

# LUT를 이용한 실시간 GNSS SDR의 Galileo E1B 수신 채널 개수 향상 기법 구현

박종일, 박찬식

충북대학교 제어로봇공학

whddlf915@naver.com, chansp@cbnu.ac.kr

## Implementation of the Method to Increase Number of Galileo E1B Receive Channel for Real-time GNSS SDR using LUT

Park Jong-Il, Park Chansik

Chungbuk National University

### 요약

실시간 GNSS SDR은 Galileo E1B 신호를 실시간으로 수신하여 수신기의 위치를 구한다. 위치 해는 수신하는 위성 개수가 증가할수록 정밀한 결과를 가진다. 하지만 구현된 SDR은 실시간으로 Galileo E1B 신호를 수신하는 채널수에 제한이 있다. 본 논문에서는 실시간으로 수신할 수 있는 Galileo E1B 신호의 채널 개수를 향상하기 위해 LUT를 사용한다. LUT를 이용한 실시간 신호추적 구조와, 부반송파의 LUT 생성방식을 기존 구현된 SDR에 적용하여 성능을 확인한다. 실시간으로 동작하기 위해 신호추적 시간은 1ms내에 동작하여야 하며, 1ms를 기준으로 몇 개 채널의 Galileo E1B 신호를 수신 했는지 LUT 적용 전후를 비교 분석했다. LUT를 적용 했을 때 실시간으로 수신할 수 있는 채널의 수가 기존 방법보다 6개 더 증가해 성능이 향상됨을 확인했다.

### I. 서론

Software Defined Radio(SDR)은 대부분의 신호처리를 소프트웨어에서 수행하기 때문에, 하드웨어 수신기보다 신호처리 구조를 쉽게 변경할 수 있다. 이러한 특징으로 다양한 통신시스템의 프로토타입으로 SDR을 사용한다. 센서 및 항법 연구실은 실시간 Global Navigation Satellite System (GNSS) SDR을 구현했다[1,2]. GNSS SDR은 4개 이상의 위성 신호를 이용해 수신기의 위치 해를 계산하며, 위치 해는 수신하고 있는 위성 채널 개수가 증가함에 따라 정밀하고 가용성이 향상된다[3].

$$S_{E1B}(t) = (\sin(2\pi f_{RF})C_{E1B}(t)D(t)(\alpha sc_{E1B,1}(t) + \beta sc_{E1B,2}(t)))$$

$$sc_{E1B,i} = \text{sign}(\sin(2\pi f_i t)), \alpha = \sqrt{10/11}, \beta = \sqrt{10/11} \quad (1)$$

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

기존 구현된 실시간 GNSS SDR은 GPS L1 C/A, EDS B1I, Galileo E1B GLONASS L1 신호를 수신한다. 그 중 Galileo E1B는 다른 GNSS 신호와 다르게 식 1과 같이 코드( $C_{E1B}(t)$ )와 데이터( $D(t)$ ), 반송파( $\sin(2\pi f_{RF}t)$ ), 두 개의 부반송파( $\alpha sc_{E1B,1}(t) + \beta sc_{E1B,2}(t)$ )의 합으로 구성된다[4]. 따라서 Galileo E1B 신호는 다른 GNSS 신호와 다르게 부반송파를 제거해야하기 때문에 신호추적시간이 오래 걸린다. 신호 추적 시간이 증가함에 따라 GNSS SDR에서 실시간으로 수신할 수 있는 위성 채널의 수가 감소한다. 본 논문에서는 실시간으로 수신할 수 있는 Galileo E1B 채널수를 향상하기 위해 Look Up Table(LUT)를 이용했다. Galileo E1B의 부반송파를 LUT를 만들어 사용했으며, LUT를 기존 구현된 GNSS SDR에 적용하여 성능을 평가했다.

### II. LUT를 사용한 신호 추적 구조

그림 2.(a)는 기존 GNSS SDR의 Galileo E1B 신호 추적 구조를 나타낸다. 신호 추적 구조는 실시간 동작을 위해 GPS의 신호 주기인 1ms 내로 신호생성 및 상관을 모두 수행해야 한다. 따라서, 식 1의  $D(t)$ 를 얻기 위해 1ms 내로 실시간으로 수신된 신호와 같은 반송파와 코드, 부반송파를 생성하고 상관을 수행해야 한다. GPS L1 C/A, BDS B1I, GLONASS L1와 같이 부반송파를 포함하지 않는 신호보다 두 개의 부반송파를 포함한 Galileo E1B 신호를 생성하는 시간이 오래 걸린다. 결과적으로 신호의 생성시간이 길어진 시간만큼 1ms내에 수신할 수 있는 위성 신호 개수는 줄어든다.

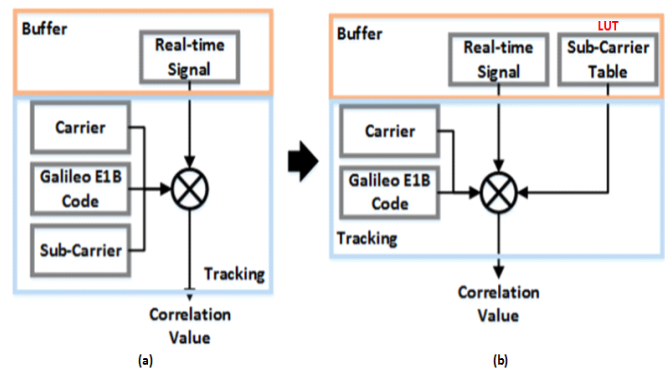


그림 1 GNSS SDR의 신호추적 구조 (a) 기존 신호추적 구조 (b) 제안하는 구조

실시간으로 수신할 수 있는 Galileo E1B 신호의 개수를 늘이기 위해 그림 2.(b)와 같이 LUT를 사용한 신호추적 구조를 제안한다. 부반송파 LUT는 초기 SDR 동작 생성되어 buffer에 저장된다. 저장된 LUT는 신호 추적 시에 레플리카 신호 생성하는데 사용된다. 부반송파 생성으로 증가

하는 연산시간을 미리 생성해 놓은 부반송파의 LUT를 이용해 감소시킨다. 제안하는 구조를 사용해 GPS L1 C/A, GLONASS L1, BDS BII과 같이 부반송파를 사용하지 않는 신호와 같은 생성 시간을 갖게 된다.

### III. LUT 생성 및 사용 방식

부반송파의 LUT는 두 가지를 고려해 생성해야한다. 첫째, SDR의 표본화 주파수에 따라 달라진다. 생성되는 LUT의 배열 크기는 SDR의 표본화 주파수에 따라 달라진다. 신호추적 구조는 1ms 길이의 신호를 이용해 레플리카를 생성하고 실제 신호와 상관을 수행한다. 이 때 필요한 데이터 배열 크기는 1ms 만큼의 표본화 샘플 데이터가 필요하다. 만약 SDR의 표본화 주파수가 50Msps 이면 1ms의 길이인 50k의 크기를 갖는 LUT가 생성된다. 둘째, 부반송파 주파수에 맞게 생성해야 한다. Galileo E1B는  $f_1$ 은 1.023MHz,  $f_2$ 는 6.128MHz인 두 개의 부반송파의 합으로 구성된 신호다. Galileo E1B 신호의 부반송파를 생성하려면 각각의 부반송파의 주파수에 맞게 생성해야 하며, 각 부반송파 주파수의 LUT를 합해야한다.

$$\Delta f_{sample} = \frac{f_{sample} \times f_{Dopp.}}{f_{RF}} \quad (2)$$

실제 Galileo E1B 신호는 위성 또는 사용자의 움직임에 따라 도플러 주파수가 발생한다. 도플러 주파수의 영향으로 Galileo E1B 신호의 반송파 주파수와 부반송파 주파수가 변한다. 이에 따라 1ms 길이의 신호를 나타내는 표본화 개수도 식 2와 같이 달라진다.  $\Delta f_{sample}$ 은 도플러 주파수인  $f_{Dopp.}$ 의 크기에 따라 변화하는 표본화 주파수 변화율을 나타낸다. 이는 표본화 주파수가 50Msps 이면 초당 50M의 표본화 개수로 1초의 신호를 생성하는데, 도플러 주파수로 1초 길이의 신호는  $50M + \Delta f_{sample}$ 개의 표본화 개수로 신호를 생성해야함을 나타낸다.

$$idx_{sample}(t_{sample}) = ceil(\frac{f_{sample} \times \Delta f_{sample}}{f_{sample}} t_{sample}) \quad (3)$$

신호추적 구조에서 도플러 주파수가 없는 환경에서 부반송파를 생성할 때 LUT에 저장된 것을 그대로 가져오면 된다. 하지만 도플러 주파수로 인해 1ms당 생성해야하는 표본화 개수가 변화하면서 이를 고려해 LUT를 사용해야 한다. LUT는 초기에 1ms 길이의 표본화 개수만큼 생성이 되어 있다. 이를 변한 표본화 개수에 맞춰 식 3과 같이 인덱스를 설정해야 한다.  $idx_{sample}$ 은 LUT에서 가져와야할 인덱스 번호를 나타내며,  $t_{sample}$ 은 도플러 주파수로 변경된 표본화의 인덱스 번호를 나타낸다.  $ceil$ 은 소수점 자리를 올려주는 역할을 한다. 각 표본의 부반송파 신호는  $idx_{sample}$ 에 맞추어 생성된다.

### IV. 구현 및 동작 결과

GNSS SDR은 Visual studio 2013의 c++ 언어를 사용해 구현했으며 신호 추적부는 NVIDIA의 CUDA 라이브러리를 사용해 구현했다. 실시간으로 신호처리를 하기 위해 연산부분으로 Intel Core i7-4960X 3.6GHz의 CPU를 사용했으며, CUDA를 사용하기 위해 NVIDIA Geforce GTX TITAN을 사용했다. 실험에 사용한 데이터는 충북대학교 옥상에서 얻은 실제 신호를 사용했으며, IF 주파수는 8.42MHz, 신호의 bit는 32bit (real-16bit, imag-16bit)를 사용했다.

그림 2는 신호추적부의 신호 생성과 상관시간을 보여준다. 그림 2.(a)는 기존의 Galileo E1B 신호 추적 동작시간이고, 그림 2.(b)는 LUT를 적용한 신호추적 동작 시간을 나타낸 결과 그래프다. 0.7ms에 빨간 선으로 그려진 부분이 실시간 동작을 위한 최대 동작시간이다. 현재 나타낸 그래프에는 도플러 주파수를 갱신해주는 Phase Lock Loop(PLL)과 Delay Look Loop(DLL) 동작시간이 포함되지 않는다. 그림 2.(a)에서 실시간으로 추적할 수 있는 Galileo E1B의 최대 채널 개수는 8개 이고, 그림 2.(b)에서는 최대 14개 까지 가능하다. LUT를 적용했을 때 기존보다 6개 많은 위성신호를 실시간으로 획득 가능하다.

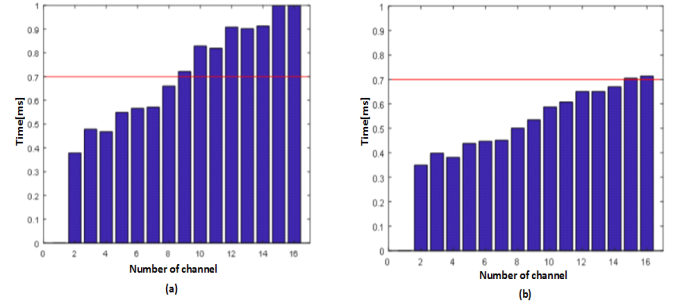


그림 2 신호처리 동작시간 결과 (a) 기존 신호추적 (b) LUT 적용

### IV. 구현 및 동작 결과

본 논문에서는 LUT를 이용해 Galileo E1B 신호의 수신채널 개수 향상 기법을 구현했다. 수신채널 향상 기법을 사용하기 위한 신호 추적 구조를 설계 및 구현 했고, Galileo E1B에 포함된 부반송파 신호를 SDR 동작 초기에 LUT로 만들어 사용했다. 도플러 주파수에 따라 바뀌는 표본화 개수를 고려하여 LUT를 사용했다. 기존 충북대 센서 및 항법 시스템 연구실에서 구현한 GNSS SDR에 LUT를 적용하여 실험을 진행했다. 실험 결과 LUT를 사용했을 때 기존의 수신기법 보다 6개 더 많은 채널을 실시간으로 수신했다. 이로 인해 기존보다 더 정밀한 위치 해를 얻을 수 있다. 본 논문에서 제안하는 구조는 Galileo E1B 뿐만 아니라 부반송파를 포함하는 다른 GNSS 신호에도 적용할 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 산업통상자원부 ‘산업전문인력역량강화사업’의 재원으로 한국산업기술평화진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2020년 임베디드SW 전문인력 양성사업. 과제번호 : N0001884)

### 참 고 문 헌

- [1] K.W. Park, J. Yang, C. Park "A Design and Implementation of Software Defined Radio for Rapid Prototyping of GNSS Receiver," Journal of Positioning, Navigation, and Timing, pp. 189-204.
- [2] Park K. W., Yang J. S., Lee M. J., Park C., "Implementaion of GPGPU based real-time signal acquisition and tracking module for multi-constellation GNSS software receiver", ION GNSS+ 2014, Tempa, Florida, September 8-12, pp. 1410-1416.
- [3] Kaplan E. D., Hegarty C. J. "Understanding GPS/GNSS Principles and Applications, 3rded. (Boston:ArtechHouse)". pp. 1-87.
- [4] European Union. "European GNSS(Galileo) Open Service : Signal In Space Interface Contral Document", 2010.