

# Galileo BOC(1,1)에서 이른 상관시간 오프셋 영역의 상관 값을 이용한 추적기법

준회원 유 승 수\*, 김 상 훈\*\*, 종신회원 윤 석 호\*\*, 송 익 호\*\*\*, 김 준 태\*, 김 선 용\*

## A Tracking Scheme using Correlation Value at Advanced Offset Range in Galileo BOC(1,1) Signal

Seungsoo Yoo\*, Sanghun Kim\*\* *Associate Members*,  
Seokho Yoon\*\*, Ickho Song\*\*\*, Jun Tae Kim\*, Sun Yong Kim\*\* *Lifelong Members*

### 요 약

Galileo 시스템은 통신 물리계층으로 직접수열/대역확산 (direct sequence/spread spectrum, DS/SS) 시스템을 사용한다. DS/SS 시스템은 수신신호로부터 정보를 복원하기 위해 수신신호의 확산신호와 수신기에서 발생한 확산신호의 동기를 정확하게 결정하고, 유지해야 한다. 이를 위해 DS/SS 시스템은 획득과 추적 단계를 수행해 동기를 맞춘다. 이상적인 환경에서 최적 부호추적기는 EL-DLL이다 (delay lock loop with early minus late discriminator). EL-DLL은 정확한 동기시점을 기준으로 확산신호의 상관함수가 정확히 대칭인 특징을 이용해 추적을 수행한다. 그러나 다중경로 신호가 수신되었을 때 상관함수의 대칭성이 왜곡되며, 이로 인해 추적이 완료되어 동기시점을 결정한 후에도 일정한 동기오차가 존재한다. 이처럼 추적기가 동기시점을 결정한 후에도 잔존하는 동기오차를 추적편이라 한다. 이상적인 환경에서 Galileo BOC(1,1) 신호로 변조된 확산신호는 정확한 동기시점에서 최고 값이 나타나며, 이 시점을 기준으로 반 칩 (chip) 이른 상관시간 오프셋과 늦은 상관시간 오프셋에서 극소 값을 갖는다. 이때 다중경로신호는 항상 가시신호에 비해 늦게 수신되기 때문에 정확한 동기시점을 기준으로 반 칩 이른 상관 시간 오프셋 주변의 상관 값은 다중경로신호에 의해 크게 왜곡되지 않는 특징을 갖는다. 본 논문은 이 특징을 바탕으로 Galileo BOC(1,1)에 알맞은 추적편이 완회기법을 제안하고, 기존 기법과 제안한 기법의 추적편이 특성을 분석한다.

**Key Words** : Galileo System, BOC, DS/SS, Tracking Bias, AOR and DOR

### ABSTRACT

The Galileo system, a global navigation satellite system (GNSS) developed by E.U., uses the direct sequence/spread spectrum (DS/SS) modulation. A DS/SS-based system performs a fine synchronization between the received and locally generated spreading signals, via a tracking process. In the absence of multipath signals, using the symmetric characteristic of the correlation function, the delay lock loop with the early minus late discriminator (EL-DLL) offers the best performance in tracking. However, in the presence of multipath signals, the symmetry of the correlation function could be lost, causing a tracking bias. In this paper, we observe that the correlation values in the advanced offset range remain almost unchanged, due to the multipath signals being received later than a line-of-sight signal. Based on this observation, we propose a novel tracking scheme for a Galileo BOC(1,1) system.

※ 본 연구는 2007년 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥연구재단의 지원으로 수행된 연구임. 과제번호: KRF-2007-313-D00581  
\* 건국대학교 전자정보통신공학부 (kimsy@konkuk.ac.kr), \*\* 성균관대학교 정보통신공학부, \*\*\* 한국과학기술대학교 전자전산학과  
논문번호: KICS2007-10-460, 접수일자: 2007년 10월 8일, 최종논문접수일자: 2008년 1월 9일

## I. 서 론

Galileo 시스템은 민간 서비스 부분에서 정확도가 낮고, 많은 제약이 존재하는 미국의 범역항법 시스템에 (global positioning system, GPS) 대한 대안으로 유럽연합을 중심으로 개발이 진행 중인 위성항법 시스템이다. 지난 2005년 12월 Galileo 시스템의 시험위성인 GIOVE-A 위성이 운용 정지궤도에 성공적으로 안착, 지구로 측위신호를 송신하기 시작하면서 Galileo 시스템에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이에 우리나라 정부는 지난 2006년 9월 Galileo 프로젝트에 공식 참여하기로 결정하였으며, 이후 동북아 지상 관제국 유치를 위한 노력을 기울이고 있다<sup>1)</sup>.

Galileo 시스템에서 사용하는 주파수 대역은 E2-L1-E1, E5a/L5, E5b, 그리고 E6 대역이다. 이 가운데 E2-L1-E1 대역이 GPS의 L1 대역을 포함하고 있으며, E5a/L5 대역의 GPS의 L5 대역과 겹쳐있다. 이 두 대역 모두 민간용 측위 신호를 송신하는 대역이며, GPS는 L1 대역에 현재 대부분의 위성항법 시스템에서 사용하고 있는 C/A (coarse/acquisition) 부호를 송신하고 있다. 유럽연합에서 Galileo 시스템 개발은 선언한 이후 유럽과 미국은 이 두 대역에서 간섭을 줄이는 방안에 대한 정책적 협의를 시작하였으며, 지난 2004년 2월 Galileo 시스템이 이 두 대역에서 대역통과 변조 후 추가적인 변조를 통해 대역 간섭을 줄일 수 있는 이진켄이 부반송파 (binary offset carrier, BOC) 변조기법을 사용하게 되었다<sup>2)</sup>.

Galileo 시스템은 통신 물리계층으로 BOC 변조된 확산수열을 사용하는 직접수열/확산대역 (direct spectrum/spread spectrum, DS/SS) 시스템을 사용한다. DS/SS 시스템은 수신신호로부터 정보를 복원하기 위해 수신신호의 확산신호와 수신기에서 발생한 확산신호의 동기를 정확하게 결정하고, 유지해야 한다. 특히 작은 시간오차도 위성의 배치에 따라 큰 측위 오차를 야기할 수 있는 위성항법 시스템에서는 더욱 정확한 동기가 요구된다. 이를 위해 DS/SS 시스템은 획득과 추적 단계를 수행해 동기를 맞춘다. 획득단계는 수신신호의 확산부호와 수신기에서 생성한 확산부호의 동기를 한 칩 (chip) 또는 그 이하로 맞추는 단계이며, 추적단계는 정확한 동기를 결정하고 이를 유지하는 단계이다<sup>3)</sup>. 본 논문은 추적기법에 초점을 맞춘다.

이상적인 환경에서 최적 부호추적기는 EL-DLL이다 (delay lock loop with early minus late

discriminator). 이상적인 환경에서 확산신호의 상관함수는 동기시점을 기준으로 정확한 대칭을 이룬다. EL-DLL은 이 특징을 이용해 현재 부호동기 시점보다 약간 앞선 시점의 상관 값과 약간 처진 시점의 상관 값을 비교해 이 값이 같을 때의 상관시간 오프셋을 동기시점으로 결정하고 이를 유지한다<sup>3)</sup>.

그러나 다중경로 환경에서 확산신호의 상관함수는 다중경로신호에 의해 왜곡되어 동기시점을 기준으로 비대칭을 이루며, 이로 인해 추적이 완료되어 동기시점을 결정한 후에도 일정한 동기오차가 존재한다. 이처럼 추적기가 동기시점을 결정한 후에도 잔존하는 동기오차가 추적편이이다<sup>4,5)</sup>.

이상적인 환경에서 Galileo BOC(1,1) 신호로 변조된 확산신호는 정확한 동기시점에서 최고 값이 나타나며, 이 시점을 기준으로 반 칩 (chip) 이른 상관시간 오프셋과 늦은 상관시간 오프셋에서 극소 값을 갖는다<sup>6,7)</sup>. 다중경로신호는 항상 가시신호에 비해 늦게 수신되기 때문에 정확한 동기시점을 기준으로 반 칩 이른 상관시간 오프셋 주변의 상관 값은 다중경로신호에 의해 크게 왜곡되지 않는 특징을 갖는다. 따라서 이른 상관시간 오프셋 주변의 상관 값을 이용해 추적을 수행하면 기존 부호추적기법인 EL-DLL에 비해 추적편이를 완화할 수 있다.

본 논문은 이 특징을 바탕으로 Galileo BOC(1,1)에 알맞은 추적편이 완화기법을 제안하고, 기존 기법과 제안한 기법의 추적편이 특성을 분석한다. 이를 위해 II장에서는 시스템 모형과 함께 기존 부호추적기법과 이 기법의 추적편이에 대해 설명한다. III장에서는 이상적인 환경과 다중경로환경에서 BOC(1,1) 변조된 확산신호의 상관함수에 대한 분석을 토대로 Galileo BOC(1,1)에 알맞은 추적편이 완화 기법을 제안하고, IV장에서 제안한 기법에 대한 추적편이 분석과 함께 가산성 백색 정규 잡음이 (additive white Gaussian noise) 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우에 기존 기법과 제안한 기법의 추적편이를 비교 분석한다. 끝으로 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 기존 기법 및 추적편이

### 2.1 시스템 모형

본 논문에서 다루는 Galileo BOC(1,1) 수신신호 모형은 식 (1)과 같다.

$$r(t) = \sum_{m=0}^M A_m c(t - \tau_m) \cos(2\pi f_c(t - \tau_m) + \theta_m) + n(t), \quad (1)$$

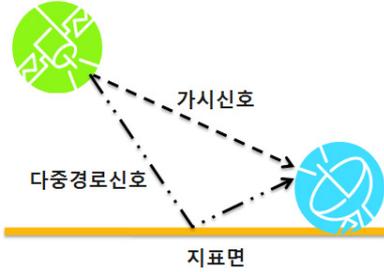


그림 1. 일반적인 위성신호 수신모형: 2-RAY 모형

여기서  $M$ 은 다중경로의 수,  $A_m$ ,  $\tau_m$ ,  $\theta_m$ 은 각각  $m$ 째 경로로 수신된 신호의 크기, 지연시간오프셋, 위상,  $c(t)$ 는 식 (2)와 같은 BOC 변조된 확산신호,  $n(t)$ 는 가산성 백색 정규 잡음을 각각 의미한다.

$$c(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k p_{T_C}(t - kT_C) \text{sign}(\sin(2\pi t/T_S)), \quad (2)$$

여기서  $N$ 은 확산수열의 길이,  $c_k \in \{\pm 1\}$ ,  $p_{T_C}(\cdot)$ 는 주기  $T_C$ 를 갖는 대역제한 필터의 시간 응답 (본 논문에서는 대역 무제한 필터를 사용한다고 가정한다),  $\text{sign}(\cdot)$ 는 인자의 부호를 출력하는 함수,  $T_C$ 와  $T_S$ 는 칩과 BOC 변조신호의 주기를 의미한다. 일반적으로  $T_C$ 와  $T_S$ 로 설계한

BOC 변조된 확산신호를  $\text{BOC}\left(\frac{T_C}{T_S}, \frac{T_C}{T_C}\right)$ 로 표현한다. 즉,  $\text{BOC}(1,1)$ 은  $T_C = T_S$ 로 설계한 이진천이 부 반송파로 변조된 확산신호를 의미한다<sup>7,8)</sup>.

위성항법 시스템에서 다루는 일반적인 위성신호 수신모형은 그림 1과 같다.

위성신호는 다른 이동통신 신호와 달리 실외에서는 항상 가시신호를 수신할 수 있으며, 가장 큰 다중경로신호는 지표면에 의해 반사되는 신호이다. 참고 문헌 [4]에서는 이런 위성신호 수신모형을 “2-RAY” 모형으로 모형화하였다. 그림 1과 같이 ”2-RAY” 모형은 가시신호와 하나의 다중경로신호가 수신되는 모형으로  $M=1$ 인 수신신호를 의미한다<sup>6)</sup>.

### 2.2 EL-DLL

이상적인 환경에서 DS/SS 시스템의 최적 부호추적기는 EL-DLL이다 (delay lock loop with early minus late discriminator). EL-DLL의 구성은 그림 2와 같다.

여기서  $\hat{f}_C$ ,  $\hat{\theta}$ ,  $\hat{\tau}$ 는 수신기에서 추정된 반송파 주파수와 그 위상, 그리고 상관시간오프셋을 각각 의

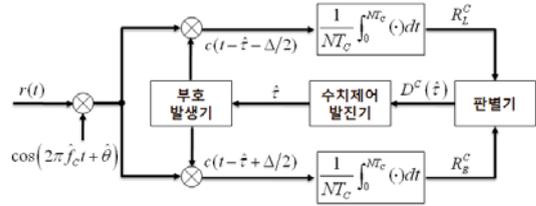


그림 2. EL-DLL의 구성도

미한다. 본 논문은 부호추적기법에 초점을 맞추고 있으며, 반송파 주파수 및 그 위상 오차는 없다고 가정한다.  $R_L^C$ 와  $R_E^C$ 는 각각 현재 추정된 상관시간 오프셋을 기준으로  $\Delta/2$ 만큼 늦은 확산부호와 이른 확산부호를 사용해 역확산한 상관 값이다.  $\Delta$ 는  $R_E^C$ 와  $R_L^C$ 의 상관시간오프셋 차이이다. 그리고  $D^C(\hat{\tau})$ 는 식 (3)과 같은 판별기 출력인 추정된 부호위상 오차이다.

$$D^C(\hat{\tau}) = R\left(\tau + \frac{\Delta}{2}\right) - R\left(\tau - \frac{\Delta}{2}\right), \quad (3)$$

여기서,  $R\left(\tau + \frac{\Delta}{2}\right) = R_E^C$ ,  $R\left(\tau - \frac{\Delta}{2}\right) = R_L^C$ ,  $R(\tau)$ 은 식 (4)와 같은 정규화된 상관함수이다.

$$R(\tau) = \frac{1}{NT_C} \int_0^{NT_C} r(t)c(t+\tau)dt \quad (4)$$

수치제어발진기는 (numerical controlled oscillator, NCO) 판별기가 판별한 오차를 입력받아 부호발생 시점을 제어하는 블록으로 획득단계에서 대략 추정한 상관시간 오프셋을 초기 값으로 하고, 이후 판별기에서 판별한 오차에 따라 상관시간 오프셋을 조절한다. 이때 추정된 상관시간오프셋은 식 (5)와 같다.

$$\hat{\tau}^C = \arg_{-0.5T_C < \tau < 0.5T_C} (D^C(\tau) = 0), \quad (5)$$

여기서  $\arg_{x < \tau < y}(\kappa)$ 는 조건  $\kappa$ 를 만족하는  $x < \tau < y$  구간 내의  $\tau$ 를 출력하는 함수이다.

이상적인 환경에서 확산신호의 상관함수는 동기시점을 기준으로 정확한 대칭을 이룬다. EL-DLL은 이 특징을 이용해 현재 부호동기 시점보다 약간 앞선 시점의 이른 상관 값과 약간 처진 시점의 상관 값을 비교해 이 값이 같을 때의 상관시간 오프셋을 동기시점으로 결정하고 이를 유지한다.

### 2.3 추적편이

다중경로 환경에서 상관함수와 추적편이는 그림 3과 같다.

여기서 짙은 회색음영과 옅은 회색음영은 각각 가시신호만 수신된 경우와 다중경로신호만 수신된 경우의 상관함수를 의미하며, 실선은 가시신호와 함께 다중경로신호가 수신된 경우의 상관함수를 의미한다. 이때 가시신호와 다중경로신호의 상대적 위상은  $\phi$ 이며 ( $0 \leq \phi < 2\pi$ ), 본 논문에서는 추적편이가 가장 크게 야기되는 경우인 가시신호와 다중경로신호가 동위상인 경우와 ( $\phi = 0$ ) 역위상인 경우만을 ( $\phi = \pi$ ) 고려한다. 그리고  $\tau_\Delta = \tau_1 - \tau_0$ 인 가시신호와 다중경로신호의 상대적 상관시간지연윗셋,  $\beta^C$ 는 추적편이를 각각 의미한다.

그림 3은 다중경로신호에 의해 정확한 동기시점을 기준으로 상관함수의 대칭성이 왜곡되는 것을 보여준다. 이때  $m$ 째 경로로 수신된 신호의 상관함수는 식 (6)과 같다.

$$R_m(\tau) = \begin{cases} A_m^2 \left( 1 - \frac{3|\tau - \tau_m|}{T_C} \right), & |\tau - \tau_m| < \frac{T_C}{2}, \\ A_m^2 \left( -1 + \frac{|\tau - \tau_m|}{T_C} \right), & \frac{T_C}{2} \leq |\tau - \tau_m| < T_C, \\ 0, & \text{그 외의 경우.} \end{cases} \quad (6)$$

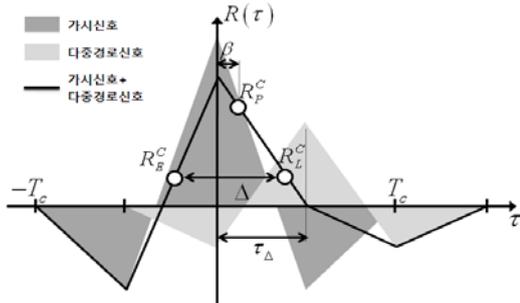


그림 3. 다중경로 환경에서 상관함수와 추적편이 ( $\phi = 0, \tau_\Delta = 0.5T_C$ )

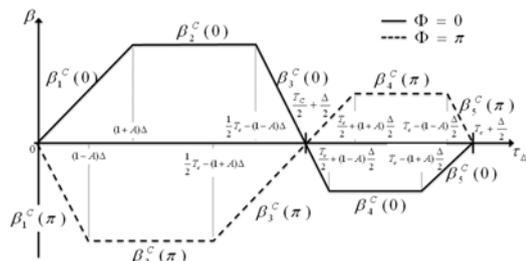


그림 4. 기존 부호추적기법의 추적편이

기존 부호추적기법은 식 (5)와 같이 동기시점을 결정하며, 이때 동기시점을 결정한 후에도 잔존하는 동기오차가 추적편이다. 기존 부호추적기법의 추적편이는 그림 4와 같다.

여기서 실선과 점선은  $\phi = 0, \phi = \pi$ 일 때, 즉 가시신호와 다중경로신호의 위상이 동위상 및 역위상일 경우에 추적편이를 각각 의미한다. 그리고  $\beta_m^C(\phi)$ 는 식 (7a)부터 식 (7e)와 같이 기존 기법을 사용했을 때  $m$ 째 상대적 상관시간지연윗셋 구간에서 상관시간지연윗셋과  $\phi$ 에 따른 추적편이를 각각 의미한다.

$$\beta_1^C(\phi) = \frac{A \cos \phi \cdot \tau_\Delta}{1 + A \cos \phi}, \quad (7a)$$

$$\beta_2^C(\phi) = A \cos \phi \cdot \Delta, \quad (7b)$$

$$\beta_3^C(\phi) = \frac{A \cos \phi (1 + \Delta - 2\tau_\Delta)}{3 - 2A \cos \phi}, \quad (7c)$$

$$\beta_4^C(\phi) = \frac{A \cos \phi \cdot \Delta}{3}, \quad (7d)$$

$$\beta_5^C(\phi) = \frac{4A \cos \phi (\tau_\Delta - 1 - \Delta/2)}{25}. \quad (7e)$$

그림 4에서  $\tau_\Delta = \frac{T_C}{2} + \frac{\Delta}{2}$ 와  $\tau_\Delta \geq T_C + \frac{\Delta}{2}$ 일 때 추적편이는 0이 된다. 이 가운데  $\tau_\Delta = \frac{T_C}{2} + \frac{\Delta}{2}$ 일 때는 가시신호와 함께 다중경로신호가 수신되지만 이른 상관 값과 늦은 상관 값에 수신된 다중경로 신호의 크기가 같은 경우이며,  $\tau_\Delta \geq T_C + \frac{\Delta}{2}$ 일 때는 가시신호와 다중경로 신호의 상관함수가 서로 겹치지 않아 각 상관 값에 가시신호만 수신되는 경우이다.

### III. 제안한 기법

잡음이 없는 환경에서 Galileo BOC(1,1) 시스템의 가시신호만 수신된 경우와 가시신호와 함께 다중경로신호가 동위상 및 역위상으로 수신된 경우에 상관함수는 그림 5와 같다.

그림 5와 같이 가시신호만 수신된 경우 Galileo BOC(1,1) 신호로 변조된 확산신호의 상관함수는 정확한 동기시점에서 최고 값이 나타나며, 이 시점을 기준으로 반 칩 (chip) 이른 상관시간 윗셋과 늦은 상관시간 윗셋에서 극소 값을 갖는다.

가시신호와 함께 다중경로 신호가 수신된 경우

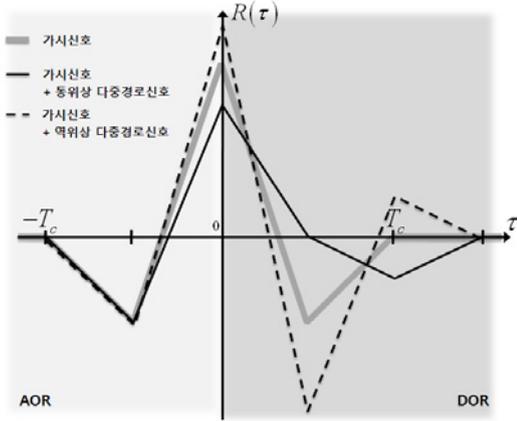


그림 5. Galileo BOC(1,1) 시스템의 상관함수 ( $\tau_{\Delta} = 0.5T_C$ )

다중경로신호는 항상 가시신호에 비해 늦게 수신되기 때문에 가시신호만 수신되었을 때 최고 값이 나타나는 시점인 정확한 동기시점을 기준으로 이른 상관시간 윗셋 영역에 (advanced offset range, AOR) 존재하는 극소 값 주변의 상관 값은 다중경로신호에 의해 크게 왜곡되지 않는다. 반면 늦은 상관시간 윗셋 영역에 (delayed offset range, DOR) 존재하는 극소 값 주변의 상관 값은  $\emptyset$ 에 따라 크게 왜곡됨을 볼 수 있다. 즉, AOR에 존재하는 극소 값 주변의 상관 값은 DOR에 존재하는 극소 값 주변의 상관 값에 비해 다중경로신호에 왜곡을 거의 받지 않는다. 이를 바탕으로 본 논문에서는 AOR에 존재하는 극소 값 주변의 상관 값을 이용한 새로운 추적기법을 제안한다. 제안한 기법의 구성도는 그림 6과 같다.

여기서  $R_L^P$ ,  $R_E^P$ 는 각각 현재 추정된 상관시간 윗셋에서  $\Lambda$ 만큼 이른 상관시간윗셋을 기준으로  $\delta/4$ 만큼 늦은 확산부호와  $3\delta/4$ 만큼 이른 확산부호를 사용해 역확산한 상관 값,  $\delta$ 는 제안한 기법에서 이른 상관시간 윗셋과 늦은 상관시간 윗셋의 표본간

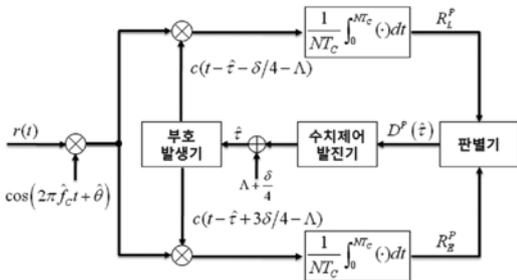


그림 6. 제안한 기법의 구성도

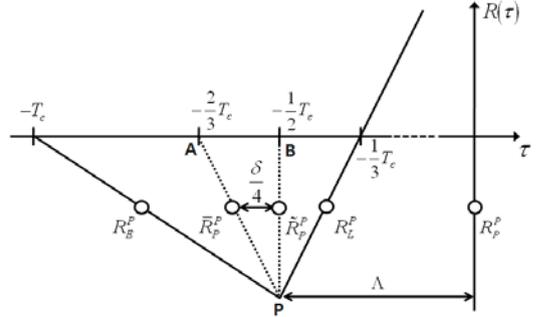


그림 7. AOR에서의 부호추적

격,  $\Lambda$ 는 이상적인 환경에서 극소 값이 나타나는 상관시간윗셋이다. 그리고  $D^P(\hat{\tau})$ 는 제안한 기법의 판별기로서 식 (8)과 같다.

$$D^P(\hat{\tau}) = R\left(\hat{\tau} + \frac{\delta}{2} + \Lambda\right) - R\left(\hat{\tau} - \frac{\delta}{2} + \Lambda\right). \quad (8)$$

이상적인 환경에서 AOR에서의 부호추적은 그림 7과 같이 수행된다.

여기서 A, B, P는  $(\tau, R(\tau))$ 가  $\left(-\frac{2T_C}{3}, 0\right)$ ,  $\left(-\frac{T_C}{2}, 0\right)$ ,  $\left(-\frac{T_C}{2}, -\frac{1}{4}\right)$ 인 점을 각각 의미한다. 제안한 기법의 현재 상관시간윗셋을 추정하기 위한 상관 값은 단순한  $R_E^P$ 와  $R_L^P$ 의 대칭성을 이용해 도출한  $\bar{R}_P^P$ 와 이를 1차 보정한  $\tilde{R}_P^P$ , 그리고 2차 보정한  $R_P^P$ 로 나타난다.

이상적인 환경에서 Galileo BOC(1,1)시스템의 AOR에서 상관 값은  $0.5T_C$  이른 상관시간윗셋에서 극소 값을 갖는다 ( $\Lambda = 0.5T_C$ ). 따라서 AOR에서 상관 값의 대칭성을 이용해 부호동기를 추적하면  $\bar{R}_P^P$ 의 상관시간윗셋을 구할 수 있다.  $\bar{R}_P^P$ 의 상관시간윗셋은 극소 값이 나타나는 상관시간윗셋을 기준으로 상관 값이 비대칭이기 때문에  $R_E^P$ 와  $R_L^P$ 의 상관시간윗셋에 중점이 된다. 따라서 식 (8)과 같이 구한 판별기 출력을 NCO를 통해 얻은 추정된 상관시간윗셋에 비대칭으로 인한 편이  $\delta/4$ 를 보상에 추정된 상관시간윗셋이  $\tilde{R}_P^P$ 의 상관시간윗셋으로 나타날 수 있도록 보정한다. 끝으로  $\tilde{R}_P^P$ 의 상관시간윗셋은 정확한 상관시간윗셋으로부터  $\Lambda$  만큼 이른 상관시간윗셋임으로 이를 보상한다. 단순한  $R_E^P$ 와  $R_L^P$ 의 대칭성을 이용해 도출한  $\bar{R}_P^P$ 와 이를 1차 보정한  $\tilde{R}_P^P$ , 그리고

2차 보정한  $R_p^P$ 의 상관시간유효셋은 식 (9)와 같다.

$$\hat{\tau}^P = \arg_{-T_C < \tau < 0} (D^P(\tau) = 0) + A + \frac{\delta}{4}. \quad (9)$$

#### IV. 성능 분석

제안한 부호추적기법은 식 (9)와 같이 동기시점을 결정하며, 이때 추적편이는 그림 8과 같다.

여기서 실선과 점선은  $\Phi=0, \Phi=\pi$ 일 때, 즉 가시신호와 다중경로신호의 위상이 동위상 및 역위상일 경우에 추적편이를 각각 의미한다. 그리고  $\beta_m^C(\Phi)$ 는 식 (10a)부터 식 (10c)와 같이  $m$ 째 상대적 상관시간지연유효셋 구간에서 상관시간지연유효셋과  $\Phi$ 에 따른 추적편이를 각각 의미한다.

$$\beta_1^P(\Phi) = \frac{A \cos \Phi \cdot \tau_\Delta}{1 + A \cos \Phi}, \quad (10a)$$

$$\beta_2^P(\Phi) = \frac{A \cos \Phi \cdot \delta}{4}, \quad (10b)$$

$$\beta_3^P(\Phi) = \frac{A \cos \Phi (\tau_\Delta - T_C/2 - \delta/2)}{4 - A \cos \Phi}. \quad (10c)$$

기존 기법은 그림 4와 같이  $0 \leq \tau_\Delta < \frac{T_C}{2} + \frac{\Delta}{2}$ 인 구간과  $\frac{T_C}{2} + \frac{\Delta}{2} < \tau_\Delta < T_C + \frac{\Delta}{2}$ 인 구간에서 추적편이를 갖지만 제안한 기법은 AOR의 상관 값만을 사용해 추적을 수행하기 때문에  $0 < \tau_\Delta < \frac{T_C}{2} + \frac{\delta}{4}$ 에서만 추적편이가 나타난다.

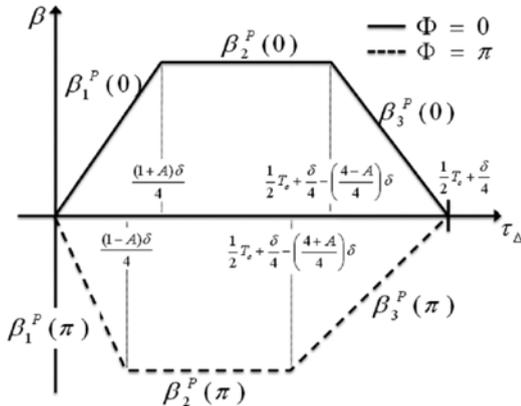


그림 8. 제안한 부호추적기법의 추적편이

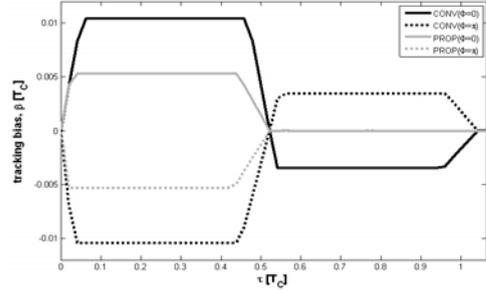


그림 9. 기존 기법과 제안한 기법의 추적편이 비교

그림 9는  $\Delta = \delta = T_C/12, A = 0.25$ 일 때 기존 기법과 제안한 기법의 추적편이이다. 확산 부호는 참고문헌 [2]에 언급된 Galileo E1 OS의 파일럿 채널의 확산 부호를 사용했다.

여기서 'CONV'와 'PROP'는 기존 기법과 제안한 기법의 추적편이, 실선과 점선은  $\Phi=0, \Phi=\pi$ 일 때의 추적편이를 각각 의미한다. 식 (10)과 같이 제안한 기법의 추적편이는  $0 < \tau_\Delta < \frac{T_C}{2} + \frac{T_C}{48}$ 에서만 나타나며, 최고 추적편이는 식 (10b)와 같이  $0.0052T_C$ 이다.

부호추적기법의 성능을 평가하는 또 다른 지표는 이동평균 (running average) 추적편이이다. 이동평균 추적편이는 식 (11)과 같이 정의된다.

$$E_\beta(\tau_\Delta; \Phi) \equiv \frac{1}{\tau_\Delta} \int_0^{\tau_\Delta} \beta(\tau_\Delta; \Phi) d\tau_\Delta, \quad (11)$$

여기서  $\beta(\tau_\Delta; \Phi)$ 는  $\Phi$ 와  $\tau_\Delta$ 에 따른 추적편이를 의미한다. 이동평균 추적편이는 추적이 수행되는 동안 채널의 시변에 따른  $\tau_\Delta$ 의 변화에 따른 누적된 추적편이의 변이를 나타낸다.

그림 10은 그림 9로부터 도출한 이동평균 추적편이이다.

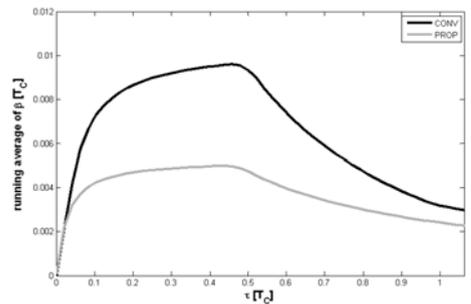


그림 10. 기존 기법과 제안한 기법의 이동평균 추적편이 비교

그림 10과 같이 제안한 기법의 이동평균 추적편이는 기존 기법에 비해 작으며, 최대 이동평균 추적편이는 기존 기법에 비해 훨씬 작다. 따라서, 무잡음 환경에서 제안한 부호추적기법은 기존 부호추적기법에 비해 부호추적 정확도가 높다.

### V. 결 론

이상적인 환경에서 Galileo BOC(1,1) 신호로 변조된 확산신호는 정확한 동기시점에서 최고 값이 나타나며, 이 시점을 기준으로 반 칩(chip) 이룬 상관시간 읍셋과 늦은 상관시간 읍셋에서 극소 값을 갖는다. 이때 다중경로신호는 항상 가시신호에 비해 늦게 수신되기 때문에 정확한 동기시점을 기준으로 반 칩 이룬 상관 시간 읍셋 주변의 상관 값을 갖는다. 본 논문은 이 특징을 바탕으로 Galileo BOC(1,1)에 알맞은 추적편이 완화기법을 제안하고, 기존 기법과 제안한 기법의 추적편이 특성을 분석하였다. 추적편이 분석과 모의실험을 통해 무잡음 환경에서 기존 부호추적기법에 비해 제안한 부호추적기법의 부호추적 정확도가 높음을 확인하였다.

본 논문에서는 Galileo BOC(1,1)에 알맞은 추적편이완화 기법을 제안하였으며, 이후에는 새롭게 정의된 Galileo 시스템의 부분송파 변조기법인 MBOC(6, 1, 1/11)에 알맞은 추적편이완화기법에 대한 연구를 수행할 예정이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 과학기술부 과학기술정책국 기술혁신제도과, "EU가 구축하는 새로운 위성항법시스템(GPS)인 갈릴레오 프로젝트 참여 추진," 과학기술부 보도자료 2/22, 1-4쪽, 한국, 2005년 2월.
- [2] European Space Agency (ESA) and Galileo Joint Undertaking (GJU), L1 Band Part of Galileo Signal in Space ICD (SIS ICD), GJU, www.galileoic.org, 2006.
- [3] A. Lam and S. Tantaratana, Theory and Applications of Spread-Spectrum Systems: A Self-Study Course, IEEE Press, Inc., Piscataway, NJ, 1994.

- [4] E. Kaplan, Understanding GPS Principles and Applications, 2nd Edition, Artech House Publishers, Inc., Northwood, MA, 2005.
- [5] R. E. Phelts and P. Enge, "Multipath mitigation for narrowband receivers," Proc. IEEE/ION PLANS 2000, pp. 30-36, San Diego, CA, Mar. 2000.
- [6] A. R. Pratt, J. R. Owen, G. W. Hein, and J. A. Avila-Rodriguez, "Tracking complex modulation waveforms - How to avoid receiver bias," Proc. IEEE/ION PLANS 2006, pp. 853-864, San Diego, CA, Apr. 2006.
- [7] F. M. Sousa, F. D. Nunes, and J. M. Leitao, "Strobe pulse design for multipath mitigation in BOC GNSS receivers," Proc. IEEE/ION PLANS 2006, pp. 384-355, San Diego, CA, Apr. 2006.
- [8] V. Oehler, H. L. Trautenberg, J. Krueger, and T. Rang, "Galileo system design and performance," Proc. ION GNSS/NTM 2006, pp. 492-503, Fort Worth, TX, Sep. 2006.

유 승 수 (Seungsoo Yoo)

준회원



2004년 2월 건국대학교 전자공학부 공학사  
 2005년 2월 건국대학교 전자공학부 공학석사  
 2005년 3월~현재 건국대학교 전자공학부 박사과정

<관심분야> 이동통신, 통신신호처리, 무선측위

김 상 훈 (Sanghun Kim)

준회원



2004년 8월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사  
 2007년 2월 성균관대학교 전자전기공학과 공학석사  
 2007년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 통신 이론, 이동 통신, 위성 통신

윤 석 호 (Seokho Yoon)

중신회원



1997년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 학사(최우등)  
 1999년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 석사  
 2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 박사  
 2002년 4월~2002년 6월 MIT 박사 후 연구원

2002년 7월~2003년 2월 하버드대학교 박사 후 연구원  
 2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수  
 2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 받음  
 <관심분야> 이동통신, 통계학적 신호처리, 적응 신호처리

송 익 호 (Ickho Song)

중신회원



1982년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사(준최우등)  
 1984년 2월 서울대학교 전자공학과 공학석사  
 1985년 8월 펜실베이니아대학교 전기공학과 공학석사  
 1987년 3월~1998년 2월 벨 통신연구소 연구원

1988년 3월~현재 한국과학기술원 전자전산학과 조교수, 부교수, 교수  
 1995년 1월~현재 한국통신학회 논문지 편집위원  
 1991년 11월, 1996년 11월 한국통신학회 학술상 받음  
 1993년 11월 한국음향학회 우수연구상 받음  
 1998년 11월 한국통신학회 LG 학술상 받음  
 1999년 11월 대한전자공학회 해동논문상 받음  
 2000년 3월 젊은 과학자상 받음  
 2000년 11월 한국통신학회 모토콜라학술상받음  
 대한전자공학회, 한국음향학회, 한국통신학회 평생회원;  
 IEE 석학회원, IEEE 선임회원  
 <관심분야> 통계학적 신호처리와 통신이론, 신호검파와 추정, 이동통신

김 준 태 (Jun Tae Kim)

중신회원



1990년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사  
 1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사  
 1998년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 박사  
 1996년 3월~1997년 2월 일본 동경 공업대학 VLSI 설계 연구실 연구원

1998년 3월~2003년 LG 전자 디지털 미디어 연구소 선임, 책임, 리더 연구원  
 2003년~현재 건국대학교 조교수  
 <관심분야> 차세대 방송 및 디지털 TV 시스템, 디지털 통신 시스템, 모바일 및 위성 통신 시스템

김 선 용 (Sun Yong Kim)

중신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사(최우등)  
 1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사  
 1995년 8월 한국과학기술원 전자전산학과 박사  
 1995년 4월~1996년 3월 동경대학교 생산기술연구소 박사연구원

1996년 9월~1998년 12월 한국전자통신연구원 초빙연구원  
 1996년 3월~2001년 8월 한림대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수  
 2001년 8월~현재 건국대학교 전자공학부 조교수, 부교수  
 1990년 IEEE Korea Section 학생논문대회 우수상 받음  
 1992년~1993년 IEEE Communication Society 장학금 받음  
 대한전자공학회, 한국통신학회 정회원, IEEE 선임회원  
 <관심분야> 통계학적 신호처리, 이동통신, 통신이론