

Design of a Software-Based RNSS Signal Simulator for a New Signal

Gwang Hee Jo¹, Jae Hee Noh¹, Sung Chun Bu², Yo Han Ko², Chansik Park³, Sang Jeong Lee^{1†}

¹Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²LIG Nex1, Seongnam, Kyenggi-do 13488, Korea

³Department of Control and Robotics Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

ABSTRACT

In 2021, development of a regional satellite navigation system called KPS was approved. In this regard, various studies are in progress, but there is no published signal model. So, in relation to the user segment, it is necessary to design a user receiver, but there is no information. Therefore, in this paper, we assume a signal model that can be a candidate signal for KPS based on related studies. This signal uses CNAV-2 structure navigation message, truncated Gold code and BPSK modulation. Based on this signal, a simulator is designed that can be used for receiver design later. The simulator consists of a signal generator and a signal transmitter, and is verified using a software receiver and spectrum analyzer.

Keywords: new signal, software defined radio, RF simulator

1. 서론

전역 위성 항법 시스템 (Global Navigation Satellite System, GNSS)은 위치, 항법, 시각 정보를 제공하는 중요한 원천이다. 미국과 러시아에서 시작된 이후로 유럽 연합 및 중국에서도 독자적인 항법 시스템을 구축하였고, 현대화 또는 새로운 신호를 설계하며 기존 시스템의 성능을 개선하고 있다. 한국 주변에서는 일본 및 인도가 지역 위성 항법 시스템 (Regional Navigation Satellite System, RNSS)을 개발하여 운용하고 있다. 국내에서도 독자적인 위성 항법 시스템에 대한 필요성이 지속적으로 제기되었다 (Kim et al. 2012). 그 결과 2021년에 한국형 위성 항법 시스템 (Korean Positioning System, KPS)이라 불리는 지역 위성 항법 시스템 개발이 승인되었다. 초기 KPS는 3기의 GEO와 4기의

IGSO로 구성될 것이며, 이에 따라 국내에서도 KPS 구축을 위해 다양한 연구가 진행 중이다 (Choi et al. 2020, Lim et al. 2021, Cho et al. 2021, Lee et al. 2021a,b, Han et al. 2021a,b, Shin et al. 2021a,b, Jeon et al. 2021a,b, 2022). KPS는 L1, L2, L5, L6 그리고 S 대역을 이용하여 서비스를 제공할 예정이다. 그리고 L1/L2/L5 대역에서 GPS 위성 항법 신호와 유사한 신호, L6/S 대역에서 자체적으로 설계한 신호를 방송할 것으로 예상된다 (Lim et al. 2021, Shin et al. 2021a).

위성 항법 시스템의 신호는 항법 메시지, 확산 코드, 반송파로 구성하고, 신호를 전송하기 위한 변조 그리고 다양한 서비스를 제공하기 위한 다중화를 고려하여야 한다. 항법 메시지는 구조적인 관점에서 분석하기 위한 성능 지표로 Time-To-First-Fix-Data (TTFFD)가 있다. 이러한 관점에서 항법 메시지 설계 시 고려해야 할 사항을 분석한 결과, GPS L2C 또는 L5 신호에서 사용하는 Civil Navigation (CNAV) 구조보다 GPS L1C 신호에서 사용하는 CNAV-2 구조가 새로운 위성 항법 신호에 더 적합하다는 결론을 얻었다 (Noh et al. 2020a,b). 확산 코드는 서로 다른 확산 코드 간의 최대 상호상관 전력을 최소화하는 것을 목적으로 하며, 평균 및 최대 상호상관 전력 관점에서 최적이라 알려진 골드 코드를 기반으로 구성하는 것이 일반적이다 (Kim et al. 2019). Kim et al. (2019)에 따르면 GPS L1 C/A 신호 이후에 등장한 신호는 10,230칩 길이의 확산 코드를 이용하는 추세이고, 상관 성능이 우수하며 길이가 10,230인 절단된 골드 코드 (truncated

Received Aug 26, 2022 Revised Sep 21, 2022 Accepted Sep 30, 2022

[†]Corresponding Author

E-mail: eesjl@cnu.ac.kr

Tel: +82-42-825-3991 Fax: +82-42-823-5436

Gwang Hee Jo <https://orcid.org/0000-0001-8732-9770>

Jae Hee Noh <https://orcid.org/0000-0002-6314-738X>

Sung Chun Bu <https://orcid.org/0000-0002-5133-4540>

Yo Han Ko <https://orcid.org/0000-0002-0379-9079>

Chansik Park <https://orcid.org/0000-0003-2650-4947>

Sang Jeong Lee <https://orcid.org/0000-0002-9400-5157>

Gold code)로 구성된 확산 코드 패밀리를 구성한다. 반송파는 KPS의 L6 대역 독자적인 신호를 고려하고, 1278.75 MHz로 가정한다. RNSS인 Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)와 Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS)은 민간용 신호의 변조 방법으로 BPSK, 군용 신호의 변조 방법으로 Binary Offset Carrier (BOC)를 채택하여 사용한다. 또한, Lee et al. (2021c)에서 Spectral Separation Coefficient (SSC)와 Effective Carrier to Noise Density Ratio (effective C/N0)를 분석한 결과로부터 BPSK를 이용 가능한 것을 보였다. 이러한 연구 결과로부터 CNAV-2 구조의 항법 메시지, 길이 10,230인 절단된 골드 코드, BPSK 변조도 KPS 신호의 대상이 될 수도 있다. 하지만 구체적인 채널 코딩, 확산 코드 후보가 없다. 그러므로 패리티 비트의 위치에는 랜덤 비트, 확산 코드는 GPS L5에서 사용하는 절단된 골드 코드를 이용하고, 항법 메시지는 GPS L1C 신호에서 송신한 데이터를 활용한다.

앞에서 설명한 신호는 아직 서비스를 제공하지 않는 신호이다. 그러므로 실제 신호를 이용하여 수신 및 신호 처리를 할 수 없다. 따라서 다양한 시나리오에 대해서 성능을 평가하기 위해서는 시뮬레이터를 설계해야 할 필요가 있다. 시뮬레이터를 활용하면 다양한 환경을 가정할 수 있고, 실험실 시험 (laboratory test)에서 이론적으로 얻을 수 있는 최고의 조건 또는 실제 상황에서 발생할 수 있는 최악의 조건 등을 시험할 수 있다. 그리고 다양한 조건에서 오차 요소 (다중 경로, 이온층 지연, 전리층 지연, 위성 궤도 오차 등)를 선별하여 반영하고, 수신기 설계에 활용할 수 있다. 동일한 조건에서 여러 번 반복할 수 있으므로 GNSS 분야 연구에서 중요하고, 효율적인 도구이다 (Yin et al. 2009). 시뮬레이터를 설계하기 위한 접근 방법은 아날로그 시뮬레이터, 디지털 시뮬레이터, 소프트웨어 정의 라디오 (Software Defined Radio, SDR) 기반의 시뮬레이터로 분류한다 (Elango & Sudha 2016). 이러한 시뮬레이터에 대한 설명은 Hein et al. (2006)과 Elango & Sudha (2016) 등을 참고할 수 있고, 요약하면 다음과 같다. 아날로그 시뮬레이터 또는 디지털 시뮬레이터는 하드웨어 기반으로 각 채널들을 재설정할 수 없다. 그러므로 새롭게 등장하는 GNSS 신호에 유연하게 대응하기 어렵다. 하지만 SDR 기반의 시뮬레이터는 소프트웨어 기반으로 대상 신호를 변경하기에 용이하다. 따라서 연구 목적의 시뮬레이터는 추후에 공개될 신호 구조에 맞게 변경하기 쉽고, 유연성 (flexibility)이라는 장점이 있는 SDR 기반의 시뮬레이터로 설계하는 것이 합리적이다.

본 논문에서는 앞에서 설명한 내용을 기반으로 하여, KPS에서 민간용 신호로 가능성이 있는 신호에 대하여 SDR 기반의 RNSS 신호 시뮬레이터를 설계한다. 이 시뮬레이터는 IF 데이터 생성을 위한 소프트웨어 기반 신호 생성기와 Radio Frequency (RF) 신호 송신을 위한 신호 송신기로 구성한다. 신호 송신기는 National Instruments (NI)사의 Universal Software Radio Peripheral (USRP)를 이용하고, 신호 생성기의 출력인 IF 데이터를 이용하여 RF 신호를 송신한다. 이러한 SDR 기반 시뮬레이터의 장점은 구조 변경(reconfiguration)이 용이하다는 점이다. 하지만, LabVIEW 프로그램을 이용하여 USRP를 제어하고, 신호 생성 및 송신을 실시간으로 수행하기에는 연산량이 많이 요구된다. 따라서 신호 생성을 먼저 한 다음 송신하는 후처리 방식을 채택하였

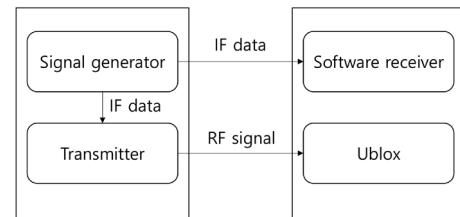


Fig. 1. GPS L1 C/A signal simulator.

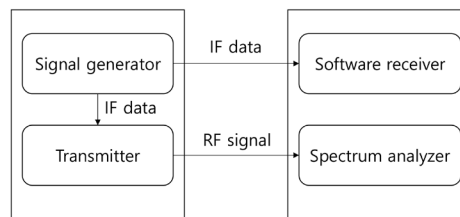


Fig. 2. New RNSS signal simulator.

다. 선행 결과로 Fig. 1과 같이 Noh et al. (2022)에서 설계한 GPS L1 C/A 신호 시뮬레이터가 있다. 이 논문은 선행 결과를 기반으로 신호 생성기의 기능을 확장하여 새로운 RNSS 신호에 활용 가능하도록 다양한 대역에서 다양한 신호를 송신할 수 있도록 한다. 시뮬레이터를 검증하기 위한 방법은 다음과 같다. Fig. 1과 같이 GPS L1 C/A 신호를 대상으로 한 시뮬레이터는 소프트웨어 수신기와 ublox 수신기를 이용하여 신호 생성기 및 송신기를 각각 검증하였다. 이 논문에서 고려하는 신호는 수신할 수 있는 하드웨어 수신기가 존재하지 않는다. 따라서 Fig. 2와 같이 구성하고, 스펙트럼 분석기를 이용하여 검증하는 것으로 대체한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 새로운 RNSS 신호를 대상으로 설계한 시뮬레이터에 대하여 설명하고, 3장에서 설계한 시뮬레이터의 검증 결과에 대하여 설명한다. 마지막으로 4장은 결론이다.

2. SDR 기반의 새로운 RNSS 신호 시뮬레이터 설계

2.1 신호 모델

이 논문에서 고려하는 새로운 RNSS 신호의 모델은 서론에서 설명한 내용을 기반으로 하고, 데이터 채널과 파일럿 채널로 구성한다. 데이터 채널은 데이터와 확산 코드로 이루어져 있으며, 파일럿 채널은 계층 코드를 채택하여 확산 코드로만 이루어져 있다. 이를 정리하면 식 (1)과 같다.

$$s(t) = \sqrt{PD}(t-\tau)C_d(t-\tau)\cos(2\pi ft + \theta) + \sqrt{PC_s}(t-\tau)C_p(t-\tau)\sin(2\pi ft + \theta) \quad (1)$$

여기서 P 는 신호 전력, θ 는 항법 메시지이다. $C_d(t-\tau)$ 는 데이터 채널의 확산 코드, $C_p(t-\tau)$ 와 $C_s(t-\tau)$ 는 파일럿 채널의 계층 코드를 구성하는 주 코드와 부 코드이다.

신호 전력은 각 채널에 별도로 정의하고, 서로 다른 전력을 할당할 수 있다. 하지만 이 논문은 전력 비율에 따른 성능 분석 또

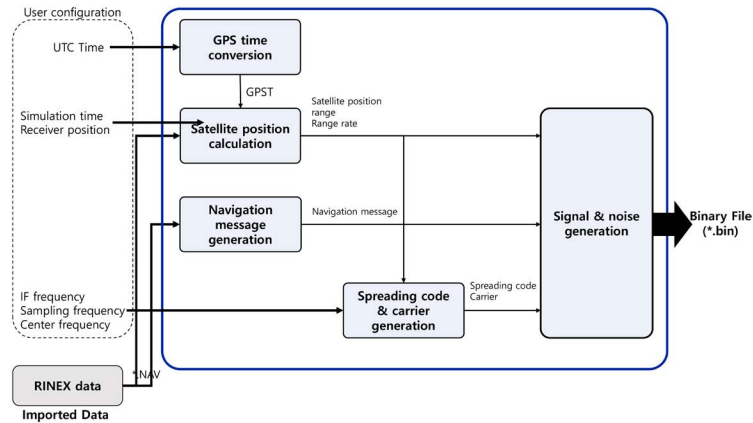


Fig. 3. Signal generation block diagram.

는 전력 비율을 결정하는 것이 목적이 아니므로 두 채널에 동일한 전력을 할당한다. 그리고 신호 전력은 정의한 Signal to Noise Ratio (SNR)로부터 계산하여 반영한다. 항법 메시지는 CNAV-2 구조를 가정하므로 동일한 구조를 이용하는 GPS LIC의 메시지 구조를 이용하고, GPS의 궤도력 데이터를 이용한다. 항법 메시지 한 프레임은 1,800 심볼로 구성되어 있고, 비트율 (bit rate) 이 100 sps이므로 주기가 18초이다. 데이터 채널과 파일럿 채널의 확산 코드는 Code Division Multiple Access 기반이므로 서로 다른 코드를 이용한다. 데이터 채널의 확산 코드는 10,230칩 (chip) 이고, 1.023 Mcps의 칩율 (chip rate)로 생성되므로 데이터 한 비트에 한 주기씩 전송된다. 파일럿 채널의 주 코드는 데이터 채널의 확산 코드와 동일한 길이, 칩율로 전송된다. 부 코드는 데이터 한 프레임의 길이와 동일한 1,800칩이고, 칩율이 100 kcps이므로 항법 메시지 한 프레임과 동일한 주기를 가진다. 그리고 부 코드 동기화를 통해 프레임 동기를 수행해야 하므로 항법 메시지와 부 코드는 시작 및 종료 지점이 동일하다. 각 구성 요소는 지연 시간 (τ)의 영향을 포함하고 있다. f_s 와 θ 는 반송파 주파수와 위상이고, 반송파 주파수는 L6의 주파수인 1278.75 MHz에 도플러 주파수가 포함된 것이나, 신호 생성기에서는 중간 주파수 (Intermediate Frequency, IF)에 도플러 주파수가 포함된 것을 의미한다.

2.2 신호 생성기 설계

신호 생성기는 안테나에서 수신한 신호를 RF front end에서 중간 주파수로 하향 변환 (down conversion)하고, 샘플링한 데이터를 생성한다. 이를 위한 블록 다이어그램은 Fig. 3과 같다. 신호를 구성하고 있는 요소는 신호 전력, 항법 메시지, 확산 코드 그리고 반송파가 있다. 이를 생성하기 위해 고려해야 할 요소는 지연 시간과 도플러 주파수가 있다. 이들은 수신기가 신호를 수신한 시점으로부터 위성에서 신호를 송신한 시간을 계산하고, 이를 이용하여 항법 메시지 및 확산 코드의 위상을 계산한다. 또한 반송파의 위상을 계산하고, 거리 변화율로부터 도플러 주파수를 계산한다.

신호 생성기를 구성하는 모듈은 UTC time을 GPS time으로 변환하기 위한 시각 변환부, 지연 시간 및 도플러 주파수를 계산하

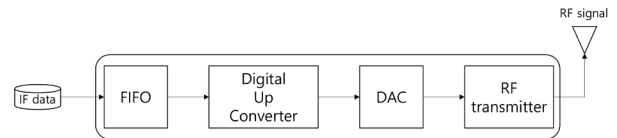


Fig. 4. RF transmitter block diagram.

기 위한 위성 위치 계산부, 항법 메시지 생성부, 확산 코드 및 반송파 생성부 그리고 각 모듈에서 생성한 결과를 이용하여 신호를 생성하고, 필터링 또는 잡음을 추가하는 신호 생성부가 있다. 각 모듈이 동작하기 위한 사용자 설정 파라미터는 신호 생성 기준 시각, 시뮬레이션 시간, 수신기 위치, 중간 주파수 그리고 샘플링 주파수가 있다.

Fig. 3에서 시각 변환부는 입력한 UTC time을 이용하여 그에 맞는 GPS time (GPST)을 계산하고, 그 결과를 위성 위치 계산부에 입력해 준다. 그러면 위성 위치 계산부는 사용자가 설정한 수신기 위치와 계산한 GPST를 이용하여 위성 위치 및 거리, 거리 변화율을 계산한다. 항법 메시지 생성부는 외부에서 입력해 준 RINEX 데이터를 이용하여 스케일 팩터 (scale factor)와 항법 메시지 구조를 역으로 이용하여 각 위치에 맞는 비트열을 생성한다. 이 결과를 이용하면 확산 코드 및 반송파 생성부에서는 거리 및 거리 변화율로부터 지연 시간과 도플러 주파수를 계산할 수 있으므로, 이를 이용하여 확산 코드와 도플러 주파수가 포함된 반송파를 생성한다. 이때 반송파는 오차가 누적되지 않도록 Numerically Controlled Oscillator (NCO) 기반으로 생성한다 (Gentile & Cushing 1999). 생성한 데이터는 RF front end에서 중간 주파수로 하향 변환한 결과물이므로 IF 데이터이다. 이 IF 데이터는 기존 GPS L1 C/A 신호와 달리 위성마다 송신하는 직교 위상 관계인 파일럿 채널과 데이터 채널의 신호를 포함하고 있다.

2.3 신호 송신기 설계

USRP를 이용하는 신호 송신기는 Fig. 4에 블록 다이어그램을 나타냈다. 이는 신호 생성기가 생성한 IF 데이터를 읽고, 상

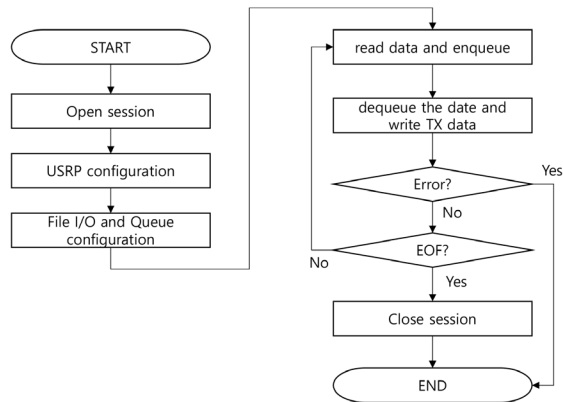


Fig. 5. RF transmitter flow chart.

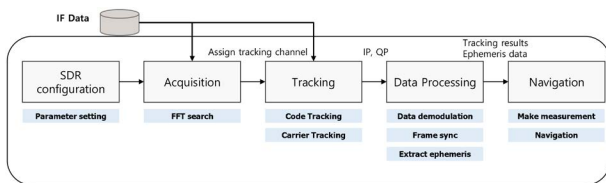


Fig. 6. Software receiver block diagram.

향 변환하기 위한 상향 변환기 (Digital Up Converter, DUC), 그리고 샘플 데이터를 아날로그 신호로 변환해주기 위한 Digital to Analog Converter (DAC), 마지막으로 실제 신호를 송신하는 RF 송신기로 이루어져 있다.

USRP는 이더넷 또는 PCI express 인터페이스를 이용해 PC와 연결한다. USRP를 제어하기 위한 LabVIEW 소프트웨어는 장치 설정, 데이터 읽기, 신호 송신, 장치 종료와 같은 순서로 동작한다. 이를 Fig. 5에 보였다. 여기서 핵심은 끊임없이 IF 데이터를 읽고 RF 신호로 송신하는 것이다. 즉 FIFO 제어가 신호 송신기 설계에서 가장 중요한 부분이라 할 수 있다. USRP를 이용하여 구현할 때는 데이터의 무결성을 유지하면서 불확실성을 완화하기 위해 생산자/소비자 구조를 이용하는 것이 일반적이다 (Seal & Urbina 2020). 생산자 루프는 queue에 생성한 데이터를 저장하는 동시에 소비자 루프는 queue에 저장된 데이터를 읽고 사용한다. Queue는 생산자 루프와 소비자 루프에서 공유하고, 이러한 구조를 이용하여 IF 데이터를 끊이지 않게 스트리밍 할 수 있다.

3. SDR 기반의 새로운 RNSS 신호 시뮬레이터 검증

3.1 신호 생성기 검증

신호 생성기 검증은 서론에서 설명한대로 소프트웨어 수신기를 이용한다. 이때 활용한 소프트웨어 수신기는 실제 GPS L1 C/A 신호를 수신할 수 있는 소프트웨어 수신기를 먼저 설계하여 구조 검증을 하고, 대상 신호의 확산 코드 주기 및 항법 메시지 구조에 맞게 변경한 것이다. 소프트웨어 수신기의 블록 다이어그램

Table 1. Configuration in the signal generator.

Parameter	value
Simulation time	100 sec
Quantization bits	16 bits
Intermediate frequency	5.42 MHz
Sampling frequency	25 MHz
Receiver position (latitude)	36.36419
Receiver position (longitude)	127.34563
Receiver position (height)	93.7988
UTC time	2020.07.08 05:30

```

PRN [32] ISC_L1CA : 0.000000000232831
PRN [32] ISC_L2C : -0.000000001280569
PRN [32] ISC_L515 : 0.000000008876668
PRN [32] Toe : 360000.0000000000000000

Secondary Code Generation : NH Code --> 1800 ms

Now GPST : 367218

Finish...Message Generation

| Visible SV | Doppler | Processing Time |
| PRN 1 | 2036.357Hz | 0 sec |
| PRN 7 | -652.547Hz | 0 sec |
| PRN 8 | -1978.235Hz | 0 sec |
| PRN 14 | 1866.405Hz | 0 sec |
| PRN 17 | 2204.891Hz | 0 sec |
| PRN 27 | -2751.699Hz | 0 sec |
5 : 8229, 1793 | 1274.461Hz | 0 sec |
6 : 6818, 1793 | Code phase |
9 : 2189, 1793 |
12 : 8075, 1793 |
17 : 3895, 1793 |
25 : 2515, 1793 |
  
```

Fig. 7. Signal generator console.

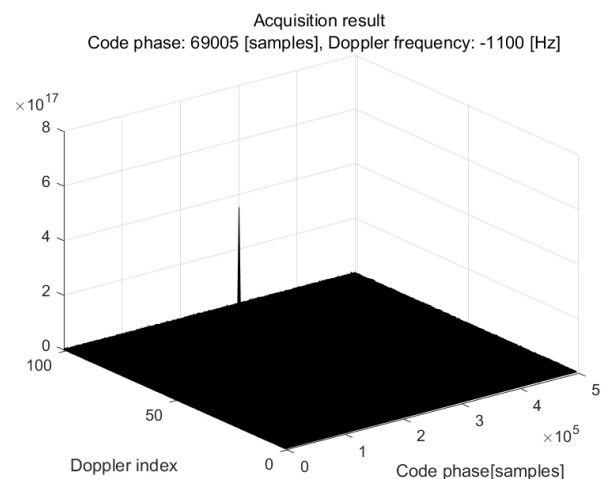


Fig. 8. Signal acquisition result.

은 Fig. 6에 보였다. 신호 생성시 정의한 파라미터는 Table 1에 정리하였고, 이 파라미터를 이용하여 신호 생성기를 실행한 결과는 Fig. 7에 보였다.

생성한 IF 데이터를 소프트웨어 수신기로 수신한 결과는 Figs. 8-12에 나타났다. 가시 위성은 총 6개이고, 이는 신호 생성 기준 시각 또는 수신기 위치에 따라 달라질 수 있다. 또한 그에 따라 위성 배치뿐 아니라 Dilution of Precision (DOP) 등이 달라진다.

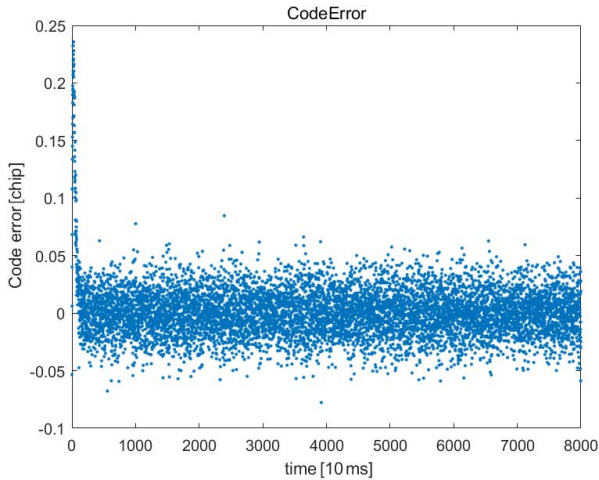


Fig. 9. Code tracking result.

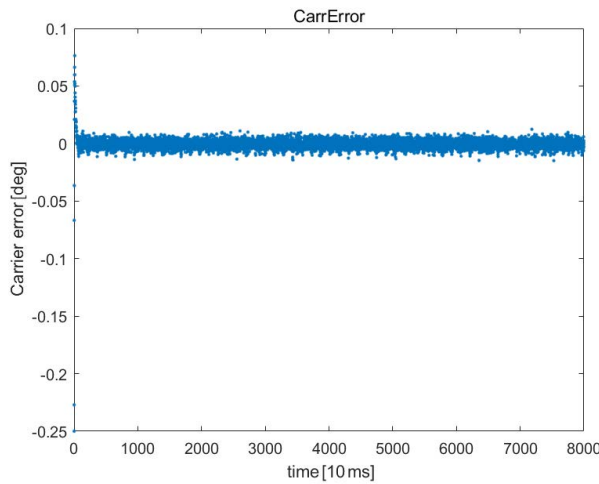


Fig. 10. Carrier tracking result.

Fig. 8은 생성한 신호에 포함된 6번 위성의 신호 획득 결과를 보인 것이다. 신호 획득 결과 코드 위상은 69,005번째 샘플 그리고 도플러 주파수 -1,100 Hz에서 피크가 발생하였다. 이는 샘플링 주파수 50 MHz, 10 ms에 해당하는 샘플 50,000개에서 약 1,411.84칩에 해당한다. 그러므로 신호를 생성기 실행 화면에서 출력된 코드 위상인 8,818칩과 더하면 10229.84 칩이므로 새로운 확산 코드 한 주기의 시작 지점에 해당한다. 생성한 도플러 주파수는 약 -1101 Hz이고, 신호 획득된 도플러 주파수는 -1,100 Hz이므로 도플러 주파수도 참 값과 약 1 Hz 오차를 보이며 잘 획득한다. 모든 위성에서 동일하게 신호 생성 및 수신을 하므로 대표로 6번 위성에 대한 결과만 보였다.

신호 추적에서 Delay Lock Loop (DLL)을 위한 Early-Late 간격은 1칩으로 정의하였고, Early-Late Envelope 판별기를 이용하였다. Fig. 9에서 0.05칩의 이내의 추적 오차를 나타내며 이로부터 코드 추적을 잘 수행함을 확인하였다. 또한 Phase Lock Loop (PLL)는 atan 판별기를 이용하였다. Fig. 10을 통해 0.1 도 이내에서 반송파 위상 추적도 잘 수행함을 확인하였다. 위성의 다이나

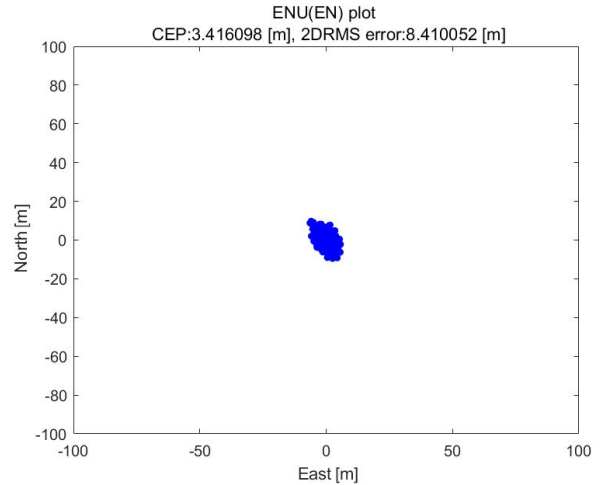


Fig. 11. Navigation result.

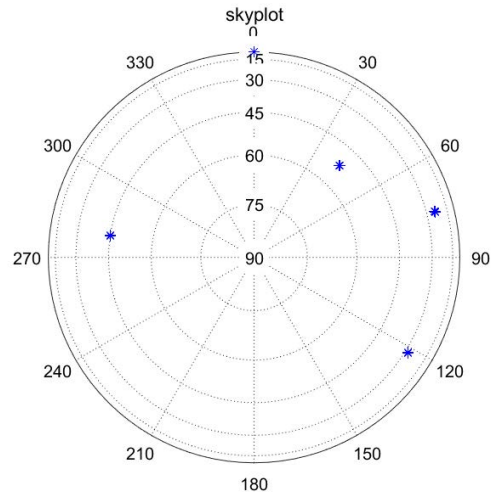


Fig. 12. Skyplot.

믹과 지구 자전의 영향을 반영하고, 생성한 신호를 수신하고 항법한 결과를 Fig. 11에 보였으며 2DRMS 약 8 m 수준으로 나타났다. 이때 위성의 skyplot을 Fig. 12에 보였고, geometric dilution of precision (GDOP)은 7.11이다. 신호 생성기 검증을 위한 소프트웨어 수신기는 파일럿 채널을 이용하여 신호 획득 및 추적을 수행하였고, 데이터 채널을 이용하여 시각 및 궤도력 정보를 획득하였다. 신호 획득 및 추적 감도 향상을 위해서는 채널 결합을 활용할 수도 있으나, 성능이 아닌 신호 생성기 검증에 초점을 두고 있으므로 파일럿 채널만 사용하였다.

3.2 신호 송신기 검증

신호 송신기 검증은 서론에서 설명한대로 스펙트럼 분석기를 이용한다. 기본적으로 파일럿 채널과 데이터 채널이 분리된 신호를 송신하여도 단일 채널만 송신하는 신호와 스펙트럼이 달라지지 않아야 한다. 하지만, RF 신호로 송신한 결과의 스펙트럼이 생성한 신호와 일치하는지 검증하기 위하여 우선 IF 데이터에 잡음

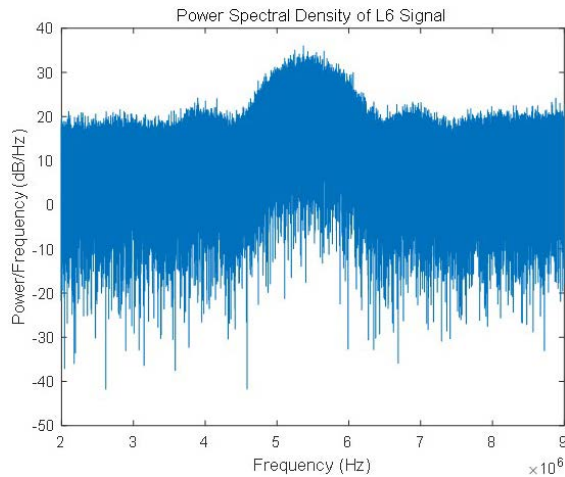


Fig. 13. Power spectral density of L6 signal.

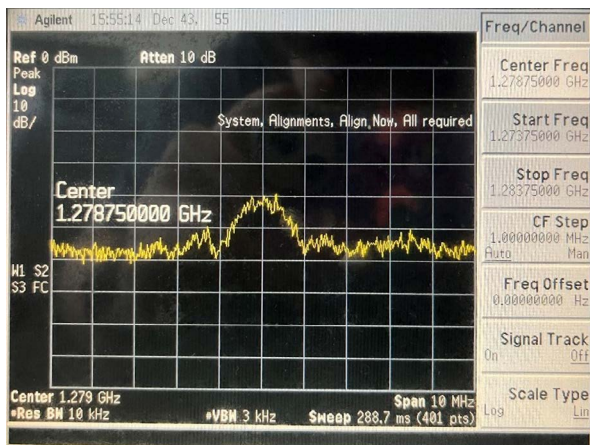


Fig. 14. Output of spectrum analyzer (L6 signal).

을 추가하지 않고, 스펙트럼을 확인한다. 그 결과는 Fig. 13에 나타냈다. 앞에서 정의한 IF와 동일한 5.42 MHz를 중심으로 2 MHz 대역폭을 가지는 메인 로브를 확인할 수 있다. 이를 이용하여 L6 대역으로 송신한 결과는 스펙트럼 분석기를 통하여 분석하였고, Fig. 14에 보였다 1278.75 MHz를 중심으로 10 MHz만 확대한 결과 메인 로브가 2 MHz 대역폭인 것을 확인할 수 있다. 이를 통해, 채널 분리가 적용된 새로운 신호 역시 생성한 신호와 동일한 스펙트럼으로 원하는 대역에서 송신 가능함을 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 추후에 KPS 후보 신호가 공개되었을 때 빠른 프로토타입 설계를 목적으로, KPS의 L6 대역 후보 신호가 될 수 있는 새로운 RNSS 신호를 고려하여 SDR 기반의 RNSS 신호 시뮬레이터를 설계하고 검증하였다. 시뮬레이터는 추후에 구조 변경이 용이한 SDR 기반으로 설계하였다. 시뮬레이터는 신호 생성기와 USRP를 활용한 신호 송신기로 구성하므로 소프트웨어만 활용한 시뮬레이터보다 설계 비용이 증가한다는 단점은 있다. 하

지만, 기존 결과물을 이용하여 신호 생성기 소프트웨어만 수정하여도 새로운 신호 체계를 대상으로 확장할 수 있을뿐 아니라 RF 신호를 송신할 수 있다는 장점이 있다.

설계한 시뮬레이터는 신호 생성기-소프트웨어 수신기 그리고 신호 송신기-스펙트럼 분석기 조합을 이용하여 검증하였다. 신호를 생성할 때 가정한 수신기 위치로 향법이 가능할 뿐 아니라, 데이터 채널과 파일럿 채널의 신호가 공존하는 상황에서도 원하는 대역에서 소프트웨어로 생성한 신호와 동일한 스펙트럼이 나타나는 것을 확인하였다. 여기에 원하는 오차요소 및 수신기 궤적 등을 반영한 시나리오에 대해서는 추가적으로 분석이 필요하다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 연구는 LIG NEX1 산학협력과제 지원으로 연구되었음.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Methodology, Jo, G. H.; software, Jo, G. H. and Noh, J. H.; validation, Jo, G. H. and Noh, J. H.; formal analysis, Lee, S. J. and Park, C.; investigation, Jo, G. H., Noh, J. H., Bu, S. C. and Ko, Y. H.; resources, Noh, J. H.; writing—original draft preparation, Jo, G. H.; writing—review and editing, Lee, S. J. and Park, C.; visualization, Jo, G. H. and Noh, J. H.; supervision, Lee, S. J. and Park, C.; project administration, Bu, S. C. and Ko, Y. H.; funding acquisition, Bu, S. C. and Ko, Y. H.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Cho, H., Song, H.-Y., Ahn, J. M., & Lim, D. W. 2021, Some new RS-coded orthogonal modulation schemes for future GNSS, *ICT Express*, 7, 530-534. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.04.004>
- Choi, B.-K., Roh, K.-M., Ge, H., Ge, M., Joo, J.-M., et al. 2020, Performance Analysis of the Korean Positioning System Using Observation Simulation, *Remote Sensing*, 12, 3365. <https://doi.org/10.3390/rs12203365>
- Elango, G. A. & Sudha, G. F. 2016, Design of complete software GPS signal simulator with low complexity and precise multipath channel model, *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 3, 161-180. <https://doi.org/10.1016/j.jesit.2016.03.002>
- Gentile, K. & Cushing, R. 1999, A Technical Tutorial on Digital

- Signal Synthesis (Wilmington: Analog Devices, Inc.)
- Han, K., Lee, S., Joo, J., & Won, J.-H. 2021a, Compatibility Analysis on L/S Bands for International Registration of KPS Satellite Network, 2021 IPNT Conference, Gangneung, Korea, 3-5 Nov 2021, pp.175-178. <http://ipnt.or.kr/2021proc/5>
- Han, K., Song, Y.-J., & Won, J.-H. 2021b, A Study on the Effects of Out-of-Band Interference on RNSS Receivers in S-band, Proceedings of the 34th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2021), St. Louis, Missouri, 20-24 Sep 2021. <https://doi.org/10.33012/2021.17930>
- Hein, G., Pany, T., Wallner, S., & Won, J.-H. 2006, Platforms for a future GNSS receiver, Inside GNSS, 56-62
- Jeon, D.-Y., Gaybullaev, T., & Lee, M. K. 2021a, Comparative Analysis of Authentication Protocols of GPS, Galileo and BeiDou, 2021 IPNT Conference, Gangneung, Korea, 3-5 Nov 2021, pp.119-122. <http://ipnt.or.kr/2021proc/59>
- Jeon, D.-Y., Gaybullaev, T., & Lee, M.-K. 2021b, Performance Comparison of Authentication methods in GPS and Galileo, 2021 KCC, Jeju, Korea, 23-25 June 2021, pp.1208-1210.
- Jeon, D.-Y., Gaybullaev, T., Noh, J. H., Joo, J.-M., Lee, S. J., et al. 2022, Performance Analysis of Authentication Protocols of GPS, Galileo and BeiDou, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 11, 1-9. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2022.11.1.1>
- Kim, J.-B., Kim, J.-K., Lee, S.-Y., Lee, J.-W., Kim, K.-J., et al. 2012, A Study on The Interference between Global Navigation Satellite Systems, The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 37, 512-519. <https://doi.org/10.7840/KICS.2012.37.6C.512>
- Kim, S.-T., Kim, K.-J., Song, K.-W., & Ahn, J.-M. 2019, Selection Technique of Maximum Correlation Power Limited Gold Code Set of Limited Length, The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 44, 629-636. <http://doi.org/10.7840/kics.2019.44.4.629>
- Lee, S., Han, K., Joo, J., & Won, J.-H. 2021a, Investigation on ITU Regulation for KPS Satellite Network Registration, 2021 IPNT Conference, Gangneung, Korea, 3-5 Nov 2021, pp.171-174. <http://ipnt.or.kr/2021proc/3>
- Lee, S., Han, K., & Won, J.-H. 2021b, A High-Level RF Compatibility Analysis for RNSS Signal Design, Proceedings of the 34th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2021), St. Louis, Missouri, 20-24 Sep 2021, pp.1877-1883. <https://doi.org/10.33012/2021.17982>
- Lee, S., Han, K., & Won, J.-H. 2021c, RF Compatibility Analysis of GNSS and KPS Signals at L6/S-band, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 10, 21-28. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2021.10.1.21>
- Lim, H., Lee, S., & Ryu, J. G. 2021, Exhaustive Search Based Chip Pulse Design for New Navigation Satellite Signals in L6 and S Bands, 2021 IPNT Conference, Gangneung, Korea, 3-5 Nov 2021, pp.399-401. <http://ipnt.or.kr/2021proc/76>
- Noh, J. H., Jo, G. H., Bu, S. C., Ko, Y. H., Park, C., et al. 2022, Design of a Software-Based GPS RF Simulator, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 11, 127-134. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2022.11.2.127>
- Noh, J. H., Lim, D. W., Heo, M. B., Jo, G. H., & Lee, S. J. 2020a, Design Considerations for KPS Navigation Message, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 9, 305-317. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2020.9.4.305>
- Noh, J. H., Lim, D. W., Jo, G. H., & Lee, S. J. 2020b, Considerations for message design of new satellite navigation signal, The European Navigation Conference ENC2020, Dresden, Germany, 23-24 November 2020. <https://doi.org/10.23919/ENC48637.2020.9317455>
- Seal, R. & Urbina, J. 2020, GnuRadar: An open-source software-defined radio receiver platform for radar applications, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 35, 30-36. <https://doi.org/10.1109/MAES.2019.2961215>
- Shin, J., Joo, J.-M., Lim, D. W., & Ahn, J. M. 2021a, Constant Envelope Multiplexing via Constellation Tailoring Scheme for Flexible Power Allocation of GNSS Signals, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 10, 335-340. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2021.10.4.335>
- Shin, J. H., Joo, J., & Ahn, J. M. 2021b, Application Method of Flex Power for KPS Multi Satellite Navigation Signals, 2021 IPNT Conference, Gangneung, Korea, 3-5 Nov 2021, pp.191-194. <http://ipnt.or.kr/2021proc/13>
- Yin, X., Kou, Y., & Zhang, Z. 2009, Design and implementation of a flexible software-based GNSS IF signal simulator, in the 22nd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2009), Savannah, GA, 22-25 Sep 2009, pp.2229-2240.



Gwang Hee Jo received B.S., M.S., and Ph.D. degrees from Chungnam National University in 2017, 2019, and 2022. His research interest includes GNSS receiver, digital signal processing.



Jae Hee Noh received B.S., M.S., and Ph.D. degrees from Chungnam National University in 2017, 2019, and 2022. Her research interests include GNSS receiver, anti-spoofing techniques and message authentication.



rithm.

Sung Chun Bu is a chief research engineer in LIG Nex1 Co., Ltd. He received B.S and M.S degrees from Konkuk University, Department of Electronic Information and Communication Engineering in 2002 and 2004. His research interests include GNSS receiver and GNSS signal processing algorithm.



Yo Han Ko is a chief research engineer in LIG Nex1 Co., Ltd. He received the B.S., M.S., and P.H. degrees from Chung-Ang University, Korea, in 2005, 2007, and 2011, respectively. His research interests are in the area of GNSS, digital signal processing, and multiple-input multiple-output systems.



include GNSS, PNS, SDR, integer ambiguity resolution algorithm and Error Analysis.

Chansik Park received B.S., M.S., and Ph.D. degrees in Electrical Engineering from Seoul National University in 1984, 1986 and 1997, respectively. He has been a Professor with the School of Electronics Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea, since 1997. His research interests



and robust control.

Sang Jeong Lee is a professor in the Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Korea. He received his B.S., M.S., and Ph.D. degrees from Seoul National University, Korea, in 1979, 1981, and 1987, respectively. His research interests include GNSS receiver design