

BDS B1C 신호 체계 분석

Analysis on BDS B1C Signal Interface

신 예 린*, 유 호 영*

Yerin Shin*, Hoyoung Yoo*

Abstract

Most civilian positioning systems in use are based on the Global Navigation Satellite System (GNSS), which receives signals from satellites and calculates the current location. After the successful establishment of GPS from the U.S., GNSS has led to promote satellite navigation systems in various countries. Recently, China has succeeded in the radical development of its own GNSS, the BeiDou Navigation Satellite System (BDS), based on its advanced IT technology and funding power. Considering that China is rapidly expanding the service area of BDS to the world, systematic research on BDS is also required in Korea. Therefore, this paper provides overall information on B1C, the open signal of BDS, so that this information can be utilized in the design of B1C signal system and BDS B1C receiver design.

요 약

오늘날 민간에서 사용 중인 측위 시스템의 대부분은 위성의 신호를 수신하여 현재 위치를 계산하는 글로벌 위성항법 시스템(GNSS; Global Navigation Satellite System)을 기반으로 한다. 미국이 GPS (Global Positioning System)를 통하여 입증한 GNSS의 효용성은 다양한 국가에서 위성항법 시스템을 구축하고 고도화 하도록 이끌었다. 그중 중국은 앞선 IT 기술력과 자금력을 바탕으로 자체 GNSS인 베이더우 위성항법 시스템(BDS; BeiDou Navigation Satellite System)의 급진적인 개발을 성공시켰다. 중국이 빠르게 전 세계로 BDS의 서비스 영역을 확대하고 있는 것을 고려할 때 우리나라에서도 BDS에 대한 체계적인 연구가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 BDS의 공개 신호인 B1C에 대한 전반적인 정보를 제공하여 B1C 신호 체계 설계 및 BDS B1C 수신기 설계에 활용될 수 있도록 한다.

Key words : GNSS, Positioning System, Beidou, BDS, B1C

1. 서론

우리는 알게 모르게 다양한 위치기반 서비스가 주는 혜택 속에 살아가고 있다. 네비게이션 또는 지도 앱은 실시간으로 우리가 원하는 목적지로 가

는 길을 안내해주며 내가 있는 곳과 가까운 장소에서 진행 중인 좋은 이벤트가 있으면 알려주는 알림 서비스 등 이전 없으면 불편할 서비스의 상당수가 실시간 위치 정보를 기반으로 제공되고 있다. 오늘날 이러한 민간 서비스를 제공해주는 측위 시스템

* 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 May. 28, 2020; revised Jun. 19, 2020; accepted Jun. 23, 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.

의 대부분은 위성의 신호를 수신해 현재 위치를 계산하는 글로벌 위성항법 시스템(GNSS; Global Navigation Satellite System)을 기반으로 한다[1].

GNSS는 지상에 있는 물체의 위치·고도·속도 정보를 제공해주며 이 정보들은 군사, 통신, 측지, 긴급구조, 교통 등 다양한 분야에서 폭넓게 활용될 수 있다[2]-[4]. 예로 위성이 수집한 대량의 정보를 담은 모듈·마이크로칩·안테나 등은 조선·전자·항공우주 등 기술 집약 산업 분야에서 활용가치가 높고 이를 빅데이터와 결합하여 서비스 산업의 발전에도 기여할 수 있다. 이러한 폭넓은 활용성과 가치 덕분에 미국의 GPS(Global Positioning System)를 시작으로 현재 다양한 국가에서 위성항법 시스템을 개발 혹은 고도화하고 있다. 그 중 중국은 베이더우 위성항법 시스템(BDS; BeiDou Navigation Satellite System)이란 이름으로 미국에 비해 출발 시점은 한참 늦었지만, 상대적으로 앞선 장비와 진전된 기술력을 바탕으로 현지점에서는 제공하는 정보의 수준에 큰 차이가 없다는 평가를 받고 있다.

중국은 BDS 시스템 구축을 위하여 추진한 3단계 개발 전략을 기준으로 2000년부터 꾸준히 위성을 발사해 국제기구로부터 2014년 미국의 GPS와 러시아의 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System)에 이어 세계에서 세 번째로 위성항법 시스템에 대한 합법적 지위를 얻었다. 그리고 2단계 개발 목표를 달성하고 BDS의 국제화 발전을 위하여 지역적 서비스를 개시한 후부터 중국뿐 아니라 아시아 지역을 중심으로 주변국들의 BDS 사용이 증가하였다[5]. 현재 개발의 마지막 단계인 3단계의 막바지에 접어들었으며 시스템 구축에 필요한 마지막 위성의 발사를 눈앞에 두고 있는 만큼 BDS 서비스 제공 영역이 전 세계로 빠르게 확장될 것을 예견할 수 있다[6]. 앞으로 BDS가 GNSS 영역에서 차지하게 될 비중과 영향력을 고려할 때 우리나라에서도 BDS에 대한 체계적인 연구가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 새로운 GNSS로서 GPS와 대응하는 성능과 영향력을 보여줄 것으로 예상되는 BDS의 공개 신호인 B1C에 대한 사용자 친화적인 설명을 제공하여 BDS B1C 수신기 시뮬레이션 및 구현을 용이하게 한다.

II. B1C 신호

GNSS의 경우 신호 체계 설계를 위해 크게 반송파

주파수, 변조(modulation) 방식처럼 대표적인 신호의 특성과 함께 레인징 코드(ranging code), 항법 메시지(navigation message)와 같은 5가지 정보가 요구된다. 결과적으로 수신기 설계자는 신호 모델을 설계할 뿐 아니라 신호의 생성, 구현 및 처리도 고려해야 한다. 따라서 본 절에서는 BDS의 공개 서비스 신호이며 GPS, Galileo와 호환 및 상호 운용이 가능한 B1C 신호[7]의 수신기 설계에 앞서 신호 체계 설계를 위해 요구되는 정보를 요약하여 제공한다.

1. B1C 신호의 특성

B1C는 1575.42MHz로 송출되며 식(1)과 같이 데이터 구성요소(data component)와 파일럿 구성요소(pilot component)를 포함한다. 데이터 구성요소는 항법 메시지를 전달하며 파일럿 구성요소는 신호 획득과 추적을 용이하게 하는 역할을 한다[8].

$$s_{B1C}(t) = s_{B1C_{data}}(t) + j s_{B1C_{pilot}}(t). \quad (1)$$

여기서 $s_{B1C_{data}}(t)$ 는 신호의 동 위상(in-phase) 성분인 데이터 구성요소를 나타내고 j 는 허수 단위이며 $s_{B1C_{pilot}}(t)$ 는 신호의 직교(quadrature) 성분인 파일럿 구성요소를 나타낸다. 데이터 구성요소 $s_{B1C_{data}}(t)$ 는 항법 메시지 $D_{B1C_{data}}(t)$ 및 데이터 구성요소를 위한 반송파(subcarrier) $sc_{B1C_{data}}(t)$ 로 변조된 레인징 코드 $C_{B1C_{data}}(t)$ 로부터 생성된다. 그리고 파일럿 구성요소 $s_{B1C_{pilot}}(t)$ 는 파일럿 구성요소를 위한 부 반송파(subcarrier) $sc_{B1C_{pilot}}(t)$ 로 변조된 레인징 코드 $C_{B1C_{pilot}}(t)$ 로부터 생성된다. 이 점과 두 구성요소의 출력비(power ratio)가 1:3인 것을 고려하여 두 구성요소는 다시 다음과 같이 표현될 수 있다.

Table 1. Characteristics of the B1C signal.

표 1. B1C 신호의 특성

Signal component	Modulation	Phase relationship	Power ratio		
Data	$S_{B1C_{data}}(t)$	Sine BOC(1,1)	0	1/4	
Pilot	$S_{B1C_{pilot,a}}(t)$	QMBOC(6,1,4/33)	Sine BOC(1,1)	90	29/44
	$S_{B1C_{pilot,b}}(t)$		Sine BOC(6,1)	0	1/11

$$s_{B1C_{data}}(t) = \frac{1}{2} D_{B1C_{data}}(t) \cdot C_{B1C_{data}}(t) \cdot sc_{B1C_{data}}(t)$$

$$s_{B1C_{pilot}}(t) = \frac{\sqrt{3}}{2} C_{B1C_{pilot}}(t) \cdot sc_{B1C_{pilot}}(t). \quad (2)$$

다음으로 구성요소에 따라 구분되는 부 반송파를 알아보기에 앞서 변조 방식에 대한 이해가 필요하다. 기본적으로 두 구성요소는 이진천이 반송파(BOC; Binary Offset Carrier)에 기반을 둔 변조 방식을 사용하고 있으나 각 구성요소에 사용되는 상이한 BOC 형태 및 조합에 의해 변조 방식과 부 반송파에 차이가 발생한다[9]. 먼저 BOC의 특성과 표기 방식을 간단히 언급한 후 그 차이를 정리하였다.

BOC는 GPS보다 더 높은 측위 정확도를 제공할 수 있어 위성 통신 분야에서 특히 주목받는 변조 방식으로[10] GPS에 사용되는 위상 편이 방식 (PSK; Phase Shift Keying)과는 달리 특정하게 정의된 방식에 의해 +1과 -1이 교대로 나타나는 파형을 가진다. 일반적으로 BOC(m, n)과 같은 형태로 표기되며 여기서 m 은 $\frac{f_{sc}}{R_{ref}}$, n 은 $\frac{f_c}{R_{ref}}$ 로 f_{sc} 와 f_c 는 부 반송파 주파수와 칩 전송 주파수를 의미하며 R_{ref} 는 B1C 레인징 코드와 칩 전송률 1.023Mcps를 나타낸다. 다음과 같은 특성을 가진 BOC 변조 방식에 기초하여 데이터 구성요소는 사인 위상의 BOC(1,1) 변조 방식을 사용하고 파일럿 구성요소는 출력비가 29:4인 두 가지의 BOC, BOC(1,1)과 BOC(6,1)로 구성된 직교 다중화 이진천이 반송파 (QMBOC; Quadrature Multiplexed Binary Offset Carrier) QMBOC(6, 1, 4/33) 변조 방식을 사용한다[11]. 결과적으로 두 구성요소에 사용되는 반송파의 형태는 $f_{sc_{B1C_a}}$ 가 1.023MHz이고 $f_{sc_{B1C_b}}$ 가 6.138MHz 일 때 식 (3), (4)와 같다.

$$sc_{B1C_{data}}(t) = \text{sign}(\sin(2\pi f_{sc_{B1C_a}} t)). \quad (3)$$

$$sc_{B1C_{pilot}}(t) = \sqrt{\frac{29}{33}} \text{sign}(\sin(2\pi f_{sc_{mC_a}} t))$$

$$- j \sqrt{\frac{4}{33}} \text{sign}(\sin(2\pi f_{sc_{mC_b}} t)). \quad (4)$$

$sc_{B1C_{pilot}}(t)$ 가 복소 파형 (complex waveform)이므로 B1C 신호는 다시 수식(5)의 형태로 나타내어진다. 두 번째 항과 세 번째 항은 $S_{B1C_{pilot_b}}(t), S_{B1C_{pilot_a}}(t)$ 를 가리킨다.

$$s_{B1C}(t) = s_{B1C_{data}}(t)$$

$$+ \sqrt{\frac{1}{11}} C_{B1C_{pilot}}(t) \cdot \text{sign}(\sin(2\pi f_{sc_{mC_b}} t))$$

$$+ j \sqrt{\frac{29}{44}} C_{B1C_{pilot}}(t) \cdot \text{sign}(\sin(2\pi f_{sc_{mC_a}} t)). \quad (5)$$

지금까지 살펴본 B1C 신호의 특성을 요약하여 표 1에 나타내었다.

2. 레인징 코드 (Ranging Code)

B1C 신호는 구성요소에 따라 다른 레인징 코드를 사용한다. 데이터 구성요소는 오직 주 코드(primary code)만으로 구성된 레인징 코드를 사용하고 파일럿 구성요소는 모듈로-2 덧셈(modulo-2 addition) 연산을 활용하여 주 코드와 보조 코드(secondary code)를 결합한 계층 코드(tiered code)를 사용한다[9].

파일럿 구성요소를 위한 계층 코드를 생성하기 위해서는 연산을 통해 두 코드를 조합하기 전, 보조 코드의 시작과 주 코드의 첫 번째 칩의 시작을 같은 시점에 정렬시켜야 한다. 여기서 보조 코드의 칩 폭은 주 코드의 주기와 동일한 길이를 가진다. 그 후 연산을 수행하여 원래의 두 코드보다 더 긴 길이의 코드를 얻는다. 이러한 긴 길이의 레인징 코드는 더 나은 상관 성능을 얻을 수 있어 다수의 GNSS 신호에 사용되고 있다[12].

지금부터는 주 코드와 보조 코드가 어떻게 생성되는지 살펴보도록 하겠다. 먼저 B1C 신호의 주 코드는 10ms 주기로 동일한 1.023Mcps 칩 전송률과 10230 칩 길이를 가지며 웨일 코드(weil code)를 10243 칩 길이로 잘라서 구할 수 있다. 일반적으로 길이가 N 인 웨일 코드 시퀀스는 식(6)로 정의된다[13].

$$W(k; w) = L(k) \oplus L(k+w), k=0,1,\dots,N-1. \quad (6)$$

여기서는 길이 N 의 르장드르(Legendre) 시퀀스이며, w 는 1~5121 범위의 두 르장드르 시퀀스 간 위상차를 나타낸다. 길이가 N 인 르장드르 시퀀스는 식 (7)과 같이 정의된다.

$$L(k) = \begin{cases} 0, & k=0 \\ 1, & k \neq 0 \text{ and } k = x^2 \text{ mod } N (\text{integer } x). \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

최종적으로 길이 N_0 의 레인징 코드는 길이 N 의 웨일 코드를 주기적으로 자름으로써 얻을 수 있으

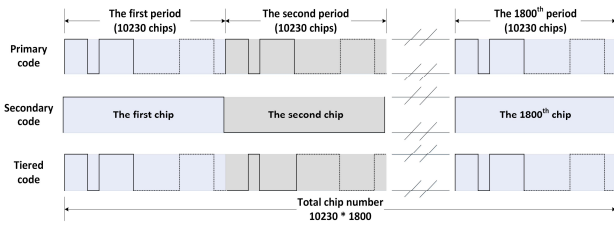


Fig. 1. Timing relationships of the primary code and secondary code for ranging code of B1C.

그림 1. B1C 신호의 레인징 코드를 위한 주 코드와 보조 코드의 타이밍 관계도

며 식 (8)로 표현된다.

$$C(n;w;p) = W((n+p-1)\text{mod}N;w). \quad (8)$$

식 (8)에서 n 은 0에서 N_0-1 까지의 값이 가능하며 p 는 웨일 코드의 절단 시작 시점을 가리킴과 동시에 레인징 코드가 p 번째 웨일 코드 칩에서 부터 시작됨을 의미한다. 따라서 p 값의 범위는 1~10243이 될 수 있다. 결과적으로 주 코드는 어느 구성요소를 위해 사용되든지 동일한 칩 전송률과 칩 길이를 가지기 때문에 주어진 범위에 따라 w 와 p 를 임의로 조합하여 126개의 주 코드를 생성하고 이를 63개씩 각 구성요소에 할당하여 사용한다. 필요한 w 와 p 의 조합은 [9]를 통해 확인할 수 있다.

이어서 보조 코드는 1800ms를 주기로 칩 길이가 1800이며 주 코드와 동일하게 웨일 코드를 잘라내는 방식으로 생성할 수 있다. 이때 몇 가지 코드 생성에 필요한 파라미터의 범위에만 차이가 존재하는데 w 의 범위는 1~1803이며 주 코드와 다르게 웨일 코드를 3607 칩 길이로 잘라 p 의 범위가 1~3607이 된다. 요구되는 w 와 p 의 조합은 주 코드와 마찬가지로 [9]에 나타나 있다.

좀 더 확실한 이해를 돕기 위하여 B1C 신호의 레인징 코드를 위한 주 코드와 보조 코드의 타이밍 관계도를 그림 1에 나타내었다.

3. 항법 메시지(Navigation Message)

B1C 신호로 송출되는 항법 메시지는 B-CNAV1라 불리며 B1C의 데이터 구성요소 상에 변조되어 전달된다[9]. B-CNAV1의 기본 프레임 구조를 부호화 전과 후로 구분하여 그림 2에 나타내었다. 그림 2에 나타나 있듯 전체 프레임은 3개의 서브 프레임(subframe)으로 구분되며 서브 프레임에 따라 다른 항법 정보를 담고 있다. 또한, 전체 프레임은

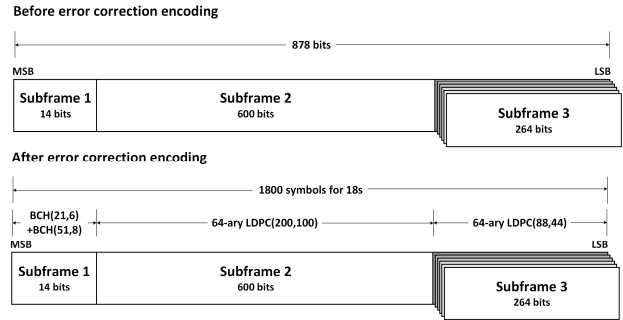


Fig. 2. The basic frame structure of B-CNAV1.

그림 2. B-CNAV1의 기본 프레임 구조

각 서브 프레임별로 상이한 오류 정정 부호화(error correction encoding) 기법이 적용되어 100sps의 심벌 레이트(symbol rate)로 18초 동안 지속되는 1800개의 symbol로 부호화된다. 위성으로부터 수집되는 정보의 유효성 검증과 수신기 설계 후 시뮬레이션 및 검증을 위하여 프레임별로 전달되는 항법 메시지 정보 및 비트 할당과 적용되는 부호화 기법의 이해가 필요하므로 이를 중점으로 항법 메시지를 파악한다.

서브 프레임 1은 전체 14bit로 구성되며 그림 3-(a)과 같이 위성마다 유일하게 할당되는 의사 잡음 신호(PRN; Pseudo-Random Noise)와 첫 번째 칩의 상승 엣지(rising edge) 시간을 초로 환산하여 서브 프레임 1의 시작 시점을 알려주는 8bit의 SOH (Seconds Of Hour) 정보를 전달한다. 이러한 정보가 담긴 서브 프레임 1에는 BCH 부호가 적용된다. BCH 부호는 기존의 정보에 잉여정보를 추가하여 오류를 정정 또는 검출하는 오류 정정 부호(error correction code)로 잉여정보를 추가하기 위해 생성 다항식(generator polynomial)을 필요로 하며 이는 BCH의 오류 정정 능력에 따라 다르다[14]. 또한, 부호는 BCH(n, k)와 같은 형태로 표기되며 n 은 부호어의 길이를 나타내고 k 는 기존 정보의 길이를 나타낸다. 서브 프레임 1에서는 PRN을 위해 BCH

Table 2. Characteristics of BCH code used for encoding of subframe 1.

표 2. 서브 프레임 1의 부호화에 사용되는 BCH 부호의 특성

Target	BCH code	Encoding characteristics			Generator polynomials
		n	k	t	
PRN	(21,6)	21	6	3	$x^6 + x^4 + x^2 + x + 1$
SOH	(51,8)	51	8	11	$x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$

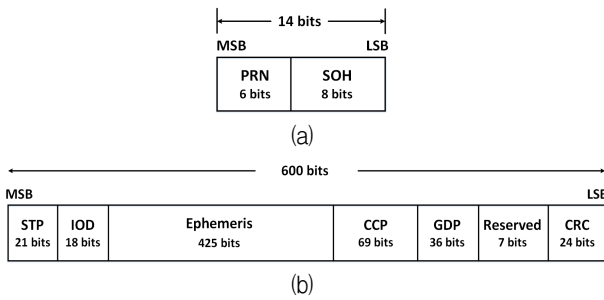


Fig. 3. Simplified navigation data bit allocation per frame.

(a) Subframe 1. (b) subframe 2.

그림 3. 프레임별 간략화한 항법 정보비트 할당

(a) 서브 프레임 1 (b) 서브 프레임 2

(21, 6), SOH를 위해 BCH(51, 8)을 적용하여 72 symbol로 부호화를 진행하였다. 부호화를 위하여 요구되는 오류 정정 능력과 상응하는 생성 다항식에 대한 정보는 표 2에 정리하여 나타내었다. 표 2에서 t 는 오류 정정 능력을 의미하며 t 개의 오류를 정정할 수 있음을 나타낸다.

서브 프레임 2는 전체 600bit로 구성되며 해당 프레임이 전달하는 항법 정보의 비트 할당 구조를 간략화 하여 그림3-(b)에 나타내었다. 서브 프레임 2는 크게 576bit의 항법 정보와 정보비트의 오류 검출을 위한 CRC (Cyclic redundancy check)에 대응하는 24bit의 CRC 검사 비트로 구분된다. 항법 정보별로 특성을 살펴보면 시스템 시간(STP; System Time Parameters)는 BDS의 시간과 관련된 파라미터들이며 IOD(Issue Of Data)는 궤도력(ephemeris)과 시간 보정 계수(CCP; Clock Correction Parameters)가 갱신되고 나서 경과된 시간을 알려준다. 여기서 궤도력은 위성으로부터 제공되는 각 위성의 위치 정보를 전달하고 시간 보정 계수는 말 그대로 IOD에 따라서 시간 정보를 보정하기 위한 관련 파라미터들을 갱신하여 전달한다. 마지막으로 그룹 지연 차동 파라미터(GDP; Group Delay differential Parameters)는 신호가 위성 내부의 주파수 근원(frequency source)에서 안테나로 방사되는 데까지 소요되는 지연 정보를 담고 있다. 이러한 정보들을 전달하는 서브 프레임 2는 64-진 비이진 LDPC(Low Density Parity Check) 부호, 64-ary LDPC(200, 100)을 통해 부호화된다. 이때 사용된 표기법은 100bit의 기준 정보가 200 symbol로 부호화됨을 의미하며 비이진 LDPC 부호는 이진 LDPC 부호보다 우수한 성능을 가지는 채널 코딩 기법의 한 종류이다[15]. 비이진 LDPC의 장점인 우수한 성능을 얻기 위해서는 패

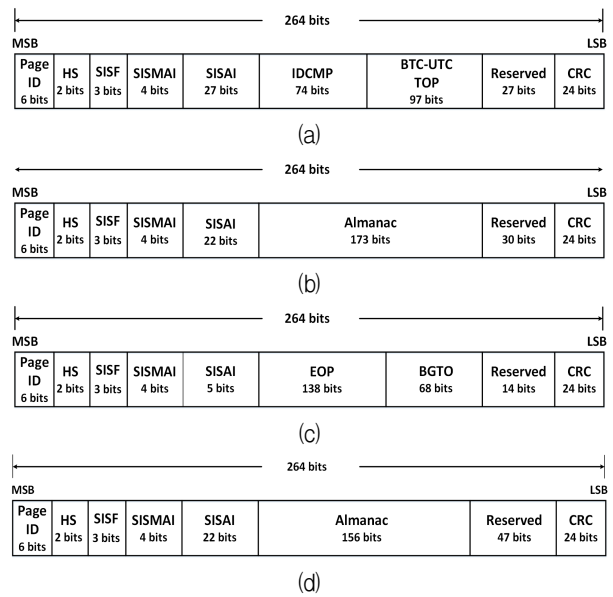


Fig. 4. Simplified navigation data bit allocation for each page type of subframe 3. (a) Page Type 1. (b) Page Type 2. (c) Page Type 3. (d) Page Type 4.

그림 4. 서브 프레임 3의 페이지 타입별 간략화한 항법 정보비트 할당 (a) 페이지 타입 1 (b) 페이지 타입 2 (c) 페이지 타입 3 (d) 페이지 타입 4

리티 검사 행렬인 H를 신중히 설계해야 한다. 이때 H 행렬은 0과 1뿐만 아니라 유한체(finite field) GF(q), $q > 2$ 상의 원소를 모두 포함할 수 있어 설계 시비이진 원소의 위치뿐 아니라 비이진 원소의 값 또한 신중히 결정할 필요성이 있다. H 행렬을 위한 정보들은 [9]에 기재되어 있으며 이를 활용하여 구한 생성행렬을 통해 600bit의 서브 프레임 2를 1200 symbol로 부호화한다.

마지막으로 서브 프레임 3은 전체 264bit로 구성되며 다른 서브 프레임들과는 달리 여러 페이지로 나뉘는 특성을 가진다. 따라서 서브 프레임 3의 비트 할당은 페이지 타입별로 간략화 하여 그림 4에 나타내었다. 모든 페이지 타입별 프레임에 존재하는 Page ID는 서브 프레임 3의 페이지 타입을 전달하고 전리층 지연 보정 모델(IDCMP; Ionospheric Delay Correction Model Parameters)는 단일 주파수를 사용하는 사용자를 위하여 전리층으로 인해 발생하는 지연을 보정하기 위해 제공된다. 그리고 알마낙(almanac)은 모든 위성의 대략적인 위치를 계산하는 데 쓰이는 다양한 파라미터 값을 전달하며 EOP(Earth Orientation Parameters)는 지구의 방향 정보를 제공한다. 이어서 BDT-UTC TOP(BDS Time-Universal Time Coordinated Time Offset

Parameters)와 BGTO(BDT-GNSS Time Offset) 파라미터는 시간과 연관된 파라미터들로 각각 BDT와 UTC의 관계, BDT와 GNSS 시간과의 관계를 정의해준다. 마지막으로 HS(Health Status)는 위성의 상태를 표현하며 SISF(Satellite Integrity Status Flag), SISMAI(Signal In Space Monitoring Accuracy Index), SISAI(Signal In Space Accuracy Index)는 다른 프레임을 통해 전달되는 파라미터나 정보의 무결성을 증명해 주기 위해 제공되는 정보이다. 다양한 정보들을 전달하는 서브 프레임 3의 오류 정정 및 검출을 위해서는 서브 프레임 2와 마찬가지로 CRC와 비이진 LDPC 기법이 사용되며 이때 적용되는 비이진 LDPC는 64-진 LDPC(88,44)를 따른다.

III. 결론

본 논문에서는 GNSS 분야에 있어서 지속적으로 상승 추세에 있는 중국의 영향력을 고려하여 개발 마무리 단계에 있는 중국의 BDS 공개 서비스 신호, B1C에 관한 내용을 정리하였다. B1C 신호 체계를 설계하기 위하여 요구되는 정보를 중점적으로 다루었으며 본 정보는 B1C 신호 체계 설계를 용이하게 해줄 뿐 아니라 나아가 BDS B1C 수신기 설계에도 충분히 활용될 수 있다. BDS가 세계 GNSS 제품군에 통합되어 GNSS 산업의 새로운 시대를 이끌 수 있을 것으로 예상되는 만큼 [7] 본 논문에서 이어 BDS 연구에 대한 더 많은 국내 연구진의 노력이 요구된다.

References

- [1] C. Shi and N. Wei, "Satellite Navigation for Digital Earth," *Manual of Digital Earth*, Springer, 2020. DOI: 10.1007/978-981-32-9915-3_4
- [2] J. D. Paziewski, "Recent advances and perspectives for positioning and applications with smartphone GNSS observations," *Measurement Science and Technology*, 2020. DOI: 10.1088/1361-6501/ab8a7d
- [3] N. Kablak and S. Savchuk, "Exploitation of Big Real-Time GNSS Databases for Weather Prediction," *Knowledge Discovery in Big Data from Astronomy and Earth Observation*, Elsevier, 2020. DOI: 10.1016/B978-0-12-819154-5.00034-5
- [4] S. Spinsante and C. Stallo, "Hybridized-GNSS Approaches to Train Positioning: Challenges and Open Issues on Uncertainty," *Sensors*, Vol.20, No.7, pp.405-417, 2020. DOI: 10.3390/s20071885
- [5] China Navigation Satellite Office, *Development report of BeiDou navigation satellite system (version 3.0)*, 2018.
- [6] China Navigation Satellite Office, *Development report of BeiDou navigation satellite system (version 4.0)*, 2019.
- [7] L. Pan, X. Zhang, X. Li, X. Li, C. Lu, J. Liu and Q. Wang, "Satellite availability and point positioning accuracy evaluation on a global scale for integration of GPS, GLONASS, BeiDou and Galileo," *Advances in space research*, Elsevier, Vol.63, No.7, pp.2696-2710, 2019. DOI: 10.1016/j.asr.2017.07.029
- [8] J. W. Betz, *Engineering satellite-based navigation and timing: global navigation satellite systems, signals, and receivers*, John Wiley & Sons, 2015.
- [9] China Navigation Satellite Office, *BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document open service signal B1C (Version 1.0)*, 2017.
- [10] J. C. Juang, C. T. Lin and Y. F. Tsai, "Comparison and Synergy of BPSK and BOC Modulations in GNSS Reflectometry," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol.13, pp.1959-1971, 2020. DOI: 10.1109/JSTARS.2020.2989824.
- [11] Z. Yao, M. Lu, and Z. M. Feng, "Quadrature multiplexed BOC modulation for interoperable GNSS signals," *Electronics letters*, Vol.46, No.17, pp. 1234-1236, 2010. DOI: 10.1049/el.2010.1693
- [12] N. C. Shivaramaiah, A. G. Dempster and C. Rizos, "Exploiting the secondary codes to improve signal acquisition performance in Galileo receivers," *ION GNSS*, pp.1497-1506, 2008.
- [13] A. Weil, "Sur les courbes algebriques et les varietes qui s'en deduisent," *Publ. Inst. Math. Univ. Strasbourg* 7, pp.1-85, 1945.
- [14] S. Lin and D. J. Costello, *Error control*

coding, Prentice hall, 2001.

[15] M. C. Davey and D. J. C. MacKay, "Low density parity check codes over $GF(q)$," *1998 Information Theory Workshop (Cat. No.98EX131)*, pp.70-71, 1998. DOI: 10.1109/ITW.1998.706440

BIOGRAPHY

Yerin Shin (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.