

시뮬링크 기반의 BOC 신호 동기화 알고리즘

고정완, 백지현, 윤석호[†], *박진관, **김광순, *이연우, ***정지원, *이성로

성균관대, *목포대, **연세대, ***한국해양대

[†] 교신저자 (syoon@skku.edu)

A Synchronization Algorithm for BOC Signals Based on Simulink

Jeongwan Koh, Jeehyeon Baek, Seokho Yoon[†], *Jin Kwan Park, **Kim Kwang Soon, *Yeon Woo Lee, ***Ji Won Jung, *Seong Ro Lee

Sungkyunkwan University, *Mokpo National Univ., **Yonsei Univ., ***Korea Maritime Univ.

[†] Corresponding author (syoon@skku.edu)

요약

본 논문에서는 BOC 신호의 정확한 동기화를 위해 제안된 [3]의 기법을 시뮬링크 기반 시뮬레이터로 구현한다. 시뮬링크를 이용하여 BOC 신호 생성 블록, 부상관함수 생성 블록, 새로운 상관함수를 생성 블록을 각각 구현하였으며 이들 각각의 동작 과정을 설명하였다. 또한 시뮬링크 기반 시뮬레이터를 통해 생성한 새로운 상관함수가 주변 칩두를 갖지 않으며 주 칩두의 크기가 더 커지는 것을 보였다.

I. 서론

최근 많은 연구들이 진행되고 있는 Galileo 위성 시스템에서는 global positioning system과의 (GPS) 호환성 유지를 위해 대역 확산 (spread spectrum: SS) 신호에 부반송파 신호를 결합한 이진 오셋 반송파 (binary offset carrier: BOC) 신호를 사용 중이다 [1]. BOC 신호는 GPS 신호와의 대역 분리가 가능하면서도 GPS 신호에 비해 높은 측위 정확도를 갖는다는 장점이 있으나, 상관함수가 주변 칩두를 갖는 특성 때문에 동기화가 쉽지 않다는 단점이 있다 [2]. 이러한 BOC 신호 동기화의 단점을 해결하기 위해 [3]에서는 BOC 신호와 부반송파 신호들과의 상관과정을 통해 여러 부상관함수들을 생성한 뒤, 부상관함수들의 제조합을 통해 주변 칩두가 제거된 새로운 상관함수를 생성함으로써 정확한 동기화를 가능하게 하는 기법이 제안되었다. 그러나 [3]에서는 새로운 상관함수에 대한 수학적 접근 방법만 제시하였을 뿐, 실제 하드웨어 구현을 위한 접근 방법은 제시하지 않았다.

하드웨어 구현을 위한 시뮬레이터로는 유연성, 안정성, 신속한 프로토타입 성능 제공 측면에서 장점을 지니는 field programmable gate array 가 (FPGA) 주로 이용되나 높은 가격 때문에 쉽게 이용하기 어렵다는 단점이 있다. Mathwork 사에서 제공하는 시뮬링크는 graphic user interface를 (GUI) 이용하여 사용자의 편의성을 크게 향상시킨 tool로 실제 통신 시스템과 매우 유사하게 각 처리 과정을 블록 별로 구성할 수 있으며, 동적 시뮬레이션이 가능하고 구현된 블록들을 field-programmable gate array로 (FPGA) 쉽게 구현할 수 있다는 장점이 있다 [4].

본 논문에서는 [3]의 기법을 시뮬링크 기반 시뮬레이터로 구현한 뒤, 시뮬레이터를 이용하여 얻은 상관함수가 주변 칩두를 갖지 않으며, 주 칩두의 크기가 더 커지는 것을 보인다.

II. 주변 칩두 제거 기법

BOC 신호는 어떤 부반송파를 사용하는가에 따라 $BOC_{\sin}(kn, n)$ 또

는 $BOC_{\cos}(kn, n)$ 로 구분된다. k 와 n 은 각각 의사랜덤잡음 (pseudo random noise: PRN) 부호 주기와 반송파 주기 간의 비, PRN 부호의 칩률과 1.023 MHz 간의 비를 의미한다. BOC 신호 모형은 다음과 같다.

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

여기에서 P 는 신호 전력, $c_i \in \{-1, 1\}$ 은 주기 T 를 갖는 PRN 부호의 i 번째 칩 데이터, T_c 는 PRN 부호 칩의 주기, p_{T_c} 는 $[0, T_c)$ 주기를 갖는 단위 사각 펄스로 정의되는 PRN 부호의 파형, $d_{\lfloor iT_c/T \rfloor}$ 는 $\lfloor iT_c/T \rfloor$ 번째 데이터, $\lfloor x \rfloor$ 는 x 를 넘지 않는 최대 정수를 의미하며, 부반송파 $s_i(t)$ 는 다음과 같이 정의된다.

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

여기에서 N 및 $T_s = T/N$ 은 각각 부반송파 펄스의 수 및 구간을 나타내고 $h_l \in \{1, -1\}$ 은 l 번째 부반송파 펄스의 부호를 나타낸다. BOC 신호 $BOC_{\sin}(kn, n)$ 및 $BOC_{\cos}(kn, n)$ 에 대해 집합 (N, h_l, T_s) 는 각각 $(2k, (-1)^{2ki+l}, 1/(2kn \times 1.023\text{MHz}))$ 과 $(4k, (-1)^{2ki + \lfloor l/2 \rfloor}, 1/(4kn \times 1.023\text{MHz}))$ 이며, $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 작지 않은 최소의 정수를 나타낸다. 본 논문에서는 동기화에 초점을 맞추기 때문에 데이터는 변조되지 않았다고 가정한다 ($d_{\lfloor iT_c/T \rfloor} = 1$). 동기화의 용이성을 위해 PRN 부호의 주기 T 가 T_c 에 비해 매우 크고 시간차가 T_c 이상일 경우, 상관함수의 값이 매우 작게 설계되었음을 고려하면 수신된 BOC 신호와 수신기에서 발생된 BOC 신호 간의 상관함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 R(\tau) &= \frac{1}{T} \int_0^T b(t)b(t+\tau)dt \\
 &= \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{T_s/T_s-1} \frac{1}{T} \int_{(jN+l)T_s}^{(jN+l+1)T_s} b(t)b(t+\tau)dt \\
 &= \sum_{l=0}^{N-1} \frac{P}{NT_s} \sum_{m=0}^{N-1} h_l h_m A_{T_s}(\tau+(l-m)T_s) \\
 &= \sum_{l=0}^{N-1} S_l(\tau),
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기에서 τ 는 수신된 BOC 신호와 수신기에서 발생된 BOC 신호 간의 시간차, $S_l(\tau) = \frac{P}{NT_s} \sum_{m=0}^{N-1} h_l h_m A_{T_s}(\tau+(l-m)T_s)$ 은 l 번째 부상관 함수, $A_x(\tau)$ 는 높이 x , 넓이 x^2 의 삼각 함수이다. 식 (3)으로부터 BOC 자기상관함수는 N 개의 톱니 모양의 부상관함수들의 합으로 구성되는 것을 알 수 있으며, 이 때문에 다수의 주변 칩두를 지너 동기화를 어렵게 한다.

[3]에서는 $xy \leq 0$ 일 때 $|x| + |y| - |x-y| = 0$ 임을 이용하여 부상관 함수들을 다음과 같이 재조합함으로써 주변 칩두가 완벽히 제거된 새로운 상관함수를 제안하였다.

$$R_{proposed}(\tau) = R_0(\tau) + \sum_{l=1}^{N-2} |S_l(\tau)| + R_0(\tau) - |S_l(\tau) - R_0(\tau)|, \tag{4}$$

여기에서 $R_0(\tau) = |S_0(\tau)| + |S_{N-1}(\tau)| - |S_0(\tau) - S_{N-1}(\tau)|$ 이다.

III. 시물링크 기반 시뮬레이터

본 장에서는 시물링크를 이용하여 [3]의 기법을 구현한다. 우선 시물링크 시뮬레이터 구현에 앞서 [3]의 기법을 작업흐름도로 나타내면 그림 1과 같다. 수신기가 BOC 신호를 수신하면 시뮬레이터의 동작이 시작된다. BOC 신호를 성공적으로 수신하였을 경우, 수신기에서는 부상관함수들을 생성하고, 이를 이용하여 우선 $R_0(\tau)$ 를 생성한다. 다음으로는 $R_0(\tau)$ 와 부상관함수들을 결합하여 상관함수 $R_{proposed}(\tau)$ 를 생성한다. $R_{proposed}(\tau)$ 를 이용하여 동기화 과정이 이루어지며, 동기화가 이뤄지지 않았을 경우, 신호의 위상을 업데이트하여 위의 과정들을 반복한다.

다음으로는 시물링크 시뮬레이터에 대해 설명한다. 본 논문에서는 설명의 편의를 위하여 BOC_{sin}(2n,n) 신호에 대한 시뮬레이터만 소개한다. 그림 2는 시뮬레이터의 전체 구조를 보여준다. 송신부에서는 PRN 신호와 BOC_{sin}(2n,n)을 위한 부반송파를 결합하여 BOC_{sin}(2n,n)신호를 만든 뒤 전송한다. 수신부에서는 BOC_{sin}(2n,n)신호를 수신하여 부상관함수 S0, S1, S2, S3를 만든 후, 이들을 이용하여 새로운 상관함수 R_{proposed}를 만든다.

그림 3은 Subcorrelation 블록의 내부 구조를 보여주고 있다. Gen sub BOC 블록에서는 PRN 신호를 이용하여 수신기 생성신호 L0, L1, L2, L3를 만든다. L0, L1, L2, L3 신호는 식 (3)의 각 적분 시간에 따라 수신기에서 생성할 BOC_{sin}(2n,n) 신호를 분할하여 각각 생성한 것이다. 이 신호들과 수신된 BOC 신호의 상관 과정을 통해 부상관함수 S₀, S₁, S₂, S₃를 만든다. 그림 3에서 Subcorrelation Gen 블록이 이러한 기능을 수행한다.

그림 4는 [3]의 기법의 핵심인 식 (4)의 과정을 수행하는 블록의 내부 구조이다. 그림에서 보는 바와 같이 단순한 사칙연산 및 절댓값 연산 블록을 $(|a| + |b| - |a-b|)$ Calculation 블록) 통해 새로운 상관함수를 구현한다.

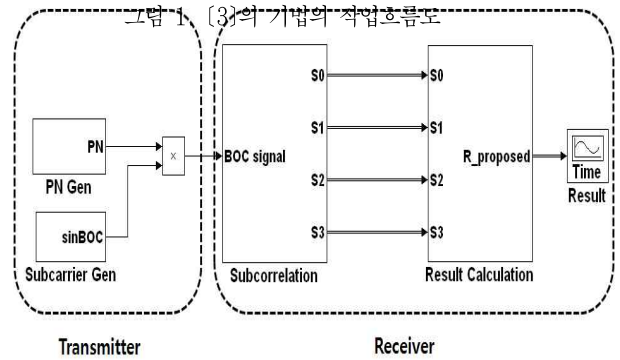
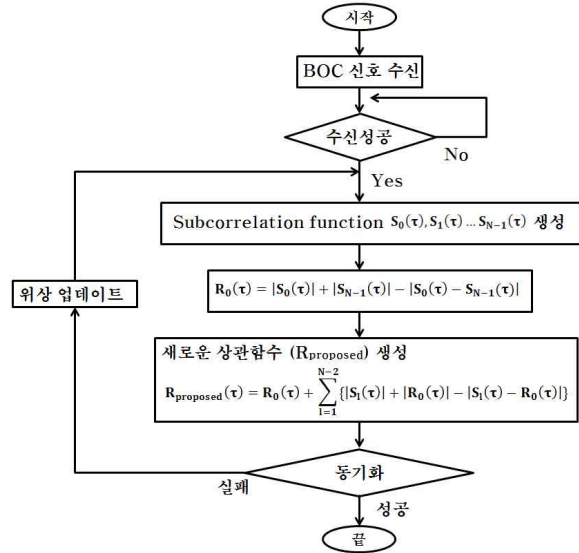


그림 2. 전체 시스템의 구조

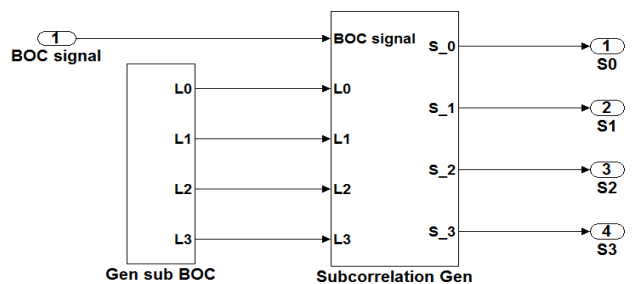


그림 3. Subcorrelation 블록의 내부 구조

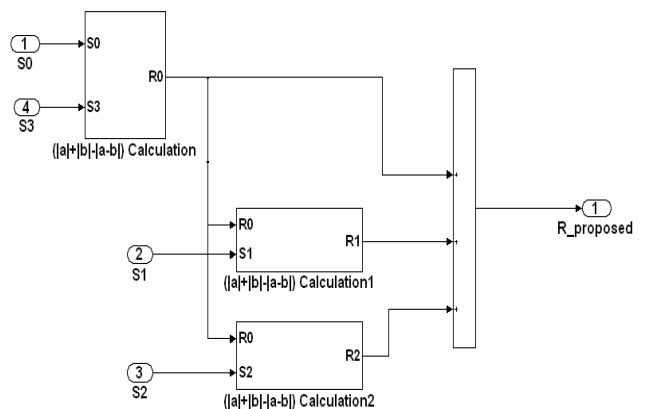


그림 4. Result Calculation 블록의 내부 구조

출원일: 2011년 7월 19일, 출원국가: 대한민국.

[4] 염인철, 임성혁, 지규인, 고선준, "Simulink를 이용한 단채널 GPS/GALILEO 시뮬레이터 구현," *한국항공우주학회지*, 제 36권, 제 6호, 608-615쪽, 2008년 6월.

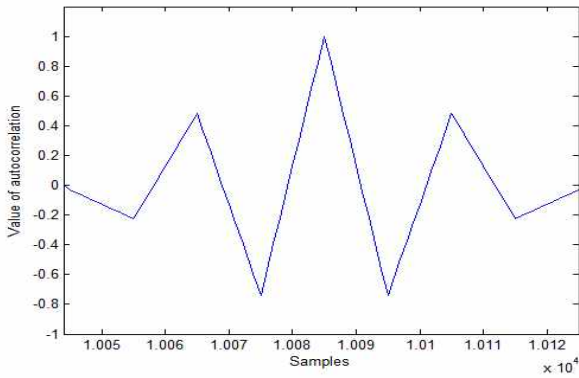


그림 5. $BOC_{\sin}(2n, n)$ 신호의 자기상관 함수

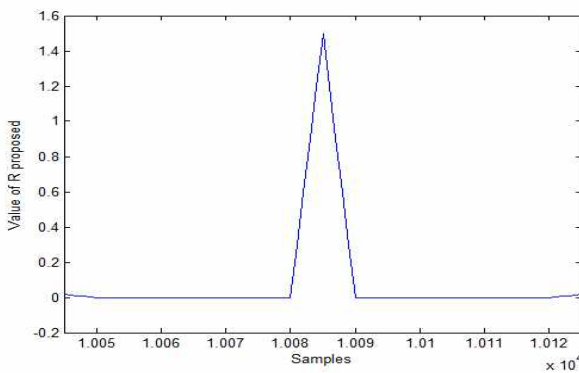


그림 6. [3]의 기법에서 제안한 상관함수

IV. 결론

본 논문에서는 BOC 신호의 정확한 동기화를 위해 제안된 [3]의 기법을 시뮬링크 기반 시뮬레이터로 구현하였다. 시뮬링크를 이용하여 BOC 신호 생성 블록, 부상관함수 생성 블록, 새로운 상관함수를 생성 블록을 각각 구현하였으며 이들 각각의 동작 과정을 설명하였다. 또한 시뮬링크 기반 시뮬레이터를 통해 생성한 새로운 상관함수가 주변 침투를 갖지 않으며 주 침투의 크기가 더 커지는 것을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2011년도 정부의 (교육과학기술부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업과 (No. 2011-0002915) 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 (NIPA-2011-C1090-1121-0007) 연구 결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] J. A. Avila-Rodriguez, "On generalized signal waveforms for satellite navigation," Ph. D. dissertation, Dept. Aerospace Engineer., University of Munich, Munich, Germany, 2008.
- [2] O. Julien, C. Macabiau, M. E. Cannon, and G. Lachapelle, "ASPeCt: unambiguous sine-BOC(n,n) acquisition/tracking technique for navigation application," *IEEE Trans. Aer., Electron. Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 150-162, Jan. 2007.
- [3] 이영포, 정다해, 김준환, 강승구, 윤석호, "주변 침투가 제거된 상관함수 생성 방법 및 BOC 신호 추적 시스템," 출원번호: 10-2011-0071323,