

실시간 소프트웨어 GPS 수신기 구현 및 성능 분석

곽희삼\*, 고선준\*\*, 원종훈\*\*, 이자성\*\*\*

\*아주대학교 전자공학부(Tel:031-219-2487 Fax:031-212-9531 E-mail:heuisam@ajou.ac.kr)

Implementation of Real-Time Software GPS Receiver and Performance Analysis

Heui-Sam Kwag\*, Sun-Jun Ko\*\*, Jong-Hoon Won\*\*, Ja-Sung Lee\*\*\*

Division of Electronics Engineering, Ajou University, Suwon, 442/749, Korea

**Abstract** - This paper presents the implementation of the real-time software GPS Receiver based on FFT and FLL assisted PLL tracking algorithm.

The FFT(fast fourier transform) based GPS signal acquisition scheme provides a fast TTFF(time to first fix) performance. The tracking based on FLL assisted PLL enables tracking of GPS signal in a high dynamic environment.

The designed software GPS receiver uses the indexing method for generating replica carrier to reduce computation load.

The performance of the implemented GPS receiver is evaluated using high-dynamic simulated data from a simulator and real static data.

CPU 성능을 고려, 64 비트신호열(bit-stream)로 설계하였다.

Sampling rate를 5.714MHz로 하면, 한 주기의 C/A 코드는 5714 비트로 구성되므로, 64비트 블록의 90 워드(word)로 구성한다.

Prompt 코드는 +1, -1의 값으로 표현되므로, 1 비트 정보로 나타낼 수 있으며, +1을 1로, -1을 0으로 표현하였다. EML 코드는 +2, 0, -2의 값을 가지므로, 1 비트의 부호 비트와 0과 2를 나타내는 zero비트로 표현될 수 있다.

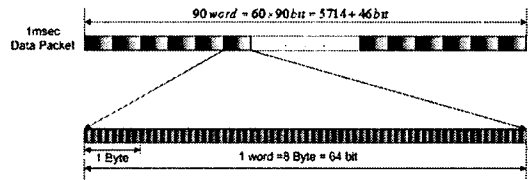


그림 1 1msec 데이터 블록  
Fig 1 1msec data Packet

1. 서 론

기존의 하드웨어 GPS 수신기는 RF-front-end, ASIC 기반의 상관기부, 항법해 산출 및 수신기 제어를 담당하는 프로세서부로 구성된다. 도플러 편이(doppler shift)와 코드 지연(code delay)에 대한 2차원 검색을 통하여 신호 획득이 이루어지며, 획득 신호를 이용 반송파 주파수와 코드위상에 대한 정밀 추적이 이루어진다.

이러한 ASIC기반의 신호처리 알고리즘은 칩 의존적인 취약성으로 인하여 미약 신호 및 고기동 이동체의 신호추적을 위한 알고리즘 적용의 한계성이 존재한다.

반면, 소프트웨어 GPS 수신기는 신호처리의 모든 과정을 소프트웨어로 설계함에 따라, 다양한 신호처리 알고리즘의 개발 및 적용이 용이하며, 소프트웨어 모듈교체를 통한 성능개선 효과를 손쉽게 얻을 수 있다.

본 논문에서는 실시간 소프트웨어 GPS 수신기를 설계하고 성능분석 결과를 제시한다. 고속의 초기 신호획득을 위해 FFT-IFFT 기법과 고기동 환경에서 신호추적이 가능하도록 FLL-Assisted PLL을 소프트웨어 모듈로 구현한다. 고기동(High Dynamic) 및 정지(static) 환경에서 추출한 GPS IF 신호를 이용하여 성능을 확인한다.

본 논문에서는 반송파의 복사신호를 index method를 이용하여, 주파수 1 Hz, 위상  $1.0996 \times 10^{-6}$  rad의 해상도를 갖도록 설계 했다. 부호 1비트와 크기 1비트를 각각 64 비트 열로 구성되며, 다음과 같이 표현된다.

$$I_1 = \frac{5714000}{2\pi} \theta \tag{1}$$

$$I_{k+1} = I_k + f \tag{2}$$

if  $I_{k+1} \geq 5714000$

$$I_{k+1} = I_{k+1} - 5714000$$

$$\begin{cases} \text{sign} = 1 & \text{if } I_{k+1} < 285700 \\ \text{sign} = 0 & \text{otherwise} \\ \text{mag} = 1 & \text{if } 714250 \leq I_{k+1} < 214750 \\ & \text{or } 3571250 \leq I_{k+1} < 499750 \\ \text{mag} = 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

2. 본 론

2.1 소프트웨어 상관기 설계

2.1.1 복사신호 생성

소프트웨어 GPS 수신기는 신호 추적을 위하여, C/A 코드와 반송파의 복사 신호(replica signal)가 요구된다. C/A 코드 복사 신호는 32개의 위성에 대한 각각의 prompt와 early 그리고 late 코드를 생성해야 하므로, 신호생성을 위한 처리부하의 증가를 초래한다. 따라서, 본 논문에서는 처리 속도 향상을 위해 EML(early minus late) 코드를 이용하였다. 또한

여기서,

$f$  : carrier frequency

$\theta$  : carrier phase

$I_{k+1}, I_k$  : Indice

sign : carrier signbit

mag : carrier magnitudebit

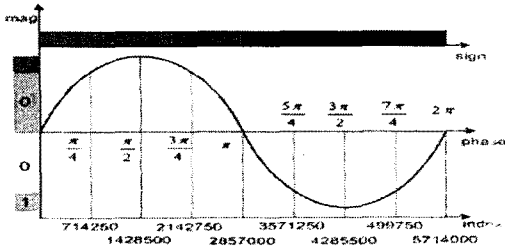


그림 2. 반송파 복사 신호 생성  
Fig. 2 Generation of Replica Carrier

### 2.1.2 중간 주파수 신호 처리

소프트웨어 GPS 수신기에서는 RF-front-end로부터 출력되는 디지털 중간주파수(Intermediate Frequency;IF) 신호를 최소 처리 단위인 1msec으로 저장, 신호처리 한다. 이러한 구조는 저장된 데이터의 재사용이 가능한 구조로서, 설계된 신호처리 알고리즘의 성능분석을 효과적으로 수행할 수 있는 이점을 제공한다.

본 논문에서는 중간주파수 신호를 저장할 수 있는 저장장치를 구성 실험하였다. 중간주파수 신호의 출력을 위한 GP2015기반 RF-front-end부와 데이터 저장을 위한 데이터 획득 장치(data acquisition board;DAQ) 및 저장 프로그램을 설계, 제작하였다. 설계된 RF-front-end부는 5.714MHz 주기로 표본화된 2 비트 형태의 중간주파수 신호를 출력한다. 획득된 신호를 2진 파일로 저장하고, 저장된 데이터를 실시간으로 처리한다.

## 2.2 신호추적 필터 설계

### 2.2.1 코드추적 루프

코드 추적 루프는 정확한 코드위상을 추적함으로써, 입력 신호를 역확산(dspsreading)시키고 동시에 의사 거리 측정치를 제공한다. 일반적인 하드웨어 수신기는 변별기(discriminator)를 이용한 1차 DLL로 구성된다. 이러한 1차 추적필터는 필터특성의 한계로 인하여 고기동 특성을 만족시킬수 없으므로, 응용분야에 한계성을 지니게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고자 EML 변별기를 사용한 2차 코드추적루프를 설계하였다. 설계된 2차 루프 필터(loop filter) 구성은 다음과 같고, 그림 3은 2차 코드추적 루프의 구조를 나타낸다.

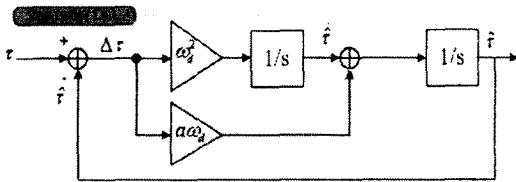


그림 3. 2차 DLL 구조  
Fig. 3 2nd Order DLL Structure

$$\hat{\theta}_{k+1} = \hat{\theta}_k + 2\omega_d^2 T e_k T_{hc} \quad (3)$$

$$\tau_{k+1} = \tau_k + \hat{\theta}_{k+1} T + 2\omega_d T e_k T_{hc} \quad (4)$$

$$e_k = \frac{I_{EML} I_p + Q_{EML} Q_p}{I_p^2 + Q_p^2} \quad (5)$$

여기서,

$$\omega_d = 1.2B_{nd}$$

$$T_{hs} : \text{half chiptime}$$

$$e_c : \text{discriminator output}$$

$$B_{nd} : \text{noiseband width}$$

이와 같은 과정을 통해 코드 위상치를 측정함으로써, 입력데이터의 이동량 계산과 의사거리 측정치 생성을 원시 데이터로 이용한다. 또한, 2차 필터의 설계를 통해 수신기 잡음 효과를 완화 할수 있도록 구현하였다.

### 2.2.1 반송파 추적 루프

일반적인 수신기는 2차 주파수추적 루프(frequency lock loop;FLL) 혹은 2차 위상추적 루프(phase lock loop;PLL)로구성되나, 필터 특성의 한계로 인하여 고속 이동체에서의 신호 추적이 불가능한 단점을 지닌다.

본 논문에서는 이를 보완하고자, 고기동 환경에서의 반송파 추적이 가능한 2차 주파수추적 루프와 3차 위상추적 루프의 결합된 구조인 FLL-Assited-PLL 반송파추적 루프를 설계했다. 설계된 필터는 다음과 같으며, 그림 4는 설계된 반송파추적 루프의 구조를 나타낸다.

$$\hat{\theta}_{k+1} = \hat{\theta}_k + \omega_p^2 T e_k + \omega_j^2 d_j \quad (6)$$

$$\hat{\theta}_{k+1} = \hat{\theta}_k + \hat{\theta}_{k+1} T + 2\omega_p^2 T e_k + \sqrt{2}\omega_j d_j \quad (7)$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \hat{\theta}_{k+1} T + 2\omega_p T e_k \quad (8)$$

$$e_k = ATAN\left(\frac{Q_p}{I_p}\right) \quad (9)$$

$$d_j = \frac{I_{p,k-1} Q_{p,k-1} - I_{p,k} Q_{p,k-1}}{I_k^2 + Q_k^2} \quad (10)$$

여기서,

$$e_k : \text{PLL discriminator output}$$

$$d_j : \text{FLL discriminator output}$$

$$B_{np} : \text{PLL noisebandwidth}$$

$$B_{nf} : \text{FLL noisebandwidth}$$

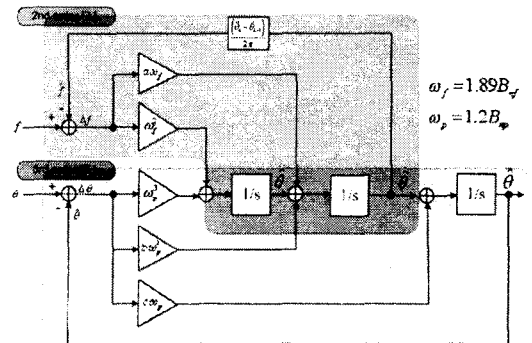


그림 4. FLL Assisted PLL 구조  
Fig. 4 FLL Assisted PLL Structure

### 2.3 실험 결과 및 성능 분석

구현된 PC기반의 소프트웨어 GPS 수신기의 동작특성을 확인하기 위하여 정지상태의 실제 중간주파수 신호와 고기동 환경상의 GPS 신호 발생기 신호를 이용하였다. 그림 5는 정지 상태의 실제 1msec 신호데이터를 이용하여 신호획득을 위해 FFT-IFFT한 결과를 나타낸다. 그림 6과 7은 반송파 및 코드 신호에대한 주적결과와 Inphase/Quadrature-phase의 신호를 나타낸다.

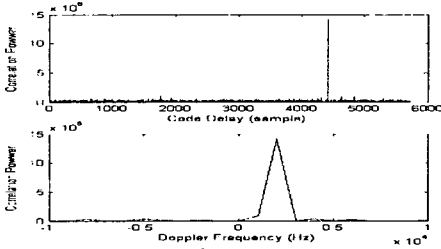


그림 5. 26번 위성의 FFT-IFFT 신호 처리 결과  
Fig. 5 FFT-IFFT Processing Result with SV #26

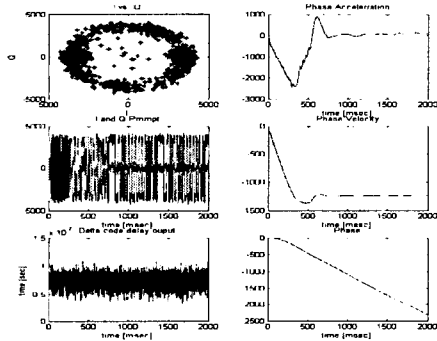


그림 6. 26번 위성의 신호 추적 결과  
Fig. 6 Signal Tracking Result with SV #26

그림7과 그림 8은 최대 가속도가 34g인 고기동 환경의 신호획득 및 신호추적 결과를 나타낸다.그림 5와 그림 7에서 확인 할 수 있듯이,FFT-IFFT를 이용하여 1 chip 내의 코드검색과 1kHz 내의 도플러 검색이 성공적으로 이루어짐을 확인할 수 있다. 또한 그림 6과 그림 8에서는, 추적 루프를 통해 코드의 위상을 추적과 반송파 주파수 및 위상 추적을 통해 항법데이터가 추출됨을 확인할 수 있다.

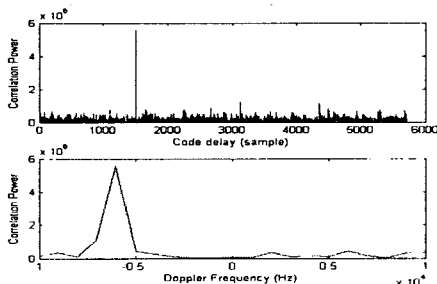


그림 7. 18번 FFT-IFFT 신호처리 결과  
Fig. 7 FFT-IFFT Processing Result with SV #18

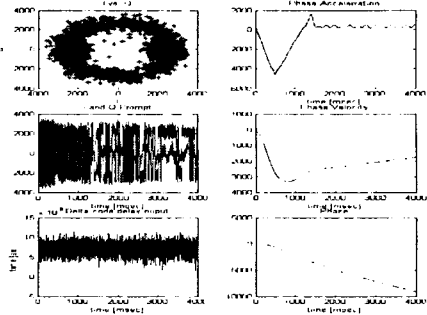


그림 8. 18번 위성의 신호 추적 결과 (1)  
Fig. 8 Signal Tracking Result with SV #18 (1)

### 3. 결 론

본 논문에서는 실시간 운용가능한 소프트웨어 GPS 수신기를 설계 구현하고 실제 중간주파수 신호를 이용하여 GPS 신호처리 성능을 확인하였다. 반송파 복사신호 생성을 위하여 index method를 이용, 메모리 요구량을 최소화 하였으며, 64 비트로 병렬처리를 통해, 처리속도를 개선함으로써, 실시간 운용가능하도록 설계, 구현 하였다.

FFT-IFFT 기반 신호획득 알고리즘을 통해 고속의 신호획득이 가능함에 따라 TTFF성능을 개선하였으며, 고기동 환경에서의 신호처리를 위한 FLL-Assisted-PLL을 설계 구현하였다. 실제 신호 데이터와 고기동 환경모의 신호데이터를 이용한 실험을 통해 구현 시스템의 성능을 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] E.D. Kaplan, *Understanding GPS: Principles and Applications*, Artech House, 1996
- [2] D. J. R. Van Nee, R. M. Coenen, "New Fast GPS Code acquisition Technique Using FFT," *Electronics Letters*, Vol. 27, No. 2, Jan. 1991.
- [3] J. B. Y. Tsui, *Fundamentals of Global Position System Receivers A Software Approach*, John Wiley & Sons Inc., 2000.
- [4] Sun Jun Ko, J.H.Won, J.S. Lee, "FFT and PLL based GPS Signal Processing for Software GPS Receiver", *GNSS 2003(China)*.
- [5] B.M. Ledvina, S.P. Powell, and P.M. Kintner "A 12 Channel Real Time GPS L1 Software Receiver," *ION GPS 2003,2003*.