

E-Navigation을 위한 합성 이진 오프셋 반송파 신호에 알맞은 주변 침투 제거 기법

채근홍*, 이성로*, 윤석호^o

A Side-Peak Cancellation Technique for Composite Binary Offset Carrier Signals for E-Navigation

Keunhong Chae*, Seong Ro Lee*, Seokho Yoon^o

요약

본 논문에서는 e-navigation을 위한 합성 이진 오프셋 반송파 (composite binary offset carrier: CBOC) 신호에 알맞은 주변 침투 제거 기법을 제안한다. 우선, CBOC 신호의 부분상관함수를 일정한 폭을 갖는 여러 개의 부분 부분상관함수와 펄스로 나누고, 그에 따라 CBOC 자기상관함수를 여러 개의 부분상관함수의 합으로 해석한다. 다음으로, 주변 침투를 제거할 뿐만 아니라 측위 성능 향상을 위해 부분상관함수를 조합하여 뾰족한 주 침투를 갖는 새로운 상관함수를 제안한다. 모의실험을 통해 제안한 상관함수가 기존 상관함수들보다 측위 성능이 더 좋다는 것을 보인다.

Key Words : global navigation satellite systems (GNSSs), composite binary offset carrier (CBOC), synchronization, side-peak, ambiguity problem

ABSTRACT

In this paper, we propose a side-peak cancellation technique of composite binary offset carrier (CBOC) signals for e-navigation. First, we divide a CBOC sub-carrier into several sub-carrier pulses, and then, observe that CBOC autocorrelation is the sum of multiple sub-correlation functions. Finally, we propose a novel correlation function with no side-peak and a sharp main-peak by combining the sub-correlation functions to improve the positioning accuracy. From numerical results, we confirm that the proposed correlation function with a sharp main-peak provides a better positioning performance than the conventional correlation functions in terms of the tracking error standard deviation.

I. 서론

영국에서 해상 교통의 안전 향상을 위해 e-navigation 이 제안되었다. e-navigation은 선박의 출항부터 입항

까지 전 과정의 안전과 보안을 위한 관련 서비스 및 해양환경 보호 증진을 위해 선박과 육상 관련 정보의 수집, 통합, 교환, 표현 및 분석을 융합하고 통일하여 수행하는 체계를 말한다¹⁾. e-navigation의 필수 기술

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업(NIPA-2014-H0401-14-1009)과 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2014R1A5A1011478).

♦ First Author : Sungkyunkwan University, College of Information & Communication Engineering, chae0820@skku.edu, 학생회원

^o Corresponding Author : Sungkyunkwan University, College of Information & Communication Engineering, syoon@skku.edu, 종신회원

* Mokpo National University, Department of Information and Electronics Engineering, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-05-156, Received May 2 2014; Revised July 9, 2014; Accepted July 9, 2014

중에서 항법 장비 기술과 위치결정 기술이 있으며, 항법 장비 기술과 위치결정 기술에 있어서 위성항법시스템은 (global navigation satellite system: GNSS) 매우 중요하며 더 높은 측위 정확도에 대한 수요가 증가하고 있다^{1,2)}. GNSS를 대표하는 범지구시스템은 (global positioning system: GPS) 초기에는 군사적 목적으로 사용되었지만, 민간 영역으로 그 이용 범위를 넓혀 선박, 차량, 항공기 등에 널리 사용되고 있다. 그러나 위치서비스에서 더 정확한 측위에 대한 요구가 증가함에 따라 유럽연합의 Galileo, 러시아의 현대화된 GLONASS와 같은 차세대 위성항법시스템들이 개발되어왔으며, 기존 GPS에 사용되는 위상 편이 변조 방식과 (phase shift keying: PSK) 같은 주파수 대역을 사용하면서 동일 채널 간섭을 받지 않도록 하는 여러 가지 변조 방식들이 제안되었다^{3,4)}. 그 중 이진 오프셋 반송파 (binary offset carrier: BOC) 변조 방식은 PSK 자기상관함수보다 그 자기상관함수의 주 침투의 (main-peak) 기울기가 크기 때문에 더 정밀한 측위를 제공한다⁵⁾. BOC 신호는 확산코드의 일종인 의사잡음부호와 (pseudo random noise: PRN) 사인 또는 코사인 위상 구형 (rectangular) 부분송파의 곱으로 표현되며, 부분송파의 위상에 따라 사인 위상 BOC(kn, n) 신호와 코사인 위상 BOC(kn, n) 신호로 구분된다⁶⁾. 여기서 k 는 PRN 코드 칩 주기와 부분송파 주기의 비를 나타내며, n 은 PRN 코드 칩 전송률과 1.023 MHz와의 비를 나타낸다.

최근 GPS L1C 밴드와 Galileo E1 밴드의 상호운용성을 위해 두 개의 사인 위상 BOC 신호가 결합된 복합 이진 반송파 (multiplexed BOC: MBOC) 신호가 제안되었다^{7,8)}. Galileo에서는 MBOC 신호를 두 개의 사인 위상 BOC 신호의 단순 가중 합으로 나타나는 합성 이진 반송파 (composite BOC: CBOC) 신호로 정의하고, CBOC 신호의 형태를 사인 위상 BOC(1,1) 신호와 사인 위상 BOC(6,1) 신호의 신호 전력 비율 1/11로 단순 가중 합으로 이루어진 CBOC(6,1,1/11)로 정리하였다⁹⁾.

CBOC(6,1,1/11) 신호의 자기상관함수는 기존 PSK 신호와 BOC 신호의 자기상관함수들 보다 주 침투의 기울기가 크기 때문에 더욱 정밀한 측위 정확도를 제공한다. 그러나 CBOC(6,1,1/11) 신호의 자기상관함수는 BOC 신호의 자기상관함수와 마찬가지로 주 침투 주변에 여러 개의 주변 침투를 (side-peak) 가지고 있어, 동기화 과정에서 주변 침투에 동기화가 이루어지는 모호성 문제가 (ambiguity problem) 발생된다.

이 모호성 문제를 해결하기 위해 CBOC 자기상관

함수의 주변 침투를 직접 제거하는 여러 기법들이 제안되어 왔다¹⁰⁻¹²⁾. [10]에서는 구형과 펄스 형태를 갖는 국소신호를 생성/이용하여 부상관함수를 생성하고, 그것을 조합하여 주변 침투를 제거하지만 CBOC 자기상관함수보다 나쁜 측위 성능을 보인다. [11]에서는 [10]에서 설계한 국소신호에 파라미터를 적용한 새로운 국소신호를 이용하여 [10]과 같은 방법으로 주변 침투를 제거하지만 반송파 대 잡음비가 (carrier-to-noise ratio: CNR) 높아질수록 CBOC 자기상관함수보다 측위 성능이 나빠진다는 단점이 있다. 한편, [12]에서는 [10], [11]와 달리 추가적인 국소신호 생성 없이 CBOC 신호 모형을 이용하여 부상관함수를 생성/조합하고, 주변 침투를 제거한 상관함수를 제안한다. 하지만 CBOC 자기상관함수와 비슷한 측위 성능을 보이며, 주변 침투를 제거하는데 초점을 두었을 뿐 측위 성능 향상은 고려하지 않았다.

본 논문에서는 CBOC(6,1,1/11) 신호가 BOC(6,1) 신호 성분으로 인해 기존 PSK와 BOC 신호보다 더 정밀한 측위 정확도를 제공한다는 것을 고려하여¹³⁾, 부분상관함수를 생성하여 그것들을 조합함으로써 모호성 문제점을 발생시키는 주변 침투를 제거하면서 측위 성능이 향상된 새로운 상관함수를 제안한다. 구체적으로는 CBOC(6,1,1/11) 신호의 부분송파를 BOC(6,1) 신호의 부분송파 펄스폭과 동일한 폭을 가지는 12개의 부분 부분송파 펄스로 쪼갬다. 이에 따라, CBOC 자기상관함수를 12개의 부분상관함수의 합으로 생각할 수 있으며, 그 중 2개의 부분상관함수를 이용하여 주변 침투가 제거된 좁은 폭을 갖는 일차상관함수를 생성한다. 이후 측위 성능 향상을 위한 빠른 추적 (기울기의 크기가 큰) 주 침투를 갖는 상관함수를 생성하기 위해 나머지 10개의 부분상관함수를 일차상관함수와 결합/중첩하여, 최종 상관함수를 생성한다. 모의실험을 통해 제안한 상관함수를 동기화에 이용한 경우 [10-12]의 상관함수를 이용한 경우보다 더 좋은 측위 성능을 (tracking error standard deviation: TESD) 제공한다는 것을 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 CBOC(6,1,1/11) 신호를 사인 위상 BOC(1,1) 신호와 BOC(6,1) 신호의 가중 합으로 표현하고, CBOC(6,1,1/11) 신호의 부분송파를 BOC(6,1) 신호의 부분송파 펄스폭과 동일한 폭을 갖는 12개의 부분 부분송파 펄스로 나눈다. III장에서는 CBOC(6,1,1/11) 신호의 부분송파를 12개의 부분 반송파 펄스의 합으로 해석함에 따라 자기상관함수를 12개의 부분상관함수의 합으로 나타나는 것을 보이고, 부분상관함수를

조합함으로써 새로운 상관함수를 제안한다. IV장에서 는 모의실험 결과를 보이며, 마지막으로 V장에서 결 론을 내린다.

II. CBOC(6,1,1/11) 신호

CBOC(6,1,1/11) 신호의 기저대역 신호 $B(t)$ 는 다 음과 같이 나타낸다.

$$B(t) = \sqrt{P} \sum_{i=-\infty}^{\infty} p_i r_{T_c}(t - iT_c) d(t) s_{sc}(t) \quad (1)$$

여기서 P 는 신호전력, $p_i \in \{-1, 1\}$ 는 주기가 T 인 PRN 코드의 i 째 칩, $r_{\alpha}(t)$ 는 $[0, \alpha]$ 에 존재하는 단위 구형파, T_c 는 PRN 코드의 칩 주기, $d(t)$ 는 항법데이 터, $s_{sc}(t)$ 는 부분송파를 의미한다. 실제 CBOC (6,1,11) 신호는 부분송파의 형태에 따라 데이터 전송 을 위한 CBOC(6,1,1/11,'+') 신호와 신호 동기화를 위한 CBOC(6,1,1/11,'-') 신호로 나누어진다⁶⁾. 제안 한 기법은 CBOC(6,1,1/11,'+') 신호와 CBOC (6,1,1/11,'-') 신호에 대해 모두 적용되지만, 본 논문 에서는 실제적인 동기화를 위해 CBOC(6,1,1/11,'-') 신호만을 고려하여 제안한 기법을 설명한다. 따라서 $d(t) = 1$ 로 가정하며, $s_{sc}(t)$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$s_{sc}(t) = \sqrt{\frac{10}{11}} s_{sc}^{\text{BOC}(1,1)}(t) - \sqrt{\frac{1}{11}} s_{sc}^{\text{BOC}(6,1)}(t) \quad (2)$$

여기서 $s_{sc}^{\text{BOC}(1,1)}(t)$ 는 사인 위상 BOC(1,1) 신호의 부분송파, $s_{sc}^{\text{BOC}(6,1)}(t)$ 는 사인 위상 BOC(6,1) 신호의 부분송파를 의미하며, 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{cases} s_{sc}^{\text{BOC}(1,1)}(t) = \sum_{l=0}^1 (-1)^l r_{6T_s}(t - iT_c - 6lT_s), \\ s_{sc}^{\text{BOC}(6,1)}(t) = \sum_{l=0}^{11} (-1)^l r_{T_s}(t - iT_c - lT_s) \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $T_s = T/12$ 는 사인 위상 BOC(6,1) 신호 의 부분송파 펄스폭이다. 본 논문에서는 CBOC (6,1,1/11,'-') 신호의 측위 성능 향상이 사인 위상 BOC(6,1) 신호 성분으로 인해 발생된다는 사실을 착 안하여, CBOC(6,1,1/11,'-') 신호의 부분송파를 사인 위상 BOC(6,1) 신호의 부분송파 펄스폭과 동일한 펄 스포크를 가지는 12개의 부분 부분송파 펄스로 나누며, 이를 다음과 같이 나타낸다.

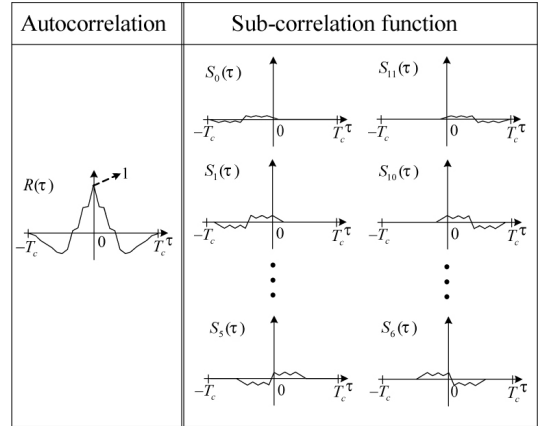


그림 1. CBOC(6,1,1/11,'-') 신호에 대한 CBOC 자기상관함 수와 부분상관함수들.
Fig. 1. The CBOC autocorrelation and sub-correlation functions for CBOC(6,1,1/11,'-') signal.

$$s_{sc}(t) = \sum_{l=0}^{11} s_{sc}^l(t) \quad (4)$$

여기서 $s_{sc}^l(t)$ 는 l 째 부분 부분송파 펄스를 의미한다. 본 논문에서는 PRN 코드의 칩 부호가 +1, -1인 동일 한 확률 분포를 가진 독립 확률 변수라고 가정하며, PRN 코드의 주기 T 는 일반적으로 PRN 코드의 칩 주기 T_c 보다 매우 크다고 가정한다.

다음 장에서는 CBOC(6,1,1/11,'-') 신호의 부분송 파를 12개의 부분 부분송파 펄스로 나눔에 따라 자기 상관함수가 12개의 부분상관함수의 합으로 나타나는 것을 확인하고 부분상관함수들을 조합하여 뾰족한 주 첨두를 갖는 새로운 상관함수를 제안한다.

III. 부분상관함수와 제안한 상관함수

CBOC(6,1,1/11,'-') 신호의 부분송파를 펄스폭이 T_s 인 12개의 부분 부분송파 펄스의 합으로 해석함에 따라 정규화된 CBOC(6,1,1/11,'-') 자기상관함수 $R(\tau)$ 는 다음과 같이 12개의 부분상관함수의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R(\tau) &= \sum_{l=0}^{11} \left\{ \sum_{i=-\infty}^{\infty} \int_0^T \frac{B(t)}{\sqrt{PT}} p_i r_{T_c}(t + \tau - iT_c) s_{sc}^l(t + \tau) dt \right\} \\ &= \sum_{l=0}^{11} \left\{ \sum_{j=0}^{T/T_s - 1} \frac{1}{PT} \int_{(12j+l)T_s}^{(12j+l+1)T_s} B(t) B(t + \tau) dt \right\} \\ &= \sum_{l=0}^{11} S_l(\tau) \end{aligned} \quad (5)$$

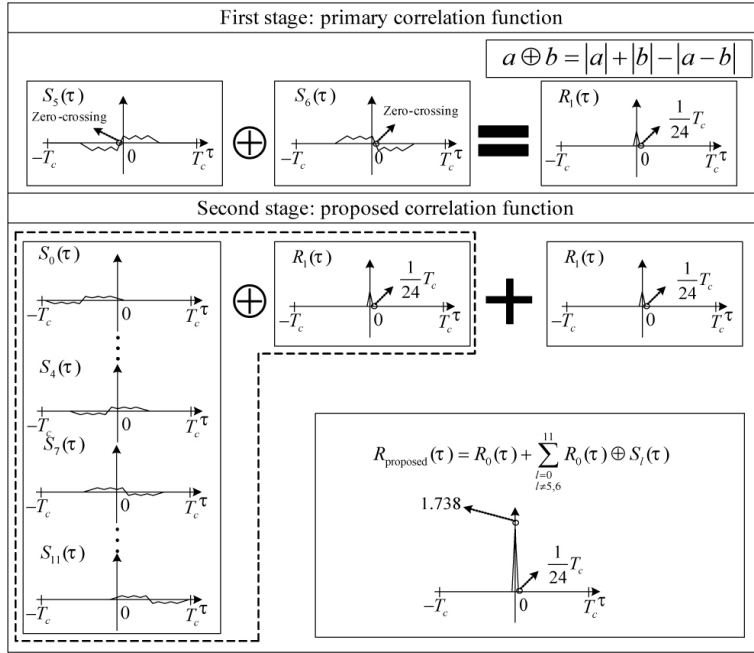


그림 2. 일차 상관함수와 최종 상관함수의 생성과정.

Fig. 2. The process of the proposed technique in generating the primary and proposed correlation function for CBOC (6,1,1/11,'-') signal.

여기서 $S_l(\tau)$ 는 l 째 부분상관함수를 의미한다. 그림 1은 CBOC(6,1,1/11,'-') 신호에 대한 CBOC 자기 상관함수와 부분상관함수들을 나타낸다. 이 그림으로부터 CBOC 자기상관함수의 주변 침두는 부분상관함수들의 부 침두의 (sub-peak) 합으로 이루어진다는 것을 알 수 있으며, 부분상관함수들의 조합을 통해 주변 침두를 제거할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 부분상관함수들의 조합을 통해 주변 침두를 제거하는 것뿐만 아니라 측위 성능까지도 향상시키기 위해 뾰족한 주 침두를 갖는 상관함수를 생성하는 것을 목적으로 한다.

그림 2는 일차 상관함수와 최종 상관함수의 생성 과정을 나타낸다. 이 그림으로부터 부분상관함수 $S_m(\tau)$ 와 $S_{11-m}(\tau)$ ($m = 0, 2, \dots, 5$) 자기상관함수의 주 침두를 이루는 부분을 제외한 범위에서 $S_m(\tau) \times S_{11-m}(\tau) \leq 0$ 를 만족하는 것을 알 수 있으며, $|S_m(\tau)| + |S_{11-m}(\tau)| - |S_m(\tau) - S_{11-m}(\tau)| = 0$ 을 이용하여 주변 침두를 제거한 상관함수를 생성할 수 있다[14]. 그러나 뾰족한 주 침두를 갖는 상관함수를 생성하기 위해 우선 가장 좁은 폭의 주 침두를 갖는 상관함수를 생성하는 $S_5(\tau)$ 와 $S_6(\tau)$ 를 선택하여 아래 식과 같이 일차 상관함수 $R_1(\tau)$ 를 생성한다.

$$R_1(\tau) = S_5(\tau) \oplus S_6(\tau) \triangleq |S_5(\tau)| + |S_6(\tau)| - |S_5(\tau) - S_6(\tau)| \quad (6)$$

여기서 $x \oplus y \triangleq |x| + |y| - |x - y|$ 로 정의한다. 일차 상관함수 $R_1(\tau)$ 의 폭은 $S_5(\tau)$ 와 $S_6(\tau)$ 의 부호 변환점에 (zero-crossing) 결정되며[14], 따라서 $R_1(\tau)$ 의 폭은 $(1/12)T_c$ 이다. 일차 상관함수 $R_1(\tau)$ 는 CBOC 자기 상관함수의 주 침두 폭보다 좁은 폭을 갖지만, 높이는 CBOC 자기상관함수의 주 침두 높이에 비해 매우 낮다. 따라서 좁은 폭을 유지하면서 높이를 키우기 위해 일차 상관함수 $R_1(\tau)$ 와 나머지 부분상관함수들 $\{S_l(\tau)\}_{l=0}^4$ 와 $\{S_l(\tau)\}_{l=7}^{11}$ 을 아래와 식과 같이 결합/중첩하여 뾰족한 주 침두를 갖는 최종 상관함수 $R_{\text{proposed}}(\tau)$ 를 제안한다.

$$R_{\text{proposed}}(\tau) = R_1(\tau) + \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq 5,6}}^{11} S_l(\tau) \oplus R_1(\tau) \quad (7)$$

최종 상관함수 $R_{\text{proposed}}(\tau)$ 의 높이는 약 1.738이며, 폭은 $(1/12)T_c$ 이다. 그림 3은 제안한 상관함수와 기존 상관함수들을 나타낸다. 이 그림으로부터 제안한

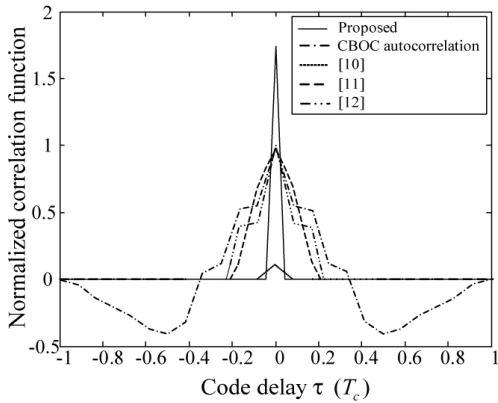


그림 3. CBOC(6,1,1/11,'-') 신호에 대한 정규화된 기존 상관함수들과 제안한 상관함수.
Fig. 3. The normalized conventional and proposed correlation functions for CBOC(6,1,1/11,'-') signal.

상관함수의 기울기는 기존 상관함수들의 기울기보다 매우 큰 것을 알 수 있다. 표 1은 제안한 상관함수와 기존 상관함수들의 기울기를 나타낸다. 표 1로부터 수치적으로 제안한 상관함수의 기울기가 기존 상관함수의 기울기보다 최소 약 6배 이상 큰 것을 알 수 있다. 이것으로부터 제안한 상관함수는 기존 상관함수보다 더욱 정밀한 측위 정확도를 제공할 것으로 예상할 수 있다.

그림 4는 제안한 부분상관함수에 기반을 둔 상관기와 결합기의 구조도를 나타낸다. 여기서 τ 는 수신 신호 $B(t)$ 와 로컬 신호 $B(t+\tau)$ 의 위상차를 의미한다. 상관기에서 수신 신호 $B(t)$ 는 로컬 신호 $B(t+\tau)$ 와 T_s 마다 상관되어 부분상관함수들 $\{S_i(\tau)\}_{i=0}^{11}$ 을 생

성한다. 그런 다음 결합기에서 부분상관함수들 $\{S_i(\tau)\}_{i=0}^{11}$ 을 (7)과 같이 결합하여 최종 상관함수 $R_{\text{proposed}}(\tau)$ 를 생성한다.

마지막으로 CBOC(6,1,1/11,'-') 신호 추적을 위한 판별기 출력은 (discriminator output) 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D(\tau) = R_{\text{proposed}}^2(\tau + \frac{\Delta}{2}) - R_{\text{proposed}}^2(\tau - \frac{\Delta}{2}) \quad (8)$$

여기서 Δ 는 선후간격을 (early-late spacing) 의미한다. 이 때, 판별기 출력은 지연고정루프의 (delay lock loop) 수치 제어된 오실레이터에 (numerically controlled oscillator) 의해 τ 가 0이 될 때까지 동작한다.

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 제안한 상관함수와 기존 상관함수들의 TESD를 모의실험한다. TESD는 $\frac{\sigma}{G} \sqrt{2B_L T_I}$ 로 정의되며^[15], 여기서 σ 는 $D(\tau)|_{\tau=0}$ 에서의 표준편차, G 는 판별기 출력 시 $\tau=0$ 에서의 순간 기울기, B_L 은 루프필터의 대역폭, T_I 는 적분시간을 의미한다. [11]에서 사용되는 파라미터인 x 의 값은 TESD 성능이 가장 좋을 때인 $x=7$ 로 설정하였다^[11]. 더불어, $T_c^{-1} = 1.023 \text{ MHz}$, $T = T_p$, $B_L = 1 \text{ Hz}$, $T_I = 4 \text{ ms}$, $\Delta = (1/24) T_c$ 으로 설정하였다.

그림 5는 CBOC(6,1,1/11,'-') 신호에 대한 CNR에

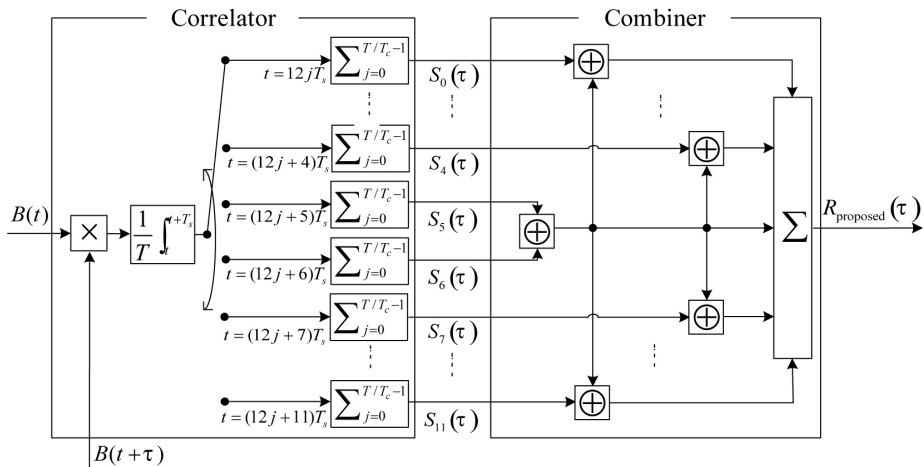


그림 4. 제안한 부분상관함수에 기반을 둔 상관기와 결합기의 구조도.
Fig. 4. A structure of the correlator and combiner based on the proposed sub-correlation functions.

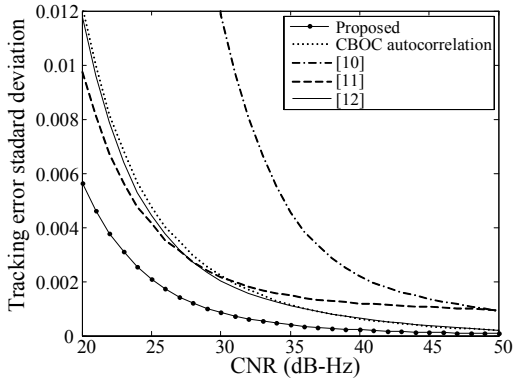


그림 5. CBOC(6,1,1/11,'-') 신호에 대한 CNR에 따른 제안한 상관함수와 기존 상관함수들의 추적 오류 표준 편차.
Fig. 5. Tracking error standard deviation of the proposed and conventional correlation functions for CBOC (6,1,1/11,'-') signal as a function of CNR.

다른 제안한 상관함수와 기존 상관함수들의 TESD 성능을 나타낸다. 여기서 CNR은 P/N_0 dB-Hz로 정의되고, N_0 는 잡음 전력 밀도이다. 모의실험 결과, 제안한 기법은 관심 CNR 범위인 20 ~ 50 dB-Hz에서 기존 상관함수들보다 월등히 좋은 TESD 성능을 보여준다. 특히 낮은 CNR에서 (20 ~ 30 dB-Hz) 제안한 상관함수는 기존 상관함수들보다 같은 TESD값에 대해 최소 3 dB-Hz이상 CNR 이득을 얻는다. 비록 높은 CNR에서 (40 ~ 50 dB-Hz) 제안한 상관함수는 CBOC 자기상관함수, [12]의 상관함수와 작은 TESD 차이를 보여주지만, 제안한 상관함수는 항상 좋은 TESD 성능을 보인다. 제안한 상관함수가 기존 상관함수들에 비해 좋은 TESD 성능을 보여주는 것은 표 1에서 알 수 있듯, 제안한 상관함수의 기울기는 기존 상관함수들의 기울기보다 큰 값을 가지며, 주변 침두를 제거하여 모호성 문제를 해결하였기 때문이다. 따라서, 본 논문에서 제안한 상관함수를 위성항법시스템 수신기에 적용할 경우, 자기상관함수에 존재하는 주변 침두를 완벽히 제거할 수 있을 뿐 아니라, 기존 기법들에 비해 더욱 뛰어난 의사거리 추정 성능을 보이기에, 더욱 향상된 위치 추적 성능을 기대할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 e-navigation에서 고려하는 Galileo의 E1 밴드에서 사용 예정인 CBOC 신호의 동기화를 위한 주변 침두 제거 기법을 제안하였다. 구체적으로는 CBOC(6,1,1/11,'-') 신호의 부분반송파를 사인 위상 BOC(6,1) 부분반송파 펄스폭과 같은 12개의 부분 반송

파 펄스로 쪼개어, 그에 따라 CBOC(6,1,1/11,'-') 자기상관함수로부터 12개의 부분상관함수를 생성한다. 주변 침두를 제거하면서 측위 성능을 향상시키기 위해 12개의 부분상관함수 중 2개의 상관함수를 이용하여 폭이 좁은 일차 상관함수를 생성하고, 나머지 부분상관함수들과 결합/중첩하여 부족한 주 침두를 갖는 최종 상관함수를 제안하였다. 모의실험을 통해 제안한 상관함수가 관심 CNR 범위에서 기존 상관함수들보다 월등히 좋은 TESD 성능을 제공함을 확인하였다.

References

- [1] *ICT standization roadmap: e-navigation*, Telecommunications Technology Association (TTA), 2009.
- [2] Y. Lee, S. R. Lee, and S. Yoon, "A novel BOC(n,n) correlation function for maritime satellite communications," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 296-302, Mar. 2013.
- [3] E. Kaplan and C. Hegarty, *Understanding GPS: Principles and Applications*, 2nd Ed., Norwood: Artech House, 2006.
- [4] J. W. Betz, "Binary offset carrier modulations for radionavigation," *J. Inst. Navig.*, vol 48, no. 4, pp. 227-246, Dec. 2001.
- [5] J. Wu and A. G. Dempster, "Applying a BOC-PRN discriminator to cosine phased BOC(fs, fc) modulation," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 13, pp. 689-690, Jun. 2009.
- [6] J.-A. Avila-Rodriguez, "On generalized signal waveforms for satellite navigation," Ph.D. dissertation, Dept. Aer. Engineer., University of Munich, Munich, Germany, 2008.
- [7] G. W. Hein, J. W. Betz, J.-A. Avila-Rodriguez, C. J. Hegarty, S. Wallner, L. S. Lenahan, A. R. Pratt, J. J. Rushanan, J. Owen, A. L. Kray, J.-L. Issler, and T. A. Stansell, "MBOC: The new optimized spreading modulation recommended for Galileo L1 OS and GPS L1C," in *Proc. IEEE/ION Plans*, pp. 883-892, San Diego, CA, Apr. 2006.
- [8] J.-A. Avila-Rodriguez, G. W. Hein, S. Wallner, J.-L. Issler, L. Ries, L. Lestarquir, A. D. Latour, J. Godet, F. Bastide, T. Pratt, and J. Owen, "The MBOC modulation: The final

touch to the Galileo frequency and signal plan,” *J. Navig.*, vol. 55, no. 1, pp. 15-55, 2008.

- [9] J.-A. Avila-Rodriguez, S. Wanllner, G. Hein, E. Rebeyrol, O. Julien, C. Macabiau, L. Ries, A. Delatour, L. Lestarquit, and J.-L. Issler, “CBOC-An implementation of MBOC,” *First CNES-ESA Workshop on Galileo Signals and Signal Process.*, pp. 12-13, Toulouse, France, Oct. 2006.
- [10] F. Sousa, F. Nunes, and J. Leitao, “Code correlation reference waveforms for multipath mitigation in MBOC GNSS receivers,” in *Proc. ENG-GNSS*, pp. 1-10, Toulouse, France, Apr. 2008.
- [11] Z. Yao, M. Lu, and Z. Feng, “Unambiguous technique for multiplexed binary offset carrier modulated signals tracking,” *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 16, no. 7, pp. 608-611, July 2009.
- [12] Y.-P. Lee, T. Yoon, M. Lee, Y. Lee, S. Kim, and S. Yoon, “A new CBOC correlation function for next generation GNSS signal synchronization,” *J. KICS*, vol. 34, no. 7, pp. 724-729, Jul. 2009.
- [13] K. Zhang and F. Wang, “Joint code multipath mitigation for composite binary offset carrier modulated signals,” *Electronics Lett.*, vol. 47, no. 25, pp. 1374-1375, Dec. 2011.
- [14] Y. Lee and S. Yoon, “A novel narrow width BOC correlation function for BOC signal tracking,” *J. KICS*, vol. 37A, no. 12, pp. 1145-1151, Dec. 2012.
- [15] A. J. Van Dierendonck, P. Fenton, and T. Ford, “Theory and performance of narrow correlator spacing in a GPS receiver,” *J. Inst. Navig.*, vol. 39, no. 3, pp. 265-283, 1992.

채 근 홍 (Keunhong Chae)



2014년 2월: 성균관대학교 전자전기공학부 공학사
 2014년 3월~현재: 성균관대학교 정보통신대학 전자전기컴퓨터 공학과 석박통합과정
 <관심분야> 통신이론, 무선통신, 추정 및 검파

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월: 고려대학교 전자공학과 공학사
 1990년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1996년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
 1997년 9월~현재: 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수
 <관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레메틱스응용분야, 임베디드시스템

윤 석 호 (Seokho Yoon)



1997년 2월: 한국과학기술원 전자전산학과 공학사 (최우등)
 1999년 2월: 한국과학기술원 전자전산학과 공학석사
 2002년 2월: 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사
 2002년 3월~2002년 6월: MIT 박사후 연구원
 2002년 7월~2003년 2월: Harvard University 박사후 연구원
 2003년 3월~현재: 성균관대학교 정보통신대학 전자전기공학부 전임강사, 조교수, 부교수
 2007년: IEEE 준석학회원
 2009년: 한국통신학회 LG 학술상 수상
 2011년: 교육과학기술부 우수연구 인증패 수상
 2012년: 한국통신학회 우수논문상 수상
 <관심분야> 통신이론, 이동통신, 통계학적 신호처리