

全球導航衛星系統 (GNSS) 理論與應用研究
子計畫四：GNSS 載波相位修正法之理論與應用 (3/3)

計畫主持人：張帆人

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：台灣大學電機系

中 華 民 國 90 年 10 月 30 日

全球導航衛星系統 (GNSS) 理論與應用研究

子計畫四：GNSS 載波相位修正法之理論與應用 (3/3)

計畫編號：NSC 90-2213-E-002-153

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：張帆人 台灣大學電機系教授

一、中文摘要 (關鍵詞：GPS、 GLONASS、整合衛星導航)

全球導航衛星系統 (Global Navigation Satellites System; GNSS) 乃泛指所有以衛星為基礎 (Satellite-based) 的導航系統。目前在太空中運行的衛星導航系統包括美國 GPS (Global Positioning System) 衛星系統與俄羅斯 GLONASS (Global Navigation Satellites System) 衛星系統。在本研究中，我們發展了一個有效率的方法來偵測載波相位量測的週波脫落的問題。經由時鐘誤差的數學模型，可估測週波脫落的發生。本研究所提供的方法，只要觀測 4 顆衛星，即可做故障偵測；若有 5 顆衛星量測即可進行故障衛星判別。比起傳統的方法，要偵測衛星故障及判別發生故障的衛星，分別需要 5 和 6 顆的衛星量測。最後，並以實驗結果驗證本方法的可行性。

Abstract (Keywords: GPS, GLONASS, Integrated Satellite Navigation)

GNSS (Global Navigation Satellites System) is the general meaning of the satellites-based navigation system. The available two systems include GPS (Global Positioning System) of the United States and GLONASS (Global Navigation Satellites System) of the Russia.

In this research, we present a method for detecting cycle-slip that can reduce the redundant carrier-phase measurements. By modeling the behavior of the local oscillator, receiver's clock error can be predicted. The predictable clock error will be used to monitor cycle-slip occurrence. In conventional positioning algorithms, there are 4 unknown variables, x , y , z and receiver clock error. Hence, at least 4 GPS/GLONASS satellite measurements are needed for position fixing. At least 5 and 6 visible satellite measurements are needed for detection and identification of single fault satellite, respectively. By the help of predicted receiver clock error, the unknown

variables become 3. In our algorithms, the needed numbers of visible satellites for fault detection and identification are 4 and 5, respectively. The experimental results are provided to verify our methods.

二、緣由與目的

GPS 在導航之應用已十分普遍與活躍；不過所受到的限制也不少。例如遮蔽會使衛星數目低於 4 顆而無法定位；GPS 衛星主控權完全掌握在美國。為了突破這些限制，結合美國 GPS 與俄羅斯 GLONASS 的全球導航系統 GNSS 應運而生。

本計畫之目的，便是整合兩種系統之載波相位的週波脫落問題，以達到更精確更可靠的導航服務。

三.1 研究方法

GPS 衛星系統或 GLONASS 衛星系統，用於定位的原理大致相同，因此整合雙衛星系統需先比較雙衛星導航系統間的各種特性差異，以瞭解其間異同，參閱表 1。欲將兩組不同的衛星系統作整合，就必需思考如何將不同衛星系統的參數轉換至同一基準上，例如時間系統、座標系統以及載波波長差異的轉換，爾後再討論運用各種的定位方法，如單機電碼定位、雙機電碼定位、載波相位平滑電碼 (Carrier Phase Smoothed Code; CSC) 定位與載波相位 (Carrier Phase) 定位等等。座標系統方面，我們採用 PZ-90 的座標轉換至 WGS-84 座標方式；時間系統差異，則需考慮到雙衛星系統間的差值，亦或修改其定位公式解決；至於載波頻率上的差異，GPS 系統使用的是 CDMA 方式，每一通道的信號有相同之載波波長，而 GLONASS 系統則是使用 FDMA 方式，其每一通道的信號之載波波長不同，因此在使用

其相位時，就必須考慮其頻率代號方能轉換至正確的距離差。

表 1 GLONASS 與 GPS 導航系統之特性差異

導航系統	GLONASS	GPS
衛星數目	24	24
軌道面	3	6
軌道傾角	64.8°	55°
軌道半徑	25510 公里	26560 公里
衛星週期	11 小時 15 分鐘	11 小時 58 分鐘
座標系統	PZ90	WGS84
時間系統	UTC (SU)	UTC (USNO)
水平精度 (95%)	30 公尺	20 公尺
時間同步精度	30 奈秒	25 奈秒
調變方式	FDMA	CDMA
L1 載波頻率	1602+0.5625K 兆赫	1575.42 兆赫
L2 載波頻率	1246+0.4375K 兆赫	1227.60 兆赫
C/A 碼位元數	511 位元	1023 位元

*附註 $K = -7 \sim 24$

三.2 GNSS 載波相位與鐘差模型

在 GNSS 的定位使用時，載波可供精確定位的量測。此載波相位的量測，可以由下列數學模式來表示

$$\lambda^j \phi_A^j = \rho_A^j + c(dt^j - dT_A) + \lambda^j N_A^j - d_{ion}^j + d_{trop}^j + \varepsilon_A^j \quad (1)$$

其中 ϕ_A^j 是接收機 A 對衛星 j 的載波相位的量測； ρ_A^j 是接收機 A 到衛星 j 的實際距離； c 是光速； N_A^j 表示為整數週波未定值； d_{ion}^j ， d_{trop}^j ，和 ε_A^j 分別表示電離層，對流層及未能模化的誤差； dt^j 表示為衛星的鐘差而 dT_A 表示為接收機 A 的鐘差。

在 (1) 式中，接收機的鐘差 dT_A 由於接收機本身的頻率偏差所產生的，此鐘差可經由雙差分運算消除。由於石英振盪器的短期穩定度非常好，所以此時鐘誤差可經由一數學模式來估算及預測[1]：

$$dT_A(t) = a_A + b_A \times t + Dr_A \times \frac{t^2}{2} + \varphi_A(t), \quad (2)$$

式中， $dT_A(t)$ 是接收機 A 相對於基準頻率的鐘差； a_A 和 b_A 是時鐘偏差與時鐘漂移， Dr_A

表示為漂移率，以及 $\varphi_A(t)$ 視為隨機誤差。

圖 1 表示一個接收機相對於基準母鐘的時間及頻率偏差發生的情形

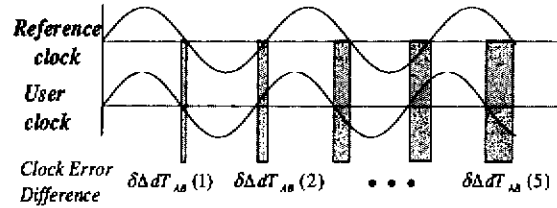


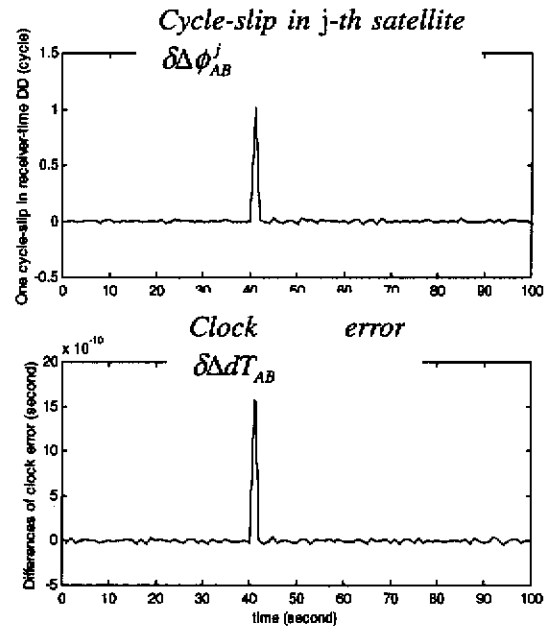
圖 1 接收機鐘差與參差比較的情形

三.3 偵測週波脫落

接收機鐘差與載波測之相互關係可由下式表示

$$\sigma_T = TDOP \times \sigma_P, \quad (3)$$

式中， σ_P^2 表示載波量測的協方差， σ_T^2 是接收機時鐘誤差的協方差，TDOP (Time



Dilution

圖 2. 鐘差與週波脫落的關係

of Precision) 時間精度稀釋度。假設時間轉換只經由一顆已知位置的衛星，則 $\sigma_T = \sigma_P$ 。一般而言，此量測是經由可觀測的衛星得到的。圖 2 表示了第 j 顆衛星一個週波落所造成的時鐘差情形。

四. 實驗

為了驗證我們方法在載波相位週波脫落

上可以有效的偵測，我們使用一對由 3S Navigation 公司所出產的 GNSS-300 接收機，在東經 121.4138° 北緯 25.0215°，高度為海平面以上 50 公尺的位置。觀測時間是 30 分鐘。表 2 展示了不同的情況下的週波脫落的偵測及辨認的情形。在實驗中，所有的量測資料都是實際由接收機得到的，唯有脫落的週波是資料後處理時人工產生的。

表 2. 週波脫落的偵測及辨認的統計

Case	Sat. SVN.	Cycle-Slip (Cycles)	Numbers of Cycle-Slip Test	Fault Detection (4 satellites)	Fault Identification (5 satellites)
1	6	1	100	100%	100%
2	7	1	100	100%	100%
3	9	1	100	100%	100%
4	16	1	100	100%	100%
5	6	-1	100	100%	100%
6	7	-1	100	100%	100%
7	9	-1	100	100%	100%
8	16	-1	100	100%	100%

五. 討論與結論

基於衛星導航系統在衛星定位收訊時常因障礙物阻擋影響，發生可視衛星數不足的情形，因此作連續之導引定位時，會產生中斷服務的現象。美國雖然已自台北時間 2000 年 5 月 2 日 8 時，宣布停止干擾民間衛星導航訊號，定位精準度獲得改善；但其但書中說明，未來還是會視情況，選擇性地干擾某些地區的 GPS，故我們所能得到的定位精準度，依然受制於發射衛星國家。GPS/GLONASS 整合式衛星導航系統，除了可增加測距源，改善衛星訊號被阻擋的狀況，同時亦可減少受制於單一發射衛星國家的控制。

在本計畫中，我們針對 GPS 衛星系統、GLONASS 衛星系統以及 GPS/GLONASS 整合式衛星導航系統，作了相同研究實驗，並把載波量測所困擾的週波脫落的問題，提供了一項有效且實用的偵測技術，使得應用 GPS/GLONASS 的載波量測法可以更精確穩健。

六. 參考文獻

- [1] J. A. Barnes, The Measurement of Linear Frequency Drift in Oscillators, *Proceedings of the 15th annual PTTI Meeting*, 1983
- [2] E. D. Kaplan, "Understanding GPS Principle and Applications," Artech House, Boston 1996
- [3] J. B. Neumann, M. Bates and R. S. Harvey, GLONASS Receiver Inter-Frequency Biases-Calibration Methods and Feasibility, *Proceedings of ION GPS-99*, Nashville, TN, September 14-17, 1999, pp 329-338.
- [4] B. W. Parkinson and J. J. Spilker, *Global Positioning System: Theory and Applications*, Vol. I and II, AIAA, Washington D.C., 1996
- [5] B. S. Pervan, D. G. Lawrence and B. W. Parkinson, Autonomous Fault Detection and Removal Using GPS Carrier-phase, *IEEE Trans. of Aerospace and Electronic Systems*, vol. 34, No. 3, July 1998, pp. 897-906
- [6] E. Rooney and A. Last, GLONASS: As Good As It Should Be?, *Proceedings of ION GPS-99*, Nashville, TN, September 14-17, 1999, pp 1363-1368.
- [7] M. A. Sturges, Navigation System Integrity Monitoring Using Redundant Measurements, *Navigation, Journal of the Institute of navigation*, Vol. 35, No. 34, Winter 1988-1989, pp. 483-501