

선박의 위성 통신을 위한 TMBOC 신호의 비모호 상관함수

채근홍*, 이성로*, 윤석호^o

An Unambiguous Correlation Function of TMBOC Signal for Satellite Communication of Vessels

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

요약

본 논문에서는 시간 복합 이진 오프셋 반송파 (time-multiplexed binary offset carrier: TMBOC) 신호 추적을 위한 비모호 상관함수를 제안한다. 구체적으로 TMBOC 변조는 두 개의 sine 위상 BOC 신호를 시간 영역에서 번갈아가며 전송한다는 것에 주목하여 각 sine 위상 BOC 신호 별로 신호를 쪼개어 부분 상관함수들을 만들고, 이들을 재결합함으로써 주변 침투가 없는 상관함수를 생성한다. 모의실험을 통해 제안한 비모호 상관함수를 이용한 경우, 자기상관함수를 이용하는 경우에 비해 향상된 추적 오류 표준편차 성능을 가짐을 확인하였다.

Key Words : global positioning system (GPS), time-multiplexed binary offset carrier (TMBOC), signal tracking, ambiguity problem, tracking error standard deviation (TESD)

ABSTRACT

In this paper, we propose an unambiguous correlation function for time-multiplexed binary offset carrier (TMBOC) signal tracking. Specifically, considering that the TMBOC modulation transmits two kinds of sine-phased BOC signals in time domain alternatively, we generate sub-correlation functions for each of the BOC signals by using split sine-phased BOC signals, and then, obtain a correlation function with no side-peak by recombining the sub-correlation functions. From numerical results, we confirm that the proposed correlation function offers an improved tracking error standard deviation performance than the TMBOC autocorrelation function.

I. 서론

최근 국방 분야 뿐 아니라 민간 사용에 있어서도 정밀한 측위정보에 대한 필요성이 증가하고 있기 때

문에 지금까지 널리 사용된 범지구측위시스템에 (global positioning system: GPS) 비해 향상된 측위 정확도를 제공할 수 있는 GPS 현대화, Galileo와 같은 위성 항법 시스템들이 개발되어 왔으며^[1,2], 위성

※ 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

○ Corresponding Author : Sungkyunkwan University, College of Information & Communication Engineering, syoon@skku.edu, 중신회원

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

논문번호 : KICS2014-05-157, Received May 2 2014; Revised July 9, 2014; Accepted July 9, 2014

통신은 선박이 해상에 위치하면서 선박의 위치 추적, 기상 정보 제공 등을 제공하는 중요한 통신 수단이다²⁾. GPS 현대화, Galileo에서는 기존의 위성항법시스템과 동일한 대역을 점유하면서도 더 좋은 신호 추적 성능을 제공하기 위한 방안으로 확산코드인 의사잡음코드에 (pseudo random noise: PRN) 구형 부반송파를 곱한 형태인 이진 오프셋 반송파 (binary offset carrier: BOC) 신호를 채용하고 있다^{4,5)}. 특히, GPS 현대화와 Galileo의 호환성을 위해 복합 이진 오프셋 반송파 (multiplexed BOC: MBOC) 신호가 제안되었으며, 본 논문에서는 시간 영역에서 두 개의 사인 (sine) 위상 BOC 신호를 번갈아가며 전송하는 시간 복합 이진 반송파 (time-multiplexed BOC: TMBOC) 신호에 초점을 맞춘다. GPS 현대화에서는 사인 위상 BOC 신호인 $BOC_{\sin}(1,1)$ 과 $BOC_{\sin}(6,1)$ 을 번갈아가며 전송하되 $BOC_{\sin}(6,1)$ 신호의 전력 비율이 4/33인 TMBOC 신호를 이용하며 이를 TMBOC(6,1,4/33)로 나타낸다. 여기서 $BOC_{\sin}(1,1)$ 와 $BOC_{\sin}(6,1)$ 는 반송파 주파수가 1.023 MHz이고, PRN 칩 전송률이 각각 1.023 MHz, 6.138 (1.023×6) MHz인 사인 위상 BOC 신호를 나타낸다⁶⁾. TMBOC 신호는 PRN 칩 전송률이 높은 sine 위상 BOC 신호 성분을 포함하기에 이를 포함하지 않는 경우에 비해 보다 빠른 형태의 주침두를 (main-peak) 가지는 자기상관함수를 가지며, 그에 따라 보다 우수한 측위 정확도를 제공한다. 그러나 TMBOC 신호 역시 BOC 신호와 같이 자기상관함수에 주변 침두가 (side-peak) 존재하며, 신호 추적 과정에서 주변 침두에서 동기화가 수행되는 모호성 문제가 (ambiguity problem) 발생할 수 있는 문제가 있다.

최근 BOC 신호의 자기상관함수에 존재하는 주변 침두를 직접 제거함으로써 모호성 문제를 해결하는 기법들이 활발히 연구되어 왔다⁷⁻¹⁰⁾. 그러나 이러한 연구들은 사인 위상 혹은 코사인 (cosine) 위상 BOC 신호에만 초점을 맞추어 진행되었다. 더불어, Galileo에서 채용하는 composite BOC (CBOC) 신호에 초점을 맞추어 주변 침두를 제거하는 연구가 일부 진행되었으나^{11,12)}, 이를 TMBOC 신호에 그대로 적용하기 어렵다.

본 논문에서는 본 저자들이 [10]에서 제안한 sine 및 cosine 위상 BOC를 위한 주변 침두 제거 기법을 바탕으로 TMBOC 신호 추적이 알맞은 비모호 상관함수를 제안한다. 구체적으로는 먼저 TMBOC 신호가 두 개의 sine 위상 BOC 신호가 시간 영역에서 번갈아가며 전송되는 형태임에 주목하여 각 sine 위상 BOC 신호 별로 부반송파를 쪼개어 부분 부반송파들을 만

들고, 이들과 수신 신호와의 상관 결과를 부분 상관함수라 정의한다. 이후, 각 sine 위상 BOC 신호들로부터 생성한 부분 상관함수들을 각각 재결합함으로써 주변 침두를 제거하고, 최종적으로 이를 합함으로써 주변 침두가 없는 비모호 상관함수를 제안한다. GPS 현대화에서 채용하는 TMBOC(6,1,4/33) 신호에 대해 모의실험을 수행하여 제안한 상관함수를 이용하는 경우, 자기상관함수를 이용하는 경우에 비해 더 좋은 추적 오류 표준편차를 (tracking error standard deviation: TESD) 가짐을 보인다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 TMBOC 신호 모형과 부분 부반송파를 소개한다. III장에서는 생성한 부분 상관함수를 이용하여 주변 침두가 없는 비모호 상관함수를 얻는 과정을 보인다. IV장에서는 제안한 비모호 상관함수를 이용한 경우의 TESD 성능 모의실험 결과를 보이며, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 내린다.

II. TMBOC(6,1,4/33) 신호 모형

GPS 현대화 L1 대역에서는 파일럿 신호 성분의 전력과 데이터 신호 성분의 전력이 전체의 신호에서 각각 75%와 25%를 차지한다. 파일럿 성분에는 TMBOC(6,1,4/33) 신호가 포함되며, 데이터 성분에는 $BOC_{\sin}(1,1)$ 신호만이 포함된다. 본 논문에서는 동기화 기법 설명을 위하여 파일럿 성분 신호인 TMBOC(6,1,4/33) 신호를 중심으로 기법을 설명한다.

TMBOC(6,1,4/33) 신호의 기저대역 신호 $m(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m(t) = \sqrt{P} \sum_{i=-\infty}^{\infty} h_i r_{T_c}(t - iT_c) s(t) \quad (1)$$

여기서 P 는 신호 전력, $h_i \in \{-1, 1\}$ 은 주기가 T 인 PRN 코드인 Weil sequence의 [13] i 짝 칩, T_c 는 PRN 코드 칩 주기, $r_{\alpha}(t)$ 는 $[0, \alpha]$ 에 존재하는 단위 구형 파, $s(t)$ 는 TMBOC(6,1,4/33) 신호의 PRN 칩 하나에 존재하는 부반송파 파형을 나타낸다.

TMBOC(6,1,4/33) 신호의 부반송파는 그림 1에서 나타낸 바와 같이 $BOC_{\sin}(6,1)$ 의 부반송파와 $BOC_{\sin}(1,1)$ 의 부반송파로 구성되며 $33T_c$ 를 주기로 그림 1의 패턴이 반복된다. i 짝 PRN 코드 칩 구간에 해당하는 $BOC_{\sin}(1,1)$ 의 부반송파 $s_{\alpha}(t)$ 와 $BOC_{\sin}(6,1)$ 의 부반송파 $s_{\beta}(t)$ 는 다음과 같이 각각

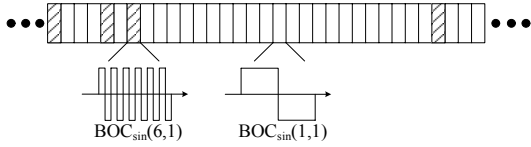


그림 1. TMBOC(6,1,4/33) 신호의 부분송파 구조
Fig. 1. Sub-carrier structure of the TMBOC(6,1,4/33) signal.

표현될 수 있다.

$$s_\alpha(t) = r_{T_s^\alpha}(t - iT_c) - r_{T_s^\alpha}(t - iT_c - T_s^\alpha), \quad (2)$$

$$s_\beta(t) = \sum_{m=0}^{11} (-1)^m r_{T_s^\beta}(t - iT_c - mT_s^\beta) \quad (3)$$

여기서 $T_s^\alpha = T_c/2$ 로 $\text{BOC}_{\sin}(1,1)$ 의 부분송파 펄스 주기이며, $T_s^\beta = T_c/12$ 로 $\text{BOC}_{\sin}(6,1)$ 의 부분송파 펄스 주기이다.

본 논문에서는 $\text{BOC}_{\sin}(1,1)$ 의 x 째 부분송파 펄스와 $\text{BOC}_{\sin}(6,1)$ 의 y 째 부분송파 펄스들을 각각 $p_x^\alpha(t)$ 와 $p_y^\beta(t)$ 로 아래와 같이 나타내며, 이들을 부분 부분송파라 정의하여 이용한다.

$$p_x^\alpha(t) = (-1)^x r_{T_s^\alpha}\left(t - \frac{x}{2} T_c\right), \text{ for } x = 0, 1 \quad (4)$$

$$p_y^\beta(t) = (-1)^y r_{T_s^\beta}\left(t - \frac{y}{12} T_c\right), \text{ for } y = 0, 1, \dots, 11 \quad (5)$$

그림 2는 $k=0$ 일 때 TMBOC(6,1,4/33) 신호의 부분송파 주기 동안의 부분 부분송파를 나타낸다. 부분 부분송파를 이용하여 정규화된 TMBOC(6,1,4/33)의 자기상관함수를 정리하면 아래와 같다.

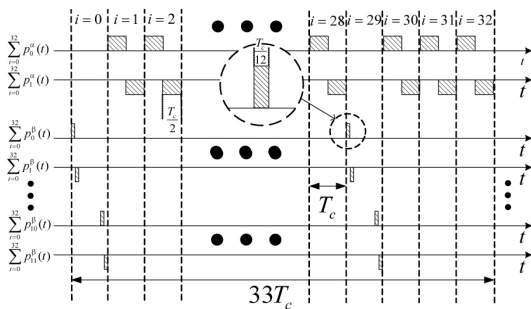


그림 2. 제안한 기법의 부분 부분송파.
Fig. 2. Partial sub-carrier waveform for the proposed scheme.

$$\begin{aligned} R(\tau) &= \frac{1}{PT} \int_0^T m(t)m(t+\tau)dt, \\ &= \sum_{x=0}^1 \sum_{i=-\infty}^{\infty} \int_0^T \frac{m(t)h_i}{T\sqrt{P}} r_{T_c}(t+\tau-iT_c) p_x^\alpha(t+\tau-iT_c) dt \\ &\quad + \sum_{y=0}^{11} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \int_0^T \frac{m(t)h_i}{T\sqrt{P}} r_{T_c}(t+\tau-iT_c) p_y^\beta(t+\tau-iT_c) dt, \\ &= \sum_{x=0}^1 \left[\left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{29}{33} \right) \sum_{u=0}^1 (-1)^x (-1)^u A_{T_s^\alpha}(\tau+(x-u)T_s^\alpha) \right] \\ &\quad + \sum_{y=0}^{11} \left[\left(\frac{1}{12} \right) \left(\frac{4}{33} \right) \sum_{v=0}^{11} (-1)^y (-1)^v A_{T_s^\beta}(\tau+(y-v)T_s^\beta) \right] \\ &= \sum_{x=0}^1 P_x^\alpha(\tau) + \sum_{y=0}^{11} P_y^\beta(\tau) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $A_{T_s}(\tau)$ 는 $|\tau| > T_s$ 일 때 0을 가지고 $|\tau| \leq T_s$ 일 때 $1 - |\tau|/T_s$ 의 값을 가지는 좌우 대칭의 삼각파 펄스를 나타낸다. $P_x^\alpha(\tau)$ 와 $P_y^\beta(\tau)$ 는 TMBOC 신호의 부분 상관함수로서 아래와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} P_x^\alpha(\tau) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} \int_0^T \frac{m(t)}{T\sqrt{P}} h_i r_{T_c}(t+\tau-iT_c) p_x^\alpha(t+\tau-iT_c) dt \\ &= \left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{29}{33} \right) \sum_{u=0}^1 (-1)^x (-1)^u A_{T_s^\alpha}(\tau+(x-u)T_s^\alpha), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} P_y^\beta(\tau) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} \int_0^T \frac{m(t)}{T\sqrt{P}} h_i r_{T_c}(t+\tau-iT_c) p_y^\beta(t+\tau-iT_c) dt, \\ &= \left(\frac{1}{12} \right) \left(\frac{4}{33} \right) \sum_{v=0}^{11} (-1)^y (-1)^v A_{T_s^\beta}(\tau+(y-v)T_s^\beta) \end{aligned} \quad (8)$$

III. 제안한 상관함수

TMBOC 신호는 시간 영역에서 두 개의 sine 위상 BOC 신호들이 번갈아가며 전송되므로 [10]에서와 같이 BOC 국소 신호를 각각의 BOC 신호들에 대해 분할한 후, 이들의 상관함수를 개별적으로 결합하는 접근 방식을 적용한다. 구체적으로는 $\text{BOC}_{\sin}(1,1)$ 의 부분 상관함수인 $P_0^\alpha(\tau)$ 와 $P_1^\alpha(\tau)$ 를 먼저 결합한다. 그림 3으로부터 $P_0^\alpha(\tau)$ 는 $T_c/4$ 에서, $P_1^\alpha(\tau)$ 는 $-T_c/4$ 에서 원점과 가장 가까운 부호 변환점을 (zero-crossing) 가지며 두 함수 모두 양수의 값을 가지므로 그 곱인 $P_0^\alpha(\tau)P_1^\alpha(\tau)$ 는 $-T_c/4 < \tau < T_c/4$

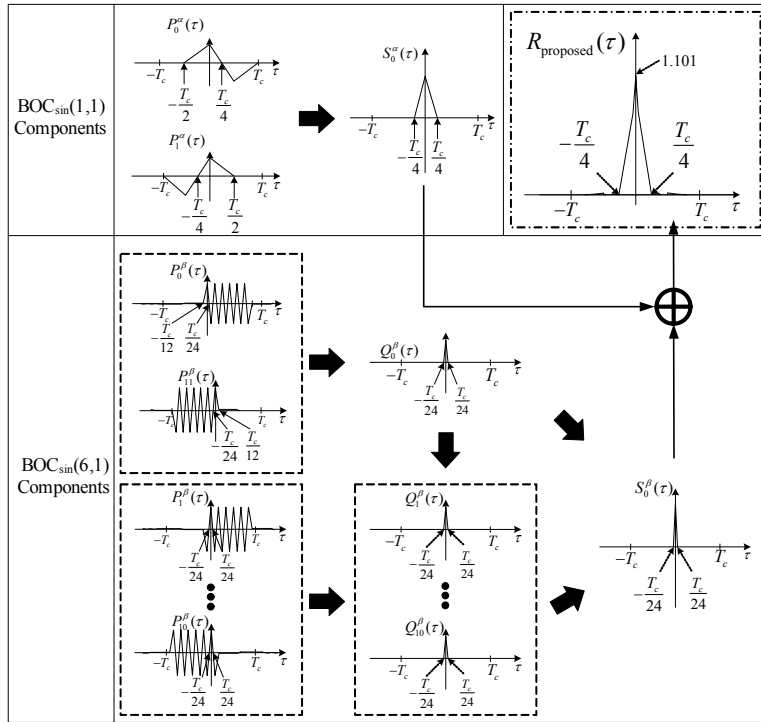


그림 3. TmBOC(6,1,4/33) 신호에 대한 제안한 기법.
Fig. 3. The proposed scheme for the TmBOC(6,1,4/33) signal.

의 범위에서 양수이며, 그 이외의 범위에서는 0 또는 음의 값을 가진다는 것을 알 수 있다. 그에 따라 (9)의 대수적 관계를 통해 주변 침도가 제거된 상관함수 $S_0^\alpha(\tau)$ 를 얻을 수 있다.

$$\begin{cases} |A|+|B|-|A-B|=0, & \text{if } AB \leq 0 \\ |A|+|B|-|A-B|>0, & \text{if } AB > 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$S_0^\alpha(\tau) = |P_0^\alpha(\tau)| + |P_1^\alpha(\tau)| - |P_0^\alpha(\tau) - P_1^\alpha(\tau)| \quad (10)$$

BOC_{sin}(6,1)의 부분 상관함수에 대해 살펴보면 $P_0^\beta(\tau)$ 는 $T_c/24$ 에서, $P_{11}^\beta(\tau)$ 는 $-T_c/24$ 에서 부호 변환점을 가지며 그 곱인 $P_0^\beta(\tau)P_{11}^\beta(\tau)$ 는 $-T_c/24 < \tau < T_c/24$ 의 범위에서 양수이며, 그 이외의 범위에서는 0 또는 음의 값을 가진다. 그에 따라 (10)을 얻는 과정과 유사한 방법으로 아래와 같은 비모호 상관함수를 얻을 수 있다.

$$Q_0^\beta(\tau) = |P_0^\beta(\tau)| + |P_{11}^\beta(\tau)| - |P_0^\beta(\tau) - P_{11}^\beta(\tau)| \quad (11)$$

BOC_{sin}(6,1)에 대해 생성한 비모호 상관함수 (11)은 총 12개의 부분 상관함수 중 두 개만을 결합하여 생성한 것이기에 나머지 부분 상관함수들도 결합하여 이용하며, 이를 위한 방법으로 $Q_0^\beta(\tau)$ 와 $\{P_y^\beta(\tau)\}_{y=1}^{10}$ 를 아래와 같이 결합하여 여러 개의 비모호 상관함수들을 생성한다.

$$Q_y^\beta(\tau) = |Q_0^\beta(\tau)| + |P_y^\beta(\tau)| - |Q_0^\beta(\tau) - P_y^\beta(\tau)| \quad (12)$$

이렇게 생성한 $\{Q_y^\beta(\tau)\}_{y=0}^{10}$ 들은 모두 폭이 같고 주변 침도가 완벽히 제거되어 있으므로 이를 아래와 같이 중첩함으로써 주변 침도가 제거된 비모호 상관함수 $S_0^\beta(\tau)$ 를 생성한다.

$$S_0^\beta(\tau) = \sum_{y=0}^{10} Q_y^\beta(\tau) \quad (13)$$

마지막으로 BOC_{sin}(1,1)의 부분 상관함수들로부터 생성한 $S_0^\alpha(\tau)$ 와 BOC_{sin}(6,1)의 부분 상관함수들로부터

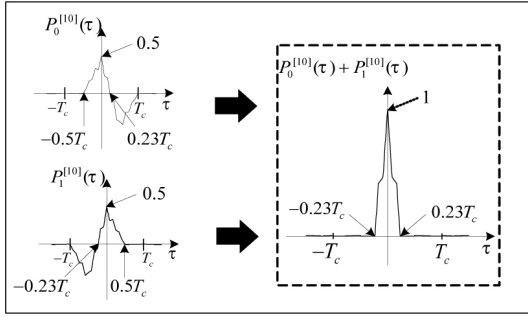


그림 4. TMBOC(6,1,4/33) 신호에 대한 [10] 기법의 상관함수.
Fig. 4. Correlation function of the scheme in [10] for the TMBOC(6,1,4/33) signal.

터 생성한 $S_0^\beta(\tau)$ 를 아래와 같이 더함으로써 주변 침도가 제거된 최종 상관함수 $R_{\text{proposed}}(\tau)$ 를 생성한다.

$$R_{\text{proposed}}(\tau) = S_0^\alpha(\tau) + S_0^\beta(\tau) \quad (14)$$

제한한 상관함수를 생성하는 과정은 그림 3에 상세히 나타내었으며, 최종 상관함수 $R_{\text{proposed}}(\tau)$ 는 주 침도의 높이가 1.101이고 너비는 $T_c/2$ 이다. 제한한 기법은 TMBOC를 구성하고 있는 sine 위상 BOC 신호들에 대한 부분 부반송파를 각각 개별적으로 이용한 후, 최종적으로 상관함수를 더하여 이용하기 때문에 TMBOC(6,1,4/33) 신호 뿐 아닌 다양한 TMBOC 신호에도 직접적으로 이용될 수 있다.

기존의 기법들은 sine/cosine 위상 BOC 신호 혹은 CBOC 신호를 위해 제안되었기에 이를 TMBOC(6,1,4/33)에 직접 적용하면 $\text{BOC}_{\text{sin}}(6,1)$ 성분과 $\text{BOC}_{\text{sin}}(1,1)$ 성분에 동일한 연산을 수행하게 되며, 이를 통해 $\text{BOC}_{\text{sin}}(6,1)$ 로부터 나타나는 장점들을 잃게 된다. 보기를 들어 [10]에서는 MBOC 신호를 $\text{BOC}_{\text{sin}}(1,1)$ 신호의 근사화된 형태로 생각하고 $\text{BOC}_{\text{sin}}(1,1)$ 에 적용되는 [10]의 기법을 그대로 MBOC에 적용할 수 있다고 기술하고 있다. 이를 구체적으로 나타내면 [10]의 기법을 적용하기 위해 부분 상관함수를

$$P_x^{[10]}(\tau) = P_x^\alpha(\tau) + \sum_{y=x}^{6x+5} P_y^\beta(\tau) \quad \text{으로 정의하며} \quad (x \in 0, 1), \quad \text{이를}$$

$|P_0^{[10]}(\tau)| + |P_1^{[10]}(\tau)| - |P_0^{[10]}(\tau) - P_1^{[10]}(\tau)|$ 의 형태로 결합함으로써 주변 침도를 제거한다. 이러한 [10] 기법의 주변 침도 제거 과정을 그림 4에서 나타내었다.

그림 5에서는 TMBOC(6,1,4/33) 자기상관함수, [10]의 상관함수, 제한한 상관함수를 보인다. 그림으

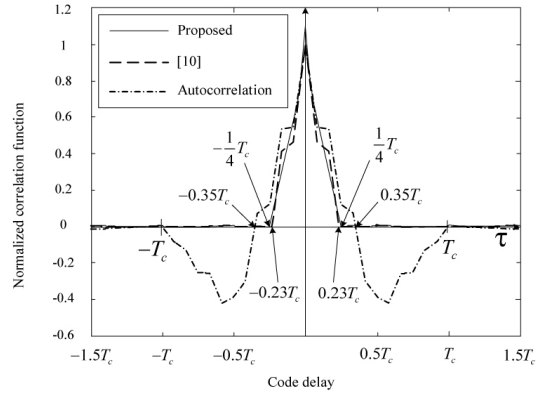


그림 5. 제안한 기법, [10] 기법의 상관함수와 TMBOC(6,1,4/33) 자기상관함수.
Fig. 5. TMBOC(6,1,4/33) autocorrelation, the correlation function in [10], and the proposed correlation function.

로부터 제안한 상관함수와 [10]의 상관함수는 주변 침도가 완벽히 제거되었을 뿐 아니라 자기상관함수에 비해 더 뾰족한 주 침도를 가짐을 확인할 수 있으며, 특히 제한한 상관함수 자기상관함수 및 [10]의 상관함수에 비해 더 큰 주 침도 값을 가짐을 확인할 수 있다.

TMBOC(6,1,4/33) 신호 추적을 위한 판별기 (discriminator) 출력은 제안한 상관함수를 이용할 경우 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$D_{\text{proposed}}(\tau) = R_{\text{proposed}}^2(\tau + \frac{\Delta}{2}) - R_{\text{proposed}}^2(\tau - \frac{\Delta}{2}), \quad (15)$$

여기서 Δ 는 선후 간격을 나타낸다. 판별기 출력은 지연 고정 루프의 (delay lock loop) 수치 제어된 오실레이터에 의해 (numerically controlled oscillator) τ 가 0이 될 때까지 동작하며 시간 동기화를 맞추고 유지한다.

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 TMBOC(6,1,4/33) 신호에 대한 자기상관함수, [10]의 기법을 적용한 상관함수, 제한한 상관함수를 이용한 경우의 TESD 성능을 비교한다.

TESD는 $\frac{\sigma}{G} \sqrt{2B_L T_I}$ 로 정의되며^[14], 여기서 σ 는 $D(0)$ 의 표준편차, B_L 은 루프필터의 대역폭, T_I 는 적분 시간, G 는 $\tau=0$ 에서의 판별기 출력의 순간 기울기를 의미한다. 모의실험을 위해 Weil sequence를 PRN 코드로 적용하였고, $B_L = 1\text{Hz}$, $T_I = 10\text{ms}$,

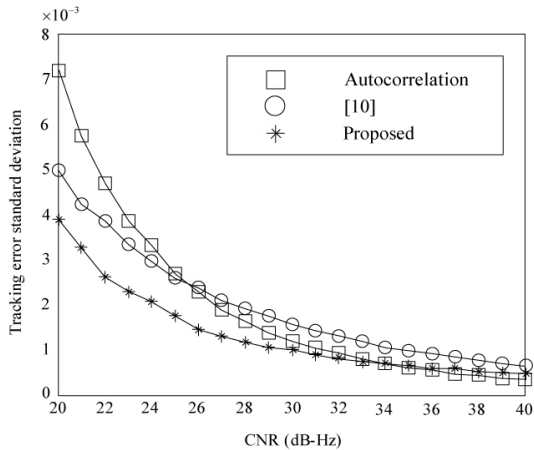


그림 6. 제안한 기법, [10] 기법, TMBOC(6,1,4/33) 자기상관함수를 이용하였을 때 TEDS 성능.
 Fig. 6. TEDS performances of the TMBOC(6,1,4/33) autocorrelation, the correlation function in [10], and the proposed correlation function.

$T = T_f$, $\Delta = T_f/24$, $T_c^{-1} = 1.023$ MHz 으로 설정하였다. 그림 6은 TMBOC(6,1,4/33) 신호에 대해서 자기상관함수와 [9]의 기법, 제안한 기법의 TEDS 성능을 나타낸다. 여기서 반송파 대 잡음비는 (carrier to noise ratio: CNR) P/N_0 dB-Hz 으로 정의되며, N_0 는 잡음 전력 밀도를 의미한다. 그림 6으로부터 제안한 기법은 [10]에 비해 모든 관측 구간에서 우수한 성능을 보인다. 또한 제안한 기법은 자기상관함수를 이용한 경우에 비해 (20 ~ 34 dB-Hz) 의 CNR에서 우수한 TEDS 성능을 보이는 것을 확인할 수 있으며, 제안한 기법은 자기상관함수를 이용한 경우와 (34 ~ 40 dB-Hz) 의 CNR에서 유사한 수준의 TEDS 성능을 보인다. 그 이유는 제안한 기법에서는 $BOC_{sin}(1,1)$ 과 $BOC_{sin}(6,1)$ 의 특성을 모두 이용하여 부분 반송파를 생성하였으며, 이들로부터 얻은 부분 상관함수를 재조합하였기에 $BOC_{sin}(6,1)$ 로부터 나타나는 장점들을 가지며, 자기상관함수와 [10]의 기법에 비해 더욱 날카로운 주 첨두를 가지고 더 큰 첨두값을 가지기 때문이다. 따라서, 본 논문에서 제안한 상관함수를 TMBOC 신호를 사용하는 위성항법시스템 수신기의 신호 추적 과정에 적용한다면, 기존 기법들을 적용한 경우에 비해 더욱 향상된 측위 성능을 기대할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 해양 위성 통신을 위해 채택될 수

있는 GPS 현대화의 파일럿 신호의 성분인 TMBOC 신호 추적을 위한 비모호 상관함수를 제안하였다. 구체적으로는 TMBOC(6,1,4/33) 신호에는 두 개의 sine 위상 BOC 신호가 시간 영역에서 번갈아 나타나는 점으로부터 착안하여 각 sine 위상 BOC 신호 별로 신호를 쪼개어 부분 상관함수들을 만들고, 각 sine 위상 BOC 신호로부터 얻은 부분 상관함수들끼리 개별적으로 결합하여 총 두 개의 첨두 함수를 얻는다. 마지막으로 두 개의 첨두 함수의 단순 합을 통해 주변 첨두가 없는 제안한 상관함수를 생성한다. 모의실험을 통해 제안한 비모호 상관함수를 이용한 경우, 자기상관함수를 이용하는 경우에 비해 향상된 추적 오류 표준편차 성능을 가짐을 확인하였다.

References

- [1] J. W. Betz, "The offset carrier modulation for GPS modernization," in *Proc. 1999 ION NTM*, pp. 639-648, San Diego, CA, Jan. 1999.
- [2] J. W. Betz, "Binary offset carrier modulations for radionavigation," *J. Inst. Navig.*, vol. 48, no. 4, pp. 27-246, Dec. 2001
- [3] 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.
- [4] G. W. Hein, J. W. Betz, J.-A. Avila-Rodriguez, C. J. Hegarty, S. Wallner, L. S. Lenahan, A. R. Pratt, J. J. Rushaman, 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.
- [5] J.-A. Avila-Rodriguez, "On generalized signal waveforms for satellite navigation," Ph.D. dissertation, Dept. Aerosp. Eng., Univ. Munich, Munich, Germany, Jun. 2008.
- [6] O. Julien, C. Macabiau, J.-L. Issler, and L. Ries, "1-bit processing of composite BOC (CBOC) signals and extension to time-multiplexed BOC (TMBOC) signals," in *Proc. ION NTM*, San Diego, CA, pp. 227-239, Jan. 2007.

[7] O. Julien, C. Macabiau, M. E. Cannon, and G. Lachapelle, "ASPeCT: unambiguous sine-BOC(n,n) acquisition/tracking technique for navigation applications," *IEEE Trans. Aerosp., Electron. Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 150-162, Jan. 2007.

[8] 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, p. 18, 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. Aerosp., Electron. Syst.*, vol. 46, no. 4, pp. 1782-1796, Oct. 2010.

[10] J. I. Park, Y.-P. Lee, S. Yoon, S. Y. Kim, and Y. H. Lee, "Synchronization technique based on adaptive combining of sub-correlations of multiband sine phased BOC signals," *J. KICS*, vol. 36, no. 11, pp. 694-701, Nov. 2011.

[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, Jul. 2009.

[12] Y. Lee and S. Yoon, "A novel unambiguous correlation function for composite binary offset carrier signal tracking," *J. KICS*, vol. 38A, no. 6, pp. 512-519, Jun. 2013.

[13] J. J. Rushanan, "The spreading and overlay codes for the L1C signal," *Navigation*, vol. 54, no. 1, pp. 43-51, 2007.

[14] A. J. Van Dierendonk, P. Fenton, and T. Ford, "Theory and performance of narrow correlator spacing in a GPS receiver," *J. ION*, 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/텔레메트릭스응용분야, 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