

GPS L1 C/A 기반의 신호 획득부 구현 및 비교

Comparison on Various Acquisition Method for GPS L1 C/A

박지운*, 유호영*

Jiwoon Park*, Hoyoung Yoo*

Abstract

GPS is a representative satellite navigation system that provides users with accurate location and time information. GPS L1 C / A is opened for civilian and thus utilized in various fields. When the satellite signal reaches the receiver, signal acquisition unit of the digital signal processing hardware searches and acquires the signal among visible satellites. The signal acquisition unit has different implementation methods depending on the signal searching method, such as serial search acquisition, parallel frequency search, parallel code phase search. In this paper, we compare and analyze the three representative acquisition hardwares using live GPS L1 C/A signals. According to the comparison, the parallel code phase search acquisition outperforms the other methods due to reduction of the number of the searchings and a high resolution.

요약

대표적인 위성 항법 시스템인 GPS는 사용자에게 위치와 시간을 제공한다. GPS L1 C/A는 민간용으로 개발되어 다양한 분야에서의 높은 활용도를 보인다. 위성 신호가 수신기에 도달하면 디지털 신호 처리단의 신호 획득부에서 가시 위성의 신호를 검색 후 획득하고, 획득한 신호는 신호 추적단에서 실시간으로 신호를 추적하며 항법 메시지를 추출한다. 신호 획득부는 직렬 검색 획득, 병렬 주파수 검색 획득, 병렬 코드 위상 검색 획득 등 신호 검색 방식에 따라 구현 방식이 달라지는데, 본 논문에서는 세 가지 검색 방식에 따라 GPS L1 C/A코드용 신호 획득부를 구현하고 각각을 비교한다. 직렬 검색 획득과 병렬 주파수 검색 획득에 비해서 병렬 코드 위상 검색 획득은 검색 횟수를 줄일 수 있고 높은 해상도의 상관값을 가질 수 있기 때문에 계산 과정 중 필요한 연산의 복잡도를 줄인다면 항법 시스템의 빠른 동작을 위해서 최적의 검색 방식으로 사용될 수 있다.

Key words : GPS L1 C/A, Acquisition, Serial search, Parallel frequency search, Parallel code phase search

1. 서론

GPS(Global Positioning System)는 대표적인 위성 항법 시스템으로 인공위성을 이용하여 위치와 시간을 제공하는 기술이다. 사용자 위치의 지속적

인 측정을 목적으로 개발된 GPS는 미국에서 국방용으로 사용하다가 1983년 이후 민간용으로 개방되어 항법과 제어 분야 외에도 다양한 응용 분야에서 활용되고 있다.

현재 총 37개의 위성으로 운영되고 있는 GPS는

* Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University

★ Corresponding author

E-mail : hyyoo@cnu.ac.kr, Tel : +82-42-821-6585

※ Acknowledgment

This work was supported by the Brain Korea 21 Plus and by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (NRF-2019M3F3A1A01074449)

Manuscript received Jun. 17, 2020; revised Jun. 18, 2020; accepted Jun. 24, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기본적으로 24개의 GPS 위성군이 20,200Km 상공에서 6개의 원 궤도를 돌면서 사용자에게 위성 신호를 송신한다. 각 위성에서 송출되는 신호는 반송파, PRN(Pseudo Random Noise) 코드, 항법 메시지로 구성된다. 첫 번째인 반송파 주파수는 L1 대역(1575.42MHz), L2 대역(1227.60MHz), L3 대역(1381.05MHz), L5 대역(1176.45MHz)로 총 네 가지 주파수 대역폭을 가진다[1][5].

그 중 민간용으로 활용도가 높은 L1 대역에서 CDMA(Code Division Multiple Access)를 이용하기 위해 사용되는 코드는 크게 두 가지인데, 민간용으로 주로 사용하는 C/A(Coarse/Acquisition) 코드와 군용으로 사용하는 P(Precise) 코드이다[1][6]. 위성들은 자신에게 할당된 고유한 코드를 이용하여 데이터에 코드를 적용한 신호를 송출하게 된다. 고유한 코드는 자기 상관 성질에 의해 높은 상관값을 보이고 다른 코드와의 교차 상관시에는 낮은 상관값을 보이기 때문에 해당 신호의 고유한 코드를 이용하여 신호를 송신한 위성의 종류를 알 수 있다[2].

신호 구성 요소의 세 번째인 항법 메시지는 초당 50비트의 전송률을 가지고 1500 비트 길이의 프레임 단위로 표현한다. 하나의 프레임은 5개의 서브프레임으로 구분되고, 각 위성의 건강상태, 위성들의 궤도 정보, 위성 위치 정보 등의 내용을 포함하고 이러한 정보를 이용하여 항법해를 계산하면 사용자의 위치와 시각을 파악할 수 있다[2].

수신기의 위치에 따라 달라지는 가시 위성의 신호들이 수신기에 도달하면, 수신된 신호는 그림 1과 같이 다운샘플링과 필터링을 위해 RF단을 거치게 된다. RF단을 통과하여 IF주파수로 다운샘플링된 신호는 디지털 신호 처리단에 입력된다[3]. 디지털 신호 처리단에서는 신호가 신호 획득부와 신호 추적부를 거치는 과정을 통해 최종적으로 항법 메시지를 추출한다. 프로세싱단에서는 추출한 메시지를 이용하여 항법해를 계산하고 사용자의 위치와 시각정보를 제공한다[3]. 본 논문에서는 디지털 신호 처리단 내의 신호 획득부에서 사용되는 여러 구현기법을 소개하고 신호를 획득한 결과를 통해 현재 수신기에 최적화된 구현기법을 제안한다.

II. 신호 획득부

수신기의 입장에서 전체 위성 중 가시 위성의 수

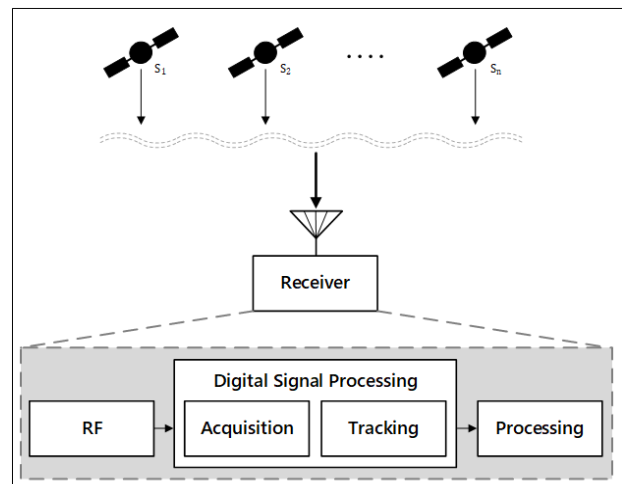


Fig. 1. Block diagram for overall receiving system.

그림 1. 전반적인 수신 시스템의 블록 다이어그램

가 4개 이상일 때, 수신기는 각 가시 위성과의 거리와 정보들을 이용하여 항법 해를 구할 수 있다[4]. 따라서 수신기가 장상 동작하기 위해 입력되는 신호는 그림 1과 같이 최소 4개 이상의 가시 위성에서 송출된 신호들의 합이 된다[4]. 가시 위성의 신호들은 전파과정 도중 도플러 주파수 편이와 코드 위상이 이동되는 현상이 개별적으로 적용된다[3].

수신기의 디지털 신호 처리단은 크게 신호 획득부와 신호 추적부로 구분되는데, 신호 획득부에서는 가시 위성의 신호를 획득하기 위해서 발생 가능한 주파수 편이와 코드 위상 이동의 범위에 대하여 가시 위성의 신호를 검색해야 한다. 수신 신호와 수신기에서 생성한 신호 간의 상관성을 이용한 검색을 진행하여 상관값이 임계값보다 높을 경우, 가시 위성의 신호가 갖는 도플러 주파수 편이와 코드 위상 이동 값을 수신기에서 생성한 신호와 대략적으로 정렬되었다고 판단할 수 있으며 고유한 코드를 이용하여 가시 위성의 종류도 구분할 수 있다[4]. 신호 추적부는 이러한 과정을 거친 후 신호 획득부에서 얻은 대략적인 도플러 주파수와 코드 위상 값을 이용하여 미세한 조정을 통해 더 정밀한 값을 파악한다. 가시 위성의 신호를 획득하여도 시간의 흐름에 따라 신호는 도플러 주파수와 코드 위상이 계속 변화한다. 따라서 획득한 신호의 변화를 추적하고 코드 주기마다 신호가 포함된 항법 메시지를 추출하여 프로세싱단으로 전달한다[3].

전반적인 수신기 구성 중에서 신호 획득부의 구현 방식은 신호를 검색 방식에 따라 직렬 검색, 병렬 주파수 검색, 병렬 코드 위상 검색으로 종류가

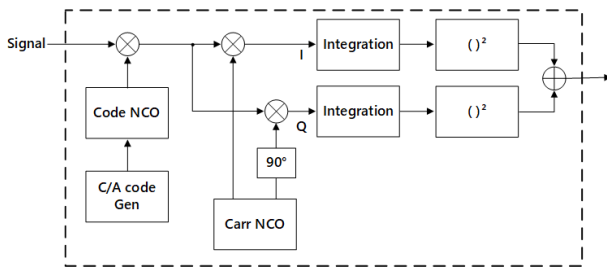


Fig. 2. Block diagram of serial search.
그림 2. 직렬 검색의 블록 다이어그램

나닌다[3][6][7]. 세 방식은 동작 방식, 동작 횟수, 출력 결과에 큰 차이를 보인다.

(1) 직렬 검색 획득

수신된 위성 신호가 도플러 주파수 편이로 인해 변동되는 범위는 일반적으로 고정 수신기는 ±5kHz, 이동 수신기는 ±11kHz의 범위를 넘지 않는다. 이동 수신기의 도플러 주파수 편이로 인한 변동 폭을 고려하여, 직렬 검색 획득은 IF주파수를 기준으로 ±11kHz까지 변화되는 도플러 주파수 편이값을 500Hz 단위로 적용한다. 각 도플러 주파수가 적용된 주파수에 대해서는 한 칩 간격씩 코드를 이동시키면서 상관값을 계산하게 된다[3]. 따라서 도플러 주파수 편이 폭이 최대 ±11kHz이고 500Hz 단위로 전체 검색을 한다고 가정하면

$$\left(\frac{2 \times 11000}{500}\right) \times 1023 = 46035, \tag{1}$$

46035번의 계산횟수가 필요하다. 샘플링 주파수는 CA코드의 칩전송률인 1.023MHz보다 크기 때문에, 상관값 계산을 위해서는 그림 2와 같이 신호와 복제 반송파, 그리고 복제 코드의 곱을 CA코드의 주기인 1ms만큼 적분해야 한다[10]. 적분한 값이 임계값을 넘으면 도플러 주파수로 편이된 주파수 값과 코드 이동된 위상차를 대략적으로 정렬된 값이라고 알 수 있고 직렬 검색 획득 방식을 이용하여 신호를 획득하게 된다.

(2) 병렬 주파수 검색 획득

병렬 주파수 검색 획득은 한 칩마다 FFT(Fast Fourier Transform)를 통해서 주파수 축 전체를 검색한다[7]. 직렬 검색 획득은 한 칩에 대해 45번의 도플러 주파수를 적용하여 45번의 상관값을 계산해야 하지만 병렬 주파수 검색 획득은 칩마다 한

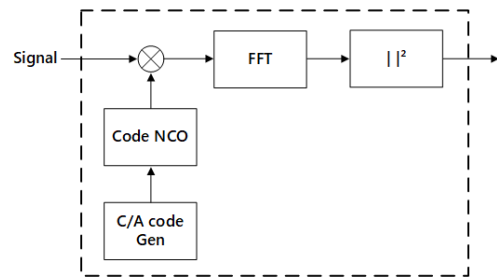


Fig. 3. Block diagram of parallel frequency search.
그림 3. 병렬 주파수 검색의 블록 다이어그램

번의 FFT만 실행하기 때문에 1023번의 계산으로 전체 검색이 가능하다. 샘플링 주파수를 25MHz일 때의 병렬 주파수 검색 획득의 동작은 그림 3과 같이 신호와 복제 코드를 곱한 값이 FFT에 입력되는데, 1ms 주기인 25000개 샘플 개수만큼 곱한 값들이 FFT에 입력된다[7]. FFT 연산 결과는 샘플링 주파수의 절반인 12.5MHz를 12500개의 샘플 개수로 표현한 주파수 축을 기준으로 상관값이 표현된다. 제대로 정렬된 복제 코드를 이용한 FFT 연산 결과라면 IF 주파수와 도플러 주파수가 합해진 주파수에 대응되는 샘플 위치에서 피크 값이 도출될 것이다. 주파수 해상도는 샘플링 주파수의 절반을 1ms 주기인 FFT 사이즈의 절반으로 표현하기 때문에 식 (2)로 나타낸다[3].

$$\frac{\left(\frac{F_s}{2}\right)}{\left(\frac{N}{2}\right)} = \frac{\left(\frac{25 \times 10^6}{2}\right)}{\left(\frac{25 \times 10^3}{2}\right)} = 1kHz, \tag{2}$$

(3) 병렬 코드 위상 검색 획득

병렬 코드 위상 검색 획득은 한 번의 FFT 연산으로 주파수 축 전체를 파악하는 병렬 주파수 검색 획득과는 다르게 코드 위상을 FFT하여 코드 위상 축 전체를 파악하는 검색 방식이다[8][10]. 앞선 가정과 같이 도플러 주파수 편이 최대 폭인 ±11kHz를 500Hz 단위로 검색하면 45번의 연산만으로 전체 검색을 할 수 있다. 병렬 코드 위상 검색 획득의 블록 다이어그램인 그림 4와 같이 먼저 신호와 복제 주파수를 곱한 값을 1ms 주기의 25000개 샘플 개수에 맞게 연산하고 25000개의 곱한 값을 이용하여 FFT 연산한다. 임의의 한 위성을 나타내는 CA 코드의 1023칩도 1ms 주기인 25000샘플로 확장해 주고 FFT로 연산한다. FFT 연산된 코드는 켈레복소수를 취한 후에 신호의 FFT 연산값과 곱하고

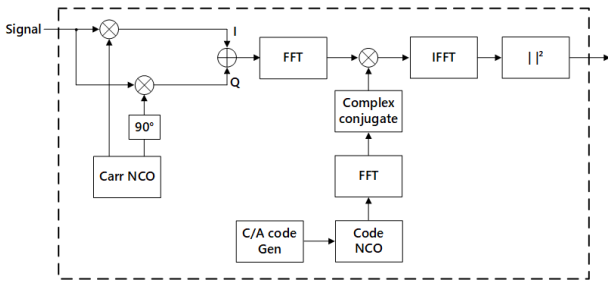


Fig. 4. Block diagram of parallel code phase search.
그림 4. 병렬 코드 위상 검색의 블록 다이어그램

IFFT(Inverse FFT)를 하면 상관값을 확인할 수 있다[9]. 한 번의 검색 동안 FFT연산 2번, IFFT연산 1번이 필요하여 다른 신호 획득부에 비해 신호 획득부의 복잡도가 높아지지만 검색횟수가 20배 이상 줄어든다[10].

III. 실험결과

USRP(Universal Software Radio Peripheral)를 이용하여 L1 대역 주파수의 실제 위성 신호를 25MHz로 샘플링 주파수로 수신하였고 IF주파수는 5.42MHz로 설정하여 신호를 다운샘플링하였다. 세 종류로 구현한 신호 획득부를 이용해 수신 신호에서 PRN 32번인 위성의 신호를 획득하였다. 모든 종류의 신호 획득부는 앞선 가정과 동일하게 도플러 주파수 편이 최대폭인 $\pm 11\text{kHz}$ 에 대해 500Hz 단위로 검색을 진행하였다. PRN 32번에 대한 실험결과로 그림 5는 직렬 검색 획득, 그림 6는 병렬 주파수 검색 획득, 그림 7은 병렬 코드 위상 검색 획득을 이용하여 도출한 상관값을 나타낸다. 표 1에 기술하였듯이, 직렬 검색은 46035번의 계산횟수와 동일한 46035개의 상관값을 갖는다. 병렬 주파수 위상 검색은 전체 1023칩에 대해 칩당 한 번의 FFT 연산이 필요하여 1023번의 계산횟수와 계산 결과로 25,575,000개의 상관값을 갖는다. 하지만 주파수 폭이 0에서부터 12.5MHz까지의 범위를 나타내기 때문에 실질적인 도플러 주파수 편이 폭을 반영하면 575,000개의 상관값이 출력된다. 병렬 코드 위상 검색 획득은 도플러 주파수 편이 값마다 계산이 진행되고 코드 위상 축을 25000개 샘플로 표현하여 대략 0.04 칩마다 상관값을 가진다. 따라서 총 1,125,000개의 상관값을 가지므로 다른 구현 방식에 비해 해상도가 가장 높고 검색횟수도 가장 낮은 것을 알 수 있다.

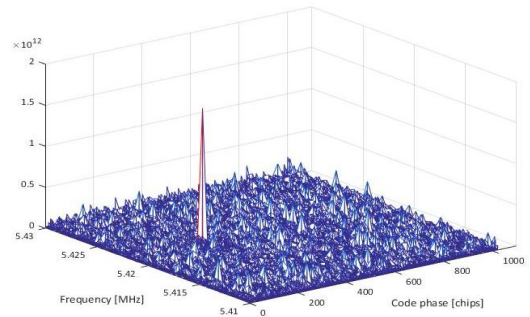


Fig. 5. Correlation values of serial search.
그림 5. 직렬 검색의 상관값

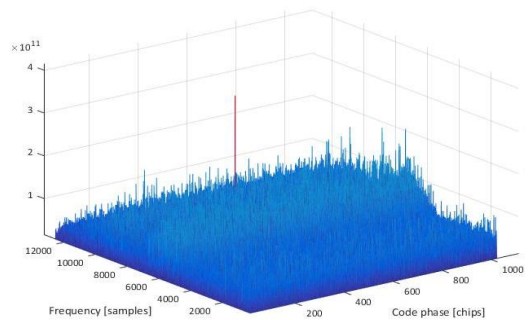


Fig. 6. Correlation values of parallel frequency search.
그림 6. 병렬 주파수 검색의 상관값

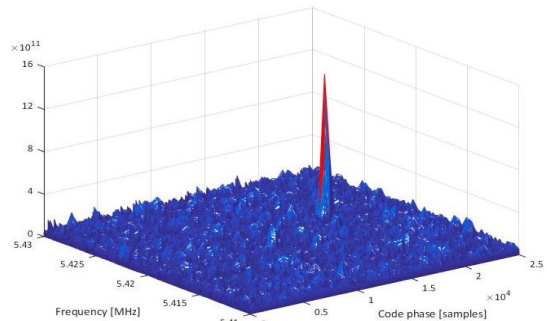


Fig. 7. Correlation values of parallel code phase search
그림 7. 병렬 코드 위상 검색의 상관값

Table 1. Comparison on three types of acquisition method.
표 1. 구현한 세 가지 획득 방식에 대한 비교

Physical Metrics	Serial	Parallel Frequency	Parallel Code Phase
Frequency Resolution	500Hz	1kHz	500Hz
Code phase Resolution	1 Chip	1 Chips	0.04 Chips
Repetitions	46,035	1,023	45
Correlation Value Resolution	46,035	575,000	1,125,000

IV. 결론

본 논문은 GPS L1 C/A코드를 기반으로 대표적인 3가지의 신호 획득부를 구현해보았다. 다른 검

색 방식에 비해 병렬 코드 위상 검색을 이용한 획득 방식은 해상도가 가장 높고 검색 횟수를 최소한으로 줄이기 때문에 항법 시스템의 실시간 동작을 위해 가장 효율적인 것을 확인하였다. [10]. 향후 다양한 FFT 연산 기법[11]을 통해 병렬 코드 위상 검색 구현의 복잡도를 줄여 최적화된 신호 획득부 구현을 진행할 예정이다.

References

- [1] Interface specification IS-GPS-200: Navstar GPS Space Segment/Navigation User Segment Interfaces, *Global Positioning System Directorate*, 2019.
- [2] J. B. Y. Tsui, *Fundamentals of Global positioning System Receivers -A Software Approach*, John Wiley & Sons Inc, 2005. DOI: 10.1002/0471200549
- [3] Kai borre, *A software Defined GPS and Galileo receiver -A single frequency approach*, Birkhauser, 2007. DOI: 10.1007/978-0-8176-4540-3
- [4] Kaplan, Elliott, and Christopher Hegarty. *Understanding GPS: principles and applications*. Artech house, 2005.
DOI: 10.1017/S0373463300023730
- [5] Kovar, P., P. Kacmarik, and F. Vejrazka. "Interoperable GPS, GLONASS and Galileo software receiver," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vol26, No.4, 2011.
DOI: 10.1109/MAES.2011.5763340
- [6] Shivaramaiah, Nagaraj C., and Andrew G. Dempster. "On the baseband hardware complexity of modernized GNSS receivers," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2010.
DOI: 10.1109/ISCAS.2010.5537816
- [7] Yuying Zheng, "A software-based frequency domain parallel acquisition algorithm for GPS signal," *International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification*, 2010.
DOI: 10.1109/ICASID.2010.5551340
- [8] Lin, W. H., et al. "Acquisition of GPS software receiver using split-radix FFT," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2006. DOI: 10.1109/ICSMC.2006.384873

[9] Patel, Vandana. "Reduced-size FFT correlation techniques for GPS signal acquisition." *Int. J. Comput.* 2011.

[10] Ahamed, Shaik Fayaz, et al. "Fast acquisition of GPS signal using Radix-2 and Radix-4 FFT algorithms," *IEEE 6th International Conference on Advanced Computing*, 2016.
DOI: 10.1109/IACC.2016.130

[11] Rao, M. Venu Gopala, and D. Venkata Ratnam. "Faster acquisition technique for software-defined GPS receivers," *Defence Science Journal*, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.14429/dsj.65.5579>

BIOGRAPHY

Jiwoon Park (Member)



2020 : BS degree in Electronics Engineering, Chungnam National University.

2020~: MS degree in Electronics Engineering, Chungnam National University.

Hoyong Yoo (Member)



2010 : BS degree in Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University.

2012 : MS degree in Electronics Engineering, KAIST.

2016 : Ph.D. degree in Electronics Engineering, KAIST.

2016 : Researcher, Samsung Electronics.

2016~ : Assistant Professor, Chungnam National University.