

# 이진 오프셋 반송파 신호 추적 성능 향상을 위한 비모호 상관함수

우 성 혁\*, 채 근 흥\*, 이 성 로\*\*, 윤 석 호<sup>o</sup>

## An Unambiguous Correlation Function to Improve Tracking Performance for Binary Offset Carrier Signals

Sunghyuk Woo\*, Keunhong Chae\*, Seong Ro Lee\*\*, Seokho Yoon<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 이진 오프셋 반송파 (binary offset carrier: BOC) 신호의 추적 성능 향상을 위한 비모호 상관함수를 제안한다. 구체적으로는 BOC 신호의 부분반송파를 여러 개의 펄스가 존재하는 형태로 해석하고, BOC 신호의 자기상관함수를 여러 개의 부분상관함수들의 합으로 해석한다. 이후 두 개의 부분상관함수를 조합하여 새로운 두 개의 부상관함수를 생성하고, 부상관함수와 부분상관함수의 조합을 통하여 폭을 조절할 수 있으며 주변 첨두를 가지 않는 비모호 상관함수를 제안한다. 모의실험을 통해 신호 추적에 제안한 상관함수를 이용한 경우 기존의 상관함수들을 이용한 경우에 비해 더욱 향상된 추적 오류 표준편차를 가지는 것을 확인한다.

**Key Words** : global navigation satellite system (GNSS), binary offset carrier (BOC), side-peak, signal tracking, unambiguous correlation function, tracking error standard deviation (TESD)

### ABSTRACT

In this paper, we propose an unambiguous correlation function to improve tracking performance for binary offset carrier (BOC) signals. Specifically, we divide a BOC sub-carrier into multiple rectangular pulses, and analyze that the BOC autocorrelation function is made up of the sum of several partial correlation functions. Then, we obtain two sub-correlation functions by combining two partial correlation functions and propose a novel unambiguous correlation function with no side-peak which can be regulated its width based on the combination of the sub-correlation functions and partial correlation functions. From numerical results, it is confirmed that the proposed correlation function provides a tracking performance improvement over the conventional correlation functions in terms of the tracking error standard deviation.

※ 이 연구는 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2009-0093828)과 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT 융합고급인력과정지원사업(IITP-2015-H8601-15-1006)의 연구결과로 수행되었음

• First Author : Sungkyunkwan University, College of Information & Communication Engineering, woosh1231@skku.edu, 학생회원  
<sup>o</sup> Corresponding Author : Sungkyunkwan University, College of Information & Communication Engineering, syoon@skku.edu, 종신회원

\* Sungkyunkwan University, College of Information & Communication Engineering, chae0820@skku.edu, 학생회원

\*\* Mokpo National University, Department of Information and Electronics Engineering, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원  
 논문번호 : KICS2015-04-100, Received April 2, 2015; Revised July 9, 2015; Accepted July 9, 2015

## 1. 서 론

유럽 항공 우주국에서 개발 중인 Galileo 위성항법 시스템은 (global navigation satellite system: GNSS) 새로운 신호 변조 방식인 이진 오프셋 반송파를 (binary offset carrier: BOC) 사용할 예정이다. BOC 신호는 범지구측위시스템에서 (global positioning system: GPS) 사용하는 위상 편이 방식 신호보다 (phase shift keying: PSK) 더 좁은 폭의 주 침두를 갖는 자기상관 함수를 생성하기 때문에 더 좋은 신호추적 성능을 보여주고, 스펙트럼이 분리되어 나타나는 특성으로 기존 GPS의 신호와 동일한 주파수 대역에서 신호를 전송할 수 있다<sup>1-3)</sup>.

BOC 신호는 의사잡음코드와 (pseudo random noise: PRN) +1과 -1의 값을 갖는 이진 구형 부반송파의 곱으로 이루어지며, 부반송파의 위상에 따라 사인 위상 BOC 신호와 코사인 위상 BOC 신호의 두 종류의 신호로 구분된다. 사인 위상의 부반송파의 경우  $BOC_{sin}(kn, n)$ 로 나타내고 코사인 위상의 부반송파의 경우  $BOC_{cos}(kn, n)$ 로 나타낸다. 이때  $k$ 는 PRN 코드 칩 주기와 부반송파 주기의 비를 나타내고,  $n$ 은 PRN 코드 칩 전송률과 1.023 MHz와의 비를 나타낸다<sup>4)</sup>.

BOC 신호의 전력 스펙트럼 밀도는 (power spectral density: PSD) 부반송파로 인해, 주파수 대역에서 기존 PSK 신호의 PSD와 비교할 때 나뉘어지고 미루어진 형태로 나타나기에 효율적인 주파수 대역 사용을 가능하게 하며, 또한 BOC 신호의 자기상관 함수는 (autocorrelation) 기존 PSK 신호의 자기상관 함수에 비해 더욱 큰 기울기를 가지기 때문에 기존 GPS의 신호보다 좋은 신호 추적 성능을 제공한다. 하지만 PSK 신호에 비해 높은 주파수의 부반송파로 인해 자기상관 함수의 주 침두 주변에 여러 개의 주변 침두가 발생하게 되며, 이 주변 침두들로 인해 BOC 신호 추적에 있어 주 침두가 아닌 주변 침두에서 동기화가 되는 모호성 문제가 (ambiguity problem) 발생한다<sup>2)</sup>. 상술된 BOC 신호의 장점을 효과적으로 이용하기 위해서는 주 침두에서의 동기화가 이루어져야 한다.

이에 따라서, 주변 침두를 제거함으로써 주변 침두에서 동기화가 일어나지 않도록 하는 여러 기법들이 제안되었다<sup>5-7)</sup>. [5]에서는 새로운 국소 신호를 생성하여 수신된 BOC 신호와 상관시키며, 본 상관 결과를 기반으로 주변 침두를 제거하였으나, 새로운 국소 신호를 생성하여야 한다는 단점으로 인해 위성 신호 수

신기의 복잡도가 높아지게 되며, 더불어  $BOC_{sin}(kn, n)$  신호에만 적용이 가능하다는 단점이 있어 그 사용 범위가 제한된다는 문제가 있다<sup>5)</sup>. 한편, 별도의 국소신호를 생성하지 않고 BOC 신호의 자기상관 함수를 구성하는 부분상관 함수들의 재조합을 이용하여 주변 침두가 제거된 비모호 상관 함수를 생성하는 기법이 제안되었다<sup>6)</sup>. 하지만 이 기법은 주변 침두를 제거하는데에만 초점을 맞추어, 신호 추적 성능 향상이 효과적으로 고려되지 못하였다. 이후에는 신호 추적 성능의 향상을 고려하여 주변 침두를 제거한 기법이 제안되었지만<sup>7)</sup>, 이 기법은  $BOC_{cos}(kn, n)$  신호에 알맞도록 설계되어  $BOC_{sin}(kn, n)$  신호에는 적용할 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 주변 침두를 효과적으로 제거하여 신호 추적 성능 향상을 도모할 수 있는 비모호 상관 함수를 제안한다. 더불어, 본 논문의 기법은 별도의 국소신호를 생성하지 않으면서도  $BOC_{sin}(kn, n)$ 과  $BOC_{cos}(kn, n)$  신호에 모두 적용 가능하다. 구체적으로는, 제안한 기법은 BOC 신호를 다수의 펄스 합으로 해석하여 BOC 자기상관 함수를 여러 개의 부분상관 함수들의 합으로 해석한다. 이후 부분상관 함수에 가중치를 두어 새로운 부상관 함수를 제안하고 제안한 부상관 함수를 조합하여 주변 침두가 제거되고 주 침두 폭이 조절 가능한 상관 함수를 생성한다. 제안한 상관 함수는 자기상관 함수와 비교할 때 더욱 높은 높이를 가지며, 더불어 기법 내의 가중치 파라미터  $a$ 의 값에 따라 주 침두 폭이 조절된다. 여기서  $a$ 의 값이 커질수록 상관 함수의 주 침두 폭이 좁아지고 고정된 높이로 인해 상관 함수 기울기의 절댓값이 커지게 되므로, 신호 추적 성능이 향상된다. 모의실험을 통해 제안한 상관 함수를 이용한 경우 기존의 상관 함수를 이용한 경우 보다 좋은 신호 추적 성능을 가짐을 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 수신된 BOC 신호의 부반송파를  $N$ 개의 구형펄스로 해석하고, 이에 따라 BOC 자기상관 함수를  $N$ 개의 부분상관 함수의 합으로 해석한다. III장에서는 부분상관 함수를 이용하여 새로운 부상관 함수를 제안하고 부상관 함수의 조합을 통해 주변 침두가 제거된 상관 함수를 생성한다. 이후 신호 추적 성능을 향상시키기 위해 주변 침두가 제거된 상관 함수와 부분상관 함수들을 조합하여 새로운 비모호 상관 함수를 제안한다. IV장에서는 모의실험 결과를 보이며, 마지막으로 V장에서 결론을 내린다.

## II. BOC 신호와 부분상관함수

일반적인 BOC<sub>sin</sub>(kn,n)과 BOC<sub>cos</sub>(kn,n) 신호 B(t)를 아래와 같이 나타낸다.

$$B(t) = \sqrt{P} \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i r_{T_c}(t - iT_c) d_i(t) c_i(t) \quad (1)$$

여기서 P는 신호 전력,  $b_i \in \{-1, 1\}$ 는 주기가 T인 PRN 코드의 i째 칩,  $T_c$ 는 PRN 코드의 칩 주기,  $r_\alpha(t)$ 는  $[0, \alpha]$ 에 존재하는 단위 구형파,  $d_i(t)$ 는 i째 항법 데이터를 나타낸다. 본 논문에서는 항법데이터의 빠르고 정확한 동기화를 위해 신호 추적 동안 데이터가 존재하지 않는 파일럿 채널을 (즉,  $d_i(t) = 1$ ) 고려한다<sup>8)</sup>.  $c_i(t)$ 는 i째 부반송파로 PRN 코드의 칩 하나 안에 N개의 부반송파 펄스가 존재하는 형태로 해석하며, 아래와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} c_i(t) &= \sum_{m=0}^{N-1} e_m r_{T_s}(t - iT_c - mT_s) \\ &= \sum_{m=0}^{N-1} c_m(t) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 N은 부반송파를 이루는 펄스의 수,  $e_m \in \{-1, 1\}$ 은 m째 펄스의 부호,  $T_s = T_c/N$ 은 펄스 주기이다. BOC<sub>sin</sub>(kn,n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn,n) 신호에 대해 각각  $N = 2k, 4k$ ,  $e_m = (-1)^{2ki+m}$ ,  $(-1)^{2ki + \lceil \frac{m}{2} \rceil}$ 로 나타낼 수 있다. 이때  $\lceil x \rceil$ 는 x보다 작지 않은 최대의 정수를 의미한다.  $c_m(t) = e_m r_{T_s}(t - iT_c - mT_s)$ 로 m째 부반송파 펄스를 의미한다. 본 논문에서 PRN 코드의 칩은 부호가 +1, -1인 동일한 확률 분포를 가진 독립 확률 변수라고 가정한다. 그리고 PRN 코드의 주기 T는 일반적으로 PRN 코드의 칩 주기  $T_c$ 보다 매우 크다.

부반송파를 N개의 펄스의 합으로 해석하였으므로 BOC 자기상관함수는 N개의 부분 상관함수의 합으로 해석할 수 있다<sup>6)</sup>. 이때 정규화된 BOC 자기상관함수는 아래와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} R(\tau) &= \frac{1}{PT} \int_0^T B(t)B(t+\tau)dt \\ &= \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{T/T_c-1} \frac{1}{PT} \int_{(jN+m)}^{(jN+m+1)} B(t)B(t+\tau)dt \\ &= \sum_{m=0}^{N-1} S_m(\tau) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $S_m(\tau)$ 는 m째 부분상관함수로 정의한다.

신호 추적 성능은 상관함수 기울기에 영향을 받으며, 상관함수의 기울기의 값이 클수록 신호 추적 성능은 좋아진다<sup>9)</sup>. 따라서 본 논문에서는 주변 칩두를 제거할 뿐만 아니라 신호 추적 성능 향상을 위해 주 칩두의 폭을 조절함으로써 큰 기울기를 갖는 새로운 비모호 상관함수를 제안한다. 다음 장에서는 주변 칩두를 제거하고 신호 추적 성능을 향상시키기 위해 두 단계의 과정을 거친다. 첫째 단계에서는 주변 칩두가 제거되고 폭이 조절 가능한 상관함수를 생성하며, 둘째 단계에서는 폭이 조절 가능한 상관함수의 높이를 키워 최종적으로 폭을 조절함으로써 큰 기울기를 갖는 새로운 비모호 상관함수를 제안한다.

## III. 제안한 상관함수

우선 기존 상관함수에 비해 좁은 폭을 갖으며 폭이 조절 가능한 상관함수를 생성하기 위해 두 개의 부분 상관함수  $S_0(\tau)$ 와  $S_{N-1}(\tau)$ 에 가중치 a를 부가한 뒤 두 상관함수의 차를 이용하여 주 칩두의 폭이 조절 가능한 부상관함수를 생성한다. 생성한 부상관함수는 아래와 같이 나타낸다.

$$\begin{cases} T_1(\tau, a) = \sqrt{\frac{1}{a^2+1}} S_0(\tau) - a \sqrt{\frac{1}{a^2+1}} S_{N-1}(\tau), \\ T_2(\tau, a) = -a \sqrt{\frac{1}{a^2+1}} S_0(\tau) + \sqrt{\frac{1}{a^2+1}} S_{N-1}(\tau) \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $T_1(\tau, a)$ 와  $T_2(\tau, a)$ 는 a의 값에 ( $0 < a < 1$ ) 따른 새로운 부상관함수를 의미하며, a의 값에 따라 주 칩두의 폭이 조절 가능하다. 그림 1과 같이, 부상관함수  $T_1(\tau, a)$ 와  $T_2(\tau, a)$ 는 주변

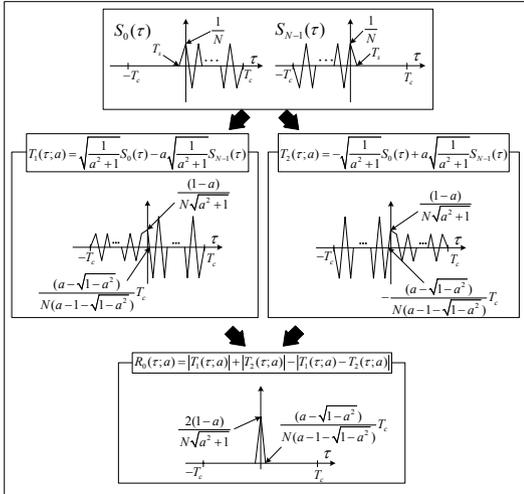


그림 1. BOC<sub>sin</sub>(kn, n) 신호에 대한 주변 첨두가 제거된 상관함수 R<sub>0</sub>(t;a) 생성과정.

Fig. 1. The process in generating the correlation function R<sub>0</sub>(t;a) with no side-peak for BOC<sub>sin</sub>(kn, n) signal.

첨두가 생성되는 범위에서 T<sub>1</sub>(τ,a) × T<sub>2</sub>(τ,a) ≤ 0을 만족하는 것을 알 수 있다. 이때, xy ≤ 0이면 |x| + |y| - |x - y| = 0임을 이용하여 주변 첨두를 제거하고 a의 값에 따라 주 첨두의 폭이 조절 가능한 상관함수 R<sub>0</sub>(τ,a)를 생성할 수 있다. 상관함수 R<sub>0</sub>(τ,a)는 아래와 같이 나타낸다.

$$R_0(\tau,a) = |T_1(\tau,a)| + |T_2(\tau,a)| - |T_1(\tau,a) - T_2(\tau,a)| \quad (5)$$

그림 1은 BOC<sub>sin</sub>(kn, n) 신호에 대한 상관함수 R<sub>0</sub>(τ,a)의 생성과정을 나타낸다. 생성한 상관함수 R<sub>0</sub>(τ,a)는 주변 첨두가 제거되었을 뿐만 아니라 부가된 가중치 a의 값에 따라 폭을 조절할 수 있는 주 첨두를 갖는다. 앞에서 언급한 것과 같이 신호 추적 성능은 상관함수의 기울기의 값에 영향을 받는다<sup>9)</sup>. 따라서 상관함수 기울기의 값을 증가시키기 위해 부분 상관함수들 {S<sub>m</sub>(τ)}<sub>m=0</sub><sup>N-1</sup>과 생성한 상관함수 R<sub>0</sub>(τ,a)의 조합을 통해 주 첨두 높이를 높여 새로운 비모호 상관함수 R<sub>proposed</sub>(τ,a)를 생성한다. 최종 상관함수 R<sub>proposed</sub>(τ,a)는 아래와 같이 나타낸다.

$$R_{proposed}(\tau,a) = \sum_{m=0}^{N-1} |R_0(\tau,a) + |S_m(\tau)| - |R_0(\tau,a) - S_m(\tau)| \quad (6)$$

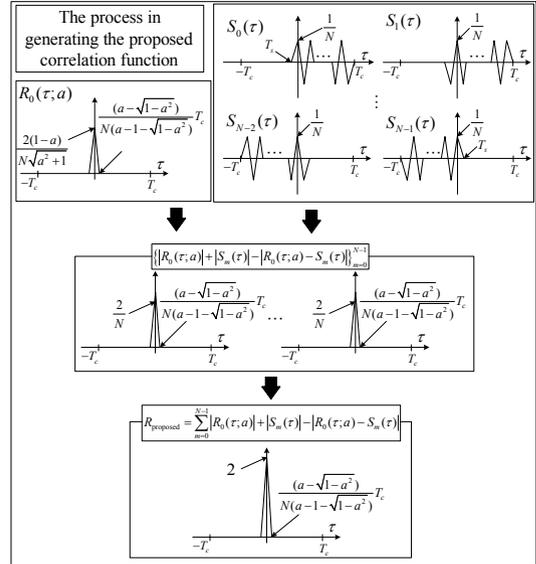


그림 2. BOC<sub>sin</sub>(kn, n) 신호에 대한 제안한 상관함수 R<sub>proposed</sub>(t;a) 생성과정.

Fig. 2. The process in generating the proposed correlation function R<sub>proposed</sub>(t;a) for BOC<sub>sin</sub>(kn, n) signal.

그림 2는 BOC<sub>sin</sub>(kn, n) 신호에 대한 폭이 조절 가능하며 주 첨두의 높이를 키워 기울기가 큰 주 첨두를 갖는 새로운 비모호 상관함수 R<sub>proposed</sub>(τ,a)의 생성과정을 나타낸다. 그림 1과 2에서는 BOC<sub>sin</sub>(kn, n) 신호에 대해서 제안한 기법을 나타내고 있지만 제안한 기법은 BOC<sub>cos</sub>(kn, n) 신호에 대해서도 동일한 과정이 적용된다. 새로운 비모호 상관함수 R<sub>proposed</sub>(τ,a)는 폭이  $\frac{2(a - \sqrt{1-a^2})}{N(a-1-\sqrt{1-a^2})} T_c$  이고 높이는 2로 고정된 주 첨두를 갖는다. 그림 3에서는 BOC<sub>sin</sub>(kn, n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn, n) 신호에 대해 k=2일 때의 BOC 자기상관함수와 a의 값에 따른 제안한 상관함수를 나타낸다 (a = 0.1, 0.4). 그림 3을 통해 제안한 상관함수의 경우 BOC<sub>sin</sub>(kn, n)과 BOC<sub>cos</sub>(kn, n) 신호 모두 주변 첨두가 완벽히 제거된 것을 볼 수 있다. 또한 a의 값이 증가함에 따라 주 첨두의 폭이 줄어들고 높이는 2로 고정되어있기 때문에 a의 값이 증가할수록 기울기의 값이 증가한다. 그림 3에서 나타나듯이 제안한 상관함수가 a의 값이 증가함에 따라 더 높은 기울기의 값을 갖기 때문에 더욱 향상된 신호 추적 성능을 제공할 것으로 예상된다<sup>9)</sup>.

BOC 신호 추적을 위한 판별기 (discriminator) 출력력은 제안한 상관함수를 통해 아래와 같이 나타낼 수

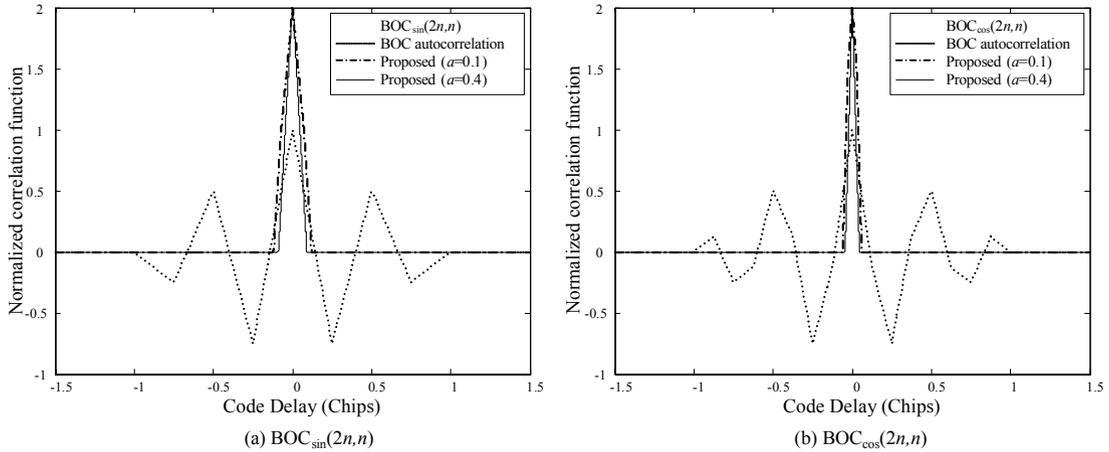


그림 3. (a)  $BOC_{sin}(kn, n)$ 와 (b)  $BOC_{cos}(kn, n)$  신호에 대해  $k=2$  일 때, BOC 자기상관함수와 제안한 상관함수 (단,  $a=0.1, 0.4$ ).  
 Fig. 3. The BOC autocorrelation and proposed correlation functions for  $BOC_{sin}(kn, n)$  and  $BOC_{cos}(kn, n)$  signal when  $k=2$  ( $a=0.1, 0.4$ ).

있다.

$$D(\tau) = R_{proposed}^2\left(\tau + \frac{\Delta}{2}; a\right) - R_{proposed}^2\left(\tau - \frac{\Delta}{2}; a\right) \quad (7)$$

여기서  $\Delta$ 는 선후간격을 (early-late spacing) 나타낸다. 판별기 출력은 delay lock loop (DLL) 내의 numerically controlled oscillator에 (NCO) 의해  $\tau_g$ 가 0이 될 때까지 동작하고 유지된다<sup>[10]</sup>.

#### IV. 모의실험 결과

BOC 자기상관함수와 기존 기법의 상관함수 그리고 제안한 상관함수의 추적 오류 표준편차 (tracking error standard deviation: TESD) 성능을 모의실험 하였다. TESD는  $\frac{\sigma}{G} \sqrt{2B_L T_I}$ 로 정의되며<sup>[11]</sup>, 여기서  $\sigma$ 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. 모의실험은  $T = T_I$ ,  $T_I = 1\text{ms}$ ,  $B_L = 1\text{Hz}$ ,  $T_c^{-1} = 1.023\text{MHz}$ ,  $\Delta = \frac{1}{16k} T_c$ 로 가정하여 진행되었다.

그림 4는 (a)  $BOC_{sin}(kn, n)$ 와 (b)  $BOC_{cos}(kn, n)$  신호에 대한  $k=2$ 일 때 반송파 대 잡음비에 (carrier-to-noise: CNR) 따른 BOC 자기상관함수와

[5], [6], [7]의 상관함수를 이용한 경우, 그리고 제안한 상관함수를 이용한 경우에 ( $a=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ ) 대한 TESD 성능을 나타낸다. 여기서 CNR은  $P/N_0$  dB-Hz로 정의되고,  $N_0$ 는 잡음 전력 밀도이다. [5]의 경우  $BOC_{sin}(kn, n)$  신호에만 적용가능하고 [7]의 경우  $BOC_{cos}(kn, n)$  신호에만 적용가능하기 때문에 각각 그림 4 (a)와 (b)에서만 나타난다. 그림 4에서 제안한 상관함수의 모든  $a$ 에 대하여 BOC 자기상관함수, [5]와 [7]의 상관함수보다 좋은 TESD 성능을 보인다. 또한 제안한 상관함수의  $a$ 가 0.3 이상인 경우 실제 GNSS에서 관심 CNR 범위인 20 ~ 40 dB-Hz에서 모든 기존 상관함수들에 비해 좋은 TESD 성능을 보인다. 특히 CNR 20 dB-Hz에서 제안한 상관함수의  $a$ 가 0.4일 때,  $BOC_{sin}(kn, n)$  신호의 경우 0.00266,  $BOC_{cos}(kn, n)$  신호의 경우 0.00155의 TESD 성능 값을 갖는다. 이 TESD 성능 값은 제안한 상관함수가 기존의 상관함수에 비해서 3 dB-Hz 이상의 CNR 이득을 획득하였음을 의미한다.

그림 5에서는  $k$ 값에 따른 TESD의 성능변화를 비교하기 위해 30 dB-Hz로 고정된 CNR 환경에서 (a)  $BOC_{sin}(kn, n)$  신호와 (b)  $BOC_{cos}(kn, n)$  신호에 대한  $k$ 값에 따른 BOC 자기상관함수와 [5], [6], [7]의 상관함수를 이용한 경우 그리고 제안한 상관함수를 이용한 경우에 ( $a=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ ) 대한 TESD 성능을 나타낸다. 그림 5에서 제안한 상관함수가 0.3 이상인 경우 모든  $k$ 에서 ( $k=1 \sim 8$ ) 기존의 상관함수보

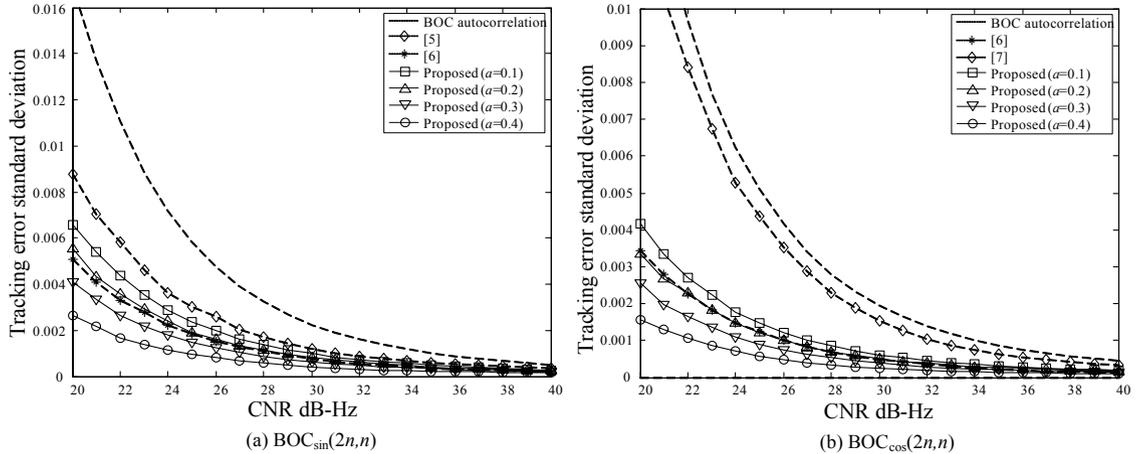


그림 4. (a)  $BOC_{sin}(kn,n)$ 와 (b)  $BOC_{cos}(kn,n)$  신호에 대해  $k=2$ 일 때, 기존 기법과 제안한 상관함수의 추적 오류 표준 편차 (단,  $a = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ ).  
 Fig. 4. Tracking error standard deviation of the proposed and conventional correlation functions for (a)  $BOC_{sin}(kn,n)$  and (b)  $BOC_{cos}(kn,n)$  signals when  $k=2$  ( $a = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ ).

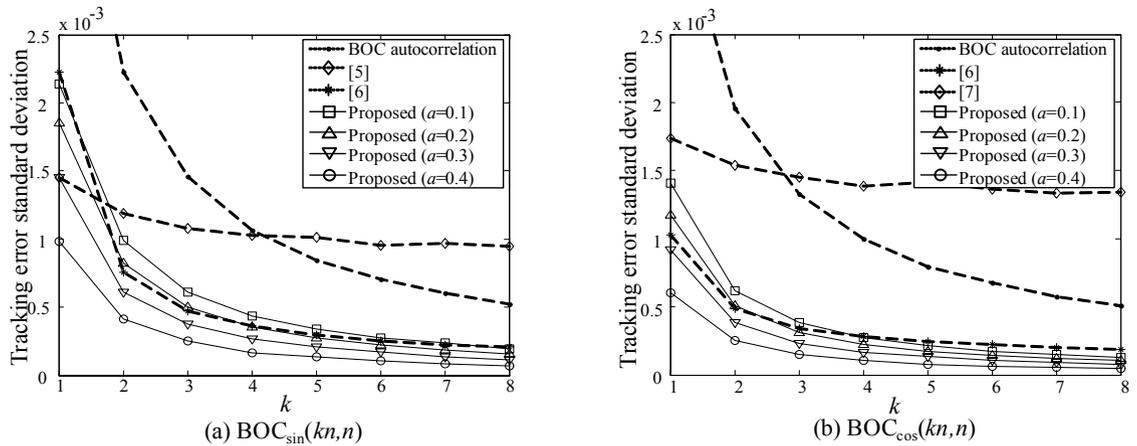


그림 5. (a)  $BOC_{sin}(kn,n)$ 와 (b)  $BOC_{cos}(kn,n)$  신호에 대해  $CNR = 30$  dB-Hz일 때,  $k$ 값에 따른 기존 기법과 제안한 상관함수의 추적 오류 표준 편차 (단,  $a = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ ).  
 Fig. 5. Tracking error standard deviation of the proposed and conventional correlation functions for (a)  $BOC_{sin}(kn,n)$  and (b)  $BOC_{cos}(kn,n)$  signals when  $CNR = 30$  dB-Hz ( $a = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ ).

다 좋은 TESD 성능을 가진다. 제안한 상관함수는  $k$ 가 증가할수록 TESD 성능이 향상될 뿐만 아니라  $a$ 가 증가할수록 좋은 TESD 성능을 갖는데, 이는  $a$ 의 값이 증가함에 따라 제안한 상관함수의 주 첨두 폭이 좁아지고 이로 인해 기울기가 증가하기 때문이다. 하지만 상관함수의 폭이 좁아질수록 신호 추적 범위가 좁아지는 트레이드오프가 (trade-off) 발생한다.

### V. 결론

본 논문에서는  $BOC_{sin}(kn,n)$ 와  $BOC_{cos}(kn,n)$  신호의 신호 추적 성능 향상을 위한 새로운 비모호 상관함수를 제안하였다. 먼저 BOC 신호의 부분송파를  $N$ 개의 구형펄스가 존재하는 형태로 해석하고, 이에 따라 BOC 자기상관함수를 부분상관함수들의 합으로 해석하였다. 이후 첫 번째 부분상관함수와 마지막 부분상관함수에 가중치를 가하여 새로운 부상관함수를 생성하고, 이를 조합함으로써 주변 첨두를 제거한 상

관함수를 생성하였다. 이후 생성한 상관함수와 부분상관함수들을 조합하여 새로운 비모호 상관함수를 제안하였다. 모의실험 결과, 제안한 상관함수는 기존의 상관함수들에 비해 뛰어난 성능을 보임을 확인하였다. 또한, 제안한 상관함수는  $a$ 값의 변화에 따라 주 침투의 폭이 변화하는 특성으로 인하여, 신호 추적 범위와 신호 추적 정확도 간에 trade-off 관계를 보인다.

## References

- [1] E. Kaplan and C. Hegarty, *Understanding GPS: Principles and Applications*, 2nd Ed., Artech House, 2006.
- [2] J. A. A.-Rodriguez, G. W. Hein, S. Wallner, J.-Lucslsler, L. Ries, L. Lestarquir, A. de Latour, J. Godet, F. Bastide, T. Pratt, and J. Owen, "The MBOC modulation: The final touch to the Galileo frequency and signal plan," in *Proc. ion GNSS 2007*, pp. 1515-1529, Fort Worth, TX, Sept. 2007.
- [3] S. Wallner, G. Hein, T. Pany, J. A. Rodriguez, and A. Posfay, "Interference computation between GPS and Galileo," in *Proc. ION GNSS*, pp. 861-876, Long Beach, CA, Sept. 2005.
- [4] G. Hein, J. Godet, J. Issler, J. Martin, P. Erhard, R. Lucas-Rodriguez, and T Pratt, "Status of Galileo frequency and signal design," in *Proc. ION GPS*, pp. 266-277, Portland, OR, Sept. 2002.
- [5] Z. Yao, X. Cui, M. Lu, Z. Feng, and J. Yang, "Pseudo-correlation-function-based unambiguous tracking technique for sine-BOC signals," *IEEE Trans. Aero. Electron. Syst.*, vol. 46, no. 4, pp. 1782-1796, Oct. 2010.
- [6] Y. Kim, J. I. Park, and S. Yoon, "Side-peak cancellation scheme based on combination of sub-correlations for BOC signal tracking," *J. KICS*, vol. 37A, no. 5, pp. 367-374, May 2012.
- [7] H. Kim, Y. Lee, and S. Yoon, "A novel unambiguous correlation function for cosine-phased BOC signal tracking," *J. KICS*, vol. 38, no. 5, pp. 409-415, May 2013.
- [8] F. D. Nunes, F. M. G. Sousa, and J. M. N. Leitao, "Gating functions of for multipath mitigation in GNSS BOC signals," *IEEE Trans. Aero. Electron. Syst.*, vol. 43, no. 3, pp. 951-964, Jul. 2007.
- [9] A. Burian, E. S. Lohan, and M. K. Renfors, "Efficient delay tracking methods with sidelobes cancellation for BOC-modulated signals," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2007, no. 2, pp. 18, Jan. 2007.
- [10] Y. Lee, H. S. Kim, and S. Yoon, "Code tracking scheme for cosine phased BOC signals based on combination of sub-correlations," *J. KICS*, vol. 36, no. 9, pp. 581-588, Sept. 2011.
- [11] 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.

**우 성 혁 (Sunghyuk Woo)**



2014년 2월 : 성균관대학교 전  
자전기공학부 공학사  
2015년 3월~현재 : 성균관대학  
교 정보통신대학 전자전기컴  
퓨터 공학과 석사과정  
<관심분야> 통신이론, 무선통  
신, 추정 및 검파

**이 성 로 (Seong Ro Lee)**



1987년 2월 : 고려대학교 전자  
공학과 공학사  
1990년 2월 : 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과 공학석사  
1996년 8월 : 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과 공학박사  
1997년 9월~현재 : 목포대학교  
공과대학 정보전자공학과 교수  
<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시  
스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템

**채 근 흥 (Keunhong Chae)**



2014년 2월 : 성균관대학교 전  
자전기공학부 공학사  
2014년 3월~현재 : 성균관대학  
교 정보통신대학 전자전기컴  
퓨터 공학과 석박통합과정  
<관심분야> 통신이론, 무선통  
신, 추정 및 검파

**윤 석 호 (Seokho Yoon)**



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