

## 시뮬링크 기반의 대역확산 시스템 시뮬레이터 구현

정승재, 박종인, 윤석호<sup>†</sup>, \*김영주, \*\*김광순, \*\*\*최조천, \*이연우, \*이성로

성균관대, \*목포대, \*\*연세대, \*\*\*목포해양대

<sup>†</sup> 교신저자 (syoon@skku.edu)

## Implementation of Simulink-Based Spread Spectrum System Simulator

Seung Jae Jung, Jong In Park, Seokho Yoon<sup>†</sup>, \*Yeong Ju Kim, \*\*Kim Kwang Soon, \*\*\*Jo Chun Choi, \*Yeon Woo Lee, \*Seong Ro Lee

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

<sup>†</sup> Corresponding author (syoon@skku.edu)

### 요약

본 논문에서는 BOC 신호의 정확한 동기화를 위해 제안된 [3]의 기법을 시뮬링크 기반 시뮬레이터로 구현하였다. 시뮬링크를 이용하여 BOC 신호 생성 블록, 부상관함수를 생성하는 블록, 새로운 상관함수를 생성하는 블록을 구현하였으며 이들 각각의 동작 과정을 설명하였다. 또한 시뮬링크 기반 시뮬레이터를 통해 생성한 새로운 상관함수가 주변 침투를 갖지 않음을 보였다.

### I. 서론

대역 확산 (spread spectrum: SS) 기술은 재밍 및 다중 경로 간섭에 강한 특성 때문에 부호 분할 다중 접속, 무선 랜, 위성 항법 시스템 등 많은 통신 시스템에 사용되고 있다. SS 시스템에서는 데이터의 복조를 위해 우선 수신 신호와 수신기에서 생성된 신호 간의 동기화가 이루어져야 하므로 신호 동기화는 SS 시스템의 중요한 기술적 이슈 중 하나이다 [1].

SS 기술 기반의 여러 시스템 중 Galileo 위성 시스템에서는 global positioning system과의 (GPS) 호환성 유지를 위해 SS 신호에 부반송파 신호를 결합한 이진 오프셋 반송파 (binary offset carrier: BOC) 변조 방식을 채택하여 사용 중이다 [2]. BOC 신호는 GPS 신호와의 대역 분리가 가능하면서도 GPS 신호에 비해 높은 측위 정확도를 갖는다는 장점이 있으나, 상관함수가 주변 침투를 갖는 특성 때문에 동기화가 쉽지 않다는 단점이 있다 [3]. 이러한 BOC 신호 동기화의 단점을 해결하기 위해 [3]에서는 BOC 신호와 부반송파 신호들과의 상관과정을 통해 여러 부상관함수들을 생성한 뒤, 부상관함수들의 재조합을 통해 주변 침투가 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.

본 논문에서는 [3]의 기법을 시뮬링크 기반 시뮬레이터로 구현한다. 시뮬링크는 실제 통신 시스템과 매우 유사하게 각 처리 과정을 블록 별로 구성할 수 있으며, 동적 시뮬레이션이 가능하고 실제 하드웨어 시스템에 바로 적용할 수 있다는 장점이 있다. [3]의 기법을 시뮬링크 기반 시뮬레이터로 구현한 뒤, 시뮬레이터를 이용하여 얻은 상관함수가 주변 침투를 갖지 않음을 보인다.

### II. 주변 침투 제거 기법

BOC 신호는 어떤 부반송파를 사용하는가에 따라  $BOC_{\sin}(kn, n)$  또는  $BOC_{\cos}(kn, n)$ 로 구분된다.  $k$ 와  $n$ 은 각각 의사랜덤잡음 (pseudo random noise: PRN) 부호 주기와 반송파 주기 간의 비, PRN 부호의 칩률

과 1.023 MHz 간의 비를 의미한다. BOC 신호 모형은 다음과 같다.

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

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  $s(t)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$s(t) = \begin{cases} \sum_{u=0}^{2k-1} (-1)^u p_{T_s}(t - iT_c - uT_s), \\ \text{for } BOC_{\sin}(kn, n), \\ \sum_{u=0}^{4k-1} (-1)^{\lfloor u/2 \rfloor} p_{T_s/2}(t - iT_c - uT_s/2), \\ \text{for } BOC_{\cos}(kn, n), \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $T_s = T_c/2k$ 는 부반송파 펄스 주기이며,  $p_{T_s}$ 는  $[0, T_s]$  주기를 갖는 부반송파의 파형,  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 보다 작지 않은 최소 정수를 의미한다. 본 논문에서는 신호 획득에 초점을 맞추기 때문에 데이터는 변조되지 않았다고 가정한다 ( $d_{\lfloor iT_c/T \rfloor} = 1$ ). 신호 획득의 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 같이 얻을 수 있다.

$$R_{\sin}^k(\tau) = \frac{1}{PT} \int_0^T b(t-\tau)b(t)dt \\ = \sum_{u=0}^{2k-1} \frac{1}{T} \sum_{v=0}^{2k-1} (-1)^{u+v} A_{T_s}(\tau - (u-v)T_s), \quad (3)$$

$$R_{\cos}^k(\tau) = \sum_{u=0}^{4k-1} \frac{1}{T_c} \sum_{v=0}^{4k-1} (-1)^{\lceil u/2 \rceil + \lceil v/2 \rceil} \cdot A_{T_s/2}(\tau - (u-v)T_s/2) \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서  $\tau$ 는 수신된 BOC 신호와 수신기에서 발생된 BOC 신호 간의 시간차,  $A_x(\tau)$ 는 다음과 같이 정의되는 높이  $x$ , 넓이  $x^2$ 의 삼각 함수이다.

$$A_x(\tau) = \begin{cases} x - |\tau|, & |\tau| \leq x, \\ 0, & \text{그 외의 경우.} \end{cases} \quad (5)$$

식 (3)의  $\frac{1}{T_c} \sum_{v=0}^{2k-1} (-1)^{u+v} A_{T_s}(\tau - (u-v)T_s)$  부분은 부상관함수

$R_{\sin}^{k,u}(\tau)$ 로 표기하며 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{\sin}^{k,u}(\tau) &= \frac{1}{T_c} \sum_{v=0}^{2k-1} (-1)^{u+v} A_{T_s}(\tau - (u-v)T_s) \\ &= \sum_{l=0}^{L-1} \frac{1}{PT} \int_{(2kl+u-1)T_s}^{(2kl+u)T_s} b(t-\tau)b(t) dt. \end{aligned} \quad (6)$$

이와 비슷하게 식 (4)의  $\frac{1}{T_c} \sum_{v=0}^{4k-1} (-1)^{\lceil u/2 \rceil + \lceil v/2 \rceil}$

$A_{T_s/2}(\tau - (u-v)T_s/2)$  부분은 부상관함수  $R_{\cos}^{k,u}(\tau)$ 로 표기하며 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$R_{\cos}^{k,u}(\tau) = \sum_{l=0}^{L-1} \frac{1}{PT} \int_{(4kl+u-1)T_s/2}^{(4kl+u)T_s/2} b(t-\tau)b(t) dt, \quad (7)$$

여기서  $L$ 은  $T_c$ 로 정규화 된 상관 길이로 주파수 오차, 데이터 변조 때문에 일반적으로는 PRN 부호 주기와 같거나 작게 설정된다. [3]에서는 이러한 부상관함수들을 다음과 같이 재조합함으로써 주변 침투가 완벽히 제거된 새로운 상관함수를 제안하였다.

$$R_{\sin}^{k,pro}(\tau) = |R_{\sin}^{k,0}(\tau)| + |R_{\sin}^{k,2k-1}(\tau)| - |R_{\sin}^{k,0}(\tau) - R_{\sin}^{k,2k-1}(\tau)|, \quad (8)$$

$$R_{\cos}^{k,pro}(\tau) = |R_{\cos}^{k,0}(\tau)| + |R_{\cos}^{k,4k-1}(\tau)| - |R_{\cos}^{k,0}(\tau) - R_{\cos}^{k,4k-1}(\tau)|. \quad (9)$$

### III. 시뮬링크 기반 시뮬레이터

본 장에서는 [3]의 기법을 시뮬링크를 이용하여 구현한다. 설명의 편의를 위하여  $BOC_{\sin}(2n, n)$  신호에 대한 시뮬레이터만 소개한다. 시뮬레이터의 송신부에서는 그림 1에서처럼  $BOC_{\sin}(2n, n)$  신호를 생성한다. PRN sequence generator에서는 1, 0으로 구성된 PRN 수열이 생성되며 이는 lookup table을 거치면서 1, -1로 구성된 PRN 신호로 변환된다. 이후, PRN 신호와 사각 부반송파가 결합되어  $BOC_{\sin}(2n, n)$  신호가 생성된다.

그림 2는 시뮬레이터의 수신부 중 부상관함수를 생성하는 블록도를 보여준다. 우선 pulse generator와 delay 유닛들을 이용하여 수신기 생성 신호 L0, L1, L2, L3를 만든다. L0, L1, L2, L3 신호는 수식 (6)의 각 적분 시간에 따라 수신기에서 생성할  $BOC_{\sin}(2n, n)$  신호를 분할하여 각각 생성한 것이다. 이렇게 생성된 L0, L1, L2, L3 신호들은 correlator 0, correlator 1, correlator 2, correlator 3에서 수신된 BOC 신호와 각각 상관과정을 거치게 되며, correlator 0, correlator 1, correlator 2, correlator 3에서는 각각 부상관함수  $R_{\sin}^0, R_{\sin}^1, R_{\sin}^2, R_{\sin}^3$  이 생성된다.

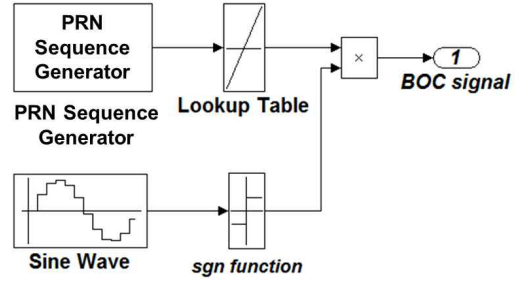


그림 1.  $BOC_{\sin}(2n, n)$  신호를 생성하는 송신부 블록도

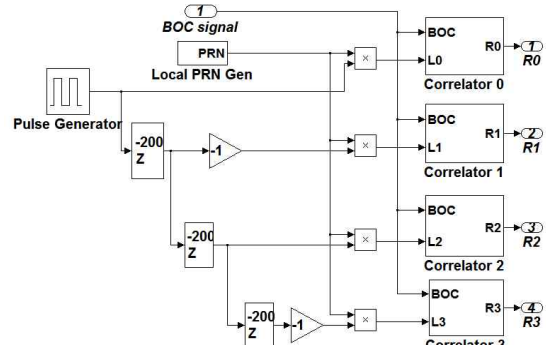


그림 2. 부상관함수를 생성하는 블록도

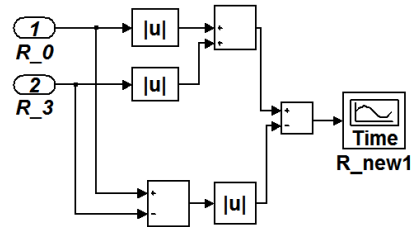
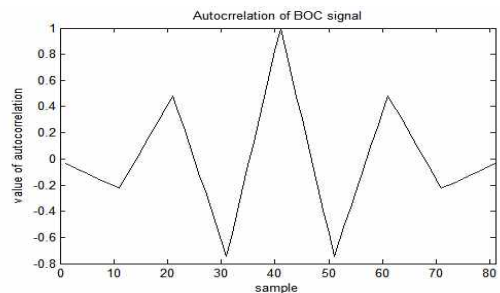
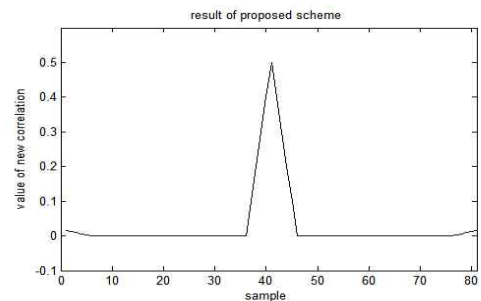


그림 3. 새로운 상관함수를 생성하는 블록도



(a)  $BOC_{\sin}(2n, n)$ 의 자기상관함수



(b) [3]기법을 통해 생성된 새로운 상관함수

그림 4.  $BOC_{\sin}(2n, n)$ 의 자기상관함수와 [3]기법을 통해 생성된 새로운 상관함수

그림 3에서는 [3]의 기법에 따라 새로운 상관함수를 생성하는 블록도를 보여준다. 수식 (8)에 따라서 앞에서 생성된 부 상관함수  $R_{\sin}^0, R_{\sin}^3$  를 재 조합하여 주변 침투를 갖지 않는 새로운 상관함수를 생성한다. 그림 4는  $\text{BOC}_{\sin}(2n, n)$ 의 상관함수와 [3]의 기법을 통해 생성된 새로운 상관함수를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 시뮬링크 시뮬레이터를 통해 생성한 새로운 상관함수가 주변 침투를 가지지 않는 것을 확인할 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 BOC 신호의 정확한 동기화를 위해 제안된 [3]의 기법을 시뮬링크 기반 시뮬레이터로 구현하였다. 시뮬링크를 이용하여 BOC 신호 생성 블록, 부상관함수를 생성하는 블록, 새로운 상관함수를 생성하는 블록을 구현하였으며 이들 각각의 동작 과정을 제시하였다. 또한 시뮬링크 기반 시뮬레이터를 통해 생성한 새로운 상관함수가 주변 침투를 갖지 않음을 보였다.

#### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2011-0002915)과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업(NIPA-2011-C1090-1121-0007)의 연구 결과로 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. Yoon, S. C. Kim, J. Heo, I. Song, and S. Y. Kim, "Twin-cell detection (TCD): a code acquisition scheme in the presence of fractional Doppler frequency offset," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 4, pp. 1797-1803, May 2009.
- [2] J. A. Avila-Rodriguez, "On generalized signal waveforms for satellite navigation," Ph.D. dissertation, Dept. Aerospace Engineer., University of Munich, Munich, Germany, 2008.
- [3] S. Kim, S. Yoo, S. Yoon, and S. Y. Kim, "A novel unambiguous multipath mitigation scheme for  $\text{BOC}(kn, n)$  tracking in GNSS," *Proc. 7th IEEE Int. Symp. App. Internet (SAINT)*, pp. 57-60, Hiroshima, Japan, Jan. 2007.