

# GPS L1 C/A Code 생성기 하드웨어 및 Code 성능 분석

김도훈, 황지우, 황용택, 유호영\*

충남대학교 전자공학과

e-mail : dhkim21.cas@gmail.com, jwhwang.cas@gmail.com, ythwang.cas@gmail.com,  
hyyoo@cnu.ac.kr

## Hardware and Code Performance Analysis of GPS L1 C/A Code Generator

Dohun Kim, Jiwoo Hwang, Yongtaek Hwang, and Hoyoung Yoo\*

Department of Electronics Engineering

Chungnam National University

### Abstract

GPS requires non-overlapping data of four satellites to accurately calculate the user's location and time. Therefore, GPS identifies the satellite that transmitted the data by allocating the PRN code using CDMA technology. The uniqueness and time delay sensitivity of the PRN code are important evaluation criteria. In this paper, the L1 C/A code generator among GPS PRN codes was implemented in hardware to analyze the independence and time delay sensitivity of the correlation function results. In conclusion, it was verified that the hardware correctly generates the C/A code, and the correlation value was 12 dB difference compared to the case where the codes were the same, which was consistent with the theoretical value.

### I. 서론

GPS(Global Positioning System)는 위성에서 전송하는 전파를 이용해 지구 상의 3차원 좌표 및

시간을 결정하는 위성 항법 시스템이다. GPS는 항공, 해양, 도로 뿐만 아니라 LBS(Location-based service)등 쉽게 접하는 일상적인 부분에서도 이용된다. GPS는 군사용으로 개발된 후, 1983년부터 민간용 개방이 이루어져 현재까지 사용되고 있다. 사용자가 GPS 위성으로부터 정확한 데이터를 수신하기 위해서는 최소 4개의 위성 항법 데이터가 요구된다. 하지만 중복된 위성의 데이터를 수신할 경우, 사용자의 위치와 시간을 계산하기 어렵다. 이에 GPS는 데이터를 전송한 위성들을 분류하기 위하여 CDMA(Code Division Multiple Access) 통신 기술을 이용한다. CDMA는 의사적인 잡음인 PRN(Pseudo Random Noise)으로 code를 만들고 각 위성에게 고유한 식별번호를 부여하는 기술이다. PRN code는 고유성에 있어 code 간의 독립성과 시간 지연에 대한 민감도가 중요한 평가 요소가 된다. 이러한 측면에서 위성에서 실제 만들어 내는 PRN code가 어떠한 데이터인지, 독립성과 시간 지연 민감도는 어느 정도인지 정확하게 수치화해서 분석하는 것이 필수적이다.

따라서 본 논문은 GPS에 사용되는 PRN code 중 L1 주파수 대역의 C/A code를 생성하는 하드웨어를 설계해 FPGA(Field Programmable Gate Array) 자원 사용량을 확인하고, 상관 함수를 통해 code의 성능을 분석한다.

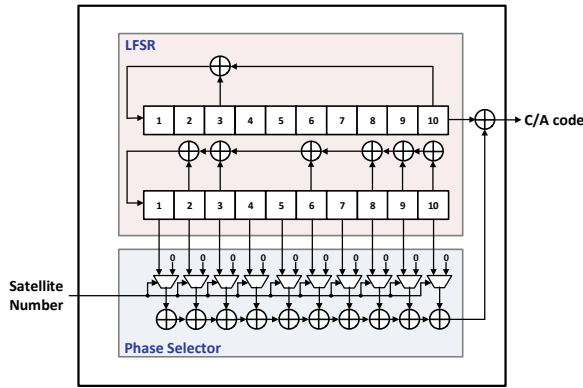


그림 1. GPS L1 C/A code 생성기 구조

## II. GPS L1 C/A code 생성기의 구조

하드웨어로 구현한 GPS L1 C/A code 생성기의 구조는 그림 1과 같다. L1 C/A code 생성기는 크게 2개의 LFSR(Linear Feedback Shift Register)과 phase selector로 구성된다[1]. LFSR은 보유 비트 길이  $n$ 에 따라  $2^n - 1$ 의 선형적인 주기를 가지면서 PRN을 생성하는 시프트 레지스터이다. GPS L1 C/A code에 사용되는 LFSR은 두 개 모두 10 비트의 크기를 가지고 있기 때문에 주기에 해당하는 코드의 길이는 1023이 된다. 또한 LFSR은 선별한 다항식 비트의 조합에 따라 여러 PRN을 구성할 수 있다. C/A code 생성기의 LFSR은 다항식 구성에 따라 G1, G2 LFSR로 나뉘며 모든 비트의 초기값은 1로 세팅된다. 그림 1의 두 LFSR 다항식을 각각  $P_{G1}$ ,  $P_{G2}$ 라고 하면 다음과 같은 수식을 만족한다.

$$P_{G1} = 1 + x^3 + x^{10}, \quad (1)$$

$$P_{G2} = 1 + x^2 + x^3 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} \quad (2)$$

$P_{G1}$ 을 통해 G1 LFSR은 3번째와 10번째 비트로 다항식을 구성하고  $P_{G2}$ 을 통해 G2 LFSR은 2, 3, 6, 8, 9, 10번째 비트로 다항식을 구성하는 것을 확인할 수 있다. Phase selector는 두 LFSR 중 G2 LFSR의 10개의 bit에서 입력된 위성 번호에 맞는 2개의 bit를 선택하여 XOR 연산 결과를 출력한다. Phase selector를 이용해 출력된 bit는 G1 LFSR을 통해 출력된 bit와 다시 한번 XOR 연산이 이루어지고, 완성된 C/A code가 출력된다.

## III. 실험 환경 및 결과

### 3.1 하드웨어 자원 사용량

본 논문에서는 GPS L1 C/A code 생성기의 성능을

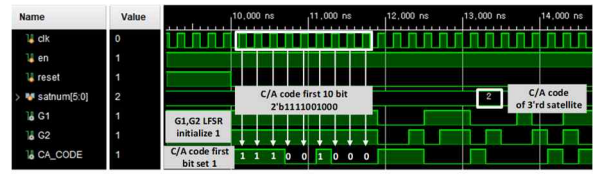


그림 2. C/A code 하드웨어 시뮬레이션 결과

표 1. 하드웨어 자원 사용량

Hardware resource	Number of utilization
LUT	18
FF	22
IO	12
BUFG	1

검증하기 위해 Xilinx사의 Kintex UltraScale KCU105 (KU040) 평가 보드를 사용하고, Vivado 2021.2 버전의 EDA tool을 이용하였다. 그림 1과 같이 설계한 L1 C/A code 생성기를 동작 주파수 200MHz로 합성을 진행 하였으며, 하드웨어 자원 사용량은 표 1과 같다. 합성한 C/A code 생성기에서 생성되는 C/A code가 올바르게 생성되는지 알아보기 위하여 확인한 시뮬레이션 결과는 그림 2와 같다. 3번 위성에 대해 C/A code의 생성을 검증하였으며 이론적인 3번 위성의 C/A code의 초기 10개의 bit는 2'b1111001000이다[2]. 이론적인 값과 그림 2를 통해 설계한 L1 C/A code 생성기에서 올바르게 C/A code가 생성됨을 알 수 있다.

### 3.2 code 성능 분석

생성기의 code간 독립성과 시간 지연에 대한 민감도를 평가하기 위해서 교차 상관 함수와 자기 상관 함수를 이용했다. 교차 상관 함수는 신호 지연에 따라 서로 다른 신호 간의 유사성을 수치화 할 수 있으며, 자기 상관 함수는 동일한 신호에 대해 유사성을 수치화 할 수 있다. 교차 상관 함수로부터 수치화한 값이 낮을수록 신호간의 독립성이 우수하고, 자기 상관 함수로부터 수치화한 값이 zero lag에서 높은 값을 나타내고 이를 제외한 영역에서 낮은 값을 나타낸다면 시간 지연에 대한 민감도가 높다. 각각의 상관 함수를  $r_{Cross}[n]$ ,  $r_{Auto}[n]$ 이라고 하면 다음과 같은 수식이 성립한다[3].

$$r_{Cross}[n] = \sum_{l=0}^{1022} C^l[l] C^k[l+n], \quad (3)$$

$$r_{Auto}[n] = \sum_{l=0}^{1022} C^k[l] C^k[l+n] \quad (4)$$

$n$ 은 상관 함수의 index로 code의 지연을 나타내고,

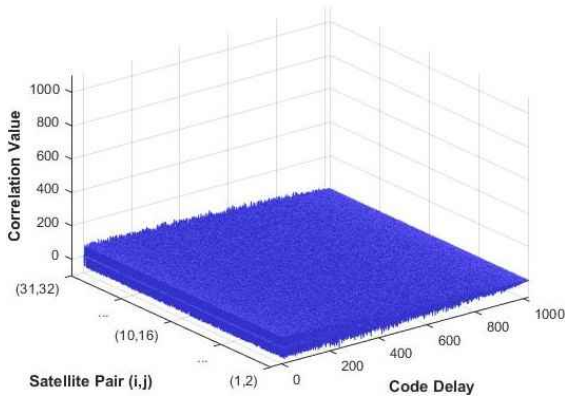


그림 3. 위성 C/A code에 대한 교차 상관 함수

$l$  은 C/A code의 index로 code의 bit에 해당한다.  $C^l(l)$  는  $i$  번째 위성의 C/A code이다. 여기서 C/A code에 생성되는 gold code 특성을 가지고 LFSR이 10개의 bit로 이루어져 있기 때문에 각 상관 함수는 다음의 부등식을 만족한다[4].

$$|r_{Cross}(n)| \leq 2^{(10+2)/2} + 1 = 65 \quad (5)$$

$$|r_{Auto}(n)| \leq 2^{(10+2)/2} + 1 = 65 \quad (n \neq 0) \quad (6)$$

그림 3은 1부터 32번까지의 가능한 위성의 조합 쌍에 대하여 교차 상관 함수를 나타낸 것이다. Satellite pair (i,j)는  $i$  번째 위성과  $j$  번째 위성의 교차 상관 값을 나타낸다. 나타낸 함수 모두 최대 상관 값이 63, 최소 상관 값이 -65으로, 식 (5)를 만족하였다. 그림 4은 교차 상관 함수에 사용하였던 32개의 위성에 대하여 자기 상관 함수를 나타낸 것이며, 시간 지연이 0인 지점에서 code의 길이에 해당하는 1023이, 그 외의 상관 값은 최대 63, 최소 -65로 식 (6)을 만족하였다. 이를 통해 각 상관 함수가 이론적인 수식을 만족하는 것을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 하드웨어로 구현한 GPS L1 C/A code 생성기의 성능을 검증함과 동시에 이론적인 수식과 동일한 값을 생성하는지를 확인하였다. 정확히 동일한 신호임을 나타내는 자기 상관 함수의 시간 지연이 0인 지점의 값인 1023과 비교했을 때, 각 상관 함수가 가질 수 있는 값은 12dB의 차이를 보인다. 따라서 생성한 C/A code가 높은 독립성과 지연 시간 민감도를 보인다고 할 수 있다. 설계한 생성기를 기반으로 하여 추후 GPS 수신기의 성능을 검증하는 연구, C/A code의 성능을 개선하는 연구 등 GPS 시스템의 향상을 위한 다양한 연구에 사용할 수 있을 것이다.

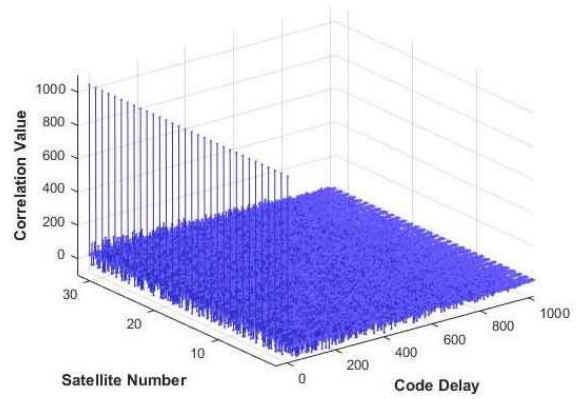


그림 4. 위성 C/A code에 대한 자기 상관 함수

#### Acknowledgments

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2022R1A58026986 ), Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (2022-0-01170, PIM 반도체 설계연구센터), National R&D Program through the NRF funded by Ministry of Science and ICT(2020M3H2A1078119).

#### 참고문헌

- [1] J. Ying and L. Jincheng, "Design of BDS/GPS C/A Code Generator," *2021 4th International Conference on Electron Device and Mechanical Engineering (ICEDME)*, Guangzhou, China, 2021, pp. 5-9.
- [2] PNT Capability Integration, Portfolio Architect, Space and Missile Systems Center, LAAFB. Interface Specification (IS) – Global Positioning System(GPS)-200M,2021, <https://www.gps.gov/technical/icwg/ISGPS-200M.pdf>.
- [3] K. Borre, D. M. Akos, N. Bertelsen, P. Rinder, and S. H. Jensen, *A Software-Defined GPS and Galileo Receiver, a Single Frequency Approach*. Boston, MA, USA: Birkhäuser, 2007.
- [4] T. M. N. Huda and S. F. Islam, "Correlation analysis of the gold codes and walsh codes in CDMA technology," *2009 First Asian Himalayas International Conference on Internet*, Kathmundu, Nepal, 2009, pp. 1-4.