

가변 샘플러 기반의 비모호 CBOC 상관함수 생성 기법

채근홍*, 송익호*, 윤석호^oAn Unambiguous CBOC Correlation Function Generation Scheme
Based on Variable SamplerKeunhong Chae*, Iickho Song*, Seokho Yoon^o

요약

본 논문에서는 가변 샘플러 기반의 합성 이진 오프셋 반송파 (composite binary offset carrier: CBOC) 신호의 추적을 위한 비모호 상관함수 생성 기법을 제안한다. 본 논문에서는 자기상관함수의 샘플링을 통해 대칭의 상호상관함수를 생성하며, 이 때 가변 샘플러는 상호 상관함수의 zero-crossing point의 위치를 변화시켜, 최종적으로 생성되는 비모호 상관함수의 기울기를 조정하는 역할을 한다. 두 상호상관함수와 자기상관함수는 가중결합되어 비모호 상관함수를 생성한다. 모의실험 결과, 본 논문을 통해 제안한 상관함수는 기존 상관함수에 비해 더욱 우수한 추적 오류 표준 편차 (tracking error standard deviation: TESD) 성능을 제공함을 확인한다.

Key Words : Composite binary offset carrier (CBOC), Global navigation satellite system (GNSS), Galileo, Ambiguity problem, Side-peak

ABSTRACT

In this paper, we propose an unambiguous correlation function generation scheme for composite binary offset carrier (CBOC) signal tracking based on variable samplers. In the proposed scheme, we first obtain symmetric cross-correlation functions by sampling the autocorrelation function, where the variable sampler changes the position of the zero-crossing points of the cross-correlation functions, and adjusts the slope of the finally generated unambiguous correlation function. The proposed unambiguous correlation function is generated by weighted combinations of the cross-correlation and autocorrelation functions. In numerical results, it is confirmed that the proposed correlation function provides a better tracking error standard deviation (TESD) performance than those of the conventional ones.

I. 서론

항법위성시스템의 (global navigation satellite systems: GNSSs) 다양한 활용성이 크게 주목 받고 있으며, 이에 GNSS의 시초격인 미국의 GPS 이후, 유럽

연합의 Galileo, 러시아의 GLONASS, 중국의 Beidou 등이 활발히 개발되고 있다^[1]. GNSS 위성은 계속 늘어나고 있으나, GNSS 신호를 송수신할 수 있는 대역은 제한되어 있기 때문에, 최초 GPS에서 사용된 위상전이 키잉 (phase shift keying: PSK) 신호의 스펙트

* 이 논문은 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구의 결과 가운데 하나임 (NRF-2018R1A2A1A05023192).

• 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, 종신회원

* School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, i.song@ieee.org, 종신회원

논문번호 : 201902-468-A-RN, Received February 19, 2019; Revised March 4, 2019; Accepted March 4, 2019

럼 대역을 피할 수 있는 이진 오프셋 반송파 (binary offset carrier: BOC) 신호가 각 GNSS에서 사용되고 있다. 본 논문에서는, 유럽연합의 Galileo E1 대역에서 실제 사용되고 있는 BOC 신호 규격인 합성 이진 오프셋 반송파 (composite binary offset carrier: CBOC) 신호에 대해 다룬다.

CBOC 신호는 확산 코드의 일종인 의사잡음부호와 (pseudo random noise code: PRN code) CBOC 고유의 부반송파의 곱으로 이루어진다. CBOC 신호는 두 종류의 사인 위상 BOC 부반송파의 가중합으로 만들어진다^{2,3}. CBOC 신호는 앞서 설명한 바와 같이 PSK 신호와 주파수 영역을 공유하며 송출될 수 있을 뿐 아니라, 자기상관함수의 중심 첨두 기울기가 PSK 신호의 것에 비해 높아, 더욱 우수한 신호 추적 성능을 제공한다. 그러나 CBOC 신호는 단점도 존재하며, 이는 CBOC 자기상관함수에는 PSK의 것과는 달리 중심 첨두 주변에 두 개의 주변 첨두를 (side-peak) 포함하여, 이 주변 첨두들에서 신호 동기화가 완료되어 측위 오류를 발생시킬 우려를 수반한다는 점이다. 이러한 문제점을 흔히 모호성 문제라고 (ambiguity problem) 칭한다.

이러한 모호성 문제는 널리 알려진 문제로, 이를 해결하기 위한 상관함수 비모호화 기법들이 상당수 제안된 바 있다⁴⁻¹¹. [4]-[6] 등의 문헌에서는 CBOC 신호가 아닌 다른 신호에 초점을 맞춘 기법들을 제안하였으며, 따라서 CBOC 신호에 적용되기 어렵다 (이들은 타 신호의 비모호 추적 분야에서의 대표적인 기법들로 타 BOC 종류들에 초점을 맞춘 기법들은 이보다 많이 개발되었다). CBOC 신호에 초점을 맞춘 기법으로는 [7]-[11]이 있으며, 이들은 공통적으로 자기상관함수 대신 사용할 수 있는 새로운 상관함수를 생성하는 기법을 제안하였다. 하지만, 이들 상관함수는 자기상관함수의 중심 첨두와 비교할 때 유사한 기울기를 지니며, 결과적으로 신호추적 성능 측면에서 자기상관함수 대비 향상되지 못한 경우가 많았다. 구체적으로는, [7] 및 [10]의 경우 자기상관함수에 비해 높이가 현저히 낮아, 자기상관함수 주 첨두에 비해 폭이 좁아졌음에도 기울기는 크게 향상되지 못했다. [8], [9], [11]의 경우, 자기상관함수의 주변 첨두는 제거되었지만, 첨두 부분이 자기상관함수의 중심 첨두와 거의 유사한 형태를 지니, 모호성 문제는 해결되었지만 결과적으로 기울기 향상은 거의 없었다. 이는 기존 기법들을 제안함에 있어 주변 첨두의 제거에 초점을 맞추고, 상관함수의 기울기는 고려하지 않았기 때문에 발생한 결과이다. 본 논문에서는, [7-11]의 경우 객관적인 비

교를 위해 상관함수 및 그로부터 얻어지는 신호추적 성능을 IV장에 모두 포함하였다.

본 논문에서는 CBOC 신호의 PSK 신호 대비 성능 향상이 상관함수의 중심 첨두 기울기로부터 얻어진다는 점에 초점을 맞추어, 비모호 상관함수를 생성함에 있어서도 첨두 기울기를 크게 향상시킨 CBOC 상관함수를 생성하는 기법을 제안한다. 구체적으로는, 자기상관 과정에서 가변 샘플러를 이용해 두 대칭형의 상호 상관함수를 생성한다. 이 대칭형의 상호 상관함수를 결합하여 상관함수의 모호성을 제거하며, 가변 샘플러의 샘플링 시점에 따라 상관함수의 기울기를 변화시킬 수 있도록 설계하였다. 이러한 과정을 통해 얻어진 상관함수는 모호성이 완전히 제거되었을 뿐 아니라 종래 모든 기법의 상관함수에 비해 큰 기울기를 지니며, 결과적으로 추적 성능 역시 가장 우수한 성능을 제공한다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 CBOC(6,1,1/11) 신호의 모형을 설명하고, III장에서는 제안한 비모호 상관함수 생성 기법을 설명한다. IV장에서는 제안한 기법과 기존 기법들 간의 성능 비교를 수행하며, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 내린다.

II. CBOC 신호 모형

CBOC(6,1,1/11) 신호의 기저대역 신호 $B(t)$ 는 아래의 수학적 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

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

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, $s_{sc}^i(t)$ 는 i 째 PRN 코드 칩에 대응되는 CBOC 부반송파를 의미한다. 상기 수식 (1)에서는 위성항법신호를 동기화하기 위한 파일럿 채널을 고려하므로 데이터 값은 1로 가정되어 수식 내 포함되지 않는다. CBOC 부반송파는 두 종류의 사인 위상 BOC 부반송파의 가중합으로 이루어지며, 사인 위상 BOC 부반송파는 $\text{BOCsin}(kn, n)$ 와 같이 나타내어질 수 있다. k 는 PRN 코드 칩 주기와 부반송파 주기의 비를 나타내는 양의 정수이며, n 은 PRN 코드 전송률과 1.023MHz와의 비를 나타낸다². Galileo E1 대역의 CBOC 부반송파는

BOCs_{sin}(6,1) 및 BOCs_{sin}(1,1) 부반송파의 가중합으로 나타내어지며, 두 신호는 1/11 및 10/11의 전력비로 가중합된다. 이러한 조건에 부합하는 CBOC 신호 부반송파 $s_{sc}^i(t)$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 $s_{\text{BOC}(1,1)}^i(t)$ 는 i 째 PRN 코드 칩에 대응되는 BOCs_{sin}(1,1) 신호의 부반송파, $s_{\text{BOC}(6,1)}^i(t)$ 는 i 째 PRN 코드 칩에 대응되는 BOCs_{sin}(6,1) 신호의 부반송파를 의미한다. $s_{\text{BOC}(1,1)}^i(t)$ 및 $s_{\text{BOC}(6,1)}^i(t)$ 는 아래와 같이 표현될 수 있다.

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

여기서 $T_s = T_c/12$ 는 사인 위상 BOC(6,1) 신호의 부반송파 펄스폭을 의미한다.

III. 제안한 상관함수의 생성 과정

일반적인 CBOC 신호 수신기에서는 (자기상관함수를 이용하여 신호추적을 수행하는 수신기) 수신 신호 및 수신 신호와 동일한 개형을 가지는 로컬 신호를 상관하여, 자기상관함수를 얻는다. 자기상관함수는 아래의 수식 (4)와 같이 나타내어질 수 있다.

$$R(\tau) = \frac{1}{PT} \int_0^T B(t)B(t+\tau)dt. \quad (4)$$

여기서 T 는 적분 구간으로, PRN 코드 한 주기이다. 본 논문에서는 앞선 서론에서 설명한 바와 같이, 가변 샘플러를 이용해 대칭인 상호 상관함수를 생성한다. (4)의 동작을 나타내는 기본적인 상관기와, 가변 샘플러를 부가한 상관기를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이, 자기상관 과정이 수행되며, 그 과정에서 $0 \leq t < wT_c$ 및 $(1-w)T_c \leq t < T_c$ 구간에 대해 각각 샘플링을 수행하여, 서로 좌우 대칭인 상호 상관함수를 생성하였음을 알 수 있다. 각 상호 상관함수는 $C_L(\tau)$ 및 $C_R(\tau)$ 로 나타내어지며, 두 대칭인 상

호상관함수를 생성하기 위해 샘플링된 구간 외, 나머지 구간에서 얻어진 상관함수를 $C_0(\tau)$ 라 하였다. 여기서, w 은 샘플링 비율을 의미하며, 이 비율은 0부터 0.5 사이의 값으로 자유롭게 바꿀 수 있도록 설계되었다. 3개의 상호상관함수는 자기상관과정에서 샘플링된 것이므로, 이들의 합은 자기상관함수와 같다.

그림 2는 가변 샘플러가 포함된 자기상관을 통해 얻어진 $C_L(\tau)$, $C_R(\tau)$, 그리고 $C_0(\tau)$ 를 보인다. 그림에서 보여지는 바와 같이, $C_L(\tau)$ 및 $C_R(\tau)$ 는 서로 대칭임을 알 수 있다. 두 상관함수를 비교할 때, $C_L(\tau)$ 및 $C_R(\tau)$ 는 원점에서 wT_c 만큼 떨어진 곳에서 zero-crossing point를 지닌다는 공통점이 있으며, 또한, $-wT_c < \tau < wT_c$ 의 구간에서만 $C_L(\tau)C_R(\tau) > 0$ 인 조건을 만족하고 있음을 확인할 수 있다. 이에, 아래와 같은 절대값 연산 기반의 결합 방식을 활용한다.

$$A \star B = |A| + |B| - |A - B| \quad (5)$$

이 결합의 특징은, $AB > 0$ 인 경우에 한해서만 결합의 결과가 양의 값을 지니며, 그 외에서는 항상 0의 값을 지닌다는 점이다. 따라서, $C_L(\tau)$ 및 $C_R(\tau)$ 를 아래와 같이 결합하여 모호성을 제거한다.

$$U_1(\tau) = |C_L(\tau)| + |C_R(\tau)| - |C_L(\tau) - C_R(\tau)| \quad (6)$$

이렇게 모호성을 제거한 상관함수는 신호 추적에 적용될 시 모호성 문제를 일으키지 않는다. 하지만, 상관함수의 기울기를 더욱 높여 성능을 향상시키기 위해, $C_0(\tau)$ 역시 $U_1(\tau)$ 와 결합하여, 최종적으로 신호추적에 사용될 비모호 상관함수를 생성한다. 이 최종 결합에서, 두 상관함수의 높이 차이를 고려해 결합될 필요가 있다. 수식 (5)의 결합 수식에서, 결합의 결과에 음의 값이 추가되며 손실이 발생하게 되는데, 이 손실이 발생하지 않는 경우는 $A - B$ 가 0일 때임을 알 수 있으며, 따라서 $U_1(\tau)$ 및 $C_0(\tau)$ 의 높이를 H_1 및 H_2 라고 할 때 (여기서 각 높이는 자기상관함수의 높이로 정규화된 높이를 의미한다), 아래와 같이 상관함수를 결합한다.

$$U_F(\tau) = |(1/H_1)U_1(\tau)| + |(1/H_2)C_0(\tau)| - |(1/H_1)U_1(\tau) - (1/H_2)C_0(\tau)| \quad (7)$$

본 논문에서 고려한 w 에 대한 H_1 의 값을 표 1에

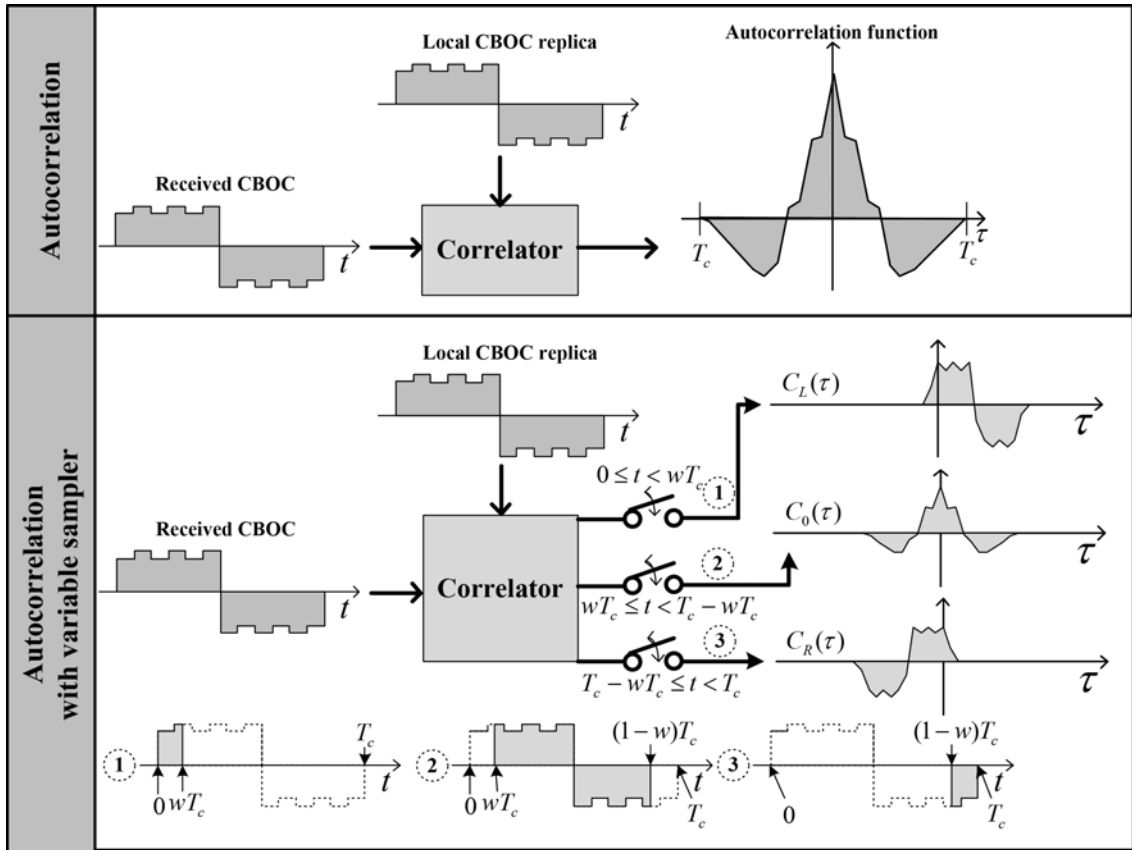


그림 1. 가변 샘플러를 더한 자기상관 과정
 Fig. 1. The autocorrelation process with the variable sampler

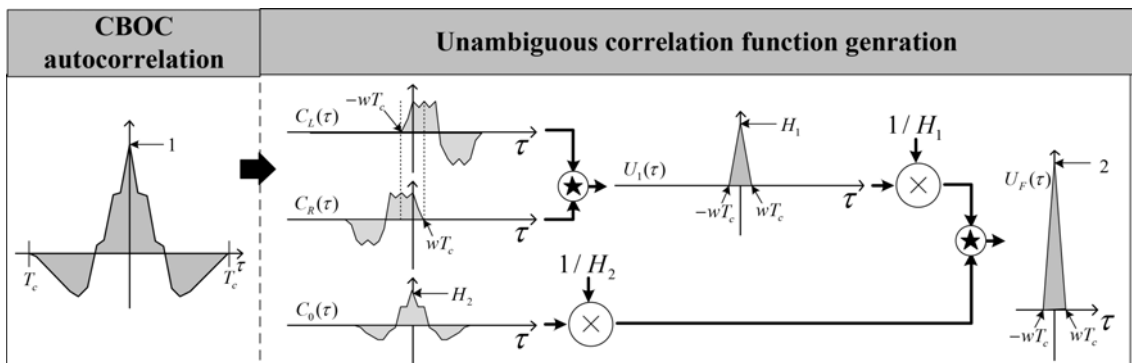


그림 2. 비모호 상관함수 생성 과정
 Fig. 2. Unambiguous correlation function generation process

나타내었다. 또한, 자기상관함수의 높이가 1이기 때문에, $H_1 + H_2 = 1$ 의 조건이 만족되므로, $H_2 = 1 - H_1$ 의 관계를 가진다. 그림 2에서는 이러한 상관함수 생성 과정을 나타낸다.

그림 3은 다양한 w 에 따른 제안한 상관함수를 보인다. w 가 줄어들수록 상호상관함수의

표 1. w 에 따른 H_1
 Table 1. H_1 according to w .

w	5/60	6/60	7/60	8/60	9/60
H_1	0.0708	0.1233	0.1758	0.2808	0.3333

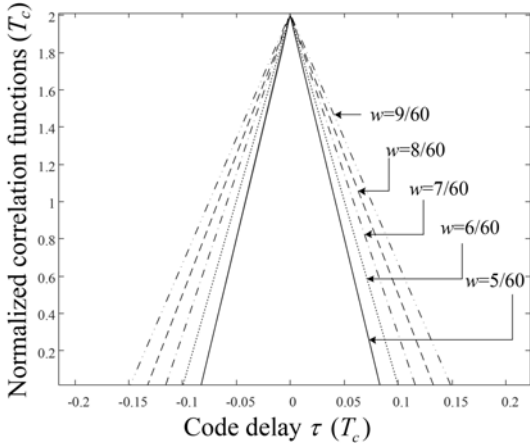


그림 3. $w = 5/60, 6/60, \dots, 9/60$ 에 대한 제안한 상관함수.
Fig. 3. The proposed correlation function for $w = 5/60, 6/60, \dots, 9/60$.

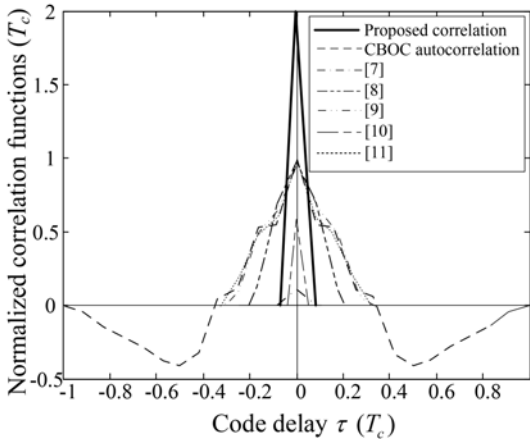


그림 4. 기존 및 제안한 상관함수 ($w = 5/60$).
Fig. 4. The conventional and proposed correlation function ($w = 5/60$).

zero-crossing point가 점차 원점에 가까워지므로, 비모호 상관함수의 기울기 역시 점차 커지고 있음을 알 수 있다. 그림 4는 그림 3에서 고려한 제안한 상관함수 중 가장 큰 기울기를 보이는 $w = 5/60$ 인 경우를 제안한 기법으로서 도시하고, 이 상관함수를 기존 기법과 비교한 그림을 나타낸다. 그림에서 나타내어지는 바와 같이, 제안한 상관함수는 기존 기법의 상관함수들에 비해 훨씬 큰 기울기를 가지며, 이로부터 신호추적 성능이 향상될 것임을 예측할 수 있다. 기법의 필요성에 따라 w 는 주어진 예시 외에도 더욱 작게 조정될 수 있으므로, 그림에 도시된 것보다 더욱 기울기가 큰 상관함수도 생성할 수 있다.

CBOC 신호 추적은 상관함수 생성기가 지연 고정 루

프 (delay lock loop: DLL) 구조 내에 탑재됨으로써 이루어진다. CBOC 신호 추적을 위한 판별기 (discriminator) 출력은 아래와 같이 나타내어질 수 있다.

$$D(\tau) = U_F^2\left(\tau + \frac{\Delta}{2}\right) - U_F^2\left(\tau - \frac{\Delta}{2}\right). \quad (8)$$

여기서 τ 는 수신 신호와 국소 신호와의 위상차, Δ 는 선후 간격을 나타낸다. 판별기 출력은 DLL의 수치 제어된 오실레이터에 의해 τ 가 0이 될 때까지 동작하며, 시간 동기화를 맞추고 유지한다.

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 본 논문의 상관함수와 기존 상관함수들을 이용한 경우의 추적 오류 표준 편차 (tracking error standard deviation: TEDS) 성능을 모의실험을 통해 비교한다. TEDS는 $\frac{\sigma}{G} \sqrt{2B_L T_I}$ 로 정의되며, 여기서 σ 는 $D(\tau)|_{\tau=0}$ 에서의 표준편차, G 는 판별기 출력 시 $\tau=0$ 에서의 순간 기울기, B_L 은 루프 필터의 대역폭, T_I 는 적분 시간을 의미한다^[2]. 모의실험을 수행함에 있어서는 $T_c^{-1} = 1.023 \text{ MHz}$, $T = T_p$, $B_L = 1 \text{ Hz}$, $T_I = 4 \text{ ms}$, $\Delta = (1/48) T_c$ 의 상황을 가정하였으며, [8] 및 [10]에서의 기법 제어변수는 TEDS가 가장 우수한 성능을 보이도록 조정하였다. 제안한 기법에 대해서는, $w = 5/60, 6/60, 7/60, 8/60, 9/60$ 인 경우를 가정하였다.

그림 5는 제안한 기법에 대해, 고려하고 있는 w 각각에 대해 상관함수의 TEDS 성능을 나타낸 그림이다. 여기서 carrier to noise ratio은 (CNR) P/N_0 dB-Hz로 정의되고, N_0 는 잡음 전력 밀도이다. 본 그림에서는, 기대한 바와 같이 상관함수의 기울기가 클수록 (즉, w 가 작을수록) 더욱 우수한 TEDS 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 성능 추이는 $w = 5/60$ 일 때부터 $w = 8/60$ 일 때까지 이어지며, $w = 9/60$ 에 도달해서는 성능이 거의 유사해지는 현상을 보인다.

그림 6에서는 그림 5에서 고려한 w 중 가장 우수한 성능을 보인 경우인 $w = 5/60$ 을 기준으로 기존 기법들과 비교하였다. 제안한 상관함수는 그림 4에서 보인 바와 같이 기존 기법들 중 가장 큰 상관함수 기울기를 지니기 때문에, 신호추적 성능 역시 향상된 모습

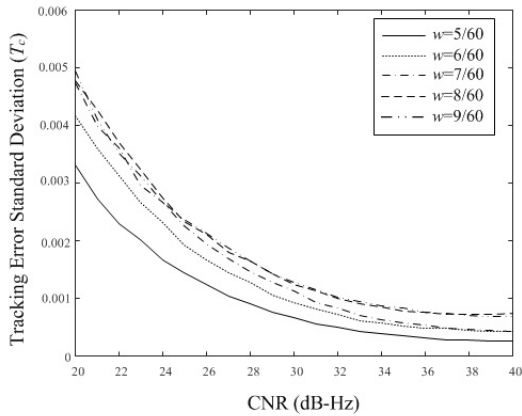


그림 5. CNR에 따른 제안한 상관함수의 ($w = 5/60, 6/60, \dots, 9/60$) TESD 성능.
 Fig. 5. The TESD performances of the proposed correlation functions ($w = 5/60, 6/60, \dots, 9/60$) as a function of CNR.

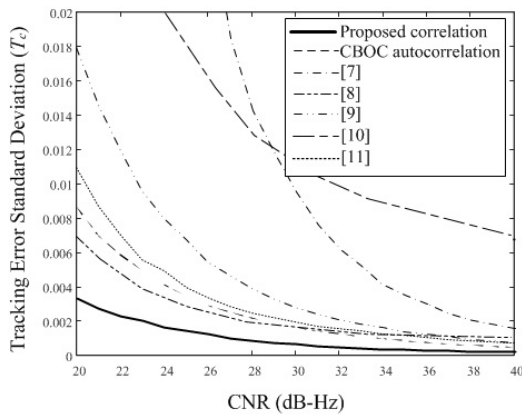


그림 6. CNR에 따른 제안한 상관함수 ($w = 5/60$) 및 기존 상관함수들의 TESD 성능.
 Fig. 6. The TESD performances of the proposed ($w = 5/60$) and conventional correlations as a function of CNR.

을 보인다. 제안한 기법의 상관함수는 관심 CNR 범위인 20 ~ 40 dB-Hz에서 기존 상관함수들에 비해 월등히 뛰어나며, 기존 기법 대비 최소 4dB-Hz 이상의 성능 향상을 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 가변 샘플러 기반의 CBOC 비모호 상관함수 생성 방법을 제안하였다. 가변 샘플러는 서로 대칭인 두 상호상관함수를 생성하는 역할을 하며, 샘플링 시점을 변화시키기에 따라 상호상관함수의

zero-crossing point를 변화시키기에 상관함수의 기울기를 조절하는 역할도 한다. 본 논문에서는 상관함수 기울기를 향상시키는데 초점을 맞추었으며, 이에 기존 기법들 대비 가장 우수한 상관함수 기울기를 보인다. 이러한 상관함수의 특성은 모의실험을 통해 보인 신호추적 성능 경향에서도 동일하게 나타난다. 향후 위성항법시스템 수신기에 제안한 기법을 적용할 시, 모호성 문제로 인한 신호추적 오류 현상이 제거될 뿐 아니라, 기존 기법을 적용한 경우 대비 훨씬 우수한 측위 성능을 보일 것으로 기대된다.

References

- [1] J. W. Betz, "Binary offset carrier modulations for radionavigation," *J. Inst. Navig.*, vol. 48, no. 4, pp. 227-246, Dec. 2011.
- [2] J. Nurmi, E. S. Lohan, S. Sand, and H. Hurskainen, *GALILEO Positioning Technology*, Springer, 2015.
- [3] 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. Inst. Navig.*, vol. 55, no. 1, pp. 15-55, Spr. 2008.
- [4] 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.
- [5] K. Chae, S. R. Lee, and S. Yoon, "An unambiguous correlation function of TBOC signal for satellite communication of vessels," *J. KICS*, vol. 39C, no. 7, pp. 559-565, July 2014.
- [6] K. Chae and S. Yoon, "Cancellation of AltBOC correlation side-peaks for frequency sharing in satellite communication spectrum," *J. KICS*, vol. 39B, no. 11, pp. 810-816, Nov. 2014.
- [7] F. Sousa, F. Nunes, and J. Leita, "Code correlation reference waveforms for multipath mitigation in MBOC GNSS receivers," in *Proc. ENGNSS*, pp. 1-10, Toulouse, France, Apr. 2008.

- [8] 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.
- [9] D. Xu, M. Liu, and F. Shen, "Ambiguity mitigating technique for multiplexed binary carrier signal tracking," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 11, pp. 2021-2024, Nov. 2013.
- [10] H. Li and C. Yang, "Unambiguous receiving technique for multiplexed binary offset carrier signal," in *Proc. WCSP*, pp. 1-5, Hefei, China, Oct. 2014.
- [11] Y. Feng, S. Fei, F. Liu, and B. Qian, "SSCM: An unambiguous acquisition algorithm for CBOC modulated signal," *J. Electrical and Computer Eng.*, vol. 2017, Dec. 2017, Art. no. 5381789.
- [12] 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.

채 근 흥 (Keunhong Chae)



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

[ORCID:0000-0002-5675-2522]

송 익 호 (Iickho Song)



1982년 2월, 1984년 2월: 서울대학교 전자공학과 공학사 (준최우등), 공학석사
 1985년 8월, 1987년 5월: 펜실베이니아대학교 전기공학과 공학석사, 공학박사
 1987년 3월~1988년 2월: 벨통신연구소 연구원

1988년 3월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 조교수, 부교수, 교수
 1995년 1월~현재: 한국통신학회 논문지 편집위원, 편집 부위원장 · 대한전자공학회, 한국음향학회, 한국통신학회 평생회원 · IET 석학회원 · IEEE 석학회원

<관심분야> 통계학적 신호처리와 통신이론, 신호검파와 추정, 이동통신

[ORCID:0000-0002-6874-1556]

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, 교수

2007년: IEEE 준석학회원

2009년: 한국통신학회 LG 학술상 수상

2011년: 교육과학기술부 우수연구 인증패 수상

2012년: 한국통신학회 우수논문상 수상

<관심분야> 통신이론, 이동통신, 통계학적 신호처리

[ORCID:0000-0001-5263-1136]