

해양 위성 통신을 위한 BOC(n,n) 신호의 새로운 상관함수

이 영 석*, 이 성 로*, 윤 석 호^o

A Novel BOC(n,n) Correlation Function for Maritime Satellite Communications

Youngseok Lee*, Seong Ro Lee*, Seokho Yoon^o

요 약

Binary offset carrier는 (BOC) 위성 통신 및 위성 항법 시스템 시스템에서 사용될 새로운 변조 방식으로 크게 주목 받고 있다. 본 논문에서는 sine 위상 BOC 신호를 위한 새로운 상관함수를 제안한다. 구체적으로는 BOC 신호 내의 하나의 부분송파 펄스를 다수의 구형 펄스의 합으로 해석하고, 그에 따른 다수의 부분상관함수들을 생성한다. 이후 생성한 부분상관함수들을 새롭게 결합함으로써 주변 침도가 없는 새로운 상관함수를 생성한다. 모의실험을 통해 제안한 상관함수를 이용하는 경우, 기존의 상관함수들을 이용하는 경우들에 비해 더욱 향상된 코드 추적 성능을 가지는 것을 보인다.

Key Words : BOC, tracking, maritime satellite communication

ABSTRACT

The binary offset carrier (BOC) modulation has attracted much attention as a new physical layer implementation for satellite communication and global navigation satellite systems. In this paper, we propose a new correlation function for sine-phased BOC signals. Specifically, we separate a sub-carrier pulse into several rectangular pulses, and then, generate a number of partial correlation functions. Finally we combine the partial correlation functions to yield an unambiguous correlation function with no side-peak. From numerical results, it is demonstrated that the proposed correlation function provides a significant tracking performance improvement over the conventional correlation functions.

I. 서 론

위성 통신은 고유의 특징인 광역성을 이용하여 광역 통신망을 구축하는 목적으로 사용된다. 특히 지상 통신 서비스를 제공받기 어려운 해양에서의 수색, 선박 위치 추적, 긴급 의료 지원, 기상 정보 제공 등의

분야에서 위성 통신이 중요한 통신 수단이 된다^{1,2)}.

이처럼 해양 위성 통신이 해양에서 중요한 통신 수단으로 부각되는 가운데, 최근 기존의 global positioning system보다 (GPS) 더 높은 측위 정확도에 대한 수요가 증가함에 따라 binary offset carrier (BOC) 변조 방식을 사용하는 새로운 위성항법시스템

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2012-H0301-12-1005)

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2009-0093828).

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

° 교신저자 : 성균관대학교 정보통신대학, syoon@skku.edu, 중신회원

* 목포대학교 정보전자공학과, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2013-01-026, 접수일자 : 2013년 1월 14일, 최종논문접수일자 : 2013년 3월 8일

들이 (global navigation satellite systems: GNSSs) 개발되고 있으며, 위성 통신 분야에서도 BOC 신호를 사용하는 것에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다¹¹. BOC 자기상관함수의 주 침두 폭은 GPS 자기상관함수의 주 침두 폭보다 좁기 때문에 더 높은 측위 정확도를 제공한다^{13,41}. 여러 BOC 신호들 중 하나인 BOC(n,n) 신호는 사인 위상의 구형 (rectangular) 부반송파와 의사잡음부호 (psuedorandom noise: PRN) 곱으로 이루어지며, 여기서 n 은 PRN 코드 칩 전송률과 1.023 MHz의 비율을 나타낸다^{14,51}. BOC(n,n) 신호는 다른 BOC 신호들에 비해 부반송파 주파수가 낮기 때문에 구현이 쉬워 널리 이용될 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 BOC 신호는 그 자기상관함수에 있어, 주 침두 주변에 여러 개의 주변 침두가 존재하는 형태를 가지고 있다. 따라서 BOC 자기상관함수의 주변 침두에서 동기화되는 모호성 (ambiguity) 문제가 발생할 수 있다²¹.

이 문제를 해결하기 위해 상관함수의 주변 침두를 직접적으로 제거하는 여러 신호 추적 방법이 제안되어 왔다¹⁶⁻⁹¹. [6] 기법에서는 BOC 자기상관함수로부터 BOC 신호와 PRN 신호의 상호상관을 빼는 방법으로 새로운 상관함수를 제안하고, [7]에서는 주 침두로부터 가장 가까운 주변 침두를 제거하는 기법을 제안하지만 [6], [7]의 기법 모두 코드 추적 성능이 현저히 떨어진다. [8] 기법은 새로 설계한 국부 신호와 수신한 BOC 신호의 상호상관을 이용하는 방법이다. 그러나 이 기법은 BOC 자기상관함수를 이용한 코드 추적 성능과 비슷한 성능을 보여준다. 즉, [6]-[8]에서 제안된 기법들은 BOC 자기상관함수의 주변 침두를 제거할 수 있으나, BOC 자기상관함수를 이용한 코드 추적 방식과 거의 유사하거나 더 나쁜 신호 추적 성능을 가진다. 최근 [9]에서는 자기상관함수를 부상관함수들의 합으로 해석하고, 부상관함수들의 재조합을 통해서 기존의 상관함수들보다 우수한 코드 추적 성능을 제공한다. 그러나 [9]의 기법은 코드 추적 성능을 향상시키는 것을 고려하지 않고 오직 상관함수의 주변 침두를 제거하는 과정에 초점을 두었기에 성능 향상의 여지가 있다.

본 논문에서는 BOC(n,n)에 대하여 하나의 부반송파 펄스를 신호 구간이 $T_c/(2r)$ 인 (r 은 자연수) r 개의 구형 펄스의 합으로 해석하고, $2r$ 개의 국부신호들을 생성하여 이용함으로써 향상된 코드 추적 성능을 가지는 상관함수를 제안한다. 구체적으로는 생성한 국부신호들을 이용해 부분상관함수들을 (partial

correlations) 생성하고, 절대값의 합과 차를 이용하여 조합함으로써 주변 침두가 완벽히 제거되고 [6]-[9]의 기법들에 비해 정점이 (peak value) 더 높고 주 침두의 폭이 더 좁은 새로운 상관함수를 제안한다. 제안하는 상관함수의 정점의 높이와 주 침두의 폭은 r 의 값에 따라 조절되며, r 의 값이 증가할수록 정점의 높이가 더 높고 주 침두의 폭이 더 좁아져 신호 추적 시 판별기 선형 구간의 기울기가 높아지므로 동일한 잡음 환경에서 신호 추적 성능이 향상된다. 또한 모의실험을 통해 제안한 상관함수가 기존의 상관함수들에 비해 더 좋은 tracking error standard deviation (TESD) 성능과 multipath error envelop (MEE) 성능을 가짐을 확인한다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 BOC 신호 모형을 설명하고, $2r$ 개의 국부신호를 이용해 부분상관함수들을 생성하는 과정을 소개한다. III장에서는 부분상관함수들의 조합을 통해 상관함수의 주변 침두를 완벽히 제거하고 r 의 값에 따른 정점의 높이가 높고 좁은 폭을 갖는 상관함수를 제시한다. IV장에서는 모의실험 결과를 보이며, 마지막으로 V장에서 결론을 내린다.

II. BOC 부분상관함수

BOC(n,n) 신호 $b(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

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 데이터터를 나타낸다. 부반송파는

$$c_{sc}(t) = \sum_{m=0}^1 h_m p_{T_s}(t - iT_c - mT_s) \text{와 같이 정의되고}$$

$h_m \in \{-1, 1\}$ 은 m 째 부반송파 펄스의 부호, 부반송파 펄스 구간은 $T_s = T_c/2$ 이다. 본 논문에서는 하나의 부반송파 펄스를 신호 구간이 $T_c/(2r)$ 인 r 개의 구형 펄스의 합으로 해석하여 T_c 구간 내에 $2r$ 개의 구형 펄스가 존재한다고 해석한다. 즉, BOC(n,n)에 대해 $2r$ 개의 구형 펄스들 중 l 째 펄스의 부호 g_l 및 펄스 구간 T_p 를 함께 정리하면 (g_l, T_p)는 BOC(n,n)

에 대해 $\left((-1)^{2i+l \lfloor \frac{l}{2} \rfloor}, \frac{1}{2rm \times 1.023\text{MHz}} \right)$ 과 같다.

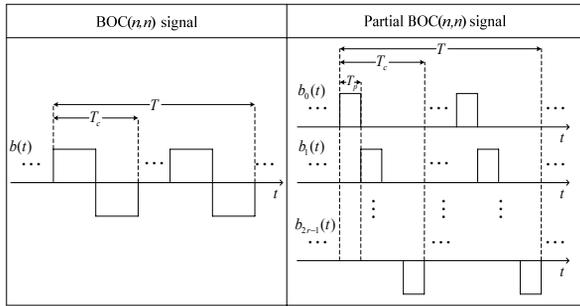


그림 1. BOC(n,n) 신호와 분할된 BOC(n,n) 신호
 Fig. 1. BOC(n,n) and partial BOC(n,n) signals

여기서 $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 크지 않은 정수를 의미한다.

따라서 BOC(n,n) 신호는 $b(t) = \sum_{l=0}^{2r-1} b_l(t)$ 과 같이 분할된 BOC 신호들의 합으로 나타낼 수 있으며, 여기서 $b_l(t) = \sqrt{P} \sum_{i=-\infty}^{\infty} c_i g_i p_{T_p}(t - iT_c - lT_p) d(t)$ 이다. 그림 1은 BOC(n,n) 신호와 이를 2r개로 분할한 신호들을 나타낸다.

본 논문에서는 모든 PRN 코드 칩은 +1과 -1이 독립 확률 변수로 동일한 확률 분포로 발생한다고 가정한다. 또한 PRN 코드 주기 T는 일반적으로 PRN 코드 칩 주기 T_c 보다 매우 크며, 코드 추적 동안 데이터가 존재하지 않는 파일럿 채널을 (즉, $d(t) = 1$) 고려한다^[10].

정규화된 BOC 자기상관함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R(\tau) &= \frac{1}{PT} \int_0^T b(t)b(t+\tau) dt \\
 &= \sum_{l=0}^{2r-1} \frac{1}{PT} \int_0^T b(t)b_l(t+\tau) dt \\
 &= \sum_{l=0}^{2r-1} \left\{ \frac{1}{2r} \sum_{m=0}^{2r-1} g_l g_m A_{T_s}(\tau + (l-m) T_s) \right\} \\
 &= \sum_{l=0}^{2r-1} C_l(\tau)
 \end{aligned} \tag{2}$$

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

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

그리고 $C_l(\tau) = \sum_{m=0}^{2r-1} g_l g_m A_{T_s}(\tau + (l-m) T_s)$ 는 l번째 부분상관함수라고 정의한다. BOC 자기상관함수는 (2)에서 나타내는 바와 같이 부분상관함수 $\{C_l(\tau)\}_0^{2r-1}$ 들의 합으로 표현된다. 다음 장에서는 본 논문에서 새롭게 정의한 부분상관함수들을 단순히 합하는 것이 아닌, 절대값의 합 또는 차를 이용하여 결합하고 주변 첨두를 제거함으로써 모호성 문제를 해결한다. 또한 제안하는 상관함수는 높은 정점과 좁은 주 첨두를 가지기에 BOC 신호 추적에 이용하여 코드 추적 성능을 향상시킨다.

III. 제안한 상관함수

제안하는 기법은 $\{b_l(t)\}_0^{2r-1}$ 을 국부신호로 사용하며, 그림 2는 국부신호를 이용하여 제안한 상관함수를 생성하는 과정을 나타낸다. 이 그림으로부터 $C_0(\tau)$ 와 $C_{2r-1}(\tau)$ 두 부분상관함수의 절대값의 합과 두 부분상관함수의 차의 절대값을 이용하는 아래 식을 사용해서 주변 첨두를 완벽히 제거한 상관함수 $R_0(\tau)$ 를 만들 수 있다는 것을 알 수 있다.

$$R_0(\tau) = |C_0(\tau)| + |C_{2r-1}(\tau)| - |C_0(\tau) - C_{2r-1}(\tau)| \tag{4}$$

또한 그림 2로부터 주변 첨두를 완벽히 제거한 상관함수 $R_0(\tau)$ 의 폭은 T_p 의 값에 따라 결정된다는 것을 알 수 있다. $T_p = T_c / (2r)$ 의 관계를 가지므로 BOC(n,n) 신호를 더 많이 분할할수록 (즉, r의 값이 클수록) 더 좁은 폭을 가지는 $R_0(\tau)$ 를 생성할 수 있다. 그러나 상관함수 $R_0(\tau)$ 는 r의 값이 클수록 정점이 작아진다는 단점을 가지고 있다. 이 단점을 극복하기 위해 $\{C_l(\tau)\}_1^{2r-2}$ 를 아래와 같이 추가적으로 이용하여 최종상관함수 $R_{proposed}(\tau)$ 를 구한다.

$$\begin{aligned}
 R_{proposed}(\tau) &= R_0(\tau) \\
 &\quad + \sum_{l=1}^{2r-2} \{ |C_l(\tau)| + |R_0(\tau)| - |C_l(\tau) - R_0(\tau)| \}
 \end{aligned} \tag{5}$$

최종상관함수 $R_{proposed}(\tau)$ 의 정점의 값은 $(2r-1)/r$ 이고, 주 첨두의 폭은 $1/(2r) [T_c]$ 이다 (단, $r=1$ 일 때 주 첨두의 폭은 $1/4 [T_c]$ 이다). 제안한 상

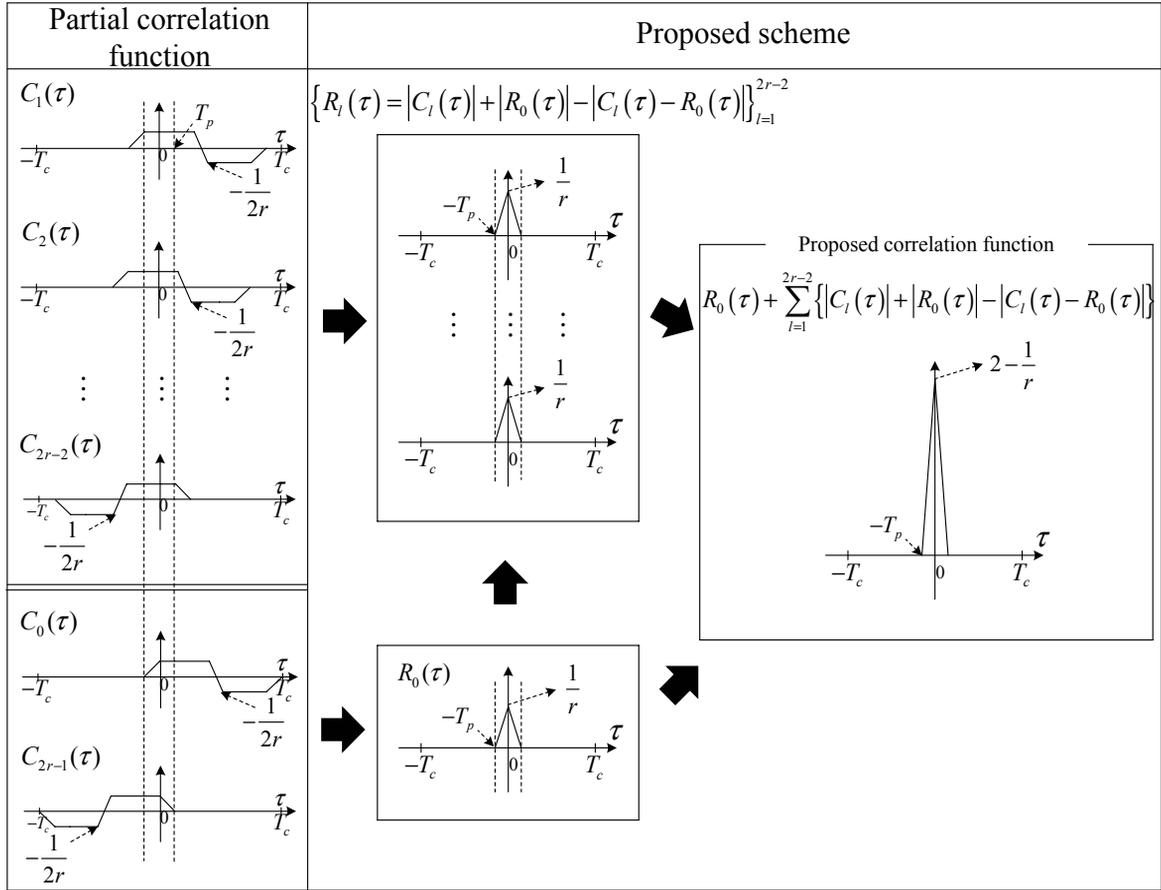


그림 2. BOC(n,n) 신호에 대한 제안한 상관함수
 Fig. 2. The proposed correlation function for BOC(n,n)

관함수는 $r = 1$ 일 때 [9] 기법의 상관함수와 동일하며, r 의 값이 증가할수록 [9] 기법의 상관함수보다 정점의 높이가 더 높고 주 침두의 폭이 더 좁은 상관함수를 생성한다.

BOC(n,n)에 대해 $r \geq 2$ 일 때 제안한 상관함수의 기울기는 $4r - 2$ 이고 [9] 기법의 상관함수 기울기는 4이다. 여기서 제안한 상관함수의 기울기는 r 의 값이 증가함에 따라 [9] 기법의 기울기보다 월등히 커지는 것을 알 수 있다. 제안한 상관함수는 기존의 상관함수들에 비해 r 의 값이 증가하여 주 침두의 폭이 줄어들기 때문에, 제안한 상관함수는 기존의 상관함수들에 비해 코드 추적 범위가 상대적으로 작아진다. 하지만 상관함수의 높이를 증가시키고 폭을 줄임으로써, 제안한 상관함수는 기존의 상관함수들보다 더 높은 기울기를 갖고 그로 인해 더욱 향상된 신호 추적 성능을 제공한다^[7].

제안한 상관함수는 BOC(n,n) 신호에 대하여 주변 침두에서 동기화되는 모호성을 제거하고 코드 추적 성능을 높이기 위해 제안되었지만, BOC(kn,n) 신호에

대해서도 적용하여 주변 침두를 제거할 수 있다. 여기서 k 는 PRN 코드 칩 주기와 부분송파 주기의 비율을 나타낸다. 구체적으로는 BOC(n,n) 신호에 대해서는 $2r$ 개의 부분 상관함수를 이용하였으나, BOC(kn,n) 신호에 대해서는 $2kr$ 개의 부분 상관함수를 이용하여 (4), (5)와 같이 결합함으로써 (이 때 (4), (5)에서의 r 을 kr 로 치환) 최종 상관함수를 만들 수 있다. 그러나 k 값이 커짐에 따라 부분 상관함수의 개수가 크게 증가하여 비동기 결합 손실로 (noncoherent combining loss) 인해 신호 추적 성능은 나빠질 것으로 예상된다.

BOC 신호 코드 추적을 위한 판별기 (discriminator) 출력은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$D(\tau) = R_{proposed}^2\left(\tau + \frac{\Delta}{2}\right) - R_{proposed}^2\left(\tau - \frac{\Delta}{2}\right) \quad (6)$$

여기서 Δ 는 early-late 시간이다. 판별기 출력은 delayed lock loop (DLL) 내의 numerically controlled oscillator에 (NCO) 의해 τ 가 0이 될 때까지 동작한다^[11].

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 제안한 상관함수를 이용한 신호 추적에 대한 TESD와 MEE 성능을 모의실험한다. TESD는 $\frac{\sigma}{G} \sqrt{2B_L T_I}$ 로 정의되고^[12], 여기서 σ 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. 모의실험은 다음과 같은 파라미터를 가정하여 진행되었다. $T = 4\text{ms}$, $B_L = 1\text{Hz}$, $T_I = T$, $T_c^{-1} = 1.023\text{MHz}$, $\Delta = 1/8[T_c]$.

그림 3에서는 BOC(n,n) 신호에 대해 carrier-to-noise ratio에 (CNR) 따른 제안한 상관함수와 기존의 상관함수들을 이용한 경우에 대한 TESD 성능을 나타낸다. 여기서 CNR은 P/N_0 dB-Hz로 정의된다. [8] 기법은 국부 신호 생성 파라미터인 κ 의 값에 따라 모의실험 성능이 다르게 나타나기 때문에 TESD 성능이 가장 좋을 때의 $\kappa = 0.3$ 으로 모의실험한다^[8]. 그림 3에서 제안한 상관함수는 r 에 따라 성능이 다르게 나타나고, $r = 1$ 일 때 [9] 기법과 TESD 성능이 같은 것을 보여준다. 또한 제안한 상관함수는 r 의 값이 증가함에 따라 기존의 상관함수들보다 더 좋은 TESD 성능을 보여준다. 특히, 낮은 CNR 범위에 (CNR = 20 ~ 30 dB-Hz) 대해 제안한 상관함수는 기존의 상관함수들보다 월등히 좋은 TESD 성능을 보여준다.

그림 4에서는 BOC(n,n) 신호에 대해 CNR = 30 dB-Hz일 때, r 의 값에 따른 제안한 상관함수에 대해 TESD 성능을 나타내며, r 의 값이 증가함에 따라 더 좋은 TESD 성능을 가짐을 확인할 수 있다. 그러나 r 값이 증가할수록 성능 향상의 폭은 줄어드는 것을 확인할 수 있는데, 그 이유는 r 의 값이 증가함에 따라 기울기는 여전히 증가하지만 제안한 상관함수를 생성하는데 조합하는 부분상관함수의 개수가 많아지며, 절대값 연산의 증가에 따른 비동기 결합 손실이 크게 발생하기 때문이다.

그림 5에서는 BOC(n,n)에 대해 첫째 경로와 둘째 경로의 신호의 크기 비율이 0.25일 때, 제안한 상관함수와 기존의 상관함수들의 MEE 성능을 비교한다. 그림 5에서 제안한 상관함수는 다중 경로 지연 (0, $1.1T_c$) 구간에서 $r \geq 2$ 일 때 [8], [9]의 상관함수보다 좋은 MEE 성능을 보여준다. 또한 제안한 상관함수는 $r \geq 2$ 일 때 다중 경로 지연 (0, $1.5T_c$) 구간

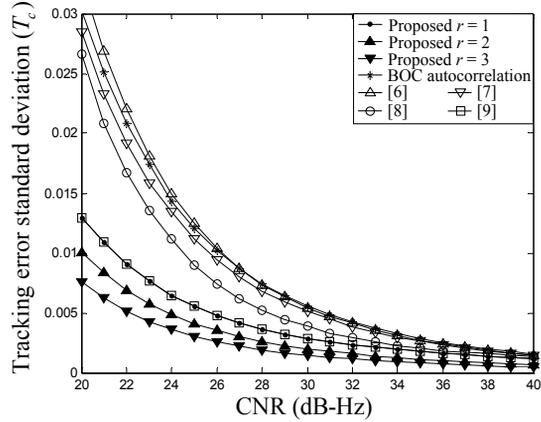


그림 3. BOC(n,n) 신호에 대한 기존 기법 및 제안한 기법의 TESD
Fig. 3. TESD of the proposed and conventional scheme for BOC(n,n) signal

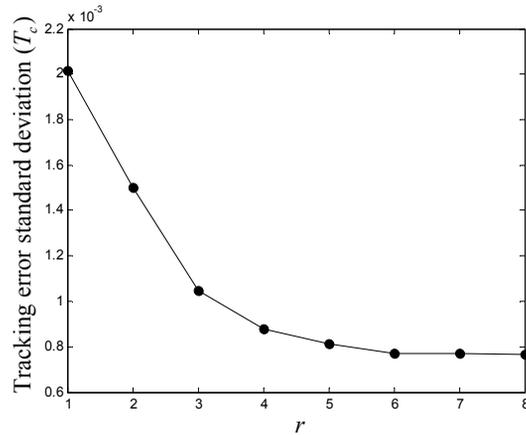


그림 4. CNR = 30 dB-Hz일 때, r 값에 따른 제안한 기법의 TESD
Fig. 4. TESD of the proposed scheme as a function of r when CNR = 30 dB-Hz

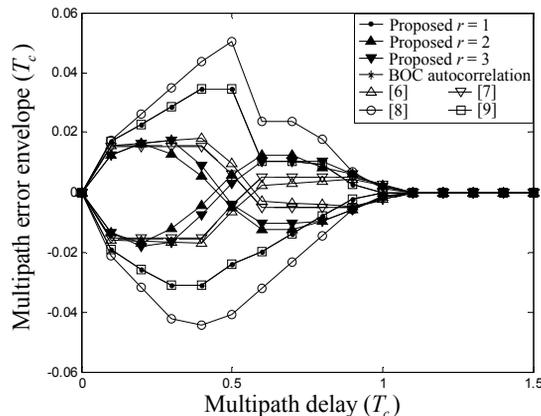


그림 5. BOC(n,n) 신호에 대한 첫째 경로와 둘째 경로의 신호 크기 비율이 0.25일 때 MEE 성능
Fig. 5. MEE performances for BOC(n,n) when the amplitude ratio of the second path to the first path is 0.25

에서 자기상관함수, [6]와 [7]의 상관함수와 비슷한 MEE 성능을 보인다. 특히 다중 경로 지연 ($0.3T_c$, $0.5T_c$) 구간에서 제안한 상관함수는 기존의 상관함수들보다 더 좋은 MEE 성능을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 해양에서 중요한 통신 수단으로 작용하는 위성 통신 신호에 대해 BOC(n,n) 신호 추적을 위해 더 높은 정점과 좁은 폭을 갖는 새로운 BOC 상관함수를 제안하였다. 먼저 가장 영향력 있는 BOC(n,n) 신호에 대해 하나의 부반송파 펄스를 신호 구간이 $T_c/(2r)$ 인 r 개의 구형 펄스의 합으로 해석하고, 그에 따른 국부신호들로 부분상관함수들을 생성하였다. 생성한 부분상관함수들을 단순히 합하는 것이 아니라 절대값의 합과 차를 이용하여 조합함으로써 주변 침두가 없을 뿐 아니라 기존의 상관함수들에 비해 정점이 더 높고 주 침두의 폭이 더 좁은 상관함수를 생성하였다. 모의실험을 통해 제안한 상관함수를 신호 추적에 이용한 경우가 기존의 상관함수들을 신호 추적에 이용한 경우에 비해 더 좋은 TESD와 MEE 성능을 가짐을 확인하였다.

References

[1] Z. Chen, J. C. Guo, J. Zhao, T. H. Tang, and B. Li, "The chaotic-BOC used in the positioning of L1 signal in GPS/Galileo system," *Appl. Mechanics Materials (AMM)*, vol. 58-60, pp. 2450-2455, June 2011.

[2] S. I. Jeon, J. S. Chae, and S. H. Oh "Shipboard active phased array antenna system for satellite communications," *J. Korea Electro. Eng. Soc. (JKEES)*, vol. 13, no. 10, pp. 1089-1097, Dec. 2002.

[3] E. Kaplan and C. Hegarty, *Understanding GPS: principles and Applications*, 2nd ED., Norwood, MA: ArtechHouse, 2006.

[4] J. Wu and A. G. Dempster, "Applying a BOC-PRN discriminator to cosine phased BOC(f_s, f_c)modulation," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 13, pp. 689-690, June 2009.

[5] J. A. A. Rodriguez, "On generalized signal

waveforms for satellite navigation," Ph.D. dissertation, Dept. Aer. Engineer., Univ. Munich, Munich, Germany, 2008.

[6] 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.

[7] 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. (EURASIP JWCN)*, vol. 2007, no. 2, pp. 1-20, Jan. 2007.

[8] 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.

[9] 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

[10] 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.

[11] 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 (KICS)*, vol. 36, no. 9, pp. 581-588, Sep. 2011.

[12] A. J. Van Dierendonck, P. Fenton, and T. Ford, "Theory and performance of narrow correlator spacing in a GPS receiver," *J. Inst. Navigation*, vol. 39, no. 3, pp. 265-283, June 1992.

이 영 석 (Youngseok Lee)



2013년 2월 성균관대학교 정보통신대학 전자전기공학부 공학사

2013년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석박사통합과정

2008년 3월 이공계국가장학생

2012년 12월 IEEE Student Paper Contest 동상 수상

2013년 3월 성균관대학교 석박사연계트랙 장학생
<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/텔레미틱스응용분야, 임베디드시스템, 생체인식시스템

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