

一、中文摘要

本研究之主要目的為模擬與設計全數位 GPS/GLONASS 展頻接收機。為接收美國之 GPS 和俄國之 GLONASS 衛星訊號，設計一共用之類比射頻/中頻 (RF/IF) 前端電路，再利用類比數位轉換器，將訊號轉換成基頻數位訊號。此數位訊號經 BPSK 直接序列解展頻器後，可將接收的導航資料解出。由於接收機廣泛應用於移動之載具上，因此都卜勒效應(Doppler effect)就成為一重要的考慮因素。我們提出一可適性數位鎖相迴路，利用卡門濾波器與改良式 Chandrasekhar 濾波器，進行載波相位狀態估測，提高 GNSS 接收機定位精確度。

關鍵詞：射頻/中頻前端電路、衛星定位、類比數位轉換器、解展頻器、同步、都卜勒效應、可適性數位鎖相迴路，卡門濾波器，Chandrasekhar 濾波器，載波相位估測。

Abstract

This project evaluates and designs a novel RF/IF structure of GNSS receiver, which can process the satellite signals from GPS and GLONASS at the same time.

Several RF/IF structures will be discussed in this report and a novel RF/IF receiver structure is proposed. By using the mixer, the signals from GPS and GLONASS are down-converted to low IF about 20MHz range with fewer IF stages. A high speed and wideband ADC digitizes the down-converted signals for the followed DSP.

The Doppler effect caused by the satellites and vehicles motion is an important problem to be considered. In tracking of the GNSS signals, an adaptive digital phase-locked loop (ADPLL) is proposed. The Kalman filter (KF) and modified Chandrasekhar filter (MCF) algorithms are

employed to estimate the carrier phase model. It is expected that this design will help to reduce the carrier phase error and improve the positioning accuracy of GNSS receivers.

Keywords: GNSS , GLONASS , RF/IF receiver , ADC , DSP, Doppler effect, Adaptive digital phase-locked loop, Kalman filter, Modified Chandrasekhar filter

二、緣由與目的

美國的 GPS 系統在導航和定位之應用已十分普遍，而 GLONASS 的應用則才剛起步。但是為了要將定位的精確度提高並分散風險，發展可同時接收 GPS 和 GLONASS 的雙系統接收機為有其必要。

就目前世界上的發展情況來看，仍是 GPS 一邊獨大。相較之下 GLONASS 則為相對的弱勢。但是在提高系統信賴度的要求下，越來越多的衛星導航系統會合併使用 GPS 及 GLONASS 所發出的信號。使用 CDMA 方式的 GPS 接收機雖已相當普及化，其硬體也已經整合成少數幾個晶片；然而 GLONASS 卻是使用 FDMA 的方式，所以接收機必須要能同時調諧至多個不同頻道並且具有同時接收之能力，其系統的操作模式是和 GPS 截然不同的。雖然目前已可購得同時接收雙系統信號的接收機，但是生產廠商全為外國公司，且價格昂貴，已公開的技術資料極少。所以基於上述之理由，有必要對此兩種系統的接收機做一探討和研究，並針對此兩種不同系統接收機的整合做一最佳化之設計。

三、功能設計

GPS 和 GLONASS 的衛星傳送訊號規格如下[1]：

	GPS	GLONASS
國家	美國	俄國
衛星數目	24	24
載波頻率	L1:1575.42MHz	L2:(1602+0.5625n) MHz, N=-7to12
訊號調變	CDMA C/A code:L1	FDMA C/A code:L1
C/A 碼頻率	1.023MHz	0.511MHz

由上述的規格可以得知，GPS 和 GLONASS 分別採用 CDMA 和 FDMA 的方式傳播訊號。GPS 的頻寬約為 2MHz 而 GLONASS 則寬達 11MHz[1]。新架構整合型的接收機的基本精神，在於 GPS 和 GLONASS 這兩個系統能使用同一個 RF/IF 的接收機前端電路，並且能同時降至中頻並且放大。最後兩個不同的系統訊號能一起使用同一個類比數位訊號轉換器，將訊號轉成數位形式，最後再利用 DSP 的技術，做訊號的解調和解碼處理。

同時，此兩種系統的頻寬不同，而頻率位置的分佈相差約為 25MHz，要同時接收此兩種信號，系統頻寬則需達 35MHz 的程度（註：2005 年之後 $n=-7$ to 4，系統頻寬將減為 30MHz）。圖 1 為此二系統的頻率分佈示意圖。如果要同時接收這兩個訊號，系統在中頻的設計會是一挑戰。

系統的架構概念如圖 2 所示。從天線接收到的微弱訊號首先進入低雜訊的放大器。並使用涵蓋 GPS 和 GLONASS 頻帶的雙頻天線，使用此種天線只需要一個低雜訊寬頻放大器即可。以目前 GPS 和 GLONASS 天線的發展，已有雙頻主動的天線可供選用，此種天線的增益約在 10~15dB 左右，雜訊指數則在 1.5dB 的水準。二次降頻的系統設計使用兩個本地振盪器和降頻混波器。第一次的降頻降至約 150MHz 至 200MHz 的中頻頻率範圍。不用傳統的帶通濾波器取出想要的頻帶訊號而使用陷波器，是因為第二次的降頻使用頻率內折的方式將 GPS 和 GLONASS 的訊號做鏡像頻率轉換，利用這種方法可以同時將訊號降頻，並且在降頻之後使得兩個不同頻帶訊號互相接近，減少整個訊號頻帶的頻寬，使得後續的類比數位轉換器減少取樣頻率。經過中頻放大之後的訊號進

入低通濾波器，濾除會造成 aliasing 的高頻訊號，進入 ADC 做類比數位轉換。

類比中頻訊號的最高頻率為 20.58 MHz，ADC 選擇 4 倍訊號頻率來進行取樣，即 82.32MHz。取樣後的數位中頻訊號送入解展頻器解出衛星資料，為使訊號之 SNR 損失降到最小，所以選擇以同調(coherent)方式進行解調。

在 GNSS 接收機設計中，都卜勒效應(Doppler effect)與多路徑(Multi-path)干擾之壓制成為兩個重要的研究主題，我們將先針對前者進行研究。根據[6]，接收機在靜止與高速使用時，都卜勒頻率偏移量分別為 $\pm 5\text{KHz}$ 與 $\pm 10\text{KHz}$ ，其值影響搜尋模式(acquisition mode)時的速度。在追蹤模式(tracking mode)中需考慮平均與最大都卜勒頻率變化率(rate of change of the Doppler frequency)，其值約為 0.54Hz/sec 與 36Hz/sec，對載波頻率的同步問題影響最大。為達到高精確度的定位，接收機載波相位(carrier phase)的估測，成為一重要課題。

在追蹤模式中，數位鎖相迴路(digital phase-locked loop, DPLL)常被選擇為同步的方法，包含三個部分，相位偵測器，數位濾波器與數值控制振盪器。其中濾波器設計為一階，增益是由預設之雜訊頻寬(noise bandwidth)與阻尼因子(damping factor)決定，而成為常數。但由於接收機載具移動速度之多變性，可變增益(variable gain)濾波器的設計可用來解決這個問題。

四、可適性載波相位估測器

我們使用可適性預估的觀念，首先建立載波相位的數學模型，其為一離散動態系統，再使用卡門濾波器(Kalman filter)進行即時估測，由於卡門濾波器之計算量較大且數學模型為常數型態，因此我們提出使用改良式 Chandrasekhar 濾波器，有效的減少運算量，更適合通訊系統即時反應之需求，最後推導其穩態時之閉迴路響應與卡門增益，進一步討論其穩定性。

(1) 載波相位模型:在圖 3(a)中，代表二階模型之方塊圖，我們選擇相位偏移 x_k 與頻

率偏移 $\dot{x}_k$ 為狀態變數，以下為二階之動態方程式

$$\mathbf{X}_{k+1} = \begin{bmatrix} x_{k+1} \\ \dot{x}_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ \dot{x}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_k \\ \dot{w}_k \end{bmatrix} = \mathbf{F}\mathbf{X}_k + \mathbf{G}\mathbf{W}_k \quad (1)$$

$$y_k = y_k = [1 \ 0] \mathbf{X}_k + v_k = \mathbf{H}\mathbf{X}_k + v_k$$

其中 w_k 為相位抖動雜訊， $\dot{w}_k$ 為頻率抖動雜訊，假設為高斯白雜訊， v_k 為觀測雜訊，也為高斯白雜訊，同時雜訊 $\mathbf{W}_k$ 與 $\mathbf{V}_k$ 為不相關(uncorrelated)。

(2) 可適性數位鎖相迴路(adaptive DPLL):圖 3(b)中，表示可適性載波相位估測器方塊圖。卡門濾波器是使用最小平均平方誤差(MMSE)的方法對狀態向量 $\mathbf{X}_k$ 進行預估，其遞迴方程式如下：

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_k &= y_k - \hat{y}_k = y_k - \mathbf{H} \hat{\mathbf{X}}_k \\ \hat{\mathbf{X}}_{k+1} &= \mathbf{F} \hat{\mathbf{X}}_k + \mathbf{F} \mathbf{K}_k \mathbf{z}_k \\ \mathbf{K}_k &= \mathbf{P}_k \mathbf{H}^T \mathbf{R}_{e,k}^{-1} \\ \mathbf{R}_{e,k} &= \mathbf{H} \mathbf{P}_k \mathbf{H}^T + \mathbf{R} \\ \mathbf{P}_{k+1} &= \mathbf{F} \mathbf{P}_k \mathbf{F}^T + \mathbf{G} \mathbf{Q} \mathbf{G}^T - \mathbf{F} \mathbf{K}_k \mathbf{R}_{e,k} \mathbf{K}_k^T \mathbf{F}^T \end{aligned} \quad (2)$$

(3) 改良式 Chandrasekhar 濾波器:針對常數型之狀態模型，可使用 Chandrasekhar 分解的方法，減少其計算量。其遞迴方程式如下：

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_k &= \mathbf{L}_k^T \mathbf{H}^T \\ \mathbf{W}_k &= \mathbf{M}_k \mathbf{N}_k \\ \mathbf{M}_{k+1} &= \mathbf{M}_k + \mathbf{W}_k (\mathbf{R}_{e,k})^{-1} \mathbf{W}_k^T \\ \mathbf{R}_{e,k+1} &= \mathbf{R}_{e,k} + \mathbf{N}_k \mathbf{W}_k \\ \mathbf{K}_{k+1}' &= \mathbf{K}_k' + \mathbf{L}_k \mathbf{W}_k \\ \mathbf{K}_{k+1} &= \mathbf{K}_{k+1}' \mathbf{R}_{e,k+1}^{-1} \\ \mathbf{L}_{k+1} &= \mathbf{F} \mathbf{L}_k - \mathbf{F} \mathbf{K}_{k+1} \mathbf{N}_k^T \end{aligned} \quad (3)$$

(4) 穩態特性: 當數位鎖相迴路到達穩態時，其卡門增益(Kalman gain)為一常數，分析此時之穩態增益與其穩定度問題。

五、結論

本篇報告針對 GPS 和 GLONASS 的接收機在 RF/IF 部分的整合，提出一新式架構。此種新式架構，可以將 GPS 和 GLONASS 的訊號合併在同一個路徑上做訊號頻率的轉換和放大；最後再經由單一個 ADC 將訊號數位化，經由基頻之數位相關電路處理，再送入 DSP 內運算處理，而

達到同步的目的。

在基頻設計部分，考慮都卜勒效應在載波相位上的影響，利用可適性數位鎖相迴路，降低載波相位誤差，提高精確度。藉由此種新式接收架構，可將 GPS 和 GLONASS 的訊號合併，所以在信號的處理和設計困難度以及成本上都將大幅降低。

六、參考文獻

1. E. D. Kaplan, "Understanding GPS - principles and applications", Artech House, 1996.
2. "Advanced GPS Receiver System", Vol.1, Navtech Seminars, 1992.
3. U. Rohde and T.T.N. Bucher, "Communication Receivers - principles and design", McGraw Hill, 1998.
4. B.Y. Chung et al., "Performance analysis of an all digital BPSK direct sequence spread spectrum IF receiver architecture." IEEE J. Selected Area Commun., 11(7): 1096-1107, Sep. 1993.
5. C. Chien et al. "A single chip 12.7 Mc/s digital IF BPSK direct sequence spread spectrum transceiver in 1.2 um CMOS. IEEE J. Solid State Circuit, 29(12): 1614-1623, Dec. 1994.
6. J. B. Y. Tsui, "Fundamentals of Global Positioning System receivers", John Wiley & Sons, Inc., 2000.
7. Wei-Lung Mao, Hen-Wai Tsao, and Fan-Ren Chang, "Cancellation of Narrowband Interference in GPS Receivers Using NDEKF-based Recurrent Neural Network Predictors", submitted.
8. Wei-Lung Mao, Hen-Wai Tsao, and Fan-Ren Chang, "Anti-jamming Solution of GPS Receiver Using Nonlinear Adaptive Predictor", accepted by ION GPS 2001 Meeting Conference, Salt Lake City, Utah, U. S. A., Sept., 2001.