

부상관함수의 적응적 결합에 기반한 다중 대역 Sine 위상 BOC 신호 동기화 기법

준희원 박종인*, 정희원 이영포*, 종신회원 윤석호*, 김선용**, 이에훈****

Synchronization Technique Based on Adaptive Combining of Sub-correlations of Multiband Sine Phased BOC Signals

Jong In Park* Associate Member, Youngpo Lee* Regular Member,
Seokho Yoon*, Sun Yong Kim**, Ye Hoon Lee**** Lifelong Members

요약

본 논문에서는 하나의 수신기로 다중 대역 sine 위상 binary offset carrier (BOC) 신호를 이용할 수 있도록 부상관함수의 적응적 결합에 기반한 다중 대역 sine 위상 BOC 신호 동기화 기법을 제안한다. 구체적으로는 BOC 자기상관함수를 이루고 있는 다수의 부상관함수들을 생성하고, 이를 적응적으로 재결합함으로써 주변침도가 없는 새로운 상관함수를 획득한다. 마지막으로 delay lock loop에서 사용되는 자기상관함수를 제안한 상관함수로 대체함으로써 주변침도로 인한 false lock 문제를 해결한다. 제안한 동기화 기법은 모든 sine 위상 BOC 신호에 적용 가능하며, 모의실험 결과를 통해 제안한 기법이 기존의 기법들에 비해 더 좋은 tracking error standard deviation (TESD) 성능을 가지는 것을 보인다.

Key Words : binary offset carrier (BOC), adaptive combining, sub-correlations, TESD, synchronization

ABSTRACT

This paper addresses a synchronization technique based on an adaptive combining of the sub-correlation functions obtained from multiband sine phased binary offset carrier (BOC) signals, allowing a BOC signal receiver to deal with multiband sine phased BOC signals. Specifically, we first obtain the sub-correlation functions composing the BOC autocorrelation function, and then, re-combine the sub-correlation functions generating a correlation function with no side-peak. Finally, by replacing the BOC autocorrelation with the correlation function with no side-peak in the delay lock loop, the proposed scheme performs unambiguous signal tracking. The proposed synchronization scheme is applicable to generic sine phased BOC signals. Numerical results demonstrate that the proposed scheme provides a performance improvement over the conventional unambiguous schemes in terms of the tracking error standard deviation.

I. 서론

위성 항법 시스템에 (global navigation satellite

system) 기반한 위치 기반 서비스들은 (location-based service: LBS) 차량, 선박, 항공기, 다양한 모바일 기기들에서 널리 사용되고 있다¹⁻³⁾.

* 이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업(NIPA-2011-C1090-1111-0005)과 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. KRF-2008-314-D00293) 및 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2011-0018046) 결과로 수행되었음.

* 성균관대학교 정보통신공학부 (pji17@skku.edu, leey204@skku.edu, syoon@skku.edu)

** 건국대학교 전자공학부(kimsy@konkuk.ac.kr), *** 서울과학기술대학교 전자정보공학과(y.lee@snut.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-07-317, 접수일자 : 2011년 7월 22일, 최종논문접수일자 : 2011년 11월 8일

Global positioning system과 (GPS) 같이 현재 사용 중인 위성 항법 시스템에서는 디지털 통신 분야에서 활용되는 변조 방식인 구형 확산 코드를 적용한 위상 편이 방식을 (phase shift keying: PSK) 채용하고 있다. 최근 더욱 정교한 LBS에 대한 수요가 증가함에 따라 Galileo 및 GPS 현대화와 같은 차세대 위성 항법 시스템에서는 기존의 PSK 변조 방식에 비해 향상된 위치 정확도를 제공할 수 있는 binary offset carrier (BOC) 변조 방식을 채택하였다⁴⁾. 또한 BOC 신호는 주파수 영역에서 spectrum이 분리되어 나타나기 때문에 현존하는 위성 항법 시스템 신호들과 주파수 대역 분리가 가능하여 동일한 주파수 대역을 함께 사용할 수 있는 장점이 있다^{5,6)}. BOC 신호는 항법 데이터 신호, 의사잡음 (pseudo random noise: PRN) 코드, sine 또는 cosine 위상을 가지는 구형 부반송파의 곱으로 생성하며, 구형 부반송파가 sine 또는 cosine 위상을 가지는지에 따라 $BOC_{sin}(kn, n)$ 및 $BOC_{cos}(kn, n)$ 으로 나타낸다⁶⁾. 여기서 k 와 n 은 각각 PRN 코드 칩 주기와 부반송파 주기의 비, PRN 코드 칩 전송률과 1.023 MHz의 비를 각각 나타낸다. 차세대 위성항법 시스템에서는 다양한 k 값을 가지는 sine 위상 BOC 신호들을 여러 주파수 대역에서 사용할 예정이며, 하나의 수신기로 다중 대역 sine 위상 BOC 신호들을 이용하기 위해서는 각 대역의 BOC 신호들과 동기를 맞출 수 있어야 한다.

또한 BOC 신호는 자기상관함수 주침두의 (main-peak) 양쪽에 다수의 주변침두를 (side-peak) 가지고 있으며, 이는 판별기 출력에 올바르게 잡은 동기화 지점을 (false lock point) 생성하고, 이로 인해 신호 추적 과정에서 치우친 (biased) 측정 결과를 가져올 수 있다⁷⁾. 이러한 문제를 중의성 문제라 (problem of ambiguity) 한다. 게다가 k 값이 증가할수록 주변침두의 개수 및 그에 따른 false lock point의 수가 증가한다. 이를 해결하기 위하여 delay lock loop에서 (DLL) 사용하는 BOC 자기상관함수를 주변침두가 없는 새로운 상관함수로 대체하는 다양한 기법들이 [7-11]에서 제안되어 왔다. [7]에서는 $BOC_{sin}(n, n)$ 신호에 ($k=1$) 대해 BOC 자기상관함수에서 수신 신호와 PRN 신호의 상관함수를 뺄으로써 주변침두가 제거된 상관함수를 제안하였다. [8]에서는 주침두에 가장 가까운 두 주변침두를 제거하는 것에 초점을 맞추어 k 값을 가지는 sine 위상 BOC 신호들에 적용 가능한 기법을 제안하였으나, 여전히 주변침두가 남아있는 문제가 있다. 최근 [9]에서 $BOC_{sin}(kn, n)$ 신호에

대해 주변침두가 완벽히 제거된 상관함수를 제안하였으나 (이후 Kim 기법으로 나타내었음), k 가 증가함에 따라 상관함수의 주침두 높이가 매우 작아져 코드 추적 성능이 저하되는 문제가 있다. [10]과 [11]에서는 새로운 local 신호를 설계하고, 수신 신호와 새로 설계된 local 신호와의 상관함수를 이용하여 더 좋은 추적 성능을 보이는 기법을 제안하였으며, 각각 general removing ambiguity via side-peak suppression과 (GRASS) pseudocorrelation function based unambiguous delay lock loop라 (PUDLL) 불리운다.

본 논문에서는 모든 sine 위상 BOC 신호들에 적용 가능하면서 우수한 추적 성능을 가지는 코드 추적 기법을 제안한다. 구체적으로는 BOC 자기상관함수를 구성하는 부상관함수들을 획득하고, 이러한 부상관함수들을 적응적으로 재결합함으로써 주변침두가 없는 새로운 상관함수를 생성한다. 또한 DLL 구조에서 사용되는 BOC 자기상관함수를 새로운 상관함수로 대체함으로써 false lock 지점이 없는 판별기 출력을 얻어 신뢰성 있는 코드 추적을 수행한다. 제안한 동기화 기법은 sine 위상 BOC 신호의 k 값이 달라지더라도 결합에 필요한 파라미터를 적응적으로 변화시킴으로써 모든 sine 위상 BOC 신호에 적용 가능할 뿐 아니라 [9-11]에서 제안된 기존의 기법들에 비해 더 좋은 tracking error standard deviation (TESD) 성능을 가진다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 신호 및 DLL 모델에 대해 설명하고, III장에서는 제안한 기법을 소개한다. IV장에서는 모의실험 결과를 통해 제안한 기법과 기존의 기법들의 성능을 비교하고 V 장에서는 결론을 내린다.

II. 시스템 모형

sine 위상 BOC 신호 파형 $b(t)$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$b(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} c_i p_{T_c}(t - iT_c) d_{\lfloor iT_c/T \rfloor}(t) s(t), \quad (1)$$

여기서 $c_i \in \{-1, 1\}$ 는 주기가 T 인 PRN 코드의 i 번째 칩을 나타내고, T_c 는 PRN 코드의 칩 주기이며, $p_{T_c}(t)$ 는 $[0, T_c)$ 구간에 존재하는 단위 구형 펄스로 정의되는 PRN 파형이고, d_x 는 x 번째 항법 데이터이며, $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 크지 않은 최대의 정수를 나타내

고, $s(t)$ 는 구형 부반송파로서 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sum_{l=0}^{N-1} h_l p_{T_s}(t - iT_c - lT_s), \quad (2)$$

여기서 N , h_l , T_s 는 각각 PRN 코드 칩 주기 T_c 내에 존재하는 구형 부반송파 펄스의 수, l 번째 부반송파 펄스의 부호, 부반송파 펄스 구간을 ($T_s = T_c/N$) 나타내고, $p_{T_s}(t)$ 는 $[0, T_s)$ 인 단위 구형 펄스로 정의되는 부반송파 펄스 파형을 나타낸다. $\text{BOC}_{\text{sin}}(kn, n)$ 신호에서 N , h_l , T_s 는 각각 $2k$, $(-1)^l$, $1/(2kn \times 1.023 \text{ MHz})$ 로 정의된다. 본 논문에서는 중의성 문제 해결에 초점을 맞추어 코드 추적 과정에서는 데이터 변조가 없다고 가정한다 (즉, 모든 i 에 대해 $d_{[iT_c/T]}(t) = 1$).

그림 1에서는 DLL의 일반적인 구조를 나타낸다. 우선 수신 신호인 $\sqrt{P}b(t-\beta) + w(t)$ 와 local 신호의 early 형태인 $b(t-\hat{\beta} + \Delta/2)$ 및 late 형태인 $b(t-\hat{\beta} - \Delta/2)$ 와의 상관관을 구한다. 여기서 β 와 $\hat{\beta}$ 은 각각 수신 신호와 local 신호의 시간 지연을 나타내고, P 는 BOC 신호의 전력을 의미하며, Δ 는 판별기의 선후간격을 나타내고, $w(t)$ 는 평균이 0이고 전력 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 덧셈플 백색 가우시안 잡음 (additive white Gaussian noise: AWGN) 프로세스이다. 이를 통해 부상관함수 $\{S_l(\tau)\}_{l=0}^{N-1}$ 의 early 형태인 $\{S_l(\tau + \Delta/2)\}_{l=0}^{N-1}$ 와 late 형태인 $\{S_l(\tau - \Delta/2)\}_{l=0}^{N-1}$ 를 얻을 수 있다. 여기서 τ 는 시간 차 $\beta - \hat{\beta}$ 이며, PRN 코드에서는 일반적으로 코드 주기 T_c 에 비해 매우 크고, 자기상관함수 out-of-phase의 크기가 가능한 작도록 설계된다는 것을 고려하여 $S_l(\tau)$ 를 다음

과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} S_l(t) &= \sum_{j=0}^{T/(NT_s)-1} \frac{1}{T} \\ &\cdot \int_{(jN+l)T_s}^{(jN+l+1)T_s} \{\sqrt{P}b(t-\beta) + w(t)\} b(t-\hat{\beta}) dt \\ &= \frac{\sqrt{P}}{T} \sum_{j=0}^{T/(NT_s)-1} \sum_{m=0}^{N-1} h_l h_m \\ &\cdot \int_{(jN+l)T_s}^{(jN+l+1)T_s} p_{T_s}(t-\beta-jT_c-lT_s) \\ &\cdot p_{T_s}(t-\hat{\beta}-jT_c-mT_s) dt + w_l \\ &= \frac{\sqrt{P}}{NT_s} \sum_{m=0}^{N-1} h_l h_m A_{T_s}(\tau + (l-m)T_s) + w_l, \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $w_l = \frac{1}{T} \sum_{j=0}^{T/(NT_s)-1} \int_{(jN+l)T_s}^{(jN+l+1)T_s} w(t) b(t-\hat{\beta}) dt$ 이고, $A_x(\tau)$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$A_x(\tau) = \begin{cases} x - |\tau|, & |\tau| \leq x, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

뒤이어 결합기에서는 $\{S_l(\tau + \Delta/2)\}_{l=0}^{N-1}$ 와 $\{S_l(\tau - \Delta/2)\}_{l=0}^{N-1}$ 를 각각 결합하여 $R(\tau + \Delta/2)$ 와 $R(\tau - \Delta/2)$ 를 생성하며, 판별기 출력 $D(\tau)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D(\tau) = R^2(\tau + \Delta/2) - R^2(\tau - \Delta/2) \quad (5)$$

이는 loop filter를 통과하여 numerically controlled oscillator를 (NCO) 동작시키는 신호를 생성하고, NCO에서는 local 신호의 위상을 조절한다.

BOC 자기상관함수를 이용하여 코드 추적을 수행하는 경우 그림 1의 결합기에서는 단순한 덧셈 연산을 통해 BOC 자기상관함수를 생성하기 때문에 (다시 말해 $R(\tau + \Delta/2) = \sum_{l=0}^{N-1} S_l(\tau + \Delta/2)$, $R(\tau - \Delta/2) =$

$\sum_{l=0}^{N-1} S_l(\tau - \Delta/2)$) (3)의 $A_x(\tau)$ 함수들이 동일한 부호를 가지고 더해져 BOC 자기상관함수에 다수의 주변 첨두가 나타난다는 것을 알 수 있다. 이러한 관찰에 기반하여 다음 절에서는 부상관함수들을 새로운 방식으로 결합함으로써 주변첨두가 존재하지 않는 새로운 상관함수를 제안하고자 한다.

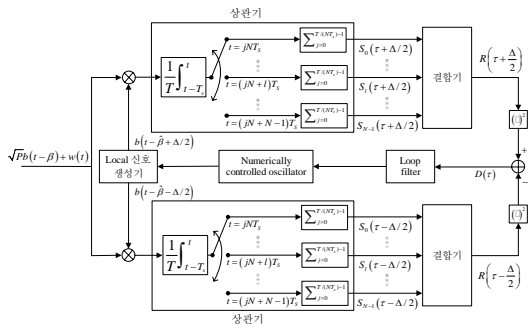


그림 1. 일반적인 delay lock loop의 구조도

III. 제안한 기법

그림 2는 잡음이 없는 경우 $\text{BOC}_{\text{sin}}(n, n)$ 신호의 BOC 자기상관함수, 부상관함수, 제안한 상관함수를 보인다. 그림에서부터 $S_0(\tau)$ 와 $S_1(\tau)$ 는 $\tau=0$ 에 대해 대칭이고, $\tau=0$ 인 지점에서 중첩되는 하나의 첨두를 가지는 것을 확인할 수 있다. 구체적으로는, $S_0(\tau)$ 와 $S_1(\tau)$ 는 각각 $\tau \in (-T_s, T_c)$, $\tau \in (-T_c, T_s)$ 구간에서 0이 아닌 값을 가지며, $\tau \in (-T_s/2, T_s/2)$ 인 구간에서만 동일한 부호를 가지며 상관값들이 중첩된다. 따라서 $xy \leq 0$ 일때 $|x|+|y|-|x-y|$ 연산이 항상 0의 값을 가지는 성질을 이용하여 아래와 같이 $S_0(\tau)$ 와 $S_1(\tau)$ 를 재결합함으로써 주변첨두가 없는 새로운 상관함수를 얻을 수 있으며, 그 과정을 그림 2에서 나타내었다.

$$R_{\text{proposed}}(\tau) = |S_0(\tau)| + |S_1(\tau)| - |S_0(\tau) - S_1(\tau)| \quad (6)$$

위의 접근 방식은 제안한 기법의 핵심이 되며, 이를 $\text{BOC}_{\text{sin}}(kn, n)$ ($k \geq 2$) 신호에 대해 아래와 같이 적용한다.

그림 3은 $\text{BOC}_{\text{sin}}(kn, n)$ ($k \geq 2$) 신호의 부상관함수들과 제안한 결합 방법을 나타낸다. 그림으로부터 $\text{BOC}_{\text{sin}}(kn, n)$ ($k \geq 2$) 신호에 대해 총 N 개의 부상

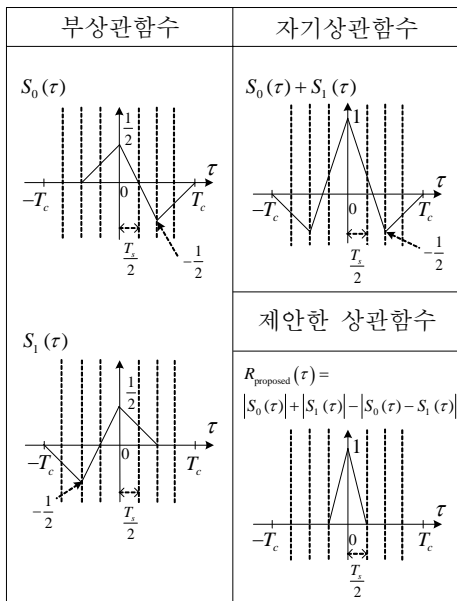


그림 2. $\text{BOC}_{\text{sin}}(n, n)$ 신호에 대한 자기상관함수, 부상관함수, 제안한 상관함수

관함수들 $\{S_l(\tau)\}_{l=0}^{N-1}$ 이 존재하며, 각각의 부상관함수는 절대값 크기가 $1/N$ 인 N 개의 첨두를 가진다는 것을 알 수 있다. 이러한 N 개의 부상관함수를 결합하여 $\tau \in (-T_s/2, T_s/2)$ 인 구간에서만 동일한 부호를 가지며 상관값들이 중첩되는 두 개의 상관함수 $R_1(\tau)$ 와 $R_2(\tau)$ 를 생성하고, 이를 (6)에서와 같이 $|R_1(\tau)| + |R_2(\tau)| - |R_1(\tau) - R_2(\tau)|$ 형태로 다시 결합하여 주변첨두가 없는 상관함수를 생성한다. 그림으로부터 $|S_0(\tau)| + |S_1(\tau)| - |S_0(\tau) - S_1(\tau)|$ 연산을 통해 $N-1$ 개의 첨두가 $\tau=0, T_s, \dots, (N-1-l_1)T_s$ 지점에 존재하는 상관함수를 얻을 수 있으며, 이와 유사하게 $|S_{N-1}(\tau)| + |S_2(\tau)| - |S_{N-1}(\tau) - S_2(\tau)|$ 연산을 통해 l_2+1 개의 첨두가 $\tau=-l_2T_s, (-l_2+1)T_s, \dots, 0$ 지점에 존재하는 상관함수를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 여기서 모든 첨두들은 그 값이 $2/N$ 으로 동일하며, 각각의 폭은 T_s 이다. 따라서 부상관함수 $\{S_l(\tau)\}_{l=1}^{N-2}$ 의 색인 l 들의 집합을 (0과 $N-1$ 제외) $L = \{1, 2, \dots, N-2\}$ 로 정의하고, 이를 부분집합 L_1 과 L_2 로 분할한 후 $R_1(\tau)$ 와 $R_2(\tau)$ 를 그림 3과 같이 각각 $\sum_{l \in L_1} \{|S_0(\tau)| + |S_l(\tau)| - |S_0(\tau) - S_l(\tau)|\}$ 와 $\sum_{l \in L_2} \{|S_{N-1}(\tau)| + |S_l(\tau)| - |S_{N-1}(\tau) - S_l(\tau)|\}$ 형태로 결

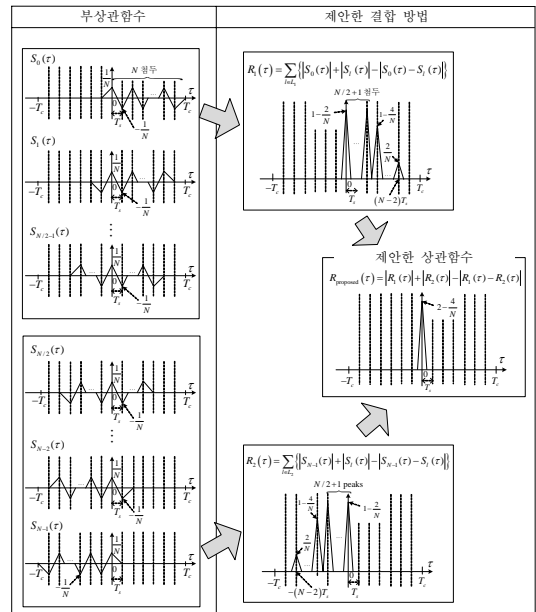


그림 3. $\text{BOC}_{\text{sin}}(kn, n)$ ($k \geq 2$)에 대한 부상관함수 및 제안한 결합 방법

합하여 구한다. 그림 3에서는 집합 L 을 $L_1 = \{1, 2, \dots, N/2 - 1\}$ 과 $L_2 = \{N/2, N/2 + 1, \dots, N - 2\}$ 로 분할한 경우의 예를 보인다. 마지막으로 $R_1(\tau)$ 와 $R_2(\tau)$ 를 그림에서와 같이 $|R_1(\tau)| + |R_2(\tau)| - |R_1(\tau) - R_2(\tau)|$ 형태로 결합함으로써 주변침도가 없는 새로운 상관함수를 얻을 수 있다. 따라서 $\text{BOC}_{\sin}(kn, n)$ 신호에 대해 제안한 상관함수를 종합하여 정리하면 아래와 같다.

$$R_{\text{proposed}}(\tau) = |R_1(\tau)| + |R_2(\tau)| - |R_1(\tau) - R_2(\tau)|, \quad (7)$$

여기서 $R_1(\tau)$ 와 $R_2(\tau)$ 는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$R_1(\tau) = \delta_{k,1} S_0(\tau) + (1 - \delta_{k,1}) \cdot \sum_{l \in L_1} \{|S_0(\tau)| + |S_l(\tau)| - |S_0(\tau) - S_l(\tau)|\} \quad (8)$$

$$R_2(\tau) = \delta_{k,1} S_1(\tau) + (1 - \delta_{k,1}) \cdot \sum_{l \in L_2} \{|S_{N-1}(\tau)| + |S_l(\tau)| - |S_{N-1}(\tau) - S_l(\tau)|\} \quad (9)$$

여기서 $\delta_{x,y}$ 는 다음과 같이 정의되는 Kronecker delta 함수를 나타낸다.

$$\delta_{x,y} = \begin{cases} 1, & \text{if } x = y \\ 0, & \text{if } x \neq y \end{cases} \quad (10)$$

그림 3에서 보이는 바와 같이 제안한 상관함수는 주변침도가 없으며, 크기와 폭이 각각 $2 - 4/N$ 과 T_s 인 주침도를 가진다. 제안한 기법은 $\text{BOC}_{\sin}(kn, n)$ 신호 부상관함수 결합에 필요한 파라미터들 N, h_l, T_s 를 k 의 함수로 정의함으로써 여러 대역 및 시스템에서 사용되는 sine 위상 BOC 신호들의 부상관함수들을 적응적으로 결합할 수 있으며, 이를 이용하여 다중대역 sine 위상 BOC 신호 동기화를 수행할 수 있다.

위에서 집합 L 을 두 개의 부분집합 L_1 과 L_2 로 분할하는 다양한 방법이 존재할 수 있지만, 집합 L 을 어떻게 분할하더라도 제안한 기법은 동일한 코드 추적 성능을 가진다. 이는 L 을 어떻게 분할하더라도 제안한 상관함수의 형태가 동일하며, 각 부상관함수의 잡음성분들이 서로 독립이기 때문이다.

제안한 기법의 판별기 출력 $D_{\text{proposed}}(\tau)$ 는 DLL에서 BOC 자기상관함수를 제안한 상관함수로 대체함으로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_{\text{proposed}}(\tau) = R_{\text{proposed}}^2(\tau + \Delta/2) - R_{\text{proposed}}^2(\tau - \Delta/2) \quad (11)$$

그림 4는 $\text{BOC}_{\sin}(2n, n)$ 신호에 대한 정규화된 판별기 출력을 나타낸다. 여기서 선후 간격 Δ 는 $0.1 T_c$ 로 설정하였으며, BOC 자기상관함수를 사용하는 전통적인 방법의 판별기 출력을 참고로 함께 도식하였다. 그림으로부터 제안한 기법의 판별기는 그 출력에 false lock 지점이 없음을 확인할 수 있다.

비록 제안한 결합 방법 이외에도 $S_0(\tau)$ 와 $S_{N-1}(\tau)$ 를 $|S_0(\tau)| + |S_{N-1}(\tau)| - |S_0(\tau) - S_{N-1}(\tau)|$ 형태로 결합함으로써 주변침도가 없는 상관함수를 생성할 수 있으나, 이 경우 총 N 개의 부상관함수 중 두 개만을 결합하여 상관함수를 만들기 때문에, 생성된 상관함수는 신뢰성 있는 코드 추적을 위한 충분한 신호 에너지를 포함하지 않을 수 있다.

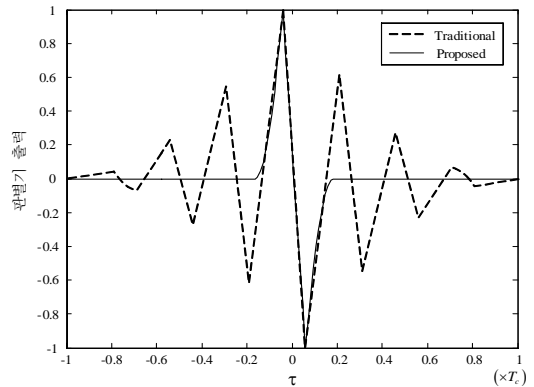


그림 4. $\text{BOC}_{\sin}(2n, n)$ 신호에 대한 전통적인 코드 추적 방법 및 제안한 기법의 판별기 출력

IV. 모의 실험 결과

본 절에서는 제안한 기법과 기존의 BOC 신호 동기화 기법들의 TESD 성능을 비교한다. TESD는 $\tau = 0$ 일 때, 추정된 시간차 $\hat{\tau}$ 의 표준편차를 의미하며 다음과 같이 얻을 수 있다¹²⁻¹⁴.

$$\sigma_{\hat{\tau}} = \frac{\sqrt{2B_L T_I}}{G} \sigma_D, \quad (12)$$

여기서 B_L, T_I, σ_D 는 각각 single-sided loop filter 대역폭, 적분 시간, $D(\tau)|_{\tau=0}$ 의 표준편차를 나타내며, G

판별기 이득 $\frac{dD(\tau)}{d\tau}|_{\tau=0}$ 이다. 성능 비교를 위해 본 논문에서는 PRN 코드로 Galileo E1-B 코드를 사용하였고, 다음과 같이 파라미터를 설정하였다: $B_L = 1$ Hz, $T_I = T = 4$ ms, $\Delta = 0.1 T_c$.

그림 5는 $\text{BOC}_{\text{sin}}(2n, n)$ 신호에 대하여 제안한 기법과 기존 기법들의 carrier-to-noise ratio에 (CNR) 따른 TESD 성능을 나타낸다. Kim 기법은 k 가 증가함에 따라 TESD 성능이 크게 저하되어 다른 기법들에 비해 성능이 매우 뒤처지므로 모의실험 결과에 포함하지 않는다. 그림에서 보이는 바와 같이 제안한 기법이 기존의 기법들에 비해 더 좋은 TESD 성능을 보이는 것을 확인할 수 있으며, 이는 다음과 같이 설명될 수 있다. 잡음이 없는 경우 $\tau=0$ 일 때 판별기 출력은 0이므로, TESD는 $\tau=0$ 일 때의 판별기 출력의 잡음 성분에만 의존한다. (7)과 (11)로부터 $\tau=0$ 일 때 제안한 기법의 판별기 출력을 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & D_{\text{proposed}}(\tau)|_{\tau=0} \\
 &= R_{\text{proposed}}^2(\Delta/2) - R_{\text{proposed}}^2(-\Delta/2) \\
 &= \{|R_1(\Delta/2)| + |R_2(\Delta/2)| \\
 &\quad - |R_1(\Delta/2) - R_2(\Delta/2)|\}^2 \\
 &\quad - \{|R_1(-\Delta/2)| + |R_2(-\Delta/2)| \\
 &\quad - |R_1(-\Delta/2) - R_2(-\Delta/2)|\}^2
 \end{aligned} \tag{13}$$

(13)에 포함된 $|x| + |y| - |x - y|$ 연산의 결과가 $xy \leq 0$ 일 때 x 와 y 의 값에 상관없이 항상 0이 되기 때문에 제안된 기법에서 판별기 출력의 잡음 성분이 감소하고, 그에 따라 상대적으로 작은 σ_D 값을 가지기 때문에 좋은 TESD 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 6은 CNR이 20 dB-Hz일 때 제안한 기법과 기존 기법들의 TESD 성능을 k 에 따라 나타낸다. 그림으로부터 제안한 기법은 k 의 값에 상관없이 GRASS 기법보다 더 좋은 TESD 성능을 가짐을 확인할 수 있다. 또한 GRASS 기법은 k 가 증가함에 따라 scaling 파라미터인 $(4k-1)$ 이 큰 값을 가지기 때문에 잡음 성분의 분산이 증가하여 k 가 증가함에 따라 TESD 성능이 저하된다. 반면 $k=1$ 인 경우 PUDLL 기법은 제안한 기법보다 더 좋은 TESD 성능을 보이지만, k 가 증가함에 따라 성능이 저하되어 $k \geq 2$ 인 경우 제안한 기법이 더 좋은 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

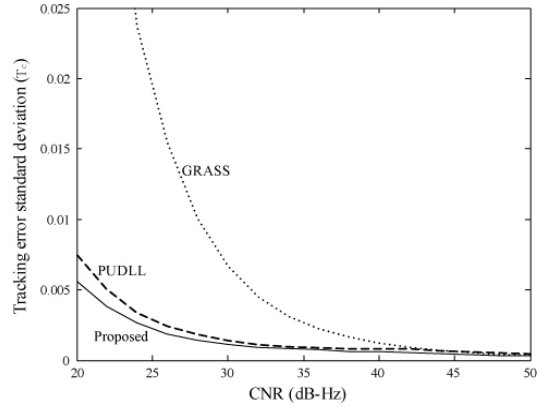


그림 5. $\text{BOC}_{\text{sin}}(2n, n)$ 신호에 대한 신호 추적 기법들의 TESD 성능 비교

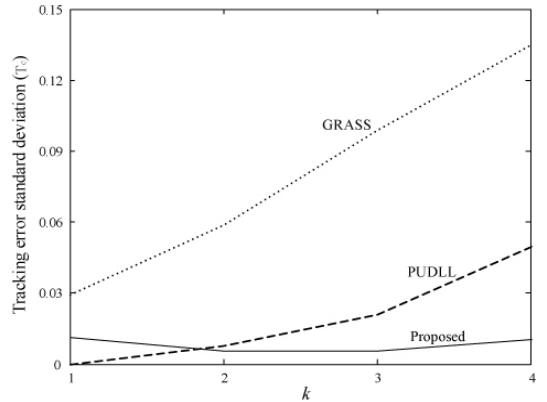


그림 6. k 에 따른 신호 추적 기법들의 TESD 성능 비교 (CNR = 20 dB-Hz)

V. 결 론

본 논문에서는 차세대 위성 항법 시스템 수신기를 위한 코드 추적 기법을 제안하였다. 우선 BOC 신호의 부상관함수들을 생성하였으며, 이를 재결합하여 $\tau \in (-T_s/2, T_s/2)$ 인 구간에서만 동일한 부호를 가지며 상관값들이 중첩되는 두 개의 대칭되는 상관함수를 생성하였다. 이 두 개의 대칭되는 상관함수들을 결합함으로써 주변침투가 없는 새로운 상관함수를 획득하였으며, 마지막으로 DLL의 BOC 자기상관함수를 제안한 상관함수로 대체함으로써 BOC 코드 추적의 중의성 문제를 해결하였다. 또한 모의실험 결과를 통해 제안한 기법이 기존의 기법들에 비해 더 좋은 TESD 성능을 가지는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] G. Sato, T. Asai, T. Sakamoto, and T. Hase, "Improvement of the positioning accuracy of a software-based GPS receiver using a 32-bit embedded microprocessor," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 46, no. 3, pp. 521-530, Aug. 2000.
- [2] A. Rabaeijs, D. Grosso, X. Huang, and D. Qi, "GPS receiver prototype for integration into system-on-chip," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 49, no. 1, pp. 48-58, Feb. 2003.
- [3] J.-C. Juang and Y.-H. Chen, "Accounting for data intermittency in a software GNSS receiver," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 55, no. 2, pp. 327-333, May 2009.
- [4] J. W. Betz, "Binary offset carrier modulations for radionavigation," *Journal of the Inst. Navig.*, vol. 48, no. 4, pp. 227-246, Winter 2001-2002.
- [5] E. S. Lohan, A. Lakhzouri, and M. Renfors, "Binary-offset-carrier modulation techniques with applications in satellite navigation systems," *Wireless Commun. Mobile Computing*, vol. 7, no. 6, pp. 767-779, Aug. 2007.
- [6] J. A. Avila-Rodriguez, "On generalized signal waveforms for satellite navigation," Ph.D. dissertation, Dept. Aerospace Engineer., University of Munich, Munich, Germany, 2008.
- [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. Aerospace and Electron. Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 150-162, Jan. 2007.
- [8] A. Burian, E. S. Lohan, and M. K. Renfor, "Efficient delay tracking methods with sidelobes cancellation for BOC-modulated signals," *EURASIP Journal on Wireless Commun. Network.*, vol. 2007, article ID. 72626, 2007.
- [9] S. Kim, D. Chong, and S. Yoon, "A new GNSS synchronization scheme," in *Proc. Vehic. Technol. Conf. (VTC)*, CD-ROM, Barcelona, Spain, Apr. 2009.
- [10] Z. Yao, M. Lu, and Z. Feng, "Unambiguous sine-phased binary offset carrier modulated signal acquisition technique," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 2, pp. 577-580, Feb. 2010.
- [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. Aerospace and Electron. Syst.*, vol. 46, no. 4, pp. 1782-1796, Oct. 2010.
- [12] B. W. Parkinson and J. J. Spilker Jr., *Global Positioning System: Theory and Applications*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.
- [13] L. Ries, L. Lestarquit, E. Armengou-Miret, F. Legrand, and W. Vigneau, "A software simulation tool for GNSS2 BOC signals analysis," in *Proc. ION GPS*, pp. 2225-2239, Portland, OR, Sep. 2002.
- [14] F. D. Nunes, M. G. Sousa, and J. M. N. Leitao, "Gating functions for multipath mitigation in GNSS BOC signals," *IEEE Trans. Aerospace and Electron. Syst.*, vol. 43, no. 3, pp. 951-964, July 2007.

박 종 인 (Jong In Park)

준회원



2011년 2월 광운대학교 전자공학과 공학사
 2011년 9월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 석사과정
 <관심분야> 통신 이론, 이동통신, 인지 무선 통신, 통계학적 신호처리

이 영 포 (Youngpo Lee)

정회원



2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사
 2010년 2월 성균관대학교 휴대전화학과 공학석사
 2010년 3월~현재 성균관대학교 휴대전화학과 박사 과정
 2008년 11월 한국통신학회 하계종합학술발표회 우수논문상 수상

2009년 12월 IEEE Seoul Section Student Paper Contest 대상 수상
 2010년 1월 성균관대학교 정보통신공학부 우수논문상 수상
 2010년 12월 아이디스 전자신문 대학(원)생 과학기술&IT 논문공모 대재전 최우수상, 장려상 수상
 2011년 4월 CTRQ 국제학술대회 Best Paper Award 수상
 <관심분야> 통신 이론, 이동통신, 통계학적 신호처리

윤 석 호 (Seokho Yoon)

종신회원



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 하버드대학교 박사후 연구원
 2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수, 부교수
 2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 수상
 2007년 Marquis Who's Who in Asia에 등재
 2007년 IEEE 준석학회원
 2008년 Marquis Who's Who in World에 등재
 2009년 한국통신학회 LG 학술상 수상
 <관심분야> 통신 이론, 이동통신, 통계학적 신호처리

김 선 용 (Sun Yong Kim)

종신회원

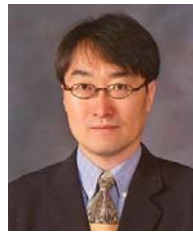


1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사 (최우등)
 1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1995년 8월 한국과학기술원 전자전산학과 박사

1995년 4월~1996년 3월 동경대학교 생산기술연구소 박사연구원
 1996년 9월~1998년 12월 한국전자통신연구원 초빙연구원
 1996년 3월~2001년 8월 한림대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수
 2001년 8월~현재 건국대학교 전자공학부 조교수, 부교수, 교수
 1990년 IEEE Korea Section 학생논문대회 우수상 받음
 1992년~1993년 IEEE Communication Society 장학금 받음. 대한전자공학회, 한국통신학회 정회원, IEEE 선임회원
 <관심분야> 통계학적 신호처리, 이동통신, 통신이론

이 예 훈 (Ye Hoon Lee)

종신회원



2000년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
 1994년~1997년 한국전자통신연구원 위촉연구원
 2000년~2001년 LG전자 차세대단말연구소 선임연구원
 2001년~2002년 미국 뉴저지공

과대학 (NJIT) 박사후연구원
 2003년~2005년 삼성종합기술원 전문연구원
 2005년~현재 서울과학기술대학교 전자정보공학과 부교수
 <관심분야> 차세대이동통신, 디지털 통신이론 및 설계