便會大打折扣。為了改良 OSR 傳輸訊息的限制，於是發展出一種融合 PPP 與 Network RTK 優點並使用 SSR 技術的 PPP-RTK 定位方法，如圖 3.6 所示。

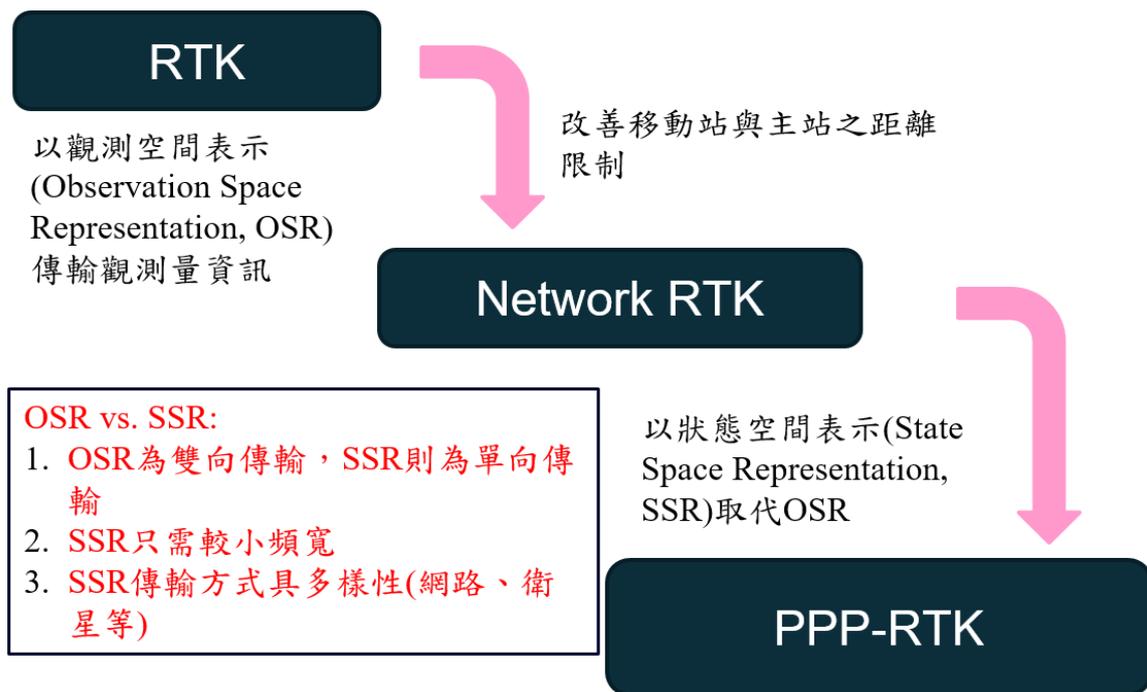
根據(3.8)式，當 SSR 訊息中只有提供衛星的電碼硬體延遲量而沒有提供相位硬體延遲量時，PPP 數學模型中的整數週波未定值與衛星相位硬體延遲量就必須合併求解，導致此合併後的週波未定值參數不再具有整數特性(no integer nature)，再加上缺乏區域 CORS 網型提供之電離層及對流層改正訊息，所以即時 PPP 有時只能獲得公寸級(dm)的定位精度。在另一方面，由於有區域 CORS 網型提供的電離層及對

流層改正訊息，所以 PPP-RTK 有可能掌握週波未定值的整數特性 (integer nature)，因此能夠在成功解算出整數週波值之後，順利得到公分級(cm)的定位精度(圖 3.6)。



圖三.6 PPP-RTK 是 PPP 以及 Network RTK 的融合
(Wübbena et al., 2005)

PPP-RTK 利用全球以及區域 CORS 網型的輔助並採用 SSR 方法。如 3.3 節所述，SSR 技術相較於 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 技術的優點對於擴展 PPP-RTK 的應用面產生很大的影響，例如 PPP-RTK 適合使用於同一時間用戶數量眾多的大眾市場 (mass market)，以及可使用於遠洋、山區等無法收到網路訊號的地方。最後將 RTK 定位技術的演進歷程整理於圖 3.7。



圖三.7 RTK 定位至 PPP-RTK 定位之演進

3.5 PPP、PPP-RTK 原理介紹及比較

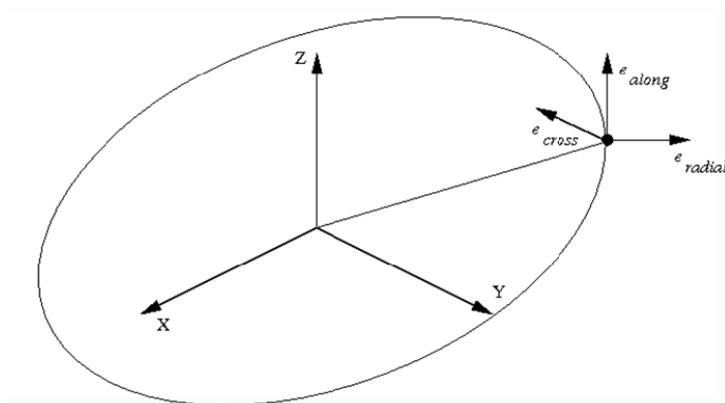
即時產品的提供是 PPP 以及 PPP-RTK 的首要任務。近年來各國著名 GNSS 組織，如美國的 JPL、德國的 GFZ、日本的 JAXA、中國大陸的武漢大學等，都積極地發展各自的即時衛星星曆、衛星時鐘誤差、衛星相位硬體延遲量等產品。這些即時產品是透過了全球 CORS 站的解算之後，再使用 SSR 訊息格式傳輸至使用者端，這就是即時 PPP 定位之設計架構，例如 IGS 所提供的 RTS (Real-Time Service) 服務(International GNSS Service , 2020)。

計算上，PPP 用戶先使用廣播星曆之衛星位置以及衛星時鐘誤差改正量，但是其誤差可達數十公分，因此接下來再利用 SSR 提供之

衛星鐘差改正量以及衛星位置改正量來做更進一步的改正。SSR 提供的資料當中對於衛星軌道的改正參數如圖 3.8 所示，分成了徑向、沿軌道方向以及垂直軌道面三個方向(Stuerze et al., 2012)，假設軌道改正量向量為 δO ，那麼改正後的衛星位置 δX_{orbit} 為：

$$\delta X_{orbit} = \delta X_{broadcast} - [e_{radial} \ e_{along} \ e_{cross}] \delta O \quad (3.9)$$

其中 $\delta X_{broadcast}$ 為廣播星曆提供的衛星三維座標， e_{radial} 、 e_{along} 、 e_{cross} 分別為徑向、沿軌道方向以及垂直軌道面三個方向的單位向量。



圖三.8 徑向(radial)、沿軌道方向(along-track)、垂直軌道面(cross-track)軌道向量組成(RTCM Special Committee, 2016)

在衛星時錶改正方面，SSR 資料中提供了衛星時鐘改正參數 δC ，改正公式如下：

$$\delta t_{orbit} = \delta t_{broadcast} - \frac{\delta C}{c} \quad (3.10)$$

其中 $\delta t_{broadcast}$ 為廣播星曆提供的時間。

當 SSR 訊息中有提供衛星的相位以及電碼硬體延遲量時，可以直接將(3.7)以及(3.8)中的 b_f^{ij} 以及 B_f^{ij} 移除。最後 PPP 的數學模型可以表示如下：

$$P_f^{ij} = \rho^{ij} + d_{ion,f}^{ij} + d_{trop}^{ij} + \varepsilon_{P_f}^{ij} \quad (3.11)$$

$$\Phi_f^{ij} = \rho^{ij} + \lambda_f \cdot N_f^{ij} - d_{ion,f}^{ij} + d_{trop}^{ij} + \varepsilon_{\Phi_f}^{ij} \quad (3.12)$$

由於衛星的相位硬體延遲量已被消除，因此與(3.8)相比較，(3.12)中的週波未定值已經恢復為整數週波值之特性(integer nature)。

相較於 PPP，PPP-RTK 更進一步的採用了區域 CORS 網型所估計出之電離層以及對流層狀態參數來消除其影響。因此(3.11)以及(3.12)可以精簡如下：

$$P_f^{ij} = \rho^{ij} + \varepsilon_{P_f}^{ij} \quad (3.13)$$

$$\Phi_f^{ij} = \rho^{ij} + \lambda_f \cdot N_f^{ij} + \varepsilon_{\Phi_f}^{ij} \quad (3.14)$$

在公式(3.13)以及(3.14)的模型中需要估計的參數只剩下空間三維坐標以及整數週波值，故此模型具備有良好的模型強度，而良好的模型強度通常伴隨著良好的週波未定值求解效能(Li et al., 2014)，因此能夠比較快速地，甚至在數筆觀測資料內，解算出可靠之整數週波值。

在上述的 PPP-RTK 模型中，由於利用了 SSR 提供之電離層模型參數來消除電離層影響，因此 PPP-RTK 在理論上可以適用於單頻接收儀，這比必須使用雙頻觀測量來消除電離層延遲的 PPP 來說，應用層面上更廣。最後比較 PPP-RTK 以及 PPP 兩者，PPP-RTK 在實際操作上的優點如下(Wübbena et al., 2005)：

1. 較便宜的配備

PPP-RTK 可以使用價位較低之單頻接收儀，而 PPP 需要使用雙頻接收儀。

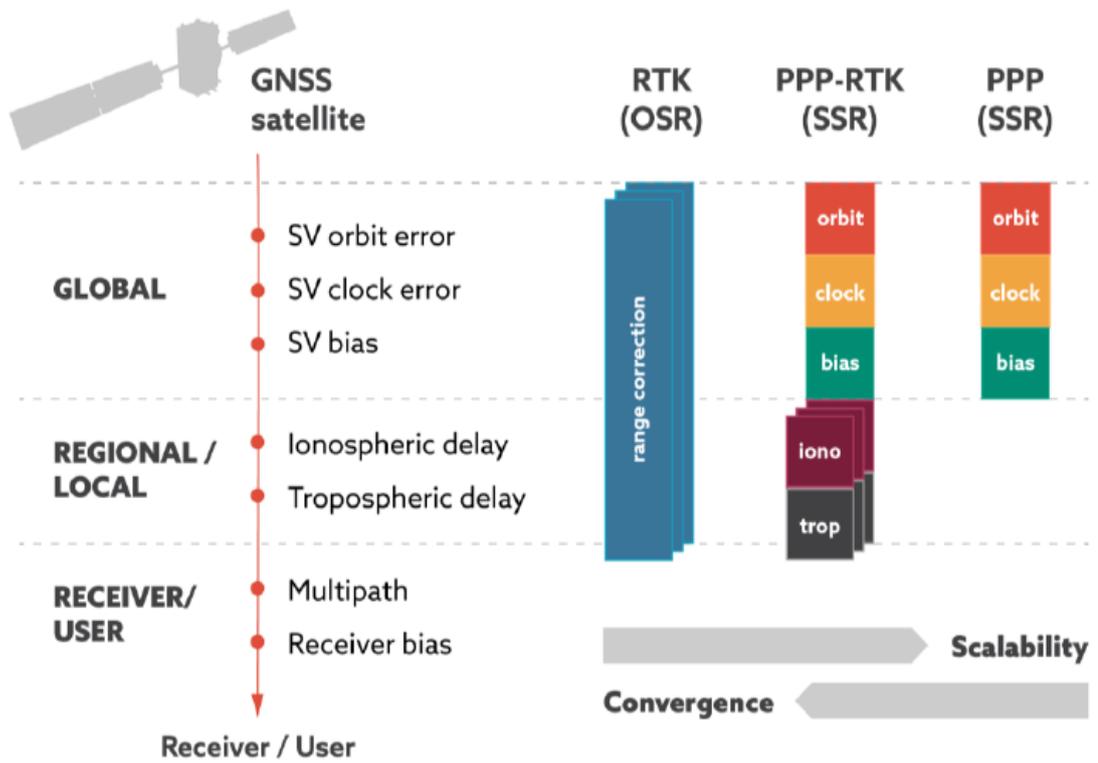
2. 較高的效率

PPP-RTK 使用 SSR 提供之改正訊息消除電離層以及對流層之影響，這使得 PPP-RTK 的模型不須估計電離層以及對流層參數，如(3.13)以及(3.14)，因此可以更快速地比需要自行估計電離層參數的 PPP 獲得準確的定位解。

3.較好的精度

可靠的整數週波未定值是公分級定位之關鍵。由於 PPP-RTK 的模型不須額外估計電離層以及對流層參數，這會使得其模型強度較佳，因此能夠比較快速地解算出可靠的整數週波值。

最後，圖 3.9 將 Network RTK、PPP 以及 PPP-RTK 在技術層面進行比較整理。第一、首先不論是 OSR 還是 SSR 方法都無法消除接收儀周圍環境之影響，例如多路徑效應，以及接收儀的硬體延遲量。第二、採用 OSR 方法的 Network RTK 定位因為是觀測域改正，因此改正值裡面會包含衛星相關的所有誤差改正以及電離層還有對流層延遲之改正。第三、SSR 是狀態域改正，可以彈性地提供誤差之狀態參數給使用者，因此區分成 PPP 以及 PPP-RTK 兩種情況；PPP 只包含了衛星相關的所有誤差改正，而 PPP-RTK 則完整地包含了衛星相關的所有誤差改正，以及電離層還有對流層延遲之改正。第四、以使用範圍(scalability)來說，PPP-RTK 以及 Network RTK 定位由於需要區域 CORS 網型，因此只能執行於部分區域；相較之下，PPP 不須區域 CORS 網型，因此能執行於全球。第五、由於 PPP 必須自行處理電離層以及對流層的影響，因此達到高精度 PPP 定位所需的收斂時間會明顯長於 PPP-RTK 以及 Network RTK 定位所需的收斂時間。



圖三.9 Network RTK、PPP 以及 PPP-RTK 之比較

(European GNSS Agency, 2019)

第四章 臺灣地區建置 PPP-RTK 服務可行性研究成果

為研究臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性，本章先進行國際間 PPP-RTK 服務之資料蒐集，再分析各服務模式使用於臺灣地區之可行性。

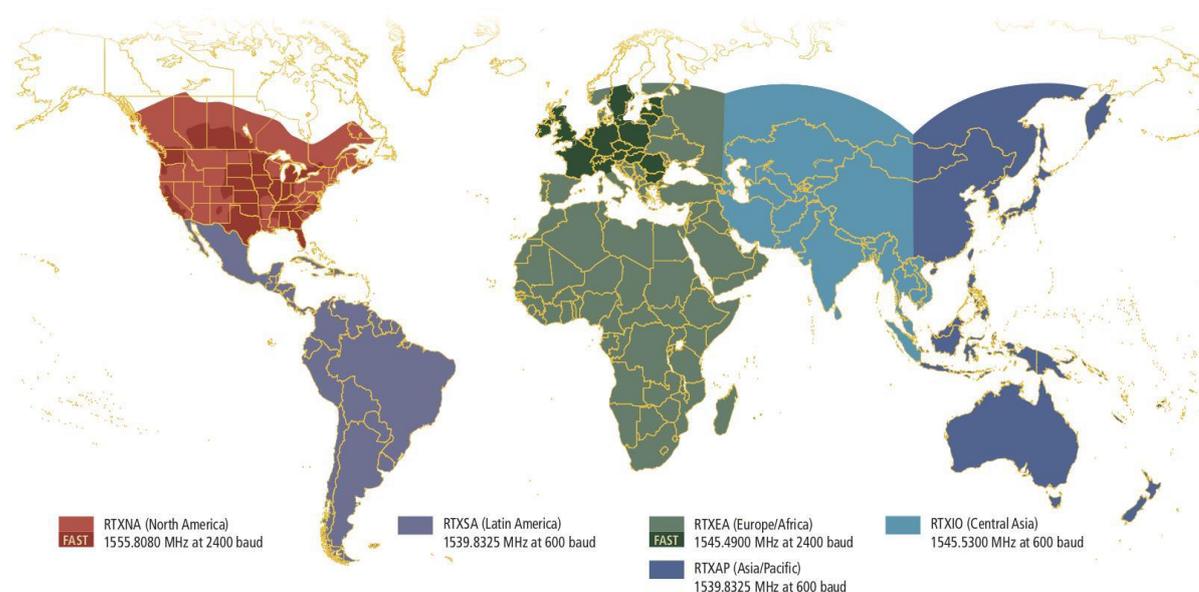
4.1 國際間 PPP-RTK 服務資訊

本報告收集了數種國際間的 PPP-RTK 定位服務與軟體之資訊，包含美國 Trimble RTX Fast、日本 CLAS、澳洲 Positioning Australia、瑞典 Hexagon RTK From the Sky 及德國 Geo++ GNSMART2，以下分別介紹它們的特性。

4.1.1 Trimble RTX Fast

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美國以及部分歐洲區域。圖 4.1 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 4.2 為 Trimble RTX 服務架構，它將全球 CORS 網型觀測資料傳送至控制中心進行誤差之狀態參數解算，之後再透過通訊衛星或

網路將解算出之參數以即時改正訊息傳輸至使用者。圖 4.3 為 Trimble RTX Fast 服務架構，它除了使用全球 CORS 網型觀測資料外也採用區域 CORS 網型觀測資料，其餘部份與 Trimble RTX 服務架構相同：將觀測資料傳送至控制中心進行處理後，再透過通訊衛星或網路通訊將解算出之即時改正訊息傳送至使用者。Trimble RTX Fast 可以處理多星系的訊號，包括 GPS、GLONASS、Galileo、BDS 及 QZSS，並使用專屬(非公開)的 SSR 訊息格式，稱為 CMRx，將即時改正訊息傳送至使用者。



圖四.1 Trimble RTX 以及 Trimble RTX Fast 所支援之服務區域

(European GNSS Agency, 2019)

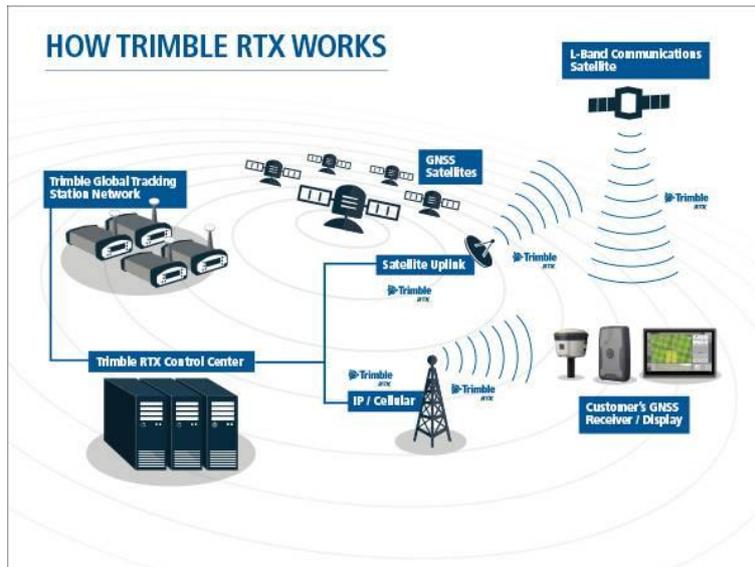


圖 4.2 Trimble RTX 服務架構

(<https://positioningservices.trimble.com/services/rtx/centerpoint-rtx/>)

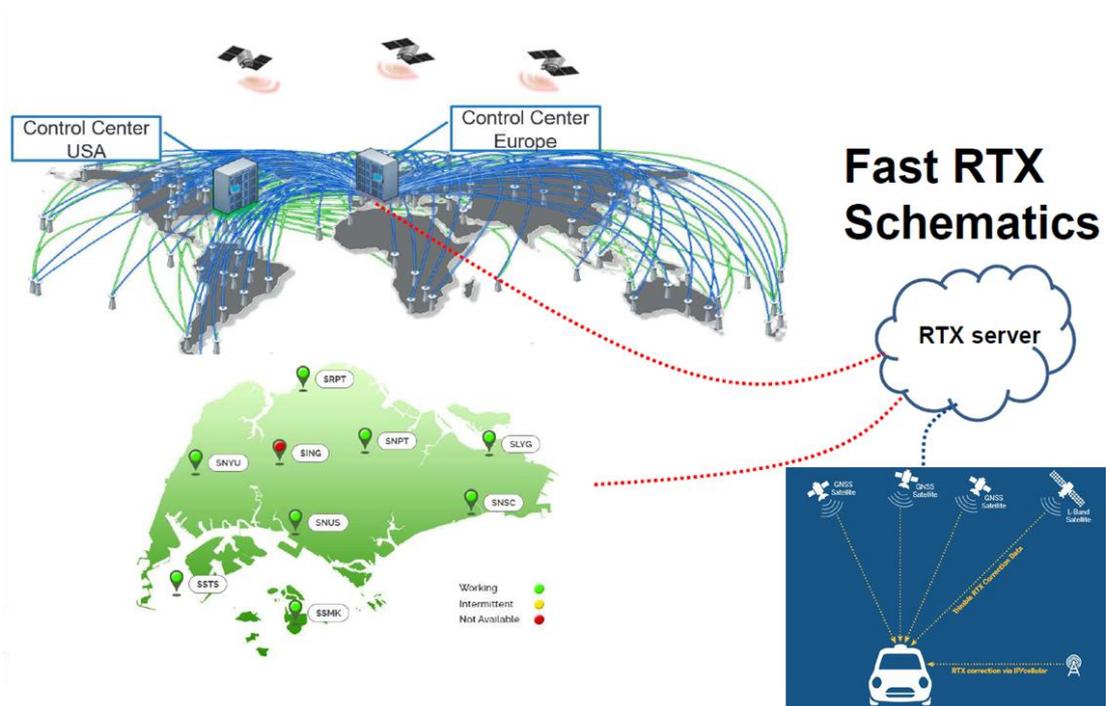
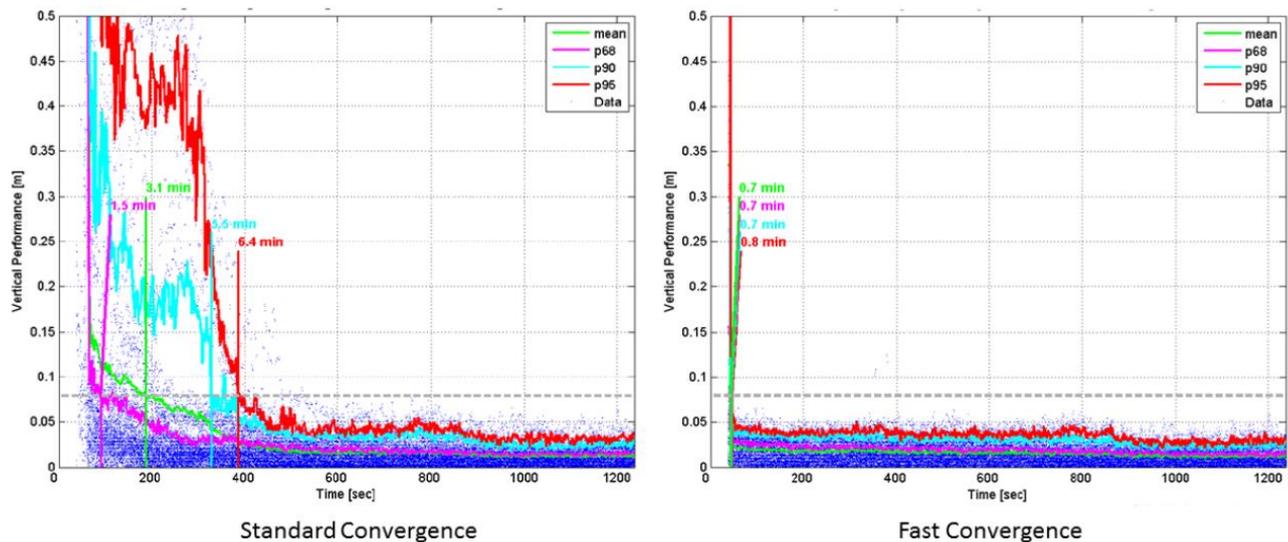


圖 4.3 Trimble RTX Fast 服務架構 (資料來源：台灣儀器行)

圖 4.4 顯示一個在美國中西部的測試成果。於垂直方向，當使用 Trimble RTX 服務時，95%定位誤差收斂至 1-2 公分內所花的時間大

約需要 15 分鐘（左圖），但是使用了 Trimble RTX Fast 服務後，收斂時間即可改善至 1 分鐘內（右圖）。



圖四.4 Trimble RTX 與 Trimble RTX Fast 的收斂時間

(<https://www.xyht.com/gnsslocation-tech/survey-grade-ppp/>)

同時根據 Trimble 官方資訊指出，Trimble RTX Fast 服務可大幅減少 Trimble RTX 服務所收斂時間，對於達到 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。除此之外，可支援 Trimble RTX Fast 服務的 GNSS 接收儀包括了 R2、R9s、R10、R12、Alloy 等 Trimble 品牌之接收儀，或是有安裝 Trimble RTX Auto Software Library 軟體的其他品牌接收儀(Trimble, 2020)。Trimble 官方於 2020 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。

4.1.2 CLAS

日本政府的 National Space Policy Secretariat, Cabinet Office 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。

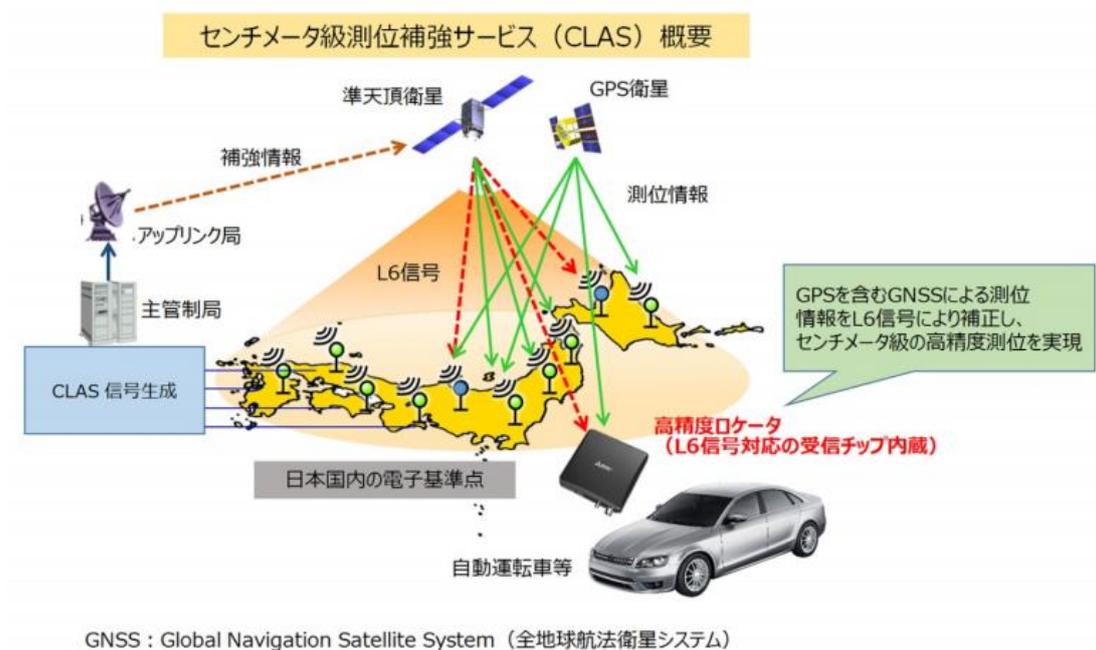
(https://qzss.go.jp/en/overview/notices/clas_200619.html)。

CLAS 利用全球網以及日本國內的 CORS 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(Cozzens, 2020)。根據 Wübbena and Wübbena (2017)的敘述，CLAS 產製 SSR 改正訊息時採用的工具是德國 Geo++公司發展的 GNSMART2 軟體(參考 4.1.5 節)，但是這點尚無法從 CLAS 官方文件中獲得核實。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。CLAS 的服務架構如圖 4.5 所示。

CLAS 是日本政府提供的 PPP-RTK 服務，只提供服務於日本本土區域。在考量到全球定位服務時，日本的 Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)則提供了一個公分級 SSR 服務，稱為 MADOCA (Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis)，但是只能提供 PPP 服務，無法提供 PPP-RTK 服務。

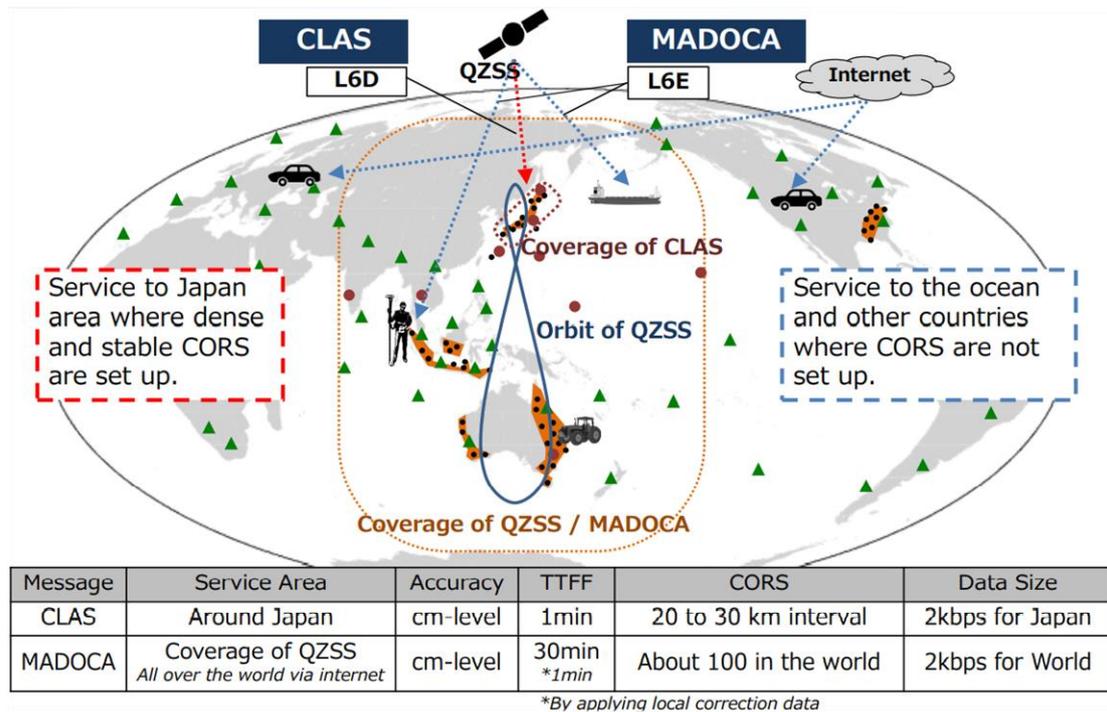
(https://ssl.tksc.jaxa.jp/madoca/public/public_index_en.html)

MADOCA 是一個可經由網際網路涵蓋全球的服務，因為它採用了大約 100 個分布於全球的 CORS 站。如圖 4.6 所示，MADOCA 的收斂時間需要 15 分鐘以上才能可達到公分級的定位精度，相較之下，CLAS 則是可在 1 分鐘左右就獲得公分級定位精度。MADOCA 提供了三星系的即時改正訊息，包含 GPS、GLONASS 以及 QZSS，此外在亞太地區 MADOCA 還可以透過 QZSS 衛星的 L6E 波段將改正訊息傳輸給使用者(利用 RTCM SSR 格式)，亞太地區以外的地方則能利用網路傳輸改正訊息給全球的使用者 (Iotake, 2018)。



圖四.5 CLAS 架構

(<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2016/0930.html>)



圖四.6 MADOCA 與 CLAS 之比較 (Iotake, 2018)

由於 CLAS 採用了 Compact SSR 格式，因此接收儀必須要支援此格式才可獲取其 PPP-RTK 定位服務，例如日本三菱電機(Mitsubishi Electric)以及 Magellan Systems Japan 所發表的可支援 CLAS 之接收儀。依據 Iotake (2018)，這類接收儀可以接收多星系之多頻觀測量，並可以透過網路和 QZSS 的 L6D 波段接收 SSR 即時改正訊息。圖 4.7 以及圖 4.8 分別展示了 Magellan Systems Japan 接收儀的主機板以及外型。



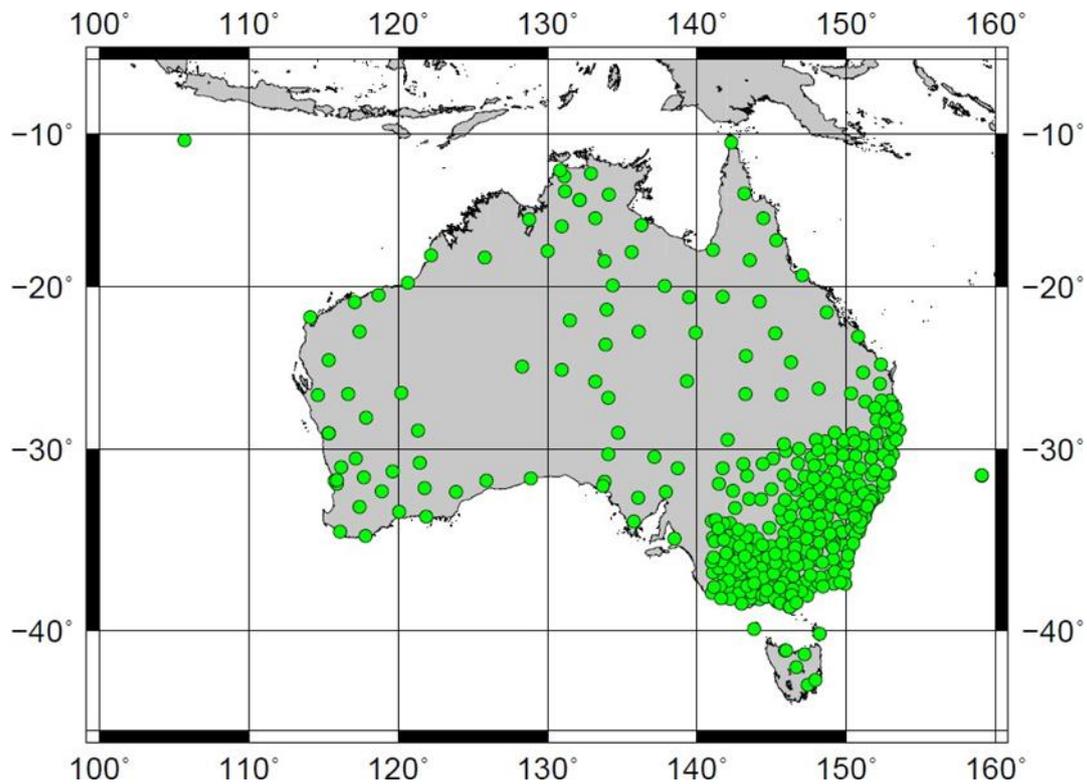
圖四.7 Magellan Systems Japan 接收儀之主機板 (Iotake, 2018)



圖四.8 Magellan Systems Japan 接收儀 (Iotake, 2018)

4.1.3 Positioning Australia

澳洲政府從 2018 年起投資 2.249 億澳元發展 Positioning Australia 精密定位服務，圖 4.9 顯示其使用的區域 CORS 網。Positioning Australia 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，詳細資訊可參閱官方網址。<https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/positioning-australia>)。由於澳洲政府投資在 Positioning Australia 服務的金額很高，據了解其核心技術是由澳洲政府自主開發及維護。



圖四.9 Positioning Australia 使用的區域 CORS 站分布圖 (澳洲部分)

(Hu and Dawson, 2018)

澳洲政府並在 2020 年 2 月與紐西蘭政府建立合作關係，共同發展 Positioning Australia 服務中經由通訊衛星傳送改正訊息的 SBAS (Satellite-Based Augmentation System) 部分，將之命名為 SouthPAN (Southern Positioning Augmentation Network)，因此 SouthPAN 的服務範圍將會涵蓋澳洲及紐西蘭地區。

4.1.4 Hexagon RTK From the Sky

瑞典 Hexagon 集團旗下的加拿大 NovAtel 公司目前提供服務範圍涵蓋全球的公分級 PPP 服務，分別利用 TerraStar-C Pro 以及 TerraStar-X 兩種 SSR 誤差改正方式，兩種方式之比較可見表 4.1。

TerraStar-C Pro 提供四星系的全球 PPP 服務，並且是使用了全球(global)網來產生與衛星有關之誤差狀態參數。TerraStar-X 則更進一步地利用區域(regional)網來計算電離層以及對流層的誤差狀態參數，以實現雙星系的 PPP-RTK 定位，並且支援以通訊衛星方式傳輸誤差狀態參數訊息。表 4.1 中顯示 TerraStar-C Pro 服務需要 18 分鐘以內的時間才可達到 95%水平定位誤差 3 公分之精度，而 TerraStar-X 則只需 1 分鐘以內的時間就可達到 95%水平定位誤差 2.5 公分之精度，效率明顯有大幅的提升。

表四.1 TerraStar-C Pro 以及 TerraStar-X 之比較 (Hexagon, 2019)

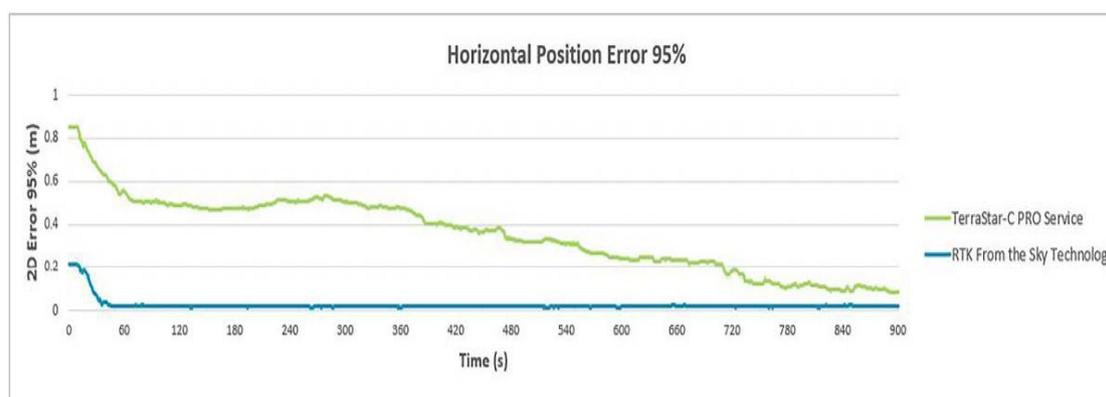
SERVICE LEVELS

PERFORMANCE	TerraStar-X	TerraStar-C PRO
Horizontal Accuracy	2 cm (RMS) 2.5 cm (95%)	2.5 cm (RMS) 3 cm (95%)
Vertical Accuracy	5 cm (RMS)	5 cm (RMS)
Convergence Time	< 1 min	< 18 min
Supported GNSS	GPS/GLO	GPS/GLO/GAL/BDS
Supported Platform	OEM7	OEM7
Coverage Area	Regional	Global

1. TerraStar-L is available on OEM628™, FlexPak6™, SMART6-L™, SMART2™ and all OEM7 products.

Hexagon 公司近期推出新的全球 PPP 服務，稱之為 RTK From the Sky，目標是在只使用全球網的情況下，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。RTK From the Sky 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(Hexagon, 2020)。由於 RTK From the Sky 沒有利用區域 CORS 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。根據 Hexagon 公司在加拿大卡加利(Calgary)的測試成果(圖 4.10)，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。相對地，TerraStar-C Pro 的 PPP 服務則需要花費 15 分鐘以上的時間才能達到類似的精度水平。因此說明了 RTK From the Sky 雖然是屬於 PPP 服務，但是其收斂速度可以接近 PPP-RTK 服務。



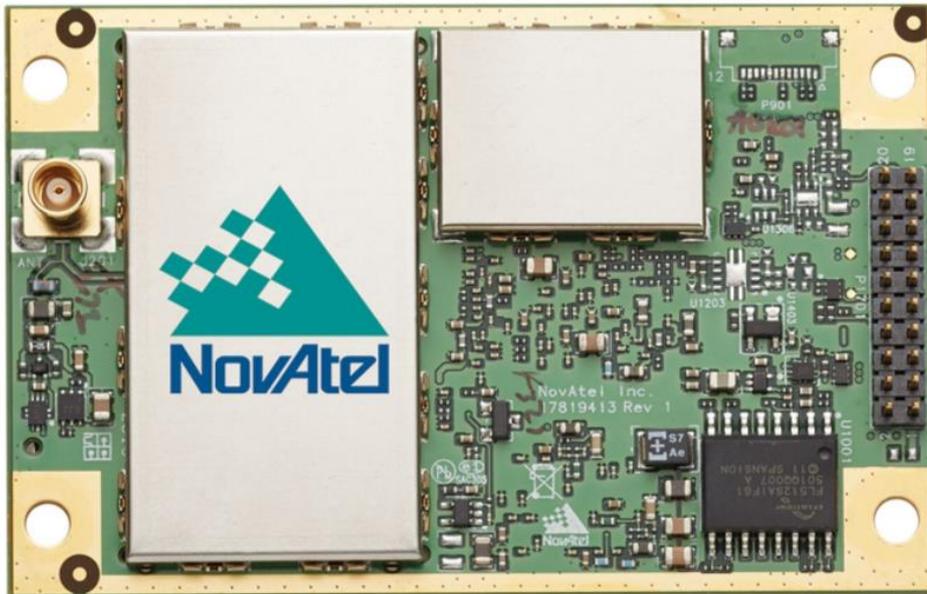
圖四.10 兩種服務的 95%水平定位誤差收斂時間圖 (Hexagon, 2020)

圖 4.11 顯示 RTK From the Sky 服務在全球均勻分布的 21 個透空度良好的靜態測試站測試成果。根據圖 4.11，其中有 90%的測站(綠點)能夠在 1 分鐘以內完成收斂並達到公分級定位精度，剩下的 10%測站(藍點)則是能夠在 3 分鐘以內完成收斂並達到公分級定位精度。



圖四.11 RTK From the Sky 全球測試成果 (Hexagon, 2020)

依據 Hexagon 公司的回覆說明，只有 OEM 7 系列以上的主機板方可支援 RTK From the Sky 定位功能。圖 4.12 為一款 OEM 7 系列之主機板。



圖四.12 NovAtel OEM719 主機板
(<https://novatel.com/products/receivers/gnss-gps-receiver-boards/oem719>)

4.1.5 Geo++ GNSMART2

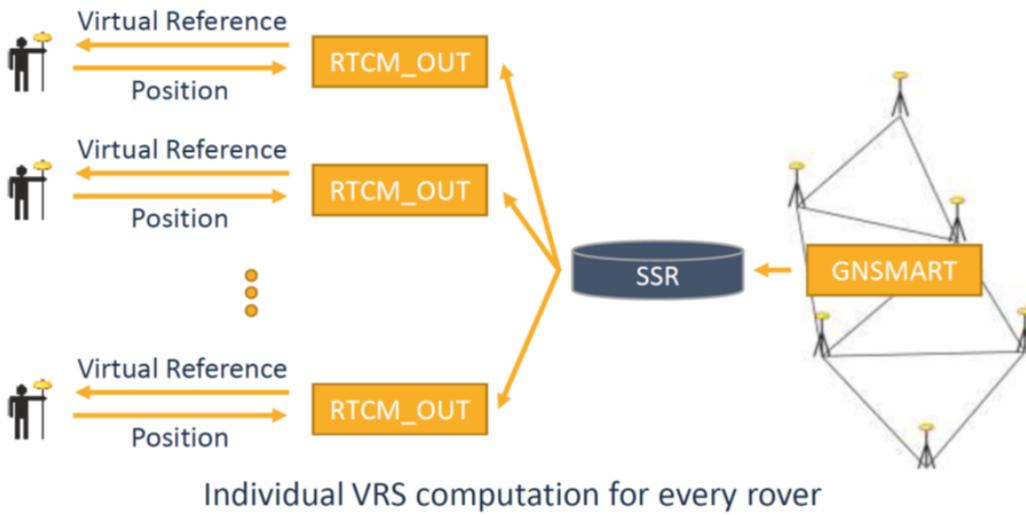
德國 Geo++公司在 GNSS 訊號處理市場已有多年的發展基礎，GNSMART2 是 Geo++為了拓展 PPP-RTK 服務所發展的一套軟體，此套軟體能幫助產業界及學界實現 SSR 技術，同時 GNSMART2 還能支援多種公開格式，例如 IGS SSR、Compact SSR、SPARTN 等，可參考 4.1.6 節。GNSMART2 的概念如圖 4.13 所示，它使用了 CORS 網產生出誤差狀態參數，最後將其 SSR 訊息傳送給使用者。



圖 4.13 GNSMART2 資料傳播架構(Wübbena and Wübbena, 2017)

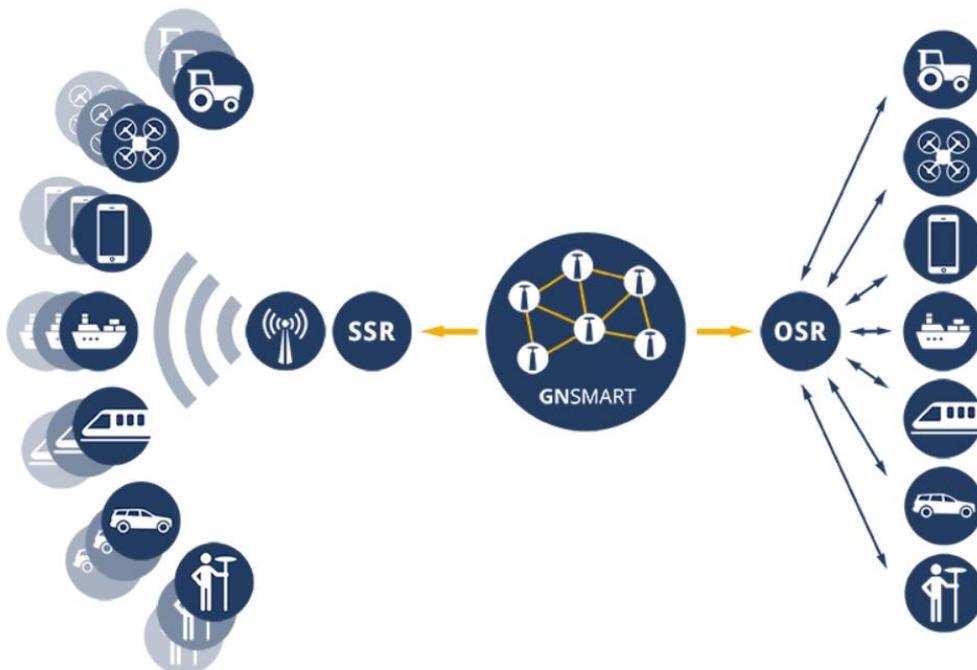
此外 GNSMART2 可進行 SSR 與 OSR 之間的轉換，以供不支援 SSR 訊息的接收儀進行 Network RTK 定位，如圖 4.14 所示。

Typical way of network RTK data dissemination



圖四.14 Network RTK 服務方式(Wübbena and Wübbena, 2017)

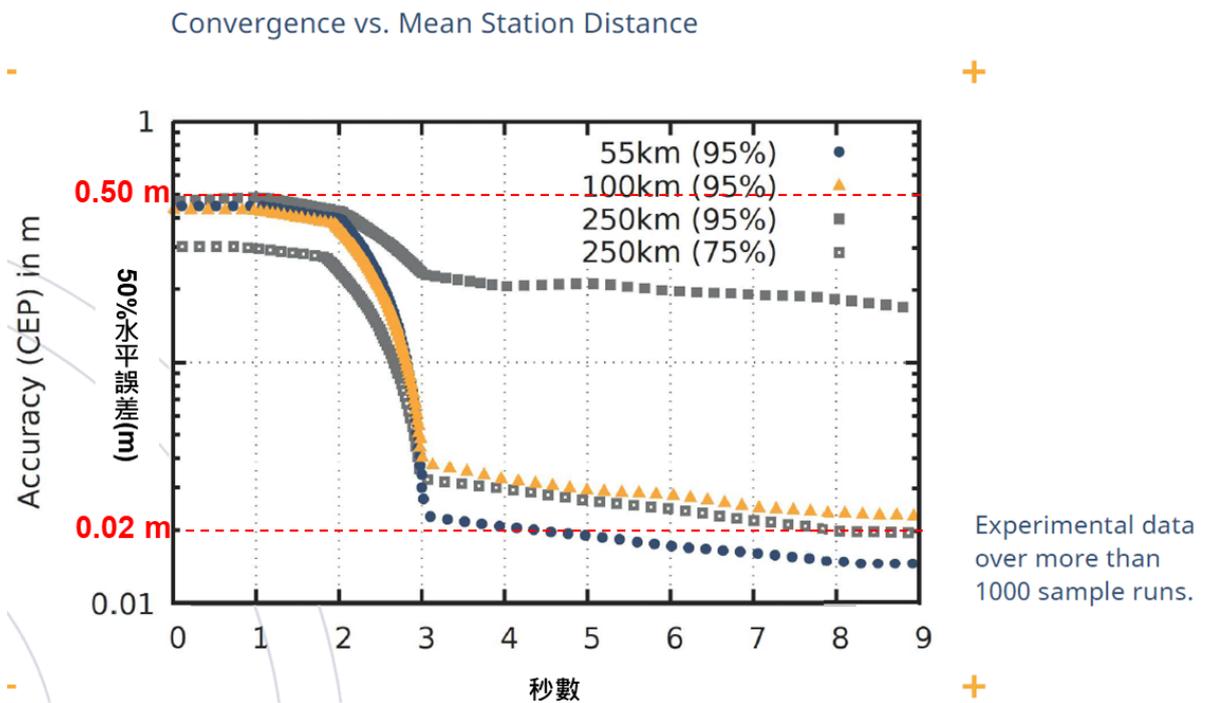
如此，GNSMART2 便能夠擴展使用者的類型，如圖 4.15 所示。



圖四.15 GNSMART2 可擴展服務的對象

(<https://www.geopp.de/gnsmart-for-ssr-broadcast/>)

根據 Geo++ 官方所提供的定位性能資訊，在基準站平均間距為 55 公里的情況下，GNSMART2 大約在數秒內即可收斂至公分級定位精度(50%水平誤差)，如圖 4.16 所示。



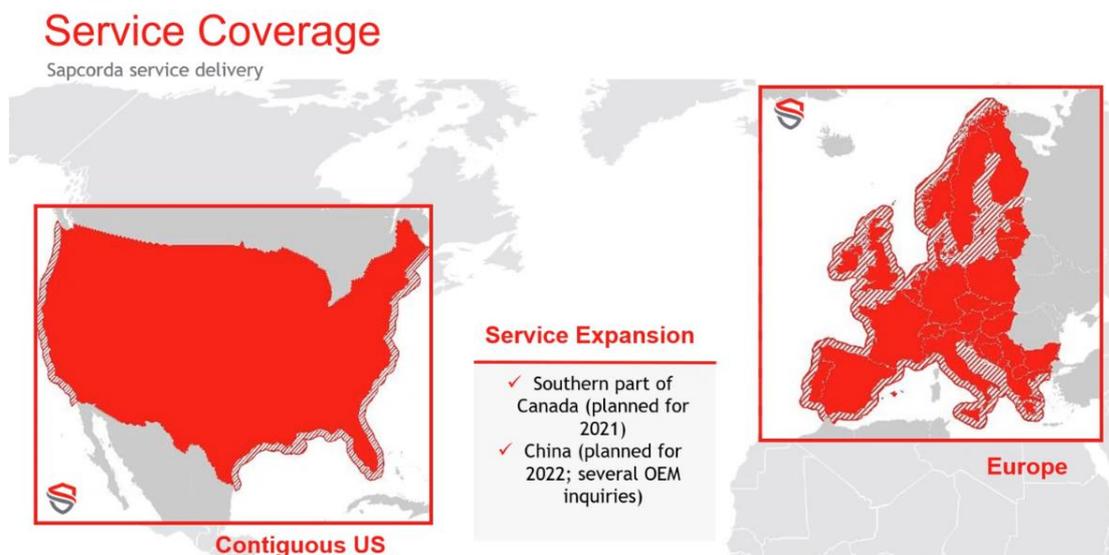
圖四.16 GNSMART 2 定位性能

(<https://geososo.com/prdt/pdf/Learn%20about%20GNSMART.pdf>)

GNSMART2 的應用範例之一是 u-blox 公司的 PointPerfect 服務 (<https://www.u-blox.com/en/product/pointperfect>)。這項服務最早是由德國 Sapcorda 公司所推出，原本的名稱是 SPARTN PPP-RTK。Sapcorda 公司是 2017 年由 Geo++、u-blox、Bosch、三菱電機共組的合資公司，之後被 u-blox 收購。u-blox 在獲得 Sapcorda 的所有權後，便於 2021 年將 SPARTN PPP-RTK 服務正式更名為 PointPerfect，這項服務是專

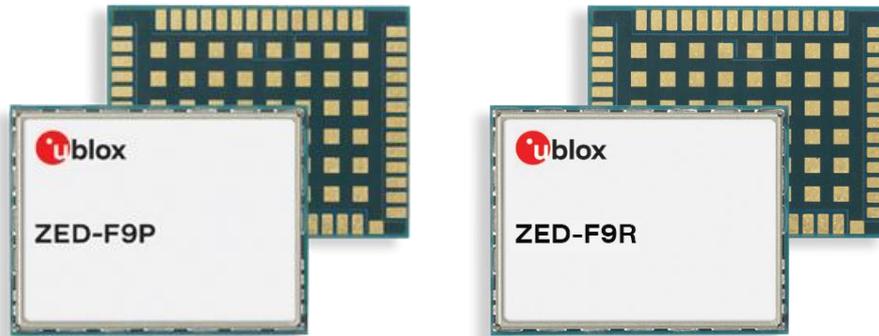
為工業和汽車市場量身打造的，可透過通訊衛星及網際網路傳送 SSR 改正訊息，目前服務地區涵蓋了歐美地區多個國家，如圖 4.17 所示。

根據台灣 u-blox 公司的回覆說明，PointPerfect 可以支援多星系的觀測量，服務範圍除了陸地外亦包含 12 海里之近海區域。目前的服務地區以歐洲及美國為主，預期將來會逐步擴展至加拿大南部以及中國大陸。



圖四.17 PointPerfect 的服務地區(資料來源：Taiwan u-blox)

PointPerfect 是 u-blox 公司對於 PPP-RTK 服務的實現。最新的 u-blox F9 接收模組已可支援 PointPerfect 服務，搭載 ZED-F9P 或 ZED-F9R 定位晶片，可以接收多星系(GPS、GLONASS、Galileo、BDS、QZSS)的觀測量。圖 4.18 為 ZED-F9P 以及 ZED-F9R 定位晶片；圖 4.19 為 ZED-F9P 接收模組。



圖四.18 ZED-F9P 以及 ZED-F9R 的晶片，根據產品規格，這兩種晶

片都支援 PPP-RTK 服務，詳細規格可參閱：

ZED-F9P <https://www.u-blox.com/en/product/zed-f9p-module>

ZED-F9R <https://www.u-blox.com/en/product/zed-f9r-module>



圖四.19 ZED-F9P 之接收模組，代號 C099-F9P，詳細規格可參閱：

<https://www.u-blox.com/en/product/c099-f9p-application-board>

4.1.6 國際間 PPP-RTK 應用現況

國外已有部份地區支援 PPP-RTK 服務，包含北美、歐洲及日本等地，並在大眾市場上有多項應用。European GNSS Agency (2019)指出 PPP-RTK 的應用包含有礦業、航空與陸地交通、地理資訊系統、大眾運輸、海洋定位、精密農業等，未來甚至可包含手機定位、地圖製作及自主導航等。由於 PPP-RTK 大幅降低了 PPP 所需之收斂時間，因此在礦業上可以避免機械操作造成的失誤、在交通上可以使導航成果更可靠、在大眾運輸上可以降低精密定位的成本、在精密農業上可以提高土地和農藥的使用效率、在海洋定位上可以減少船隻的油耗，在地理資訊系統上可以增加空間資料收集的效率。

以下介紹兩個 PPP-RTK 的大眾市場應用實例。第一個例子是 Trimble 公司與美國凱迪拉克(Cadillac)汽車公司合作，在凱迪拉克 CT6 以上車款的自動輔助駕駛 Super Cruise 系統採用 Trimble RTX 服務提供精確定位，並且結合高精地圖、攝影機、雷達感測器和慣性感測器設備，實現自動輔助駕駛性能(<https://www.cadillac.com/world-of-cadillac/innovation/super-cruise>)。凱迪拉克的 Super Cruise 系統可提供在美國和加拿大主要高速道路的 Hands-free Driving 自動駕駛服務，如圖 4.20 所示。綠色路線為原有的 21 萬公里 Super Cruise 適用道路；藍色路線為近期額外新增的適用道路。



圖 4.20 美國、加拿大地區支援 Super Cruise 的道路

(<https://www.cadillaccanada.ca/en/ownership/vehicle-technology/supercruise>)

第二個應用實例是日本新能源與產業技術開發中心(New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO)在 2019 年發布的無人機實驗。本實驗使用 CLAS 的 PPP-RTK 服務，對無人機進行自主飛行控制，在埼玉縣熊谷市熊谷體育文化公園的彩之國熊谷巨蛋執行自主飛行與精確降落實驗。實驗的無人機上裝置有三菱電機生產的 GNSS 衛星接收儀(圖 4.21)，可支援 CLAS 服務以及接收 GPS、Galileo、QZSS 多星系觀測量。無人機運載物品，從起點出發飛行到精準降在指定目標上，準確且安全地將物品送達目的地。從實驗成果可看出，無人機使用 CLAS 的 PPP-RTK 定位功能，可在沒有攝影裝置輔助的情況下精確完成任務

(https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101119.html；宮本和彥，

2019)。



圖 四.21 三菱電機 GNSS 衛星接收儀(AQLOC-VCX)

(<https://www.mitsubishielectric.co.jp/esg/aqloc/products/vcx/index.html>)

在 PPP-RTK 的限制因素方面，由於計算、產製及傳送 SSR 改正訊息都需要時間，因此導致 PPP-RTK 在實際應用時會受到所謂的訊號延遲(latency 或 time lag)影響。根據 CLAS 官方網站資訊，經由 QZSS 衛星傳送 SSR 改正訊息的 latency 數值約在 10~20 秒之間 (https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv06_clas.html)，因此建議直接使用 CLAS 於在廠區(plant sites)和農場(farms)運作的載具，但對於行駛在公共道路(public roads)上的載具來說，建議將 CLAS 作為輔助(auxiliary)用途。此外國外文獻亦曾指出可藉由多星系及多頻率的觀測量來降低 latency 產生的實際影響(Khodabandeh, 2021)。

另一個限制因素是接收儀的數據輸出頻率，但由於現今的接收儀普遍能夠支援 1 Hz (或更高)的觀測數據輸出頻率，對於一般行駛速率的行動載具來說應已足夠。

4.2 國際間 PPP、PPP-RTK 使用之公開資料格式

目前國際上並無統一的 SSR 資料格式可供 PPP 及 PPP-RTK 同時使用，各機構提供之 PPP 與 PPP-RTK 服務有其各自的 SSR 格式 (Hirokawa and Fernandez-Hernandez, 2020)，例如前面章節介紹的 Trimble RTX Fast 以及 Hexagon RTK From the Sky 使用的都是屬於非公開的內部 SSR 格式，而 CLAS 以及 Positioning Australia 使用的 Compact SSR 和 RTCM SSR 則是屬於公開(open)格式。以下介紹目前國際上使用的幾種公開格式。

4.2.1 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相關資料來實現 PPP-RTK 服務;

4. 壓縮資料大小。目前 RTCM SSR 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(RTCM Special Committee, 2016)，因此 RTCM SSR 只完成到第一階段 (International GNSS Service, 2020)。雖然目前 RTCM SSR 只完成到第一階段的 PPP，但是依據 RTCM SC104 中四階段的安排，未來 RTCM SSR 將能夠支援 PPP-RTK 服務，同時也會是國際的統一格式。另外，為了擴充 BDS、Galileo 以及 QZSS 的 RTCM SSR，RTCM SC104 於 2015 年曾經提出了 BDS、Galileo 以及 QZSS 的 SSR 格式服務建議書，文中有說明了 BDS、Galileo 以及 QZSS 的 SSR 格式之第一階段，並且列出了它們的 message types (RTCM Special Committee, 2015)，表 4.2 列出其服務建議書中之 GPS、GLONASS、Galileo 以及 BDS 之 RTCM SSR 內容，包含了 message types 以及傳輸大小。QZSS RTCM SSR 的 message types 分別為 1246~1250，目前已被日本的 MADOCA 先行採用(JAXA, 2017)，可參閱 4.1.2 節。

表四.2 RTCM SSR 內容 (Nie et al., 2020)。

Message type	Message name	Size of header part (bits)	Size of body part (bits)
1057	SSR GPS Orbit Correction	68	135*Ns
1058	SSR GPS Clock Correction	67	76*Ns
1060	SSR GPS Combined Orbit and Clock Corrections	68	205*Ns
1063	SSR GLONASS Orbit Correction	65	134*Ns
1064	SSR GLONASS Clock Correction	64	75*Ns
1066	SSR GLONASS Combined Orbit and Clock Corrections	65	204*Ns
1240	SSR Galileo Orbit Correction	68	137*Ns
1241	SSR Galileo Clock Correction	67	76*Ns
1243	SSR Galileo Combined Orbit and Clock Corrections	68	207*Ns
1258	SSR BDS Orbit Correction	68	161*Ns
1259	SSR BDS Clock Correction	67	76*Ns
1261	SSR BDS Combined Orbit and Clock Corrections	68	231*Ns

* “Ns” denotes “number of satellites”

4.2.2 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。IGS SSR 能與 RTCM 兼容，並且是 RTCM 中的信息類型 4076。根據 4.8.1 節中的 RTCM SSR 的四階段進程，IGS SSR 已經建立至第二階段並且是多星系 GNSS 的誤差改正訊息 (International GNSS Service, 2020)。

4.2.3 Compact SSR

Compact SSR 是一個頻寬效益優化的 SSR 格式，在設計概念包含了三點，1. 衛星波段服務(例如，SSR 傳輸)的最佳化壓縮呈現，2. 提供支援 PPP-RTK 的大氣改正訊息，3. 提供品質指標的保護機制於使用者端。Compact SSR 的目標雖然是設計給 CLAS 所使用，但是設計上依然可以給予其他 PPP-RTK 服務採用 (Hirokawa et al., 2020)。Compact SSR 能與 RTCM 相容，目前在 RTCM 中被定義為信息類型 4073 下的一個相容的專屬信息 (proprietary message)。與 RTCM SSR 相比，Compact SSR 能更提升 70%的效率於全球 PPP 服務(Hirokawa et al., 2016)。為實現 PPP-RTK，Compact SSR 在大氣誤差改正的設計上是以 Slant TEC (STEC)以及對流層的乾濕延遲量為主，並且以網格的方式呈現於使用者端。

4.2.4 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，因此被中低價位接收模組廠商 u-blox 及 septentrio 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，隨即會再公開 BDS、Galileo、QZSS 之相關格式。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 定位服務。目前 SPARTN 格式主要使用於 PointPerfect 服務，請參閱 4.1.5 節。

4.2.5 BDS PPP SSR

BDS PPP 是 BDS 衛星對於中國大陸以及鄰近地區提供的 PPP 服務名稱，而其所採用的 SSR 格式也為一種開放格式。BDS PPP SSR 利用 BDS 三代的 GEO 衛星傳輸，使用頻段為 B2b。目前已定義了 BDS 三代衛星以及 GPS 改正訊息之相關之格式，未來會再加入其他星系之格式 (中國衛星導航系統管理辦公室，2020)。最後，RTCM SSR、IGS SSR、Compact SSR、SPARTAN 以及 BDS PPP SSR 的比較如表 4.3 所示。

表四.3 國際上 SSR 公開格式之比較 (G: GPS, E: Galileo, C: BDS, J: QZSS, R: GLONASS, S: SBAS; ()):未來將加入)
(Hirokawa and Fernández-Hernández, 2020)

	RTCM SSR	IGS SSR	Compact SSR	SPARTN	BDS PPP SSR
依據 RTCM 結構	✓	✓	✓	X	X
支援星系	GR(EJCS)	GR(EJCS)	GREJCS	GR(EJC)	GC(ER)
軌道、時鐘誤差改正訊息	✓	✓	✓	✓	✓
衛星電碼偏差改正訊息	✓	✓	✓	✓	✓

衛星相位偏差改正訊息	(✓)	✓	✓	✓	X
對流層改正訊息	X	X	✓	✓	X
電離層改正訊息 (Slant TEC)	X	X	✓	✓	X
電離層改正訊息 (Vertical TEC)	(✓)	✓	X	✓	X

4.3 臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性研究

4.1 節已經介紹國際上主要的 PPP-RTK 服務與伺服器軟體，包含美國 Trimble 公司發展的 RTX Fast 服務、日本政府發展的 CLAS 服務、澳洲政府發展中的 Positioning Australia 服務、瑞典 Hexagon 集團與旗下 NovAtel 公司發展的 RTK From the Sky 服務(技術上屬於 PPP，但在效率表現上接近 PPP-RTK，因此列入 PPP-RTK 服務的特殊案例)，以及德國 Geo++公司發展的 GNSMART2 伺服器軟體。

4.3.1 國際間 PPP-RTK 服務之資料蒐集

為探討臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性，本研究首先針對 4.1 節所蒐集之各類服務/軟體資料並根據 1.2 節工作項目二之內容，整理分析於表 4-4。

表四.4 各種 PPP-RTK 服務模式之比較

技術與服務 提供模式	資料傳輸格式	使用者端定位 設備相容性	預估建置/保固 經費
RTX Fast (PPP-RTK)	Trimble 內部格式	Trimble 接收儀 或安裝 Trimble RTX Auto 軟體 的其他品牌接收 儀	原廠回覆擬與 國土測繪中心 進一步協商後 再行報價
CLAS (PPP-RTK)	Compact SSR	支援 Compact SSR 的接收儀	臺日政府協商
Positioning Australia (PPP-RTK)	Compact SSR、 RTCM SSR	支援 Compact SSR、RTCM SSR 的接收儀	臺澳政府協商
RTK From the Sky (PPP)	NovAtel 內部格式	配備 NovAtel OEM 7 以上版本 主機板的接收儀	不需使用臺灣 CORS 網即可 提供服務，也 不需在臺灣境

			內設置伺服器
GNSMART2 (PPP-RTK)	Compact SSR、 SPARTN、SSRZ	支援 Compact SSR 或 SPARTN 或 SSRZ 的接收 儀	原廠報價約 10 萬歐元 (SSR- only 版本)

由表 4-4 可知，使用者端設備所支援的資料傳輸格式是重要的影響因素。由於國際上 PPP-RTK 服務使用的改正訊息格式並不一致，導致了現行 PPP-RTK 服務多為專屬的(proprietary)，亦即不同服務模式所支援的 SSR 訊息格式及使用者端設備不盡相同。

根據 Trimble 原廠說明，RTX Fast 所採用的 SSR 訊息格式為 Trimble 內部專有的 CMRx 格式，而這種格式除了可被 Trimble 接收儀支援外，也可以被安裝 Trimble RTX Auto Software Library 的其他品牌 GNSS 接收儀所支援。

日本 CLAS 所採用的訊息格式是由三菱電機發展的 Compact SSR 訊息格式，是一種公開的格式，因此目前這種格式可被日本主流品牌的 GNSS 接收儀所支援。

在澳洲 Positioning Australia 方面，經過請教 Geoscience Australia 內部研發人員，澳洲方面目前傾向採用與 CLAS 一致的 Compact SSR 格式來支援 PPP-RTK 服務。同時由於 RTCM SSR 是國際標準格式，雖然目前它只能支援 PPP 而無法支援 PPP-RTK，澳洲方面也考慮採用 RTCM SSR 格式來支援其 PPP 服務。

Hexagon 和旗下 NovAtel 公司所發展的 RTK From the Sky 對於使用者端設備的要求是必須配備 NovAtel OEM 7 以上主機板的接收儀才能支援這項服務。RTK From the Sky 在本質上是屬於全球性 PPP 服務，因此不需要區域 CORS 網的輔助，但其定位效能可以接近 PPP-RTK。

Geo++ GNSMART2 伺服器軟體具備輸出數種公開的 SSR 訊息格式之功能，包含 RTCM SSR (可支援 PPP)、IGS SSR (可支援 PPP，IGS RTS 採用)、Compact SSR(可支援 PPP-RTK, CLAS 採用)、SPARTN (可支援 PPP-RTK) 以及 SSRZ (可支援 PPP-RTK，Geo++自行定義的格式)，故理論上輸出的 PPP-RTK 改正訊息可以支援數個不同品牌的 GNSS 接收儀，包含了三菱電機與 Magellan (Compact SSR 相容)、u-blox 與 septentrio (SPARTN 相容)。

在預估經費方面，依照國土測繪中心對於國內 CORS 站即時觀測資料的資訊安全要求，負責處理國內 CORS 站觀測資料及產生 SSR

改正訊息的伺服器必須設置於境內。由於 CLAS 及 Positioning Australia 是分別由日本及澳洲政府出資與經營的服務，其伺服器目前設置地點應當位於日本及澳洲境內，因此需透過政府協商來確定引進其設備所需之經費。

Geo++公司針對 GNSMART2 軟體(SSR-only 版本)的初步報價為約 10 萬歐元。經本團隊委請 Trimble 公司針對 RTX Fast 進行報價，原廠回覆希望與國土測繪中心進一步協商後再行報價。此外在 RTK From the Sky 方面，由於其定位服務不須使用國土測繪中心的 CORS 網即可運作，也不需在臺灣境內建置伺服器，因此理論上國土測繪中心不需支付建置及保固經費。

4.3.2 臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性分析

為分析臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性，本研究根據 4.1 節之內容與 1.2 節之工作項目二，比較分析不同 PPP-RTK 服務/軟體在管理者端所產生的影響，列於表 4.5。

表四.5 比較不同 PPP-RTK 服務/軟體在管理者端之影響

服務/軟體	提供服務/營運之模式	與 e-GNSS 系統營運之比較 對 e-GNSS 系統營運之影響
RTX Fast	PPP-RTK 服務	<ol style="list-style-type: none"> 1. 與 e-GNSS 平行營運 2. 若 RTX Fast 之收費標準低於 e-GNSS，部分現有 e-GNSS 用戶可能轉而使用 PPP-RTK 服務 3. 由於 RTX Fast 是採取硬體/韌體認證方式向用戶收取服務費用(license fee)，國土測繪中心可能需轉為向廠商收費
CLAS	PPP-RTK 服務	<ol style="list-style-type: none"> 1. 與 e-GNSS 平行營運 2. CLAS 在日本是免費服務，若在引進臺灣後依然維持免費，部分現有 e-GNSS 用戶可能轉而使用 PPP-RTK 服務

Positioning Australia	PPP-RTK 服務	<ol style="list-style-type: none"> 1. 與 e-GNSS 平行營運 2. Positioning Australia 在澳洲是免費服務，若在引進臺灣後依然維持免費，部分現有 e-GNSS 用戶可能轉而使用 PPP-RTK 服務
RTK From the Sky	定位效能接近 PPP-RTK 之 PPP 服務	<ol style="list-style-type: none"> 1. 與 e-GNSS 平行、獨立營運，不需使用區域 CORS 網即可運作 2. 部分使用 NovAtel OEM 7 以上主機板的現有 e-GNSS 用戶可能轉而使用此服務 3. 由於 RTK From the Sky 不需使用臺灣 CORS 網即可提供服務，國土測繪中心可能缺乏向廠商及用戶收取費用的立場

GNSMART2	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同時提供 Network RTK 以及 PPP-RTK 服務 2. 僅提供 PPP-RTK 服務 	<ol style="list-style-type: none"> 1. GNSMART2 可同時產生 OSR 及 SSR 改正訊息，故理論上可以同時提供 Network RTK 以及 PPP-RTK 服務，但其 Network RTK 定位精度與效能仍有待進一步實測評估，才能夠與現有 e-GNSS 系統進行完整的比較 2. 亦可採取與 e-GNSS 平行營運方式進行，僅提供 PPP-RTK 服務 3. 當與 e-GNSS 平行營運時，部分現有 e-GNSS 用戶可能轉而使用 PPP-RTK 服務
----------	--	---

由 4.5 表可知，因為上述大多數服務僅支援 SSR 用戶，臺灣地區目前建置 PPP-RTK 服務較為可行的方式應是與 e-GNSS 服務平行營運。GNSMART2 可以同時產生 OSR 及 SSR 改正訊息，但其 Network

RTK 定位精度與效能仍有待進一步實測評估，才能夠與現有 e-GNSS 系統營運進行完整的比較。採取平行營運方式的優點是現有 e-GNSS 營運模式與使用者將可完全不受到新增 PPP-RTK 服務的影響，缺點則是新增的 PPP-RTK 服務可能會增加營運成本。

在傳送改正訊息通訊途徑方面，SSR 訊息雖然可透過通訊衛星傳遞，但由於目前臺灣並未擁有自己的通訊衛星，而租借他國通訊衛星頻道的費用很高，成本上較不划算，因此目前應是僅以透過網路行動通訊(4G/5G)方式傳遞比較合適。

國家太空中心近期正在規劃我國自主發展的低軌衛星群(LEO constellation)計畫，如果將來此衛星計畫可以順利成立且納入 L 波段通訊功能，則可考慮增加以衛星通訊的方式經由自主低軌衛星群傳遞 SSR 改正訊息。

接著比較分析不同 PPP-RTK 服務/軟體對於使用者端產生的影響，列於表 4.6。

表四.6 比較不同 PPP-RTK 服務/軟體在使用者端之影響

服務/軟體	對現有 e-GNSS 系統 使用者端設備支援性	未來使用者端設備 可能遭遇之問題
RTX Fast	支援 Trimble 接收儀或安裝 Trimble RTX Auto 軟體的其他品牌接收儀	未安裝 RTX Auto 軟體的非 Trimble 接收儀無法使用
CLAS	支援使用 Compact SSR 訊息格式的接收儀(如三菱電機、Magellan)	與 Compact SSR 訊息不相容的接收儀無法使用
Positioning Australia	支援使用 Compact SSR 訊息格式的接收儀	與 Compact SSR 訊息不相容的接收儀無法使用
RTK From the Sky	支援使用 NovAtel OEM 7 以上主機板的接收儀(如 NovAtel、Leica)	非 NovAtel OEM 7 以上主機板的接收儀無法使用；使用者可能無法直接透過 RTCM 即時坐標轉換獲得定義於法定系統之坐標

GNSMART2	支援使用 Compact SSR 或 SPARTN 或 SSRZ 訊息格式的接收儀(如三菱電機、Magellan、u-blox、septentrio)	與左方所列 SSR 訊息不相容的接收儀無法使用
----------	---	-------------------------

對使用者端設備而言，用戶使用之設備必須是 SSR 訊息相容的接收儀，才能夠支援 PPP-RTK 服務。在現有的 e-GNSS 使用者設備中，Trimble 接收儀或是安裝 Trimble RTX Auto 軟體的其他品牌接收儀可以支援 RTX Fast；三菱電機、Magellan 接收儀與其他 Compact SSR 訊息相容的接收儀可以支援 CLAS 與 Positioning Australia；使用 NovAtel OEM 7 以上主機板的接收儀(如 NovAtel、Leica)可以支援 RTK From the Sky；此外三菱電機與 Magellan (Compact SSR 相容)、u-blox 與 septentrio (SPARTN 相容)等接收儀可以支援 GNSMART2。而在使用者端設備價格方面，各品牌接收儀售價不盡相同，若以支援 SPARTN 格式 PPP-RTK 服務的 u-blox F9P 接收儀為例，目前 Digi-Key 電子元件經銷商的標價約為台幣 8500 元。<https://www.digikey.tw/product-detail/zh/u-blox/C099-F9P-0/672-C099-F9P-0-ND/12091860>)。

在使用者端未來可能遭遇的問題方面，除了使用者端設備必須是與指定 SSR 訊息相容的接收儀外，由於 PPP-RTK 服務所提供的定位

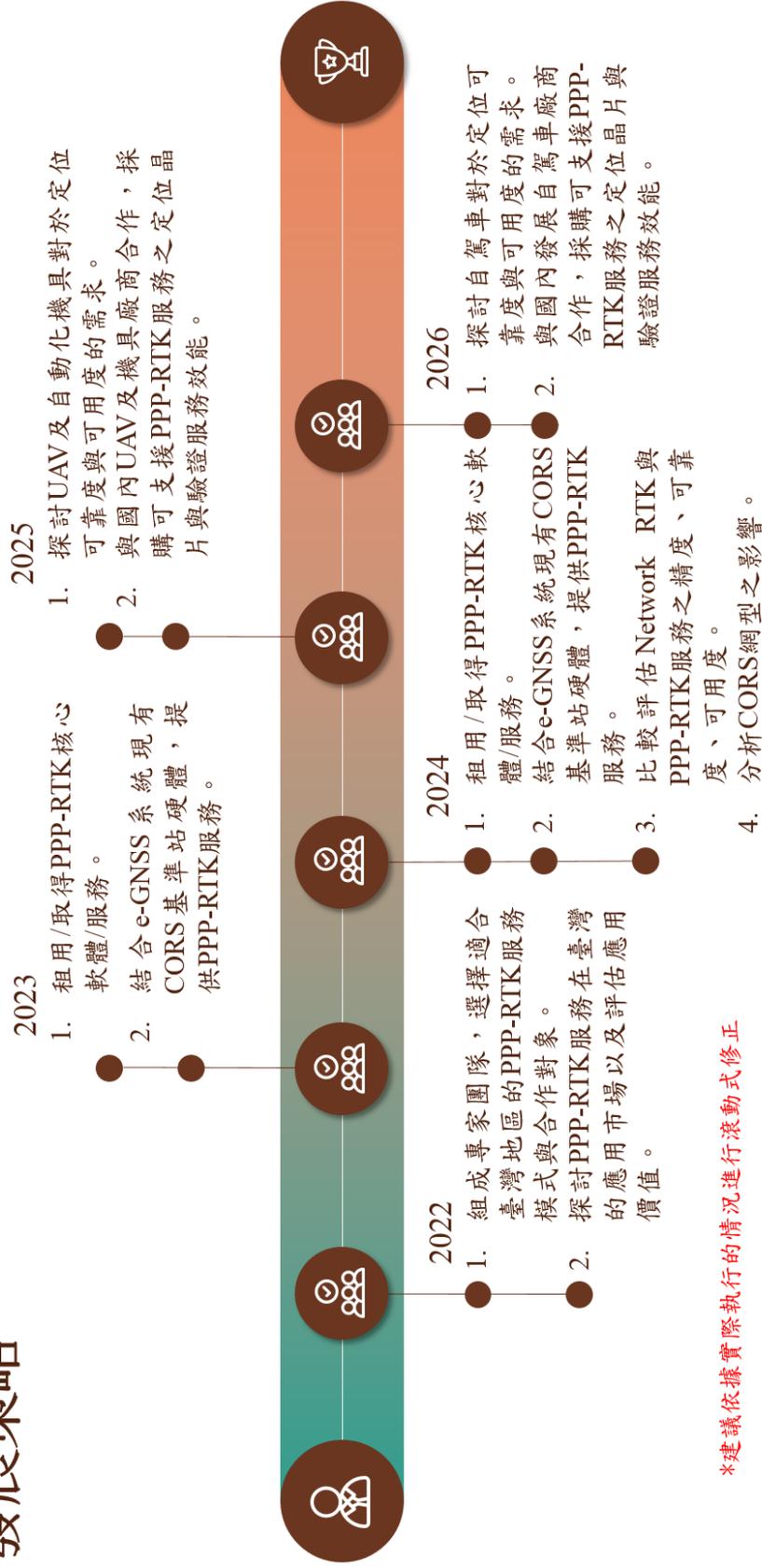
成果是定義在國際地球參考框架(International Terrestrial Reference Frame, ITRF)，要經過坐標轉換才能得到定義在臺灣法定坐標系統之坐標值。為達到此目的，RTX Fast 與 GNSMART2 可以經由本地伺服器傳送 RTCM 1021、1023 訊息給使用者以執行即時坐標轉換至法定系統 TWD97、TWD97[2010]或 TWD97[2020](目前 e-GNSS 的作法)；將來如果 CLAS 與 Positioning Australia 在臺灣境內設置伺服器，應也可經由本地伺服器傳送 RTCM 訊息給使用者執行即時坐標轉換；由於 RTK From the Sky 不需使用臺灣 CORS 網、也不需在臺灣境內設置伺服器即可提供服務，因此有可能無法經由本地伺服器提供 RTCM 即時坐標轉換訊息給使用者。

圖 4.22 是本研究建議之未來五年發展臺灣地區 PPP-RTK 服務之 Roadmap。首先建議於第一年(2022)組成一個專家團隊，確認最適合在臺灣地區建置的 PPP-RTK 服務/核心軟體以及合作對象。專家團隊成員可包含政府單位(內政部、經濟部、科技部、農委會等)、廠商企業與研究機構，並可搭配專家及潛在使用者問卷，探討國內 PPP 應用市場以及評估應用價值。在選擇 PPP-RTK 服務模式後，於第二年(2023)取得 PPP-RTK 服務/核心軟體且與 e-GNSS 系統 CORS 基準站硬體進行整合，同時確認將來之營運模式及收費策略。於第三年(2024)分析比較 Network RTK 與 PPP-RTK 服務之定位效能，包含精度、可靠度、

可用度、收斂速度等，並分析 CORS 網型之影響。第四年(2025)及第五年(2026)則是推動與國內無人機、自動機具、自駕車等廠商合作，驗證 PPP-RTK 之服務效能。

最後，本研究建議 Roadmap 應依據未來實際執行的情況進行滾動式修正。

臺灣地區建置PPP-RTK服務發展策略



圖四.22 建置 PPP-RTK 服務 Roadmap

第五章 結論與建議

本研究之結論與建議如下：

1. 由於 SSR 改正訊息單向傳輸與所需頻寬較低的特點，PPP-RTK 適合於同時服務數量眾多的用戶，因此較 Network RTK 更適合應用於大眾市場，如車輛與無人機載具等。
2. 根據國外參考文獻，Network RTK 一般可在數秒內達到公分級精度，PPP-RTK 可在 1 分鐘內達到 10 公分以內的定位精度。Network RTK 相較於 PPP-RTK 依然具有收斂時間較快與定位精度較佳的優勢，因此雖然 PPP-RTK 較適合應用於大眾市場，Network RTK 仍在測繪專業市場具有優勢，兩者相輔相成。
3. Network RTK 經過長時間發展已進入成熟期，因此所使用的 OSR 訊息格式已是國際標準的 RTCM 格式。另一方面，目前國際標準的 SSR 訊息格式僅能支援 PPP，尚無法支援 PPP-RTK，因此目前不同 PPP-RTK 服務模式所使用的 SSR 格式及所支援的使用者端設備都不盡相同。
4. 臺灣地區建置 PPP-RTK 服務首先面對的問題即是選擇合作夥伴，CLAS 和 Positioning Australia 分別是由日本和澳洲官方出資發展的系統，若透過臺日或臺澳政府協商與技術合作方式，應可順利

推動在臺灣地區建置 PPP-RTK 服務。

5. 若是選擇向民間企業購買現有之服務或產品，包含 RTX Fast、RTK From the Sky 及 GNSMART2 等，亦可順利建置 PPP-RTK 服務，但需考量該服務或產品在臺灣地區運作時之收費及法定坐標系統即時轉換等機制是否符合需求。
6. 對於建置 PPP-RTK 服務之建議方式是與國土測繪中心 e-GNSS 系統平行營運。採用此方式的優點是現有 e-GNSS 的營運模式與用戶可以完全不受影響；缺點則是新增的 PPP-RTK 服務可能會增加營運成本。
7. 在傳送 SSR 改正訊息通訊途徑方面，由於目前臺灣並未擁有自己的通訊衛星，而租借他國通訊衛星頻道的費用很高，初期應該以使用網路行動通訊(4G/5G)方式比較合適。
8. 國家太空中心近期正在規劃我國自主發展的低軌衛星群計畫，如果此計畫順利獲得通過並且納入 L 波段通訊功能，則未來可考慮增加衛星通訊方式，經由低軌衛星群傳送 SSR 改正訊息。
9. 在發展策略方面，建議於 2022 年組成專家團隊，確認最適合臺灣地區採用的 PPP-RTK 系統模式及合作對象，並探討國內可能的應用市場。在確定 PPP-RTK 系統模式後，擬於 2023 年取得 PPP-RTK 服務/軟體，並與現有 e-GNSS 的 CORS 網完成整合。在完成

PPP-RTK 系統建置後，擬於 2024 年進行 e-GNSS 與 PPP-RTK 服務之精度、可靠度、可用度比較分析。最後於 2025 年和 2026 年與國內無人機、自動機具、自駕車等廠商合作，驗證 PPP-RTK 之服務效能。

第六章 參考文獻

- 王鼎鈞 (2020) 即時精密單點定位探討，交通大學土木工程學系碩士論文，新竹。
- 中國衛星導航系統管理辦公室 (2019) 北斗衛星導航系統應用服務體系，北京。
- 中國衛星導航系統管理辦公室 (2020) 北斗衛星導航系統空間信號接口控制文件-精密單點定位服務信號 PPP-B2b(1.0 版)，北京。
- 宮本和彦 (2019) ドローンが活躍する社会に向けた研究開発プロジェクトの取り組み。国際交通安全学会誌，44(2):140-149。
- 張小紅, 李星星, 李盼 (2017) GNSS 精密單點定位技術及應用，測繪學報，46 (10): 1399-1407。
- 許懷謙 (2021) 台灣線上精密單點定位服務(TOPS)之設計與建立，成功大學測量及空間資訊學系碩士論文，台南。
- Chen, X., Allison, T., Cao, W., Ferguson, K., Grünig, S., Gomez, V., Kipka, A., Köhler, J., Landau, H., Leandro, R., Lu, G., Stolz, R., Talbot, N. (2011) Trimble RTX, an Innovative new approach for network RTK. In: ION GNSS 2011, Portland, Oregon, 2011.
- Cozzens, T. (2020) Japan's CLAS positioning service receives major upgrade. GPS world. Available at :
<https://www.gpsworld.com/japans-clas-positioning-service-receives-major-upgrade/>
- Euler, H.-J. (2008) Reference station network information distribution. Available at: <http://www.asoft.de/e/iagwg451/euler/euler.html>

European GNSS Agency (2019) PPP-RTK market and technology report.

Available at:

https://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/calls_for_proposals/rd.03_-_ppp-rtk_market_and_technology_report.pdf

GEO++ (2015) GEO++ SSR for network-RTK, PPP and PPP-RTK. Available at: https://geopp.de/wp-content/uploads/2020/09/SSR_Flyer_v3.pdf

Wübbena JB, Wübbena G GNSMART 2.0. In: 4th EUPOS Technical Meeting, Bratislava, Slovakia, 21-22 November 2017.

Hein, G.W., Pany, T. (2002) Architecture and signal design of the European satellite navigation system Galileo - status Dec. 2002. Journal of Global Positioning Systems 1:73-84.

Hexagon (2019) TerraStar X: precise point positioning with fast convergence and integrity. In: ION GNSS+ 2019, Miami, Florida, September 16-20, 2019.

Hexagon (2020) Global Breakthrough in PPP Technology: “RTK From the Sky”. Available at:

https://en.calameo.com/read/0019157962fa1cfbec650?authid=HAS0tJyQGoy5&utm_source=social_pr&utm_medium=social&utm_campaign=tsx-global-tech-pr

Hirokawa, R., Sato, Y., Fujita, S., Miya, M. (2016) Compact SSR messages with integrity information for satellite based PPP-RTK service. In: ION GNSS+ 2016, Portland, Oregon, September 12-16, 2016.

Hirokawa, R., Fernandez-Hernandez, I. (2020) Open Format Specifications for PPP/PPP-RTK Services: Overview and Interoperability Assessment. In: ION GNSS+ 2020, St. Louis, Mo, September 21 - 25, 2020.

- Hu, G., Dawson, J. (2018) The 2017 Australian GNSS CORS position verification analysis (record 2018/03). Geoscience Australia, Canberra.
- International GNSS Service (2020) IGS state space representation (SSR) format. Available at: https://files.igs.org/pub/data/format/igs_ssr_v1.pdf
- Iotake, Y. (2018) Prospect for Global Positioning Augmentation Service by QZSS. Available at : https://www.jetro.go.jp/ext_images/australia/events/YoshikatsuIotake.pdf
- John Deere (2016) John Deere Precision Ag Technology. Available at : <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/>
- Khodabandeh, A., Teunissen, P.J.G. (2015) An analytical study of PPP-RTK corrections: precision, correlation and user-impact. Journal of Geodesy 89:1109-1132.
- Khodabandeh A (2021) Single-station PPP-RTK correction latency and ambiguity resolution performance. Journal of Geodesy 95 (42).
- Leick, A., Rapoport, L., Tatarnikov, D. (2015) GPS satellite surveying, 4th edition. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Li, B., Verhagen, S., Teunissen, P.J.G. (2014) Robustness of GNSS integer ambiguity resolution in the presence of atmospheric biases. GPS Solutions 18 (2):283-296.
- NovAtel Inc. (2015) An introduction to GNSS, 2nd edition. NovAtel Inc., Canada.
- NovAtel Inc. (2019) APN 073 : RTK assist & RTK assist pro. Available at : <https://novatel.com/support/support-materials/application-notes>
- Pan, L., Zhang, X., Li, X. (2017) Considering inter-frequency clock bias for

- BDS triple-frequency precise point positioning. *Remote Sensing* 9(7), 734.
- RTCM Special Committee (2016) RTCM Standard 10403.3. Arlington, Virginia, USA.
- Hirokawa, R., Fernández-Hernández, I. (2020) Open format specifications for PPP/PPP-RTK services: overview and interoperability assessment. Paper presented at the Proceedings of the 33rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2020), Denver, CO, September 21 - 25, 2020.
- Sapcorda (2020) Safe position augmentation for real-time navigation (SPARTN) interface control document. Scottsdale. Available at :
https://www.sapcorda.com/wp-content/uploads/2020/12/Sapcorda_Datasheet_V1.4.pdf
- Schmitz, M. (2012) RTCM state space representation, messages, status and plans. In: PP-RTK & Open Standards Symposium, Frankfurt, Germany, 12-13 March 2012.
- Stuerze, A., Mervart, L., Söhne, W., Weber, G., Wübbena, G. (2012) Real-Time PPP using open CORS Networks and RTCM Standards. In: 3rd International Conference on Machine Control & Guidance, March 27-29, 2012.
- Teunissen, P.J.G., Khodabandeh, A. (2015) Review and principles of PPP-RTK methods. *Journal of Geodesy* 89 (3):217-240.
- Teunissen, P.J.G., Montenbruck, O. (2017) Handbook of global navigation satellite systems. Springer, Switzerland.
- Trimble (2020) Trimble RTX Frequently Asked Questions. Available at :

https://positioningservices.trimble.com/wp-content/uploads/2020/10/Trimble_RTX-FAQ-2020.pdf

- Wübbena, G., Bagge, A., Schmitz, M. (2001) Network-based techniques for RTK applications. In: GPS JIN 2001, Tokyo, Japan, 2001.
- Wübbena, G., Schmitz, M., Bagge, A. (2005) PPP-RTK: precise point positioning using state-space representation in RTK networks. In: ION GNSS-05, Long Beach, California, September 13-16 2005.
- Wübbena, J.B., Wübbena, G. (2017) GNSMART 2.0. In: 4th EUPOS Technical Meeting, Bratislava, Slovakia, 21-22 November 2017.

附錄 A 工作進度報告

**「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用
委託研究採購案」
3 月份工作進度報告**

繳交單位:國立成功大學

月份:110 年 3 月

■ 工作要項(110 年度)

- 一、110 年度新世代 GNSS 定位技術應用研究採購案契約決標。
- 二、廠商訪談(台灣儀器行股份有限公司：張基鐘、李俊寬)
110/3/12 與廠商面談告知本案之採購需求，並提供初步問卷內容。後續台灣儀器行回覆提供 RTX 系統的相關基本資訊，成功大學已將這些資訊整理於 110/3/31 在國土測繪中心需求訪談時的簡報內容。
- 三、廠商訪談(資勝科技有限公司：張祥進、康鷹空間資訊有限公司：林志奕)
110/3/17 與廠商面談告知本案之採購需求，並初步了解未來即時導航用安全位置增強(SPARTN)架構，內容包含與本案相關的 SSR 傳輸格式，有助於本研究之後續進展。後續資勝科技回覆提供 PPP-RTK 系統的相關基本資訊，並整理於 110/3/31 國土測繪中心需求訪談簡報內容。
- 四、廠商訪談(Geo++ GmbH: Isabel Frost)
110/3/18 電郵告知 Geo++ GmbH 本案之採購需求。後續 Geo++ GmbH 回覆提供基本技術內容與報價資訊，並整理於 110/3/31 簡報內容。
- 五、收集日本政府發展的 CLAS、澳洲政府發展的 Positioning Australia 系統資料，並整理於 110/3/31 簡報內容。
- 六、研究計畫書修訂
主要修改內容包含了強調 PPP-RTK 的使用族群、問卷設計、PPP-RTK 與 Network-RTK 定位效能比較的釐清，以及錯別字的修改。
- 七、國土測繪中心需求訪談
110/3/31 赴國土測繪中心簡報，彙整上述之廠商訪談結果，並聽取測繪中心之意見。討論議題主要包含了如何確保現有 e-

GNSS 使用者的設備相容性及定位效能、維持現有 e-GNSS 的收費及坐標轉換功能，以及對將來計算中心伺服器設置處所的資安考量等(不得設置於境外)。

■ 收發文紀錄

1100317:業已完成第 1 階段研究計畫書(修正版)報告，茲檢陳修正成果報告 10 份及電子檔 2 份(成大產創字第 1101100771 號)

1100319:完成簽約手續，茲檢送契約書正本跟副本各 1 分，請查照(測秘字第 1101580369 號)。

1100326:第 1 階段成果經本中心驗收合格，請提送本案請款憑據，俾利辦理後續付款事宜(測控字第 1101555153 號)。

1100401:檢送第 1 階段款新台幣 28 萬 5000 元整收據 1 紙，請查照惠撥(成大產創字第 1101100924 號)。

■ 次月辦理事項：

一、持續進行廠商訪談與資料收集。

二、召開 4 月份工作會議。

需協商事項：無

工作進度：如月進度管制報表中，各工作細項之進度標示說明。

**「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用
委託研究採購案」
4 月份工作進度報告**

繳交單位:國立成功大學

月份:110 年 4 月

■ 工作要項(110 年度)

- 一、廠商討論 (參與者：資勝科技洪焜生)
110/4/7 與資勝科技洪焜生總經理以電子郵件討論 Geo++ GNSMART2 在台灣地區之使用現況。
- 二、廠商討論 (參與者：台灣儀器行林日盛、高拔萃)
110/4/16 台灣儀器行林日盛董事長及高拔萃經理前來成功大學進行討論，此次討論目的是讓台灣儀器行了解此計畫案之關鍵議題，台灣儀器行同意向 Trimble 原廠尋求技術支援後，將提出在台灣地區建置 RTX-Fast 服務的提案供國土測繪中心參考。
- 三、110/4/27 以電子郵件向 Hexagon Geosystems (Taiwan)葉宏達先生請教 RTK From the Sky 的使用者端設備支援性在台灣地區之使用現況。
- 四、計畫工作會議 (與會者：國土測繪中心陳鶴欽、蕭世民)
110/04/29 於成功大學舉行本月工作會議，彙整以往的廠商訪談資料內容，共同討論、交換意見、綜合判斷 PPP-RTK 服務之可行性，包含(1) Trimble RTX-Fast、(2) Geo++ GNSMART2、(3) Hexagon RTK From the Sky。

■ 收發文紀錄

1100408：支付貴校承攬本中心『110 年度新世代 GNSS 定位技術應用委託研究採購案』第 1 階段款作業款 (測密字第 1101580465 號)。

■ 次月辦理事項：

- 一、持續進行廠商訪談與資料收集。
- 二、召開 5 月份工作會議。

需協商事項: 無

**「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用
委託研究採購案」
5 月份工作進度報告**

繳交單位:國立成功大學

月份:110 年 5 月

■ 工作要項(110 年度)

一、計畫工作會議：

受新冠疫情影響，根據目前三級警戒政策，國立成功大學團隊於 110/05/28 下午 3:00 於成功大學測量系館 2 樓圖書室舉辦本月工作會議，會議過程確保符合三級警戒政策規定(室內僅允許 4 人以下聚會，保持社交距離並全程戴口罩)，針對期中報告撰寫方向與內容，討論與交換意見。

二、110/5/30 以電子郵件向 Geo++ GmbH Mr. Andre Warneke 詢問 GNSMART2 所支援 PPP-RTK 之 SSR 訊息格式。

三、PPP-RTK 服務資料蒐集分析

關鍵議題	Trimble RTX Fast	Geo++ GNSMART2
新的 PPP-RTK 服務是否能支援現有之 e-GNSS 使用者端設備，並維持現有之定位精度與效能？若不能，新服務是否可與現有 e-GNSS 系統平行營運？	由於 RTX Fast 僅可產生 SSR 改正訊息，因此只能採用與 e-GNSS 平行營運的方式進行	由於 GNSMART2 可以同時產生 OSR 及 SSR 改正訊息，理論上可支援現有 e-GNSS 使用者端設備，但是定位精度與效能尚有待評估。此外 GNSMART 2 也可以採用與 e-GNSS 平行營運的方式進行，僅傳送 SSR 改正訊息
新服務傳送改正訊息的通訊途徑為何？	L-band 通訊衛星及網際網路均可，但因租借通訊衛星頻道的成本很高，原廠建議僅採用網際網路通訊途徑	網際網路

新服務的伺服器設置地點有何限制？	無，可設置於國土測繪中心指定地點	無，可設置於國土測繪中心指定地點
新服務支援的使用者端設備有何限制？	使用者設備須為 Trimble 接收儀或安裝 Trimble 授權軟體 RTX Auto Software Library 的其他品牌接收儀 (或模組)	使用者設備必須支援 GNSMART2 使用的 SSR 改正訊息輸出格式：SSRZ 或 SPARTN 或 Compact SSR
新服務是否能維持現有之 e-GNSS 之收費方式？若不能，是否有替代方案？	可採硬體/軟體授權方式收費	原廠 Geo++提供的資料中並未提及收費機制。然而台灣地區使用 GNSMART2 的廠商資勝科技回覆內容如下：目前可以支援網頁版收費(e-GNSS 收費方式)，也可支援電子貨幣收費方式，如 Line Pay
新服務是否能維持現有之 e-GNSS 坐標轉換機制？	可維持現行 RTCM-TTG 即時坐標轉換機制	GNSMART2 的原廠 Geo++ 所提供的資料中並未提及即時坐標轉換功能。資勝科技回覆內容如下：經測試，可進行 RTCM1021~1027 (e-GNSS 是使用 RTCM1021、1023)。將來若有需要，可進一步詢問原廠
新服務是否能夠額外地推廣新的應用面及擴展新的使用者？	可	可
新服務的建置成本是否合理？	尚未獲得正式報價	目前有自原廠獲得的初步 (非正式)報價
新服務的保固維護成本是否合理？	尚未獲得正式報價	尚未獲得正式報價

三、針對海克斯康(Hexagon) RTK From the Sky 服務進行了解，評估其是否可成為本採購案中的選項之一，其規格及效能評估將會列入期中報告中。

■ 收發文紀錄：無

■ 次月辦理事項：

- 一、 持續進行廠商訪談與資料收集。
- 二、 研究計畫期中報告撰寫。
- 三、 召開 6 月份工作會議。

需協商事項：無

工作進度：如月進度管制報表中，各工作細項之進度標示說明。

**「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用
委託研究採購案」
6 月份工作進度報告**

繳交單位: 國立成功大學

月份: 110 年 6 月

■ 工作要項(110 年度)

- 一、110/6/1、6/3、6/4 分別以電子郵件向資勝科技洪焜生總經理、張祥進資深工程師詢問 Geo++ GNSMART2 在臺灣地區之測試現況。
- 二、110/6/16 以遠距通訊會議方式與 Trimble 原廠進行討論，此次會議目的是由 Trimble 原廠代表簡報在臺灣地區建置 RTX Fast 服務之方案構想。(出席人員：Trimble 原廠代表 Tan, Siew Siong、台灣儀器行張基鐘、國土測繪中心梁旭文、陳鶴欽、蕭世民、成大團隊)
- 三、110/6/16 以電子郵件向 Geoscience Australia 曾子榜博士詢問 Positioning Australia 使用的 SSR 訊息格式
- 四、110/6/21 以遠距通訊會議方式召開 6 月份工作會議，討論計畫進度及查核成效。(出席人員：國土測繪中心梁旭文、陳鶴欽、蕭世民、楊枝安、成大團隊)
- 五、110/6/24、6/29 分別以電子郵件向 Taiwan u-blox 公司 Vincent Liu 資深工程師詢問以 u-blox F9 接收儀搭配 Sapcorda SPARTN PPP-RTK 服務在臺灣地區之發展規畫。
- 六、撰寫及繳交期中報告

■ 收發文紀錄

- 110630:檢送本校衛星資訊研究中心執行貴中心「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用委託研究採購案」110 年度 6 月份工作會議紀錄 1 份，請查照(成大產創字第 1101101912 號)
- 110630:本校執行貴中心「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用委託研究採購案」，茲檢陳送第二階段期中成果報告 10 份及電子檔 2 份，請鑒核。(成大產創字第 1101101913 號)

■ 次月辦理事項：

- 一、持續與廠商進行討論與收集資料
- 二、持續分析臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性
- 三、召開 7 月份工作會議

需協商事項：無

**「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用
委託研究採購案」
7 月份工作進度報告**

繳交單位: 國立成功大學
月份: 110 年 7 月
<p>■ 工作要項(110 年度)</p> <ol style="list-style-type: none"> 110/7/5 以電子郵件向台灣儀器行張基鐘經理徵詢以下兩種方案之報價 方案 1：由 Trimble 與 NLSC 共同合作營運台灣地區 RTX Fast 服務。 方案 2：NLSC 僅提供 CORS 資料，由 Trimble 負責 RTX Fast 服務營運。 110/7/20 國土測繪中心以視訊方式舉行期中報告審查會議，由國土測繪中心曾耀賢副主任擔任主持人，並由成大團隊進行簡報與回覆審查委員提問。 110/7/23 於成功大學測量系召開 7 月份工作會議(參與者：成大團隊)，討論期中報告修正方向與內容細節。 <p>■ 收發文紀錄</p> <p>110709:本中心『110 年度新世代 GNSS 定位技術應用委託研究採購案』，期中報告審會議開會通知。(測控字第 1101555272 號)</p> <p>110727:檢送本中心『110 年度新世代 GNSS 定位技術應用委託研究採購案』，期中報告審會議紀錄，請於本中心發文次日起 10 個日曆天內，檢送依審查意見修改之期中報告紙本 5 份及電子檔 1 份，請查照。(測控字第 1101555293 號)</p> <p>110804:檢送本校執行貴中心『110 年度新世代 GNSS 定位技術應用委託研究採購案』，修正後期中報告紙本 5 份及電子檔 1 份。(成大產創字第 1101102335 號)</p>
<p>■ 次月辦理事項：</p> <p>三、持續收集資料</p> <p>四、持續分析臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性</p> <p>五、召開 8 月份工作會議</p>
需協商事項: 無

**「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用
委託研究採購案」
8 月份工作進度報告**

繳交單位：國立成功大學

月份：110 年 8 月

■ 工作要項(110 年度)

4. 110/8/4 完成繳交期中報告修正版紙本及電子檔
5. 110/8/27 舉行工作會議(參與者：成大團隊)
6. 110/8/31 以電郵向台灣儀器行張基鐘經理詢問 RTX Fast 報價進度
7. 彙整下半年度工作項目，包含蒐集 PPP-RTK 服務的應用市場、新增 John Deere 的 StarFire 系列 PPP 服務模式資訊，另外研擬發展 PPP-RTK 服務之 Roadmap，考慮各 PPP-RTK 服務建置完成時間，擬定未來 5 年的規畫發展方向並提供甲方參考。
8. 收集 NovAtel RTK Assit (“RTK 加持”)服務的相關資訊。由於 NovAtel 公司釋出之官方資訊有限，初步研判 RTK Assit 是利用 TerraStar 的 SSR 改正訊息在時間上的穩定性特質，來輔助移動站在短時間內因網路通訊品質不良而無法接收到 RTK 訊息的情況，也就是利用”加持”的訊號來彌補 RTK 訊息斷訊之空檔。由於 SSR 訊息來源是來自通訊衛星，因此 RTK Assit 服務需要額外付費使用。
9. 討論 PPP-RTK 改正資料延遲(latency)之產生原因以及對於應用面之影響。由於 CLAS 曾指出 SSR 訊息從創建到傳輸之間會有 10~20 秒之延遲，因此改正資料延遲對於自駕車、無人機等應用將有比較明顯的影響，而對於測量、農業等應用之影響較低。

■ 收發文紀錄

110816:貴校執行本中心『110 年度新世代 GNSS 定位技術應用委託研究採購案』本(2)階段成果，業經本中心驗收合格，請提送本案請款憑據，俾憑辦理後續付款事宜，請查照。(測控字第 1101555317 號)

110823:檢送『110 年度新世代 GNSS 定位技術應用委託研究採購案』，第 2 階段款新台幣 38 元整收據 1 紙，請查照會撥。(成大產創字第 1101102573 號)

110826:為支付貴校承攬本中心『110 年度新世代 GNSS 定位技術應

用委託研究採購案』第 2 階段作業款，復請查照。(測秘字第 1101581017 號)

■ 次月辦理事項：

六、持續收集計畫資料

七、持續分析臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性

八、召開 9 月份工作會議

需協商事項：無

**「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用
委託研究採購案」
9 月份工作進度報告**

繳交單位: 國立成功大學

月份: 110 年 9 月

■ 工作要項(110 年度)

10. 110/9/24 廠商訪談 (地點：成大測量系，參與者：資勝科技公司、成大團隊)

本次談訪目的是了解 Geo++ GNSMART2 目前在臺灣的實際測試狀況，資勝公司提供成大團隊一台 septentrio Mosaic-X5 接收儀，此接收儀除可接收多星系 GNSS 觀測資料外，亦可透過網際網路接收來自資勝公司 GNSMART2 伺服器產生的 Network RTK (FKP 格式)與 PPP-RTK (SPARTN 格式)改正訊息。初步定位測試成果顯示 Network RTK 可快速地完成收斂並達到公分級定位精度(STD)，但是 PPP-RTK 則遲遲未能完成收斂。已將此現象反映給資勝公司。

11. 110/10/01 工作會議(地點：成大測量系，參與者：國土測繪中心、成大團隊)

國土測繪中心陳鶴欽課長、蕭世民技士與團隊成員舉行 9 月份工作會議，討論計畫進度事宜。

■ 收發文紀錄

無

■ 次月辦理事項：

九、持續收集計畫資料

十、持續分析臺灣地區建置 PPP-RTK 服務之可行性

十一、召開專家學者座談會

需協商事項: 無

**「110 年度新世代 GNSS 定位技術應用
委託研究採購案」
10 月份工作進度報告**

繳交單位：國立成功大學
月份：110 年 10 月
■ 工作要項(110 年度)
12. 110/10/25 台灣儀器行高拔萃經理以電郵方式寄來 Trimble 原廠答覆。主要內容為敘述 RTX Fast 伺服器可以設在台灣境內、誤差改正訊息以透過 IP 傳送為主、其他廠牌設備可以透過軟體代理的方式取得 RTX Fast 改正訊息、可以支援使用台灣特有的 TWD97 坐標基準以及討論其他技術性問題。
13. 110/10/28 15:30-17:00 於國立臺北大學工院大樓 R216 會議室舉辦本案專家學者座談會，與會者有曾清涼教授、史天元教授、郭重言教授、韓仁毓教授、陳國華教授、葉大綱教授、甯方璽教授、李宜珊副教授、曾子榜助理教授、唐家宏技士、國土測繪中心曾耀賢副主任、陳鶴欽課長、蕭世民技士、成大團隊。座談會首先由成大團隊楊名教授進行簡報，隨後邀請與會者發言，會議記錄如附件。
■ 收發文紀錄
無
■ 次月辦理事項：
十二、持續收集計畫資料
十三、撰寫及繳交期末報告
需協商事項：無

附件 1：專家學者座談會會議紀錄

發言內容
<p style="text-align: center;">曾清涼教授</p> <ol style="list-style-type: none">1. 由於自駕車時代來臨，PPP-RTK服務或許可以成為網路RTK的替代方案，國人應當超前部屬。2. 鼓勵國內學界以及業界對PPP-RTK服務的技術更加深了解，並希望PPP-RTK服務可獲得國內政府、業界與大眾的認同和支持。
<p style="text-align: center;">史天元教授</p> <ol style="list-style-type: none">1. PPP-RTK服務是有價值的，但是在目前的國內應用市場，除了航行應用外，市場需求尚不高。2. 如果與國外PPP-RTK服務合作，像是日本的QZSS，可涵蓋台灣地區，對於提供國內服務是可行的。但是在經費問題方面需要跑大量且複雜的流程，以及衛星主導權仍在日本，因此或許會有較難解決的問題。
<p style="text-align: center;">韓仁毓教授</p> <ol style="list-style-type: none">1. 從服務角度來看，單向傳輸確實比雙向傳輸好，對於自駕車來說是不錯的選擇。2. 在技術開發部分，除了政府支持外，可參考現有廠商之PPP-RTK資源做為出發點，進行研究及開發並產生研究成果，這些成果可作為未來建置PPP-RTK服務之基石。
<p style="text-align: center;">郭重言教授</p> <ol style="list-style-type: none">1. 站在使用者立場上，如地球物理研究等，加入PPP-RTK服務或許會更加方便，因此認為PPP-RTK服務是有價值的。
<p style="text-align: center;">李宜珊副教授</p> <ol style="list-style-type: none">1. 支持建置PPP-RTK服務，可以在台灣深耕技術，但是即時性產品的穩定性尚待學界評估，此PPP-RTK服務具有挑戰性。2. 在計畫方面，可以透過多個機構，使專家學者共同研究，深入規劃，產生研究成果，希望可以在時間內達成目標。如果大家各自行動，容易分散且混亂。因此希望可以組成一個團隊，包含有經驗和共同研究興趣的人員。

曾子榜助理教授

1. 根據以往的研究經驗，個人支持推動PPP-RTK服務，目前已經有許多國家和國際廠商在推動這項服務，台灣可以跟進。
2. 在技術層面上，可以與國家太空中心(NSPO)連結，本人有衛星軌道及鐘差的即時解算經驗，未來可以與台灣PPP-RTK服務團隊合作。
3. 目前政府持續推廣衛星產業，因此在經費上需求，可以跟衛星產業或NSPO共同合作，來減輕經費問題。

唐家宏技士

1. 從政府角度來看，這項PPP-RTK服務計畫是階段性的任務，願景是可以將之建置於台灣地區。另外自駕車是現代熱門的話題，可以跟福衛計畫、交通部、經濟部等單位合作，討論PPP-RTK的應用潛力。

附件 2：簽到表

PPP-RTK 定位技術與應用座談會 簽到表

會議主題	PPP-RTK 定位技術與應用座談會
時間	2021/10/28 15:30-17:00
地點	台北大學公院大樓 R216 會議室
主持人	楊名 楊名
出席委員	<p>曾清涼 史天元</p> <p>李... 陳國華 曾子揚</p> <p>曹... 陳鶴欽 蕭世凱</p> <p>唐宗宏 許懷謙 宓... 蔡仁乾</p> <p>葉大綱 許... 陳鳳佳</p>
備註	