

차세대 GNSS 신호 동기화를 위한 새로운 CBOC 상관함수

준회원 이영포*, 윤태웅*, 이명수*, 이영윤*, 김상훈*, 종신회원 윤석호*

A New CBOC Correlation Function for Next Generation GNSS Signal Synchronization

Youngpo Lee*, Taeung Yoon*, Myungsoo Lee*, Youngyoon Lee*,
Sanghun Kim* *Associate Members*, and Seokho Yoon*^o *Lifelong Member*

요 약

Binary offset carrier (BOC) 신호의 동기화 과정은 일반적으로 수신된 BOC 신호와 단말기에서 생성된 BOC 신호의 상관값을 이용하여 이루어진다. 따라서 BOC 신호의 자기상관함수에 존재하는 다수의 주변 첨두는 BOC 신호의 동기화 오차 발생에 있어 주요한 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 저자들은 최근 sine 위상 및 cosine 위상 BOC 신호 각각에 대하여 주변 첨두가 완벽히 제거된 새로운 상관함수들을 제안하였다 [3]. 본 논문에서는 차세대 global navigation satellite systems의 (GNSS) 변조 기법으로 주목받고 있는 composite BOC (CBOC) 신호의 동기화를 위하여 기존 연구와 유사한 접근을 통해 주변 첨두가 완벽히 제거된 새로운 CBOC 상관함수를 제안한다.

Key Words : BOC, CBOC, 동기화, 상관함수, GNSS

ABSTRACT

Binary offset carrier (BOC) signal synchronization is based on the correlation between the received and locally generated BOC signals. Thus, the multiple side-peaks in BOC autocorrelation are one of the main error sources in synchronizing BOC signals. Recently, new correlation functions with no side-peak were proposed for sine and cosine phased BOC signal synchronization, respectively, by the authors [3]. In this paper, we propose a new correlation function with no side-peak for composite BOC (CBOC) signals by using the similar approach to that in the previous work.

1. 서 론

Binary offset carrier (BOC) 신호는 일반적으로 항법 데이터 신호, 의사잡음부호, 그리고 부반송파의 곱으로 나타낼 수 있다. 이러한 BOC 신호는 다중경로에 강인하고, global positioning system (GPS) 신호와 대역 분리된 특성을 가지며^[1], 이로

인하여 Galileo, GPS III와 같은 차세대 위성 항법 시스템의 (global navigation satellite systems: GNSS) 변조 기법으로 채택되고 있다^[2].

GNSS에서는 동기화 과정에서 발생하는 시간 오류가 심각한 위치 오류로 나타날 수 있다. 따라서 신뢰성 있는 GNSS 기반 통신을 위해서는 신호 동기화가 매우 중요하다. BOC 신호의 동기화는 일반

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2009-C1090-0902-0005)

* 성균관대학교 정보통신공학부 (syoon@skku.edu) (°:교신저자)

논문번호 : KICS2009-04-164, 접수일자 : 2009년 4월 17일, 최종제논문통보일자 : 2009년 6월 2일

적으로 신호획득 (acquisition) 과정과 추적 (tracking) 과정의 두 단계로 이루어지며, 신호획득 과정에서는 단말기에서 생성된 BOC 신호와 수신 신호의 위상을 추적 과정이 처리 가능한 범위 이내로 맞춰준다. 이후 추적 과정에서 보다 정밀한 동기화를 수행함으로써 동기화를 마무리한다. 그림 1은 신호획득 및 추적 과정을 위한 BOC 신호의 자기상관함수 및 선후 판별기 (early-late discriminator) 출력의 일반적인 형태를 나타낸다. 여기서 T_b 와 d 는 각각 의사잡음부호의 칩 (chip) 시간과 선후 간격을 의미하고, 오경보는 (false alarm) 자기상관함수 값이 주어진 문턱값을 넘었으나 추적 과정에서 처리할 수 있는 범위 밖에 존재하는 경우를 나타낸다. 그림으로부터 BOC 신호의 자기상관함수가 다수의 주변 첨두를 가짐을 확인할 수 있으며, 이러한 다수의 주변 첨두가 오경보 확률을 증가시키고 결과적으로 동기화가 올바르게 이루어지지 않는 경우를(false lock) 발생시킬 수 있음을 알 수 있다.

이러한 다중 첨두 문제를 해결하기 위하여 최근 sine 위상 BOC (SinBOC) 및 cosine 위상 BOC (CosBOC) 신호 각각에 대하여 주변 첨두가 완벽히 제거된 새로운 상관함수들이 제안되었다^[3]. 여기서 SinBOC와 CosBOC는 진폭이 ± 1 이고 각각 sine 위상과 cosine 위상인 구형파를 부반송파로 가지는 BOC 신호를 의미한다. 최근에는 SinBOC 및 CosBOC뿐만 아니라 composite BOC와 (CBOC) 같은 새로운 BOC 신호가 제안되었으며, 상관함수의 폭이 좁아 다중경로 환경에서 우수한 성능을 보이기 때문에 차세대 GNSS에서 사용될 것으로 크게 주목받고 있다^[2]. 그러나 CBOC 신호 동기화에 적합한 상관함수에 대한 연구는 아직까지 부족한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 [3]과 유사한 접근을 통해 주변

첨두가 완벽히 제거된 CBOC 상관함수를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II장에서 CBOC 신호 모델을 설명하고 III장에서 주변 첨두가 완벽히 제거된 새로운 CBOC 상관함수를 제안한다. IV장에서는 모의실험을 통해 CBOC 신호의 자기상관함수와 제안한 상관함수를 비교하며, 마지막으로 V장에서 결론을 내린다.

II. 시스템 모델

CBOC 신호 CBOC(u, v, γ)는 일반적으로 SinBOC($u, 1$) 및 SinBOC($v, 1$)신호를 전력 분리 비율 γ 로 더하는 과정을 통해 생성된다. 여기서 SinBOC(m, n)은 부반송파의 주파수와 의사잡음부호의 부호율이 각각 1.023MHz의 m 배와 n 배인 SinBOC 신호를 의미하며, 항법 데이터 신호, 의사잡음부호, 그리고 구형 부반송파 $\text{sgn}[\sin(2\pi mt \times 1.023 \times 10^6)]$ 곱으로 정의된다. 여기서 $\text{sgn}\{\cdot\}$ 은 부호 함수를 나타낸다. 예를 들어, CBOC(6, 1, 1/11)은 SinBOC(6, 1)과 SinBOC(1, 1) 신호의 스펙트럼 성분을 전력 분리 비율 1/11에 맞게 더하여 생성할 수 있으며, CBOC(6, 1, 1/11)의 전력밀도 함수 $G_{\text{CBOC}(6, 1, 1/11)}(f)$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있다^[2].

$$G_{\text{CBOC}(6, 1, 1/11)}(f) = \frac{1}{11} G_{\text{SinBOC}(6, 1)}(f) + \frac{10}{11} G_{\text{SinBOC}(1, 1)}(f) \tag{1}$$

여기서 $G_{\text{SinBOC}(\cdot, \cdot)}(f)$ 는 [4]에서와 같이 정의되는 SinBOC 신호의 전력밀도함수를 의미한다. 따라서 CBOC(u, v, γ)의 신호 파형 $s_c(t)$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있으며, 두 SinBOC 부반송파의 직교성을 유지하기 위하여 u/v 는 ($u > v$) 짝수인 경우만을 고려한다.

$$s_c(t) = d(t)c(t)c_c(t) = d(t)c(t)\{\sqrt{\gamma}c_{\sin(u, 1)}(t) + \sqrt{1-\gamma}c_{\sin(v, 1)}(t)\}, \tag{2}$$

여기서 $d(t)$ 와 $c(t)$ 는 각각 항법 데이터와 칩 시간 T_b 를 가지는 의사잡음 부호를 의미하고, CBOC 반송파 $c_c(t)$ 는 구형 부반송파 $c_{\sin(u, 1)}(t) = \text{sgn}[\sin(2\pi u t)]$

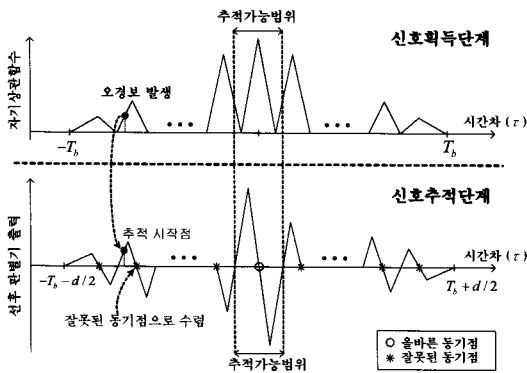


그림 1. BOC 신호 동기화 과정에서 다중 첨두로 인한 문제

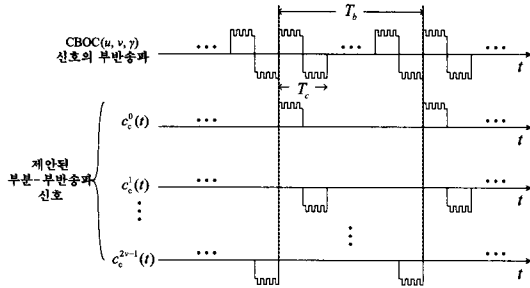


그림 2. 기존의 부분송파 및 제안된 부분-부분송파의 파형

$\sin(2\pi ut \times 1.023 \times 10^6)$ 와 구형 부분송파 $c_{\sin(v,1)}(t) = \text{sgn}[\sin(2\pi vt \times 1.023 \times 10^6)]$ 를 각각 $\sqrt{\gamma}$ 와 $\sqrt{1-\gamma}$ 의 가중치로 더하여 얻을 수 있으며, 그 파형을 그림 2에서 나타내었다. 그림에서 T_c 는 부분송파 $c_{\sin(v,1)}(t)$ 의 주기를 나타낸다. 일반적으로 GNSS에서는 빠른 동기화를 위하여 전송 신호의 데이터 변조가 없는 파일럿 채널을 포함하고 있으며^[5], 본 논문에서는 파일럿 채널에서와 같이 $d(t) = 1$ 로 가정한다.

III. 제안한 상관함수

본 제안한 상관함수는 수신된 CBOC (u, v, γ) 신호와 새롭게 제안된 부분-부분송파 신호들 $c_c^0(t)$, $c_c^1(t)$, ..., $c_c^{2v-1}(t)$ 의 상관값을 이용하여 생성되며, 그림 2는 제안된 부분-부분송파의 파형을 나타낸다. 부분-부분송파는 CBOC 부분송파를 분리해서 얻을 수 있고 각각 $T_b/2$ 의 칩 시간을 가지며, $c_c^0(t)$, $c_c^1(t)$, ..., $c_c^{2v-1}(t)$ 의 전체 신호 구간은 의사잡음 부호의 칩 시간인 T_b 와 동일하다.

그림 3은 제안한 상관함수의 생성 과정을 나타내며, 여기서 $R_c^0, R_c^1, \dots, R_c^{2v-1}$ 는 각각 T_b 구간에서 수신된 BOC 신호와 부분-부분송파 신호 $c_c^0(t)$, $c_c^1(t)$, ..., $c_c^{2v-1}(t)$ 간 상관값을 의미한다. 그림으로부터, $q=0, 1, \dots, v-1$ 에 대하여 $|R_c^q| + |R_c^{2v-q-1}|$ 연산을 통해 하나의 주첨두와 이와 동일한 형태의 $2q$ 개의 주변 첨두를 포함하여 총 $4v-2q-1$ 개의 첨두를 가지는 상관함수가 생성됨을 확인할 수 있다. 반면에 $|R_c^q - R_c^{2v-q-1}|$ 연산은 주첨두 및 이와 동일한 형태의 $2q$ 개의 주변 첨두를 제외한 $4v-4q-2$ 개의 주변 첨두만을 가지는 상관함수를

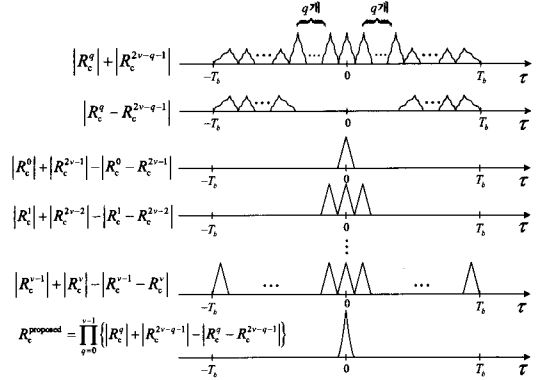


그림 3. 제안된 상관함수의 생성 과정

생성한다. 따라서 $|R_c^q| + |R_c^{2v-q-1}| - |R_c^q - R_c^{2v-q-1}|$ 연산을 통해 주첨두와 이와 동일한 형태의 $2q$ 개의 주변 첨두만을 분리해 낼 수 있다. 마지막으로 $2q$ 개의 주변 첨두를 제거하고 주첨두의 크기를 증가 시킴으로써 주변 첨두가 완벽히 제거된 아래와 같은 상관함수를 얻을 수 있다.

$$R_c^{\text{proposed}} = \prod_{q=0}^{v-1} \{ |R_c^q| + |R_c^{2v-q-1}| - |R_c^q - R_c^{2v-q-1}| \}. \quad (3)$$

그림 4는 CBOC(6, 1, 1/11) 신호의 자기상관함수 및 제안된 상관함수를 나타낸다. 그림으로부터 CBOC 자기상관함수는 주변 첨두가 존재하여 오경보가 발생할 수 있음을 확인할 수 있다. 반면, 제안된 상관함수는 [3]에서 SinBOC 및 CosBOC 신호에 대해 제안된 상관함수와 같이 주변 첨두가 완벽

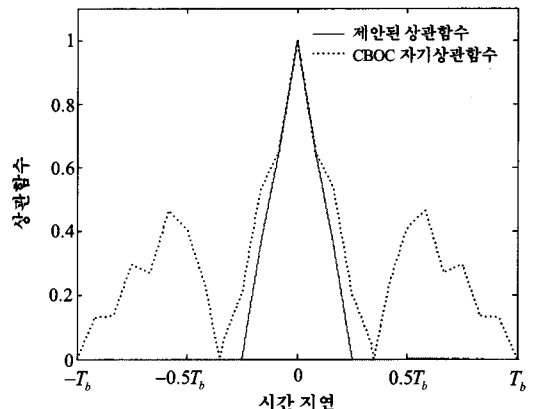


그림 4. CBOC(6, 1, 1/11) 신호의 자기상관함수 및 제안된 상관함수

히 제거되었음을 확인할 수 있다.

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 모의실험을 통해 제안된 상관함수와 CBOC 자기상관함수를 비교하였다. 성능 비교의 기준으로는 주침두와 주침두를 포함한 모든 침두의 전력비를 아래와 같이 정의하여 이용하였다.

$$\text{전력비} = \frac{\text{주침두의 전력}}{\text{모든 침두의 전력}} \quad (4)$$

여기서 전력비가 1인 경우는 상관함수에서 주변 침두가 없음을 나타낸다. 이처럼 전력비가 1에 가까워질수록 주변 침두에 의한 오경보 확률은 감소하게 되며, 올바른 동기점에서 동기화가 이루어질 확률은 증가한다.

본 논문에서는 모의실험을 위해 2경로 채널 모델을 고려하였으며, 채널의 임펄스 응답 $h(t)$ 는 다음과 같다⁶⁾.

$$h(t) = \delta(t) + \alpha\delta(t - \beta) \quad (5)$$

여기서 α 는 ($\alpha < 1$) 두 번째 경로의 감쇄 비율, β 는 ($\beta > 0$) 첫 번째 경로와 두 번째 경로의 시간 차, 그리고 $\delta(t)$ 는 Dirac-delta 함수를 의미한다. 본 논문에서는 α 를 0.5로 설정하고 β 값을 변화해가며 모의실험을 수행하였다.

그림 5와 그림 6은 제안된 상관함수와 CBOC 자기상관함수의 전력비를 각각 CBOC(6, 1, 1/11)와

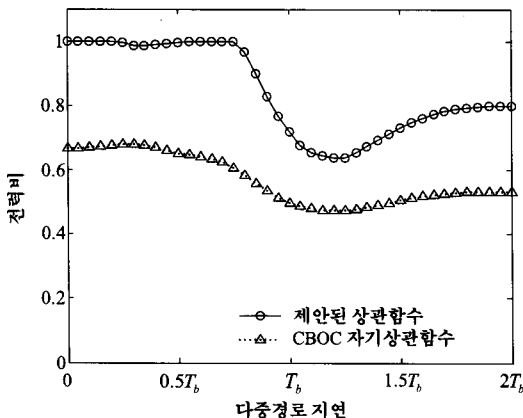


그림 5. 다중경로 채널에서 CBOC(6, 1, 1/11) 자기상관함수 및 제안된 상관함수의 전력비

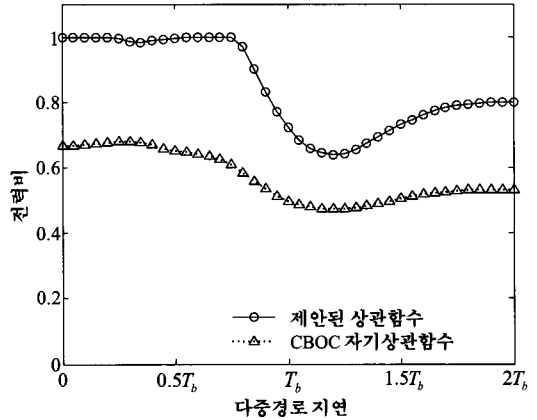


그림 6. 다중경로 채널에서 CBOC(6, 1, 4/33) 자기상관함수 및 제안된 상관함수의 전력비

CBOC(6, 1, 4/33) 신호에 대하여 다중경로의 시간 지연 β 에 따라 나타낸다. 그림으로부터 제안된 상관함수가 2경로 채널에서 CBOC 자기상관함수에 비해 좋은 전력비 성능을 가짐을 확인할 수 있으며, 다중 경로가 $0.6T_b$ 이하인 경우 전력비가 거의 1에 가까움을 확인할 수 있다. 또한 낮은 γ 값을 가질수록, 제안된 상관함수의 전력비 성능이 [3]에서 SinBOC에 대해 제안된 상관함수의 전력비 성능과 유사한 경향을 보임을 확인할 수 있다. 이는 CBOC 신호가 낮은 γ 값을 가질수록 포락선이 SinBOC 신호의 파형과 유사해지기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 차세대 GNSS 변조 기법으로 주목받고 있는 CBOC 신호의 동기화를 위한 새로운 상관함수를 제안하였다. 우선 기존의 CBOC 부분송파와 신호를 분리함으로써 새로운 부분-부분송파와 신호를 생성하였으며, 수신된 BOC 신호와 다수의 부분-부분송파 간 상관값을 결합함으로써 주변 침두가 완벽히 제거된 상관함수를 생성하였다. 또한 모의실험을 통해 제안된 상관함수가 CBOC 신호의 자기상관함수에 비해 더 좋은 전력비를 가짐을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] O. Julien, C. Macabiau, M. E. Cannon, and G. Lachapelle, "ASPEct: Unambiguous sine-BOC (n,n) acquisition/tracking technique for navi-

윤 석 호 (Seokho Yoon)

종신회원



1997년 2월 한국과학기술원 전
자전산학과 공학사 (최우등)

1999년 2월 한국과학기술원 전
자전산학과 공학석사

2002년 2월 한국과학기술원 전
자전산학과 공학박사

2002년 4월~2002년 6월 MIT

박사 후 연구원

2002년 7월~2003년 2월 하버드대학교 박사후 연구원

2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 전
임 강사, 조교수

2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 받음

2007년 Marquis Who's Who in Asia에 등재

2007년 IEEE 선임회원

2008년 Marquis Who's Who in World에 등재

<관심분야> 통신 이론, 이동 통신, 통계학적 신호
처리