

# BOC 신호 추적을 위한 좁은 폭을 갖는 새로운 BOC 상관함수

이영석\*, 윤석호<sup>o</sup>

## A Novel Narrow Width BOC Correlation Function for BOC Signal Tracking

Youngseok Lee\*, Seokho Yoon<sup>o</sup>

### 요약

본 논문에서는 binary offset carrier (BOC) 신호 추적을 위해 주변 첨두는 완벽히 제거하면서, 기존의 BOC 상관함수들보다 좁은 폭의 주 첨두를 갖는 새로운 BOC 상관함수를 제안한다. 구체적으로는 BOC 신호를 구성하는 부반송파 펄스를 펄스 구간이 더 좁은 두 개의 펄스의 합으로 해석하고, 그에 따른 부분상관함수들을 생성한다. 이후 부분상관함수들을 재조합함으로써 주변 첨두를 제거하면서도 기존 BOC 상관함수보다 상관함수의 폭이 좁은 새로운 상관함수를 생성한다. 모의실험을 통해 제안한 상관함수를 이용한 경우, 기존의 상관함수들을 이용한 경우들에 비해 더욱 향상된 신호 추적 성능을 가지는 것을 보인다.

**Key Words** : binary offset carrier (BOC), code tracking, tracking error standard deviation (TESD)

### ABSTRACT

In this paper, we propose an unambiguous binary offset carrier (BOC) correlation function with narrow main-peak width for BOC code tracking. Specifically, we first separate a subcarrier pulse into two rectangular pulses, obtain the associated partial correlations, and re-combine the partial correlations to yield the unambiguous correlation function with narrow main-peak width. From numerical results, it is demonstrated that the proposed correlation function provides a significant performance improvement over the conventional correlation functions.

### I. 서론

기존의 위성항법시스템인 global positioning system에서는 (GPS) phase shift keying (PSK) 변조에 기반한 신호를 이용한다. 최근 GPS보다 더 높은 측위 정확도에 대한 수요가 증가함에 따라 GPS 현대화 및 Galileo와 같은 새로운 위성항법시스템들이 개발되고 있다. 이러한 위성항법시스템에서는 GPS 신호보다

더 높은 측위 정확도를 제공하는 binary offset carrier (BOC) 변조 방식을 이용할 예정이다<sup>1,2</sup>. BOC 신호는 의사잡음부호와 (pseudo random noise: PRN) 사인 또는 코사인 위상의 구형 (rectangular) 부반송파의 곱으로 표현되며, 사용하는 부반송파가 사인 위상 혹은 코사인 위상을 따르는가에 따라  $BOC_{\sin}(kn, n)$  또는  $BOC_{\cos}(kn, n)$ 로 표현 된다. 여기서  $k$ 는 PRN 코드 칩 주기와 부반송파 주기의 비율을,  $n$ 은 PRN 코드 칩 전

※ 본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2012R1A2A2A01045887), 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업(NIPA-2012-H0301-12-1005) 과제의 일환으로 수행하였음.

• 주저자 : 성균관대학교 정보통신대학, fortrtwo@skku.edu, 학생회원

o 교신저자 : 성균관대학교 정보통신대학, syoon@skku.edu, 종신회원

논문번호 : KICS2012-10-488, 접수일자 : 2012년 10월 9일, 최종논문접수일자 : 2012년 12월 20일

송률과 1.023 MHz의 비율을 나타낸다<sup>3,4)</sup>. BOC 자기상관함수의 주 첨두 폭은 GPS 자기상관함수의 주 첨두 폭보다 좁기 때문에 BOC 신호는 GPS 신호보다 더 높은 측위 정확도를 제공한다. 또한 BOC 신호는 그 신호 에너지가 대역 중심으로부터 떨어져 있기에 GPS 신호와 동일 채널 간섭을 받지 않고, 다른 신호와의 구분이 용이한 장점도 있다<sup>5)</sup>. 그러나 BOC 신호는 그 자기상관함수에 있어, 주 첨두 주변에 여러 개의 주변 첨두가 나타나는 형태를 가지고,  $k$ 값이 커질수록 주변 첨두의 수가 늘어난다. 따라서 BOC 자기상관함수의 주변 첨두에서 동기화되는 모호성 (ambiguity) 문제가 발생할 수 있다<sup>2)</sup>.

이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 신호 추적 방법이 제안되어 왔다<sup>6-10)</sup>. Bump-jumping 기법은 [6] 현재 피크 크기와 이웃하는 피크 크기를 비교하여 더 큰 피크를 찾아가는 방법이다. 이 기법은 신호의 세기가 클 때는 코드 추적 성능이 좋지만, 신호의 세기가 작을 때는 코드 추적 성능이 나쁜 단점이 있다. Binary phase shift keying (BPSK)-like 기법은 [7] BOC 신호를 두 개의 BPSK 신호의 합으로 해석하여 처리하는 방법이다. 이 기법은 주변 첨두가 없는 상관함수를 제안하지만, 상관함수의 주 첨두가 더 넓어지기 때문에 BOC 신호의 코드 추적에서의 장점을 잃게 되는 문제가 있다. 이후에는 [8]-[10]과 같이 상관함수에서 주변 첨두를 직접적으로 제거하는 기법들이 연구되어 왔다. 구체적으로, [8]에서는 BOC 자기상관함수에서 BOC 신호와 PRN 신호의 상호상관을 빼는 방법으로 주변 첨두가 제거된 상관함수를 제안하지만,  $\text{BOC}_{\sin}(n,n)$  신호에만 적용이 가능하다. Pseudocorrelation function based unambiguous delay lock loop (PUDLL) 기법은 [9] 수신 받은 BOC 신호와 새로 설계된 국부 신호의 상호상관을 이용하는 방법이다. 이 기법은  $k$ 값이 커질수록 코드 추적 성능이 BOC 자기상관함수를 이용한 코드 추적 성능보다 나빠지고,  $\text{BOC}_{\sin}(kn,n)$  경우에만 적용된다. [10]에서는 BOC 자기상관함수가 부분상관함수의 합으로 나타나는 사실을 이용하여 부분상관함수의 재조합을 통해서 상관함수의 주변 첨두를 제거하였으며, PUDLL보다 더 좋은 신호 추적 성능을 보인다. 또한, [10]의 기법은  $\text{BOC}_{\sin}(kn,n)$ 와  $\text{BOC}_{\cos}(kn,n)$ 에 모두 적용된다. 그러나 [10]의 기법은 코드 추적 성능을 향상시키는 것을 고려하지 않고 오직 상관함수의 주변 첨두를 제거하는 과정에 초점을 두었다.

본 논문에서는 sine 위상 및 cosine 위상 BOC 신호에 대하여 부분송파 펄스를 펄스 구간이 부분송파 펄

스 구간의 절반인 두 개의 구형 펄스의 합으로 해석하고, 그에 따른 부분상관함수를 생성한다. 이후, 생성한 부분상관함수들을 새로운 방식으로 조합함으로써 주변 첨두가 완벽히 제거될 뿐 아니라 기존의 [6]-[10]의 기법들에 비해 주 첨두의 폭이 더 좁은 상관함수를 제안한다. 주 첨두의 폭이 좁을수록 신호 추적 시 판별기 선형 구간의 기울기가 높아지므로 동일한 잡음 환경에서 신호 추적 성능이 향상된다. 제안한 기법은  $\text{BOC}_{\sin}(kn,n)$ 와  $\text{BOC}_{\cos}(kn,n)$ 에 모두 적용된다. 또한 모의실험을 통해 제안한 기법이 기존의 기법들에 비해 더 좋은 tracking error standard deviation (TESD) 성능을 가짐을 확인한다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 BOC 신호 부분송파 펄스를 두 개의 구형 펄스의 합으로 해석하고, 그에 따라 생성하는 부분상관함수들을 소개한다. III장에서는 부분상관함수의 재조합을 통해 상관함수의 주변 첨두를 완벽히 제거하고 좁은 폭을 갖는 새로운 상관함수를 제시한다. IV장에서는 모의실험 결과를 보이며, 마지막으로 V장에서 결론을 내린다.

## II. BOC 부분상관함수

$\text{BOC}_{\sin}(kn,n)$ 와  $\text{BOC}_{\cos}(kn,n)$  신호  $s(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sqrt{P} \sum_{i=-\infty}^{\infty} c_i p_{T_c}(t - iT_c) d(t) c_{sc}(t) \quad (1)$$

여기서  $P$ 는 신호 전력,  $c_i \in \{-1, 1\}$ 는 주기가  $T$ 인 PRN 코드의  $i$ 째 칩,  $T_c$ 는 PRN 코드 칩 주기,  $p_{T_c}(t)$ 는  $[0, T_c]$ 에 존재하는 단위 구형파,  $d(t)$ 는 항법 데이터를 나타낸다. 부분송파는

$$c_{sc}(t) = \sum_{l=0}^{N-1} h_l p_{T_s}(t - lT_s) \text{와 같이 정의되고, 여}$$

기서  $N$ 은 부분송파를 이루는 펄스의 수,  $h_l \in \{-1, 1\}$ 은  $l$ 번째 펄스의 부호,  $T_s = T/N$ 은 펄스의 주기이다. 본 논문에서는 하나의 부분송파 펄스를 신호 구간이 절반인 두 개의 구형 펄스의 합으로 해석하여 이용한다. 즉,  $\text{BOC}_{\sin}(kn,n)$ 과  $\text{BOC}_{\cos}(kn,n)$ 에 대해  $N$ 을  $4k$ 로 고려하고, 그에 따른 펄스의 부호  $h_l$  및 펄스 구간  $T_s$ 를 함께 정리하면  $(N, h_l, T_s)$ 는  $\text{BOC}_{\sin}(kn,n)$ 과  $\text{BOC}_{\cos}(kn,n)$ 에 대해 각각

$$\left( 4k, (-1)^{2ki + \lfloor \frac{l}{2} \rfloor}, \frac{1}{4kn \times 1.023\text{MHz}} \right) \text{과}$$

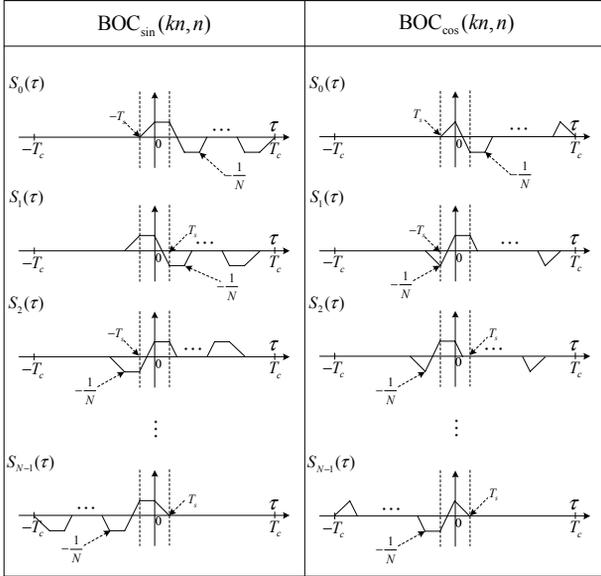


그림 1. BOC<sub>sin</sub>(kn, n), BOC<sub>cos</sub>(kn, n) 신호의 부분상관함수  
Fig. 1. The proposed sub-correlation for BOC<sub>sin</sub>(kn, n) and BOC<sub>cos</sub>(kn, n)

$\left(4k, (-1)^{2ki + \lceil \frac{1}{2} \rceil}, \frac{1}{4kn \times 1.023\text{MHz}}\right)$ 으로 나타낸다.

여기서  $\lceil x \rceil$ 는  $x$ 보다 작지 않은 정수를 의미하고,  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 보다 크지 않은 정수를 의미한다.

본 논문에서는 모든 PRN 코드 칩은 +1과 -1이 독립 확률 변수로 동일한 확률 분포로 발생한다고 가정한다. 또한 PRN 코드 주기  $T$ 는 일반적으로 PRN 코드 칩 주기  $T_c$ 보다 매우 크며, 코드 추적 동안 데이터가 존재하지 않는 파일럿 채널을 (즉,  $d(t) = 1$ ) 고려한다<sup>[11]</sup>.

정규화된 BOC 자기상관함수는 다음과 같이 표현될 수 있다<sup>[10]</sup>.

$$\begin{aligned}
 R(\tau) &= \frac{1}{PT} \int_0^T s(t)s(t+\tau)dt \\
 &= \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{T/T_c-1} \frac{1}{PT} \int_{(jN+l)T_s}^{(jN+l+1)T_s} s(t)s(t+\tau)dt \\
 &= \sum_{l=0}^{N-1} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} h_l h_m \Lambda_{T_s}(\tau + (l-m)T_s) \right\} \\
 &= \sum_{l=0}^{N-1} S_l(\tau)
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서  $\Lambda_\epsilon(\tau)$ 는 삼각 형태 함수이며, 다음과 같이 정의된다.

$$\Lambda_\epsilon(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{|\tau|}{\epsilon} & |\tau| \leq \epsilon, \\ 0, & |\tau| > \epsilon \end{cases} \tag{3}$$

또한  $S_l(\tau)$ 는  $l$ 번째 부분상관함수로 아래와 같이 정의한다.

$$S_l(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} h_l h_m \Lambda_{T_s}(\tau + (l-m)T_s) \tag{4}$$

그림 1은 BOC<sub>sin</sub>(kn, n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn, n)에 대해 부분상관함수를 나타낸다. BOC 자기상관함수는 (2)에서 나타내는 바와 같이 부분상관함수  $\{S_l(\tau)\}_0^{N-1}$ 들의 단순 합으로 표현된다. 다음 장에서는 본 논문에서 새롭게 정의한 부분상관함수들을 단순히 합하는 것이 아닌, 새로운 방식으로 결합함으로써 모호성 문제를 해결할 뿐 아니라, BOC 신호 추적에 유리한 좁은 주 첨두를 가지는 BOC 자기상관함수를 생성하여 BOC 신호 추적에 이용한다.

### III. 제안한 상관함수

그림 2와 그림 3은 제안한 상관함수를 생성하는 과정의 한 예를 BOC<sub>sin</sub>(kn, n)에 대해 나타낸다. 이 그림으로부터  $S_0(\tau)$ 와  $S_{N-1}(\tau)$  두 부분상관함수의 절댓값의 합과 두 부분상관함수의 차의 절댓값을 이용하는 아래 식을 사용해서 주변 첨두를 완벽히 제거한 상관함수  $R_0(\tau)$ 를 만들 수 있음을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_0(\tau) &= S_0(\tau) \oplus S_{N-1}(\tau) \\
 &\triangleq |S_0(\tau)| + |S_{N-1}(\tau)| - |S_0(\tau) - S_{N-1}(\tau)|
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서  $R_0(\tau)$ 의 폭은  $S_0(\tau)$ 와  $S_{N-1}(\tau)$ 의  $\tau=0$ 에서 가장 가까운 zero-crossing을 갖는  $\tau=\tau_1$ 에 따라 결정된다. 따라서 zero-crossing  $\tau_1$ 을 줄이면  $R_0(\tau)$ 의 폭을 줄일 수 있다. 이를 위해  $R_0(\tau)$ ,  $S_1(\tau)$ ,  $S_{N-2}(\tau)$ 를 이용해서  $\tau=0$ 에서 대칭이고  $\tau_1$ 보다 더 작은 zero-crossing  $\tau_2$ 을 갖는  $T_1(\tau)$ 와  $T_2(\tau)$ 를 아래와 같이 구할 수 있으며, 그 형태를 그림 2에서 나타내었다.

$$\begin{cases} T_1(\tau) = (S_1(\tau) - S_{N-2}(\tau)) \odot R_0(\tau) \\ \quad \triangleq |S_1(\tau) - S_{N-2}(\tau)| + R_0(\tau) - |S_1(\tau) - S_{N-2}(\tau)| \\ T_2(\tau) = (S_{N-2}(\tau) - S_1(\tau)) \odot R_0(\tau) \end{cases} \tag{6}$$

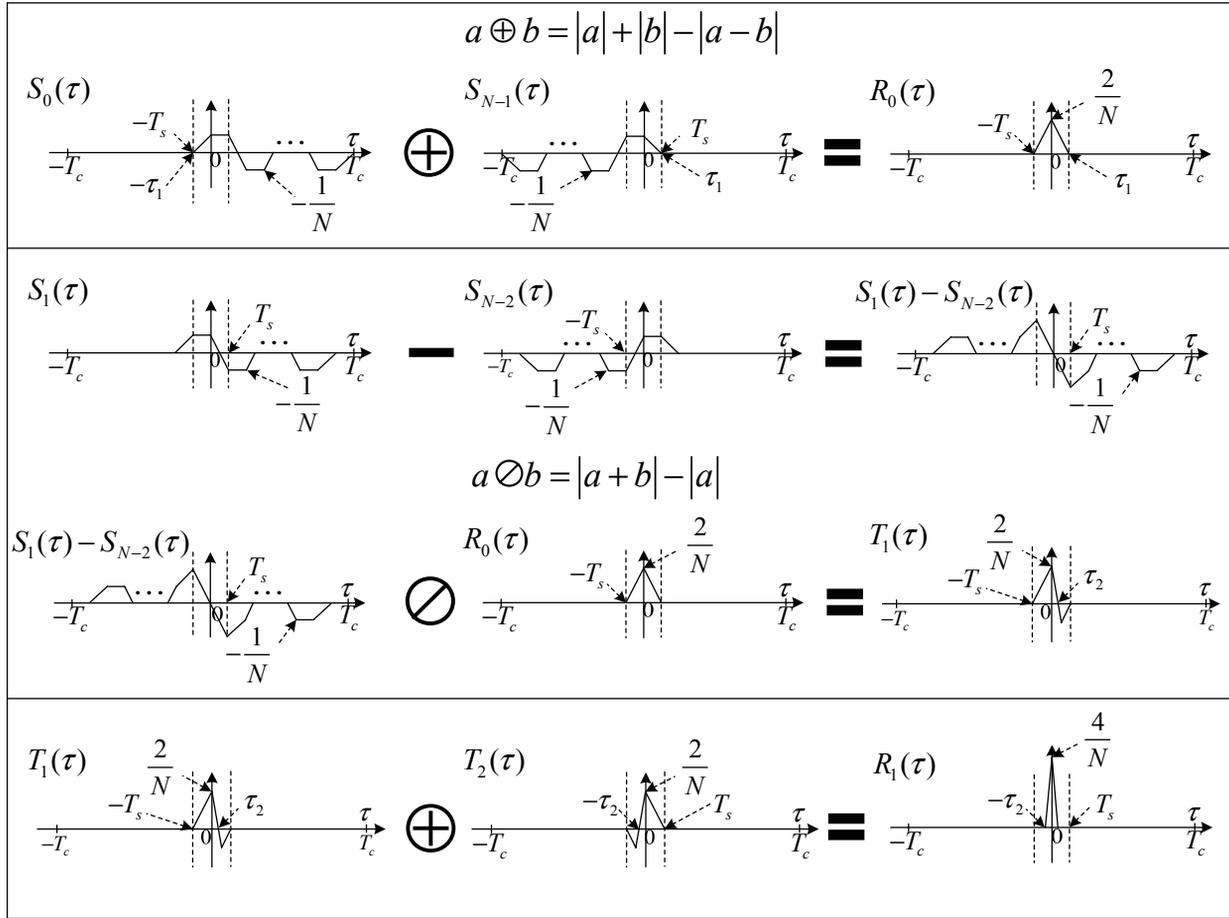


그림 2. BOC<sub>sin</sub>(kn, n) 신호에 대한 R<sub>1</sub>(τ) 생성 과정  
 Fig. 2. The first step in generating the proposed correlation function for BOC<sub>sin</sub>(kn, n)

또한 그림 2으로 부터 T<sub>1</sub>(τ)와 T<sub>2</sub>(τ)에도 T<sub>1</sub>(τ) ⊕ T<sub>2</sub>(τ) 연산을 적용하여 좁은 폭을 가지면서도 주변 침두가 없는 상관함수를 생성할 수 있음을 확인할 수 있으며, 아래와 같이 상관함수 R<sub>1</sub>(τ)을 구한다.

$$R_1(\tau) = T_1(\tau) \oplus T_2(\tau) \quad (7)$$

그러나 상관함수 R<sub>1</sub>(τ)는 k가 커질수록 주 침두의 정점이 작아진다는 단점을 가지고 있다. 이 단점을 극복하기 위해 [10]기법에서 상관함수를 누적해 나간 것과 유사한 접근 방식을 통해 아래와 같이 결합하여 최종 상관함수 R<sub>proposed</sub>(τ)를 구한다.

$$R_{\text{proposed}}(\tau) = R_1(\tau) + \sum_{l=1}^{N-2} S_l(\tau) \oplus R_1(\tau) \quad (8)$$

제안한 기법은 상관함수 생성과정에서 [10]기법과 달

리 R<sub>0</sub>(τ) 대신 R<sub>0</sub>(τ), S<sub>1</sub>(τ), S<sub>N-2</sub>(τ)이용해 생성한 더 좁은 폭을 갖는 R<sub>1</sub>(τ)를 사용함으로써, (8)을 통해 [10]기법보다 크기가 더 크고 폭이 더 좁은 상관함수를 생성한다. 상기 과정은 BOC<sub>cos</sub>(kn, n)에도 동일하게 적용되며, 최종 상관함수도 (8)과 동일하게 유도된다. 제안한 상관함수는 k값에 상관없이 주 침두의 정점 크기는 2이고 주 침두의 반쪽 폭은 BOC<sub>sin</sub>(kn, n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn, n)에 대해 각각  $\frac{17}{50}T_s$ 와  $\frac{1}{4}T_s$ 이다. k에 따른 제안한 상관함수의 기울기는 BOC<sub>sin</sub>(kn, n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn, n)에 대해 각각 23.53k와 32k이고 [10] 기법의 상관함수 기울기는 BOC<sub>sin</sub>(kn, n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn, n)에 대해 8k-4와 16k-4이다. 여기서 제안한 상관함수의 기울기는 [10] 기법의 상관함수 기울기보다 k ≥ 1일 때 큰 것을 알 수 있다. 제안한 기법은 기존 기법에 비해 상관함수 폭이 약  $\frac{1}{2}$  배 정도 줄어들었기 때문에 제안한 기법은 기존 기법에 비해 코드 추적 범

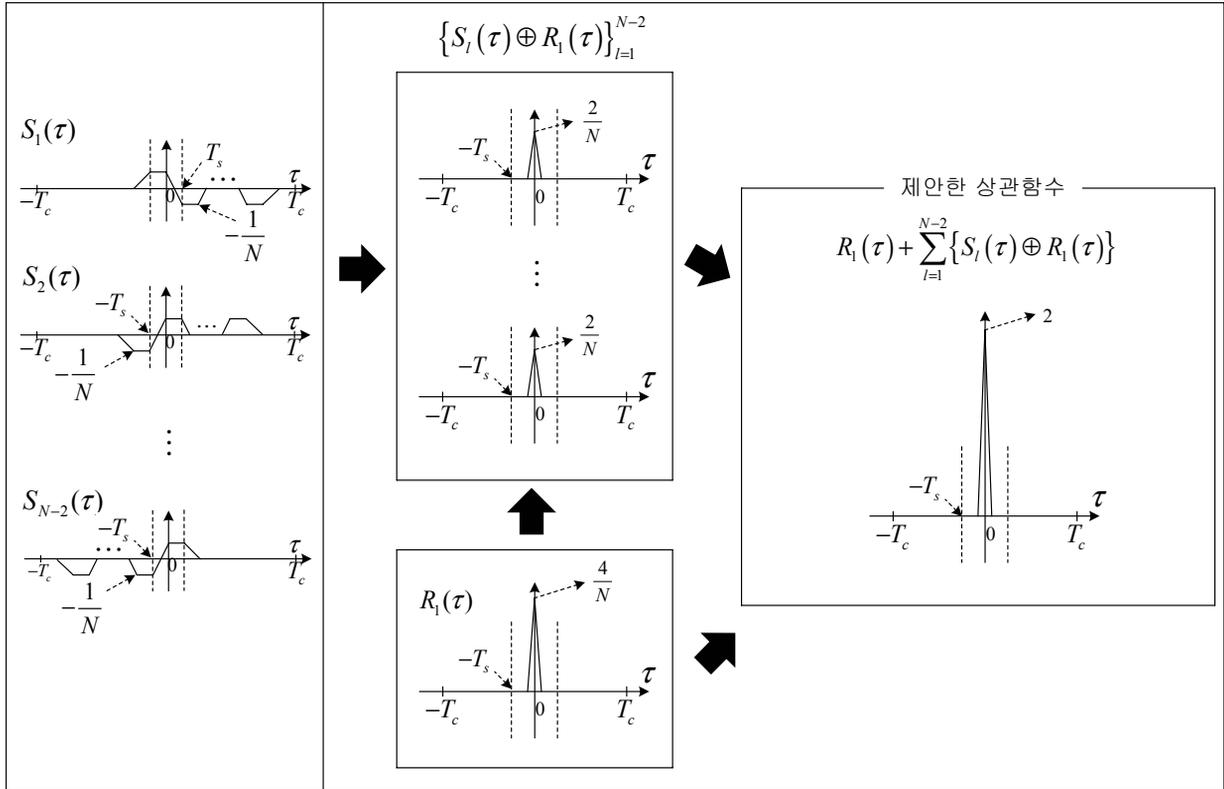


그림 3. BOC<sub>sin</sub>(kn, n) 신호에 대한 제안한 상관함수 생성 과정  
 Fig. 3. The second step in generating the proposed correlation function for BOC<sub>sin</sub>(kn, n)

위가 상대적으로 작아진다. 하지만 상관함수 폭을 줄임으로써, 제안한 상관함수는 기존 기법의 상관함수보다 더 높은 기울기를 가지고 그로인해 더욱 향상된 신호 추적 성능을 제공한다<sup>[12]</sup>.

BOC 신호 코드 추적을 위한 discriminator output은 제안한 상관함수를 통해 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$D(\tau) = R_{\text{proposed}}^2\left(\tau + \frac{\Delta}{2}\right) - R_{\text{proposed}}^2\left(\tau - \frac{\Delta}{2}\right) \quad (9)$$

여기서  $\Delta$ 는 early-late 시간이다. discriminator output은 DLL 내의 numerically controlled oscillator에 (NCO) 의해  $\tau$ 가 0이 될 때까지 동작한다<sup>[13]</sup>.

#### IV. 모의실험 결과

본 장에서는 제안한 상관함수를 이용한 신호 추적에 대한 TESD를 모의실험한다. TESD는  $\frac{\sigma}{G} \sqrt{2B_L T_I}$ 로 정의되고<sup>[14]</sup>, 여기서  $\sigma$ 는  $D(\tau)|_{\tau=0}$ 의 표준편차,  $B_L$ 은 loop filter의 대역폭,  $T_I$ 는 적분 시간, 그리고

$G = \frac{dD(\tau)}{d\tau}|_{\tau=0}$ 이다. DLL에 자기상관함수를 이용하는 경우, PUDLL 상관함수를 이용하는 경우, [10] 기법의 상관함수를 이용하는 경우에 대한 TESD를 모의실험하고, 제안한 기법의 TESD 모의실험 결과와 비교한다. 모의실험은 다음과 같은 파라미터를 가정하여 진행되었다.  $T = 4\text{ms}$ ,  $B_L = 1\text{Hz}$ ,  $T_I = T$ ,  $T_c^{-1} = 1.023\text{MHz}$ ,  $\Delta = T_s/4$ .

그림 4에서는  $k=2$ 일 때와  $k=4$ 일 때의 BOC<sub>sin</sub>(kn, n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn, n) 신호에 대해 carrier-to-noise ratio에 (CNR) 따른 제안한 상관함수, 자기상관함수, PUDLL, [10] 기법의 상관함수를 이용한 경우에 대한 TESD 성능을 나타낸다. 여기서 CNR은  $P/N_0$  dB-Hz로 정의된다. PUDLL 기법은 BOC<sub>sin</sub>(kn, n)에만 적용되기 때문에 BOC<sub>cos</sub>(kn, n)에 대해서는 성능을 보이지 않는다. 그림 4에서 제안한 기법이 모든 CNR 영역에서 BOC 자기상관함수, PUDLL, [10] 기법보다 좋은 TESD 성능을 보여준다.

그림 5에서는 CNR = 30 dB-Hz일 때의 BOC<sub>sin</sub>(kn, n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn, n) 신호에 대해  $k$ 에 따른

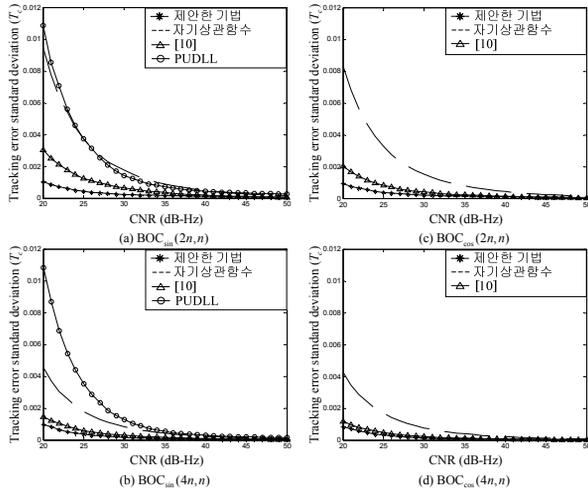


그림 4. BOC<sub>sin</sub>(kn,n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn,n)에 대한 k=2, 4일 때, TESD 성능 비교

Fig. 4. Tracking error standard deviation of the proposed and conventional scheme as a function of CNR when k=2, 4

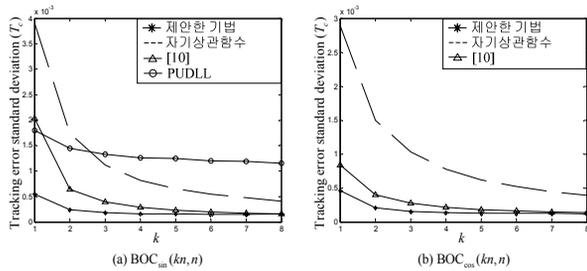


그림 5. BOC<sub>sin</sub>(kn,n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn,n)에 대한 CNR=30 dB-Hz일 때, k값에 따른 TESD 성능 비교

Fig. 5. Tracking error standard deviation of the proposed and conventional scheme as a function of k when CNR=30 dB-Hz

제안한 상관함수, 자기상관함수, PUDLL, [10] 기법의 상관함수를 이용한 경우에 대한 TESD를 나타낸다. BOC<sub>sin</sub>(kn,n)와 BOC<sub>cos</sub>(kn,n) 신호에 상관없이 모든 k 값에서 (1 ≤ k ≤ 8) 제안한 기법이 다른 기법들에 비해 TESD 성능이 좋다. 제안한 기법은 다른 기법과 달리 k가 증가함에 따라 TESD 성능이 월등히 좋아지는 않는다. 그 이유는 k가 증가함에 따라 기울기는 여전히 증가하지만 상관함수를 생성하는데 조합하는 부분상관함수가 많아지며, 절대값 연산의 증가에 따른 비동기 결합 손실이 (noncoherent combining loss) 크게 발생하기 때문이다.

### V. 결론

본 논문에서는 BOC 신호 추적을 위한 좁은 폭을 갖는 새로운 BOC 상관함수를 제안하였다. 먼저 sine 위

상 및 cosine 위상 BOC 신호에 대하여 부반송파 펄스를 펄스 구간이 부반송파 펄스 구간의 절반인 두 개의 구형 펄스의 합으로 해석하고, 그에 대한 부분상관함수를 생성하였다. 생성한 부분상관함수들을 단순히 합하는 것이 아니라 새로운 방식으로 조합함으로써 주변 침투가 없을 뿐 아니라 기존의 기법들에 비해 주 침투의 폭이 더 좁은 상관함수를 생성한다. 제안한 상관함수는 BOC<sub>sin</sub>(kn,n) 신호와 BOC<sub>cos</sub>(kn,n) 신호에 모두 적용될 뿐 아니라, 모의실험을 통해 좁은 폭을 가지는 새로운 상관함수를 신호 추적에 이용한 경우가 기존의 상관함수들을 신호 추적에 이용한 경우에 비해 더 좋은 TESD 성능을 가짐을 확인하였다.

### References

- [1] J. W. Betz. "Binary offset carrier modulations for radionavigation," *J. Inst. Navig.*, vol 48, no. 4, pp. 227-246, Dec. 2001.
- [2] E. Kaplan and C. Hegarty, *Understanding GPS: Principles and Applications*, 2<sup>nd</sup> ED., Norwood: Artech House, 2006.
- [3] J. Wu and A. G. Dempster, "Applying a BOC-PRN discriminator to cosine phased BOC(f<sub>s</sub>, f<sub>c</sub>) modulation," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 13, pp. 689-690, June 2009.
- [4] J. A. Avila-Rodriguez, "On generalized signal waveforms for satellite navigation," Ph.D. dissertation, Dept. Aerospace Engineer., University of Munich, Munich, Germany, 2008.
- [5] W. Liu, G. Du, X. Zhan, and C. Zhai, "MSK-binary coded symbol modulations for global navigation satellite systems," *IEICE Electron. Express*, vol. 7, no. 6, pp. 421-427, Mar. 2010.
- [6] P. Fine and W. Wilson, "Tracking algorithm for GPS offset carrier signals," in *Proc. ION National Technical Meeting*, pp. 671-676, San Diego, CA, Jan. 1999.
- [7] N. Martin, V. Leblond, G. Guilletot, and V. Heiris, "BOC(x,y) signal acquisition techniques and performances," in *Proc. ION GPS/GNSS*, pp. 188-198, Portland, OR, Sep. 2003.
- [8] O. Julien, C. Macabiau, M. E. Cannon, and G.

Lachapelle, "ASPeCT: unambiguous sine-BOC(n,n) acquisition/tracking technique for navigation applications," *IEEE Trans. Aer., Electron. Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 150-162, Jan. 2007.

- [9] Z. Yao, X. Cui, M. Lu, Z. Feng, and J. Yang, "Pseudo-correlation-function-based unambiguous tracking technique for sine-BOC signals," *IEEE Trans. Aer., Electron. Syst.*, vol. 46, no. 4, pp. 1782-1796, Oct. 2010.
- [10] Y. Lee, D. Chong, I. Song, S. Y. Kim, G-I Jee, and S. Yoon, "Cancellation of correlation side-peaks for unambiguous BOC signal tracking," *IEEE Commun. Lett.*, vol 16, no 5, pp 569-572, May 2012.
- [11] F. D. Nunes, M. G. Sousa, and J. M. N. Leitao, "Gating functions of for multipath mitigation in GNSS BOC signals," *IEEE Trans. Aer. Electron. Syst.*, vol. 43, no. 3, pp. 951-964, July 2007.
- [12] A. Burian, E. S. Lohan, and M. K. Renfors, "Efficient delay tracking methods with sidelobes cancellation for BOC-modulated signals," *EURASIP J. Wireless Commun. Network*, vol. 2007, article ID. 72626, 2007.
- [13] Y. Lee, H. S. Kim, and S. Yoon, "Code tracking scheme for cosine phased BOC signals based on combination of sub-correlations," *J. Korean Inst. Commun. Sciences*, vol. 36, no. 9, pp. 581-588, Sep. 2011.
- [14] 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, Fall 1992.

이 영 석 (Youngseok Lee)



2008년 3월~현재 성균관대학교 정보통신대학 전자전기공학부 학사과정  
 2008년 3월 이공계국가장학생 <관심분야> 통신이론, 무선 통신, 추정 및 검파

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