

論文

한국에서 QZSS 위성의 L5 신호처리 결과

주인원*, 이상욱*

QZSS L5 Signal Processing Results in Korea

Inone Joo* and SangUk Lee*

ABSTRACT

Launch of the first Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) satellite, dubbed Michibiki, took place September 11, 2010 and technical and application verification of the satellite is being carried out. This paper presents the results obtained from processing of the L5 signal transmitted from the QZSS satellite. The QZSS L5 signal is collected in ETRI, Korea. And then, the acquisition and tracking are performed by the L5 software receiver implemented by ETRI. The tracking loop of FLL, PLL, and DLL, the EPL correlator output, and the C/No output results show that the QZSS L5 signal is normally processed. Finally, the paper demonstrates that the QZSS L5 signal could be used as GPS satellite based augmentation system in Korea as well as Japan.

Key Words : QZSS(준천정위성), Michibiki(안내), Navigation(항법), GPS(지피에스), GNSS(위성항법시스템)

1. 서 론

GPS(Global Positioning System)은 증례도를 선회하는 다수의 항법위성으로부터 전송된 신호를 수신하여 사용자의 정확한 위치(위도, 경도, 고도)정보와 시각정보를 획득할 수 있도록 항법 신호를 제공하는 광역 측위시스템이다. GPS는 항법뿐만 아니라 측지, 측량, 기상관측 및 지각변동 측정 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 하지만, GPS는 서울 도심지와 같은 고층건물이 많은 환경에서는 건물 및 지형지물에 의해 위성신호가 차단되고 가시위성이 감소하게 되면 사용자의 위치정확도가 저하되는 문제점을 갖는다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 최근에는 지역위성 항법시스템을 추가적으로 배치하여 운용되고 있

으며 일본의 경우 GPS 신호 가용성과 측위 정확도를 향상시키기 위해 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System) 시스템을 추진하고 있다. QZSS는 이심률이 큰 타워궤도에 배치된 총 3기의 위성을 이용하여 최소한 한 개의 위성을 일본 상공에 항상 위치하도록 운용된다[1]. 2010년 9월 11일, QZSS 첫 번째 위성인 Michibiki 위성이 일본 Tanegshima 우주 센터에서 발사되었고, 현재 JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency : 일본 우주항공연구개발기구)는 기술검증을 통해 QZSS 인터페이스 규격과 항법신호의 신뢰성을 확인하였다[2]. 한편, 미국은 GPS 현대화 계획을 추진하고 있으며 그 주요 내용 중의 하나가 L5라고 불리는 새로운 민간용 코드를 1176.45MHz 주파수에 전송하는 것이다. L5 주파수는 ARNS(Aeronautical Radio Navigation System)에 할당된 주파수대역의 한 부분으로, 특히 항공기의 안전한 운항을 위하여 사용될 예정이다[3]. 현재 QZSS 위성은 L1, L2C, L5 및 LEX 신호를 전송하고 있으며, QZSS L1 신호의 경우는 이미 한국에서 정상적으로 수신되어 활용이 가능함을 확

2011년 9월 19일 접수 ~ 2011년 12월 10일 심사완료

* 한국전자통신연구원 위성항법연구팀

연락처, E-mail : inone@etri.re.kr

대전시 유성구 가정로 138

인하였으며[4], 본 논문은 QZSS에서 전송하는 신호들 중에서 L5 대역의 신호처리 결과를 제시한다. 이를 위해 대전에 위치한 ETRI(한국전자통신연구원)에서 QZSS L5 신호를 수신하였다. GPS L5 코드의 193번째 PRN을 이용하여 QZSS L5 코드를 생성하였고, ETRI에서 개발한 GPS L5 S/W 수신기[5]를 활용하여 신호처리를 수행하였다. 그리고, 신호처리 결과를 통해 QZSS L5 위성 신호를 국내에서 충분히 활용할 수 있음을 확인하였다.

II. QZSS L5 데이터 수집

2.1 QZSS TLE

QZSS 위성의 TLE(Two Line Element)를 이용하여 ETRI 상공을 지나가는 시간을 예측하였고, 2011년 7월 13일 ETRI 상공에서 QZSS L5 데이터 수집하였다. Fig.1은 데이터 수집할 당시의 QZSS 위성의 위치를 보여준다.



Fig.1 QZSS 위성 궤도

2.2 데이터 수집 환경

Fig.2는 QZSS L5 데이터 수집을 위한 환경 구성도를 보여준다.

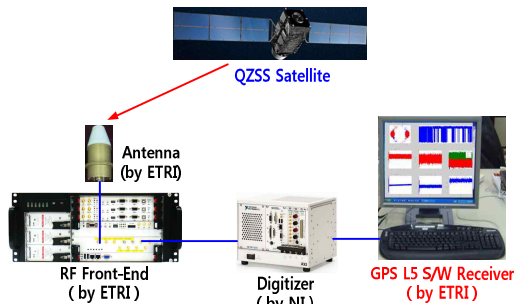


Fig.2 데이터 수집 환경

안테나와 RF/IF 모듈은 ETRI에서 개발한 시제품을 이용하였고, NI사의 샘플링 장비를 이용하여 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터는 ETRI에서 개발한 GPS L5 S/W 수신기를 이용하여 신호처리를 수행하였다.

2.3 QZSS L5 규격

Table.1은 수집한 QZSS L5 데이터규격이다. L5 신호는 L1 C/A 신호와 달리 데이터 채널과 파일럿 채널을 동시에 전송한다. L5 신호의 코드 주기는 L1 C/A신호와 동일한 1ms이지만, 칩율은 10.23MHz로 L1 C/A신호에 비해 10배가 더 빠르고, 코드길이가 10,230개로 L1 C/A신호에 비해 10배가 더 길다.

Table 1. QZSS L5 수신 데이터 규격

신호규격	QZSS L5
변조방식	데이터 채널 : BPSK 파일럿 채널 : BPSK
Chip rate	10.23MHz
Symbol rate	100 Symbol/s (10ms)
대역폭	26MHz
IF 주파수	140MHz
샘플링 주파수	112MHz
양자화 비트	8bit

III. QZSS L5 코드 생성

3.1 QZSS L5 PRN 할당

JAXA(일본 우주항공연구개발기구)는 QZSS 인터페이스 규격 문서인 IS-QZSS를 발표하였고, 그 문서에서 QZSS는 PRN 193번을 사용한다고 기술되어 있다[6]. 따라서, GPS L5 인터페이스 규격 문서인 IS-GPS-705을 이용하여[7], QZSS L5 코드를 생성하였고, Table.2는 PRN 193을 사용하는 QZSS L5 코드의 위상 할당값을 보여준다.

Table 2. QZSS L5 코드 위상 할당값

PRN Signal No.	XB Code Advance - Chips		Initial XB Code State	
	I5	Q5	I5	Q5
193	5836	4757	0110000 101110	10011100 00111

3.2 QZSS L5 코드 생성기

Fig 3은 L5 코드 생성기를 보여준다. 데이터 채널인 I5 코드와 파일럿 채널인 Q5 코드는 모두 $XA(t)$ 와 $XBI_i(nI_i, t)$ 또는 $XBQ_i(nQ_i, t)$ 의 배타 논리합(exclusive OR)에 의해서 생성된다[5]. nI_i 와 nQ_i 는 XBI_i 와 XBQ_i 의 초기 레지스터 값으로, Table.2에서 QZSS L5의 각각의 13개의 초기 레지스터값을 이용한다

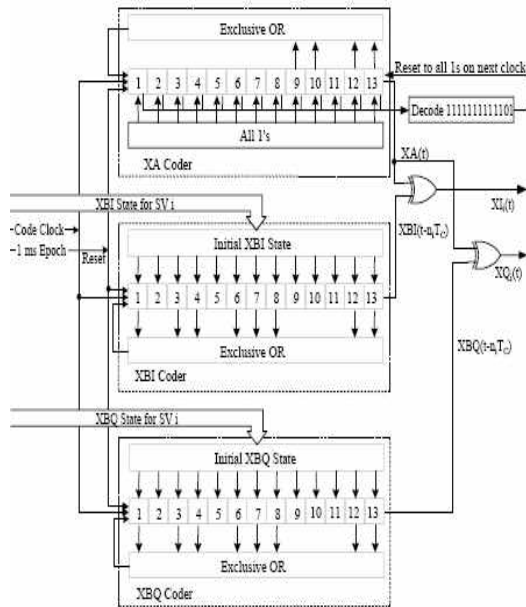


Fig.3 L5 코드 생성기

한편, 시프트 레지스터 입력값을 산출하는 시프트 레지스터의 다항식은 다음과 같다.

$$XA : 1 + x^9 + x^{10} + x^{12} + x^{13}$$

$$XBI_i \text{ or } XBQ_i: 1 + x + x^3 + x^4 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{12} + x^{13}$$

Table 3은 L5 코드 발생기를 이용하여 QZSS 위성의 데이터 채널(I5)와 파일럿 채널(Q5)의 PRN 코드 생성하여 초기 30개의 값을 보여준다.

Table 3. QZSS L5 코드(I5 와 Q5)

	1	0	0	0	1	0
데이터 채널(I5)	1	1	1	1	0	0
	1	1	1	0	1	0
	0	1	0	0	1	0
	0	1	1	1	0	0
파일럿 채널(Q5)	0	0	0	1	1	1
	1	0	0	0	1	1
	0	1	1	0	0	1
	1	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	0

IV. QZSS L5 신호처리 결과

4.1 신호획득 결과

신호획득은 Parallel Code Phase Search 알고리즘을 사용하였다[8]. 신호 획득 임계값은 첫번째 최대 상관값과 두번째 최대값의 비율이 2.5배가 넘을 때, 신호를 획득한 것으로 정의하였다. 신호 획득단계에서는 500[Hz]오차이내의 캐리어 주파수와 0.5칩 오차이내의 코드 위상값을 결정해야 한다. Fig. 4는 QZSS L5의 신호획득 결과를 보여준다. 도플러 주파수에 해당하는 120[Hz]이고, 코드 위상은 10,230개의 코드 중에서 2,344번째 코드에서 최대값을 나타냄을 확인할 수 있다.

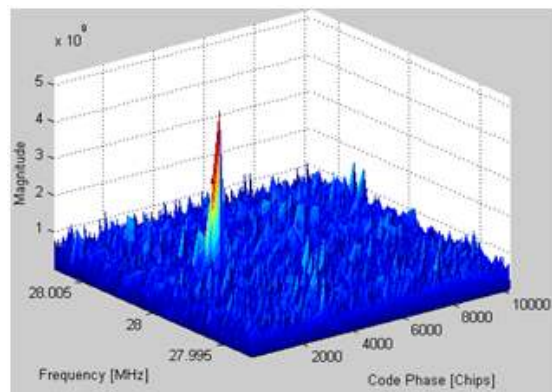
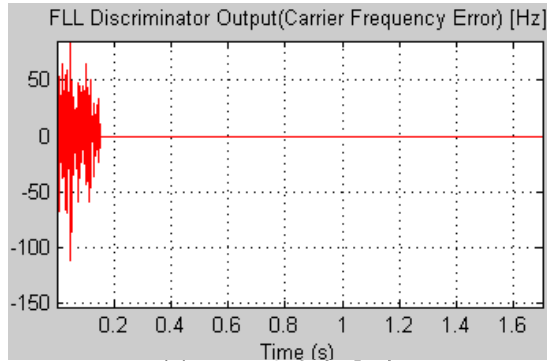


Fig.4 QZSS L5 신호획득 결과

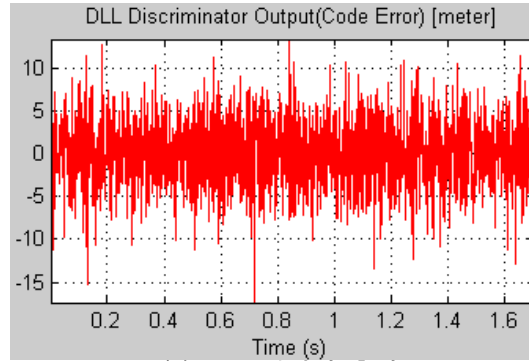
4.2 캐리어 추적 결과

신호추적은 EPL(Early Prompt Late) 상관기를 사용하였고, Early-Late 칩 간격은 1칩을 사용하였다. 신호 추적 방식은 비트동기 이전에는 FLL/DLL을, 비트동기 이후에는 PLL/DLL을 사용하였다[9].

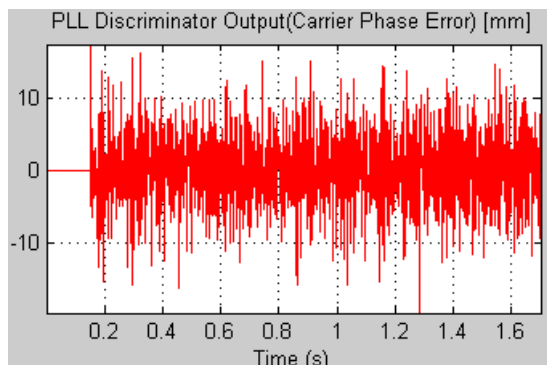
Fig.5는 QZSS L5 신호의 FLL/PLL 추적 결과를 보여준다. 위에서부터 차례대로 FLL 판별기 출력, PLL 판별기 출력, FLL/PLL 루프필터 출력을 보여준다. 신호 추적단계에서는 신호획득 결과인 캐리어 주파수와 코드 위상값을 이용하여 신호추적이 수행된다. 비트동기 이전에는 FLL이 동작하고 비트동기 이후에는 PLL이 동작한다. 신호획득의 캐리어 주파수로부터 약 -120[Hz] 보상된 주파수에서 안정화되어 정상적으로 신호추적됨을 FLL/PLL 루프필터 출력 결과를 통해 확인할 수 있다.



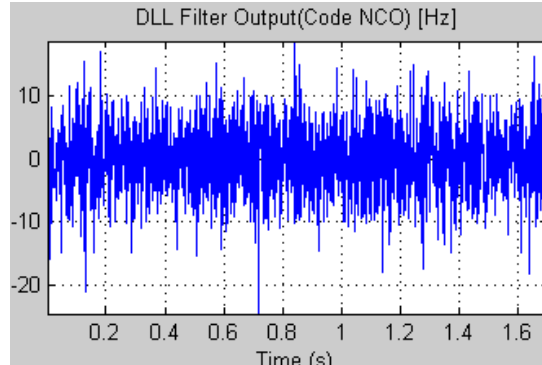
(a) FLL 판별기 출력



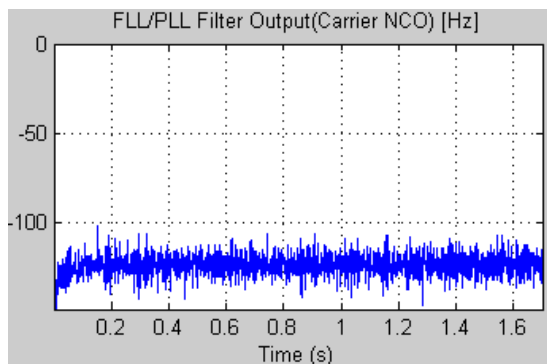
(a) DLL 판별기 출력



(b) PLL 판별기 출력



(b) DLL 루프필터 출력



(c) FLL/PLL 루프필터 출력

Fig.5 QZSS L5 신호 FLL/PLL 추적 결과

4.3 코드 추적 결과

Fig.6은 QZSS L5 신호의 DLL 추적결과를 보여준다. 첫번째 그림은 DLL 판별기 출력이고, 두번째 그림은 DLL 루프필터 출력결과이다. DLL 루프필터 출력이 10[Hz] 미만 범위 이내에서 안정화되어 코드 추적루프가 정상적으로 동작됨을 확인할 수 있다.

Fig.6 QZSS L5 신호 DLL 추적 결과

4.4 상관기 출력 결과

Fig.7은 EPL 상관기 출력값을 보여준다. Early-Late 칩 간격은 1칩을 사용하였다. 빨간색(*모양)으로 표시된 Prompt 값이 가장 크고, Early(-모양)값 Late(o모양)값이 더 작은 값을 유지하고 있으며, 이는 신호추적이 정상적으로 수행됨을 보여준다.

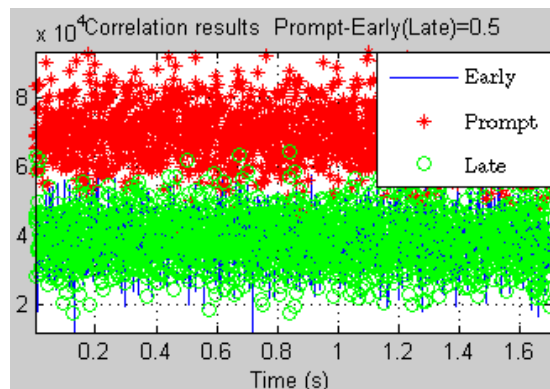


Fig.7 QZSS L5 EPL 상관기 출력

Fig.8은 상관함수의 출력값을 보여준다. 파란색(*모양)으로 표시된 Quadrature값은 0을 나타내고 있으며, 빨간색(o모양)으로 표시된 In-phase값이 0인 코드 위상에서 최대값을 나타내고, 이 값을 중심으로 코드위상 지연에 따라 삼각형의 대칭형태의 그림으로 표시됨을 확인할 수 있다.

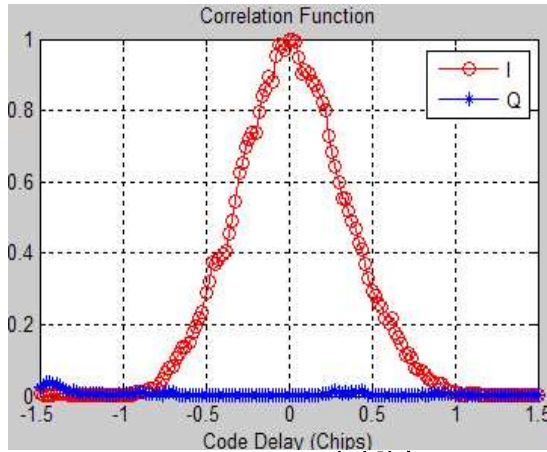


Fig.8 QZSS L5 상관함수

Fig.9은 QZSS L5 신호의 비트 출력값을 보여준다. 녹색(*모양)으로 표시된 Quadrature값은 0에 가깝게 나타내고 있으며, 파란색(-모양)으로 표시된 In-phase값이 양과 음의 값으로 반전되면서 비트 출력값을 생성함을 확인할 수 있다.

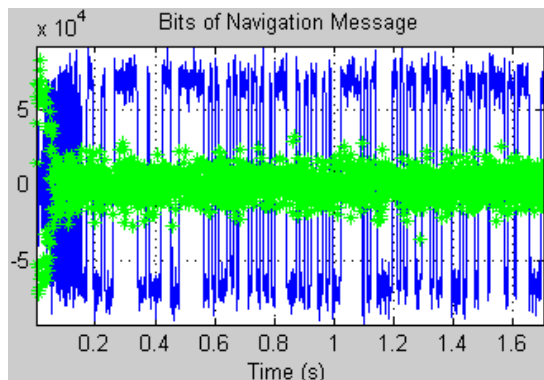


Fig.9 QZSS L5 비트 출력

Fig.10은 QZSS L5 신호의 C/No 결과를 보여준다. C/No 값은 비트 동기된 이후부터 100[ms]마다 C/No estimator[10]를 이용하여 측정하였으며, 대략 45~50[dB.Hz] 값으로 측정됨을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 Fig.1의 QZSS 위성의 위치가 일본 상공이 아닌 파푸아뉴기니 근처에 위치하여 전송한 신호의 세기이므로 일본 상공에 위치할 때에는 이보다 더 큰 신호세기로 측정될 것으로 예측된다.

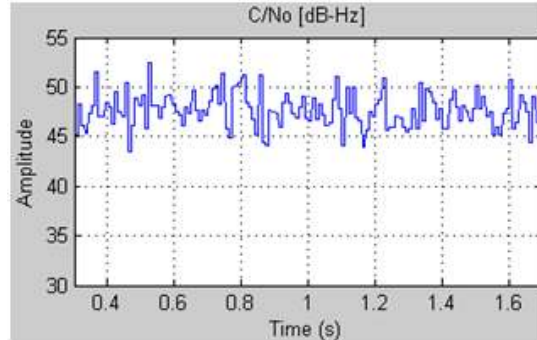


Fig.10 QZSS L5 신호 C/No

V. 결 론

QZSS 시스템의 첫 번째 위성인 Michibiki 위성이 2010년 9월 11일에 일본 Tanegshima 우주센터에서 발사되었고, 현재 JAXA(일본 우주항공연구개발기구)는 기술검증을 통해 QZSS 인터페이스 규격과 항법신호의 신뢰성을 확인하였다. 한편, 미국은 GPS 현대화 계획으로, L5라고 불리는 새로운 민간용 코드를 1176.45MHz 주파수에 전송하여 항공기의 안전한 운항에 활용할 계획이며, Michibiki 위성도 현재 L5 신호를 전송하고 있다. 따라서, 본 논문은 현재 시험 운용중인 QZSS L5 위성신호를 ETRI에서 수신한 후, 신호처리를 수행하여 QZSS L5 위성 신호를 국내에서 충분히 활용할 수 있는지 여부를 분석하였다. 이를 위해, QZSS ICD 문서를 통해 PRN 193을 이용하여 QZSS L5 코드를 생성한 후, ETRI에서 개발한 GPS L5 S/W 수신기를 이용하여 신호 획득 및 추적 결과를 수행하였다. 정상적인 신호추적 결과를 입증하기 위해, FLL, PLL, DLL 루프의 추적결과를 차례대로 제시하였다. 또한, EPL 상관기 출력값과 상관함수 결과를 통해 QZSS L5 신호의 상관기 출력이 정상적임을 확인하였고, 메시지 비트값이 명백히 반전되어 출력됨을 확인하였으며, C/No값이 45~50[dB.Hz] 값으로 측정됨을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통해 국내에서도 QZSS L5 위성신호를 GPS 시스템과 연동하여 사용이 가능함을 확인하였다.

후 기

*본 연구는 방송통신위원회의 2011년도 방송통신 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2011-S-301-01, 다원화 항법 주파수 감시 및 이용 기술 개발]

참고문헌

- [1] 김정래, 준천정 위성 궤도 특성 및 항법정보 연구, 한국항공우항학회지, 15권 1호, 3월, 2007년
- [2] www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index_e.html
- [3] Inone Joo, Cheonsig Sin, Sanguk Lee, and Jaehoon Kim, GPS L5 Acquisition Schemes for Fast Code Detection and Improved Doppler Accuracy, ETRI Journal, vol.32, no.01, Feb. 2010, pp 142-144
- [4] 주인원, 신천식, 이상욱, 한국에서 QZSS 위성의 L1 C/A 신호처리 결과, 한국항공우항학회지, 19권 2호, 6월, 2011년
- [5] 주인원, 최승현, 김재현, 신천식, 이상욱, 김재훈, GPS L5 신호에서 신속한 코드위상 재검색 및 정밀 도플러 결정 기법, 한국항공우항학회지, 17권 4호, 12월, 2009년
- [6] Interface Specification for QZSS(IS-QZSS), Draft V1.3, Japan Aerospace Exploration Agency, 2 June 2, 2011
- [7] The Navstar GPS space segment/user segment L5 interfaces, IS-GPS-705A, 8 June 2010
- [8] Kai Borre, Dennis M. Akos, A Software-Defined GPS and Galileo Receiver : A Single-Frequency Approach, Birkhauser, 2006
- [9] E. D. Kaplan, Understanding GPS : Principles and Applications, Artech House, London, UK, 2006
- [10] Parkinson, B. W, Spilker, J, Jr., Axelrad, P, (eds.), The Global Positioning System: Theory and Applications, Volume1 1, AIAA, Washington, DC, 1996