

L1/L2 듀얼 밴드 GPS 수신기의 상위 레벨 분석

김진복 · 송호준

충남대학교

The Analysis of Algorithm for L1/L2 Dual - Band GPS Receiver

Jin-bok Kim · Ho-jun Song

Chungnam National University

E-mail : ssissi@hanmail.net · hjsong@hanbat.chungnam.ac.kr

요 약

L1 band (1575.42MHz)를 이용한 GPS 수신기의 위치 및 시간 오차는 대략 100 m 와 70 ns 정도로 알려져 있으며, 이 오차의 주원인 중 하나가 위성신호가 대기권을 통과할 때 전리층에서 생기는 전파지연이다. 이러한 전리층의 전파 지연을 정확하게 검출하여 수신기의 위치 오차와 시간 오차를 보정해 주기 위해 사용되는 방식으로서 L1/L2 dual-band를 이용하는 GPS 수신기가 있다. Dual-band GPS 수신기는 한 위성에서 보내는 L1 밴드 (1575.42MHz) 신호와 L2 밴드 (1227.6MHz) 신호가 각각 전리층을 통과할 때 주파수에 따라 전파 지연 값이 다르다는 것을 이용하여 지연 값을 보정해 주는 원리를 이용한 것이다. 본 논문에서는 Synopsys사의 COSSAP 툴을 이용하여 L1/L2 듀얼 밴드 GPS 수신기의 구조를 상위레벨 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

ABSTRACT

The position and time errors of a conventional L1-band GPS receiver (1575.42MHz) are known to be about 100 m and 70 ns, respectively. These errors are mainly due to the propagation delay of GPS satellite signals through ionosphere. Various L1/L2 dual-band GPS receivers are normally used to compensate for those position and time errors by detecting an accurate propagation delay. These receivers detect the propagation delay difference between the L1 and L2 signals based on the fact that the propagation delay through ionosphere is dependent on frequency and, from which, calculate an accurate propagation delay of the GPS signals through ionosphere. In this paper, we analyzed the architecture of a L1/L2 dual-band GPS receiver by high-level simulations with Synopsys's COSSAP Tool.

I. 서 론

전리층 모델은 GPS navigation data의 4번째 프레임에 포함되어 있다. 하지만, 보다 정확한 위치와 시각 정보를 얻기를 원하는 GPS수신기 사용자들은 GPS navigation data에서 얻을 수 있는 전리층 모델보다 더 정확한 값을 원할 것이다. 이를 위하여 표준 이중 주파수 보정 방식, P-코드가 필요 없는 이중 주파수 보정 방식과 단일 주파수 보정 방식이 연구되어지고 있다. 본 논문에서는 구현하기가 간편하고 암호화된 P-코드가 필요 없는 이중 주파수 보정 방식에 대하여 분석해 보았다. 전리층의 전파 지연 값을 구하기 위해서는 L2(1227.6MHz) 밴드의 캐리어를 정확하게 복원해 내는 것이 필요하다. GPS에서 사용하는 SS-CDM A(Spread Spectrum Code Division Multiple Access)방식은 잡음 레벨 이하의 신호를 수신하여 본 논문은 학술진흥재단의 연구과제로 수행된 것임

수신기에서 C/A-code를 correlation하여 데이터를 복원해낼 수 있다. Dual-Band GPS 수신기의 전리층 지연 보상 방법은 먼저 코드를 알고 있는 L1 신호로부터 캐리어를 복원하고 이 캐리어의 도플러효과를 이용하여 L2 신호에서 위상 지연차를 복원하는 방식(Codeless Tracking)을 사용하고 있다. Codeless Tracking 방법으로 캐리어를 복원하여 L1-band에 대한 L2-band의 위상 지연차를 구하여 GPS navigation data에서의 전리층 모델을 보상하여 보다 정확한 위치와 시각 정보를 얻을 수 있도록 할 수 있다. 수신 단에서 P-code의 대역폭이 20MHz인데, 상위 레벨 분석을 통해 RF필터의 대역폭에 따라 전파 지연의 오차 값의 변화를 분석해 보았다.

II. Global Positioning System 신호 특성

GPS System은 다음의 두 가지 신호 성분으로

구성되어 있다.

L1은 중심 주파수가 1575.42 MHz 이고, L2는 중심 주파수가 1227.6 MHz 이다. 이것은 마스터 클럭 10.23MHz의 정수 배로 구하여진다. 아래의 수식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} L_1 &= 1575.42\text{MHz} = 154 \times 10.23\text{MHz} \\ L_2 &= 1227.6\text{MHz} = 120 \times 10.23\text{MHz} \end{aligned} \quad (1)$$

그리고, 각각의 밴드에서 신호를 퍼뜨리기 위한 코드로서 L1 band의 C/A-code의 Chip rate는 1.023 Mbps이고, L2 band의 P-code는 Chip rate가 10.23 Mbps이다. 그리고, navigation data의 rate는 50 bps이다.

또한, 전리층에서의 전파 지연을 다음의 표에서 다른 밴드와 비교하여 볼 수 있다.

표 1. 각 밴드 신호의 전리층 전파 지연

Performance parameter	UHF ≈ 400 MHz	L-band (1-2 GHz)	C-band (4-6 GHz)
Ionospheric group delay, $\Delta R \sim 1/f^2$	Large group delay, 20-1500 ns	Group delay 2-150 ns at 1.5 GHz	Group delay ≈ 0-15 ns

P-code와 C/A-code의 band-width는 아래 그림에서와 같다.

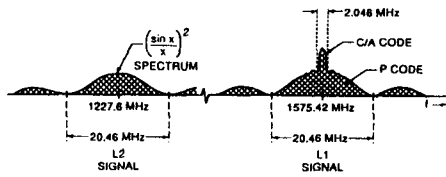


그림 1. GPS signal band-width

Dual-Frequency를 이용하여 pseudoranges를 구할 수 있다. R_{L_1} 은 L1 밴드에서 구한 pseudoranges, R_{L_2} 는 L2 밴드에서 구한 pseudoranges라고 할 때, pseudoranges를 구하는 식은 다음과 같다.

$$R_{L_1} \cong R + \frac{A}{f_1^2}, \quad R_{L_2} \cong R + \frac{A}{f_2^2} \quad (2)$$

R : 전리층 전파 지연이 없는 경우의 의사 거리
A : 전리층 내의 전자 수에 관한 상수

위의 수식에서 전리층의 전파 지연이 캐리어 주파수의 제곱에 반비례함을 볼 수 있다. 최종적으로 pseudoranges를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R &= R_{L_1} - (R_{L_2} - R_{L_1}) / (f_1^2 - f_2^2) = R_{L_1} - 1.545728(\Delta R) \\ &\text{---- (3)} \\ \Delta R &= R_{L_2} - R_{L_1} \end{aligned}$$

III. Codeless Dual-band System

일반 GPS 수신기 사용자에게는 L2 채널의 P-code가 공개되지 않기 때문에 전리층의 전파 지연을 구하기 위해 다음의 codeless dual-band 기술을 사용한다.

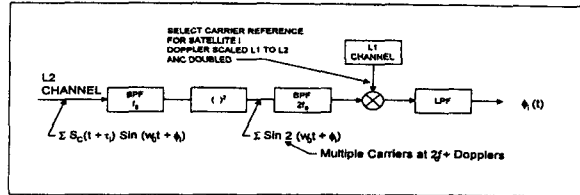


그림 2. Codeless dual-band tracking 방법 squaring 방법

그림 2의 tracking 방법은 P-code를 제공하여 전리층의 전파 지연 모델을 보다 정확한 값으로 보상해줄 수 있다.

IV. 상위 레벨 분석

상위 레벨 분석을 위해 먼저 임의의 4개의 GPS satellite 각각의 L2 밴드의 신호를 다음과 같이 모델링 하였다.

- Random-bit-generator를 이용해 P-code 모델링
- Sin-generator를 이용해 L2 밴드 캐리어 모델링

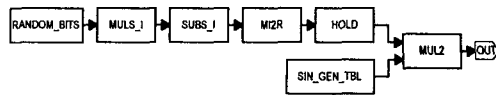


그림 3. P-code BPSK modulation의 COSSAP model

RANDOM_BITS: 10.23Mbps의 P-code generator
SIN_GEN_TBL: L2-band carrier generator

위의 4개의 그림은 각각의 위성에서 보낸 주기

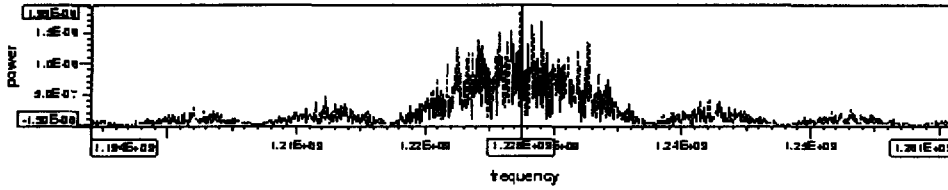


그림 4. COSSAP 모델에서 입력되는 GPS 신호의 FFT가 7-date인 modulation된 신호이다. 신호의 대역폭이 20MHz인 L1 캐리어(20MHz)의 FFT(b)를 나타낸 것이다.

폭은 (그림 1)에서 볼 수 있는 바와 같이 20MHz이다. (그림 3)의 블록으로 L2 캐리어에 대역폭이 20MHz인 P-code를 위의 (그림 4)에서와 같이 만들어 내었다. 또한, GPS satellite의 공전 주기는 12시간이므로 지구의 자전으로 생기는 수신기의 속도와 위성의 속도 때문에 발생하는 도플러 영향은 -500Hz ~ +500Hz의 범위에 있다. 아래의 그림은 도플러와 전파 지연의 COSSAP 모델이다.

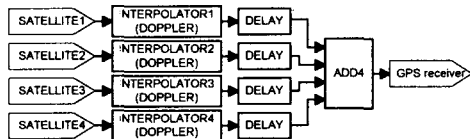


그림 5. Doppler and delay model

위의 P-code 신호를 IF 10MHz 대역으로 down conversion하여 프로세서가 처리할 수 있게 L2 캐리어를 복원하여 전파 지연을 tracking하는 블록을 오른쪽 위의 그림과 같이 구현하였다.

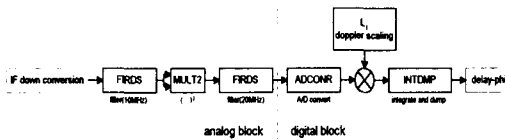
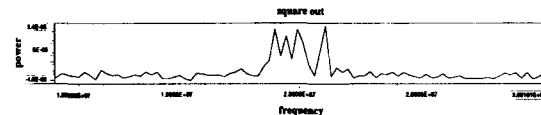
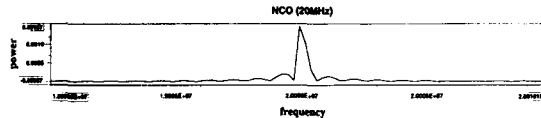


그림 6. carrier 복원 모델

위의 블록에서 filter(10MHz)의 대역폭을 0.4 MHz ~ 10MHz까지 변화시키면서 대역폭에 따라 전파 지연 값이 tracking되는 정도를 시뮬레이션 하였다. tracking block은 A/D convertor를 통하여 Analog signal을 Digital signal을 바꾸어 Digital block에서 tracking할 수 있도록 모델링 하였다. (그림 7)은 square block에서 수신된 각각 4개의 L2 신호에서 복원된 캐리어 [20MHz + Doppler(-500Hz, -250Hz, 0Hz, +500Hz)]의 FFT(a)와 전파 지연 값의 tracking을 위해 scaling



(a) Square block에서 복원된 L2 캐리어의 FFT $\sum\{20\text{MHz} + \text{Doppler}(-500, -250, 0, 500\text{Hz})\}$



(b) Doppler scaled L1 to L2 NCO 캐리어의 FFT 20MHz

그림 7. 복원된 L2 캐리어와 NCO 캐리어의 FFT

Doppler를 고려한 L1-band 캐리어를 L2-band로 scaling하여 L2 채널에서 제공하여 복원된 캐리어에 믹싱하여 low-pass filtering하여 동일한 위성에서 보내진 L2 신호를 filter(10MHz)의 대역폭의 변화에 따른 전파 지연 변화를 분석하였다. Integrate-and-dump 모델의 계산 주기는 실제의 경우 -500Hz ~ +500Hz의 도플러 차이가 생기는 다른 위성에서 전달된 신호를 필터링하기 위해 dump 주기를 적어도 1ms정도 이상으로 해야 할 것이다. 다음 페이지의 표2와 그림 8에서는 전파 지연이 각각 0° , 18° , 36° , 54° 로 주어 졌을 때, band-pass filter(10MHz)의 대역폭 변화에 따른 전파 지연 Tracking 값의 변화를 볼 수 있다. 표의 전파 지연 오차 백분율은 다음의 식과 같이 나타내었다.

$$\Delta\phi(\%) = \left| \frac{\phi_{L_2} - \phi'_{L_2}}{\phi_{L_2}} \times 100 \right| \quad (4)$$

ϕ_{L_2} 는 예상되는 전파 지연 값,

ϕ'_{L_2} 는 Tracking된 전파 지연 값

다음 페이지의 (그림 8)에서 볼 수 있듯이 필터의 대역폭이 넓어짐에 따라 전파 지연 오차가 줄어들었다.

표 2. 대역폭에 따른 Scaled-L1밴드에 대한 L2밴드의 전파 지연 오차(백분율)

	백분율(%)			
	at 0 °	at 18 °	at 36 °	at 54 °
0.4MHz	44.7	43.9	43.9	44.7
0.8MHz	43.1	42.1	42.1	43.1
1.2MHz	41.1	40.2	40.2	41.1
1.6MHz	39.4	38.3	38.3	39.8
2MHz	38.2	36.6	36.6	37.9
4MHz	30.2	27.7	27.7	30.2
6MHz	22.8	20.0	19.9	22.8
8MHz	16.6	13.9	13.9	16.6
10MHz	11.5	9.3	9.2	11.5
12MHz	8.1	6.2	6.3	8.1
14MHz	6.0	4.4	4.5	6.0
16MHz	5.0	3.7	3.7	5.0
18MHz	4.7	3.5	3.5	4.7

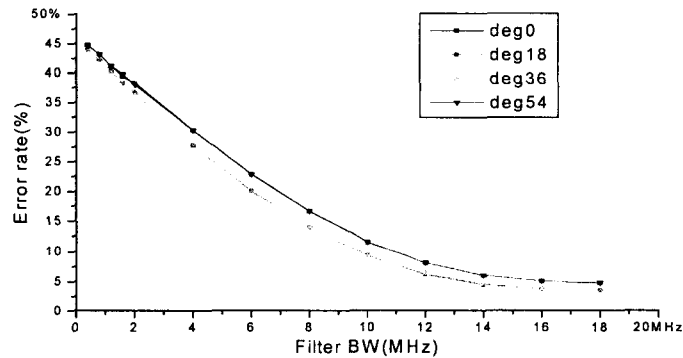


그림 8. 대역폭에 따른 전파 지연 오차 백분율

V. 결론

위의 (그림 8)에서 볼 수 있듯 대역폭의 변화에 따른 전리층의 전파 지연의 모델로 GPS 수신기 사용자들은 L1 single-frequency를 이용하여 얻은 위치 및 시간 정보를 보정하여 보다 더 정확한 값을 구할 수 있을 것이다. 이것은 현재의 GPS system 이용 범위를 훨씬 다양하게 해 줄 것이다. 또한, P-code가 필요치 않으므로 현재의 GPS system service 상황에서 이용 가능하다는 것이다.

참고 문헌

- [1] Bradford W. Parkinson, James J. Spilker Jr, Penina Axelrad and Per Enge, Global Positioning System: Theory and Applications Volume I, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. pp 69 ~ 72, 169 ~ 174,
- [2] Elliott D. Kaplan, Understanding GPS Principles and Applications, Artech House Boston • London, pp 84 ~ 90, 1996