

논문 2023-60-11-7

# USRP와 LabVIEW를 이용한 GPS L1C/A 신호 저장 시스템

(GPS L1C/A Signal Recording System using USRP and LabVIEW)

황 용 택\*, 황 지 우\*, 김 민 수\*, 유 호 영\*\*

(Youngtaek Hwang, Jiwoo Hwnag, Minsu Kim, and Hoyoung Yoo<sup>©</sup>)

## 요 약

Global Positioning System(GPS)이 제공하는 위치, 속도, 시간 정보를 이용하는 서비스가 다양해지면서 이를 이용하기 위해 이전보다 많은 곳에 GPS 수신기가 탑재되고 있다. 이에 따라 GPS 수신기가 신호를 수신받는 환경이 다양해지면서 신호를 안정적으로 수신하기 위해 수신기의 성능을 향상시키는 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구에서는 위성 신호를 저장할 수 있는 시스템을 구축하는 것이 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 Universal Software Radio Peripheral(USRP)과 LabVIEW를 활용하여 GPS L1C/A 신호를 저장하는 시스템을 구축하였다. 안테나, 라인 증폭기, 그리고 USRP와 같은 하드웨어 구성 요소들을 사용했으며, USRP를 제어하기 위하여 LabVIEW를 사용하였다. 구성된 신호 저장 시스템을 검증하기 위해 저장한 GPS L1C/A 신호를 Software Defined Radio(SDR)를 이용하여 처리하고, 상용 수신기로부터 얻은 결과와 비교하였다. 이를 통해 저장된 신호들이 Pseudo-Random Noise(PRN) 번호와 신호의 전력 수준 측면에서 실제 신호들과 일치함을 확인하였다.

## Abstract

As services that use location, speed, and time information provided by the Global Positioning System(GPS) become more diverse, GPS receivers are being installed in more places than before to use that information. As a result, as the environment in which GPS receivers receive signals becomes more diverse, research is being conducted to improve the performance of receivers to receive signals stably. In these studies, it is important to establish a system capable of storing satellite signals. Therefore, in this paper, a system for storing GPS L1C/A signals was established using Universal Software Radio Peripheral(USRP) and LabVIEW. Hardware components such as antennas, line amplifiers, and USRP were used, and LabVIEW was used to control USRP. To verify the configured signal storage system, the stored GPS L1C/A signal was processed using Software Defined Radio(SDR) and compared with the results obtained from commercial receivers. Through this, it was confirmed that the stored signals were consistent with the actual signals in terms of the pseudo-Random Noise (PRN) number and the power level of the signal.

**Keywords** : GPS, GPS receiver, GPS L1C/A, USRP, LabVIEW

## I. 서 론

Global Navigation Satellite System(GNSS)은 위성이 송신하는 신호를 수신하여 수신기의 위치, 속도, 시간을 파악할 수 있는 시스템이다. 현재 각국에서 다양한 GNSS를 서비스하고 있는데 그 중, 우리에게 익숙한

GNSS는 바로 미국에서 서비스하고 있는 Global Positioning System(GPS)이다. GPS가 제공하는 정보를 활용하는 기술들이 다양해지면서 GPS는 지상, 해양, 항공 등 정통적인 분야부터 건축, 건강 등 기존과 다른 분야에서도 사용되며 현대 사회에서 꼭 필요한 시스템이 되었다<sup>[1~5]</sup>.

\*학생회원, \*\*정회원, 충남대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Chungnam National University)

<sup>©</sup> Corresponding Author(E-mail : hyyoo@cnu.ac.kr)

※ 이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(2022-0-01170, PIM 반도체 설계연구센터), 한국연구재단(No. 2022R1A5A8026986), 한국연구재단-시스템반도체융합전문인력육성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2020M3H2A1078119).

Received ; August 7, 2023

Revised ; September 6, 2023

Accepted ; September 18, 2023

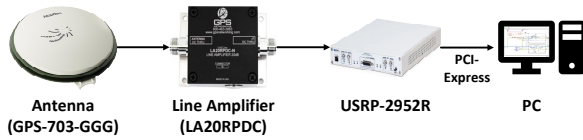


그림 1. GPS L1C/A 신호 저장 시스템  
 Fig. 1. GPS L1C/A signal recording system.

이러한 폭넓은 활용이 가능한 이유 중 하나는 기술의 발전으로 인한 GPS 수신기의 소형화이다. GPS 수신기가 더 작아지고 가벼워지면서 이전보다 다양한 기기에서 사용할 수 있게 되었고, 이는 수신받는 신호 환경이 그만큼 다양해졌다는 의미이다. 서비스를 위해서 수신기는 다양한 환경에서도 안정적인 신호 수신이 보장되어야 한다. 따라서 수신기의 성능을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구를 진행할 때는 주어진 환경에서 수신되는 신호를 저장하는 것이 중요하다. 신호를 저장하면 필요할 때마다 신호를 재생하여 연구에 사용할 수 있기 때문이다. 따라서, 수신하는 신호를 저장할 수 있는 시스템을 구축하는 것은 수신기 연구에서 필수적인 부분이다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는 Universal Software Radio Peripheral (USRP)과 LabVIEW를 이용하여 GPS 신호 저장 시스템을 구성하고 민간용으로 가장 많이 사용하고 있는 GPS L1C/A 신호를 저장한다. 또한, 신호 저장 시스템을 이용하여 저장한 신호를 Software Defined Radio(SDR)를 이용해서 처리한 후, 상용 수신기를 이용하여 수신한 실제 신호의 가시 위성 변화와 신호의 전력을 비교하여 신호가 정상적으로 수신되었는지 확인한다.

**II. GPS L1C/A 신호 저장 시스템의 구조**

구성한 GPS L1C/A 신호 저장 시스템의 전체 구조를 그림 1에 나타내었다. 가장 먼저 위성에서 송신하는 L1C/A 신호를 수신하는 안테나는 NovAtel 사의 GPS-703-GGG를 사용한다. GPS-703-GGG의 3dB 통과 대역은 L1 대역에서 1580.0±28.5MHz이기 때문에 중심 주파수가 1575.42MHz이고 대역폭이 2.046MHz인 L1C/A 신호를 수신하기에 적합하다<sup>[7]</sup>. GPS-703-GGG는 일반적인 수동 안테나와는 다르게 안테나 내부에 전원 공급이 필요한 소자들이 존재하는 능동 안테나이다. 따라서 안테나를 동작시키기 위해서는 추가적인 전원 공급이 필요하다. 하지만 일반적으로

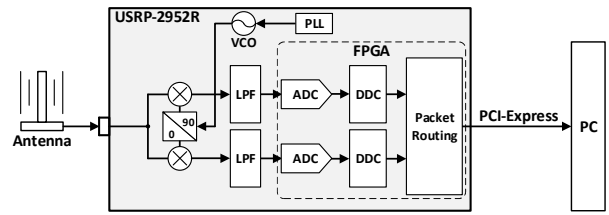


그림 2. USRP-2952R의 구조  
 Fig. 2. Structure of USRP-2952R.

USRP는 능동 안테나를 지원하지 않기 때문에 USRP와 안테나를 바로 연결할 경우 USRP에서 전원을 공급해 줄 수 없어서 안테나가 동작하지 않는다<sup>[8]</sup>. 이러한 문제를 해결하기 위해서 GPS Networking 사의 LA20RPDC 증폭기를 추가로 연결하였다. LA20RPDC 증폭기는 두 가지 역할을 수행한다. 첫 번째는 전원 공급이다. 이 증폭기는 5V의 전원을 인가해 줄 수 있기 때문에 이를 이용하여 능동 안테나에 전원을 공급할 수 있다. 두 번째는 신호 증폭이다. LA20RPDC는 수신받은 GPS 신호에 최대 20dB의 신호 증폭을 해줘서 이후 원활한 신호 처리를 가능하게 한다.

안테나와 증폭기를 통과한 신호는 USRP-2952R로 이동한다. USRP-2952R은 사용자가 지정한 중간 주파수로 수신받은 신호를 디지털 신호로 변환하는 실질적인 과정을 담당한다. 그림 2는 USRP-2952R의 하드웨어 구조를 나타낸 그림이다. USRP로 입력되는 신호는 내부의 Phase-Locked Loop(PLL), Voltage Controlled Oscillator(VCO)에서 생성된 신호와 합쳐지면서 in-phase 신호와 quadrature phase 신호로 분리된다. 각각의 신호는 디지털 신호로 변환되고 이후 PC로 전송된 후 저장된다. 본 논문에서 사용한 USRP-2952R은 400MHz에서 4.4GHz까지의 중심 주파수를 가진 신호를 수신할 수 있고, 대역폭도 40MHz 또는 120MHz이기 때문에 L1C/A 신호를 수신하기에 적합하다<sup>[9]</sup>.

디지털 신호로 변환된 데이터는 PC에 저장된다. 이때, USRP에서 생성되는 많은 데이터를 원활하게 PC로 전송하기 위해 USRP와 PC를 PCI-Express를 이용하여 연결한다. PCI-Express는 최대 800MB/s의 데이터 전송을 지원하기 때문에 높은 sampling frequency에도 데이터를 PC로 안정적으로 전송할 수 있다<sup>[9]</sup>.

**III. LabVIEW를 이용한 신호 저장 프로그램**

USRP를 이용하기 위해서는 동작을 명령할 프로그램

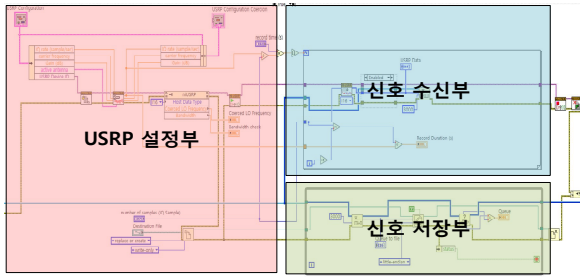


그림 3. LabVIEW를 이용한 GPS L1C/A 신호 저장 프로그램  
Fig. 3. GPS L1C/A signal recording system using LabVIEW.

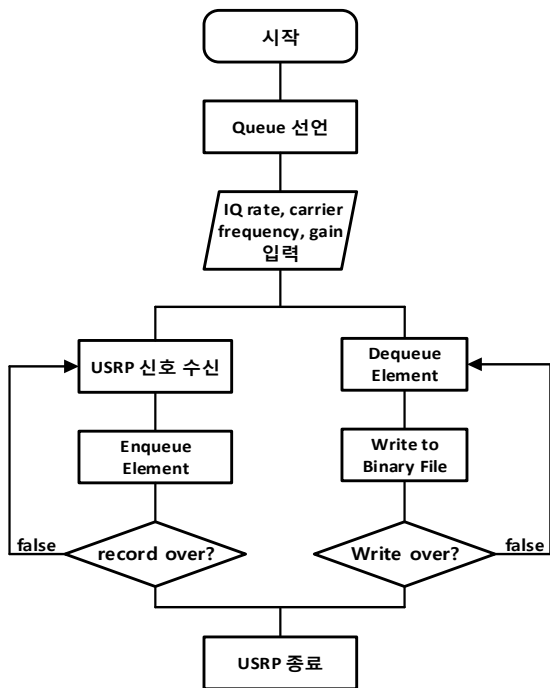


그림 4. GPS L1C/A 신호 저장 프로그램 순서도  
Fig. 4. GPS L1C/A signal recording program flowchart.

이 필요하다. 이를 제작하기 위해서 다양한 툴들을 사용할 수 있다. 하지만 다른 프로그래밍 툴과 다르게, LabVIEW를 사용하면 USRP에 안정적이고, 쉽게 재구성할 수 있으며 빠른 프로토타이핑이 가능하다는 장점이 있다<sup>[10]</sup>. 따라서 본 논문에서는 LabVIEW를 이용하여 프로그램을 제작하였다.

그림 3은 LabVIEW 2022를 이용하여 작성한 GPS L1C/A 신호 저장 프로그램이고 그림 4는 프로그램의 순서도이다. 프로그램은 크게 USRP 설정부, 신호 수신부, 신호 저장부로 나눌 수 있다. 그림 5의 첫 번째 그림은 USRP 설정부를 나타낸 그림이다. USRP 설정부에서는 원하는 신호를 수신하기 위해 필요한 USRP의 설정값을 입력할 수 있다. 중요한 설정값으로는 IQ

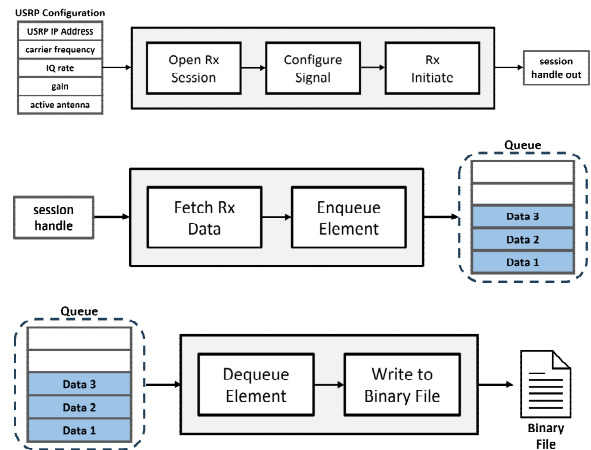


그림 5. 신호 저장 프로그램의 각 부분별 그림(위에서부터: USRP 설정부, 신호 수신부, 신호 저장부)  
Fig. 5. Illustration of each part of the signal recording program (from the top: USRP setup, signal receiving, signal storage).

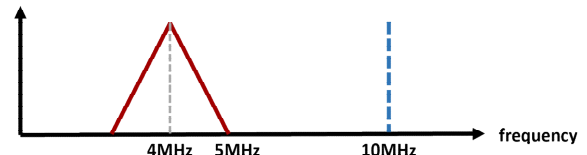


그림 6. 샘플링 이론 예시  
Fig. 6. Example of sampling theorem.

rate, carrier frequency, gain이 있다. IQ rate는 1초당 sample의 개수를 나타내고, carrier frequency는 중간 주파수를 결정한다. 마지막으로 gain은 수신단에서 입력되는 신호를 얼마만큼 증폭할지를 나타낸다. IQ rate와 carrier frequency는 중요한 관계가 있다. Nyquist Shannon sampling theorem에 따르면 정해진 대역폭의 신호를 왜곡 없이 복원하기 위해서는 sampling frequency가 가장 빠른 주파수 성분의 최소 2배는 되어야 한다<sup>[11]</sup>. 그림 6에 나타난 것처럼, 만약 중간 주파수가 4MHz라면, GPS L1C/A 신호의 대역폭은 약 2MHz이므로 sampling frequency가 5MHz의 2배인 10MHz보다 클 때 왜곡 없이 신호를 복원한다.

그림 5의 두 번째 그림은 신호 수신부를 나타낸 그림이다. 신호 수신부는 USRP 설정부에서 입력한 설정값을 바탕으로 USRP가 신호를 수신하는 부분이다. 이때 USRP에서 출력되는 신호의 데이터 형태를 다양하게 변경할 수 있다. L1C/A 신호 저장 시스템에서는 이후 SDR의 처리를 위해 USRP에서 16비트 정수형으로 출력하게 설정하였다. 이때 출력의 형태는 in-phase와 quadrature phase 신호가 각각 반복되는 형태이다.

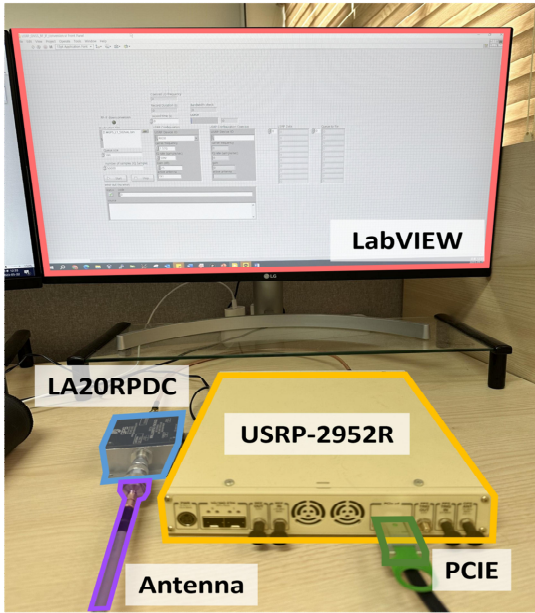


그림 7. GPS L1C/A 수신 환경  
Fig. 7. GPS L1C/A receiving environment.

표 1. USRP 설정값  
Table 1. USRP settings.

Device Name	RIO0
Recording Time	70s
Center Frequency	2MHz
IQ Rate	20MS/s
Gain	25dB

출력된 데이터는 큐에 저장된다. 큐는 First In First Out(FIFO)의 구조를 가지는 저장 형식이다. 큐를 사용하는 이유는 데이터를 생성하는 신호 수신부와 이후에 데이터를 PC에 저장하는 신호 저장부의 동작 속도가 다르기 때문이다. 데이터를 생성하는 부분과 저장하는 부분의 속도가 다르다면 정상적으로 데이터가 저장되지 않을 수 있다. 따라서 USRP에서 출력된 데이터를 큐에 먼저 저장하고, PC는 큐에 있는 데이터를 가져와서 저장하게 구성하였다. 이렇게 하면 신호 수신부의 속도와 신호 저장부의 속도가 달라도 안정적으로 데이터를 수신하고 저장할 수 있다.

그림 5의 마지막 그림은 신호 저장부의 동작을 나타내는 그림이다. 신호 생성부에서 나온 데이터는 신호 저장부로 이동하게 되고 여기서 PC로 값이 저장되게 된다. PC는 USRP 설정부에서 미리 설정해 둔 경로와 파일 이름으로 데이터를 저장한다. 이렇게 저장된 데이터 파일은 설정한 중간 주파수를 가지고 있는 이진 파일의 형태이다.

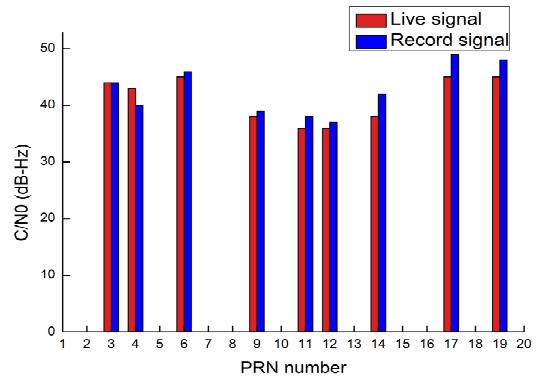


그림 8. 저장한 신호와 실시간 신호의 C/N0 비교  
Fig. 8. C/N0 comparison of stored and real-time signals.

#### IV. 실험 환경 및 실험 결과

구현한 GPS 신호 저장 시스템을 검증하기 위해 실제 GPS L1C/A 신호를 수신하고 저장하였다. 그림 7은 신호를 수신하기 위한 실험 환경이고 표 1은 USRP 설정값을 나타낸 표이다. 신호는 2023년 5월 21일에 총 70초를 수신하였고 중심 주파수는 2MHz, IQ rate는 20MS/s, gain은 25dB로 설정하였다. 이후 수신한 신호를 오픈소스 SDR인 'GNSS-SDR'을 이용해 처리했다<sup>[12]</sup>. 비교를 위해 상용 수신기인 u-blox 사의 EVK-M8T로 동시에 신호를 수신하여 SDR의 처리 결과와 비교하였다. 실험결과는 그림 8에 그래프로 나타내었다. 그래프의 가로축은 Pseudo-Random Noise(PRN)값을 나타낸다. PRN 번호는 신호를 보낸 위성의 번호를 나타내는 값이다. 또한 세로축은 신호의 세기를 나타낸다. 실험결과, 신호 저장 시스템으로 저장한 신호와 상용 수신기로 수신한 신호의 PRN 번호는 일치하고 수신 전력 크기는 서로 비슷한 것을 확인하였다. 따라서 신호 저장 시스템을 이용하여 저장한 신호가 실제 신호를 성공적으로 저장했다고 판단한다.

#### V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 USRP와 LabVIEW를 이용하여 GPS L1C/A 신호 저장 시스템을 설계하였다. 하드웨어 부분에서 안테나, 증폭기, USRP, PC를 이용하였으며, USRP를 동작시키는 GPS L1C/A 신호 저장 프로그램을 LabVIEW를 이용하여 소프트웨어 부분을 구성하였다. 구성된 신호 저장 시스템을 검증하기 위해 시스템을 이용해서 수신한 신호를 SDR로 처리한 결과와 상용 수신기를 이용하여 처리한 결과를 비교하였다. 실험결

과, 설계한 시스템이 실제 신호를 큰 왜곡 없이 수신하고 저장한 것으로 확인하였다. 따라서 신호 저장 시스템이 정상적으로 동작한다고 판단한다. 설계한 시스템을 이용하여 앞으로 다양한 환경에서 수신기 성능을 향상시키는 연구에 사용할 수 있을 것이다.

## REFERENCES

- [1] E. Abbott and D. Powell, "Land-vehicle navigation using GPS," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, no. 1, pp. 145-162, Jan. 1999.
- [2] J. C. Reynolds, R. P. Denaro and R. M. Kalafus, "GPS-based vessel position monitoring and display system," in *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 5, no. 7, pp. 16-22, July 1990.
- [3] J. J. Dougherty, H. El-Sherief, D. J. Simon and G. A. Whitmer, "A Design Approach for a GPS User Segment for Aerospace Vehicles," *1993 American Control Conference*, pp. 935-939, San Francisco, CA, USA, 1993.
- [4] H.-N. Li, L. Ren, Z.-G. Jia, T.-H. Yi, and D.-S. Li, "State-of-the-art in structural health monitoring of large and complex civil infrastructures," *J. Civil Struct. Health Monitor.*, vol. 6, no. 1, pp. 3-16, Feb. 2016
- [5] M. N. Boulos, and S. P. Yang, "Exergames for health and fitness: the roles of GPS and geosocial apps," *International Journal of Health Geographics*, vol. 12, no. 18, pp. 1-7, 2013.
- [6] I. Ilie, R. Hini, J. S Cardinal, P. Blood and P. France, "Record and Playback System for GNSS: Real Performances for Real Applications," in *InsideGNSS White Paper*.
- [7] <https://novatel.com/>
- [8] K. W. Park, M. J. Lee and C. Park, "Design of a GNSS RF Record and Playback System," *2017 IPNT Conference*, Jeju, Korea, 2017.
- [9] <https://www.ni.com/ko-kr.html>
- [10] J. Židek, P. Bilík and T. Wittassek, "Application of graphical programming and benefit of virtual instrumentation in teaching of state-of-the-art instrumentation," *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, pp. 688-691, Prague, Czech Republic, 2011.
- [11] K. W. Park, Y. S. Choi, M. J. Lee, S. J. Lee, and C. Park, "Implementation and performance analysis of Multi-GNSS signal collection system using single USRP," *Journal of Positioning Navigation, and Timing*, vol. 5, no. 1, pp. 11-20, 2016.
- [12] <https://gnss-sdr.org/>

## 저 자 소 개



황 용 택(학생회원)  
2023년 충남대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2023년~현재 충남대학교  
전자공학과 석사과정.

<주관심분야: GNSS 수신기 하드웨어>



황 지 우(학생회원)  
2023년 충남대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2023년~현재 충남대학교  
전자공학과 석사과정.

<주관심분야: GNSS 수신기 하드웨어, GNSS 시뮬레이터>



김 민 수(학생회원)  
2021년 군산대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2023년 충남대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
2023년~현재 LIG NEX1 연구원.

<주관심분야: GNSS 수신기 하드웨어>



유 호 영(정회원)  
2010년 연세대학교  
전기전자공학부  
학사 졸업.  
2012년 KAIST 전자공학과  
석사 졸업.  
2016년 KAIST 전자공학과  
박사 졸업.  
2016년 삼성전자 메모리사업부  
책임 연구원.

2020년 충남대학교 전자공학과 조교수.  
2020년~현재 충남대학교 전자공학과 부교수.  
<주관심분야: Error Correction Code, FPGA역공학, FPGA 플랫폼, PIM, GNSS 수신기 하드웨어>