

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(1/3)

Researches in the Theory and Application of Global Navigation Satellite System (GNSS)

Sub-project 4: Theory and Application of GNSS Carrier Phase Correction Method (1/3)

計畫編號：NSC-88-2612-E002-002

執行時間：87 年 8 月 1 日至 88 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：GLONASS、GPS、整合、衛星導航)

俄國於 1970 年代發展的 GLONASS(Global Navigation Satellites System) 衛星系統，是全球兩大使用中的衛星定位系統之一，它有類似於美國 GPS (Global Positioning System) 系統的原理和功能。

我們的目標是將兩系統作整合。雙系統可增加可用之衛星數目，減少遮蔽造成的影響，並且增加定位的精確度和穩定度。

兩種定位衛星都是靠著展頻技術廣播導航訊息。所不同的，GPS 用分碼多工而 GLONASS 用分頻多工。簡單地說，所有的 GPS 衛星都使用了相同的載波頻率，但是每一顆 GPS 衛星皆有獨特的虛擬隨機碼。而所有的 GLONASS 衛星都使用了相同的虛擬隨機碼，但是每一顆 GLONASS 衛星皆有特定的載波頻率以爲識別。

利用星曆訊息中的重要參數，即可求解天空中衛星的位置。再配合電波訊號傳遞所需的時間，即可解算接收機的位置。兩系統之座標是不同的。GLONASS 衛星以 PZ-90 座標系統標示；而 GPS 衛星則用 WGS-84 座標。爲了結合這兩個定位系統，我們需把 GLONASS 衛星在 PZ-90 上的座標轉換成 WGS-84 座標。此外，以載波相位定位時，GLONASS 各衛星的波長是不一樣的，於解算虛擬距離時必需注意這一點。由於 GLONASS 系統沒有 SA，故雙系統準確性提高了；我們實驗也顯示了此一結果。

英文摘要(keywords: GLONASS, GPS, Integration, Satellite Navigation)

The Global Navigation Satellite System (GLONASS) was developed by Russia in the mid-1970s.

It is one of the two available satellite positioning systems in the world. The principle and function of GLONASS are similar to those of GPS system which was developed by the United States.

Combining these two systems is our goal. Dual system contains both GPS and GLONASS satellites. The effects of shading of visible satellites will be reduced. Also, the accuracy and stability of the dual system will be improved.

The communication technology use in both systems is spread spectrum. However, CDMA(Code Division Multiple Access) is adopted by GPS and FDMA(Frequency Division Multiple Access) is adopted by GLONASS. In GPS, all satellites share the same carrier frequency. For each GPS satellite, the pseudo random noise(PRN) code is unique, which is its identity. In GLONASS, all satellites share the same pseudo random noise(PRN) code. The carrier frequency for individual GLONASS is specific which is distinguishable from each other.

The parameters of ephemeris are used to solve the satellite's position in space. The distance between the satellite and the receiver is estimated according to the time delay of signal transmission. By the concept of triangulation, the receiver's location is determined. The PZ-90 and WGS-84 are the coordinate systems associated to GLONASS and GPS, respectively. To combine the two systems, the GLONASS satellite's coordinate in PZ-90 is converted to WGS-84. Furthermore, the carrier wave length is different for each GLONASS satellite. Care should be taken when carrier

phase observations are used to compute the pseudo ranges. Since there is no SA in GLONASS, the accuracy of dual system is improved. Our experimental results indicate this point also.

二、計畫緣由與目的

GPS 在導航之應用已十分普遍與活躍；不過它所受到的限制也不少。例如 SA 效應使單機定位精度在 100 公尺；遮蔽物會使衛星數目低於 4 顆而無法定位；衛星主控權完全掌握在美國。爲了突破這些限制，結合美國 GPS 與俄國 GLONASS 的全球導航衛星系統 GNSS 應運而生。

本計畫之目的，便是整合兩種系統之載波相位，以達到更精確更可靠的導航服務。

三、研究方法與成果

三.1 前言

全球導航衛星系統（Global Navigation Satellites System；GNSS），是概括性的名詞，它包括了美國發展的 GPS（Global Positioning System）和俄國發展的 GLONASS（Global Navigation Satellites System）。

GPS 衛星系統是美國國防部於 1973 年所設計發展的一個全球性，全天候 24 小時之三維空間即時定位系統。它可以提供無論是地面、海上、或空中的定位資訊。而 GLONASS 衛星系統則是俄國軍方於 1970 年代發展的類似於 GPS 原理和功能的定位系統。俄國發展的 GLONASS 衛星系統，相較於 GPS 系統，它的衛星群分佈在高緯度地區。

我們研究的主題爲如何有效地將兩系統作整合，雙系統的好處至少有增加可用的衛星數目。以台灣地區爲例，在沒有遮蔽情況下，一般而言可看見八顆 GPS 衛星，但有的時候也會因爲障礙物的阻擋而發生不足四顆的情形。在作即時連續導航時，我們不希望定位服務有中斷的現象發生，如果增加 GLONASS 系統，則可見衛星數會增加，即可改善窘境。

第二個好處是可以增加單機定位的精確度。一般而言，單機時 GPS 的定位精確度誤差約一百多公尺左右。因爲 GLONASS 系統沒有 SA 效應，所以其

單機誤差爲 50 至 60 公尺左右。而雙系統的誤差則可降低至 30 至 40 公尺。

當然，和 GPS 系統一樣，除了單機定位外，雙系統的雙機定位方法也有二次差分定位(double difference)，和三次差分定位(triple difference)，其誤差更可降低至十公分以下。

由於，定位導航的技術已日漸成熟，其應用領域也非常廣範，遠遠超過國防軍事目的。除了一般載具的各種導航以外，還可提供戶外活動者及登山者的位置定位，以避免意外的發生。於打擊犯罪方面，則可發展人質或罪犯的追蹤，以求迅速破案。

三.2 GLONASS 系統概觀

• 太空部分

完整的 GLONASS 衛星星群包含 24 顆衛星平均分佈在三個軌道面。軌道面和軌道面之間以 120 度的角度分開，軌道面和地球赤道呈現 64.8 度的傾斜角。在每一個軌道面上，自緯度 45 度開始，每間隔 45 度分佈一顆衛星，所以共有 8 顆衛星。每顆衛星運行於離開地球表面 19100 公里的高度上，繞行一圈的周期爲 11 個小時又 15 分鐘[8]。衛星的分布空域含蓋了整個地球體的表面。

• 地面控制部分

控制部分包含了系統控制中心，以及遍佈蘇聯境內的命令和追蹤站，彼此聯結成爲網域，控制部分是提供 GLONASS 衛星星群狀態的監視和控制，修正軌道參數和上載導航資料[8]。

• 使用者部分

使用者部分包含接收機和處理器，負責接收和處理 GLONASS 衛星的導航訊號，並且計算位置座標、速度和時間。

• 衛星訊號

GLONASS 系統的導航介面是指衛星和使用者之間的關係，導航訊號由射頻（RF）微波傳送訊號所組成，該射頻屬於 L-頻帶之範圍。其主區段載波頻率有兩個，一爲 L1=1.6 GHz 及 L2=1.2 GHz。由於 GLONASS 系統採用的調變方式是分頻多工[6]，所以各衛星皆有其專用頻道，分佈於 L1、L2 的頻率區段上。

由於 GLONASS 衛星群的分佈，被設計爲置於

軌道面的兩極對稱位置，即若兩顆衛星位於對稱位置，它們的中間正好夾著地球，各自發出的訊號就不會被對方的使用者收錄[8]。所以，這兩顆衛星可以同樣的頻道傳播導航的射頻載波。如現今衛星軌道中，Slot Number 9 和 13 共用頻道 6，而 Slot Number 18 和 22 共用頻道 10。頻道號碼代表衛星使用的頻率，我們將在後面討論之。

GLONASS 衛星在 L1 的副頻道上廣播兩種導航訊號，一種是標準精度導航訊號，另一種是高精度的導航訊號。標準精度導航訊號的時鐘振盪頻率為 0.511 MHz，可提供給國內外商業及一般平民使用，而高精度導航訊號的時鐘振盪頻率為 5.11 MHz，一般單位並不能使用它；使用者必需得到蘇俄官方的授權。

在 L2 副頻道中，GLONASS 衛星廣播的導航訊號也是以特殊的順序碼所調變，這些訊號需得到授權才能使用。所以我們能夠處理的，即為 L1 副頻道的標準精度訊號。

• 導航訊號調變

衛星的導航訊號藉著 L1 和 L2 載波各別傳送，它以二元相位移鍵（Binary Phase Shift Keying;BPSK）的方式作調變；載波以差角 180 度的角距離調變 0 與 1 的訊號，而最大的誤差為正負 0.2 徑度[3]。

L1 載波的副頻道所調變的訊號中包含虛擬距離碼，導航訊息的數位資料及輔助調變的順序碼。而 L2 載波也是依一樣的方式去調變，但其訊號中的資料只包含虛擬距離碼和輔助調變順序碼。

• 距離碼

虛擬距離碼（Pseudo Range; PR），是一種移位暫存器的最大長度序列，稱作 M 序列（M – sequence），M 序列的單一位元占據了 1 微秒，配合 0511MHz 的振盪頻率，它的數據率為每秒 511 仟位元。

• 導航訊息的數位資料

衛星導航訊息包含立即和非立即資料，立即資料裡傳播的是各衛星本身的導航及位置訊息，而非立即資料裡傳播的是 GLONASS 衛星星群的相關訊息。

此衛星導航資料是以每秒 50 位元的速率，以展

頻（Spread Spectrum）通訊方式傳送的[4]，這一點和 GPS 是一樣的。

• 頻率分配

L1 載波和 L2 載波的副頻道， f_{K1} 和 f_{K2} 由下列的公式決定：

$$f_{K1} = f_{01} + K\Delta f_1$$

$$f_{K2} = f_{02} + K\Delta f_2$$

在這裡 K=-7,1,……,24 是個頻率代碼（代表不同的頻率通道），GLONASS 衛星將在其頻道上傳送訊號，而副頻道的參考頻率及增幅如下：

$$f_{01} = 1602MHz, \Delta f_1 = 562.5KHz$$

$$f_{02} = 1246MHz, \Delta f_2 = 437.5KHz,$$

$$\text{而 } f_{K2} / f_{K1} = 7 / 9$$

，GLONASS 衛星和頻率分佈如表 1 所示。任何 GLONASS 衛星的 K 頻道都會廣播星曆資料[5]。

表1 GLONASS 衛星及頻率表

NO. of Channel	L1 sub-band, MHZ	No. of Channel	L2 sub-band, MHZ
24	1615.5	24	1256.5
23	1614.9375	23	1256.0625
22	1614.375	22	1255.625
21	1613.8125	21	1255.1875
20	1613.25	20	1254.75
19	1612.6875	19	1254.3125
18	1612.125	18	1253.875
17	1614.5625	17	1253.4375
16	1611.0	16	1253.0
15	1610.4375	15	1252.5625
14	1609.875	14	1252.125
13	1609.3125	13	1251.6875
12	1608.75	12	1251.25
11	1608.1875	11	1250.8125
10	1607.625	10	1250.375
09	1607.0625	09	1249.9375
08	1606.5	08	1249.5
07	1605.9375	07	1249.0625
06	1605.375	06	1248.625
05	1604.8125	05	1248.1875
04	1604.25	04	1247.75
03	1603.6875	03	1247.3125
02	1603.125	02	1246.875
01	1602.5625	01	1246.4375
00	1602.0	00	1246.0
-01	1601.4375	-01	1245.5625
-02	1600.8750	-02	1245.1250
-03	1600.3125	-03	1244.6875
-04	1599.7500	-04	1244.2500
-05	1599.1875	-05	1243.8125
-06	1598.6250	-06	1243.3750
-07	1598.0625	-07	1242.9375

• 座標系統

GLONASS 衛星系統所使用的座標體系是 PZ-90，而 GPS 衛星系統使用的是 WGS-84 座標體系。因為座標定義的不同而有相對差距，在本節中，我將討論 PZ-90 座標的定義和兩種座標的互換。

• PZ-90 座標系統

GLONASS 衛星廣播衛星位置的星曆資料，是採用 PZ-90 的地球地心座標系統，其參考架構描述如下[10]：

原點是定義於地球體的中心。

Z-軸是指向傳統地心的北極的方向，由國際地球旋轉服務機構(International Earth Rotation Service；IERS)所推薦。

X-軸是指向地球赤道面和本初子午線的交點由 (BIH) 所定義。

Y-軸由右手座標系統所決定。

位置 M 的地理緯度 B 是定義為垂直於橢球面的向量和赤道面的交角。

位置 M 的地理經度 L 是定義為本初子午線的平面和經點 M 的經線平面相交所形成的角度，由本初子午線向東為正的經度。

位置 M 的地理高度 H 是定義為自地球體的表面垂直至位置 M 的高度，其餘有關於 PZ-90 的重要參數將列於下表：

表2 PZ-90 的重要參數

地球轉動速率	$7.292115 \times 10^{-5} \text{radian/s}$
重力常數	$398600.44 \times 10^9 \text{m}^3/\text{s}^2$
大氣重力常數 (fMa)	$0.35 \times 10^9 \text{m}^3/\text{s}^2$
光速	299792458m/s
地球體半長軸	6378136m
扁率	$1/298.257839303$
赤道重力加速度	978032.8mgal
第二階帶諧係數(J_2^0)	1082625.7×10^{-9}
第四階帶諧係數(J_4^0)	(-2370.9×10^{-9})

• PZ-90 與 WGS-84 座標的互換

我們以 U、V、W 為 PZ-90 座標的 3 軸，X、Y、Z 為 WGS-84 座標的 3 軸。則由 PZ-90 轉換至 WGS-84 座標上的方式為如圖 1 所示，而轉換公式如下[11]：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.5\text{m} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -1.9 \times 10^{-6} & 0 \\ 1.9 \times 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix}$$

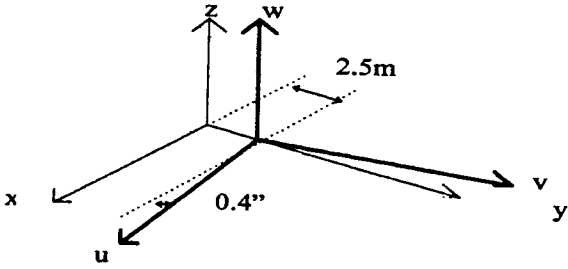


圖1 PZ-90 與 WGS-84 轉換方式

• GLONASS 時間

每個 GLONASS 衛星上都裝備有銨原子鐘，其每日的不穩定度不超過 5×10^{-13} 。也就是說衛星時間刻度的同步準確度為 20 奈秒 (1σ)。GLONASS 時間的產生是靠 GLONASS 中央同步器 (Control Synchronizer; CS)，中央同步器用了銨原子鐘，其每日不穩定不超過 5×10^{-14} ，也就是說 GLONASS 時間比 GLONASS 衛星時間的穩定度要高一個數量級 [8]。

在 GLONASS 時間和國際參考時間 UTC (SU) 間的時間差為一毫秒。導航訊息裡的參數，可將 GLONASS 時間和 UTC (SU) 為的時間差調整到一微秒以內。

GLONASS 衛星的時間刻度不斷地和 GLONASS 時間的刻度相比較。衛星時間相較於 GLONASS 時間和 UTC 時間的修正量。在每一時刻，衛星時間和 GLONASS 時間在刻度上的差異小於十奈秒。

GLONASS 時間按照國際時間局 (Bureau International del'Heure；BIH)公告的潤秒修正而做同樣的修正[4]。所以，GLONASS 時間和 UTC 時間將沒有整數秒的誤差。然而二者之間有一個常數為 3 小時的差異，其描述如下：

$$t_{GLONASS} = UTC(SU) + 03\text{hours}00 \text{ min } \text{utes}$$

在 UTC(SU)的時刻，重新計算衛星星曆資料時，需使用下列的方程式獲得：

$$t_{UTC(SU)} + 03\text{hours}00 \text{ min } \text{utes} = t + \tau_c + \tau_n(t_b) - \gamma_n(t_b)(t - t_b)$$

t 是導航訊號的傳輸時間衛星的時間刻度。

$\tau_c, \tau_n, \gamma_n, t_b$ 皆為衛星廣播的參數。

三.3 GLONASS 導航訊息與衛星位置解算

GLONASS 衛星位置是以求解軌道方程而得到的，而軌道方程的參數是廣播於星曆資料中，因此我們要了解導航訊息以得到計算衛星位置的重要參數。

• 導航訊息的內容

基本上，導航訊息包含立即資料和非立即資料。立即資料是關於 GLONASS 衛星本身的資料[8]，以射頻的形式廣播於空中，包含：

- 衛星時間標記。
- 衛星時間和 GLONASS 時間的時間差。
- 衛星的載波頻率和設定值之間的誤差。
- 星曆資料。

非立即資料包含：

- 所有衛星的狀態資料。
- 每一衛星時間和 GLONASS 時間差的粗略修正值。
- 所有衛星的軌道參數。
- 相對於 UTC 時間的 GLONASS 時間修正值。

• 導航訊息的架構

導航訊息是以數位資料的形式傳輸，並以漢明碼的方式編碼。超框架（Superframe）式結構容納了導航訊息，持續地重複廣播。一個超框架又包含多個框架（Frame），而一個框架中又由字串（String）所組成。不同衛星的字串，框架和超框架的邊界被同步於 2 毫秒以內。

• 超框架結構

超框架耗時 2.5 分鐘，它包含 5 個框架。而每個框架耗時 30 秒，它包含 15 個字的字串。每個字串的耗時為 2 秒。每個框架的前面 4 個字串是立即資料，而其餘 11 個字串是非立即資料。

• 框架的結構

每個框架都包含了本衛星完整的立即資料屬於字串 1 到 4；框架 1 到框架 5 的內容是相同的。每個框架其餘的字串，包含了非立即資料，對應於不同 GLONASS 衛星之星曆。其安排如下：

表3 衛星星曆資料的架構

在超框架中的框架數	被傳遞星曆資料的衛星
1	1 – 5
2	6 – 10
3	11-15
4	16-20
5	21-24

• 字串結構

字串是框架中的結構單元，字串中包含資料位元、檢查位元和時間標記位元。每個字串的耗時為 2 秒，前面的 1.7 秒為資料及檢查位元。每位元耗時 20 毫秒，共有 85 位元。檢查位元是以漢明碼的方式編排，後面的 0.3 秒是時間標記，用以作同步的對正訊號。

• 重要的星曆參數

立即資料提供了本顆衛星精準的星曆參數，可供計算衛星位置之用。

t_b 是一個時間區隔的指標，其原點在當天時間的 UTC(SU)+ 03 小時 00 分鐘。立即資料（如衛星之座標等）所對應的時間，即為 t_b 所指示的區間之點。而 t_b 時間區間的單位是 15 分鐘。

P1 是一個二位元的旗標，其代表的意義為廣播星曆資料的時間間隔，即相隔此時間廣播的星曆資料會更新一次。表 4 是 P1 旗標相對應的時間[8]。

表 4 P1 旗標

P1 的位元	Tb 的時間間隔, 單位為分鐘
00	0
01	30
10	45
11	60

$t_n(t_b)$ 是第 n 顆衛星的衛星時間 t_n 和 GLONASS 時間 t_c 的時間修正值，其表示為：

$$t_n(t_b) = t_c(t_b) - t_n(t_b)$$

$X_n(t_b), Y_n(t_b), Z_n(t_b)$ 是第 n 顆衛星於 t_b 時刻在 PZ-90 座標系統的座標。

$\dot{X}_n(t_b), \dot{Y}_n(t_b), \dot{Z}_n(t_b)$ 是第 n 顆衛星於 t_b 時刻在 PZ-90 座標系統的速度向量。

$\ddot{X}_n(t_b), \ddot{Y}_n(t_b), \ddot{Z}_n(t_b)$ 是第 n 顆衛星於 t_b 時刻在 PZ-90 座標系統的加速度向量。

• 衛星位置和速度的演算法

GLONASS 衛星的位置和速度的演算法，需使用立即資料中的星曆參數。星曆參數所描述的，是衛星在 t_b 時刻的位置、速度和加速度。如果我們要計算時刻 t_i ，而 $|t_i - t_b| < 15$ 分鐘，的衛星位置和速度，即需解算一組微分方程式。方程式的右手邊即為加速度的描述。這一部分考慮了重力常數 μ 和二度分帶係數 C_{20} ，以及太陽和月亮的引力擾動。

爲了解方程式，使用數值方法的四階 Runge-Kutta 疊代技術，即可算出衛星之位置和速度。

$$dx_a / dt = Vx_a$$

$$dy_a / dt = Vy_a$$

$$dz_a / dt = Vz_a$$

$$dVx_a / dt = -\bar{\mu} * \bar{X}_a + 3/2 * C_{20} * \bar{\mu} * \bar{X}_a * \rho^2 * (1 - 5 * \bar{Z}_a^2) + Jx_a m + Jx_a s$$

$$dVy_a / dt = -\bar{\mu} * \bar{Y}_a + 3/2 * C_{20} * \bar{\mu} * \bar{Y}_a * \rho^2 * (1 - 5 * \bar{Z}_a^2) + Jy_a m + Jy_a s$$

$$dVz_a / dt = -\bar{\mu} * \bar{Z}_a + 3/2 * C_{20} * \bar{\mu} * \bar{Z}_a * \rho^2 * (1 - 5 * \bar{Z}_a^2) + Jz_a m + Jz_a s$$

$$\bar{\mu} = \mu / r^2, \bar{X}_a = x_a / r, \bar{Y}_a = y_a / r, \bar{Z}_a = z_a / r, \rho = a_e / r,$$

$$r = \sqrt{X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2}$$

$Jx_a s, Jy_a s, Jz_a s$ 根據太陽重力擾動的加速度

$Jx_a m, Jy_a m, Jz_a m$ 根據月球重力擾動的加速度

a_e 根據 PZ-90 座標的地球赤道半徑，6378.136km

μ 重力常數， $398600.44 \text{ km}^3 / \text{s}^2$

C_{20} 球面調和展開的二階分帶係數(-1082.63e-6)

太陽和月亮擾動的加速度依下列方式計算：

$$Jx_{ak} = \bar{\mu}_k [(\xi_k - \bar{X}_{ak}) / \Delta_k^3 - \xi_k]$$

$$Jy_{ak} = \bar{\mu}_k [(\eta_k - \bar{Y}_{ak}) / \Delta_k^3 - \eta_k]$$

$$Jz_{ak} = \bar{\mu}_k [(\zeta_k - \bar{Z}_{ak}) / \Delta_k^3 - \zeta_k]$$

$$\bar{\mu}_k = \mu_k / r_k^2, \bar{X}_{ak} = X_a / r_k, \bar{Y}_{ak} = Y_a / r_k, \bar{Z}_{ak} = Z_a / r_k$$

$$\Delta_k^2 = (\xi_k - \bar{X}_{ak})^2 + (\eta_k - \bar{Y}_{ak})^2 + (\zeta_k - \bar{Z}_{ak})^2$$

k 是太陽或月亮等擾動體的指標

(k=m 表示月亮，k=s 表示太陽)

$\xi_k, \eta_k, \zeta_k, r_k$ 在時刻 t_b 時，擾動體在座標系統中的參數

μ_m 月球重力常數 $4902.835 \text{ km}^3 / \text{s}^2$

μ_s 太陽重力常數 $0.1325263e12 \text{ km}^3 / \text{s}^2$

以上描述中，時刻 t_i 應配合 GLONASS 接收機提供虛擬距離的時刻。如果以我們的機型 GNSS-300 爲例， t_i 是這樣得到的。首先 GNSS-300 接收機對所有的收到的衛星訊息提供一個時間，稱爲接收機時間，從此時間點開始計時爲接收訊息的間隔，以符號 t_{count} 來表示。而在接收指令 0 號，它又分別提供了 GPS 衛星時間和對接收機時間的差以符號 $t_{gps}, \Delta t_{gps}$ 表示及 GLONASS 衛星時間和對接收機時間的差以符號 $t_{glo}, \Delta t_{glo}$ 表示，所以可得現在時間是

$$t_{igps} = t_{gps} + \Delta t_{gps} + t_{count}$$

$$t_{iglo} = t_{glo} + \Delta t_{glo} + t_{count}$$

兩個時間點是有差異的，由於 GPS 的時間量是一個星期歸零一次的，即以每個星期天開始的零點零分零秒爲起始的。而 GLONASS 時間是每天歸零一次，以每天開始的零點零分零秒爲起始的。

在 GLONASS 衛星系統中，我們計算衛星位置的方法是，先由衛星星曆中得到位置初始值的時間 t_b ，再由接收機中去計算導航訊息的現在時間 t_{iglo} ，而由數值方法的四階 Runge-Kutta 疊代技術可自 t_b 去求得現在時間 t_{iglo} 的衛星位置。

爲了得到雙系統定位，本節所得的 GLONASS 衛星座標是 PZ-90，需將其轉換爲 WGS-84 座標，然後再用定位演算法[6][8]。

三.4 定位方法的討論

• FRN 碼虛擬距離量測

GPS 之定位方式主要是利用衛星位置及其與接收器間之虛擬距離(Pseudo Range)來決定；GLONASS 的定位方式也一樣。但兩者的座標是不一致的，我們必需經過轉換，使兩個系統衛星的座標都是 WGS-84，再使用定位方法解算。測量 PRN 碼之傳遞時間，由此法所計算出衛星與接收機間的距離稱爲“PRN 碼虛擬距離”(Code Pseudo Range)[5]。

• 載波相位定位法

載波相位相對定位法是利用兩個接收機，同時對衛星及作觀測，將二個接收機之相位測量數學模型，作線性組合則可得一次差分式及二次差分式。在做載波相位相對定位時，我們用的是將相位週期數乘以波長得到的虛擬距離去做差分，一次差分可以消去衛星的時間偏差，二次差分時可以消去接收機的時間偏差。而單純的 GPS 系統和 GNSS 系統的差異是，GPS 衛星系統的波長是一樣的，在本章節中，將以 λ_0 來代表 GPS 衛星的波長。GLONASS 衛星使用的是分頻多工(FDMA)，所以不同的衛星有不同的頻率波長，在本章節中，我們將以 λ_m 來代表 GLONASS 衛星的波長，而變數 m 即表示不同的 GLONASS 衛星。在整合計算上，我們會考慮波長之不同，而將載波相位全部轉換成距離的單位量。如此處理，方程式將變成和虛擬碼一樣[2]。

三.5 實驗

• 單機定位實驗結果

利用 GNSS 接收機提供的原始資料，在單機定位的結果中，我們將比較 GPS 的單獨定位結果和雙系統定位結果的差異或改善程度。我們所使用的平面座標基點為：

X = -3025302.2854
Y = 4928772.9313
Z = 2680965.4671

圖 2 是顯示只用 GPS 衛星的定位分佈圖，它的分佈範圍約七十多公尺，它的下圖顯示實驗是在 GLONASS 衛星取消鎖定下進行的，在雙系統中，我們將比較 GLONASS 衛星對定位結果的影響。

下面的實驗結果，是利用 GPS+GLONASS 雙衛星系統的定位結果，圖 3 是雙系統的定位分佈圖，它的分佈範圍約五十多公尺，它的下圖是顯示在此實驗下的 GLONASS 衛星數，由這二張圖可知，有 GLONASS 衛星時明顯對定位結果有改善精準度，在 GLONASS 衛星多的情況下，精確度將會提高且穩定。

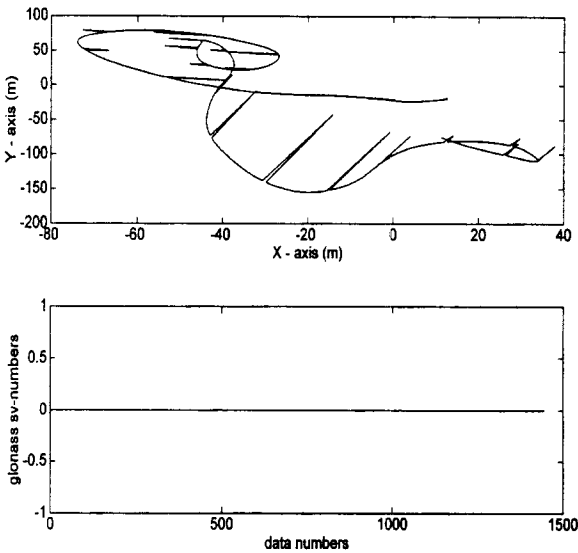


圖 2 GPS 單機定位分佈圖及可見的 GLONASS 衛星數

• 雙機定位實驗結果

利用 GNSS 接收機提供的原始資料，在雙機定位實驗中，我們將比較 GPS+GLONASS 的雙系統與 GPS 單系統，在定位結果上的優劣程度。選擇兩個地面點的距離為標準基線作測量，精確的地面點為 3DF 之測量結果，分別為

X1=-3025302.2854 X2=-3025292.0886
Y1=4928772.9313 Y2=4928779.2957
Z1=2680965.4671 Z2=2680965.2922

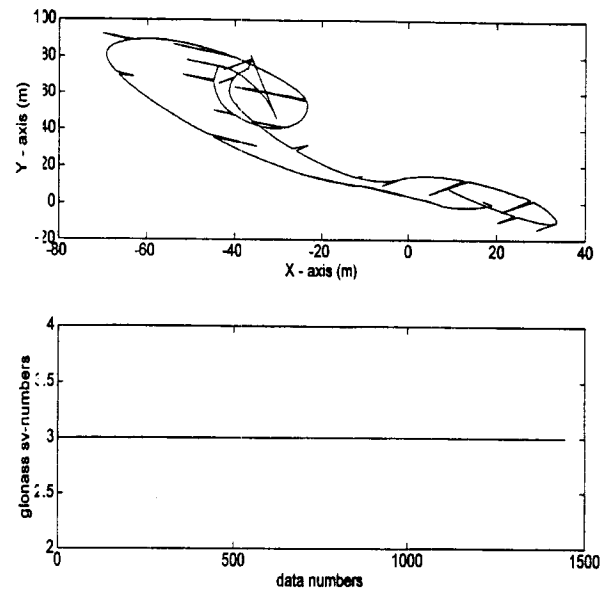


圖 3 GPS+GLONASS 雙系統單機定位及可見的 GLONASS 衛星數

所以標準基線長為 12.088 公尺。雙機定位的技術可有效增加定位點的準確性，一般常用虛擬距離碼(FR)的二次差分法，和載波相位數的三次差分法，各有優缺點，因此實驗中，我們將二種技術法的雙系統結果作一比較。由圖 4 到圖 5 中可觀察出，不論是二次或三次差分法，雙系統的結果確較單系統穩定和精確。

單系統為 GPS 雙系統為 GPS+GLONASS

x^* 為標準基線長 12.088 公尺

平均值為 $\left(\bar{x} = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{1000} x_i \right)$

標準差為 $\left(\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{1000} (x_i - \bar{x})^2 / 1000} \right)$

均方差為 $\left(\sqrt{\sum_{i=1}^{1000} (x_i - x^*)^2 / 1000} \right)$

表 5 二次差分法之比較(一)

	平均值	標準差	均方差
單系統	11.7030m	0.2225m	0.4090m
雙系統	11.6557m	0.2289m	0.4474m

表 6 三次差分法之比較（一）

	平均值	標準差	均方差
單系統	12.2284m	2.2081m	2.0503m
雙系統	12.4768m	1.0563m	1.0323m

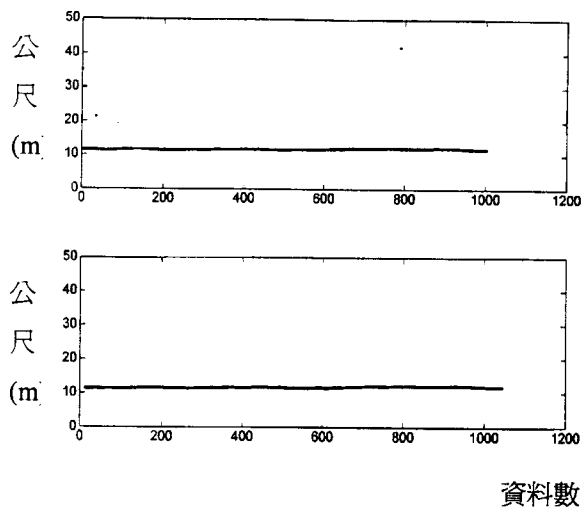


圖 4 二次差分法之比較，上為單系統，下為雙系統

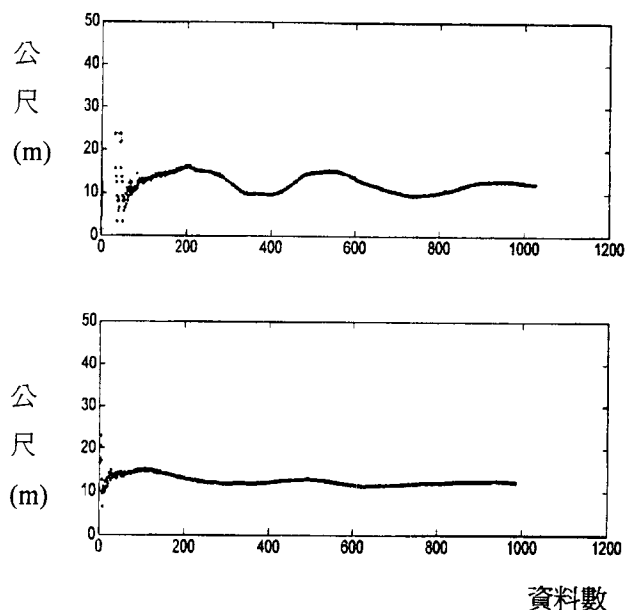


圖 5 三次差分法之比較，上為單系統，下為雙系統

四、結論與討論

本計劃中，我們完整地介紹了 GLONASS 衛星系統，包括了系統的架構、衛星的分佈、訊號的傳導、傳導訊息的格式、時間訊號的標準及 PZ-90 和 WGS-84 座標的轉換，並利用這些訊息解算得到衛星的位置。然後利用單機或雙機的解算法求得使用者的位置。

在實驗部份，我們發現 PZ-90 轉換到 WGS-84 的公式，以第一型的效果較佳。單機定位方面，GPS 系統的定位誤差約 100 公尺時，GNSS 可將其改善到 60 公尺左右。雙機定位方面，二次差分法使用虛擬距離碼。三次差分法使用載波相位法。由於 GPS 接收機與 GLONASS 接收機在時序上的不一致，以及

其他未明因素，以致載波相位法的實驗結果(三次差分)不盡理想。這部份，在未來的研究中要設法改善。

五、參考文獻

- [1] Wells, D., et., al., Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Associate, New Brunswick, Canada, 1987.
- [2] Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins, J., Global Positioning System: Theory and Practice, Springer-Verlag Wien, New York, 1992.
- [3] Leick, A., GPS Satellite Surveying, John Wiley, New York, 1990.
- [4] DOD, Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification, Washington, DC, 1993.
- [5] 簡昆鎰，以 GPS 差分法實現即時相對定位，台大電機所碩士論文，中華民國 82 年。
- [6] Elliott D. Kaplan, Understanding GPS Principles and Applications, Artech House, Boston, London, 1996.
- [7] Gregory T. French, Understanding The GPS, Georesearch Inc., 1996.
- [8] ICD., Global Satellite Navigation System (GLONASS), Navtech Seminars & GPS Supply Inc., 1998.
- [9] 3S Navigation, GNSS-300 GPS/GLONASS Receivers User's Manual, 1998.
- [10] P. N. Misra, R. I. Abbot, and E. M. Gaposchkin, Integrated Use of GPS and GLONASS: Transformation Between WGS-84 and PZ-90, Lincoln Laboratory, Lexington, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [11] Y. A. Bazlov, V. F. Galazin, B. L. Kaplan, V. G. Maksimov, and V. P. Rogozin, GLONASS to GPS: A New Coordinate Transformation, GPS World, January 1999.