

論文

GIOVE-B 위성 E5a Secondary Code 결정 및 신호처리 결과

주인원*, 신천식*, 이상욱*, 김재훈*

Secondary Code Determination and Signal Processing Results of GIOVE-B E5a

Inone Joo*, Chun-Sik Shin*, SangUk Lee* and JaeHoon Kim*

ABSTRACT

GIOVE-B is the second experimental Galileo satellite for the Galileo In-Orbit Validation, which was launched by a Soyuz/Fregat rocket departing from the Baikonur cosmodrome in Kazakhstan on 27 April and now operated successfully. This paper presents the results obtained from processing of the E5a signal transmitted from the GIOVE-B. The acquisition and tracking of the data and pilot channels are performed by the E5a software receiver implemented by ETRI. Moreover, the paper suggests the GIOVE-B E5a-I/E5a-Q secondary code, which is determined by analyzing the correlation output of the primary correlator using the primary code.

Key Words : GIOVE-B(글로브 B), Galileo(갈릴레오), E5a(E5a), Secondary Code(2차코드), Satellite(위성)

I. 서 론

GIOVE-B(Galileo In-Orbit Validation Element-B)는 두번째 갈릴레오 시험위성으로 2008년 4월 27일 카자흐스탄 바이쿠르 우주센터에서 소유즈 로켓에 의해 성공적으로 발사되어 운용되고 있다 [1]. ETRI에서는 위성항법 지상국용 수신기 개발 과제를 수행하고 있으며, 갈릴레오 E5a 신호처리 용 SW 수신기를 개발하였다. 본 논문은 ETRI에서 GIOVE-B E5a 샘플데이터를 수집한 후, E5a S/W 수신기를 이용하여 데이터 채널과 파일럿 채널의 신호획득 및 추적 결과를 보여준다. GIOVE-A 위성의 ICD[2]와 신호처리결과와 관련된 문헌[3]은 공개되어 Primary Code 및 Secondary Code를 알 수 있지만, GIOVE-B 위성

의 PRN코드는 공식적으로 공개된 바가 없다. 다만, Stanford 대학[4]과 체코공과대학(CTU)[5]에서 비공식적으로 공개한 코드정보를 이용하여 Primary Code를 생성하였지만, E5a Secondary Code의 경우는 Stanford 대학[2]에서도 아직 확정하여 공개한 것은 없고, 다만 GIOVE-A와 유사할 것으로 예상하고 있다. 본 논문에서는 E5a-I/Q의 비트 출력결과와 C/No 측정결과를 통해, E5a-Q 채널의 Secondary Code는 GIOVE-A와 동일함을 확인하였고, E5a-I 채널의 경우는 GIOVE-A와는 다른 새로운 100개 Secondary Code를 결정하여 제시한다.

II. E5a 데이터 수집

2.1 GIOVE-B TLE

GIOVE-B 위성의 TLE(Two Line Element)를 이용하여 ETRI 상공을 지나가는 시간을 예측할 수 있다.

† 2008년 11월24일 접수 ~ 2008년 12월22일 심사완료

* 한국전자통신연구원 위성관제·항법연구팀
연락처자, E-mail : inone@etri.re.kr
대전시 유성구 가정로 138

본 논문에서는 Orbitron[6] 프로그램을 이용하여 GIOVE-B 위성궤도를 예측하였고, 2008년 6월 23일 21:39경에 ETRI 상공에서 E5a 데이터 수집하였다. Fig 1.은 데이터 수집할 당시의 ETRI를 중심으로 GIOVE-B Skyplot을 보여준다.

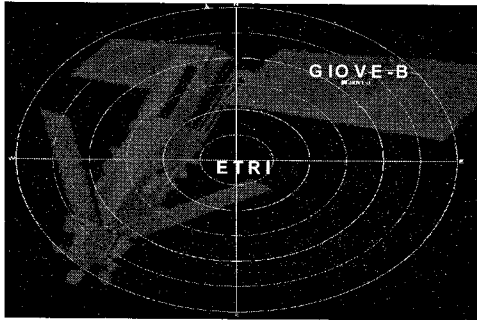


Fig 1. GIOVE-B Sky Plot at ETRI

2.2 데이터 수집 환경

Fig 2.는 데이터 수집을 위한 환경구성을 보여준다. 안테나와 RF/IF 모듈은 ETRI에서 개발한 시제품을 이용하였고, NI사의 데이터 획득장치를 이용하여 데이터를 수집하였다.

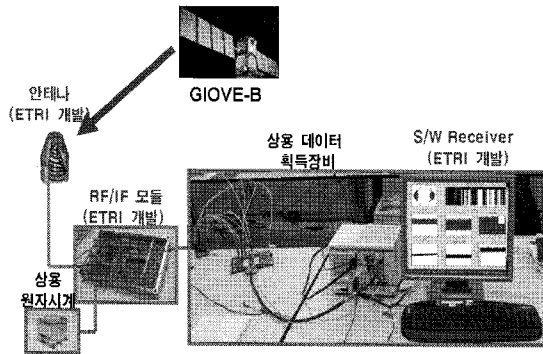


Fig 2. 데이터 수집을 위한 환경

2.3 수집한 데이터 규격

Table 1.은 수집한 E5a 데이터규격이다.

위성항법 지상국용 수신기 개발 시에 사용하는 IF 주파수, 샘플링 주파수 및 양자화 비트를 이용하였다.

Table 1. E5a 수신 데이터 규격

신호규격	GIOVE-B E5a
변조방식	E5a-I(데이터 채널) : BPSK E5a-Q(파일럿 채널) : BPSK
Chip rate	10.23MHz
Symbol rate	50 Symbol/s (20ms)
대역폭	26MHz
IF 주파수	140MHz
샘플링 주파수	112MHz
양자화 비트	8bit

2.4 수집한 데이터 분석

Fig 3.은 수집한 데이터의 히스토그램을 보여준다. 샘플데이터는 8비트 양자화 되어 있으므로 -128~127까지 범위에 존재하며, 잡음신호와 유사한 가우시안 분포를 나타낸다.

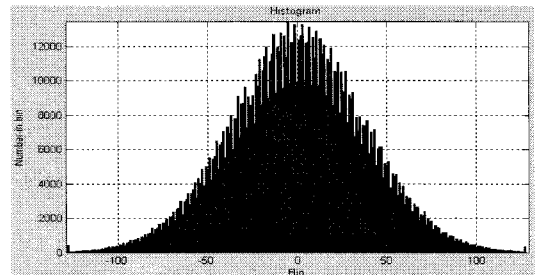


Fig 3. 수집한 데이터의 히스토그램

Fig 4.는 수집한 데이터의 스펙트럼을 보여준다. 디지털 IF 주파수인 28MHz 중심주파수와 대역폭이 26MHz임을 확인할 수 있다.

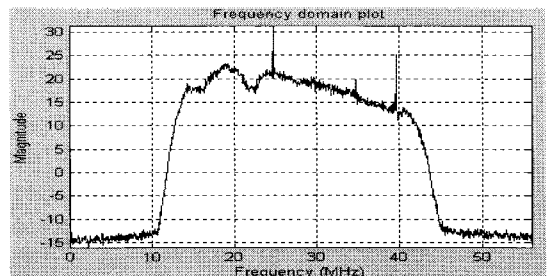


Fig 4. 수집한 데이터의 스펙트럼

III. GIOVE-B E5a Primary & Secondary Code

3.1 GIOVE-B Primary Code

E5a 신호는 데이터채널인 E5a-I신호와 파일럿 채널인 E5a-Q신호로 구성되어 있고, 각각의 신호는 Primary Code와 Secondary Code로 구성되어 있다. E5a-I(데이터 채널) Primary Code의 경우, 위탁과제를 수행하는 체코공과대학(CTU)[5]에서 제공한 Register2 초기값을 이용하여 생성하였다.

Table 2. E5a-I Primary Code

E5a-I code (10230 codes, 1msec, 14-stage Gold Code)	
Polynomial 1	$X^{14} + X^8 + X^6 + X^1 + 1$
Initial state 1	[1111111111111111]
Polynomial 2	$X^{14} + X^{12} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + 1$
Initial state 2	[10011001000000]

E5a-Q(파일럿 채널) Primary Code의 경우, Stanford 대학[4]에서 공개한 Register 2 초기값을 이용하여 코드를 생성하였다.

Table 3. E5a-Q Primary Code

E5a-Q code (10230 codes, 1msec, 14-stage Gold Code)	
Polynomial 1	$X^{14} + X^8 + X^5 + X^1 + 1$
Initial state 1	[1111111111111111]
Polynomial 2	$X^{14} + X^{12} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + 1$
Initial state 2	[10001110101100]

3.2 GIOVE-B Secondary Code

GIOVE-B Secondary Code의 경우는, Stanford 대학[4]에서 GIOVE-A의 Secondary Code와 일치할 것이라고 암시할 뿐, 아직까지 확정하여 공개하지 않고 있다. 본 논문에서는 E5a 신호의 Primary Code를 이용한 상관기 출력값을 분석하였고, Secondary Code 길이 동안의 주기성을 분석하여 Secondary Code를 결정하였다. 그 결과, E5a-I(데이터 채널)의 경우, GIOVE-B Secondary Code는 GIOVE-A Secondary Code와 일치함을 확인할 수 있었다.

Table 4. E5a-I Secondary Code

E5a-I secondary code (20 bits)
1000 0100 0010 1110 1001

GIOVE-B E5a-Q(파일럿 채널)의 Secondary Code는 E5a-I (데이터 채널)의 경우와 일관성을 유지한다면 GIOVE-A ICD[2]에서 제시한 CS100b[7]이어야 한다. 하지만, E5a-Q(파일럿 채널)의 Primary Code 상관값 분석결과 CS100b와 동일한 패턴은 찾을 수 없었고, 다음과 같은 패턴이 100개의 주기성을 보이는 것을 확인 할 수 있었다. Fig 3.은 E5a-Q Primary 상관기 출력결과에서 검색된 100개의 주기적 패턴을 보여준다.

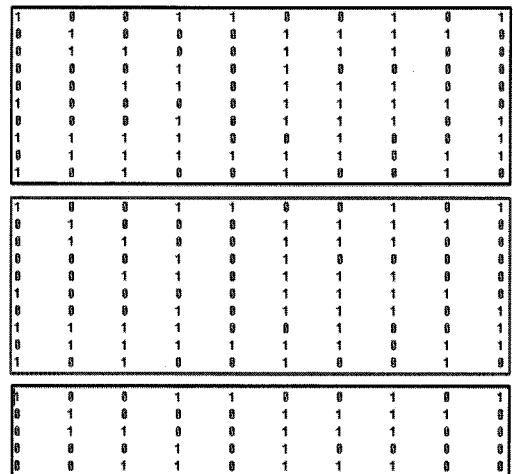


Fig 5. E5a-Q Primary Code 상관값에서 검색된 100개 주기적 패턴

위 결과를 통해서, GIOVE-B E5a-Q(파일럿 채널)의 Secondary Code는 Fig 5.의 100개 Code값이거나 100개 Code의 반전된 값으로 예상된다.

본 논문에서 결정한 E5a-I/Q의 Secondary Code의 정확성은 V장과 VI장에서 비트 출력결과와 C/No 측정결과를 통해 증명된다. 또한, E5a-I의 Secondary Code의 경우, VI장에서 데이터 복조 후 E5a-I 메시지의 12비트 동기패턴의 주기성을 통해 명확하게 입증된다.

IV. GIOVE-B E5a 신호획득 및 추적

4.1 신호획득

신호획득은 Fig 6.처럼 Parallel Code Phase Search 알고리즘을 사용하였다[8].

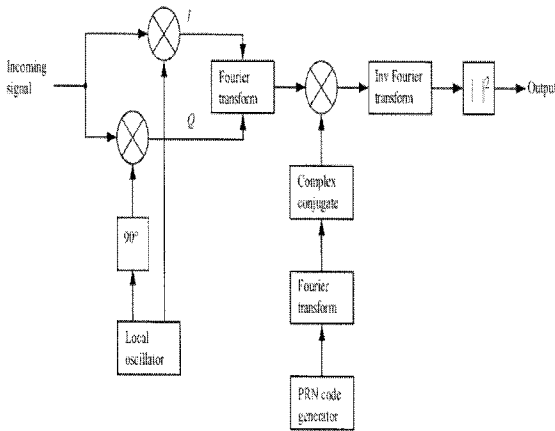


Fig 6. Parallel Code Phase Search 알고리즘

신호 획득 임계값은 첫번째 최대 상관값과 두번째 최대값의 비율이 2.5배가 넘을 때, 신호를 획득한 것으로 선언하였다.

4.2 신호추적

신호추적은 Fig 7.과 같이 전형적인 EPL 상관기를 사용하였고[8], Early-Late 칩 간격은 1칩을 사용하였다.

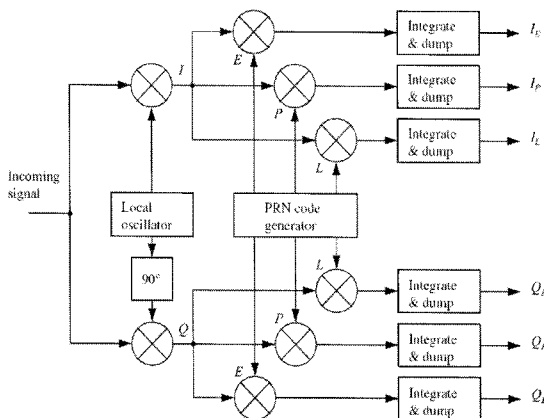


Fig 7. EPL 상관기

신호 추적 방식은 비트동기 이전에는 FLL/DLL을 사용하였고, 비트동기 이후에는 PLL/DLL을 사용하였다. FLL, PLL, DLL은 참고 문헌[9]을 이용하여 구현하였다. Table 5.는 신호 추적 시 사용한 FLL, PLL, DLL의 판별기, 필터 차수, 및 잡음대역폭을 보여준다.

Table 5. FLL, PLL, DLL 파라미터

비트동기		판별기	필터 차수	Noise Bandwidth
이전	FLL	ATAN2	2차	20 [Hz]
	DLL	Normalized EML	2차	1.5 [Hz]
이후	PLL	10 [Hz]	3차	10 [Hz]
	DLL	1 [Hz]	2차	1 [Hz]

V. GIOVE-B E5a-Q 신호처리 결과

5.1 신호획득 결과

신호 획득단계에서는 500[Hz]오차이내의 캐리어 주파수와 0.5칩 오차이내의 코드 위상값을 결정해야 한다. 다음 Fig 8.은 E5a-Q의 신호획득 결과를 보여준다. 캐리어 주파수는 디지털 IF 중심주파수인 28[MHz]에서 도플러 주파수에 해당하는 1809[Hz]만큼 변위된 28.001809 [MHz]이고, 코드 위상은 10203개의 코드 중에서 405번째 코드에서 최대값을 나타냄을 확인할 수 있다.

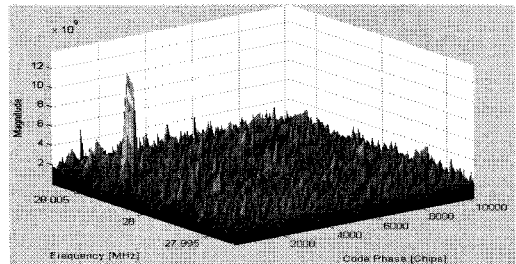


Fig 8. E5a-Q 신호획득 결과

5.2 신호추적 결과

Fig 9.는 E5a-Q FLL/PLL 추적 결과이며, 위에서부터 차례대로 FLL 판별기 출력, PLL 판별기 출력, FLL/PLL 루프필터 출력을 보여준다.

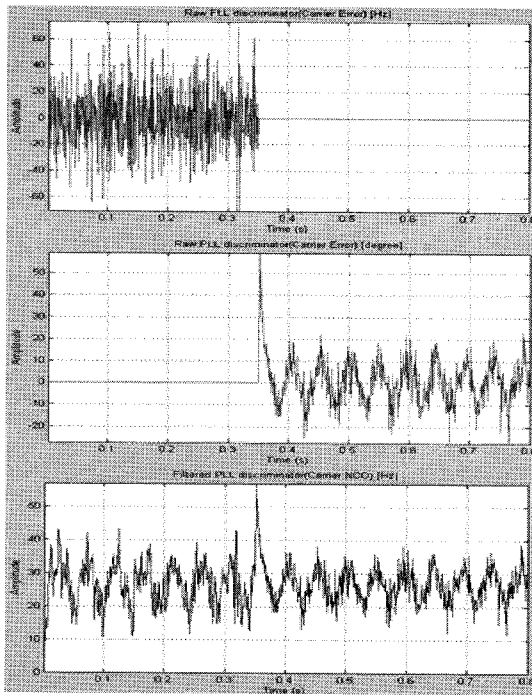


Fig 9. E5a-Q 신호 FLL/PLL 추적 결과

신호 추적단계에서는 신호획득 결과인 캐리어 주파수와 코드 위상값을 이용하여 신호추적이 수행된다. 비트동기 이전에는 FLL이 동작하고 비트 동기 이후에는 PLL이 동작한다.

Fig 10.은 E5a-Q DLL 추적결과를 보여주며, 첫번째 그림은 DLL 판별기 출력이고, 두번째 그림은 DLL 루프필터 출력결과이다.

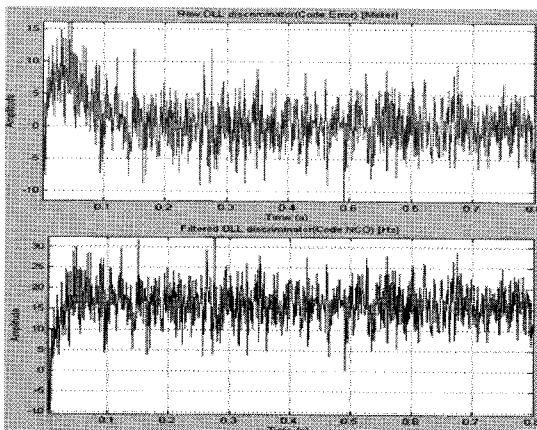


Fig 10. E5a-Q 신호 DLL 추적 결과

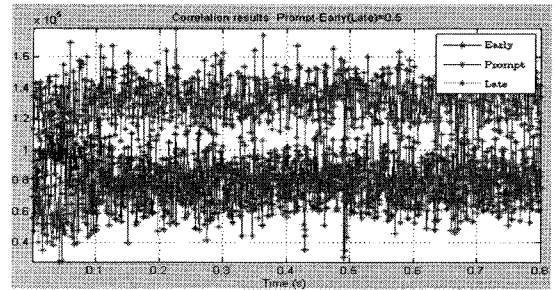


Fig 11. E5a-Q EPL 상관기 출력

EPL 상관기에서 Early-Late 칩 간격은 1칩을 사용하였고, Fig 11.은 EPL 상관기 출력값을 보여준다. Prompt 값이 가장 크고, Early와 Late 값이 유사한 값을 나타내며 정상적으로 신호추적이 수행됨을 확인할 수 있다.

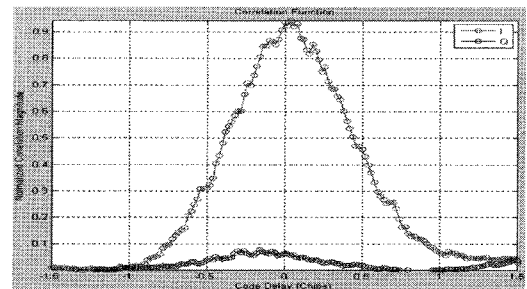


Fig 12. E5a-Q 상관함수

Fig 12.는 500ms에서 상관함수의 출력결과를 보여준다.

Fig 13.은 E5a-Q의 Secondary 상관기의 출력을 보여준다. 파일럿 채널이므로 Secondary Code와 동기된 이후부터 비트 반전 없이 일정한 값으로 유지됨을 확인할 수 있다.

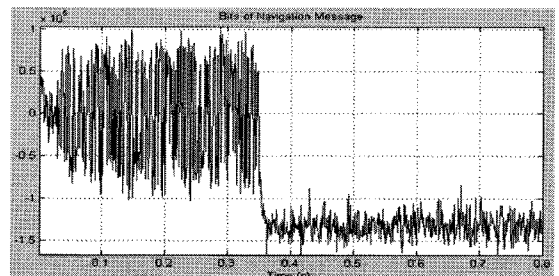


Fig 13. E5a-Q Secondary 상관기의 출력

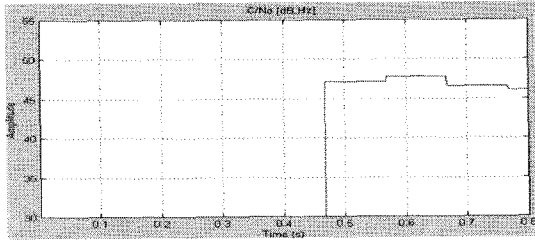


Fig 14. E5a-Q C/N0

Fig 13-14. 의 결과는 E5a-Q(파일럿 채널)의 Secondary Code값을 정확하게 적용해야만 얻을 수 있는 결과이며, 위와 같은 결과는 본 논문의 3.2장에서 결정한 100개의 E5a-Q(파일럿 채널)의 Secondary Code값이 정확함을 입증한다.

C/N0는 참고문헌[10]을 이용하여 구현하였고, Fig 14.는 C/N0를 보여준다. E5a-Q Secondary Code와 동기된 이후부터, 100[ms]마다 계산하였고, 대략 46~47[dB.Hz]정도로 측정되었다.

VI. GIOVE-B E5a-I 신호처리 결과

E5a-I(데이터 채널)의 신호획득결과는 5.1에서 수행한 E5a-Q 신호의 결과와 유사하므로 E5a-I 신호획득 결과는 생략하고, 본 장에서는 신호추적 결과와 메시지 복조 결과를 제시한다.

6.1 신호추적 결과

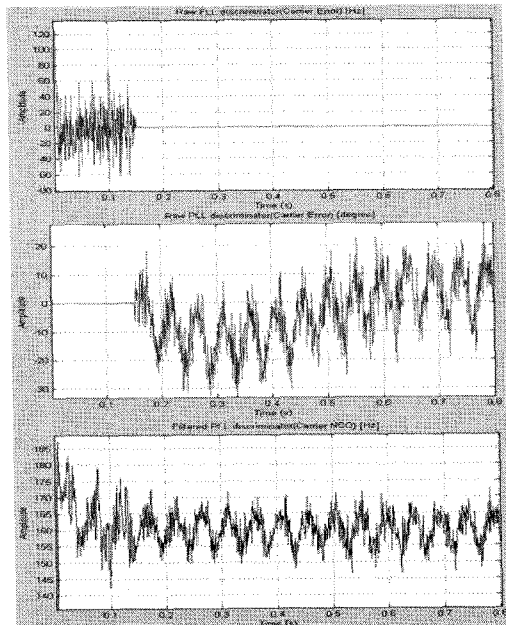


Fig 15. E5a-I 신호 FLL/PLL 추적 결과

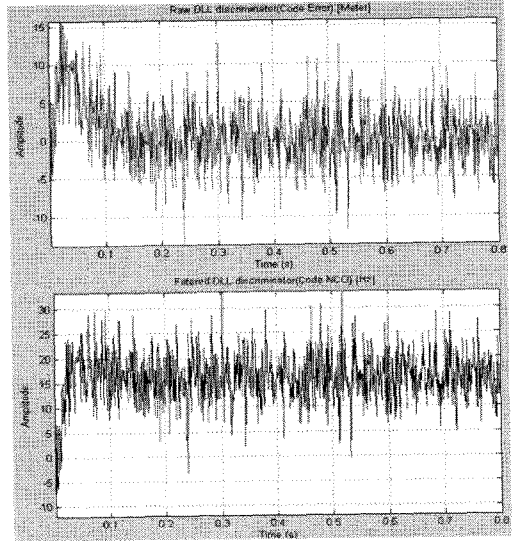


Fig 16. E5a-I 신호 DLL 추적 결과

Fig 15-16.은 각각 E5a-I의 FLL/PLL 추적 결과와 DLL 추적결과를 보여준다.

Fig 17.은 E5a-I의 EPL 상관기 출력값을 나타내고, Fig 18.은 500ms에서 칩간격에 따른 E5a-I(데이터 채널) 상관값을 보여준다.

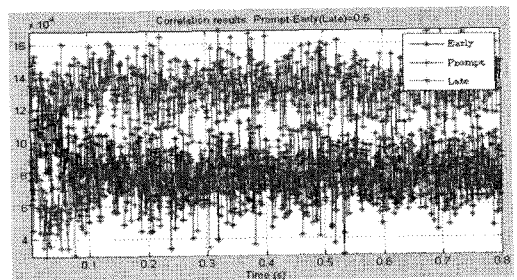


Fig 17. E5a-I 상관기 출력

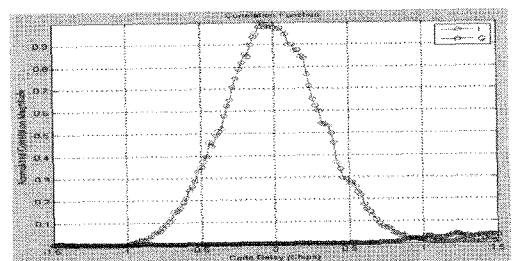


Fig 18. E5a-I 상관함수

Fig 19.는 E5a-I(데이터 채널)의 Secondary Code 출력, 즉 E5a-I 메시지를 보여준다. Secondary Code가 동기된 이후(약 150ms)부터 E5a-I Secondary Code길이(20ms)마다 메시지가 출력됨을 확인할 수 있다.

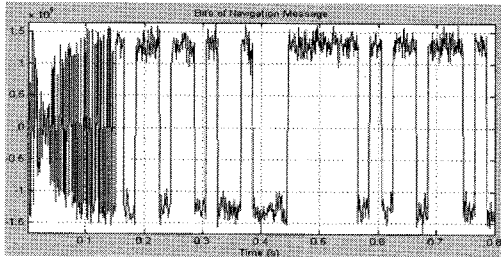


Fig 19. E5a-I 메시지

Fig 20.은 E5a-I의 C/No를 보여준다. 대략 45~50[dB.Hz] 정도를 나타냄을 확인할 수 있다.

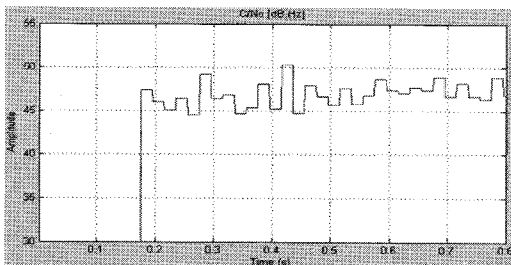


Fig 20. E5a-I C/No

6.2 메시지 복조 결과

Fig 21.은 150초 동안의 E5a-I 메시지를 출력한 결과를 보여준다.

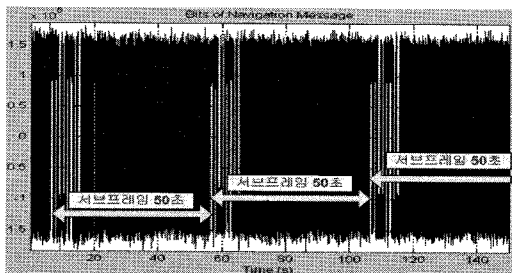


Fig 21. E5a-I C/No

E5a-I 신호는 매 50초마다 서브프레임이 존재하는 F/NAV 메시지 구조를 갖는다[2]. Fig 21.에서 확인할 수 있듯이 매 50초마다 초기에 동일한 패턴을 갖는 서브프레임을 확인할 수 있다.

또한, F/NAV 메시지는 500비트로 구성된 Page마다 12비트의 동기패턴(101101110000)을 갖는다. 다음 Fig 22.는 E5a-I신호의 복조된 메시지에서 12비트의 동기패턴을 검색한 결과를 보여준다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
2	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
6	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0
7	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
9	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0
12	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
13	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
15	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
17	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
18	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
19	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0
20	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
21	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0
22	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1
23	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
24	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
25	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
26	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
27	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
28	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
29	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig 22. E5a-I 메시지 동기패턴(12bit)

Fig에서 확인할 수 있듯이, 매 500비트마다 12개의 동기패턴을 검색할 수 있었고, 이를 통해 E5a-I Secondary Code의 정확성을 명확하게 확인하였다.

VII. 결 론

GIOVE-B(Galileo In-Orbit Validation Element -B)는 두번째 갈릴레오 시험위성으로 2008년4월 27일 카자흐스탄 바이쿠르우주센터에서 소유즈 로켓에 의해 성공적으로 발사되어 운용되고 있다. ETRI에서는 위성항법 지상국용 수신기 개발 과제를 수행하고 있으며, 갈릴레오 E5a 신호처리용 SW 수신기를 개발하였다. 본 논문은 ETRI에서 GIOVE-B E5a 샘플데이터를 수집한 후, E5a S/W 수신기를 이용하여 데이터 채널과 파일럿 채널의 신호획득 및 추적 결과를 보여준다.

한편, GIOVE-B E5a 코드는 공식적으로 공개되어 있지 않지만, Stanford 대학에서 공개한 E5a-Q Register 2 초기값과 체코공과대학(CTU)에서 제공한 E5a-Q Register 2 초기값을 이용하여 Primary Code를 생성하였다. E5a Secondary Code의 경우는 Stanford 대학에서도 아직 확정하여 공개한 것은 없고, 다만 GIOVE-A와 유사할 것으로 예상하여 제시하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 E5a-I/Q의 비트 출력결과, C/No 측정결과를 통해, E5a-Q 채널의 Secondary Code는 GIOVE-A 위성과 동일함을 확인하였고, E5a-I 채널의 경우는 GIOVE-A 위성과는 다른 새로운 100개 Secondary Code를 결정하여 제시하였다. 본 논문에서 제시한 E5a-I의 100개의 Secondary Code의 경우는 E5a-I 데이터 복조 후 메시지의 12비트 동기패턴의 주기성을 통해 좀더 명확하게 입증하였다. 제시한 GIOVE-B위성의 E5a-I/Q채널의 Secondary Code를 이용한다면, 갈릴레오 시험위성인 GIOVE-B 위성의 E5a 신호를 실측하여 시험해보고자 하는 갈릴레오 수신기 개발자들에게 유익하게 활용될 수 있으리라 판단된다.

후 기

본 연구는 방송통신위원회 및 정보통신연구진흥원의 IT 신 성장동력 핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S-301-01, 위성항법 지상국 시스템 및 탐색구조 단말기 기술개발 사업]

참고문헌

- [1] <http://www.giove.esa.int/>
- [2] GIOVE-A SISICD, issue 1 revision 0, March 2007
- [3] Fabio Dovis, Marco Pini and Andrea Tomatis, First Results on Acquisition and Tracking of the GIOVE-A Signal-in-Space, ISSN 1860-4862, Springer US, 2008
- [4] http://waas.stanford.edu/GalileoCode/GIOVEB_E5.html
- [5] Pavel KOVÁŘ, Petr KAČMAŘÍK, František VEJRAŽKA, Study on FPGA Based GNSS Receiver and GNSS Signal Processing Algorithm for Galileo E5 Signal, Technical Report No. 1, Czech Technical University in Prague, May 30, 2008
- [6] <http://www.stoff.pl/>
- [7] Galileo Open Service, Signal In Space Interface Control Document (OS SIS ICD), Draft 1, February 2008
- [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, Volume 1, AIAA, Washington, DC, 1996