

# FPGA를 기반으로 한 GPS 신호생성기 구현 및 실내측위 시스템

최준혁\*, 김영근\*, 안명수\*

## An Implementation of a GPS Signal Generator based on FPGA and Indoor Positioning System

Jun-hyeok Choi\*, Young-Geun Kim\*, Myung-Soo Ahn\*

### 요 약

본 논문에서는 소프트웨어로 검증된 GPS 신호생성 알고리즘을 FPGA 기반으로 구현함으로써 RF레벨에서 다중 위성신호를 실시간으로 생성 가능한 GPS 신호생성기에 대해 기술한다. 탑재된 신호생성 알고리즘은 궤도 및 환경 오차 모델을 반영하고 수신기 위치를 기반으로 위성 신호를 모의한다. GPS 신호생성기 하드웨어는 16개의 위성 신호를 실시간으로 생성할 수 있는 디지털보드와 IF Data를 RF 신호로 변환해주는 아날로그보드로 구성되어 있다. Windows 기반의 신호생성 시뮬레이터를 제어하는 소프트웨어를 통해 항법신호뿐만 아니라 기만신호, 재밍신호를 생성이 가능하며 GIS 화면위에서 수신기의 경로를 편집할 수 있는 시나리오 구성 기능이 제공된다. GPS 신호생성기는 성능은 상용수신기를 이용해 검증하였다. GPS 신호생성기를 이용한 응용 예로써 실내측위 시스템을 구성하고 시험하였으며 실내측위 시스템의 정확도를 개선하는 것은 추가적인 연구를 진행하고 있다.

**Key Words** : GPS, Signal Generator, DCO, FPGA, Indoor Positioning.

### ABSTRACT

This paper describes a GPS signal generator that can generate multiple satellite signals in real time at the RF level. It realizes the verified software algorithm on a FPGA. The algorithm models orbits and environmental errors such as ionospheric and tropospheric multipath. The position of a simulated receiver is one of simulation parameters. The hardware which consists of a digital logic board and an analog board can generate 16 simulated satellites signals at the same time. The users can generate spoofing signals and jamming signals as well as satellite signals by using the windows-based control software. In addition, the software provides GIS-based simulation scenarios editing tools. We verified the generator by using commercial receivers. As an application, we configured generators as indoor positioning systems and tested them in a building. To improve the accuracy of indoor systems is our further study.

## I. 서 론

위성항법시스템 GNSS(Global Navigation Satellite System)는 우주궤도를 돌고 있는 인공위성에서 발신 하는 전파를 이용해 지구 전역에서 움직이는 물체의 위치, 고도, 속도를 계산하는 시스템으로 현재 미사일 유도 같은 군사적 용도뿐 아니라 측량, 항공기, 선박, 자동차 등의 항법장치에 많이 이용되고 있다.

또한 미국이 주도하는 GPS 시스템은 현대화 계획에 따라 민간용으로 할당된 L1 C/A코드 외에 추가적으로 L2C 및 L5 등의 신호 송신을 준비하고 있다. 이와 같은 다양한 형태의

위성항법 신호를 수신하는 수신칩 및 항법수신기의 개발과 성능평가를 위해서는 항법신호 생성장치가 필요하다. 그밖에 LBS시스템이나 사회안전망 구축장치의 개발 검증 및 시험에도 항법신호 생성장치가 필요하다.

본 논문에서 기술하는 FPGA를 기반으로 한 GPS 신호생성기는 16채널까지 실시간 신호생성이 가능하며, 최근 부각되고 있는 위성항법 신호 교란문제의 모의실험이 가능하도록 기만신호 및 재밍신호와 같은 다양한 형태의 신호를 생성할 수 있는 기능이 지원된다. 그로 인해 항법신호 모의기능, 교란신호 모의기능 및 교란신호가 혼합된 위성항법 신호 모의실험이 하나의 장치에서 모두 이루어질 수 있도록 하였다.

\* 본 논문은 2015년도 제1회 한국위성정보통신학회 국내학술대회(좌장추천) 우수논문으로 선정된 내용을 토대로 수정 보완된 논문입니다.

\* 본 논문은 연구개발특구진흥재단 과제지원을 받아 수행된 연구 결과입니다.

\* 넷커스터마이즈(junhyeok0179@netcus.com),(xjfmam@netcus.com),(msahn@netcus.com)

접수일자 : 2015년 7월 10일, 수정완료일자 : 2015년 8월 21일, 최종 게재확정일자 : 2015년 9월 10일

본 논문에서는 GPS 위성신호를 모사하기 위한 알고리즘을 간략히 소개하고, FPGA(Field Programmable Gate Array)을 기반으로 구현된 디지털보드 및 RF신호로 변환해주는 아날로그보드의 내용에 대해 설명한다. 신호생성 알고리즘을 검증하기 위하여 생성된 IF Data는 Model Sim으로 시뮬레이션 하였고, RF 신호는 상용수신기를 이용하여 지정된 위치로 수신됨을 확인하였다.

더불어 신호생성기를 이용한 실내측위 시스템을 설명한다.

## II. GPS 신호생성 이론

GPS 신호는 위성에서 신호를 수신하기 때문에 수신하는 과정에서 다양한 오차요소가 존재한다. 위성항법 오차로는 이온층 오차, 대류층 오차, 다중경로 오차, 위성시계오차, 이동체 오차가 있다. 이런 위성항법 오차를 적용 시킨 궤도 및 환경오차 모델과 시뮬레이션 환경 및 운영모델을 추가한 위성모델을 GPS 신호생성기에 적용시켜 실제 GPS 신호와 유사한 신호를 생성하였다.[1,2,3] 다음 그림 1은 GPS 신호생성기에 적용된 위성모델을 나타낸다.

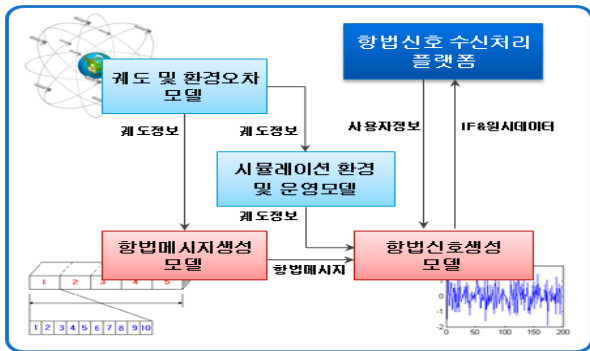


그림 1. 위성 모델

GPS 신호생성기의 코드 및 반송파 주파수성분을 생성하기 위해서 DCO를 이용한다.

### 1.1 코드 DCO

코드 출력주파수를 결정하기 위하여 코드DCO 증가값을 아래 수식과 같이 결정한다.

$$CD\_DCO_{INC}(t) = \frac{CD_f + D_f(t)(L1_f / CD_f)}{S_f} \times 2^N \quad (1)$$

$CD_f$ 는 코드주파수,  $D_f(t)$ 는 도플러주파수,  $S_f$ 는 샘플링주파수,  $L1_f/CD_f$ 는 반송파주파수에 대한 코드주파수의 비율,  $2^N$ 은 코드DCO 누적기(accumulator)의 크기를 나타낸다.

코드DCO는 수식 (1)에 의해 결정된 코드DCO<sub>INC</sub>값을 이용하여 샘플마다 새로운 DCO<sub>value</sub>를 생성하고 생성된 DCO<sub>value</sub>는 시간에 따른 누적 의사거리로 반영된다.[5,7]

### 1.2 반송파 DCO

반송파 출력주파수를 결정하기 위하여 반송파DCO 증가값을 아래 수식과 같이 결정한다.

$$CR\_DCO_{INC}(t) = \frac{CR_f + D_f(t)}{S_f} \times 2^N \quad (2)$$

$CR_f$ 는 반송파주파수,  $D_f(t)$ 는 도플러주파수,  $S_f$ 는 샘플링주파수,  $2^N$ 은 반송파DCO 누적기(accumulator)의 크기를 나타낸다.

반송파 DCO는 수식 (2)에 의해 결정된 반송파DCO<sub>INC</sub>을 이용하여 샘플마다 새로운 DCO<sub>value</sub>를 생성하고 생성된 DCO<sub>value</sub>는 시간에 따른 반송파 성분으로 반영된다.[5,7]

## III. GPS 신호생성기 구현

GPS 신호생성기는 크게 신호를 생성하는 GPS 신호생성기 하드웨어와 이를 제어하는 GPS 신호생성 제어기 소프트웨어로 구성되어 있다. 그림 2는 GPS 신호생성기 구성도를 나타낸다.

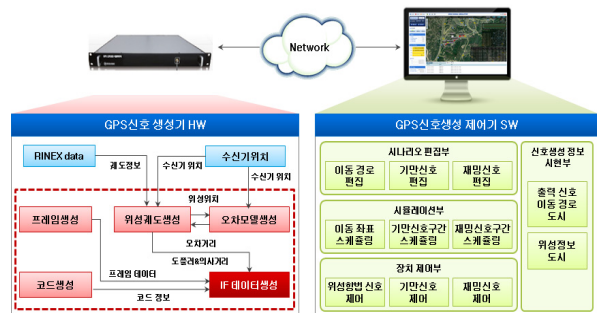


그림 2. GPS 신호생성기 구성도

GPS 신호생성 제어기에서 항법신호와 기만신호, 재밍신호 등 다양한 신호를 편집하여 신호를 생성할 수 있으며, GPS 신호생성 제어기의 GIS 화면위에서 수신기의 경로를 편집할 수 있는 시나리오 구성기능이 제공된다.

GPS 신호생성기 하드웨어는 IF Data 신호를 생성하는 디지털보드와 IF Data를 RF신호로 변환해주는 아날로그 보드로 구성되어있다. 그림 3은 GPS 신호생성기 하드웨어의 구성도를 나타낸다.

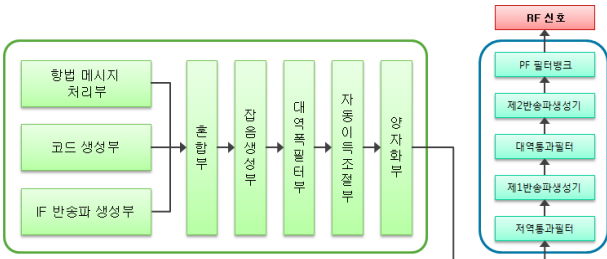


그림 3. GPS 신호생성기 하드웨어의 구성도

디지털보드의 항법메시지 처리부 모듈에서 항법메시지 데이터를 생성하고, 코드생성부 모듈에서 위성별로 할당된 고유 코드를 생성한다. 실제 위성에서 신호를 전송할 때 데이터비트와 코드시퀀스 간에 동기화 이루어져 전송된다. IF 반송파 생성부 모듈에서 도플러 정보를 입력 받아 DCO를 이용하여 도플러가 반영된 출력주파수를 생성한다. 항법메시지의 비트정보 및 코드정보를 수신하고 주파수성분을 입력 받아 혼합부에서 혼합하고 잡음생성부에서 노이즈를 생성하여 합성하고, 대역폭필터부와 자동이득조절부 및 양자화부를 거쳐 최종적으로 해당시간의 비트위치, 코드위치에 해당하는 정보를 결합하여 IF 샘플데이터를 생성한다.[1,4,6] IF 샘플데이터는 아날로그보드로 전달되어 RF신호로 출력된다.

디지털보드에서 신호생성은 FPGA에서 처리하며 최대 16 채널까지 생성이 가능하다. FPGA 내부 블록은 각 채널에서 신호를 생성해서 합성하는 Pre\_TOP\_L125블록과 노이즈를 합성하고 대역통과필터(Band Pass Filter)를 거치는 Post\_Processing 블록으로 구성되어 있다. 주파수대역마다 신호 생성하는 방식은 조금씩 다르다. 그림 4는 GPS 신호 생성기 하드웨어의 FPGA 블록도를 나타낸다.

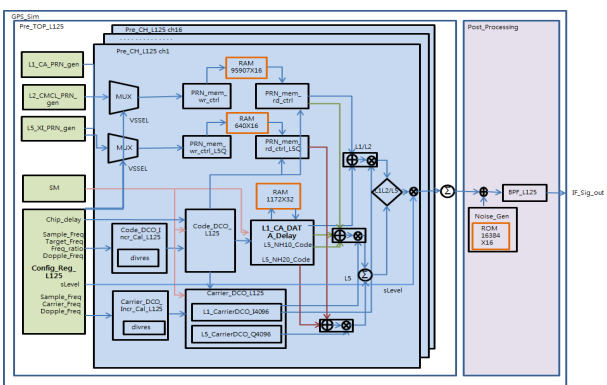


그림 4. GPS 신호 생성기의 FPGA 블록도

구체적으로 Pre\_TOP\_L125 모듈에서 L1/L2C의 신호는 각 채널에서 PRN코드와 프레임데이터, 반송파를 생성하여 합성하고 신호제거를 곱한다. 그리고 각 채널에서 나온 신호를 합성하여 L125\_Signal이라는 신호를 생성한다. L5신호는 L1/L2신호와 다르게 두 개의 채널인 Data채널과 Pilot채널

로 구분되어 신호가 생성된다. Data채널은 L1/L2에서와 같이 PRN코드와 프레임데이터에 추가적으로 Data채널의 Secondary code인 10bit NH10 code를 더한 후 sin 반송파를 합성한다. Pilot채널은 PRN코드와 Pilot채널의 Secondary code인 20bit NH20 code를 더한 후 cos 반송파를 합성한다. 그리고 Data채널과 Pilot채널의 신호를 더한 L125\_Signal이라는 신호를 생성한다.

Post\_Processing 모듈에서는 Pro\_TOP\_L125 모듈에서 생성된 L125\_Signal 신호를 입력 받아 가우시안 노이즈(Gaussian Noise)를 더한 후 대역통과필터(Band Pass Filter)를 통과시켜 IF\_Sig\_out이라는 최종적인 신호를 생성한다. 생성된 IF Data 신호는 아날로그보드로 전달되며, 주파수변환 후 RF신호의 형태로 출력된다. 아날로그보드는 중심주파수와 대역폭이 항법신호별로 상이하므로, 다양한 항법신호를 모의할 수 있도록 이중주파수 변환방식을 이용하였다.

RF 신호변환을 위해 제1 반송파생성기, 제2 반송파생성기, 저역통과필터, 대역통과필터 등으로 구성되어 있고, 이중주파수 변환방식으로 인해 시스템의 안정도(stability)와 민감도(sensitivity)를 향상시켰다. 아날로그보드의 블록도는 그림 5와 같다.

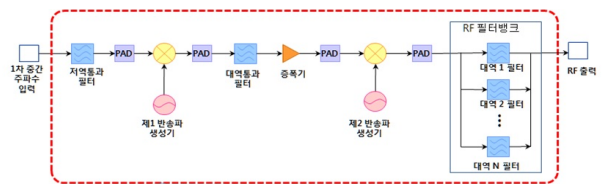


그림 5. 아날로그 보드 블록도

### IV. 실내측위 시스템

GPS 신호생성기를 이용한 실내측위 시스템은 위성신호가 도달하기 어려운 건물내부, 건물지하, 지하철이나 터널과 같은 환경에서 실외와 같이 자유롭게 위성항법을 할 수 있게 제공해 주는 시스템이다[8,9]. 실제 위성신호를 수신 안테나로 수신 받아 위성시간과 위성번호를 동기화 하고, 동기화된 신호생성기를 이용해 4개 이상의 채널을 생성하여 실내의 송신 안테나로 신호를 송출하여 실내에 있는 위성항법 수신기에 측위할 수 있는 환경을 제공해주는 시스템이다.

실내측위 시스템은 위성신호를 수신하는 수신안테나와 수신안테나로부터 수신한 위성신호의 위성시간을 동기화시키고, 4개 이상의 위성번호를 선정하는 중앙제어장치, 중앙제어장치로부터 위성번호를 할당받아 위성신호를 발생시키는 신호생성기, 신호생성기에서 생성시킨 신호를 송출하는 송출안테나로 구성되어 있다. 그림 6와 7은 실내측위 시스템의 구성도를 나타낸다.

실내측위 시스템 이론을 바탕으로 시험을 시행하였다. 하나의 위성항법 신호생성장치에 RF포트를 4개로 분리하여 채널별로 신호를 송출하였고, 각각 RF포트로 장치 내부적으로 동기화된 신호를 송출하였다. 10.8m X 8m, 높이 4.4m의 실내천장의 각 모서리에 안테나를 설치하고 실내 중앙바다에 위성항법 수신기안테나를 설치하여 시험하였다.

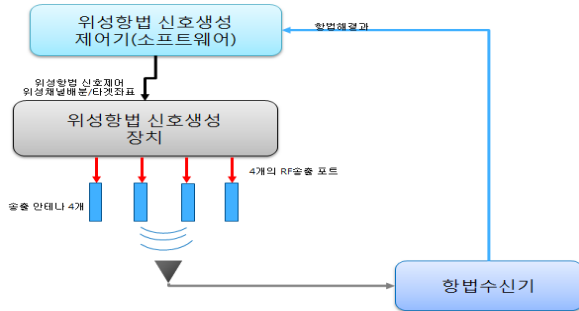


그림 6. 실내 측위 시스템 구성도 1

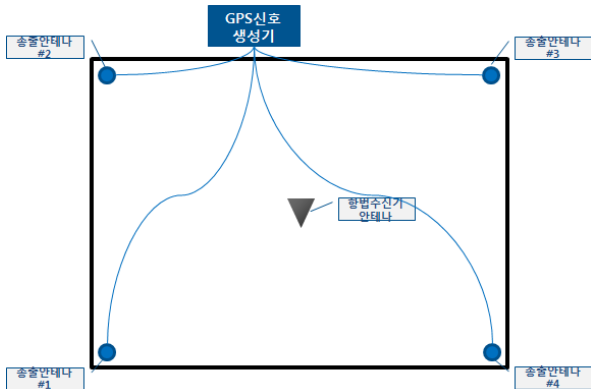


그림 7. 실내측위 시스템 구성도 2

### IV. 시뮬레이션

FPGA로 구현된 신호생성기를 시뮬레이션 툴인 Model Sim으로 시뮬레이션 하였다.

그림 8은 코드DCO 모듈을 시뮬레이션한 것으로 Code\_DCO\_Incr\_copy는 DCO<sub>INC</sub>를 나타내며, 계단 모양의 그림은 DCO<sub>value</sub>를 나타낸다.

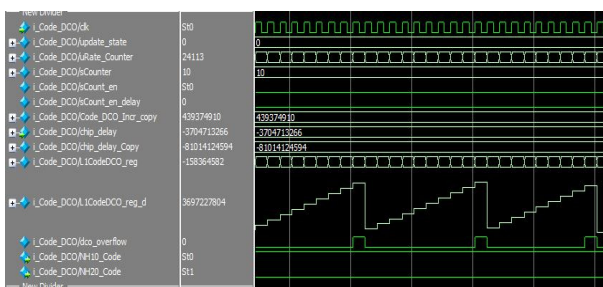


그림 8. 코드 DCO 시뮬레이션

그림 9는 반송파DCO 모듈을 시뮬레이션한 것으로 Carrier\_DCO\_Incr는 DCO<sub>INC</sub>를 나타내며, 계단 모양의 그림은 DCO<sub>value</sub>를 나타낸다. L1I는 sin 반송파를 나타내고, L1Q는 cos 반송파를 나타낸다.

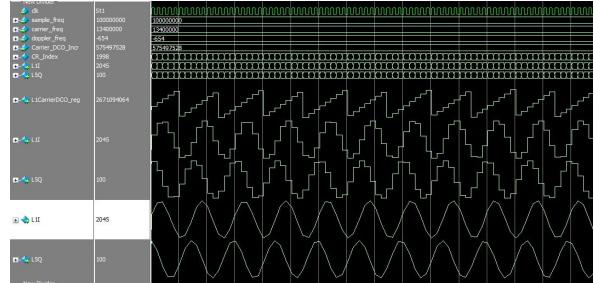


그림 9. 반송파 DCO 시뮬레이션

### V. 시험결과

GPS 신호생성기로 8채널의 PRN 번호 3, 6, 7, 11, 13, 16, 19, 23을 생성한 후 상용수신기인 U-Blox수신기와 아센코리아 수신기를 이용하여 각각 상용 수신기에서 8개의 PRN번호로 수신기가 수신됨을 확인하였다.

Deviation map상에서 표시되는 수평좌표 오차가 약 5m 이내임을 확인하였다. 그림 10과 11은 U-Bblox 수신기 및 아센코리아 수신기의 수신한 결과 값을 보여준다.

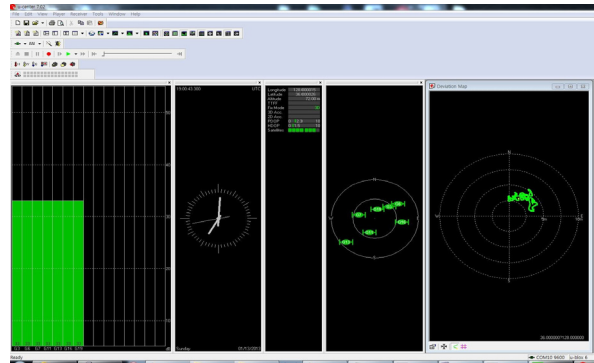


그림 10. U-Blox 수신기로 검증한 결과

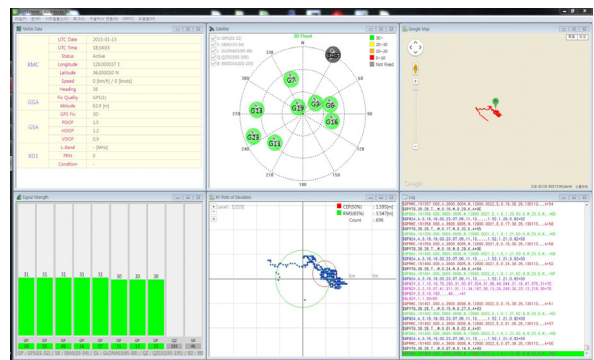


그림 11. 아센코리아 수신기로 검증한 결과



실내측위 시스템의 시험은 4개의 송출안테나에 각각 2개씩 GPS 신호채널을 생성하여 상용 수신기를 이용하여 시험하였다. 그림 12은 채널 파라미터를 나타내고, 그림 13은 위성 위치를 나타낸다.

	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
PRN	3	6	7	11	13	16	19	23
송출안테나	1	1	2	2	3	3	4	4
SNR	36	36	37	37	40	41	40	40
위성위도	-3118827.52	-3118827.52	-3118824.78	-3118824.78	-3118829.13	-3118829.13	-3118833.18	-3118833.18
위성경도	4086045.33	4086045.33	4086049.58	4086049.58	4086044.88	4086044.88	4086038.21	4086038.21
위성고도	3763451.53	3763451.53	3763462.68	3763462.68	3763472.09	3763472.09	3763461.96	3763461.96

그림 12. 시험 파라미터



그림 13. 위성 위치

그림 14는 GPS 신호생성 제어기에서 시험결과를 보여준다. GPS 위성의 위치에 따라서 오차정도가 다르게 발생하는 것으로 확인되었다.

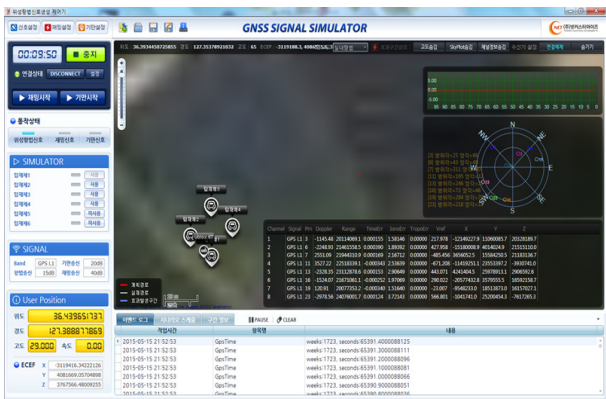


그림 14. GPS 신호생성 제어기의 시험결과

## Ⅵ. 결론

본 논문에서는 16채널까지 신호 생성이 가능하며 L1/L2C/L5 신호 생성을 지원하는 하드웨어 기반의 신호 생성기를 구현하고 검증하였다. 생성된 신호는 상용수신기를 이용하여 검증하였고, Deviation Map 상에 표시되는 수평좌표 오차가 5m 이내임을 확인하였다. GPS 신호생성기를 이용해서 실내측위 시스템을 구성한 뒤 장치 내부적으로 동기화된 신호를 송출한 후 상용 수신기를 이용해 시험하였고,

실내측위 시스템의 정확도 개선을 위한 추가적인 연구를 진행하고 있다.

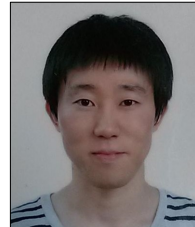
구현된 신호생성기는 기만 및 재밍신호 생성이 가능하여 상용수신기나 위치결정 시스템의 성능을 검증하는데 이용이 가능하며 실내측위 시스템에 응용하여 실내에서도 항법장치를 이용할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] Lei Dong, Changlin Ma, and Gerard Lachapelle, "Implementation and Verification of a SoftwareBased IF GPS Signal Simulator", ION NTM 2001, 26-28 January 2004, San Diego, CA.
- [2] Jae-Eun Lee, "Development of Software GNSS Signal Generator", International Symposium on GPS-GNSS2008, pp. 332-336.
- [3] Tae-Hee Kim, "Algorithm of the IF Signal Generation in the Software -Based IF GNSS Signal Simulator", International Symposium on GPS-GNSS2008, pp.669-674.
- [4] 김태희, "위성항법 신호생성 시뮬레이터 구현을 위한 신호생성 알고리즘 연구", 한국항공우주학회지, 제37권 제 11호, 1148-1156, 2009.11.
- [5] 김태희, "GNSS 신호생성기에서 DCO 누적오차 보상 알고리즘", 통신위성우주산업연구회논문지, 제9권 제2호, pp 119-125, 2014.
- [6] 이상욱, "소프트웨어기반 GPS 신호생성 시뮬레이터", 한국항공우주학회 학술대회, 499-502, 2013.11.
- [7] Chamberlin Hal, "Basic Analog Modules, Voltage-Controlled Oscillator", Musical Applications of Microprocessors section6, p181, 1985
- [8] 유재준, "실내 위치 기반 서비스 기술개발 및 표준화 동향", 전자통신동향분석, 제29권 제 5호, 2014.10.
- [9] 유재준, "실내 위치 기반 서비스 이슈 및 표준화", 한국통신학회지, 제32권 제 2호, p74-80, 2015.1.

## 저자

### 최 준 혁(Jun-Hyeok Choi)



- 2008년 2월 : 한양대학교 전자전기공학과 학사졸업
- 2014년 2월 : 한양대학교 전자전기 제어계측공학과 석사졸업
- 2013년 ~ 현재 : 넷커스터마이즈 근무

<관심분야> : 위성통신, 신호생성기

**김 영 근(Young-Geun Kim)**



- 2003년 2월 : 전남대학교 전자공학과 학사졸업
- 2007년 2월 : 전남대학교 전자정보통신 공학과 석사졸업
- 2008년 ~ 현재 : 넷커스터마이즈 근무

<관심분야> : 위성통신, 디지털 통신

**안 명 수(Myung-Soo Ahn)**



- 1989년 2월 : 아주대학교 전자공학과 학사졸업
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사졸업
- 1996년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사졸업

· 2000년 ~ 현재 : 넷커스터마이즈 대표이사

<관심분야> : 위성통신 솔루션, 고속 신호처리 솔루션, 국방 모델링/시뮬레이션