

論文

AltBOC 변조 특성을 활용한 Galileo E5 신호 수신 소프트웨어 개발

전상훈*, 소형민*, 이택진*, 김강호*, 전승일*, 김종원*, 기창돈*, 이상욱**, 김재훈**

Development of Galileo E5 Signal Receiving Software for AltBoc
Signal ModulationSang-Hoon Jeon*, Hyoung-Min So*, Taik-Jin Lee*, Ghang-Ho Kim*, Seung-Il Jeon*,
Chong-Won Kim*, Chang-Don Kee*, Sang-Uk Lee** and Jae-Hoon Kim**

ABSTRACT

This paper contains the signal receiving algorithm for Galileo E5 AltBOC signal and the development of Galileo E5 signal receiving software. The software runs the process from signal acquisition to extracting measurement data to get navigation solution. It uses logged IF data file as an input. In signal acquisition stage, 1ms and delayed 1ms data are used for reducing correlation loss from secondary code and navigation bit conversion. Signal tracking stage is made of two stages which are coarse tracking and fine tracking. It is for taking advantage of AltBOC characteristic and resolving ambiguity problem due to BOC modulation. The functions of software are verified by signal processing using logged IF data from commercial GNSS simulator.

초 록

본 논문은 Galileo E5 AltBOC 신호를 수신하는 알고리즘에 대해 연구하고, 이를 소프트웨어 수신기에 적용하여 구현, 검증하였다. 신호 수신 소프트웨어는 로깅된 IF 데이터 파일로부터 신호의 획득과 추적을 진행하여 항법해를 구하기 위해서 필요한 데이터를 추출하는 기능을 수행한다. 신호 획득 단계에서는 항법 데이터와 부 코드에 의한 반전을 고려하여 1ms 데이터와 0.25ms 지연된 1ms 데이터를 활용하도록 구현되었고, 신호 추적 단계에서는 AltBOC신호의 장점을 이용하고 BOC 변조로 인한 모호성을 해결하기 위한 방법으로 개략 신호 추적과 정밀 신호 추적 두 단계로 나누어 신호 추적을 진행하였다. 구현된 신호 수신 소프트웨어는 상용 시뮬레이터에서 얻은 데이터를 이용하여 검증하였다.

Key Words : AltBOC, Galileo, SGR, Software GNSS Receiver(소프트웨어 위성항법 수신기)

1. 서 론

GNSS(Global Navigation Satellite System)를 이용한 항법은 항공분야 뿐만 아니라 선박, 차량,

† 2009년 4월 23일 접수 ~ 2009년 8월 10일 심사완료

* 정희원, 서울대학교 기계항공공학부
교신저자, E-mail : dori8011@snu.ac.kr

서울시 관악구 신림동 산 56-1

** 정희원, 한국전자통신연구소 위성 제어 항법팀

개인 항법 등의 여러 분야에서 사용되고 있다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 GPS(Global Positioning System)는 처음에는 군사, 과학용으로 구축이 되었지만, 현재 민간에게 개방이 되어 있다. 그러나 여전히 군사적 목적으로 인해 민간 사용이 제한될 가능성이 존재한다. 유럽에서는 GPS의 한계와 가용성을 극복하기 위하여 민간 GNSS인 Galileo 시스템을 구축하고 있다.

이 Galileo 시스템은 신호 구조 측면에서 GPS

에서 사용하는 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 변조 기법과 달리 BOC(Binary Offset Carrier) 변조 방법을 사용한다는 특징을 가진다. BOC 변조는 BPSK에 비교하여 다중경로 오차 성능, anti-jamming 성능에서 우수한 특성을 나타낸다 [1].

Galileo 시스템은 크게 세 주파수 대역으로 나뉘는데, (E1, E5, E6) 본 논문에서는 AltBOC(Alternative Binary Offset Carrier) 변조 방식이 적용된 E5 신호를 수신 처리하는 소프트웨어에 대해서 다룬다. E5 신호는 AltBOC 신호 변조 기법의 특성상 E5a와 E5b로 나뉘고, 사용자는 E5 신호에 대하여 E5a와 E5b 신호 각각을 독립된 BPSK 신호로 간주하여 이를 활용하거나 E5a와 E5b 신호를 동시에 AltBOC 신호로 활용 하는 것이 가능하다.

Galileo E5 신호에 대한 연구는 E5신호 전체를 광대역 RF단을 이용해서 처리할 수 있는 AltBOC신호에 대한 신호 획득 및 추적 기술[2], E5a와 E5b 신호를 독립적으로 처리하여 GPS나 Galileo의 다른 주파수 대역과 동시에 사용함으로써 위치 정확도를 향상시키기 위한 연구[3], GPS와 Galileo 시스템의 상호 운용성이나 Galileo E5신호 대역에 존재하는 DME신호와와의 간섭을 해결하기 위한 기술에 대한 연구[4] 등 기존의 GPS 신호를 이용한 항법보다 향상된 신호 추적 성능과 다원화되는 GNSS 신호를 통합적으로 처리하여 사용자의 위치정확도 향상과 무결성 감시기능을 더욱 강화할 수 있는 여러 연구들이 진행 되고 있다.

본 논문에서는 Galileo E5 신호 변조 기법인 AltBOC 신호를 E5a와 E5b신호를 독립적으로 처리하는 것이 아니라, 두 신호를 포함하는 광대역 신호를 처리하는 프로그램 개발에 대해서 설명한다. 통합적으로 신호를 처리하는 경우, 광대역 RF(Radio Frequency)전처리 단을 필요로 하는 단점이 있긴 하지만, 광대역 신호로 인한 다중 경로 오차 성능 향상, 방해 전파에 대한 강건성 증가 등의 장점을 가진다. 또한, AltBOC 신호의 특성상 자기 상관 함수가 급격한 기울기의 여러 개의 피크로 구성이 되기 때문에, 신호 추적 단계에서 중심 피크를 찾아야하는 모호성이 존재하긴 하지만, 코드 추적 에러가 큰 값으로 검출되기 때문에 코드 추적 성능이 향상된다. 구현된 논문에서는 신호 추적 단계에서 AltBOC 신호의 장점을 살릴 수 있는 알고리즘을 구현하고, 이를 바탕으로 향후 Galileo E5신호 추적 알고리즘 개발을 위한 기본 단계를 구축한다.

개발된 Galileo E5 소프트웨어 수신 처리 프로그램은 저장된 GNSS 중간 주파수(IF: Intermediate Frequency) 샘플 신호를 처리하여 신호를 획득하고 획득된 위성 신호를 추적한다. 신호 획득 모듈은 저장된 중간 주파수 샘플 데이터로부터 가시 위성의 번호와 코드 위상과 도플러 및 신호 세기를 구해서 신호 추적 모듈에 전달한다. 이때, E5a-I 신호에 실려져 있는 항법 데이터나 E5a-I, E5b-Q에 모두 실려져 있는 부위성 코드(위상변조번호와 코위상)로 인한 비매칭을 고려하여 총 1ms(코위상), 처음 1ms신호와 앞부분 0.25ms를 제외한 뒷부분의 1ms 신호에 대해서 신호 획득을 실시한다. 신호 추적 모듈은 획득 모듈로부터 위성의 초기 정보를 받아고려 채널에 위성을 할당하고, 할당된 위성의 코드 위상과 도플러를 세밀히 추정하여, 항법 데이터와 의사거리 계산을 위한 측정치를 추출한다.

본 논문에서는 처리하는 신호의 대상이 되는 Galileo E5 AltBoc 신호 변조 방법에 대해서 설명하고, 신호 수신 프로그램의 구조와 내부의 모듈에 대해서 설명한 후에 시뮬레이터의 신호를 처리한 결과를 살펴보도록 한다.

II. 본 론

2.1 Galileo E5 신호 구조

Galileo 시스템은 GPS 신호와 L1 밴드를 공유하는 E1 신호대역(1575.42MHz), 암호화 되어 있어 상용의 해독 모듈이 있어야 신호 수신이 가능한 정밀 위치 측정 용도의 E6신호 대역(1278.75 MHz) 그리고 E5a신호와 E5b신호가 8-QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조 방법으로 생성된 E5 신호대역(1191.795MHz)가 존재한다.

이 중 Galileo E5신호에는 E5a와 E5b가 각각 I,Q 채널에 해당하는 신호를 송출하고 있고, Table 1에서는 이에 대한 신호의 변조 방식과 전송률에 대한 자료가 정리되어 있다.

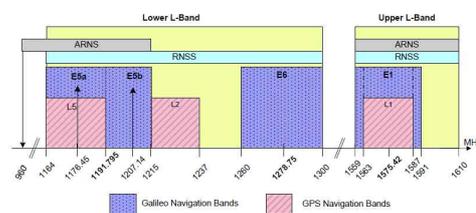


Fig. 1. Galileo system의 주파수 스펙트럼[5]

Table 1. Galileo E5 신호의 전송률

채널	변조 방식	칩 전송률	심볼 전송률
E5a-I	AltBOC (15,10)	10.23MHz	50bps
E5a-Q			250bps
E5b-I			
E5b-Q			

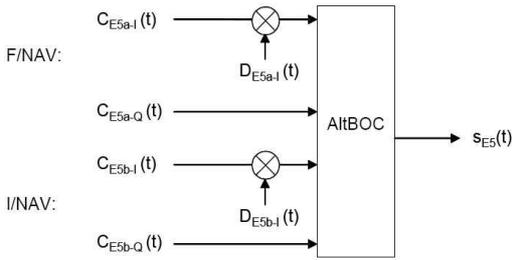


Fig. 2. E5 신호의 변조 방식[5]

Galileo E5신호는 Fig. 2와 같이 E5a의 I, Q 채널의 코드와 E5b I, Q 채널의 코드가 AltBOC 기법을 이용하여 하나의 신호로 변조되어 생성이 된다. E5a-I와 E5b-I 신호에는 항법 데이터가 존재 하지만, Q 채널은 파일럿 신호로써 항법 데이터가 존재 하지 않는다. AltBOC 변조에 입력이 되는 코드와 항법 데이터가 변조된 신호의 수식적 표현은 (1)과 같다[5].

$$\begin{aligned}
 e_{E5a-I}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} [c_{E5a-I|i|_{E5a-I}} \cdot d_{E5a-I|i|_{K5a-I}} \cdot \text{rect}_{T_{c,E5a-I}}(t-i \cdot T_{c,E5a-I})] \\
 e_{E5a-Q}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} [c_{E5a-Q|i|_{E5a-Q}} \cdot \text{rect}_{T_{c,E5a-Q}}(t-i \cdot T_{c,E5a-Q})] \\
 e_{E5b-I}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} [c_{E5b-I|i|_{E5b-I}} \cdot d_{E5b-I|i|_{K5b-I}} \cdot \text{rect}_{T_{c,E5b-I}}(t-i \cdot T_{c,E5b-I})] \\
 e_{E5b-Q}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} [c_{E5b-Q|i|_{E5b-Q}} \cdot \text{rect}_{T_{c,E5b-Q}}(t-i \cdot T_{c,E5b-Q})]
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$C_{x,|i|_x}$: x 신호의 확산 대역 코드 중 i번째 비트
 $d_{x,|i|_x}$: x 신호의 항법 메시지 비트 중 i번째 비트
 $\text{rect}_{T_{c,x}}(t-i \cdot T_{c,x})$: x 신호 코드의 확산 대역 코드 중 i번째 비트에 곱해지는 사각 펄스

AltBoc 변조는 입력으로 들어가는 위 수식의 코드와 AltBoc 부반송파(Sub-carrier)의 합성으로 생성이 되며 그에 대한 수식표현은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 S_{E5}(t) &= \frac{1}{2\sqrt{2}}(e_{E5a-I}(t)+j \cdot e_{E5a-Q}(t)) \left[s_{c_{E5-S}}(t)-j \cdot s_{c_{E5-S}}(t-\frac{T_{s,E5}}{4}) \right] \\
 &+ \frac{1}{2\sqrt{2}}(e_{E5b-I}(t)+j \cdot e_{E5b-Q}(t)) \left[s_{c_{E5-S}}(t)+j \cdot s_{c_{E5-S}}(t-\frac{T_{s,E5}}{4}) \right] \\
 &+ \frac{1}{2\sqrt{2}}(\overline{e_{E5a-I}(t)+j \cdot \overline{e_{E5a-Q}(t)}}) \left[s_{c_{E5-P}}(t)-j \cdot s_{c_{E5-P}}(t-\frac{T_{s,E5}}{4}) \right] \\
 &+ \frac{1}{2\sqrt{2}}(\overline{e_{E5b-I}(t)+j \cdot \overline{e_{E5b-Q}(t)}}) \left[s_{c_{E5-P}}(t)+j \cdot s_{c_{E5-P}}(t-\frac{T_{s,E5}}{4}) \right]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

여기서 \overline{e} 는

$$\begin{aligned}
 \overline{e_{E5a-I}} &= e_{E5a-Q} \cdot e_{E5b-I} \cdot e_{E5b-Q} \\
 \overline{e_{E5a-Q}} &= e_{E5a-I} \cdot e_{E5b-I} \cdot e_{E5b-Q} \\
 \overline{e_{E5b-I}} &= e_{E5a-I} \cdot e_{E5b-Q} \cdot e_{E5b-Q} \\
 \overline{e_{E5b-Q}} &= e_{E5a-I} \cdot e_{E5a-Q} \cdot e_{E5b-I}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

이고, 부코드(sub-carrier) $s_{c_{E5-S}}$ 와 $s_{c_{E5-P}}$ 는 Fig 3과 같다[5].

이렇게 생성된 E5 신호는 중심주파수를 기준으로 양쪽으로 E5a와 E5b가 분산되게 되고, 15*1.023MHz 작은 1176.45MHz의 중심주파수를 갖는 E5a 신호와 15*1.023MHz 큰 1207.14MHz의 중심주파수를 갖는 E5b신호가 생성되게 된다.

Fig. 4는 기저대역(baseband)의 생성된 신호를 나타내는 PSD(power spectrum density)이다.

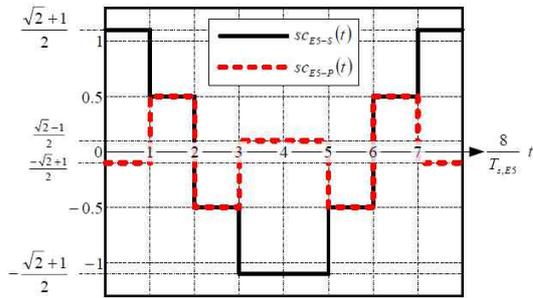


Fig. 3. AltBoc 변조의 sub-carrier

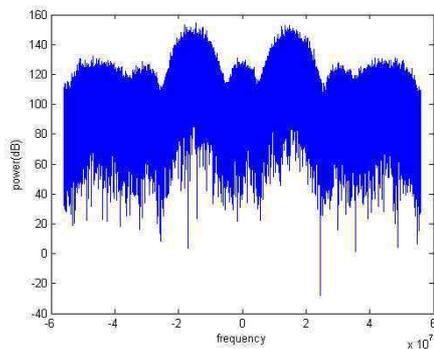


Fig. 4. E5신호의 baseband의 PSD

2.2 신호 획득

E5신호는 E5a와 E5b신호로 구성이 된다. 비록 E5a와 E5b의 중심주파수는 E5신호의 중심주파수에서 +/- 15.345MHz 떨어져 있지만 두 신호는 코드와 반송파가 일치(coherent)되어 있다. 또한 각각의 E5a와 E5b의 I와 Q채널의 신호역시 코드 시작점이 일치되어 있고 위상각이 차이가 난다. 따라서 E5a-Q 주코드군(primary code) 한 주기만을 이용하여 신호획득 과정을 수행하여도 E5a-I, E5a-Q, E5b-I, E5b-Q 네가지 신호의 획득이 가능하여 중복된 검색을 줄일 수 있다.

신호 수신 측면에서 E5a-Q신호는 독립적으로 BPSK신호로 가정이 가능하므로, GPS의 C/A 코드의 신호 획득 과정과 유사하게 E5a-Q신호의 주코드 한주기를 코드를 이용하여 신호 획득이 가능하다. 소프트웨어로 구현을 할 경우 병렬검색이 가능하므로 FFT기반의 병렬 검색으로 신호의 코드시작점과 도플러를 획득한다[6].

Galileo 신호의 한 주기 코드는 주코드와 부코드(Secondary code)가 합성된 형태의 코드군(Tiered code)를 구성한다. 주코드의 한 주기는 PRN으로 10230칩으로 구성이 되고, 한 코드가 반복이 될 때마다 부코드에 의하여 한 주기 코드 전체의 반전이 일어나게 된다. Fig 3에서 나타나듯이 한 주기 주코드 N개의 칩의 길이가 부코드 한 칩의 길이와 같다. 부코드의 부호에 따라서 한 주기의 주코드 N개의 칩이 반전이 일어나거나 혹은 반전이 없는 코드로 송출되게 된다. 그러므로 부코드의 개수가 N_s 개 인 경우 Tiered code 한 주기는 $(N*N_s)*T_c$ 이다. (T_c : 주코드의 한 칩의 시간단위 길이)

GPS의 C/A코드의 신호 획득의 경우 20ms마다 발생할 수 있는 항법데이터에 의한 반전을 고려하여 1ms + 1ms 데이터 즉 2ms의 데이터를 이용하여 1ms 데이터에 대한 신호 획득을 두 번 시행하지만, Galileo E5의 경우 1ms가 끝나는 경우마다 부코드에 의한 반전으로 인한 상관값 손

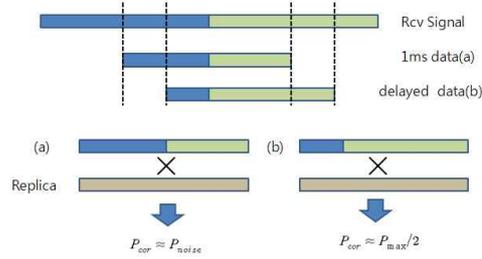


Fig. 6. E5신호의 baseband의 PSD

실이 발생할 수 있으므로, 이를 보완하기 위해서 1ms데이터에 대한 신호 획득을 실시한 후, 0.25ms 지연된 1ms 데이터에 대한 신호 획득을 실시한다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 수신된 신호는 한 주기가 끝날 때마다 코드 반전의 가능성이 존재한다. 그림의 (a)의 경우처럼 수신된 신호에서 신호획득 과정을 위해서 데이터를 추출한 경우 코드 반전으로 상관값은 코드 앞 부분과 뒷부분의 부호가 반대가 되고 이를 상관함을 하게 되면, 신호의 노이즈 수준으로 출력을 얻게 된다. 하지만 이러한 최악의 상황에서 1/4주기 즉 0.25ms 지연된 신호에 대해서 신호 획득을 위한 상관 검사를 수행하게 되면, 기대 가능한 최대의 파워의 1/2 수준의 상관크기가 얻어지고, 이를 이용하여 신호 획득이 가능해진다.

각 위성에 대하여 1ms와 지연된 1ms 두 IF 데이터를 추출하여 도플러를 변화 시켜 가면서 FFT를 활용하여 신호 병렬 검색을 진행한다.

2.3 신호 추적 모듈

신호 추적은 두 단계로 진행된다. 첫 번째 단계는 E5a 신호를 BPSK로 추적하는 단계이고, 두 번째 단계는 E5a와 E5b 신호를 동시에 사용하여 보다 정밀한 신호 추적을 진행하는 단계이다. 이 단계는 AltBOC 신호의 장점인 넓은 대역폭과 기울기가 큰 상관 그래프로부터 오는 코드 추적성능의 향상의 특징을 살리기 위하여 BPSK기법 보

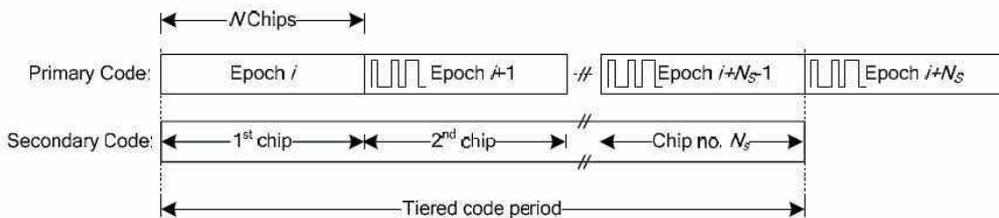


Fig. 5. Galileo System의 Tiered code [5]

다 나은 성능이 예상되는 코드 추적 루프를 구성한다. 수신된 AltBOC 신호의 기저대역 (baseband)는 다음과 같은 수식으로 간략화 할 수 있다[2].

$$s(t) = d_1 c_1(t) \cdot e^{j \cdot w_s t} + d_2 c_2(t) \cdot e^{-j \cdot w_s t} + c_3(t) \cdot e^{j \cdot (w_s t + \frac{\pi}{2})} + c_4(t) \cdot e^{-j \cdot (w_s t - \frac{\pi}{2})} \quad (4)$$

여기서 C_1, C_2, C_3, C_4 는 각각 E5bI, E5aI, E5bQ, E5aQ의 PRN(Pseudo Random Number) 코드를 나타내고, d_1, d_2 는 E5bI와 E5aI의 항법 데이터 비트를 나타낸다. 또한 $w_{sG} = 2\pi f_s$ 로써 f_s 는 주파수 오프셋인 15.345MHz이다. 이 중 pilot 채널에 대한 신호를 나타내면 다음과 같다[2].

$$S_p(t) = c_3(t) \cdot e^{j \cdot (w_s t + \frac{\pi}{2})} + c_4(t) \cdot e^{-j \cdot (w_s t + \frac{\pi}{2})} \quad (5)$$

E5a-Q신호와 E5b-Q신호의 코드는 각각 독립적인 순서(independent sequence)로 구성되어 있었고 수신기 내부에서 생성된 각각의 신호와 상관하여 적분함을 하였을 때 일치하지 않는 신호와 상관(cross-correlation)의 적분함은 무시하는 것이 가능하다. 따라서 위의 신호를 E5a-Q신호와 상관한 결과는 다음과 같이 나타난다[2].

$$R_{E5a-Q}(\tau) = \int_{T_f} c_4(t) e^{-j(w_s t - \frac{\pi}{2})} c_4(t - \tau) e^{j(w_s(t - \tau) - \frac{\pi}{2})} dt \quad (6)$$

$$\propto tr(\tau) \cdot e^{-jw_s \tau}$$

여기서 τ 는 수신된 신호의 코드와 수신기 내부에서 생성한 코드의 시간차를 나타내고, T_{int} 는 한 주기의 코드 적분 시간을 나타낸다. 또한 $tr(\tau)$ 은

$$tr(\tau) = \begin{cases} 1 - |\tau| & |\tau| < T_c \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

로 나타낼 수 있고, 여기서 T_c 는 코드 한 chip의 시간 길이가 된다. 이를 노이즈가 없다고 가정한 이상적인 신호에 대해서 상관한 결과는 다음 그림과 같다.

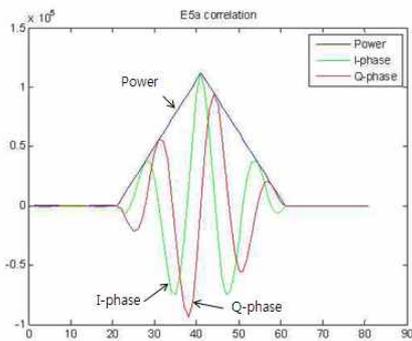


Fig. 7. 신호 추적 모듈에서 E5a-Q코드의 자기 상관 그래프(ACF :Auto-Correlation Function)

E5a를 이용한 신호 추적은 non-coherent 방법의 신호 추적[7]을 사용하여 구현이 가능하고, 이는 E5a신호를 BPSK신호로 간주하고 신호 추적을 진행하는 방법과 유사하다. 구현된 신호 수신 소프트웨어의 신호추적 첫 번째 단계는 이와 같은 방식으로 E5a-Q를 이용하여 신호 추적을 진행한다. 상관 그래프가 삼각형으로 BO, 변조로 인한 신호 추적 모호성(tracking ambiguity)는 존재하지 않는다. 같은 방법으로 수신된 신호와 수신기 내부에서 생성된 E5b-Q 신호의 상관 결과는 다음과 같이 나타난다[2].

$$R_{E5b-Q}(\tau) = \int_{T_f} c_3(t) e^{j(w_s t + \frac{\pi}{2})} c_3(t - \tau) e^{-j(w_s(t - \tau) + \frac{\pi}{2})} dt \quad (8)$$

$$\propto tr(\tau) \cdot e^{jw_s \tau}$$

이 상관결과물인 $R_{E5a-Q}(\tau)$ 와 $R_{E5b-Q}(\tau)$ 를 조합하면 다음과 같이 나타나고, 이는 Fig. 8과 같다.

$$R_{E5-Q}(\tau) = R_{E5a-Q}(\tau) + R_{E5b-Q}(\tau) \quad (9)$$

$$\propto tr(\tau) \cdot \cos(w_s \cdot \tau)$$

수식 (9)는 상관결과 값의 부호가 같을 경우이다. 하지만 부코드 혹은 항법데이터에 의해서 주코드는 한 주기마다 일어날 수 있는 반전 때문에 $R_{E5a-Q}(\tau)$ 값과 $R_{E5b-Q}(\tau)$ 값은 부호가 다를 수 있다.

이러한 경우 일반적인 코드 시작점을 찾는 E-L(Early minus Late) S-curve를 이용하여 신호 추적을 할 수 없다. 따라서 이러한 모호성을 해결하기 위하여 $R_{E5a-Q}(\tau)$ 값과 $R_{E5b-Q}(\tau)$ 값의 부호를 무시하는 절대크기를 사용하여 상관결과를 유도하여 사용한다.

$$R_{E5-Q}(\tau) = |R_{E5a-Q}(\tau)| + |R_{E5b-Q}(\tau)| \quad (10)$$

$$\propto tr(\tau) \cdot |\cos(w_s \cdot \tau)|$$

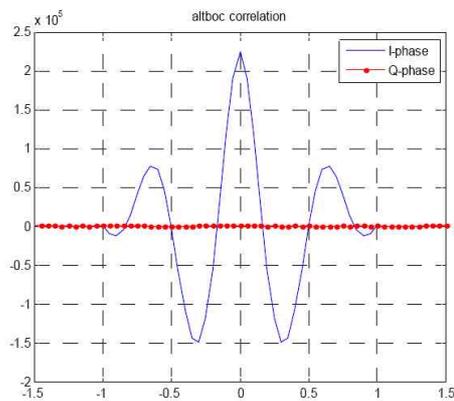


Fig. 8. AltBOC 신호의 ACF

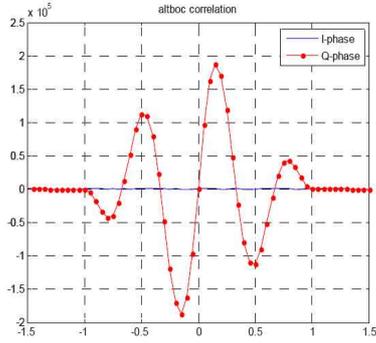


Fig. 9. 비트 반전에 의해 E5a와 E5b의 상관값부호가 다른 AltBOC 신호의 ACF

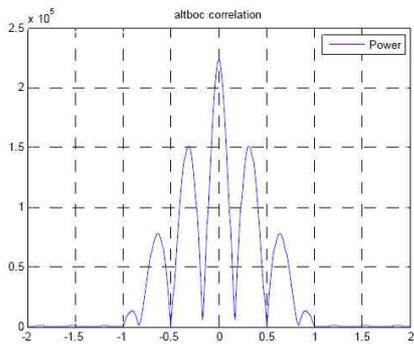


Fig. 10. E5a,b 코드의 상관 값의 크기 조합으로 만들어진 AltBOC 신호의 ACF

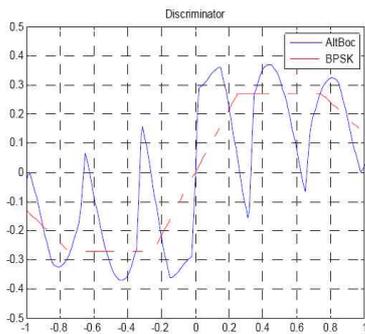


Fig. 11. AltBOC 과 BPSK의 E-L S-curve

이와 같은 상관 방법을 이용하여 신호 수신을 하게 되면 모호성이 사라지게 되고, AltBOC의 장점인 중심 peak의 너비가 좁은 ACF를 얻을 수 있다. 이 ACF는 S-curve를 구성하였을 때 BPSK 기법의 그것보다 중심 부분에서 기울기가 큰 그래프를 얻을 수 있어 보다 정밀한 신호 추적이 가능하게 된다.

Fig. 11은 AltBOC(Chip spacing:0.3) 방식과 BPSK(Chip spacing 0.5)방식의 E-L값을 스케일링하여 나타낸 것이다. AltBOC을 이용한 방식은 원점 근처에서 기울기가 크게 나타나기 때문에 정밀한 추적이 가능하지만, 다수의 peak 때문에 나타나는 BOC 모호성이 나타난다.

이 모호성을 해결하기 위한 방법으로는 Very Early와 Very Late 상관기를 사용하는 Bump-to-Jumping 방법[8] 외에 여러 가지 방법들이 연구 되고 있다[9]. 본 신호 수신 소프트웨어에서는 BPSK의 코드 판별기를 동시에 사용이 가능하므로 신호 추적 오차가 0.1 칩 이상 벌어질 경우 BPSK를 이용한 코드 추적 루프로 전환하는 방법을 사용하여 모호성을 해결하였다.

이를 구현한 신호 수신 소프트웨어의 신호 추적 루프는 Fig. 12과 같다. 입력된 신호는 반송파 추적 루프(Carrier Lock Loop)를 통하여 생성된 Carrier NCO값을 이용하여 신호를 합성하고 IF 대역의 신호를 기저대역으로 낮추게 된다. 이 신호와 E5a코드를 상관하여 E5a에 대한 상관 결과를 얻고 마찬가지로 E5b에 대한 상관 결과를 얻는다. 입력된 데이터와 획득된 신호 정보가 추적루프로 입력되고 난 다음의 첫 번째 단계로는 E5b의 상관 결과를 이용하지 않고 E5a만을 이용하여 BPSK방식으로 개략 코드 추적 루프를 진행한다. 이후 코드 추적 루프(DLL: Delay Lock Loop)가 어느 정도 수렴하다고 판단하면 두 번째 단계로 넘어가서 E5a와 E5b 코드 상관 결과를 활용한 AltBOC 방식의 코드 추적 루프를 구동시킨다. 코드 추적을 위한 루프 필터로는 2차 루프필터를 사용하였으며, 신호 검증과 테스트에 용이하도록 루프필터 대역은 간단한 변수로 조작이 가능하도록 설정하였다. 반송파 추적을 위한 PLL(Phase Lock Loop)와 FLL(Frequency Lock Loop) 도 2차 루프필터를 사용하였다[10].

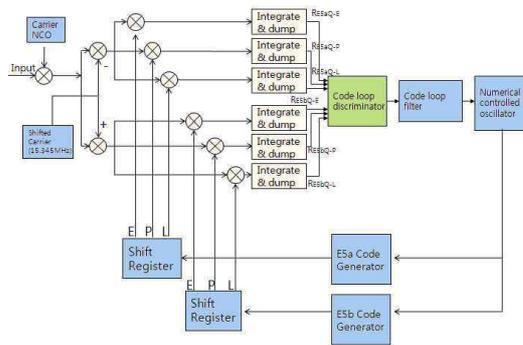


Fig. 12. AltBOC 신호 추적 루프

2.4 테스트 결과

테스트를 위한 데이터로는 Spirent 사의 GSS8000 series의 시뮬레이터를 사용하여 생성된 신호를 RF단을 거쳐 파일로 로깅된 데이터를 사용하였으며, IF 데이터 파일에 대한 정보는 다음과 같다.

위의 IF 데이터 파일을 입력으로 신호 획득을 수행한 결과는 다음과 같다. 왼편의 그림은 신호 획득 결과로 출력된 MATLAB 구조체이다. 첫 번째 열부터 PRN, 상관 크기, 코드 시작점, Doppler 값이 위성별로 나열되어 있다. 오른쪽의 그림은 4번 PRN에 대한 신호 획득 그래프이다. 신호 획득은 FFT를 이용한 병렬검색이 사용되었으므로, 코드의 해상도는 샘플링 간격과 같다. 또한 도플러는 500Hz간격으로 검색하였다.

신호 추적 루프는 개략 추적 단계와 정밀 추적 단계로 나뉘고, 개략 추적 단계는 E5a신호만을 이용한 BPSK non-coherent 코드 추적 루프를, 정밀 추적 단계에서는 AltBoc 신호를 고려한 E5a와 E5b신호를 동시에 사용하여 코드 추적 루프를 구현하였다.

Table 2. 테스트에 사용된 IF data 정보

IF freq	RF bandwidth	Sampling Freq	Quantization Level
140 MHz	50MHz	112MHz	8bit.

Table 3. 구현된 신호 추적 루프 정보

	1st stage E5a	2nd stage E5a+E5b
Loop Bandwidth	50MHz	50MHz
Chip spacing	0.5 chip	0.3 chip
Number of correlator	6 (1,Q for each E,P,L)	12 (6 for each E5a, E5b)

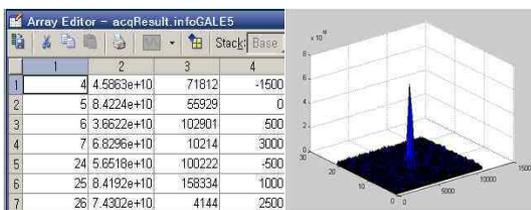


Fig. 13. 신호 획득 결과

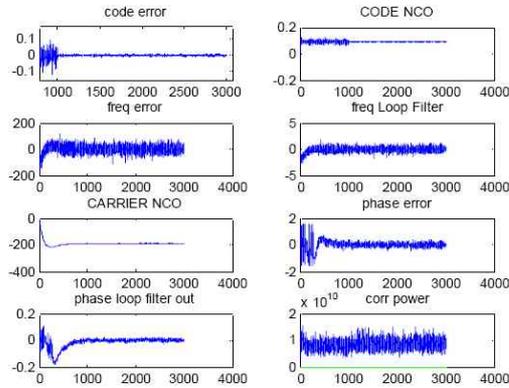


Fig. 14. 신호 추적 결과

Fig. 14는 구현된 수신 프로그램을 이용하여 테스트 데이터를 처리한 결과이다. 코드 추적 오차, 반송파 주파수, 위상각 추적 오차가 일정한 값으로 수렴하고 코드 상관 크기가 일정하게 유지됨으로부터 신호 추적이 정상적으로 수행되는 것을 확인할 수 있다. 약 1000 epoch (1sec) 후에 개략 신호 추적 단계인 E5a만을 사용한 신호 추적에서 정밀 추적 단계인 altboc 특성을 활용한 신호 추적으로 바뀌었다. 개략 추적 단계와 정밀 추적 단계에서는 AltBOC장점을 활용한 코드 추적 루프 판별기를 이용하여 DLL만을 변화시켰으며, PLL과 FLL은 동일한 추적루프를 사용하였다. PLL과 FLL은 10Hz 이하의 대역폭의 루프필터를 구성하였고, 이에 따라서 약 1초 후에 수렴하는 특성을 나타내었다. 개략 추적 단계에서는 코드 판별기 출력의 표준편차가 0.988 m, 정밀 추적 단계에서는 0.1068 m로 나타났다.

III. 결론

Galileo E5신호는 중심 주파수를 기준으로 양쪽으로 E5a와 E5b신호가 분포하게 되는 AltBOC 변조 방식을 사용하였다. 이는 GPS L5 신호와 상호 운용성을 증대시키려는 목적과 E5a와 E5b 각각 독립적으로 혹은 E5 전체를 선택적으로 사용할 수 있다는 이점을 나타낸다.

본 논문에서는 Galileo E5 AltBoc 신호를 처리하는 수신 알고리즘을 소프트웨어 수신기에 적용하고 이를 구현, 검증하였다. 신호 수신 소프트웨어는 로깅된 IF 데이터 파일로부터 신호의 획득과 추적을 진행하여 유효 데이터를 추출하는 기능을 수행한다.

신호 획득 단계에서는 항법 데이터와 부 코드에 의한 반전을 고려하여 1ms와 0.25ms 지연된 1ms데이터를 이용하여 신호를 획득하였고, 신호 추적 단계에서는 AltBoc신호의 추적 성능 향상과 BOC 변조로 인한 모호성을 고려하여 개략 신호 추적과 정밀 신호 추적 두 단계로 나누어 신호 추적을 진행하였다. 구현된 신호 수신 소프트웨어는 상용 시뮬레이터에서 얻은 데이터를 이용하여 검증하였다.

향후 과제로는 상관기의 수가 늘어남에 따라서 증가하는 계산량 문제, 넓은 대역폭에 따른 RF(Radio Frequency)단의 복잡성 문제, 높은 샘플링 주파수로 인한 데이터 크기 문제, Galileo의 다른 신호를 함께 이용하거나 다른 GNSS를 이용한 위치 정확도 향상 등의 분야에 구현된 수신 프로그램을 활용하는 방안 등이 있다.

후 기

본 연구는 지식경제부 및 산업기술연구회의 협동연구과제의 일환으로 수행하였음.[08AR2310, GPS/Galileo환경에서의 위성항법신호생성/수신처리 및 측위성능향상 기초연구]

본 연구는 서울대학교 항공신기술연구소의 지원 하에 수행하였음

참고문헌

- 1) G.Hein, J. Godet, and J.Issler, "The Galileo Frequency Structure and Signal Design", Proceeding of ION GPS 2001, pp. 1273~1282.
- 2) Sleewaegen, J.-M., De Wilde, Hollreiser M,

"Galileo Alt-BOC receiver.", Proceedings of GNSS 2004, 16-19 May 2004, Rotterdam, Holland.

3) Yoosam Na, Munsun Kim, Byonghak Jo, Sunjun Ko, Heonchul Park, Jubong Park, Jaeheon Lee, " A 44mW GPS/Galileo Dual Mode L1/L1F and L5/E5a Dual Band RF Receiver", Proceeding of ION NTM 2008, January 28-30, San Diego, California

4) Grace Xingxin Gao, David S. De Lorenzo, Alan Chen, Sherman C. Lo, Dennis M. Akos, Todd Walter and Per Enge, "Galileo GIOVE-A Broadcast E5 Codes and their Application to Acquisition and Tracking", Proceeding of ION NTM 2007, January 22-24, San Diego, California

5) Galileo Project Office, GIOVE-A SIS ICD ,2007.

6) James Bao, Yen Tsui, "Fundamentals of Global Positioning System Receivers", Wiley-interscience, 2005.

7) Elliot D.Kaplan, " Understanding GPS, 2nd Edition", pp. 173~179.

8) P.Fine, and W. Wilson, "Tracking Algorithm for GPS Offset Carrier Signals", Proceedings of the ION-NTM 1999, pp. 671~676.

9) Vincent Heiries, Daniel Roviras, "Analysis of non ambiguous BOC Signal Acquisition Performance", Proceedings of Institute of Navigation, CA,2004, Sep 21-24, pp. 2611~2622.

10) S. A. Stephens, J.B. Thomas, " Controlled-Root Formulation for Digital Phase-Locked Loops", IEEE Transactions on aerospace and electronics systems, vol 31, No 1. Jan 1995, pp. 73~95.