

수신 성능 분석을 이용한 위성항법 신호 설계 방안

정회원 진미현*, 최헌호*, 김갑진**, 박찬식***, 종신회원 안재민****,
정회원 이상정*

The Design Method of GNSS Signal Using the Analysis Result of Receiver Performance

Mi Hyun Jin*, Heon Ho Choi*, Kap Jin Kim**, Chansik Park*** *Regular Members*
Jae-Min Ahn**** *Lifelong Member*, Sang Jeong Lee* *Regular Member*

요 약

GNSS의 중요성이 점점 증가하면서, 독자적인 위성항법시스템의 구축에 대한 필요성이 제기되고 있다. 위성항법 시스템 구축 시 위성 신호 설계는 반드시 필요한 과정이며, 이를 위한 요구조건 규정이 필수적이다. 본 논문에서는 위성 항법 설계 요소에 대한 수신 성능 분석을 수행하며, 이를 이용한 신호 설계 방안에 대해 제시한다. 먼저 설계 요소에 따른 후보군 정의 후, 성능 평가 지표에 따라 신호 후보의 수신 성능을 분석한다. 이때 다양한 적용 분야에서의 신호 성능을 판단하기 위하여 성능 평가 지표가 갖는 가중치를 정의하였으며, 정규화된 성능 평가 지표와 가중치간의 연산을 통해 최종적으로 성능 비교값을 도출하였다. 위성 항법 신호 설계 요소로 코드, 변조 기법, 반송파를 고려하였으며, 성능을 평가하기 위한 평가 지표로는 상관폭, DLL 및 PLL 열잡음 지터, 주파수 대역폭, 사이드로브 피크율을 정의하였다. 또한 적용 분야로는 측위 성능, 잡음에 대한 강인성, 대역 효율성을 고려하였다. 제안한 설계 방안 적용 시 소프트웨어 기반의 시뮬레이터를 이용하여 성능 분석을 수행하였으며, 최종적으로 성능 분석 결과로부터 신호 후보의 성능을 객관적으로 판단하고 비교하였다.

Key Words : GNSS signal, Design factors, Signal candidates, Evaluation parameter, Receiver performance

ABSTRACT

As the importance of GNSS system increases, the necessity of independent system is increased also. When the independent GNSS system is required, GNSS signal design is necessary with requirement definition. This paper suggests the design method of GNSS signal using the analysis result of receiver performance. First, the candidates are defined based on the design elements. Then the receiver performance of the candidates is analyzed based on the performance evaluation parameters. The weights of performance evaluation parameter are defined in order to consider the receiver performance in a various aspects. Finally, the calculation of normalized performance evaluation parameters and weights are derived to obtain the compared value for signal selection. Spreading code, modulation method and carrier frequency are considered as design parameters. Also, correlation width, DLL·PLL thermal noise jitter, frequency bandwidth and side lobe peak ratio are considered as

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

* 충남대학교 전자공학과 제어 시스템 연구실(haryane@cnu.ac.kr) (° : 교신저자), ** 국방과학연구소(couperin@paran.com)

*** 충북대학교 전자정보대학 전자공학전공(chansp@chungbuk.ac.kr)

**** 충남대학교 전기정보통신공학부(jmahn@cnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2012-04-200, 접수일자 : 2012년 4월 16일, 최종논문접수일자 : 2012년 6월 7일

performance evaluation parameters. And positioning performance, robustness to noise, bandwidth efficiency are considered as the performance aspects. This paper analyzes the performance of each candidate using software based simulator and suggest the method to compare objectively the performance of each candidates.

I. 서 론

위성항법 시스템은 사용자에게 위치 및 시각 정보를 제공하는 시스템이다. 현재 서비스 영역이 넓고 범용성이 우수한 GPS(Global Positioning System)가 전세계적으로 사용되고 있으며, 국내에서도 GPS를 주요 인프라에 이용하고 있다. 그러나 위성항법 시스템의 적용 분야가 점점 확대됨에 따라 보다 정밀한 위성항법 시스템에 대한 필요성이 지속적으로 제기되어 왔다. 또한 GPS의 운영권은 미국이 가지고 있기 때문에 유사 시 서비스가 마비될 수 있다. 이 경우 사회, 경제, 군사적으로 대혼란이 발생하여, 국가적인 손실을 가져올 수 있다. 이와 같은 문제 때문에 러시아, 중국, 유럽 및 제 3세계 국가들은 독자적인 위성항법시스템을 구축 및 운용하기 위한 노력을 계속해 왔다. 특히 러시아의 경우 이미 위성항법 시스템을 구축하였으며, 그 동안 정상적으로 운용하지 못했던 GLONASS(Global Navigation Satellite System)의 정상 운용 및 현대화 작업을 시작하였다. 중국 및 유럽에서도 Beidou, Galileo 등 전세계적인 위성항법 시스템의 구축을 계획하고 있으며, 인도 및 일본에서도 IRNSS(Indian Regional Navigational Satellite System), QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)와 같은 지역적 위성항법 시스템이 구축 예정 중에 있다. 국내에서도 독자적인 위성항법 시스템의 구축이 요구되고 있으며, 이에 따른 기초 연구가 지속적으로 진행 중에 있다.

위성항법 시스템을 구축하기 위해서는 천문학적 인 비용이 발생하므로 분석 및 검증을 위한 가상 실험이 반드시 필요하다. 이러한 실험을 위해서는 먼저 전반적인 시스템 설계가 요구되며, 그 중 위성 신호의 설계는 제외할 수 없는 핵심 요소이다. 또한 위성신호의 설계를 위해서는 신호의 요구성능 결정이 필수적이다. 위성 신호는 코드, 변조기법, 주파수 대역 등의 설계 요소에 의하여 결정되며, 다양한 상황 하에서의 요구조건 규정을 위해서는 각 신호 설계 요소에 따른 성능 분석이 반드시 필요하다. 일례로 주파수 대역 중 L 대역은 이미 타 위성신호로 인하여 대역 한계성이 존재한다. 따라서 타 대역에서의 신호 전송을 고려할 수 있으며, 이때 해당 대

역에서의 신호 전송이 타당한지에 대한 성능 분석이 요구된다. 또한 L 대역에 위성신호가 위치해야 하는 경우 위성 신호간의 간섭으로 인해 우수한 대역 특성을 갖는 신호가 필요하며, 성능 분석을 통해 주파수 대역에 대한 요구조건을 규정하고 이에 따라 신호를 설계할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 위성항법 신호설계 요소가 수신 성능에 미치는 영향을 분석하고, 이를 이용한 신호 설계 방안에 대하여 제시하였다. 이때 신호 설계 구성요소로 코드, 변조기법, 주파수 대역을 두었으며, 이들의 조합에 따른 신호 후보군을 도출하고 각 후보 신호의 수신 성능을 해석적으로 분석하기 위한 성능 평가 지표를 제시하였다. 또한 신호 성능을 판단하는 기준에 따라 각 성능 평가 지표가 갖는 가중치를 정의하고 성능 평가 지표를 일반화하여 객관적으로 우수 신호 후보를 도출하는 방안에 대해 제시하였다.

II. 신호 설계 후보군

위성 신호는 설계 방법에 따라 매우 다양한 신호로 구성할 수 있다. 본 논문에서는 신호 설계를 위하여 설계 요소의 조합에 따른 후보군과 수신 성능을 객관적으로 비교하기 위한 성능 지표, 그리고 여러 측면에서의 신호 적합성을 판단하기 위한 가중치를 정의하였다.

2.1. 후보군 결정

현재 구축 및 구축 예정중인 위성항법 시스템 중 대표적인 시스템인 GPS 및 Galileo의 위성신호는 각각 다양한 코드 및 변조기법으로 구성된다. FDMA 기법을 사용하는 GLONASS를 제외한 현존하는 위성 신호의 구성 요소를 정리하면 표 1과 같다.

표 1에 나타난 기존 위성항법 신호를 참고하여 신호 설계 요소를 제안할 수 있으며, 일반적인 환경에서 고려할 수 있는 설계 요소들과 본 논문에서 실제 고려할 요소를 표 2에 함께 나타내었다. 이때 본 논문에서 고려한 설계 요소는 밑줄을 그어 나타내었다. 실제 신호 설계 시에는 모든 설계 요소에 대한 성능 분석을 수행하는 것이 타당하나, 본 논문의 목적은 신호 설계가 아닌 설계 방안을 제시하는

표 1. 기존 위성항법시스템 신호의 구조
Table 1. Structure of established GNSS signal

위성항법 시스템	신호 대역	반송파 주파수[MHz]	변조 기법	확산 코드
GPS	L1	1575.42	BPSK	C/A
	L2C	1227.60	BPSK	CM, CL
	L5	1176.45	QPSK	L5-I, L5-Q
Galileo	E1	1575.42	QPSK + CBOC	E1-B
				E1-C
	E5	1176.45	QPSK + AltBOC	E1a-I
				E1a-Q
				E1b-I
E1b-Q				
C	5019.86	-	-	
QZSS	L1	1575.42	BPSK	C/A
	L2C	1227.60	BPSK	CM, CL
	L5	1176.45	QPSK	L5-I, L5-Q
	LEX	1278.75	QPSK + CBOC	B
IRNSS	L5	1176.45	BPSK	C
				SPS
				RS
	S	2492.08	BPSK + BOC	RS-P
				SPS
				RS
				RS-P

것이기 때문에 보다 명확한 분석을 위하여 일부 설계 요소에 대한 성능 분석만을 수행하였다.

신호 후보군은 설계요소의 조합으로부터 얻을 수 있으며, 본 논문에서는 신호 후보로 C/A 및 Kasami 코드, BPSK 및 BOC 변조기법, 그리고 L, S, C의 세 가지 주파수 대역에 따른 조합으로부터 얻을 수 있는 모든 경우의 수를 고려하였다.

C/A 코드는 Gold 코드 생성 기법을 이용하여 만들어진 코드로 현재 GPS L1 신호에서 사용 중인 코드이며, 구현하기 쉽고 상호상관 특성이 우수한 장점을 가진다^[1]. Kasami 코드의 경우 C/A 코드보다 상관 특성이 우수하여 신호 획득 시 보다 유리한 장점이 있으며, 일본의 QZSS에서 사용 중이다^[2]. 또한 본 논문에서 사용한 변조 기법 중 BPSK

는 GPS L1 및 L2 신호에서 현재 이용하고 있는 변조 기법이며, BOC 변조 기법은 이미 GPS 및 Galileo에서 광범위하게 사용되고 있다.

한편 L 대역은 대부분의 위성신호들이 이용하고 있는 주파수 대역이지만 많은 신호들로 인하여 현재 포화 상태이며, 위성신호간의 간섭으로 인해 신호 수신 성능에 악영향이 발생할 수 있다. 이를 근본적으로 방지하기 위해서는 점유하고 있는 신호가 적어 상대적으로 주파수 가용성이 큰 타 대역을 고려할 필요성이 있다. 이에 따라 표 2에서는 주파수 대역에서 각 대역별로 3가지의 반송파를 제시하였는데, L 대역의 경우 GPS L1 신호가 갖는 주파수를, S 대역 및 C 대역의 주파수는 각각 IRNSS 및 Galileo에서 고려되었던 주파수 대역을 가정하였다

표 2. 위성항법시스템 신호 설계 요소
Table 2. Design factors of GNSS signal

확산 코드	변조 기법	반송파		칩 전송률 [MHz]
		대역	주파수[MHz]	
C/A Kasami P CM/CL	BPSK(1)	L-band	1575.42	1.023 5.115 10.230
	BOC(1,1)		1227.6	
	BOC(5,1)		1176.45	
	QPSK	S-band	2492.08	
	MSK			
	GMSK	C-band	5019.86 (5010~5030)	
	OFDM			

^[3,4]. 그러나 S 대역 및 C 대역에 위치한 위성신호의 경우 주파수가 높아 상대적으로 수신기의 구현이 어려워지는 단점이 존재한다.

신호 후보군 결정 후 각 신호별 성능 비교를 위해서는 수신 성능을 객관적으로 평가할 수 있는 성능 평가 지표가 반드시 필요하며, 이에 대하여 다음항에 제시하였다.

2.2. 성능 평가 지표 제시

성능 평가 지표는 크게 신호 획득 및 추적, 측위 성능, 주파수 대역 관련 지표로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 신호 획득 및 추적에 영향을 미치는 지표로 상관폭을 고려하였다. 상관폭은 신호의 자기상관함수가 갖는 메인로브의 너비를 의미하며, 메인로브의 정점과 가장 가까운 두 부호 변환점 사이의 간격으로부터 얻을 수 있다^[5]. 만약 상관폭이 좁을 경우 안정적인 수신 환경 하에서 DLL 추적 성능이 우수하고 다중경로 오차에 보다 강인해지는 장점이 있으나, 사이드로브의 크기가 증가해 일시적으로 큰 잡음이 인가될 경우 잘못된 신호 획득을 할 수 있다.

한편 측위 성능 관련 지표로는 DLL 열잡음 지터 및 PLL 열잡음 지터를 제시하였다. DLL 및 PLL 열잡음 지터는 각각 의사거리 및 반송파 위상 측정치의 오차에 직접적인 영향을 미친다. 수신기가 위치를 추정할 때 DLL 열잡음 지터에 따른 의사거리의 오차는 항법 성능을 좌우하며, CDGPS와 같은 측위 시스템이나 스무딩 기법^[6]을 적용한 수신기의 경우 PLL 열잡음 지터에 의해서도 항법 성능이 크게 변화한다.

마지막으로 대역 관련 지표로는 주파수 대역폭 및 사이드로브 피크율을 정의하였다. 각 신호별 주파수 대역 효율성을 논하고자 할 때 신호가 갖는 주파수 대역폭은 제외할 수 없는 평가 지표이다. 또한 주파수 영역에서 신호의 메인로브와 사이드로브

가 갖는 크기의 비를 나타내는 사이드로브 피크율은 타 신호와의 상호간섭을 고려할 때 필수적으로 고려되어야 하는 지표라고 할 수 있다. 최종적으로 본 논문에서 제시한 성능 평가 지표를 정리한 결과는 아래와 같다.

표 3. 성능 평가 지표
Table 3. Performance evaluation parameter

신호 획득 및 추적 관련	상관폭
측위 성능 관련	DLL 열잡음 지터
	PLL 열잡음 지터
주파수 대역	주파수 대역폭
	사이드로브 피크율

2.3. 수신 성능에 따른 가중치 제시

앞서 제시한 성능 지표와 별개로 위성 신호의 성능 역시 크게 측위 성능, 잡음에 대한 강인성, 대역 효율성의 세 가지 측면에서 판단할 수 있다. 수신 측에서 어떠한 성능을 보다 중요시하느냐에 따라 신호에 대한 평가는 달라질 수 있으며, 이를 반영하기 위하여 본 논문에서는 성능 지표간의 가중치를 변경함으로써 각기 다른 측면에서의 우수 신호를 도출하는 방안에 대하여 제시하였다.

측위 성능의 경우 의사거리 및 반송파 위상 측정치에 직접적인 영향을 미치는 평가 지표인 DLL 및 PLL 열잡음 지터의 가중치를 높게 설정할 필요가 있다. 그 중에서도 DLL 지터는 의사거리에 직접적으로 반영되므로 항법 성능에 보다 큰 영향을 미친다. 따라서 전체 가중치의 합을 1로 정의할 경우 0.4의 높은 가중치를 부여하였다. 또한 PLL 지터의 경우 반송파 위상 측정치를 사용하는 수신기의 정밀 측위 성능에 큰 영향을 미치므로 0.25의 가중치를 부여하였다. 그러나 상관폭, 주파수 대역폭, 사이

표 4. 성능에 따른 가중치
Table 4. Weight of each performance side

	상관폭	주파수 대역폭	사이드로브 피크율	DLL 열잡음 지터	PLL 열잡음 지터
측위 성능	0.15	0.1	0.1	0.4	0.25
잡음에 대한 강인성	0.3	0.25	0.25	0.1	0.1
대역 효율성	0.05	0.45	0.4	0.05	0.05

드로브 피크울 등의 지표는 비록 간접적으로 측위 성능에 영향을 줄 수 있으나 측위 성능과의 인과 관계가 명확하지 않다. 따라서 0.1의 낮은 가중치를 부여하되, 상관폭의 경우 좁을수록 DLL 추적 성능이 향상되어 DLL 지터에 영향을 미치는 것을 고려하여 0.15의 가중치를 부여하였다.

잡음에 대한 강인성의 경우 상관폭, 주파수 대역폭, 사이드로브 피크울 등의 지표가 성능에 큰 영향을 미친다. 특히 상관폭의 경우 다중 경로 오차 및 일정 수준 이하의 잡음에 대한 강인성에 크게 영향을 미칠 수 있으므로 높은 가중치를 부여하는 것이 타당하다. 마찬가지로 주파수 대역폭 및 사이드로브 피크울 역시 잡음에 대한 강인성에 직접적으로 영향을 미칠 수 있으므로 높은 가중치가 요구된다. 따라서 중요도를 고려하여 가중치를 각각 0.3, 0.25, 0.25로 설정하였다. 한편 DLL 및 PLL 열잡음 지터의 경우 잡음에 대한 강인성과의 직접적인 연관성이 불분명하므로 각각 0.1의 낮은 가중치를 부여하였다.

대역 효율성 측면에서는 주변 대역과의 상호간섭 및 주파수 가용성을 고려할 때 주파수 대역폭 및 사이드로브 피크울이 매우 큰 영향을 미친다. 특히 주파수 대역폭의 경우 해당 신호가 갖는 대역 효율성을 정의하며, 사이드로브 피크울의 경우 신호가 주변 대역에 미치는 상호간섭의 영향을 결정한다. 따라서 본 논문에서는 두 지표의 중요성을 고려하여 각각 0.45, 0.4의 가중치를 부여하였다. 한편 그 외의 성능 지표는 대역 효율성과 인과 관계가 없는 파라미터이므로 본 논문에서 정의한 최소 가중치인 0.05를 각각 부여하였다. 이와 같이 각 성능 지표의 특징에 따라 각 성능 측면에서의 가중치를 제시한 결과는 표 4와 같다.

표 4에 나타낸 가중치의 수치는 절대적인 수치가 아니며, 가중치의 변경이 필요할 경우 혹은 가중치가 적절하지 않을 경우 적용 분야에 따라 변화할 수 있는 수치이다. 각 후보 신호에서의 성능 지표를 도출한 후 가중치에 따른 분석을 통해 최종적으로 우수 신호를 결정할 수 있으며, 다음 절에 제시한 설계 방안에 따른 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

III. 성능 분석

3.1. 성능 분석 시뮬레이터

본 절에서는 각 신호 후보의 수신 성능 분석을 수행하기 위하여 그림 1과 같은 소프트웨어 기반의

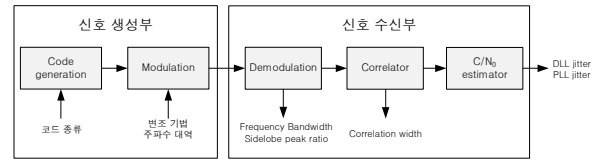


그림 1. 시뮬레이션 과정
Fig. 1. The process of simulation

간이 신호 생성기 및 수신기를 구현하였다. 이때 위 성신호가 갖는 항법 메시지는 본 논문에서 제시한 성능 지표에 큰 영향을 미치지 않기 때문에 고려하지 않았다. 또한 타당한 비교를 위해 칩 전송률과 같이 본 논문에서 고려하지 않은 신호 설계 요소를 모든 성능 분석 과정에서 동일하게 가정하였다. 마찬가지로 수신기 설계 파라미터에 해당하는 PLL 루프 필터 잡음 대역폭 및 DLL 루프 필터 잡음 대역폭, 그리고 신호 적분 시간은 각각 0.2Hz, 10Hz, 1ms로 고정하였다.

각 후보 신호의 성능 지표는 신호 수신부에서의 신호 처리를 통해 얻을 수 있도록 그림 1과 같이 설계하였다. 주파수 대역폭 및 사이드로브 피크울의 경우 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하여 수신 신호를 주파수 영역에서 직접적으로 관찰함으로써 쉽게 정의할 수 있다. 반면 상관폭을 얻기 위해서는 복조 과정 및 상관 과정이 필수적이며, 신호 수신부에서 생성한 Replica 신호와 복조된 수신 신호를 상관하여 도출하였다.

한편 해석적 분석을 위한 BPSK의 DLL 및 PLL 열잡음 지터의 식은 다음과 같이 정의된다^{6,7)}.

$$\sigma_{DLL,BPSK} = \sqrt{\frac{B_n}{2C/N_0} D \left[1 + \frac{1}{TC/N_0} \right]} \quad (1)$$

$$\sigma_{PLL,BPSK} = \frac{360}{2\pi} \sqrt{\frac{B_n}{C/N_0} D \left[1 + \frac{1}{2TC/N_0} \right]} \quad (2)$$

여기서 $\sigma_{DLL,BPSK}$ 및 $\sigma_{PLL,BPSK}$ 은 각각 BPSK 변조 기법의 DLL 열잡음 지터 및 PLL 열잡음 지터를 의미한다. 또한 B_n 은 루프 필터의 대역폭을 의미하며, D 는 칩 간격, T 는 적분 시간을 의미한다.

또한 BOC 변조 기법의 DLL 열잡음 지터의 식은 다음과 같다.

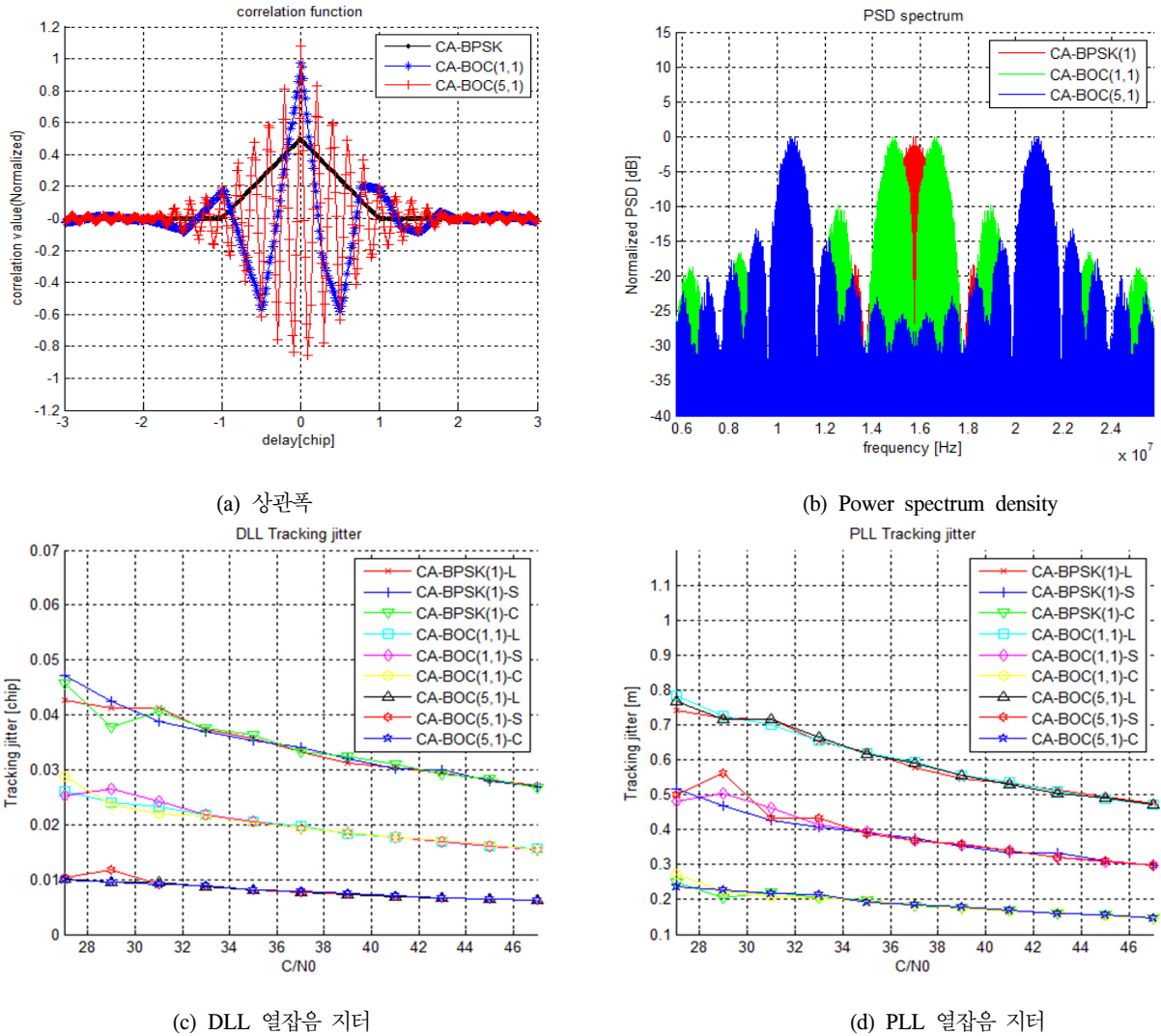


그림 2. C/A 코드 사용 시 변조기법 및 주파수 대역에 따른 수신 성능
 Fig. 2. The receiver performance

$$\sigma_{PLL,BOC(n,m)} = \sqrt{\frac{B_n}{2\left(4\frac{n}{m}-1\right)C/N_0} D \left[1 + \frac{1}{TC/N_0}\right]} \quad (3)$$

BOC 변조 기법의 PLL 추적 오차는 BPSK와 동일한 식으로 표현할 수 있으므로 생략하였다⁶⁾.

식 (1)~(3)에 따라 DLL 및 PLL 열잡음 지터를 도출하기 위해서는 수신 신호의 C/N_0 가 반드시 필요하다. 본 논문에서는 올바른 C/N_0 를 추정하기 위하여 DLL 판별기를 구현하였으며, 구현 시 일반적으로 사용되는 알고리즘 중 Normalized early-late envelope을 이용한 판별기 알고리즘을 적용하고 이를 통해 성능 지표를 도출하였다⁶⁻⁸⁾.

2. 성능 분석 결과

각 후보 신호가 갖는 수신 성능을 비교하기 위하여 성능 지표에 따른 결과를 그림 2에 도시하였으며, 이를 정리한 결과는 표 5와 같다.

상관폭의 경우 코드 및 주파수 대역에 따른 차이는 발생하지 않았으며, 가장 좁은 수치를 보인 후보군은 그림 2의 (a)와 같이 BOC(5,1) 변조기법을 사용한 신호 후보들이었다. 또한 BOC(5,1) 변조 기법은 그림 2의 (b)와 같이 주파수 대역에서 가장 넓은 대역폭을 보였으며, BPSK(1) 변조 기법을 사용한 신호 후보군은 좁은 주파수 대역폭과 함께 전반적으로 낮은 사이드로브 피크율을 가졌다. 한편 DLL 열잡음 지터 역시 상관폭과 마찬가지로 BOC(5,1) 변조 기법을 사용한 후보군이 가장 낮은

표 5. 후보군에 따른 성능 평가 지표
Table 5. The performance evaluation parameters of each candidate signal

후보군			성능 평가 지표				
코드	변조기법	주파수 대역	상관폭 [chip]	주파수 대역폭 [MHz]	사이드로브 피크율	DLL 열잡음 지터 [chip] (C/N0 = 45dB)	PLL 열잡음 지터 [m] (C/N0 = 45dB)
C/A	BPSK(1)	L	2	2.046	-13.94	0.0282	0.4930
C/A	BPSK(1)	S	2	2.046	-13.65	0.0280	0.3096
C/A	BPSK(1)	C	2	2.046	-14.22	0.0284	0.1561
C/A	BOC(1,1)	L	0.5157	4.092	-9.984	0.0161	0.4888
C/A	BOC(1,1)	S	0.5157	4.092	-9.825	0.0161	0.3082
C/A	BOC(1,1)	C	0.5	4.092	-9.825	0.0162	0.1540
C/A	BOC(5,1)	L	0.09376	7.713	-12.73	0.0065	0.4921
C/A	BOC(5,1)	S	0.09376	7.713	-13.45	0.0064	0.3096
C/A	BOC(5,1)	C	0.09376	7.713	-12.78	0.0065	0.1549
Kasami	BPSK(1)	L	1.9376	2.046	-12.26	0.0279	0.4891
Kasami	BPSK(1)	S	1.9376	2.046	-12.47	0.0275	0.3049
Kasami	BPSK(1)	C	1.9532	2.046	-12.69	0.0280	0.1541
Kasami	BOC(1,1)	L	0.5312	4.092	-11.37	0.0171	0.5175
Kasami	BOC(1,1)	S	0.5469	4.092	-11.27	0.0169	0.3234
Kasami	BOC(1,1)	C	0.5469	4.092	-11.19	0.0170	0.1615
Kasami	BOC(5,1)	L	0.09376	7.713	-11.57	0.0068	0.5163
Kasami	BOC(5,1)	S	0.09376	7.713	-12.03	0.0067	0.3249
Kasami	BOC(5,1)	C	0.09376	7.713	-11.57	0.0068	0.1619

수치를 보였으며, PLL 열잡음 지터의 경우 반송파 주파수가 높은 C 대역 신호 후보군에서 낮은 수치를 보였다.

전반적으로 코드에 따른 성능 지표의 변화는 크지 않았으나, 사이드로브 피크율은 후보군 비교 시 코드에 따라 상반된 결과를 보였다. BPSK(1) 및 BOC(5,1) 변조 기법은 Kasami 코드를 적용하였을 때의 성능이 같은 환경에서 C/A 코드를 적용하였을 때보다 저하되었으나, BOC(1,1) 변조 기법의 성능은 향상되는 차이를 보였다.

2절에서 정의한 바와 같이 신호의 성능은 세 가지 측면에서 평가될 수 있으며, 각각의 성능을 가중치에 의해 평가하기 위하여 각 후보 신호가 갖는 성능 지표의 일반화된 수치를 다시 정의하였다. 이에 따른 성능 평가 지표는 표 6과 같다.

정규화 시 표 5에 나타난 성능 지표가 갖는 값을 특정 범위 내의 값으로 정규화 하였다. 이때 본 논문의 목적인 설계 방안 제시를 위해서 보다 극단적이고 명확하게 성능 차이를 나타낼 수 있는 정규화 범위가 적합하다고 판단하였다. 따라서 가장 열악한 값과 가장 우수한 값을 각각 0과 1로 정의하고, 0~1의 범위 내에서 각 신호 후보의 성능이 갖는 상대적인 값을 정규화된 값으로 정의하였다.

따라서 상관폭이 좁을 경우 다중경로 등의 잡음에 대해 보다 강인하므로, 본 논문에서는 낮은 수치를 1, 높은 수치를 0으로 정규화 하였다. 또한 신호를 주파수 대역에서 관찰하였을 때 동일한 칩 전송률에서 신호가 갖는 주파수 대역폭이 좁을수록, 그리고 사이드로브 피크율이 낮을수록 보다 성능이 우수하다고 평가하였으므로 각각 두 성능 지표의 낮은 수치를 0, 높은 수치를 1으로 정규화 하였다. DLL 열잡음 지터 및 PLL 열잡음 지터는 측정치가 갖는 오차를 의미하므로 낮은 수치를 1, 높은 수치를 1으로 일반화 하였다.

한편 표 6에 가중치를 적용함으로써 신호 후보간의 비교를 수행할 수 있다. 본 논문에서는 표 4에서 정의한 가중치와 일반화된 성능 지표간의 곱을 수행한 후 전부 합산함으로써 각 후보 신호별 성능 비교값을 도출하였다. 이에 따라 각 신호 후보가 측위 성능, 잡음에 대한 강인성, 대역 효율성에서 평가된 결과는 표 7과 같다.

측위 성능 및 잡음에 대한 강인성 측면에서 볼 때 C 대역에서 C/A 코드와 BOC(5,1) 변조 기법을 이용하여 생성한 신호가 종합적으로 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 한편 대역 효율성 측면에서는 C 대역에서 C/A 코드 및 BPSK(1) 변조 기

표 6. 일반화된 성능 평가 지표
Table 6. Normalized performance evaluation parameter

후보군			성능 평가 지표				
코드	변조기법	주파수 대역	상관폭 [chip]	주파수 대역폭 [MHz]	사이드로브 피크율	DLL 열잡음 지터 [chip] (C/N0 = 45dB)	PLL 열잡음 지터 [m] (C/N0 = 45dB)
C/A	BPSK(1)	L	0	1	0.9363	0.0091	0.0674
C/A	BPSK(1)	S	0	1	0.8703	0.0182	0.5719
C/A	BPSK(1)	C	0	1	1	0	0.9942
C/A	BOC(1,1)	L	0.7787	0.639	0.0362	0.5591	0.0790
C/A	BOC(1,1)	S	0.7787	0.639	0	0.5591	0.5758
C/A	BOC(1,1)	C	0.7869	0.639	0	0.5545	1
C/A	BOC(5,1)	L	1	0	0.661	0.9955	0.0699
C/A	BOC(5,1)	S	1	0	0.8248	1	0.5849
C/A	BOC(5,1)	C	1	0	0.6724	0.9955	0.9975
Kasami	BPSK(1)	L	0.0327	1	0.554	0.0227	0.0781
Kasami	BPSK(1)	S	0.0327	1	0.6018	0.0409	0.5849
Kasami	BPSK(1)	C	0.0245	1	0.6519	0.0182	0.9997
Kasami	BOC(1,1)	L	0.7705	0.639	0.3515	0.5136	0
Kasami	BOC(1,1)	S	0.7623	0.639	0.3288	0.5227	0.5340
Kasami	BOC(1,1)	C	0.7623	0.639	0.3106	0.5182	0.9794
Kasami	BOC(5,1)	L	1	0	0.397	0.9818	0.0033
Kasami	BOC(5,1)	S	1	0	0.5017	0.9864	0.5298
Kasami	BOC(5,1)	C	1	0	0.397	0.9818	0.9783

법을 사용한 신호가 타 신호에 비하여 보다 우수한 성능을 보였다. 이와 같이 상대적인 수치의 비교를 통해 신호 후보군 중 가장 우수한 신호를 도출할 수 있으며, 특정 신호의 성능을 객관적으로 평가할

수 있다. 또한 수신 성능을 다각도로 고려하여 가중치를 결정함으로써 적용 분야에 따라 보다 적합한 신호를 결정할 수 있다. 뿐만 아니라 다양한 측면에서의 수신 성능을 전체적으로 고려하고자 할 경우

표 7. 각 신호 후보의 성능 비교값
Table 7. The compared value of each candidate signal

후보군			성능 비교값		
코드	변조기법	주파수 대역	측위 성능	잡음에 대한 강인성	대역 효율성
C/A	BPSK(1)	L	0.2141	0.4917	0.8283
C/A	BPSK(1)	S	0.3373	0.5266	0.8276
C/A	BPSK(1)	C	0.4486	0.5994	0.8997
C/A	BOC(1,1)	L	0.4277	0.4662	0.3729
C/A	BOC(1,1)	S	0.5483	0.5069	0.3832
C/A	BOC(1,1)	C	0.6537	0.5513	0.4046
C/A	BOC(5,1)	L	0.6318	0.5718	0.3677
C/A	BOC(5,1)	S	0.7787	0.6646	0.4592
C/A	BOC(5,1)	C	0.8648	0.6674	0.4186
Kasami	BPSK(1)	L	0.1889	0.4084	0.6783
Kasami	BPSK(1)	S	0.3277	0.4728	0.7236
Kasami	BPSK(1)	C	0.4261	0.5221	0.7629
Kasami	BOC(1,1)	L	0.4201	0.5301	0.4924
Kasami	BOC(1,1)	S	0.5537	0.5763	0.5100
Kasami	BOC(1,1)	C	0.6614	0.6159	0.5248
Kasami	BOC(5,1)	L	0.5832	0.4978	0.2581
Kasami	BOC(5,1)	S	0.7272	0.5770	0.3265
Kasami	BOC(5,1)	C	0.8270	0.5953	0.3068

각 성능 측면 중 어떠한 측면을 우선시하느냐에 따라 중요도를 결정할 수 있으며, 이에 따라 성능 측면 자체에도 가중치를 부여함으로써 종합적으로 하나의 신호를 선별할 수 있다.

IV. 결 론

GPS는 가장 널리 사용되는 위성항법 시스템이지만, 정확도 및 통제권에 따른 문제 때문에 국외에서는 독자적인 위성항법시스템을 구축 및 운용하기 위한 노력을 계속해 왔으며 국내에서도 독자적인 위성항법 시스템의 구축 필요성이 점점 증가하고 있다. 위성항법 시스템을 구축하기 위해서는 먼저 위성신호의 설계가 선행되어야 하며, 이를 위해서 각 신호 설계 요소에 따른 성능 분석이 반드시 필요하다. 따라서 본 논문에서는 위성 항법 설계 요소에 대한 수신 성능 분석을 수행하였으며, 이를 이용한 신호 설계 방안에 대해 제시하였다. 이때 위성신호 설계 요소에 따른 신호 후보군을 제안하였으며, 수신 성능을 객관적으로 비교하기 위하여 성능 평가 지표를 정의하고 성능 분석을 수행하였다. 또한 신호가 갖는 다양한 성능 측면을 고려하기 위하여 측위 성능, 잡음에 대한 강인성, 대역 효율성에 따른 성능 평가 지표의 가중치를 제시하였으며, 일반화된 성능 지표 값을 이용하여 신호 후보 비교를 수행하였다.

소프트웨어를 이용한 분석 결과로부터 신호설계 요소와 성능 지표간의 관계를 도출할 수 있었다. 상관폭, DLL 열잡음 지터, 주파수 대역폭의 경우 변조 기법에 의해 달라지는 모습을 보였으며, 사이드 로브 피크율은 코드 및 변조기법에, 그리고 PLL 열잡음 지터는 주파수 대역에 의해 영향을 받았다. 분석 결과는 객관적으로 비교할 수 있도록 수치적으로 정리하여 나타내었으며, 0~1 이내의 범위로 일반화된 값과 가중치와의 연산을 통해 각 후보 신호 별로 상대적인 성능 비교값을 도출하였다. 최종적으로 측위 성능 및 잡음에 대한 강인성을 고려하였을 때 C 대역에서 C/A 코드 및 BOC(5,1) 변조 기법을 사용하여 전송된 신호의 성능 비교값이 각각 0.8648, 0.6674로 가장 우수하였으며, 주파수 대역에서의 효율성을 고려하였을 때 C 대역에서 C/A 코드 및 BPSK(1) 변조 기법을 사용하여 전송된 신호의 성능 비교값이 0.8997로 가장 우수하였다. 이와 같이 신호 후보군 중 가장 우수한 성능 비교값을 갖는 신호가 위성신호로써 보다 적합하다고 판

단할 수 있다.

위성신호의 설계를 위해서는 명확한 설계 방안이 반드시 필요하다. 따라서 본 논문의 결과를 추후 독자 위성항법시스템 구축 시 위성신호 설계에 적용하거나, 참고하기 위한 기초 자료로써 활용할 수 있다. 또한 후보군 내에서의 신호 비교뿐만 아니라 특정 위성항법 시스템에 대한 최적 신호의 설계 연구를 위한 자료로써 활용할 수 있다.

References

- [1] GPS Interface Control Document. Rev. E. IS-GPS-200, Navstar GPS Space Segment, Jun. 2010.
- [2] Interface Specification for QZSS, Rev. 1.2, IS-QZSS, Japan Aerospace Exploration Agency, Feb. 2011.
- [3] Bhaskaranarayana, A. (July 15th 2008) Indian IRNSS & GAGAN, Presentation to COSPAR Meeting, Montreal.
- [4] EBNER, H., Galileo Overall Architecture Definition: SIS Frequency Characteristics, GALA-ASTR-DD-019, issue 5.0, Nov. 2000.
- [5] J. H. Won, M. Paonni, D. Fontanella, B. Eissfeller, "Receiver Performance Analysis of Advanced Signal-In-Space Modulation Techniques for Next Generation GNSS", *Proceedings of the GNSS Workshop*, Jeju, Korea, Nov. 2011
- [6] Kaplan, E., and C. Hegarty, *Understanding GPS Principles and Applications*, Second Edition, Artech House, 2006.
- [7] Julien O., C. Macabiau, M. E. Cannon, G. Lachapelle, "ASPeCT: an Unambiguous Sine-BOC(n,n) Acquisition/Tracking Technique for Navigation Applications", *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, 43(1), pp. 150-162, 2007
- [8] S. S. Yoo, S. H. Kim, S. H. Yoon, I. H. Song, S. Y. Kim, "A Novel Scheme for Code Tracking Bias Mitigation in Band-Limited Global Navigation Satellite Systems", *Journal of Korea Information and Communications Society*, vol. 32, no. 10, pp.1032-1041, Oct., 2007.

진 미 현 (Mi Hyun Jin)

정회원



2010년 2월 충남대학교 전기
정보통신공학부 졸업
2010년 3월~현재 충남대학교
전자전파정보통신공학과 석
박통합과정
<관심분야> GNSS, Anti-Jamming

박 찬 식 Chansik Park)

정회원



1984년 2월 서울대학교 제어
계측공학과 졸업
1986년 2월 서울대학교 제어
계측공학과 석사
1997년 2월 서울대학교 제어
계측공학과 박사
1997년 3월~현재 충북대학교

전자정보대학 교수

<관심분야> GNSS, SDR, AJ, ITS and WSN

최 현 호 (Heon Ho Choi)

정회원



2008년 2월 충남대학교 전기
정보통신공학부 졸업
2010년 2월 충남대학교 전자
공학과 석사
2010년 3월~현재 충남대학교
전자공학과 박사과정
<관심분야> GNSS, CDGPS,

Anti-Jamming

안 재 민 (Jae-Min Ahn)

중신회원

1987년 2월 서울대학교 전자 공학과 졸업



1989년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 석사
1994년 8월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 박사

1999년 3월~현재 충남대학교
전기정보통신공학부 교수

<관심분야> 차세대 이동통신

물리계층 및 Radio Resource Management

김 갑 진 (Kap Jin Kim)

정회원



1995년 3월 한양대학교 제어
계측공학과 졸업
1997년 6월 한양대학교 제어
계측공학과 석사
2001년 7월~현재 국방과학연
구소 3본부 4부 재직중
<관심분야> 위성항법, 제어,

전자

이 상 정 (Sang Jeong Lee)

정회원



1979년 2월 서울대학교 제어
계측공학과 졸업
1981년 2월 서울대학교 제어
계측공학과 석사

1987년 2월 서울대학교 제어
계측공학과 박사

1987년 3월~현재 충남대학교

전기정보통신공학부 교수

<관심분야> 강인제어, GNSS, 항법 및 산업제어