

위성통신대역 주파수 공유를 위한 AltBOC 상관 내 주변 첨두 제거 기법

채근홍^{*}, 윤석호[°]

Cancellation of AltBOC Correlation Side-Peaks for Frequency Sharing in Satellite Communication Spectrum

Keunhong Chae^{*}, Seokho Yoon[°]

요 약

Alternative binary offset carrier (AltBOC) 신호는 기존의 phase shift keying (PSK) 신호와 주파수 대역을 공유한다는 특성을 지니고 있기에, 효율적으로 주파수 대역을 이용할 수 있다는 장점이 있으나, AltBOC 신호의 자기상관함수에 존재하는 주변 첨두로 (side-peak) 인해 AltBOC 신호의 주파수 공유 특성을 효과적으로 이용할 수 없다는 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 AltBOC 신호의 주파수 공유 특성을 극대화하고자 자기상관함수에 존재하는 주변 첨두 제거 기법을 제안한다. 모의실험을 통해 제안한 기법을 이용하여 신호 추적을 수행할 경우, 주변 첨두 제거 효과에 의해 기존 자기상관함수를 이용하는 기법에 비해 향상된 추적 오류 표준편차를 (tracking error standard deviation: TESD) 보이고, 이에 따라 AltBOC 신호의 주파수 공유 특성을 효과적으로 이용할 수 있음을 보인다.

Key Words : frequency share, cognitive radio (CR), alternative binary offset carrier (AltBOC), tracking error standard deviation (TESD)

ABSTRACT

The alternative binary offset carrier (AltBOC) signal shares frequency spectrum with the phase shift keying (PSK) signal, enabling us to manage the satellite communication spectrum more efficiently. However, the side-peaks in the AltBOC autocorrelation pose an ambiguity in the AltBOC signal tracking, and consequently, makes the frequency sharing via the AltBOC difficult. Therefore, in this paper, we propose a cancellation scheme of the AltBOC correlation side-peaks. From the numerical results, it is confirmed that the proposed scheme removes the ambiguity in signal tracking caused by the side-peaks completely, and thus, has a much lower tracking error standard deviation (TESD) (i.e., a much better tracking performance) than the conventional scheme.

* 이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(2012R1A2A2A01045887, 2014R1A5A1011478)을 받아 수행된 연구임.

◆ 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

논문번호 : KICS2014-11-449, Received November 3, 2014; Revised November 12, 2014; Accepted November 12, 2014

I. 서론

항법위성시스템은 (global navigation satellite systems: GNSSs) 1978년 초 군사 목적으로 미국에서 개발된 범지구측위시스템 (global positioning system: GPS) 이래로, 유럽 연합, 러시아, 중국 등의 다양한 국가 및 단체에서 개별적인 위성항법시스템 구축을 목표로 연구 및 개발되고 있으며, 민간 및 군에 차량, 선박, 항공 등의 운용에 중요한 정보 중 하나인 측위 정보를 지속적으로 제공하고 있다^{1,2)}. 최근 항법위성 기반의 다양한 무선 통신 기술과 응용이 급격히 증가함에 따라 이와 같은 추세에 발맞추어, 한정된 주파수 자원을 효율적으로 이용하는 인지 무선 통신 (cognitive radio: CR) 및 소프트웨어 정의 무선 통신 (software defined radio: SDR) 기술이 주목 받고 있으며³⁾, 이를 위성통신 기술에 적용하려는 다양한 연구가 진행되고 있다^{4,5)}. 이 가운데 대표적인 것으로서, 기존의 GPS에서 사용되었던 phase shift keying (PSK) 신호와의 주파수 공유를 (frequency share) 통해 주파수 자원을 더욱 효율적으로 이용할 수 있는 이진 오프셋 반송파 (binary offset carrier: BOC) 신호에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{6,7)}.

특히 BOC 신호 가운데 alternative binary offset carrier (AltBOC) 신호는 PSK 신호에 확산코드의 일종인 의사잡음코드와 (pseudo random noise: PRN) 부분송파를 (sub-carrier) 곱하여 만들어지며, 이를 통해 기존의 PSK 신호의 주파수 대역과 동일한 주파수 대역을 공유하는 특성을 지니므로, 추가적인 주파수 대역을 요구하지 않는다. AltBOC 신호의 PRN 코드의 칩 전송률은 기존의 BOC 신호와 같이 1.023 MHz로 정의되어 있으나, 부분송파 펄스 주기는 PRN 코드 칩 주기의 $\frac{1}{8}$ 로 정의되어 있고, 2개의 신호 전력 레벨을 (level) 가지지 않고 4개의 신호 전력 레벨을 가지는 등 기존 BOC 신호에 비해 우수한 특성을 지니고 있다. 하지만, AltBOC 신호 추적에 (tracking) 위한 자기상관함수에 주변 침투가 (side-peak) 존재하며, 이때문에 주변 침투에서 신호 추적이 완료될 시 시간 동기화 오류 및 위치 측정 오류를 일으키게 되는 모호성 문제가 (ambiguity problem) 발생할 수 있어 주파수 공유 특성을 제대로 이용하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 주변 침투의 효과를 상쇄시킴으로써 주파수 공유 특성을 효과적으로 이용할 수 있는 비모호 추적기법이 필요하다.

이를 위하여, 기존의 BOC 신호나 또 다른 BOC 신

호의 일종인 복합 이진 오프셋 반송파 (multiplexed BOC: MBOC) 등에 적용될 수 있는 다양한 주변 침투 제거 기법이 제안되어 왔으나⁸⁻¹³⁾, 이들 기법은 AltBOC 신호의 특성을 반영하고 있지 않아, AltBOC 신호에 그대로 적용되기 어렵다는 단점이 있다.

본 논문에서는 AltBOC 신호의 자기상관함수에 존재하는 주변 침투 제거를 통해 AltBOC 신호추적 과정에서의 모호성을 제거하여, AltBOC 신호가 지닌 위성통신대역에서의 주파수 공유 능력을 극대화하고자 한다. 구체적으로는, AltBOC 신호의 국소 (local) 부분송파를 총 4개의 부분 부분송파로 (partial sub-carrier) 나누고, 이를 각각 수신 신호와 상관함수로써 부분 상관함수를 얻는다. 다음으로는, 상기 부분 상관함수를 재조합함으로써 주변 침투를 완전히 제거하며, 주 침투의 (main-peak) 기울기가 자기상관함수에 비해 더욱 향상된 비모호 상관함수를 생성한다. 마지막으로, 제안한 기법을 이용할 경우, 모호성 문제의 해결을 기반으로 기존에 비해 AltBOC 신호의 주파수 공유 특성을 효과적으로 활용할 수 있음을 보인다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 AltBOC 신호 모형, AltBOC 신호의 주파수 공유 특성 및 AltBOC의 자기상관함수에 존재하는 모호성 문제를 소개하고, III장에서는 본 논문에서 자기상관함수에서의 주변 침투를 제거하는 일련의 과정을 소개한다. IV장에서는 제안한 주변 침투 제거 기법에 기반하여 신호 추적을 수행할 경우의 추적 오류 표준편차를 (tracking error standard deviation: TESD) 기존의 자기상관함수를 이용한 경우와 비교하여, 제안한 기법을 이용할 경우, AltBOC 신호의 주파수 공유 특성을 효과적으로 활용할 수 있음을 보인다. 마지막으로 V장에서는 결론을 내려 본 논문의 끝을 맺는다.

II. AltBOC의 주파수 공유 특성 및 모호성 문제

본 장에서는 AltBOC 신호의 모형을 설명하고, AltBOC 신호의 장점인 주파수 공유 특성에 대해 소개한 후, AltBOC 신호의 추적 성능을 저하시킴으로써 AltBOC 신호의 주파수 공유 특성을 제대로 이용할 수 없게 하는 모호성 문제에 대해 소개한다.

2.1 AltBOC 신호 모형 및 주파수 공유 특성

GNSS 수신기에 적용될 수 있는 AltBOC 신호는 아래의 수식 (1)과 같이 나타내어질 수 있다.

$$g(t) = \sqrt{P} \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{\lfloor k/8 \rfloor} s_{c_{\text{mod}(k,8)}} p_{T_c/8}(t - k \frac{T_c}{8}) d(t), \quad (1)$$

여기서 \sqrt{P} 는 신호 전력을 나타내며, $d(t)$ 는 항법 데이터를 의미한다. 더불어, $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 큰 최소의 정수를 나타내는 연산자를, $\text{mod}(a,b)$ 는 a/b 의 나머지를 의미한다. s_{c_x} 는 x 의 함수로 나타내어지는 AltBOC 신호의 부분송파의 값을 의미하며, 여기서 s_{c_x} 는 x 의 값이 0, 1, 2, 3, ..., 7일 때, 각각 $(\sqrt{2}+1)/2$, $1/2$, $-1/2$, $(-\sqrt{2}-1)/2$, $(-\sqrt{2}-1)/2$, $-1/2$, $1/2$, $(\sqrt{2}+1)/2$ 의 값을 가진다. $p_{T_c/8}(t)$ 은 $[0, T_c/8]$ 에 존재하는 단위 구형파를 의미하고, T_c 는 의사잡음부호 코드의 칩 주기, c_i 는 i 째 PRN 코드 값을 의미한다. 또한, AltBOC 신호의 부분송파 펄스의 주기는 $T_c/8$ 에 해당한다.

일반적으로 GNSS에서는 시간 동기화를 위한 별도의 파일럿 채널을 제공하며, 파일럿 채널에서는 빠르고 정확한 동기화를 위해 항법 데이터의 값은 항상 1인 특성을 가진다. 본 논문에서는 파일럿 채널을 가정하기에, 수식 (1)의 $d(t)$ 는 1로 치환될 수 있다. AltBOC 신호의 부분송파는 (2)와 같이 나타내어질 수 있다.

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s_{c_{\text{mod}(k,8)}} p_{T_c/8}(t - k \frac{T_c}{8}). \quad (2)$$

이를 $s(t) = \sum_{i=0}^3 s_i(t)$ 가 되도록 부분송파 $s(t)$ 를 부분 부분송파 $s_i(t)$ 로 해석한다. 부분 부분송파 $s_i(t)$ 는 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$s_i(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s_{c_{\text{mod}(k,8)}^i} p_{T_c/8}(t - k \frac{T_c}{8}), \quad (3)$$

여기서, y 가 0, 1, 2, 3, ..., 7일 때, $s_{c_y^0}$ 는 $(\sqrt{2}+1)/2, 1/2, 0, 0, 0, 0, 0, 0$ 의 값을 가지며, $s_{c_y^1}$ 는 $0, 0, -1/2, (-\sqrt{2}-1)/2, 0, 0, 0, 0$ 의 값을, $s_{c_y^2}$ 는 $0, 0, 0, 0, (-\sqrt{2}-1)/2, -1/2, 0, 0$ 의 값을 가지고, $s_{c_y^3}$ 는 $0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/2, (\sqrt{2}+1)/2$ 의 값을 가진다. 그림 1은 AltBOC 신호의 부분송파와 부분 부분송파를 각각 나타낸다.

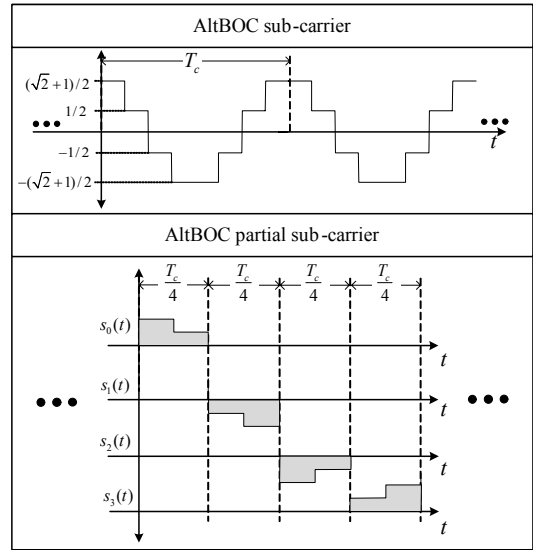


그림 1. AltBOC 신호의 부분송파와 부분 부분송파.
Fig. 1. The AltBOC sub-carrier and partial sub-carriers.

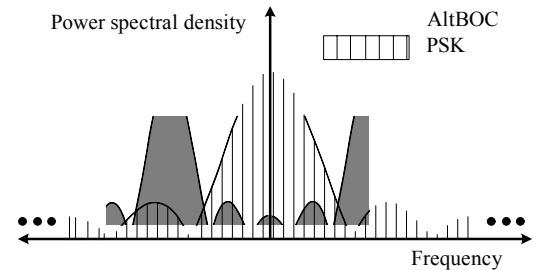


그림 2. AltBOC 신호 및 PSK 신호의 전력 스펙트럼 밀도 그래프.
Fig. 2. The graph of power spectral density of AltBOC and PSK signal.

본 신호모델에 포함된 PRN 코드 및 부분송파의 효과로 인하여, AltBOC 신호의 전력 스펙트럼 밀도의 (power spectrum density: PSD) 그래프는 그림 2에서 보인 바와 같이 기존의 PSK 신호에 비해 동일 대역 내에서 좌우로 시프트된 (shift) 형태를 보인다. 이를 통해 AltBOC 신호는 기존 GPS의 PSK 신호와 동일 대역을 공유할 수 있으므로, 주파수를 공유할 수 있는 특성을 지닌다. 하지만, 주파수 대역을 효율적으로 이용하기 위해서는 신호 추적의 신뢰도가 반드시 보장되어야 하며, 기존의 자기상관함수를 이용한 신호 추적에서는 모호성 문제로 인한 신호 추적 오차가 발생할 수 있어 주파수 공유 특성을 효과적으로 이용할 수 없다.

2.2 AltBOC 신호 추적 과정에서의 모호성 문제
정규화된 AltBOC 신호의 자기상관함수를 나타내면 아래의 (4)와 같이 나타내어진다.

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

여기서 T 는 PRN 코드의 주기를 의미한다. 신호 추적 과정에서는 신호 획득 (acquisition) 과정을 통해 PRN 코드 1칩 이내의 동기화가 이루어져 있다고 가정하기에, 신호 추적을 위한 자기상관함수를 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 그림 3을 통하여 AltBOC 신호의 자기상관함수에는 신호 추적을 위한 주 침투 뿐 아니라, 주변 침투가 함께 존재함을 확인할 수 있다. 높이가 1인 주침투에서 신호 추적이 완료될 경우, 올바른 신호 추적이 완료되지만, 잡음 등의 영향으로 인해 주변 침투에서 신호 추적이 완료될 경우에는, 시간 오차가 발생하게 되며, 이 시간 오차는 결과적으로 거리 오차 및 위치추적 오류로 나타나게 된다. 따라서, 주변 침투로 인한 모호성 문제를 해결하여야 AltBOC 신호의 주파수 공유 특성을 효과적으로 활용할 수 있으며, 이를 위해 다음 장에서는 주변 침투를 제거함으로써 모호성 문제를 해결하는 과정을 보인다.

III. 모호성 문제 해결을 위한 주변 침투 제거 기법

본 장에서는 앞서 정의한 부분 부반송파를 기반으로 최종적으로 모호성 문제를 해결하여, 효과적으로 주파수 공유를 가능케 하는 주변 침투 제거 기법을 소개한다. 우선, 정규화된 AltBOC의 상관함수 (4)를 부분 부반송파를 기반으로 아래와 같이 재표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} R(\tau) &= \frac{1}{PT} \int_0^T g(t)g(t+\tau)dt, \\ &= \frac{1}{PT} \sum_{i=0}^3 \int_0^T g(t)g_i(t+\tau)dt, \quad (5) \\ &= \sum_{i=0}^3 C_i(\tau), \end{aligned}$$

여기서 $C_i(\tau)$ 는 부분 부반송파가 곱해진 국소 신호와 수신 신호 간의 상관이며, 각 $C_i(\tau)$ 를 부분 상관함수라 정의한다. 부분 상관들은 국소 신호와 부분 부반송파 간의 상관으로 해석될 수 있으며, 각 부분 상관함수들을 그림 4에 나타내었다.

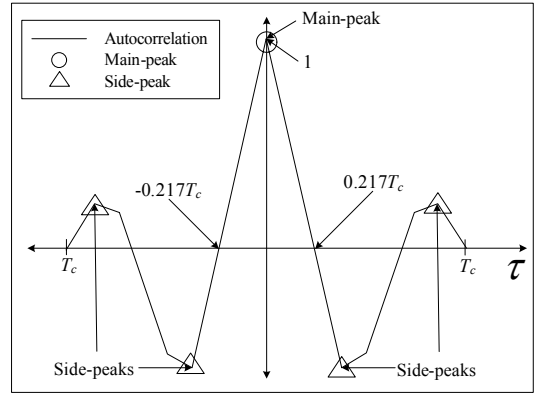


그림 3. AltBOC 신호의 자기상관함수.
Fig. 3. The autocorrelation function of AltBOC signal.

그림 4에서 볼 수 있듯, 부분 상관함수 $C_0(\tau)$ 및 $C_3(\tau)$ 는 서로 대칭이며, 두 부분 상관함수를 서로 곱하였을 때, 주 침투 부분을 제외하고는 나머지 부분이 0임을 알 수 있다. 이에 따라, (6)의 수학적 원리를 이용하여 주변 침투가 제거된 상관함수를 만들 수 있다.

$$A \odot B = |A(\tau)| + |B(\tau)| - |A(\tau) - B(\tau)|. \quad (6)$$

(6)의 대수적 특성을 이용하여, 주변 침투가 제거된 1차 비모호 상관함수 $R_0(\tau)$ 를 그림 4 및 수식 (7)과 같이 생성할 수 있다.

$$R_0(\tau) = C_0(\tau) \odot C_3(\tau). \quad (7)$$

그러나, $R_0(\tau)$ 는 4개의 부분 상관함수들 중 일부 분만을 이용하였기에, 상관함수의 높이가 자기상관함수의 주 침투에 비해 낮으며, 따라서 신호 추적 성능의 향상을 통해 주파수 공유를 효과적으로 활용하기 위하여, 주 침투의 높이를 높이기 위해 (8)과 같은 과정을 수행함으로써 최종적인 AltBOC 비모호 상관함수를 생성한다.

$$\begin{aligned} R_1(\tau) &= C_1(\tau) \odot C_2(\tau), \\ R_{\text{proposed}}(\tau) &= R_0(\tau) \odot R_1(\tau). \quad (8) \end{aligned}$$

그림 4에서 볼 수 있듯, 제안한 상관함수 $R_{\text{proposed}}(\tau)$ 는 폭의 절반 값이 $0.1525T_c$ 이며, 높이는 1이므로, 그림 3에서 보인 자기상관함수에 비교하면 같은 높이를 가지면서도, 폭이 더 좁기에 더욱 큰 기울기를 가짐과 동시에, 주변 침투를 완전히 제거하였

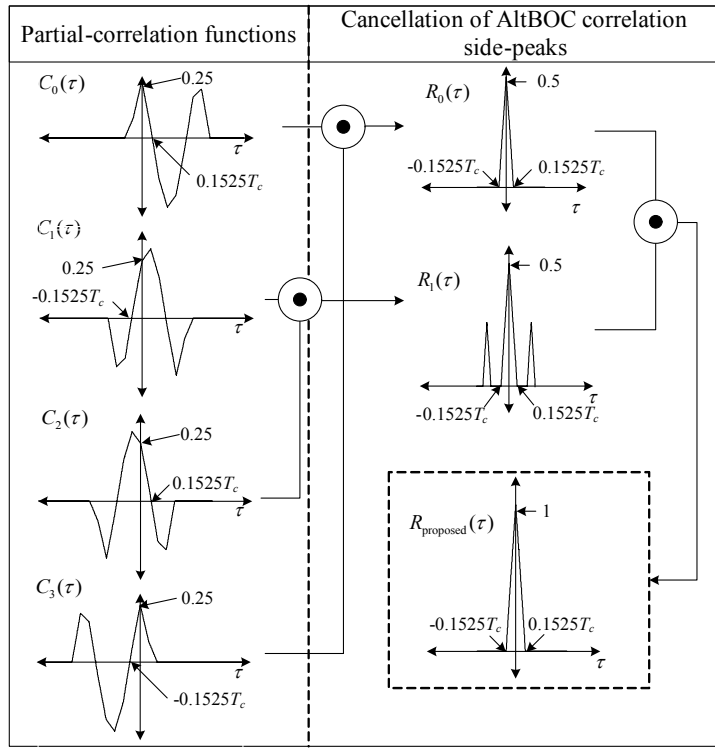


그림 4. AltBOC 신호의 부분 상관함수와 제안한 주변 침투 제거 기법
 Fig. 4. The partial-correlations of AltBOC signal and the proposed scheme of cancellation of AltBOC correlation side-peaks

으므로 모호성 문제를 완전히 해결하였으며, 이를 기반으로 신호 추적 성능 향상 및 주파수 공유 특성의 극대화를 기대할 수 있다.

AltBOC 신호 추적을 위한 판별기의 (discriminator) 출력은 제안한 상관함수를 이용할 경우, 아래와 같이 나타내어 질 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 τ 는 수신 신호와 국소 신호와의 위상차를, Δ 는 지연 고정 루프를 (delay lock loop: DLL) 이용한 신호 추적 과정에서의 선후 간격을 (early-late spacing) 의미한다. 판별기 출력은 DLL의 수치 제어 된 오실레이터에 (numerically controlled oscillator) 의해 τ 가 0이 될 때까지 동작하여 시간 동기화를 맞추며 유지한다.

IV. 성능 분석

본 장에서는 AltBOC 신호에 대한 자기상관함수와

제안한 주변 침투 기법을 통해 얻은 상관함수를 이용한 경우의 TESD 성능을 비교하고, 이를 기반으로 제안한 주변 침투 제거 기법을 이용할 경우, AltBOC 신호의 주파수 공유 특성을 극대화시킬 수 있음을 보인다. TESD는 $\frac{\sigma}{G} \sqrt{2B_L T_I}$ 로 정의되며^[4], 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.

모의실험을 진행하기 위하여, $T_c^{-1} = 1.023 \text{ MHz}$ 로 하고, $T_I = 10 \text{ ms}$ 으로 하였으며 여기서 $T = T_I$ 를 의미한다. 또한, $B_L = 1 \text{ Hz}$ 로 하였으며, $\Delta = (1/12) T_c, (1/24) T_c$ 인 두 경우를 가정하였다. 그림 5는 제안한 기법을 이용한 경우와 자기상관함수를 이용한 경우의 반송파 대 잡음비에 (carrier to noise ratio: CNR) 따른 TESD 성능을 나타내며, 여기서 N_0 가 잡음 전력 밀도를 의미할 때, CNR은 $P/N_0 \text{ dB-Hz}$ 로 정의된다. 그림 5로부터, $\Delta = (1/12) T_c$ 일 때와 $\Delta = (1/24) T_c$ 일 때 모두 제안한 기법은 기존의 자기상관함수를 이용한 경우에

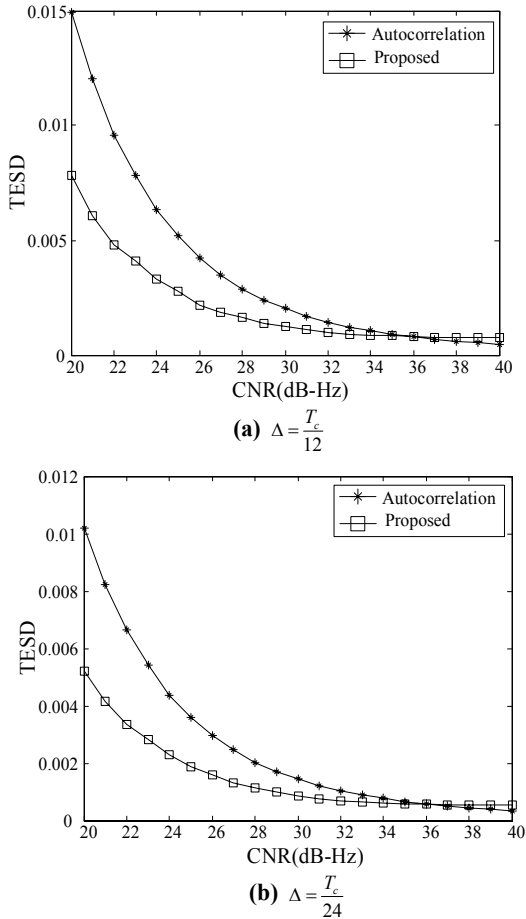


그림 5. 제안한 기법을 이용하였을 때와 자기상관함수를 이용하였을 때의 CNR에 따른 TESD 성능.
Fig. 5. TESD performances of the proposed scheme and autocorrelation function as a function of CNR.

비해 우수한 성능을 나타내며, 구체적으로는 대략 0dB ~ 34dB의 CNR 범위에서는 제안한 기법이 자기상관함수에 비해 우수한 성능을 나타내고, 이후로는 거의 유사한 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 본 논문에서 제안한 기법이 기존의 자기상관함수에 존재하는 주변 침투를 모두 제거하여 모호성 문제를 완전히 해결하였기 때문으로 분석할 수 있으며, 이를 기반으로 제안한 기법이 위치 추적 오류 및 거리 오차를 감소시킬 수 있고, 동시에 AltBOC 신호의 주파수 공유 특성을 극대화시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 위성통신대역에서의 주파수 공유를 위한 AltBOC 자기상관함수의 주변 침투 제거 기법을 제안하였다. 구체적으로는, AltBOC 신호의 자기상관함수에 존재하는 주변 침투로 인하여 주파수 공유 특성을 제대로 활용할 수 없는 문제를 해결하기 위하여 주변 침투를 제거한 비모호 상관함수를 제안하고, 또한 이를 이용한 비모호 추적기법의 성능을 보였다. 모의실험을 통하여, 제안한 주변 침투 제거 기법을 이용하였을 경우, 기존의 자기상관함수를 이용한 신호 추적 기법에 비해 상당히 뛰어난 추적 오류 표준편차 성능을 보이기에, AltBOC 신호의 주파수 공유 특성을 효과적으로 활용할 수 있음을 보였다.

References

- [1] J. A. Avila-Rodriguez, "On generalized signal waveforms for satellite navigation," Ph.D. dissertation, Dept. Aer. Engineer., University of Munich, Munich, Germany, 2008.
- [2] 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.
- [3] K. Chae and S. Yoon, "A Spectrum Sensing Scheme Based on Sensing Time Partitioning for High Traffic Environments," *J. KICS*, vol. 38A, no. 10, pp. 838-844, Oct. 2013.
- [4] J. Kim, *Cognitive radio communications*, 1st Ed., Interscience, 2008.
- [5] S. K. Sharma, S. Chatzinotas, and B. Ottersten, "Satellite cognitive communications: Interference modeling and techniques selection," in *Proc. Advanced Satellite Multimedia Syst. Conf. (ASMS) and 12th Signal Process. Space Commun. Workshop (SPSC)*, pp. 111-118, Baiona, Spain, 2012.
- [6] 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.

- [7] J.-A Avila-Rodriguez, “On generalized signal waveforms for satellite navigation,” Ph.D. dissertation, Dept. Aerosp. Eng., Univ. Munich, Munich, Germany, Jun. 2008.
- [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. Aerosp., Electron. Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 150-162, Jan. 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, article ID. 72626, 2007.
- [10] 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.
- [11] 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
- [12] 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.
- [13] 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.
- [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, 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

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