



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

ATSC 3.0 방송 시스템용 물리계층 GUI 시뮬레이터 구현 및 MISO 시스템 성능 분석

Implementation of physical layer GUI simulation for ATSC
3.0 broadcast system and performance analysis of MISO
system



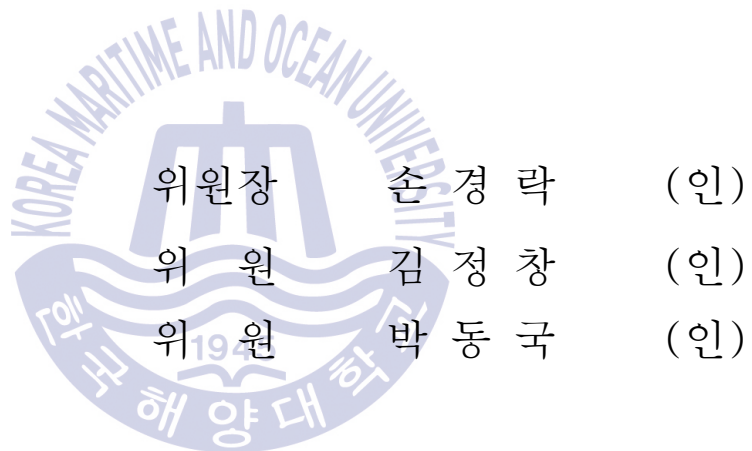
2018년 2월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과

김 시 문

본 논문을 김시문의 공학석사 학위논문으로 인준함.



2017년 12월 22일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	v
List of Figures	vi
Abbreviation	viii
Abstract	xi
1. 서 론	
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 내용	3
2. ATSC 3.0 물리계층 시스템	
2.1 송신기 시스템 구조	5
2.2 수신기 시스템 구조	6
2.3 프레임 구조	7
3. ATSC 3.0 물리계층 파라미터	
3.1 L1-시그널링	9
3.1.1 L1-시그널링의 보호	10
3.1.2 부트스트랩	12
3.1.3 L1-Basic	14
3.1.3.1 L1-Basic: 시스템 파라미터	15
3.1.3.2 L1-Basic: L1-Detail 관련 파라미터	16
3.1.3.3 L1-Basic: 첫 번째 부프레임 파라미터	17
3.1.4 L1-Detail	18
3.1.4.1 L1-Detail: 기본 파라미터	20
3.1.4.2 L1-Detail: 채널 분당 파라미터	21
3.1.4.3 L1-Detail: 부프레임 파라미터	21
3.1.4.4 L1-Detail: PLP 파라미터	23

3.1.4.5 L1-Detail: LDM 파라미터	24
3.1.4.6 L1-Detail: 채널 본딩 파라미터	24
3.1.4.7 L1-Detail: MIMO 파라미터	25
3.1.4.8 L1-Detail: 셀 다중화 파라미터	25
3.1.4.9 L1-Detail: 시간 인터리버 파라미터	26
4. 계층 분할 다중화 및 PLP 다중화	
4.1 계층 분할 다중화	28
4.2 PLP 다중화	30
4.2.1 LDM을 하지 않는 경우	30
4.2.1.1 CL의 L1D_plp_type 가 0인 경우	30
4.2.1.2 CL의 L1D_plp_type가 1인 경우	30
4.2.2 LDM을 하는 경우	32
4.2.2.1 CL의 L1D_plp_type이 0인 경우	32
4.2.2.2 CL의 L1D_plp_type이 1인 경우	32
5. ATSC 3.0 물리계층 GUI 시뮬레이터 구현	
5.1 GUI 시뮬레이터 인터페이스	40
5.1.1 부트스트랩 항목	40
5.1.2 프리앰블 항목	42
5.1.3 부프레임 항목	44
5.1.4 PLP 항목	46
5.2 GUI 시뮬레이터의 동작 결과	50
5.2.1 S-PLP 시뮬레이션 결과	52
5.2.2 LDM 시뮬레이션 결과	59
6. MISO 시스템 성능 분석	
6.1 MISO 시스템 송수신기 구조	61
6.2 TDCFS	62
6.3 성능 분석 결과	66
7. 결론	

List of Tables

Table 1	Signaling information of Bootstrap symbol 1	13
Table 2	Signaling information of Bootstrap symbol 2	13
Table 3	Signaling information of Bootstrap symbol 3	14
Table 4	Signaling information of L1-Basic	14
Table 5	Signaling information of L1-Detail	19
Table 6	Signaling list of L1D_plp_fec_type	23
Table 7	B PLP information for Cell multiplexing	31
Table 8	L1 Basic Cells by L1-Basic FEC Mode	43
Table 9	Simulation Parameters	51
Table 10	ATSC 3.0 Parameters for S-PLP Simulation	53
Table 11	Simulation Parameters of S-PLP	55
Table 12	LDM parameters for GUI Simulation	59

List of Figures

Fig. 1 Block diagram of transmitter in ATSC 3.0	5
Fig. 2 Block diagram of receiver in ATSC 3.0	7
Fig. 3 Frame structure in ATSC 3.0	8
Fig. 4 Block diagram of L1-Basic protection	10
Fig. 5 Block diagram of L1-Detail protection	11
Fig. 6 Block diagram of LDM at transmitter	28
Fig. 7 Block diagram of LDM receiver	29
Fig. 8 Example of Cell multiplexing (TFDM)	32
Fig. 9 Example for the case of EL size = CL size	34
Fig. 10 Example for the case of EL size > CL size	34
Fig. 11 Example for the unavailable case of EL size > CL size	35
Fig. 12 Example for the case of EL size < CL size	36
Fig. 13 Example for the unavailable case of EL size < CL size	36
Fig. 14 Example of TLDM and LTDM combination for LDM_CL_ID generation test	37
Fig. 15 Example of TFDM and LFDM combination for LDM_CL_ID generation test	39
Fig. 16 Bootstrap item of GUI Simulator	41
Fig. 17 Preamble item of GUI Simulator	42
Fig. 18 Subframe item of GUI Simulator	45
Fig. 19 PLP INFO 1 item of GUI Simulator	47
Fig. 20 PLP INFO 2 item of GUI Simulator	47
Fig. 21 Extended interface of GUI Simulator	50
Fig. 22 Sub1-PLP INFO2 of S-PLP Calculation	53
Fig. 23 Tx constellation of S-PLP	55
Fig. 24 Rx Constellation of S-PLP Simulation in AWGN channel	57

Fig. 25 Frequency response of S-PLP Simulation57

Fig. 26 Frequency response of S-PLP Simulation by channel estimation scheme57

Fig. 27 Frequency response of S-PLP Simulation in TU6 channel according to the speed of the receiver57

Fig. 28 Constellation of LDM Simulation60

Fig. 29 Block diagram of MISO system in ATSC 3.061

Fig. 30 Auto-correlation and cross-correlation of 2 transmitters' impulse response vector64

Fig. 31 Angle of pre-distortion function65

Fig. 32 Bit error rate performance of TDCFS vs NoTDCFS with perfect channel estimation67



Abbreviation

A/D	analog-to-digital
ALP	ATSC 3.0 link layer protocol
ATSC	advanced television systems committee
AWGN	additive white Gaussian noise
BCH	Bose, Ray-Chaudhuri and Hocquenghem
BICM	bit interleaved and coded modulation
BSID	broadcast stream identifier
CL	core layer
CP	cyclic prefix
CRC	cyclic redundancy check
CTI	convolutional time interleaver
DFT	discrete Fourier transform
EL	enhanced layer
FDM	frequency division multiplexing
FEC	forward error correction
FFT	fast Fourier transform
FI	frequency interleaver
GI	guard interval

GUI	graphical user interface
HTI	hybrid time interleaver
IFFT	inverse fast Fourier transform
IP	internet protocol
IQ	in-phase and quadrature
LDM	layer division multiplexing
LDPC	low density parity check
LLR	log-likelihood ratio
LLS	low level signaling
LoS	line of sight
MIMO	multiple-input multiple-output
MISO	multiple-input single-output
MPEG-2 TS	moving picture expert group-2 transport stream
NoC	number of carriers
NUC	non-uniform constellation
OFDM	orthogonal frequency division multiplexing
OSI	open system interconnection
PAPR	peak to average power ratio
PLP	physical layer pipe
PN	pseudo random
QAM	quadrature amplitude modulation
QPSK	quadrature phase shift keying

RF	radio frequency
SFN	single frequency network
SISO	single-input single-output
SNR	signal noise ratio
SP	scattered pilot
TDCFS	transmit diversity code filter sets
TDM	time division multiplexing
TxD	transmitter identification
UHDTV	ultra high definition television



Implementation of physical layer GUI simulation for ATSC 3.0 broadcast system and performance analysis of MISO system

Kim, Si Moon

Department of electronics & Communications Engineering
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

In this paper, a physical layer GUI simulator for ATSC 3.0 which can easily verify the validity for various combinations of system parameters is implemented. It is possible to calculate the length of the frame and the data rate by directly setting the physical layer signaling information via the implemented simulator. In addition, it is possible to know the required signal-to-noise ratio under several channel models, e.g., AWGN, RC20, and RL20, and indoor/outdoor field tests. With the simulator, outputs of various functional blocks of ATSC 3.0 transmitter and receiver such as signal constellations and frequency responses can be observed. Also, it is possible to observe the bit error rate and the frame error rate to verify the performance of the receiver. In order to support various combinations of multiplexing schemes, the simulator provides the cell indexing method according to various PLP multiplexing schemes. Furthermore, the multiple-input single-output system of ATSC 3.0 is implemented in the simulator and the performance is analyzed.

KEY WORDS: ATSC 3.0, GUI, MISO, Simulation, TDCFS

ATSC 3.0 방송 시스템용 물리계층 GUI 시뮬레이터 구현 및 MISO 시스템 성능 분석

김 시 문

한국해양대학교 전자전기정보공학부

요 약

본 논문에서는 ATSC 3.0 물리계층 규격에서 정의되는 다양한 파라미터 조합에 따른 시뮬레이션 결과를 쉽게 확인할 수 있는 MATLAB GUI 기반의 ATSC 3.0 시뮬레이터를 구현한다. 구현된 시뮬레이터를 통하여 물리계층 파라미터 구성을 위해 필요한 시그널링 정보를 직접 설정하여 프레임 길이 [ms]와 데이터 전송률[Mbps]을 계산할 수 있다. 또한 시뮬레이션, 실내, 필드 환경 테스트에 따른 AWGN, RC20, RL20 채널에서의 요구 SNR [dB]을 알 수 있다. 시뮬레이션 동작을 위해 다양한 시뮬레이션 파라미터를 설정하여 송수신 시뮬레이션 결과를 도출할 수 있으며 송수신기의 정상도와 frequency response를 관찰할 수 있다. 시뮬레이션 동작 결과로써 수신기의 성능 검증을 위한 비트 에러율과 프레임 에러율을 관찰할 수 있다. 구현된 시뮬레이터가 다양한 파라미터 조합에 따른 동작을 지원하기 위해 본 논문에서는 PLP 다중화에 따른 셀 인덱싱 방법을 구현한다. 또한 ATSC 3.0에서 적용되는 MISO 시스템을 구현하여 MISO 시스템의 특성을 분석하고 시스템 성능을 분석한다.

KEY WORDS: ATSC 3.0, GUI, MISO, Simulation, TDCFS

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

ATSC(advanced television systems committee) 3.0은 미국 디지털 TV 표준화 단체인 ATSC에서 제정한 차세대 지상파 디지털 방송 표준이다. 2013년부터 ATSC 3.0 규격의 개발이 진행되어 2016년 9월에 물리계층 규격이 제정되었다. ATSC 3.0은 기존 표준인 ATSC 1.0과의 역호환성을 지원하지 않으며 이에 따라 새로운 기술들이 표준에 포함되었다. 또한 ATSC 3.0은 물리계층부터 제어 및 프로토콜, 응용계층까지를 규정하는 규격이며 주요 특징으로는 IP(internet protocol)를 전송 프로토콜로 사용하고 MPEG-2 TS(moving picture expert group-2 transport stream)등의 전송 방식도 지원한다. 물리계층 프로토콜은 프레임(frame) 단위로 구성되고, 프레임은 부트스트랩(bootstrap), 프리앰블(preamble)과 다수의 부프레임(subframe)으로 구성된다[1].

국내 지상파 UHD-TV(ultra high definition television) 방송 송수신 정합 규격의 물리계층 시스템은 ATSC 3.0 물리계층 시스템을 기반으로 하는 시스템이며 최신 기술 및 소비자의 다양한 서비스 요구를 충족시킬 수 있도록 다양한 전송 기술과 동작모드를 제공한다[2]-[4]. 따라서 이러한 높은 유연성을 통하여 서비스마다 다르게 요구되는 다양한 강인성 및 전송률에 효율적으로 대응하여 다양한 서비스를 제공할 수 있다[5].

ATSC 3.0 규격의 물리계층 시스템은 채널 코딩을 위해 LDPC(low density parity check)를 지원하고 LDPC는 16200 비트와 64800비트 2 종류의 부호어 길이와 2/15부터 13/15까지 12종류의 부호율로 구성된다. 채널 용량 증대를 위해 16 / 64 / 256 / 1K / 4K QAM(quadrature amplitude modulation) 비균일 성상(NUC: non-uniform constellation)을 지원하고[6], 비트 인터리버를 사용한다[7]. 다중화 방식으로 SISO(single-input single-output), MISO(multiple-input single-output), MIMO(multiple-input multiple-output)의 프레임 타입에 대해 시분할 다중화(TDM: time division multiplexing) 및 주파수 분할 다중화(FDM:

frequency division multiplexing) 뿐만 아니라 ATSC 3.0 물리계층에 최초로 반영된 기술인 계층 분할 다중화(LDM: layered division multiplexing)를 지원한다. MIMO 기술을 적용하면 MIMO 다중화, MIMO 프리코더부가 따로 추가되어 적용된다. 데이터 전송방식은 다중 경로 환경에 강인한 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing)방식을 사용한다. 12종류의 보호 구간 길이(GI: guard interval)를 이용하여 다양한 서비스 커버리지를 지원하고 채널 추정 및 동기화를 위해 16종류의 분산 파일럿(SP: scattered pilot)과 연속 파일럿(CP: continual pilot)을 지원한다. 단말기 사용 환경을 고려하여 8K, 16K, 32K 총 3종류의 FFT(fast Fourier transform) 크기를 지원한다. 시간 영역 군집 오류 채널에 강인성을 제공하기 위해 사용되는 시간 인터리버(time interleaver)는 부프레임 내 인터리빙(intra-subframe interleaving)과 강인한 저용량 서비스 전송을 위한 부프레임 간 인터리빙(inter-subframe interleaving) 모드를 지원한다. 두 개의 RF(radio frequency) 채널을 사용하고 병합하여 데이터율을 올릴 수 있는 채널 본딩(channel-bonding)도 적용될 수 있다[9]. 주파수 영역 군집 오류 채널에 강인하도록 OFDM 심볼 단위로 동작하는 주파수 인터리버(FI: frequency interleaver) 또한 지원한다. 단일 주파수 네트워크(SFN: single frequency network) 환경에서의 고유 안테나 식별자를 사용하는 기술인 TxID(transmitter identification)가 ATSC 3.0에서 적용되었다[10].

ATSC 3.0 물리계층 시스템은 서로 다른 데이터율과 부호율을 가지는 다수의 서비스 전송을 지원하고 있으며 다양한 비트율의 조합에 대해서도 원활한 서비스 전송이 가능한 기술들을 포함하고 있다. 이렇게 다양한 조합에 따라 방송 서비스 제공자들은 필요한 SNR(signal to noise ratio) 영역에서 서비스 가능한 파라미터를 선택하여 사용할 수 있다. 하지만 매우 많은 조합과 기술들로 인해 방송사들이 선택한 파라미터가 제공하고자 하는 서비스를 원활히 제공해줄 수 있는지 확인이 필요하다. 이렇게 다양한 프로파일 조합에 따라 방송사들은 서비스 가능한 프로파일을 도출하기 위해서 다양한 조합의 올바른 동작 검증을 위한 시뮬레이터가 필요하다. 또한 시뮬레이션 파라미터를 쉽게 바꾸며 다양한 파라미터 조합 검증을 테스트 할 수 있고, 시뮬레이션 결과를 확인하고 고찰할

수 있는 인터페이스가 필요하다.

ATSC 3.0에서는 효율적인 주파수 스펙트럼의 사용을 위해 다수의 송신기가 하나의 RF 채널을 사용하는 SFN 환경을 지원한다[11]. 다수의 송신기를 사용하는 SFN 환경에서 고정된 수신기가 신호를 받을 때, 다수의 송신기에서 보내는 신호들의 세기가 비슷하고 지연이 발생하지 않는 가시거리의 채널 환경에서 신호 위상의 영향으로 인해 상쇄간섭(destructive interference)이 발생하여 신호가 매우 약해지고 그에 따라 수신이 어려워지는 지역이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ATSC 3.0에서는 MISO 기법을 채택하였다. MISO 기법은 다수의 송신국에서 전송한 신호들 간의 상호 간섭의 가능성을 최소화하기 위해서 TDCFS(transmit diversity code filter sets)를 사용하고 이로 인해 SFN 환경에서의 상쇄간섭의 영향을 최소화할 수 있다.

1.2 연구 내용

본 논문에서는 ATSC 3.0 물리계층에서 파라미터 구성을 위해 필요한 시그널링 정보를 설정하여 시뮬레이션을 쉽게 할 수 있는 MATLAB GUI(graphical user interface) 기반의 시뮬레이터를 개발한다. 구현된 시뮬레이터는 시뮬레이션에 필요한 모든 파라미터를 설정할 수 있고, 그에 따른 시뮬레이션 결과를 관찰할 수 있다. GUI 시뮬레이터에서 관찰할 수 있는 정보들은 현재 프레임의 시작부터 동일한 주/부 버전의 다음 프레임 시작까지의 최소시간을 나타내는 min_time_to_next, 전체 프레임 길이, L1 시그널링 정보의 셀 개수를 나타내는 L1-Basic Cell과 L1-Detail Cell, 그리고 Data Cell의 개수를 알 수 있다. 또한 시뮬레이션, 실내, 필드 테스트환경에서의 AWGN(additive white Gaussian noise), RC20(Ricean 20), RL20(Rayleigh 20) 채널의 요구 SNR [dB]을 알 수 있다. 또한, pilot boosting 유무에 따른 SNR 또한 알 수 있다. 송수신 동작 시뮬레이션은 추가적으로 시뮬레이션에 필요한 파라미터들을 설정하고 동작시킬 수 있으며 송수신 결과를 관찰할 수 있다. GUI를 통해서 송신기와 수신기의 성상도를 확인할 수 있으며 수신기에서 신호의 주파수 응답을 관찰할 수 있다. 수신기에서 복조 결과 내부 부호인 LDPC를 적용했을 때의 비트 에러 개수와 비트 에러율,

FEC(forward error correction) 프레임 에러 개수와 FEC 프레임 에러율, 내부 부호가 사용될 경우 BCH(Bose, Ray-Chaudhuri and Hocquenghem)를 적용했을 때의 비트 에러 개수와 비트 에러율, FEC 프레임 에러 개수와 FEC 프레임 에러율을 알 수 있다. 또한 본 논문에서는 서로 다른 서비스를 동시에 제공하기 위해서 주파수 또는 시간 자원을 분할하여 사용하는 물리계층 파이프(PLP: physical layer pipe) 다중화를 사용할 경우 다양한 다중화 방법에 따라 셀 색인하는 방법을 구현하였고 이에 따라 구현된 시뮬레이터는 다양한 PLP 다중화를 지원할 수 있도록 설계되었다. 또한 ATSC 3.0에서 지원하는 MISO 시스템 성능을 확인하기 위해 규격에 정의된 TDCFS를 구현하고 TDCFS의 특성을 파악한다. 또한 MISO 시스템의 성능을 알아보기 위해 SFN 환경에서 MISO를 적용했을 때와 적용하지 않았을 때의 비트 에러율 성능을 살펴본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ATSC 3.0 물리계층 시스템에서 송수신기 구조와 프레임 구조에 대해서 살펴보고 3장에서 ATSC 3.0 물리계층 파라미터에 대해서 설명한다. 4장에는 계층 분할 및 PLP 다중화에 대하여 설명하고 5장에서는 구현한 ATSC 3.0 GUI 시뮬레이터의 구성 인터페이스와 시뮬레이션 결과를 살펴본다. 6장에서는 MISO 시스템을 구현하고 MISO가 적용되었을 경우 신호 감쇠가 없고 하나의 신호 위상이 랜덤으로 들어올 경우의 환경에서 수신 시스템 성능을 분석한다. 마지막으로 7장에서 결론을 맺는다.

제 2 장 ATSC 3.0 물리계층 시스템

제 2 장에서는 ATSC 3.0 물리계층 시스템에 대해서 설명한다. ATSC 3.0 물리계층 시스템에서 적용된 송신기 시스템과 수신기 시스템 구조에 대해서 설명하고, 생성된 신호들이 프레임의 형태로 구성될 때의 구조를 설명한다.

2.1 송신기 시스템 구조

물리계층 전송 시스템의 송신기 구조는 Fig. 1과 같이 구성된다. 송신기는 크게 입력 포매팅부, BICM(bit interleaved and coded modulation)부, 프레임링/인터리빙부, 파형 생성부로 구성된다.

데이터는 PLP로 전송되며 입력 포매팅부에서 데이터의 캡슐화 및 압축, 스케줄링, 기저대역 포매팅을 거쳐 기저대역 패킷 형태로 출력된다. 생성된 기저대역 패킷은 BICM 인코더를 거친다. BICM부로 입력된 패킷은 오류검출 및 정정을 위한 FEC 블록에서 부호화되며 FEC 블록을 거친 부호어는 비트 인터리버에 입력된다. 비트 인터리버는 패리티 인터리버(parity interleaver), 그룹 인터리버(group-wise interleaver), 블록 인터리버(block interleaver)로 구성된다. 블록 인터리버 출력 비트들은 매핑과정을 거쳐 변조 심볼로 출력된다. LDM이 사용될 경우 2개 이상의 PLP가 결합될 수 있다. 변조 심볼들은 프레임링/인터리빙부로 입력된다[12]. 프레임링/인터리빙부에서는 시간 인터리버가 사용된다. 시간 인터리버는 컨볼루션 시간 인터리버(CTI: convolutional time interleaver), 하이브리드 시간 인터리버(HTI: hybrid time interleaver)가 사용된다. 단일 PLP만을 사용하는 경우는 HTI는 사용하지 않는다. 또한 시간 인터리버는 사용하지 않을 수도 있다. 프레임링 부에서는 시간 인터리빙된 데이터 셀이 입력되어 프레임이 구성된다. 프레임을 구성할 때 부프레임 내의 데이터는 셀 색인 방법에 따라 다중화될 수 있다. 파형 생성부는 파일럿 삽입, MISO, IFFT(inverse fast Fourier transform), PAPR(peak to average power ratio), 보호 구간 삽입, 부트스트랩 추가로 구성된다. MISO와 PAPR은 선택 사항이다. 프레임링/인터리빙부를 지난 신호에 파일럿 종류와 패턴에 따라 파일럿이 삽입된다. MISO 블록에서

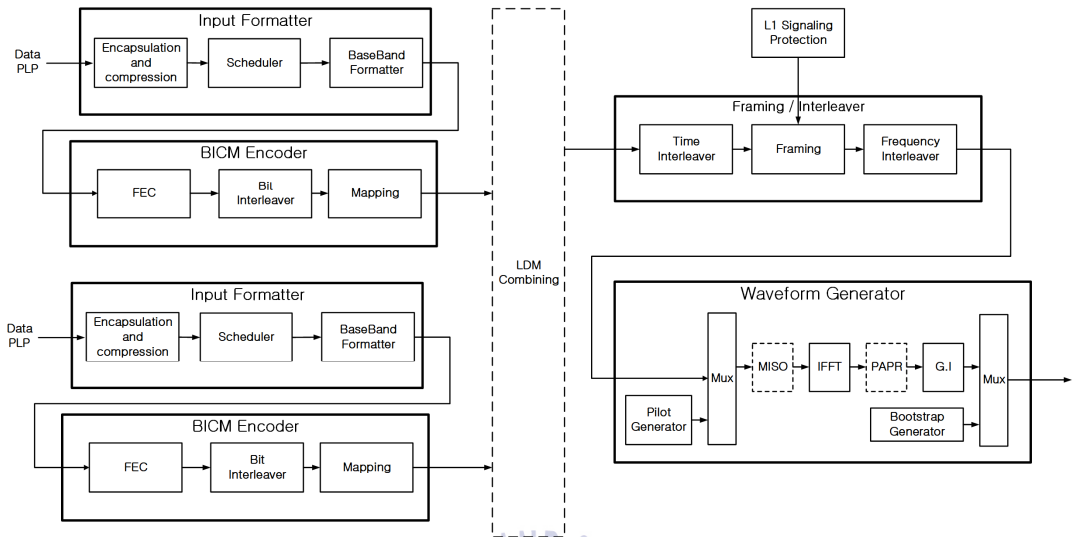


Fig. 1 Block diagram of transmitter in ATSC 3.0

는 SFN 환경 내 다수 개의 송신기에서 인위적으로 신호의 위상 정보를 왜곡시킨다. MISO와 관련된 내용은 제 6 장에서 상세히 기술한다. 이후 IFFT를 수행하고 보호 구간을 삽입한다. 이후 부트스트랩이 추가되어 송신 신호를 내보낸다.

2.2 수신기 시스템 구조

Fig. 2는 ATSC 3.0 물리계층 수신기 구조를 나타낸다. 수신된 신호는 A/D(analog to digital) 변환기를 거친 후 부트스트랩 신호를 사용하여 타이밍 및 주파수 동기를 얻는다[13]-[14]. 이후 보호 구간이 제거되고, FFT 시작 위치를 결정하여 FFT가 수행된다. 출력으로부터 파일럿 부반송파를 추출하여 채널을 추정한다. 이후 채널 등화를 수행하여 추정된 채널 이득을 보상한다. 채널 등화된 출력은 주파수 역인터리빙된다. 역프레이밍부에서는 프리앰블로부터 L1-Basic 시그널링 정보를 복원한다. L1-Basic에는 L1-Detail을 디코딩하기 위해 필요한 정보를 포함하고 있다. L1-Detail 시그널링 정보에는 부프레임과 PLP에

대한 정보가 담겨있다. L1-Detail을 디코딩한 후에는 첫 번째 부프레임의 데이터 셀을 추출하고 성상 디맵퍼에서 LLR(log-likelihood ratio)값을 계산한다. 계산된 LLR 값은 BICM 디코더에서 비트인터리버를 통해 디인터리빙되고 LDPC 디코딩된다. 외부 부호가 사용될 경우 외부 부호가 디코딩된다. 이후 입력 디포맷팅을 통해 최종 정보 비트가 복원된다.

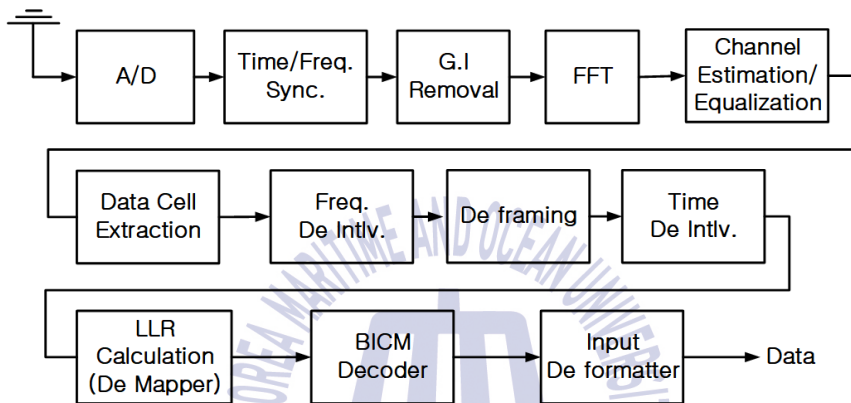


Fig. 2 Block diagram of receiver in ATSC 3.0

2.3 프레임 구조

Fig. 3은 프레임 구조를 나타낸다. 프레임 구조는 크게 부트스트랩, 프리앰블, 부프레임 세 가지로 구성된다. 부트스트랩은 프레임의 제일 앞에 위치하며 신호감지 및 동기 검출, 후속 프레임의 디코딩을 위한 신호를 포함한다. 부트스트랩 심볼을 검출하면 프리앰블 심볼의 검출에 필요한 물리계층 파라미터를 알 수 있다. 프리앰블은 부트스트랩 뒤에 이어지며 나머지 프레임에 적용되는 L1-시그널링 데이터를 포함한다. 프리앰블은 하나 이상의 프리앰블 심볼로 구성될 수 있다. 프리앰블 뒤에는 부프레임이 위치한다. 다수의 부프레임이 위치할 경우 시간에 따라 연속적으로 위치한다. 프리앰블의 FFT 크기 및 보호 구간의 길이는 첫 번째 부프레임의 FFT 크기 및 보호 구간의 길이와 동일해야 한다. 프

레이프 길이는 시간 정렬 프레임 또는 심볼 정렬 프레임 방법으로 지정된다.

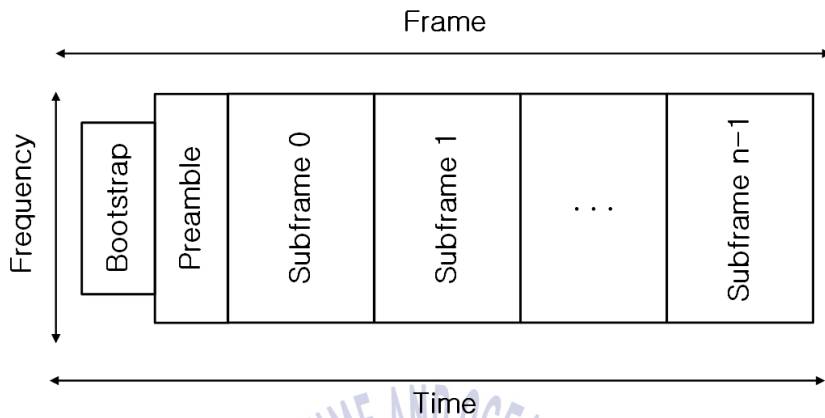
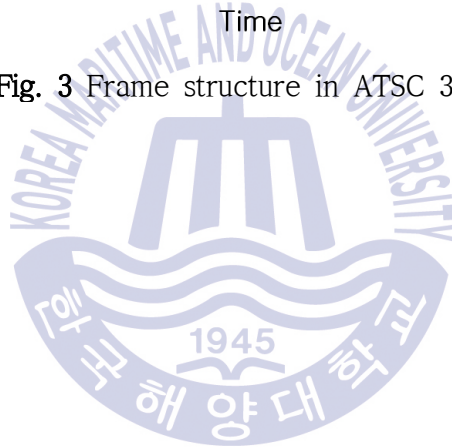


Fig. 3 Frame structure in ATSC 3.0



제 3 장 ATSC 3.0 물리계층 파라미터

제 3 장에서는 ATSC 3.0 물리계층 파라미터에 대해서 설명한다. ATSC 3.0 물리계층 파라미터는 물리계층에서 사용되는 모든 파라미터들이 적용되며 일부 파라미터는 사용자가 직접 설정이 가능하고 나머지 파라미터들은 설정한 파라미터에 따라 자동으로 계산된다. 파라미터의 종류에 따라 정보 비트 수가 다르며 L1-Basic 또는 L1-Detail로 시그널링된다. L1-시그널링은 독립적인 부호화 방법을 통해 보호된다.

3.1 L1-시그널링

본 절에서는 매 프레임마다 물리계층 파라미터 구성을 위해 필요한 정보를 제공하는 L1-시그널링에 대해서 설명한다. ‘L1-’은 계층1(layer1)을 의미하며 OSI(open system interconnection) 7계층에서 최하위에 속하는 계층으로써 통신을 위한 물리적인 표준을 정의하는 계층이다. L1-시그널링은 크게 부트스트랩, L1-Basic과 L1-Detail로 구성된다.

L1-Basic은 전체 프레임에 대하여 가장 기본적인 시스템 정보를 시그널링하며 L1-Basic의 길이는 200비트로 고정적이다. 또한 L1-Basic은 L1-Detail 정보를 디코딩하기 위해 필요한 파라미터와 첫 번째 부프레임을 복조하기 위한 정보를 포함하고 있다. L1-Detail은 첫 번째 부프레임을 제외한 나머지 부프레임과 PLP를 디코딩하기 위해 필요한 정보를 포함하고 있으며 L1-Detail의 길이는 부프레임 및 PLP의 구성에 따라 가변적이다. L1-Basic과 L1-Detail은 프리앰블 심볼로 전달되어 프리앰블 다음으로 이어지는 부프레임의 데이터를 복조할 수 있는 정보를 제공한다. 이어서 3.1.1절에서는 L1-시그널링 정보를 전송하기 위해 진행하는 시그널링의 보호에 대해서 설명하고, 3.1.2절~3.1.4절에서는 시그널링되는 파라미터들에 대하여 설명한다.

3.1.1 L1-시그널링의 보호

L1-시그널링은 독립적인 부호화 방법을 통해 보호된다. Fig. 4는 L1-Basic 보호의 블록 순서도를 나타내고, Fig. 5는 L1-Detail 보호의 블록 순서도를 나타낸다. L1-Basic과 L1-Detail 보호 블록 중 대다수의 블록이 공통적으로 사용된다. L1-Basic과 L1-Detail 시그널링은 BCH 외부 부호와 LDPC 내부 부호의 연접 방식으로 보호된다. 가장 먼저 스칼램블링된 후 BCH 외부 부호로 부호화되며, BCH 패리티 검사 비트는 L1-Basic과 L1-Detail 시그널링 비트에 각각 덧붙여진다. 이후 16200길이의 LDPC 내부 부호에 의하여 추가로 보호된다. LDPC 부호어 길이는 16200을 사용하며 부호율은 3/15와 6/15를 사용한다.

부프레임의 개수 및 PLP의 개수가 적어 L1-Detail의 시그널링 정보 비트의

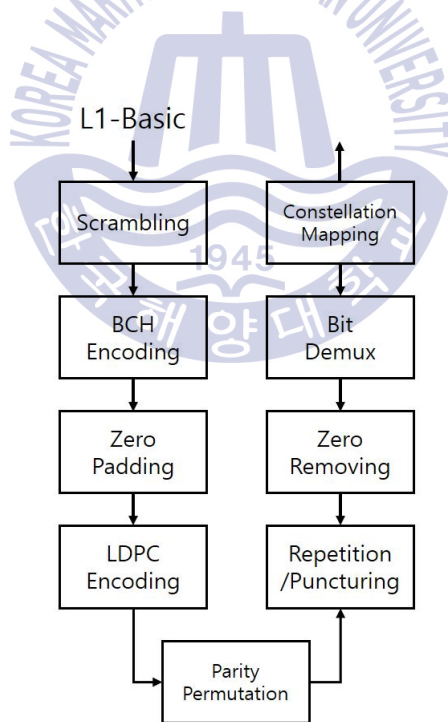


Fig. 4 Block diagram of L1-Basic protection

양이 요구되는 LDPC 부호어 길이보다 적을 경우 길이를 채우기 위해 영으로 제로 패딩된다. 패딩된 비트는 전송되지 않는다. 패리티 치환은 패리티 부분에서 수행되며 데이터 부분에서는 수행되지 않는다.

이후 반복 과정에서 L1-Basic 모드 1과 L1-Detail 모드 1에 대해서만 추가적으로 패리티 반복이 이루어져 L1 시그널링 신호에 대한 강건성을 높인다. 반복은 다른 모드에 대해서는 수행되지 않는다. 또한 몇몇 LDPC 패리티 비트는 패리티 치환 이후 천공될 수 있는데, 천공된 비트는 L1 시그널링 비트를 전달하는 프레임 내에서 전송되지 않는다. 영제거 단계에서 LDPC 부호 비트와 내부 부호 비트의 차이만큼의 제로 패딩 비트는 제거되고 전송되지 않는다. 비트 역

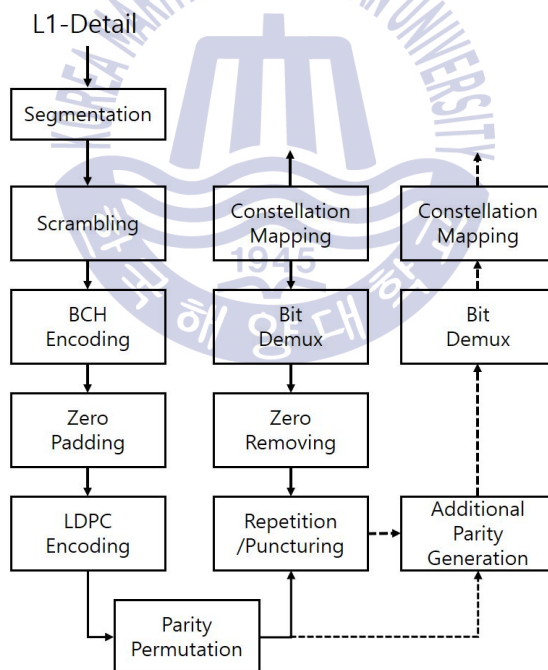


Fig. 5 Block diagram of L1-Detail protection

다중화 단계에서는 성상 매핑되기 전 하나의 그룹 내의 비트 단위로 역다중화된다. 이후 각각의 역다중화된 LDPC 블록은 성상 심볼로 매핑된다.

L1-Detail 정보의 부호화에만 수행되는 블록은 분할 단계가 있으며 이는 L1-Detail 시그널링 정보 비트가 가변적이기 때문에 전체 시그널링 전송을 위해서 필요에 따라 여러 블록으로 분할한다. 각 분할된 L1-Detail 블록은 위에서 설명한 과정으로 보호된다. L1-Detail 시그널링 신호의 강건성을 향상시키기 위해 추가적인 패리티 비트가 전송된다.

3.1.2 부트스트랩

부트스트랩 심볼은 부트스트랩 심볼 1, 부트스트랩 심볼 2, 부트스트랩 심볼 3으로 구성되어있다. 부트스트랩 심볼 1, 2, 3에 대한 시그널링 정보는 Table 1, 2, 3과 같다. 부트스트랩 심볼 1의 ea_wake_up_1과 부트스트랩 심볼 2의 ea_wake_2는 긴급 상황 여부를 나타내는 시그널링 정보이며 2개의 비트가 하나의 정보로써 시그널링된다.

Table 1의 min_time_to_next는 현재 프레임의 시작부터 동일한 주/부 버전의 다음 프레임의 시작까지의 최소시간을 의미하며 5비트 값으로 시그널링된다. 수식 (1)에서 프레임 길이 x값을 이용하여 현재 프레임과 동일 버전을 갖는 다음 프레임에 대한 최소 시간 길이를 ms 단위로 계산하여 나타낸다.

$$t = \begin{cases} t = 50 \times x + 50 & (0 \leq x \leq 8) \\ t = 100 \times (x - 8) + 50 & (8 \leq x \leq 16) \\ t = 200 \times (x - 16) + 1300 & (8 \leq x \leq 16) \\ t = 400 \times (x - 24) + 2900 & (8 \leq x \leq 16) \end{cases} \quad (1)$$

Table 1의 system_bandwidth는 부트스트랩 이후 부분에서 사용되는 시스템 대역폭을 나타내며 2비트로 시그널링된다. 시그널링 정보 2비트는 '00' = 6MHz, '01' = 7MHz, '10' = 8MHz, '11' = 8MHz 이상을 나타낸다.

Table 1 Signaling information of Bootstrap symbol 1

Name	No. of Bits
ea_wake_up_1	1
min_time_to_next	5
system_bandwidth	2

Table 2에서 bsr_coefficient는 현재 물리계층 프레임의 부트스트랩 다음 신호에 대한 표본화율을 나타내며 7비트로 구성된다.

Table 2 Signaling information of Bootstrap symbol 2

Name	No. of Bits
ea_wake_up_2	1
bsr_coefficient	7

Table 3의 preamble_structure는 8비트로 구성되며 마지막 부트스트랩 심볼 다음에 위치하는 프리앰블 심볼에 대한 전송 파라미터에 대한 정보가 시그널링 된다. preamble_structure는 프리앰블 심볼의 FFT 크기, GI 길이, 프리앰블 파일럿의 간격, L1-Basic 모드에 대한 정보를 포함하고 있다.

Table 3 Signaling information of Bootstrap symbol 3

Name	No. of Bits
preamble_structure	8

3.1.3 L1-Basic

L1-Basic의 시그널링 정보와 정보 비트의 수는 Table 4와 같으며 각 항목에 대한 세부 설명은 아래에서 한다. 시그널링 필드 이름은 'L1B_' 라는 접두어가 붙는다.

Table 4 Signaling information of L1-Basic

Name	No. of Bits	Format
L1B_version	3	uimsbf
L1B_mimo_scattered_pilot_encoding	1	uimsbf
L1B_lls_flag	1	uimsbf
L1B_time_info_flag	2	uimsbf
L1B_return_channel_flag	1	uimsbf
L1B_papr_reduction	2	uimsbf
L1B_frame_length_mode	1	uimsbf
L1B_frame_length	10	uimsbf
L1B_excess_samples_per_symbol	13	uimsbf
L1B_time_offset	16	uimsbf
L1B_additional_samples	7	uimsbf
L1B_num_subframes	8	uimsbf
L1B_preamble_num_symbols	3	uimsbf
L1B_preamble_reduced_carriers	3	uimsbf
L1B_L1_Detail_content_tag	2	uimsbf
L1B_L1_Detail_size_bytes	13	uimsbf
L1B_L1_Detail_fec_type	3	uimsbf
L1B_L1_Detail_additional_parity_mode	2	uimsbf
L1B_L1_Detail_total_cells	19	uimsbf

L1B_first_sub_mimo	1	uimsbf
L1B_first_sub_miso	2	uimsbf
L1B_first_sub_fft_size	2	uimsbf
L1B_first_sub_reduced_carriers	3	uimsbf
L1B_first_sub_guard_interval	4	uimsbf
L1B_first_sub_num_ofdm_symbols	11	uimsbf
L1B_first_sub_scattered_pilot_pattern	5	uimsbf
L1B_first_sub_scattered_pilot_boost	3	uimsbf
L1B_first_sub_sbs_first	1	uimsbf
L1B_first_sub_sbs_last	1	uimsbf
L1B_reserved	48	uimsbf
L1B_crc	32	uimsbf

3.1.3.1 L1-Basic: 시스템 파라미터

■ L1B_version: 현재 프레임에 사용되는 L1-Basic 시그널링 구조의 버전을 나타낸다.

■ L1B_mimo_scattered_pilot_encoding: 현재 프레임의 MIMO 부프레임이 어떤 파일럿 인코딩 기법을 사용 중인지를 나타낸다. 해당 값이 0인 경우 Walsh-Hadamard pilot 기법을 사용하거나 MIMO를 사용하지 않는 경우에 해당되고, 1인 경우 Null pilot 기법을 사용한다.

■ L1B_lls_flag: 현재 프레임의 한 개 이상의 PLP에 LLS(low level signaling)의 존재 유무를 나타내는 플래그 비트이다.

■ L1B_time_info_flag: 현재 프레임에서 타이밍 정보의 존재 유무를 나타내는 플래그 비트이다. ‘00’ 이면 현재 프레임에서 타이밍 정보가 존재하지 않고 ‘01’ 이면 ms단위의 시간 정보를 포함한다. ‘10’ 이면 us단위의 시간 정보를 포함하고 ‘11’ 일 경우 ns단위의 시간 정보를 포함한다.

■ L1B_return_channel_flag: 현재 프레임과 현재 주파수 대역, 현재 방송망의 리턴 채널의 존재 유무를 나타낸다.

■ **L1B_papr_reduction**: 현재 프레임 내에서 첨두 전력 대 평균 전력비를 줄이기 위해 사용된 기술 정보를 나타낸다. 해당 정보는 첫 번째 프리앰블 심볼을 제외한 모든 OFDM 심볼에 적용될 수 있다.

■ **L1B_frame_length_mode**: 현재 프레임이 데이터 OFDM 심볼의 보호 구간에 추가된 초과 샘플의 배치와 시간 정렬된 프레임 일 때 0의 값을 가지고 심볼 정렬된 프레임일 때 1로 시그널링된다.

■ **L1B_frame_length**: **L1B_frame_length_mode**의 값이 0일 때만 값을 가지며 현재 프레임과 관련 있는 부트스트랩의 첫 샘플 시작부터 마지막 샘플의 끝까지의 시간 간격을 나타낸다.

■ **L1B_excess_samples_per_symbol**: **L1B_frame_length_mode**의 값이 0일 때만 존재하며 현재 프레임의 부트스트랩 이후 데이터 OFDM 심볼의 보호 구간에 추가된 초과 샘플의 수를 나타낸다.

■ **L1B_time_offset**: **L1B_frame_length_mode**의 값이 1일 때만 존재하며, 프레임의 시작부분과 ms단위 사이의 거리를 샘플 개수로 나타낸 값이 시그널링된다.

■ **L1B_additional_samples**: **L1B_frame_length_mode**의 값이 1일 때만 존재하며, 샘플링 클럭 정렬을 이행하기 위해 프레임의 마지막에 추가하는 추가 샘플의 수를 나타낸다. ATSC 3.0의 표준에서는 **L1B_additional_samples**의 값은 0만 사용한다.

■ **L1B_num_subframes**: 현재 프레임내의 부프레임의 개수를 나타내는 값이 시그널링된다. 실제 전송되는 부프레임의 개수보다 1만큼 작은 값이 시그널링된다.

3.1.3.2 L1-Basic: L1-Detail 관련 파라미터

위에서 기술한 L1-Basic의 시그널링 정보는 전체 프레임과 관련된 정보에 대한 내용이고, 본 절에서 기술할 내용은 L1-Basic에서 L1-Detail을 해석하기 위해 필요한 정보의 종류와 기능에 대해서 기술한다.

■ L1B_preamble_num_symbols: 프리앰블의 총 OFDM 심볼 개수를 나타내며, 실제 전송되는 심볼 개수보다 1만큼 작은 값이 시그널링된다.

■ L1B_preamble_reduced_carriers: 프리앰블의 FFT 크기별 반송파의 최대 개수를 감소시키기 위한 컨트롤 유닛값을 나타낸다. 이러한 감소는 첫 번째 프리앰블 심볼을 제외하고 모든 프리앰블 심볼에 적용된다.

■ L1B_L1_Detail_content_tag: 현재 프레임과 같은 주 버전과 부 버전의 부 스트림을 갖는 이전 프레임과 비교하여 현재 프레임의 L1-Detail 내용이 바뀌었을 경우 1씩 증가된다.

■ L1B_L1_Detail_size_bytes: L1-Detail 정보의 바이트 단위 크기를 나타낸다.

■ L1B_L1_Detail_fec_type: L1-Detail 정보의 보호를 위한 FEC 유형을 나타낸다.

■ L1B_L1_Detail_additional_parity_mode: 3.1.1절에서 설명한 추가 패리티 모드를 나타내며 L1-Detail을 위한 추가 패리티 비트의 수와 다음 프레임의 L1-Detail 시그널링을 위해 부호화된 비트 수 절반의 비를 정한다.

■ L1B_L1_Detail_total_cells: 현재 프레임에서의 L1-Detail 시그널링과 다음 프레임의 L1-Detail 시그널링을 위해 변조된 추가 패리티 비트를 합한 전체 크기를 나타낸다.

3.1.3.3 L1-Basic: 첫 번째 부프레임 파라미터

L1-Basic에서 첫 번째 부프레임에 대한 정보를 담고 있는 이유는 L1-Detail이 모두 해석될 때까지 기다리지 않고 즉각적으로 초기 OFDM 신호를 처리하기 위함이다.

■ L1B_first_sub_mimo: 첫 번째 부프레임에서 MIMO 기법이 사용되었는지의 여부를 나타낸다.

■ L1B_first_sub_miso: 첫 번째 부프레임에서 MISO 기법이 사용되었는지의 여부를 나타낸다.

■ L1B_first_sub_fft_size: 첫 번째 부프레임의 FFT 크기를 나타낸다. 2비트로 구성되며, ‘00’ = 8K, ‘01’ = 16K, ‘10 = 32K’ 이다.

■ L1B_first_sub_reduced_carriers: 첫 번째 부프레임에서 FFT 크기별로 정의되는 부반송파의 최대개수를 감소시키기 위한 컨트롤 유닛값을 나타낸다.

■ L1B_first_sub_guard_interval: 첫 번째 부프레임에서 OFDM 심볼에 사용된 보호 구간의 길이를 나타낸다. 첫 번째 부프레임의 보호 구간 길이는 프리앰블의 보호 구간 길이와 같은 값을 가진다.

■ L1B_first_sub_num_ofdm_symbols: 첫 번째 부프레임에서 존재하는 데이터 OFDM 심볼의 값을 나타내며 부프레임 경계 심볼을 포함한 심볼의 값이다.

■ L1B_first_sub_scattered_pilot_pattern: 첫 번째 부프레임에 사용된 분산 파일럿의 패턴을 나타낸다.

■ L1B_first_sub_scattered_pilot_boost: 첫 번째 부프레임에서 사용되는 분산 파일럿의 파워를 나타낸다.

■ L1B_first_sub_sbs_first: 첫 번째 부프레임에서 첫 번째 심볼이 부프레임 경계 심볼인지 아닌지에 대한 여부를 나타낸다.

■ L1B_first_sub_sbs_last: 첫 번째 부프레임의 마지막 심볼이 부프레임의 경계 심볼인지 아닌지에 대한 여부를 나타낸다.

■ L1B_reserved: L1Basic의 전체 길이를 맞추기 위해서 채워지는 패딩 비트의 수를 나타낸다.

■ L1B_crc: L1B_crc의 시그널링 정보를 제외하고 나머지 L1-Basic의 값에 대하여 계산된 CRC(cyclic redundancy check)값이 시그널링된다.

3.1.4 L1-Detail

L1-Detail의 시그널링 정보는 유동적이며 시그널링 정보와 정보 비트의 수는 Table 5와 같다. L1-Detail의 시그널링 필드 이름은 ‘L1D_’ 라는 접두어가 붙는다.

Table 5 Signaling information of L1-Detail

Name	No. of Bits	Format
L1D_version	4	uimsbf
L1D_time_sec	3	uimsbf
L1D_time_msec	32	uimsbf
L1D_time_usec	10	uimsbf
L1D_time_nsec	10	uimsbf
L1D_bsid	16	uimsbf
L1D_reserved	as needed	uimsbf
L1D_crc	32	uimsbf
L1D_num_rf	3	uimsbf
L1D_rf_id	1	uimsbf
L1D_bonded_bsid	16	uimsbf
L1D_mimo	1	uimsbf
L1D_miso	2	uimsbf
L1D_fft_size	2	uimsbf
L1D_reduced_carriers	3	uimsbf
L1D_guard_interval	4	uimsbf
L1D_num_ofdm_symobls	11	uimsbf
L1D_scattered_pilot_pattern	5	uimsbf
L1D_scattered_pilot_boost	3	uimsbf
L1D_sbs_first	1	uimsbf
L1D_sbs_last	1	uimsbf
L1D_subframe_multiplex	1	uimsbf
L1D_frequency_interleaver	1	uimsbf
L1D_sbs_null_cells	13	uimsbf
L1D_num_plp	6	uimsbf
L1D_plp_id	6	uimsbf
L1D_lls_flag	1	uimsbf
L1D_plp_size	24	uimsbf
L1D_plp_scrambler_type	2	uimsbf
L1D_plp_fec_type	4	uimsbf

L1D_plp_mod	4	uimsbf
L1D_plp_cod	4	uimsbf
L1D_plp_TI_mode	2	uimsbf
L1D_plp_fec_block_start	15	uimsbf
L1D_plp_layer	2	uimsbf
L1D_plp_ldm_injection_level	5	uimsbf
L1D_plp_num_channel_bonded	3	uimsbf
L1D_plp_bonded_rf_id	3	uimsbf
L1D_plp_channel_bonding_format	2	uimsbf
L1D_plp_stream_combining	1	uimsbf
L1D_plp_IQ_interleaving	1	uimsbf
L1D_plp_mimo_PH	1	uimsbf
L1D_plp_start	24	uimsbf
L1D_plp_type	1	uimsbf
L1D_plp_num_sublices	14	uimsbf
L1D_plp_subslice_interval	24	uimsbf
L1D_plp_TI_extended_interleaving	1	uimsbf
L1D_plp_CTI_depth	3	uimsbf
L1D_plp_CTI_start_row	11	uimsbf
L1D_plp_CTI_fec_block_start	22	uimsbf
L1D_plp_HTI_inter_subframe	1	uimsbf
L1D_plp_HTI_num_ti_blocks	4	uimsbf
L1D_plp_HTI_num_fec_blocks_max	12	uimsbf
L1D_plp_HTI_num_fec_blocks	12	uimsbf
L1D_plp_HTI_num_cell_interleaver	1	uimsbf

3.1.4.1 L1-Detail: 기본 파라미터

■ L1D_version: 현재 프레임에서 사용되는 L1-Detail 시그널링 구조의 버전을 나타낸다.

■ L1D_time_sec: 시간 정보의 초 단위를 나타낸다. 여기서 말하는 시간 정보는 수신된 부트스트랩의 첫 번째 심볼이 전송된 시간을 나타낸다.

■ L1D_time_msec: 시간 정보의 ms단위를 나타낸다.

■ L1D_time_usec: 시간 정보의 us단위를 나타낸다.

■ L1D_time_nsec: 시간 정보의 ns단위를 나타낸다.

■ L1D_bsid: 현재 RF 채널의 BSID(broadcast stream identifier)를 나타낸다. BSID는 하나의 RF 채널 내에서 방송 신호의 전체 콘텐츠를 구별하는 16비트의 값이다. L1D_bsid의 값은 L1D_version의 값이 1일 때부터 적용되며 각 지열별로 고유의 값을 가질 수 있다.

■ L1D_reserved: L1B_L1_Detail_size_bytes로 표현되는 L1-Detail의 총 비트 길이를 맞추기 위해서 패딩으로 사용되는 비트의 개수를 나타낸다.

■ L1D_crc: L1-Detail의 정보 비트에 대해 계산된 CRC값이 들어있다.

3.1.4.2 L1-Detail: 채널 본딩 파라미터

■ L1D_num_rf: 현재 채널 주파수를 제외한 현재 시스템의 채널 본딩과 관련된 주파수의 개수를 나타낸다.

■ L1D_rf_id: L1D_rf_id를 통해 채널 본딩과 관련된 다른 RF 채널의 ID를 구분한다. 국내 지상파 UHDTV 물리계층 시스템에서 L1D_rf_id의 최댓값은 1이다.

■ L1D_bonded_bsid: 현재 RF 채널과 채널 본딩 되어 있고 L1D_rf_id의 ID와 연관된 다른 RF 채널의 BSID를 나타낸다.

3.1.4.3 L1-Detail: 부프레임 파라미터

■ L1D_mimo: 현재 부프레임에서 MIMO 기법이 사용되었는지에 대한 여부를 나타낸다.

■ L1D_miso: 현재 부프레임에서 MISO 기법이 사용되었는지에 대한 여부를 나타낸다.

- L1D_fft_size: 현재 부프레임의 FFT 크기를 나타낸다.
- L1D_reduced_carriers: 현재 부프레임에서 사용하고 있는 FFT 크기별 반송파의 최대 개수를 감소시키기 위한 컨트롤 유닛값을 나타낸다.
- L1D_guard_interval: 현재 부프레임에서 OFDM 심볼에 사용되는 보호 구간의 길이를 나타낸다.
- L1D_num_ofdm_symbols: 현재 부프레임에서 경계 심볼을 모두 포함한 OFDM 심볼의 개수를 나타낸다.
- L1D_scattered_pilot_pattern: 현재 부프레임에서 사용되는 분산 파일럿의 패턴을 나타낸다.
- L1D_scattered_pilot_boost: 현재 부프레임에서 사용되는 분산 파일럿의 크기를 나타낸다. dB값 또는 실숫값으로 표기한다.
- L1D_sbs_first: 현재 부프레임에서 첫 번째 심볼이 부프레임 경계 심볼인지에 대한 여부를 나타낸다.
- L1D_sbs_last: 현재 부프레임에서 마지막 심볼이 부프레임 경계 심볼인지에 대한 여부를 나타낸다.
- L1D_subframe_multiplex: 현재 부프레임이 인접한 부프레임과 시분할 다중화 되어있는지에 대한 여부를 나타낸다. 서브프레임의 개수가 2개 이상일 때만 시그널링 된다.
- L1D_frequency_interleaver: 현재 부프레임에서 주파수 인터리버가 사용되었는지에 대한 여부를 나타낸다.
- L1D_sbs_null_cells: 현재 부프레임에서 경계 심볼에 포함된 널 셀의 개수를 나타낸다. 만약 경계 심볼이 존재하지 않으면 해당 파라미터는 시그널링되지 않는다.
- L1D_num_plp: 현재 부프레임에서 사용되는 PLP 개수를 나타낸다.

3.1.4.4 L1-Detail: PLP 파라미터

■ L1D_plp_id: 현재 PLP가 가지고 있는 ID를 나타낸다. 이 값을 이용하여 물리계층 시스템의 각 RF 채널에서 PLP를 식별한다.

■ L1D_lls_flag: 현재 PLP에 LLS정보가 포함되어 있는지에 대한 여부를 나타낸다.

■ L1D_plp_size: 현재 PLP에 할당된 데이터 셀의 개수를 나타낸다.

■ L1D_plp_scrambler_type: 현재 PLP에 대한 스크램블 방식을 나타낸다. 현재는 '00' 만을 사용하며, 나머지는 미래를 위해 예약된 값이다.

■ L1D_plp_fec_type: 현재 PLP의 부호화에 사용되는 에러 정정 방식(FEC)을 표시한다. L1D_plp_fec_type 파라미터 시그널링의 값에 따른 FEC 방식은 Table 6과 같다. 외부 부호와 내부 부호의 조합에 따라서 시그널링되며, 16K LDPC는 블록 당 16200 부호어 비트를 생성하는 LDPC 부호화를 나타내고, 64K LDPC는 블록 당 64800 부호어 비트를 생성하는 LDPC 부호화를 나타낸다.

Table 6 Signaling list of L1D_plp_fec_type

Value	Forward Error Correction Method
0000	BCH + 16K LDPC
0001	BCH + 64K LDPC
0010	CRC + 16K LDPC
0011	CRC + 64K LDPC
0100	16K LDPC only
0101	64K LDPC only
0110-1111	Reserved

■ L1D_plp_mod: 현재 PLP에 사용되는 변조 방식을 나타낸다. 변조방식은

QPSK(quadrature phase shift keying), 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM이 있으며, 1024QAM과 4096QAM 모드는 L1D_plp_fec_type이 64K LDPC를 나타낼 경우에만 사용된다.

■ L1D_plp_cod: 현재 PLP에 사용되는 부호율을 나타낸다. 부호율은 2/15부터 13/15까지 존재한다.

■ L1D_plp_TI_mode: 현재 PLP에 사용되는 시간 인터리버 모드를 나타낸다. '00' 인 경우 시간 인터리버를 사용하지 않는 경우이고, '01' 인 경우 CTI를 사용하는 경우, '10' 인 경우 HTI를 사용하는 경우에 해당된다.

■ L1D_plp_fec_block_start: 현재 PLP에서 첫 번째 FEC 블록의 시작 위치를 나타낸다. 현재 PLP의 데이터 셀에서 PLP의 시작 위치로부터 첫 번째 FEC 블록의 첫 번째 셀까지의 상대 위치를 나타낸다. 해당 파라미터는 L1D_plp_TI_mode = '00' 일 때만 시그널링된다.

3.1.4.5 L1-Detail: LDM 파라미터

■ L1D_plp_layer: 현재 PLP의 계층 레벨을 나타낸다. 계층 분할 다중화 될 때 L1D_plp_layer = 1인 경우 항상 계층이고, L1D_plp_layer = 0인 경우 코어 계층에 해당된다. 계층 분할 다중화가 사용되지 않을 때 L1D_plp_layer은 0으로 시그널링 된다.

■ L1D_plp_ldm_injection_level: 해당 PLP가 계층 분할 다중화 될 때 코어 계층과 비교하여 항상 계층의 삽입 레벨을 상대적으로 표시한다. 삽입 레벨의 단위는 dB로 표시한다.

3.1.4.6 L1-Detail: 채널 본딩 파라미터

■ L1D_plp_num_channel_bonded: 현재 채널 주파수를 제외한 채널 본딩 PLP와 관련된 주파수의 개수를 나타낸다. 채널 본딩을 하지 않을 경우 L1D_plp_num_channel_bonded는 0으로 시그널링된다.

■ L1D_plp_bonded_rf_id: 현재 PLP와 채널 본딩을 하는 채널 RF의 ID를 나

타낸다. L1D_plp_num_channel_bonded가 0보다 클 때만 시그널링된다.

■ L1D_plp_channel_bonding_format: 현재 PLP가 사용하는 채널 본딩 형식을 나타낸다. 다수의 RF 채널에서 채널 본딩을 할 경우 각 채널의 PLP는 동일한 채널 본딩 형식을 사용한다. '00' 인 경우 plain channel bonding 형식을 사용하고 '01' 인 경우 SNR averaged channel bonding 형식을 사용한다.

3.1.4.7 L1-Detail: MIMO 파라미터

MIMO 파라미터는 MIMO 기법을 사용하지 않을 때, 즉 L1B_first_mimo = 0 과 L1D_mimo = 0인 경우에는 시그널링되지 않는다.

■ L1D_plp_stream_combining: 현재 PLP에 대한 MIMO precoding의 조합 옵션을 나타낸다. 조합 옵션을 사용하는 경우 1로 시그널링되고, 그렇지 않은 경우 0으로 시그널링된다.

■ L1D_plp_IQ_interleaving: 현재 PLP에 대한 MIMO precoding의 IQ(in-phase and quadrature) 인터리빙의 사용 여부를 나타낸다. IQ 인터리빙을 사용하는 경우 1로 시그널링되고, 그렇지 않은 경우 0으로 시그널링된다.

■ L1D_plp_mimo_PH: 현재 PLP에 대한 MIMO precoding의 위상 호핑 사용 여부를 나타낸다. 위상 호핑을 사용하는 경우 1로 시그널링되고, 그렇지 않은 경우 0으로 시그널링된다.

3.1.4.8 L1-Detail: 셀 다중화 파라미터

셀 다중화 파라미터는 PLP가 하나만 사용될 경우 셀 다중화는 적용되지 않는다.

■ L1D_plp_start: 현재 부프레임에서 해당 PLP의 첫 번째 데이터 셀의 위치를 나타낸다.

■ L1D_plp_type: 해당 PLP의 셀 다중화 타입을 나타낸다. L1D_plp_type = 0인 경우 PLP는 서브 슬라이싱 되지 않고 모든 데이터 셀이 연속으로 배치된다.

L1D_plp_type = 1인 경우 모든 데이터 셀이 연속적으로 배치되지 않고 서브 슬라이싱 된다.

■ L1D_plp_num_subsllices: 현재 PLP에 사용되는 서브 슬라이스의 개수를 나타낸다. 해당 파라미터는 L1D_plp_type = 1인 경우에만 시그널링된다.

■ L1D_plp_subslice_interval: 현재 PLP에서 현재 서브 슬라이스의 시작부터 다음 서브 슬라이스의 시작까지의 데이터 셀 개수를 나타낸다. 해당 파라미터는 L1D_plp_type = 1인 경우에만 시그널링된다.

3.1.4.9 L1-Detail: 시간 인터리버 파라미터

CTI와 관련된 파라미터는 CTI를 사용할 때만 시그널링되고, HTI와 관련된 파라미터는 HTI를 사용할 때만 시그널링된다.

■ L1D_plp_TI_extended_interleaving: 현재 PLP가 확장 인터리빙이 사용되는지에 대한 여부를 나타낸다. 해당 PLP의 변조가 QPSK인 경우에만 확장 인터리빙이 가능하다.

■ L1D_plp_CTI_depth: 해당 PLP의 컨볼루션 인터리버 행의 개수를 나타낸다. 인터리버 행의 개수는 512, 724, 887/1254, 1024/1448이 있으며 887/1254에서 1254는 확장 인터리버를 할 경우의 확장 인터리버 행의 개수를 나타낸다. 해당 파라미터는 L1D_plp_TI_mode가 '01' 일 때만 시그널링된다.

■ L1D_plp_CTI_start_row: 현재 부프레임의 시작에서 컨볼루션 인터리버의 시작 스위치 위치를 나타낸다. 해당 파라미터는 L1D_plp_TI_mode가 '01' 일 때만 시그널링된다.

■ L1D_plp_CTI_fec_block_start: 현재 PLP의 첫 번째 FEC 블록의 첫 번째 셀이 CTI를 통과한 후 현재 또는 다음 부프레임 내에 존재하는 위치를 나타낸다. 해당 파라미터는 L1D_plp_TI_mode가 '01' 일 때만 시그널링된다.

■ L1D_plp-HTI_inter_subframe: 현재 PLP의 하이브리드 시간 인터리빙의 모드를 나타낸다. L1D_plp-HTI_inter_subframe = 0인 경우 부프레임 내 인터리빙

모드를 사용한다. L1D_plp_HTI_inter_subframe = 1인 경우 부프레임 간 인터리빙 모드를 사용한다. 해당 파라미터는 L1D_plp_TI_mode가 '10' 일 때만 시그널링된다.

■ L1D_plp_HTI_num_ti_blocks: 해당 PLP에서 L1D_plp_HTI_inter_subframe = 0일 때 인터리빙 프레임당 TI 블록의 개수를 나타내고, L1D_plp_HTI_inter_subframe = 1일 때 하나의 TI 블록으로 전송되는 부프레임의 개수를 나타낸다. 해당 파라미터는 L1D_plp_TI_mode가 '10' 일 때만 시그널링된다.

■ L1D_plp_HTI_num_fec_blocks_max: 현재 PLP에 대한 인터리빙 프레임 당 FEC 블록의 최대 개수를 나타낸다. 해당 파라미터는 L1D_plp_TI_mode가 '10' 일 때만 시그널링된다.

■ L1D_plp_HTI_num_fec_blocks: 현재 PLP에 대한 인터리빙 프레임에 포함된 FEC 블록의 개수를 나타낸다. 해당 파라미터는 L1D_plp_TI_mode가 '10' 일 때만 시그널링된다.

■ L1D_plp_HTI_num_cell_interleaver: 셀 인터리버의 사용 여부를 나타낸다. 셀 인터리버를 사용하는 경우 L1D_plp_HTI_num_cell_interleaver = 1로 시그널링 되고, 그렇지 않은 경우에는 L1D_plp_HTI_num_cell_interleaver = 0으로 시그널링된다. 해당 파라미터는 L1D_plp_TI_mode가 '10' 일 때만 시그널링된다.

제 4 장 계층 분할 다중화 및 PLP 다중화

4.1 계층 분할 다중화

본 절에서는 ATSC 3.0에 적용되는 LDM을 사용할 때의 송수신기 구조를 살펴보고 동작 방법에 대하여 기술한다. LDM은 동일한 RF 대역폭 내에서 여러 신호가 시간 및 주파수 자원을 공유하면서 각 신호의 전력을 다르게 할당하여 전송하는 기술을 말한다[15]. 또한 LDM은 하나의 방송 채널에서 여러 개의 방송 스트림을 서로 다른 변조 차수를 사용하여 전송하기 때문에 LDM을 사용하면 서로 다른 강인성을 가지는 스트림을 서비스할 수 있다. ATSC 3.0에서는 코어 계층(CL: core layer)과 향상 계층(EL: enhanced layer) 2개의 계층만을 사용한다. 송신기에서 시간 인터리빙을 수행하기 전 2개 혹은 여러 개의 PLP를 결합한다. Fig. 6은 송신기에서의 LDM 전송 시스템 구성도를 나타낸다. 각 PLP의 BICM을 지나 변조 신호로 매핑된 신호는 삽입 레벨(injection level) 차이를 주어 결합된다. LDM에서 감쇠가 없는 PLP는 코어 계층, 감쇠가 일어나는 PLP는 향상 계층으로 정의된다. LDM 결합기에서는 코어 계층 대비 향상 계층의 파워를 줄이는 삽입 레벨 제어가 사용된다. 코어 계층은 향상 계층보다 더욱 강건한 변조 및 부호화 조합이 사용된다. 일반적으로 두 계층의 부호어 길이는 같고 부호율과 성상은 다르게 설정하여 사용한다[16]. 삽입레벨은 0.0dB부터 25.0dB까지 0.5dB단위로 설정할 수 있다. 여기서, α 와 β 는 규격에 정의되어 있다.

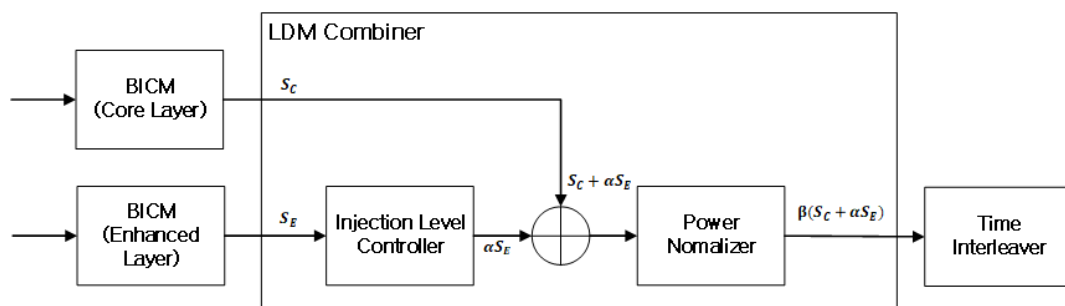


Fig. 6 Block diagram of LDM at transmitter

Fig. 7은 수신기에서의 LDM 복조 시스템 구성도를 나타낸다. 시간 역 인터리버를 거친 신호는 전력 역정규화 과정을 거치고 역 정규화된 신호는 코어 계층 BICM 디코더로 입력된다. 코어 계층 BICM 디코더에서 코어 계층 데이터가 먼저 출력된다. 이때 코어 계층 BICM 디코더에서는 항상 계층 PLP가 간섭으로 작용한다. 따라서 코어 계층 PLP는 항상 계층보다 더 높은 강건성을 지원하기 때문에 이동 방송을 목적으로 데이터 전송률이 낮은 신호를 전송할 때 사용될 수 있다. 항상 계층 PLP는 수신 신호에서 코어 계층 신호가 제거된 후 항상 계층 BICM 디코더에서 디코딩된다. 이때 코어 계층 신호가 제거되었기 때문에 코어 계층에 비해 낮은 강건성을 가지고 높은 데이터율을 가질 수 있다.

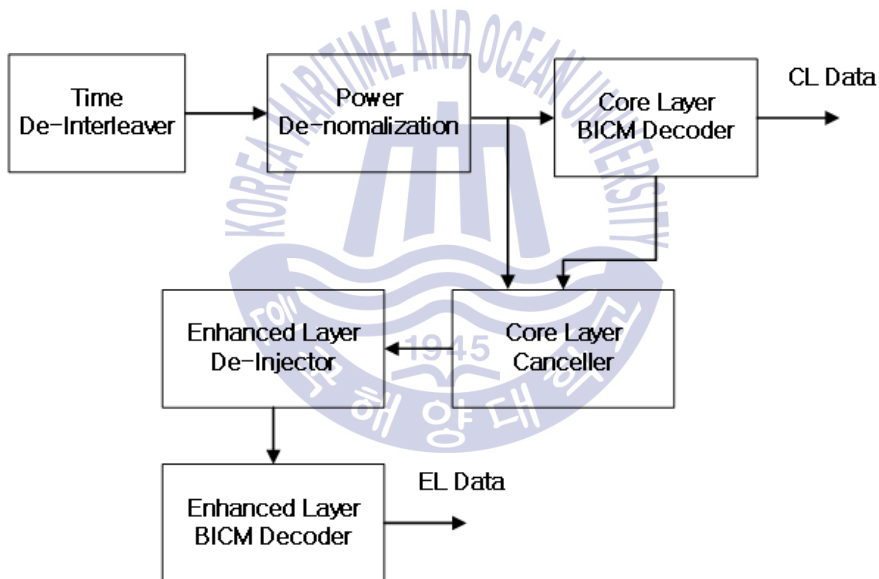


Fig. 7 Block diagram of LDM receiver

TDM 방식은 하나의 RF 대역을 시간 영역으로 분할하여 다른 서비스를 전송하는 반면에 LDM 방식은 다른 서비스들이 같은 시간을 사용하여 서비스를 전송할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 논문 [3]에서는 LDM 방식이 TDM 방식 대비 요구 SNR에서 많은 이득이 있음을 알 수 있다.

4.2 PLP 다중화

본 절에서는 다수의 PLP를 사용하는 경우 PLP 구성에 따른 다양한 셀 다중화 방법과 여러 가지 셀 다중화에 따른 데이터 셀 인덱싱 방법을 구현한다. 또한 셀 다중화 및 셀 인덱싱을 위한 주요 파라미터에 대해 설명한다.

항상 계층 PLP를 제외한 PLP는 L1D_plp_type을 통해 분산(L1D_plp_type = 1) 또는 비 분산(L1D_plp_type = 0) PLP 중에서 한 가지 타입을 갖는다. 분산 PLP의 경우 두 개 이상의 서브 슬라이스로 구성된다. 서브 슬라이스의 최고 데이터 셀 색인과 동일 PLP의 다음 서브 슬라이스의 최저 데이터 셀 색인은 연속하지 않는다. 서브 슬라이스 간격은 분산 PLP의 서브 슬라이스의 최저 데이터 셀 색인과 다음 서브 슬라이스의 최저 데이터 셀 색인과의 간격을 의미한다. 'L1D_plp_start' 시그널링 정보를 통해 PLP의 시작 위치를 알려주고 PLP의 최초 데이터 셀이 할당된 데이터 셀의 색인을 나타낸다.

다양한 셀 다중화 방법으로는 LDM을 하지 않는 경우 TDM, FDM, TFDM이 가능하다. LDM을 적용하는 경우 CL과 EL에 TDM과 FDM을 적용할 수 있기 때문에 LDM, TLDM, LTDM, LFDm, FLDM과 같이 다양한 조합이 가능하다. 다양한 셀 다중화 방법에 따른 데이터 셀 인덱싱 방법은 크게 LDM을 하는 경우와 하지 않는 경우로 나눌 수 있다.

4.2.1 LDM을 하지 않는 경우

LDM을 하는 경우에 CL의 L1D_plp_type = 0인 경우와 1인 경우에 따라서 셀 인덱싱하는 방법이 달라진다.

4.2.1.1 CL의 L1D_plp_type 가 0인 경우

L1D_plp_type = 0인 경우 시그널링 정보 L1D_plp_start를 시작으로 L1D_plp_size만큼 순차적으로 인덱싱 한다.

4.2.1.2 CL의 L1D_plp_type가 1인 경우

CL의 L1D_plp_type가 1인 경우 분산 PLP에 해당되며 아래의 Fig. 8을 예로 들어 설명한다. Fig. 8에서 PLP ID가 B인 PLP를 예로 들어 설명을 하면 셀 다중화를 위한 파라미터 정보는 Table 7과 같이 구성되어 있다. S_subslice는 동일한 PLP에 대해서 현재 서브 슬라이스의 시작으로 부터 다음 서브 슬라이스의 시작까지 동일한 PLP의 데이터 셀 개수를 의미한다. S_subslice는 시그널링 정보인 L1D_plp_num_subsllices와 L1D_plp_size를 이용해 계산한다. 셀 인덱싱은 L1D_plp_start를 시작으로 S_subslice 개수만큼 순차적으로 인덱싱하고, 그 다음 시작점을 최초 시작점에서 서브 슬라이스 간격만큼 추가하여 추가된 시작점으로부터 다시 S_subslice개수만큼 순차적으로 인덱싱한다. 이 과정을 NumSubsllices 값만큼 반복한다. L1D_plp_type = 0인 경우와 L1D_plp_type = 1인 경우를 조합하여 TFDM, FTDM의 조합도 같은 방법으로 인덱싱 한다.

Table 7 B PLP information for Cell multiplexing

plp_id	plp_type	NumSubsllices	S_Subslice	plp_start	Subslice interval
B	Dispersed	4	5	40	10

	Time →							
Frequency ↓	A00	A10	A20	A30	B00	B05	B10	B15
	A01	A11	A21	A31	B01	B06	B11	B16
	A02	A12	A22	A32	B02	B07	B12	B17
	A03	A13	A23	A33	B03	B08	B13	B18
	A04	A14	A24	A34	B04	B09	B14	B19
	A05	A15	A25	A35	C00	C05	C10	C15
	A06	A16	A26	A36	C01	C06	C11	C16
	A07	A17	A27	A37	C02	C07	C12	C17
	A08	A18	A28	A38	C03	C08	C13	C18
	A09	A19	A29	A39	C04	C09	C14	C19

Fig. 8 Example of Cell multiplexing (TFDM)

4.2.2 LDM을 하는 경우

LDM을 하는 경우에 CL의 LID_plp_type = 0인 경우와 1인 경우에 따라서 셀 인덱싱하는 방법이 달라진다.

4.2.2.1 CL의 LID_plp_type이 0인 경우

이와 같은 경우는 LDM, TLDM, LTDM을 하는 경우가 있으며, 기존 TDM에서 했던 방법과 마찬가지로 LID_plp_start부터 시작해서 LID_plp_size만큼 순차적으로 인덱싱한다.

4.2.2.2 CL의 LID_plp_type이 1인 경우

CL의 LID_plp_type = 1인 경우는 FLDM, LFDM을 하는 경우가 있다. 이 때, CL에 해당하는 PLP는 4.2.1.2절의 방법을 그대로 적용하고, EL에 해당하는 PLP는 다음과 같은 방법으로 셀 인덱싱한다. 첫 번째 EL에 대해서, 해당 EL과 같

은 시작점(L1D_plp_start)에 있는 CL을 찾아서 첫 번째 EL과 정렬되는 CL의 PLP 크기를 비교한다.

■ 첫 번째 EL과 시작점이 같은 CL의 PLP 크기가 같은 경우

이와 같은 경우는 Fig. 9에 나타나 있으며 해당 EL이 CL과 정확히 정렬되는 경우를 말한다. 첫 번째 EL과 시작점이 같은 CL의 PLP 크기가 같다면 EL이 두 개인 경우에도 두 번째 CL과 두 번째 EL은 정확히 정렬된다. Fig. 9의 경우 EL과 정렬되는 CL의 셀 인덱스는 EL의 셀 인덱스와 같다. 모든 가능한 경우는 최대 4개의 PLP까지 고려한다.

■ 첫 번째 EL과 시작점이 같은 CL의 PLP 크기가 첫 번째 EL보다 작을 때

이와 같은 경우는 Fig. 10에 나타나 있으며 하나의 EL이 2개 이상의 CL을 포함하고 있다. Case 7, case 8과 같이 하나의 EL이 2개 이상의 CL을 포함하고 있을 경우 EL의 셀 인덱스는 다수의 CL의 셀 인덱스를 순차적으로 붙인다. Case 9와 같이 주파수 영역에서는 CL과 EL이 정렬되지만 EL의 PLP 크기가 더 큰 경우 CL의 S_subslice와 Numsubslices만큼 인덱스 공간을 만든 후, EL의 PLP 크기만큼 순차적으로 인덱싱한다.

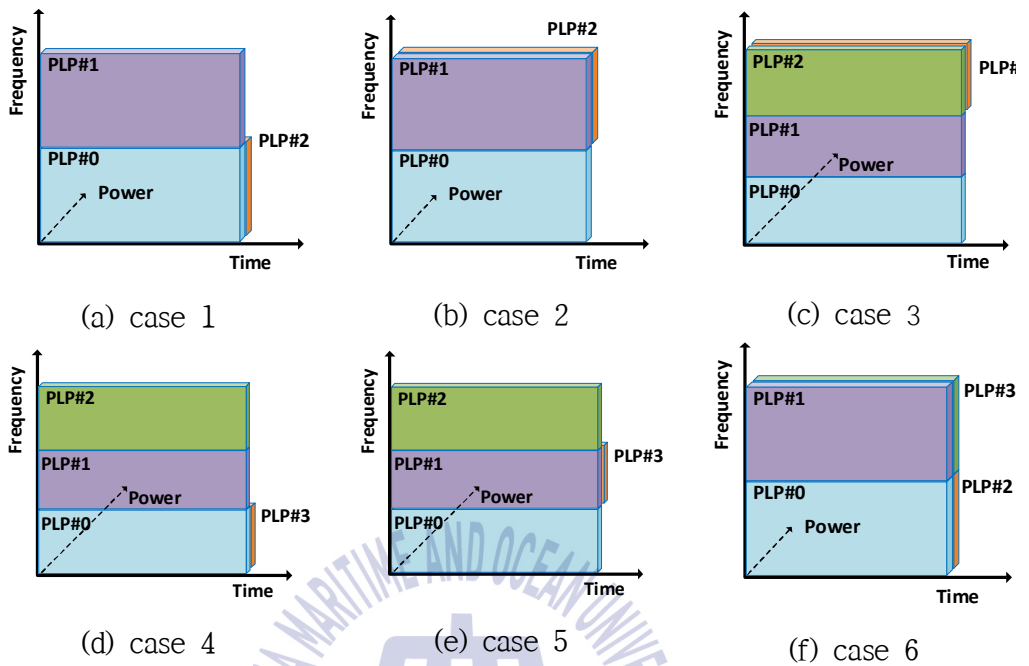


Fig. 9 Example for the case of EL size = CL size, (a) case 1 (b) case 2 (c) case 3 (d) case 4 (e) case 5 (f) case 6

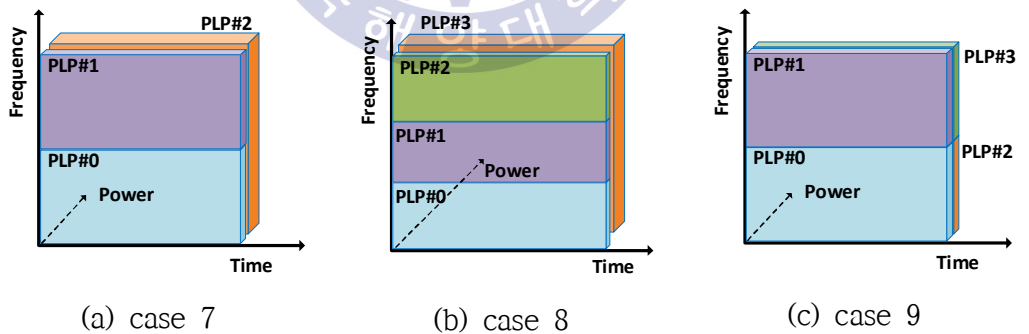


Fig. 10 Example for the case of EL size > CL size, (a) case 7 (b) case 8 (c) case 9

Fig. 11과 같이 첫 번째 EL과 시작점이 같은 CL의 PLP 크기가 첫 번째 EL보다 작은 경우 중에서 주파수가 정렬이 안 되는 경우도 고려해볼 수 있는데, 이는 EL의 S_{subslice} 를 알아야 셀 인덱싱을 할 수 있다. 하지만, EL의 경우 알 수 있는 시그널링 정보는 $L1D_plp_size$ 와 $L1D_plp_start$ 외에는 없기 때문에 S_{subslice} 를 계산할 수 없다. 따라서 Fig. 11의 경우는 고려 대상에서 제외한다.

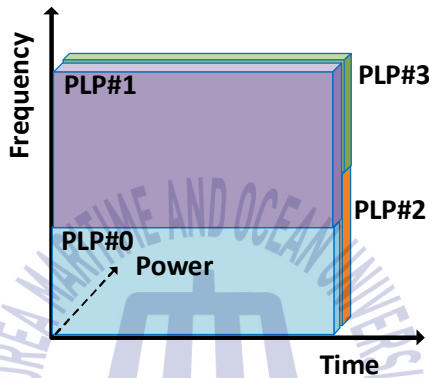


Fig. 11 Example for the unavailable case of EL size $>$ CL size

■ 첫 번째 EL과 시작점이 같은 CL의 PLP 크기가 첫 번째 EL보다 큰 경우
 첫 번째 EL과 시작점이 같은 CL의 PLP 크기가 첫 번째 EL보다 큰 경우 Fig. 12와 같이 EL과 CL의 주파수가 정렬되는 경우를 생각할 수 있다. 이와 같은 경우 CL의 S_{subslice} 와 NumSubslices만큼 인덱스 공간을 만든 후, EL의 PLP 크기만큼 셀 인덱싱한다. 이 때, 두 번째 EL은 첫 번째 CL의 남은 인덱스를 먼저 인덱싱하고, 두 번째 CL의 인덱스를 인덱싱한다. Fig. 13은 CL의 크기가 EL보다 더 큰 경우 중에서 적용되지 않는 경우를 나타낸다. Case 10, case 11, case12의 경우 EL의 S_{subslice} 를 알지 못하므로 고려 대상에서 제외한다.

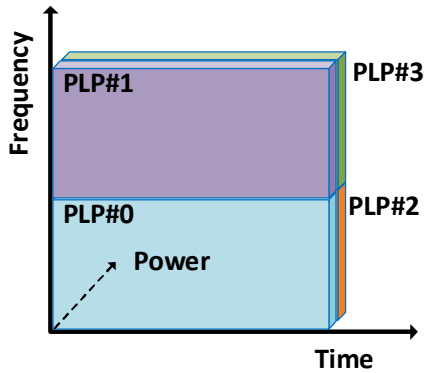


Fig. 12 Example for the case of EL size < CL size

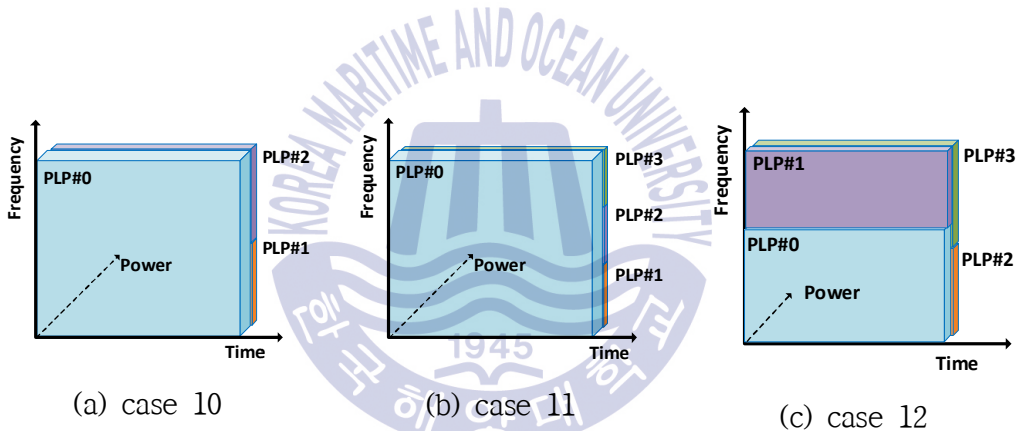


Fig. 13 Example for the unavailable case of EL size < CL size

M-PLP에서 LDM을 사용할 때 CL의 요구 CNR을 계산하기 위해서는 해당 CL의 PLP와 관련된 EL의 삽입 레벨을 알아야 한다. 아래에서는 CL의 삽입 레벨을 알기 위해 해당 EL이 어느 CL과 LDM되어 있는지 알아내기 위한 방법을 제시한다. 다양한 경우를 고려했을 때 EL의 CellIndex가 CL의 시작점을 포함하거나 CL의 CellIndex가 EL의 시작점을 포함하면 해당 CL과 EL이 LDM으로 묶여 있다고 볼 수 있다. EL의 정보에 해당 CL의 ID를 LDM_CL_ID에 저장하고 해당 ID를 가진 PLP에 EL의 삽입 레벨을 넣어준다. 위에서 설명한 방법의 동작 검

증을 위해 다양한 조합을 테스트 하였다. LDM, TLDM, LTDM, FDM, LFDM에 대하여 가능한 많은 조합들을 고려하였으며, 고려한 조합들에 대해 구현한 알고리즘이 적용됨을 확인하였다. Fig. 14는 LDM_CL_ID 생성 테스트를 위한 TLDM, LTDM 조합을 나타낸다.

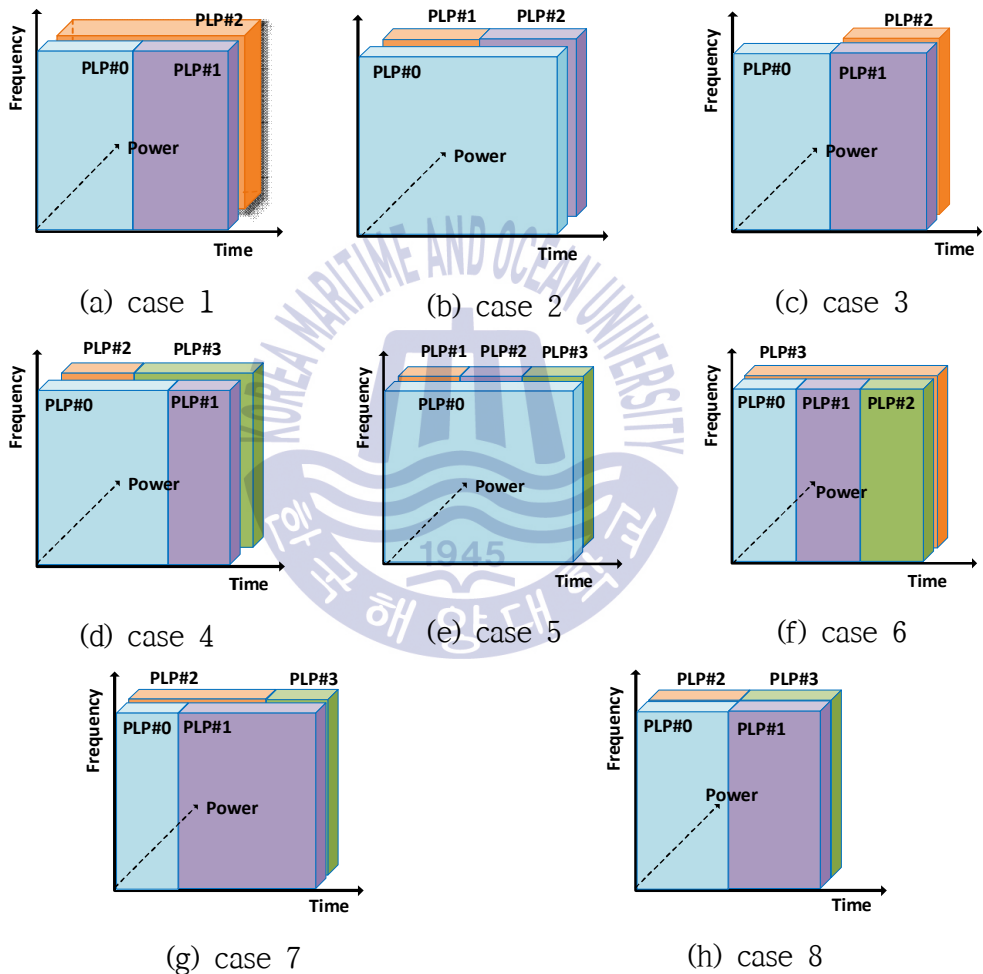


Fig. 14 Example of TLDM and LTDM combination for LDM_CL_ID generation test, (a) case 1 (b) case 2 (c) case 3 (d) case 4 (e) case 5 (f) case 6 (g) case 7 (h) case 8

TLDM과 LTDM에 대해서는 대표적으로 Fig. 14와 같은 조합을 생각해볼 수 있다. Case 1과 같이 두 개의 CL에 하나의 EL이 LDM되어 있는 경우, LDM_CL_ID는 PLP#0과 PLP#1의 ID를 모두 가지고 있다. Case 2 또는 case 5와 같이 하나의 CL에 여러 개의 EL이 존재하는 경우 EL의 삽입 레벨은 같다. 이런 경우 3개의 EL의 LDM_CL_ID는 모두 PLP#0의 ID를 가지고 있다. Case 4와 case 7처럼 CL과 EL이 정렬되지 않는 경우 EL의 삽입 레벨이 같으면 문제가 되지 않는다. Case 8과 같이 2개의 CL과 2개의 EL에 대해서 정확히 정렬되어 있으면, 두 EL의 삽입 레벨은 달라질 수 있으며, 각 EL과 정렬되어 있는 CL의 ID를 저장하고 해당 EL의 삽입 레벨을 넣어준다.

Fig. 15는 LDM_CL_ID 생성 테스트를 위한 TFDM, LFDM 조합을 나타낸다. FLDM, LFDM의 경우는 TLDM, LTDM처럼 다양한 조합을 생각해 볼 수 있다.



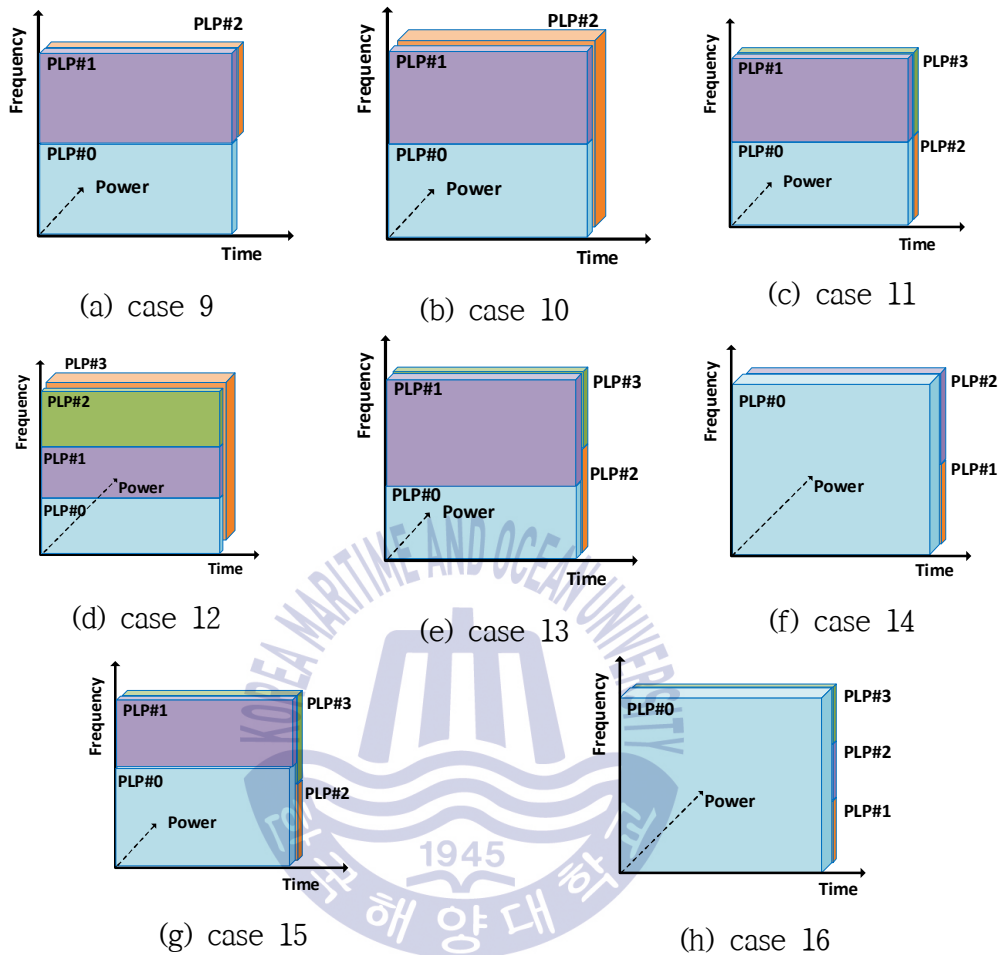


Fig. 15 Example of TFDM and LFDM combination for LDM_CL_ID generation test, (a) case 9 (b) case 10 (c) case 11 (d) case 12 (e) case 13 (f) case 14 (g) case 15 (h) case 16

제 5 장 ATSC 3.0 물리계층 GUI 시뮬레이터 구현

제 5 장에서는 개발한 ATSC 3.0 물리계층 GUI 시뮬레이터를 구현한다. 구현한 시뮬레이터에서는 제 3 장에서 설명한 ATSC 3.0 파라미터 중에서 사용자가 설정 가능한 파라미터들이 인터페이스를 통해 입력된다. GUI 시뮬레이터를 통해 입력한 파라미터대로 시뮬레이션하면 시뮬레이터는 필요한 시그널링 정보를 계산하여 업데이트하고 계산된 정보를 토대로 사용자에게 필요한 정보를 출력한다. 그리고 실제 송수신기를 동작함으로써 사용자가 설정한 파라미터에 대한 성능 결과를 관찰할 수 있다. 먼저 개발한 ATSC 3.0 GUI 시뮬레이터의 인터페이스의 구성과 구현 방법에 대하여 기술하고, GUI 시뮬레이터의 동작 및 결과를 살펴본다.

5.1 GUI 시뮬레이터 인터페이스

본 절에서는 개발한 ATSC 3.0 GUI 시뮬레이터의 인터페이스에 대해서 설명한다. GUI 시뮬레이터 인터페이스는 크게 부트스트랩, 프리앰블, 부프레임, PLP 항목으로 구성되어 있다. 시뮬레이터는 인터페이스를 통해 설정된 파라미터들의 조합에 따라 필요한 정보들을 계산하여 디스플레이한다.

5.1.1 부트스트랩 항목

Fig. 16은 GUI 시뮬레이터의 부트스트랩 항목을 나타낸다. 해당 항목에서는 부트스트랩과 관련된 파라미터를 설정할 수 있다. 팝업으로 표시된 항목들에 대해서는 사용자가 선택하여 설정할 수 있다. 부트스트랩 항목에서 사용자가 설정할 수 있는 항목은 MajorVer, MinorVer, EAS, BW가 있다.

MajorVer은 부트스트랩의 주 버전에 대한 파라미터이고, MinorVer은 부트스트랩의 부 버전에 대한 파라미터이다. ATSC 3.0에서 부트스트랩의 부 버전은 0의 값만 존재한다. ATSC 3.0에서는 주 버전 0에 대한 경우에 대해서만 부 버전의 시그널링이 적용된다. 주 버전이 0인 경우에 부 버전은 0부터 7까지의 값을 가

질 수 있으며 부 버전에 따라 PN(pseudo random)수열 생성기의 초기 레지스터 상태가 규정된다. GUI 시뮬레이터에서는 MinorVer을 0부터 7까지 선택할 수 있지만 0의 값만 사용한다. 주 버전과 부 버전이 0인 경우, 부트스트랩 셋의 심볼 수는 초기 동기 심볼을 포함하여 4이다. EAS는 긴급 상황 여부를 나타내는 파라미터이다. EAS는 3.1.2절에서 설명했듯이 부트스트랩 심볼1의 ea_wake_up_1과 부트스트랩 심볼2의 ea_wake_up_2로 구성되어 시그널링된다. BW는 사용되는 시스템 대역폭을 나타내며 6MHz부터 8MHz까지 설정할 수 있다. BW는 부트스트랩 심볼 1의 system_bandwidth로 시그널링된다. min_time_to_next는 현재 프레임과 동일한 주/부 버전을 가지는 다음 프레임 시작까지의 최소 시간을 나타내며 프레임 길이에 따라 수식 (1)을 통해 계산된다. Frame Length는 프레임



Fig. 16 Bootstrap item of GUI Simulator

의 길이를 ms단위로 나타낸 값으로 부트스트랩과 프리앰블, 그리고 부프레임의 길이까지 모두 고려한 값이다. 프레임 길이는 프리앰블과 부프레임의 FFT 크기와 GI 길이, 그리고 심볼 개수에 따라 달라지며 부프레임의 개수가 많을수록 길어진다.

5.1.2 프리앰블 항목

Fig. 17은 GUI 시뮬레이터의 프리앰블 항목을 나타낸다. Preamble Structure는 프리앰블의 OFDM 심볼의 FFT 크기, 보호 구간의 길이, 파일럿의 간격, 그리고 L1-Basic FEC Mode에 대한 값을 나타내는 파라미터이며 조합에 따라 0부터 159의 값을 가진다. 해당 파라미터는 부트스트랩 심볼 3으로 시그널링된다. Frame length mode는 3.1.3.1절의 L1B_frame_length_mode로 시그널링되며 데이터 OFDM 심볼의 보호 구간에 추가된 초과 샘플의 배치가 현재 프레임과 시간 정렬되면(time aligned mode) 0의 값을 가지고 심볼 정렬되면 1(symbol aligned mode)의 값을 가진다. time info flag는 3.1.3.1절의 L1B_time_info_flag로 시그널링되며 2비트의 시그널링 값에 따라 ms, us, ns 단위의 시간 정보를 나타낸다.

Reduced Carriers는 프리앰블에서 FFT 크기별로 정의되어 있는 반송파의 최대 개수를 감소시키기 위한 컨트롤 유닛값이다. L1 Detail Mode는 3.1.3.2절의 L1B_L1_Detail_fec_type으로 시그널링된다. 1부터 7까지 7가지의 보호 모드가 있으며 각 모드에 대한 변조 및 부호율이 정의된다. ‘# of subframes’는 3.1.3.1절의 L1D_num_subframes로 시그널링되며 현재 프레임에서 부프레임의 개수를 의미한다. 개발된 GUI 시뮬레이터는 한 프레임에서 최대 4개의 부프레임을 지원한다.

프리앰블 항목 중 위에서 설명한 내용 이외의 파라미터는 설정한 파라미터에 따라 계산되어 해당 시뮬레이터에 디스플레이된다. A_{pp}는 프리앰블의 FFT크기, 보호 구간 길이, 파일럿 패턴에 따른 프리앰블 파일럿 크기를 나타낸다. L1B Time Offset은 3.1.3.1절의 L1B_time_offset 값이며 프레임 사이의 거리를 샘플 개수로 구한다. Frame Length mode가 1일 때만 값을 가진다. L1 Basic Cells은 L1-Basic 시그널링 정보 비트 개수를 Cell 개수로 나타낸 값이며

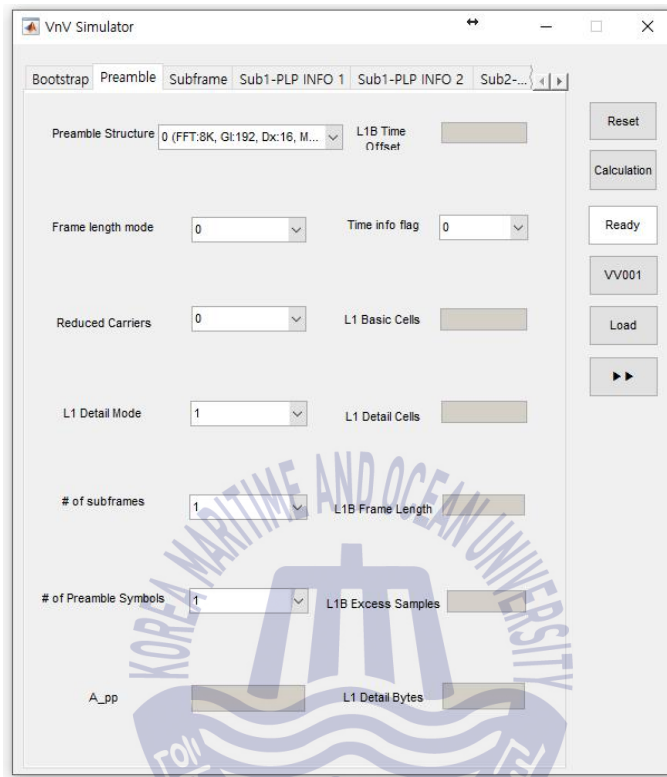


Fig. 17 Preamble item of GUI Simulator

Preamble Structure의 항목에서 L1-Basic FEC Mode의 값에 따라 결정된다. L1-Basic FEC Mode에 따른 L1 Basic Cells는 Table 8과 같다. L1 Detail Cells는 3.1.3.2절의 L1B_L1_Detail_total_cells로 시그널링되며 L1-Detail 시그널링 정보 비트의 전체 Cell 개수를 나타낸다. L1-Detail의 크기는 설정한 파라미터 값에 따라 유동적이므로 비트 수를 직접 카운트하여 시뮬레이터에 디스플레이된다. L1B frame length는 3.1.3.1절의 L1B_frame_length로 시그널링되며 프레임 길이를 5ms단위로 계산하여 나타낸다. L1B frame length는 시간 정렬 모드일 때만 계산되어 디스플레이 된다. L1B Excess Samples는 3.1.3.1절의 L1B_excess_samples_per_symbol로 시그널링되며 데이터의 OFDM 심볼당 보호

Table 8 L1 Basic Cells by L1-Basic FEC Mode

L1 Basic Cells	L1-Basic FEC Mode
3820	1
934	2
484	3
259	4
163	5
112	6
69	7

구간에 추가된 샘플의 수를 계산한 값이다. 이 값은 시간 정렬 모드 일 때만 계산되어 디스플레이된다. L1 Detail Bytes는 L1-Detail의 시그널링 비트를 카운트한 후 바이트 단위로 환산하여 나타낸 값이다. 만약 L1-Detail의 시그널링 비트가 바이트 단위의 길이가 되지 않는다면 바이트 단위의 길이가 되도록 패딩 비트의 개수를 구하여 3.1.4.1절의 L1D_reserved에 시그널링하고 L1-Detail의 시그널링 비트 수와 패딩 비트의 수를 더하여 계산한다.

5.1.3 부프레임 항목

Fig. 18은 GUI 시뮬레이터의 부프레임 항목을 나타낸다. GUI 시뮬레이터는 최대 4개의 부프레임을 지원하며 각 부프레임에 대한 파라미터를 설정할 수 있다. FFT SIZE는 부프레임의 FFT 크기를 의미하며 8K, 16K, 32K의 값을 가질 수 있다. 첫 번째 부프레임의 경우 3.1.3.3절의 L1B_first_sub_fft_size로 시그널링되고 두 번째 부프레임부터 3.1.4.3절의 L1D_fft_size로 시그널링된다. GI는 부프레임의 OFDM심볼에 사용된 보호 구간의 길이를 의미한다. 보호 구간 길이에 따라 192샘플부터 4864샘플까지 지정할 수 있다. 첫 번째 부프레임의 경우 3.1.3.3절의 L1B_first_sub_guard_interval로 시그널링되고 두 번째 부프레임부터

3.1.4.3절의 L1D_guard_interval로 시그널링된다. ‘# of Payload’ 는 해당 부프레임의 OFDM 심볼 개수를 나타내며 사용자가 직접 입력할 수 있다.

첫 번째 부프레임의 경우 3.1.3.3절의 L1B_first_sub_num_ofdm_symbols로 시그널링되며 두 번째 부프레임부터 3.1.4.3절의 L1D_num_ofdm_symobls로 시그널링된다. SP Pattern은 부프레임에 적용되는 분산 파일럿의 패턴을 설정하는 값이다. SP Pattern은 ‘SP(Dx)_(Dy)’ 로 표현되며 Dx는 주파수 방향으로의 파

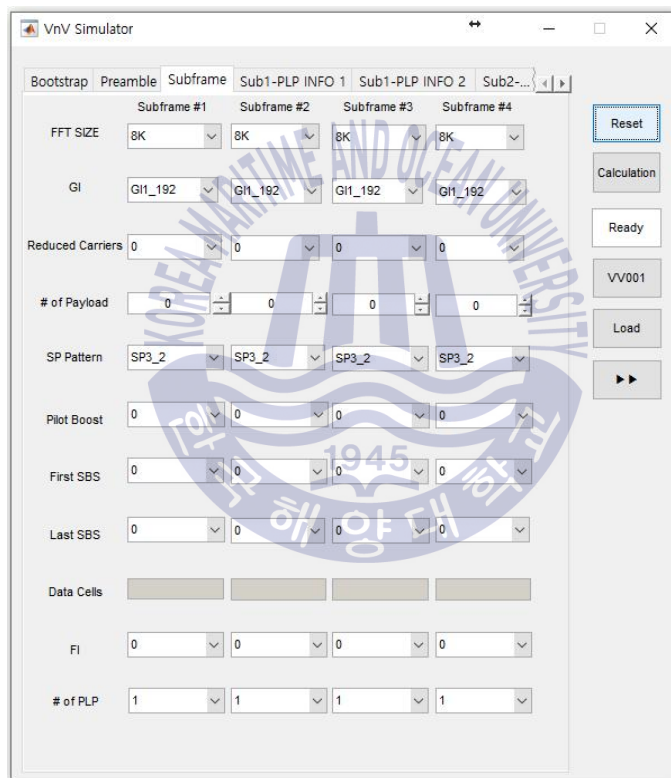


Fig. 18 Subframe item of GUI Simulator

일럿 간 거리를 의미하며, Dy는 시간 방향으로의 파일럿 간 거리를 의미한다. 첫 번째 부프레임의 경우 3.1.3.3절의 L1B_first_sub_scatterd_pilot_pattern로 시그널링되며 두 번째 부프레임부터 3.1.4.3절의 L1D_scattered_pilot_pattern로 시

그넬링된다. 분산 파일럿 패턴은 보호 구간 길이와 FFT 크기에 따라 한정된 패턴을 가진다. Pilot Boost는 해당 부프레임에 사용되는 분산 파일럿의 크기를 의미하며 0부터 4까지 설정 가능하다. Pilot Boost는 파일럿 패턴에 따라 다르게 정의된다. 시그널링 값이 큰 값을 가질수록 파일럿에 적용되는 크기가 크며, 크기가 클수록 파일럿을 잘 복조할 수 있다.

First SBS는 첫 번째 경계 심볼의 유무에 따라 0과 1의 값을 가진다. 첫 번째 부프레임의 경우 3.1.3.1절의 L1B_first_sub_sbs_first로 시그널링되고 두 번째 부프레임부터 3.1.4.3절의 L1D_sbs_first로 시그널링된다. Last SBS는 마지막 경계 심볼의 유무에 따라 0과 1의 값을 가진다. 첫 번째 부프레임의 경우 3.1.3.1절의 L1B_first_sub_sbs_last로 시그널링되고 두 번째 부프레임부터 3.1.4.3절의 L1D_sbs_last로 시그널링된다. Data Cells는 해당 부프레임의 총 데이터 셀의 개수를 계산하여 나타낸다. 총 데이터 셀의 개수는 프리앰블과 부프레임 경계 심볼을 모두 포함한 데이터 셀의 개수를 계산한 값이다. FI를 통해 해당 부프레임의 주파수 인터리빙의 유무를 설정할 수 있다. 모든 부프레임에 대하여 공통적으로 3.1.4.3절의 L1D_frequency_interleaver로 시그널링된다. ‘#of PLP’는 해당 부프레임의 PLP 개수를 나타낸다. 각 RF 채널에서 가질 수 있는 최대 PLP 개수는 64개이지만, 하나의 전송 서비스를 조합하기 위해 프레임에서 동시에 디코딩을 요구하는 PLP의 최대 개수는 4개이다. GUI시뮬레이터에서는 부프레임당 최대 4개의 PLP까지 가질 수 있다.

5.1.4 PLP 항목

Fig. 19는 GUI 시뮬레이터의 PLP 설정 항목 중 첫 번째 항목에 해당하는 PLP INFO 1을 나타낸다. PLP에 관련된 파라미터를 설정하면 설정된 값은 3.1.4.4절의 항목으로 시그널링된다. PLP ID는 PLP를 식별하기 위한 고유 ID를 의미하며 0부터 63까지의 값을 가질 수 있다. PLP Layer는 해당 PLP의 계층 레벨을 설정하는 값이며 LDM을 할 경우 0은 코어 계층, 1은 향상 계층에 속한다. LDM을 하지 않는 PLP의 경우 기본 값은 0이다. TI_mode는 해당 PLP의 시간 인터리버 모드를 설정하는 항목이다. ‘None’ 이면 TI를 하지 않는 경우에

해당되고, ‘CTI’ 이면 CTI mode, ‘HTI’ 이면 HTI mode로 설정된다. Codeword 항목과 Outer Code 항목의 조합으로 해당 PLP의 에러 정정 방식이 결정된다. Codeword는 내부 부호인 LDPC의 부호어 길이이며 16K(16200), 64K(64800)를 설정할 수 있다. Outer Code는 외부 부호의 종류이며 None, BCH, CRC를 설정할 수 있다. None이면 외부 부호를 사용하지 않은 경우이고, BCH는 오류 검출뿐만 아니라 오류 정정까지 제공한다. CRC는 오류 검출 기능만을 제공한다.

외부 부호와 내부 부호 조합에 따른 방식은 Table 6에 설명되어 있다. Code Rate은 부호율에 대한 설정값으로 2/15부터 13/15까지 값을 가진다. Modulation은 해당 PLP의 변조 방식을 나타낸다. CTI Depth는 컨볼루션 인터리버 행의 개수를 설정하는 값이며 CTI mode를 사용할 경우에만 값을 가진다. HTI mode에서 Cell Intlv.는 셀 인터리버의 사용 여부를 설정하는 값이다. CDL은 HTI mode에서 부프레임간 인터리버의 사용 여부를 설정하는 값이다. Ext. Intlv.는 확장 인터리버의 사용 여부를 설정하는 값이며 LDM이 적용되지 않는 조건에서 QPSK 변조에 대해서만 적용된다. PLP SIZE는 해당 PLP의 Cell 개수를 설정해주는 값이다. 하나의 PLP만 사용할 경우 PLP SIZE가 부프레임 항목의 Data Cells의 값과 같지만 여러 PLP를 사용하여 다중화를 적용할 경우 PLP SIZE가 Data Cells의 값보다 작을 수 있다. Injection Level은 해당 PLP가 LDM되고 항상 계층에 해당될 때 항상 계층의 코어 계층 신호 대비 삽입 레벨을 설정하는 파라미터이다. LDM이 되지 않거나 LDM이 되더라도 코어 계층에 해당되는 PLP의 경우 ‘N/A’의 값을 가진다. TI Blocks은 HTI mode에서 인터리빙 프레임당 TI 블록의 개수를 의미한다. FEC Blocks Max는 HTI mode에서 인터리빙 프레임당 FEC 블록의 최대 개수를 의미한다. FEC Blocks는 HTI mode에서 인터리빙 프레임에 포함된 FEC 블록의 개수를 의미한다. PLP Type은 해당 PLP의 다중화 타입을 의미하며 PLP가 서브슬라이싱될 때, 즉 FDM이 적용될 때 1의 값을 가진다. FDM이 적용되는 PLP가 아니면 0의 값을 가진다.

Fig. 20은 GUI 시뮬레이터의 PLP 설정 항목 중 두 번째 항목에 해당하는 PLP INFO 2를 나타낸다. FecFrameStart는 CTI mode에서 동작할 때 수신부에서

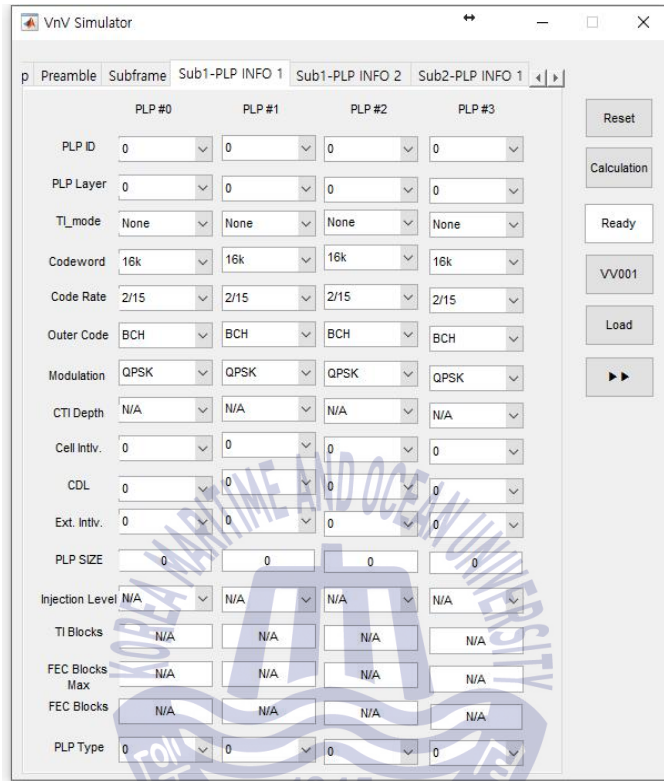


Fig. 19 PLP INFO 1 item of GUI Simulator

온전한 첫 번째 FEC 블록을 얻기 위한 셀 카운터 정보이며 첫 번째 셀이 CTI 통과 후 현재 또는 다음 부프레임 내에 존재하는 위치를 표시한다. CTI_StartRow는 CTI mode에서 동작 할 때 부프레임의 시작에서 시작 스위치의 위치를 나타낸다. PLP Start는 현재 PLP의 셀 위치를 입력해주는 파라미터이며 셀 다중화를 하지 않는다면 해당 값은 0이다. ‘Num. Subslices’는 해당 PLP의 PLP Type이 1일 때 서브슬라이싱 개수를 의미한다. ‘Subslice interval’에는 해당 PLP의 PLP Type이 1일 때 서브슬라이스의 간격을 의미한다. 자세한 내용은 4.2절 PLP 다중화를 참조하라.

Data Rate은 파라미터 설정 값에 따라 데이터 전송률을 계산한 값을 나타낸

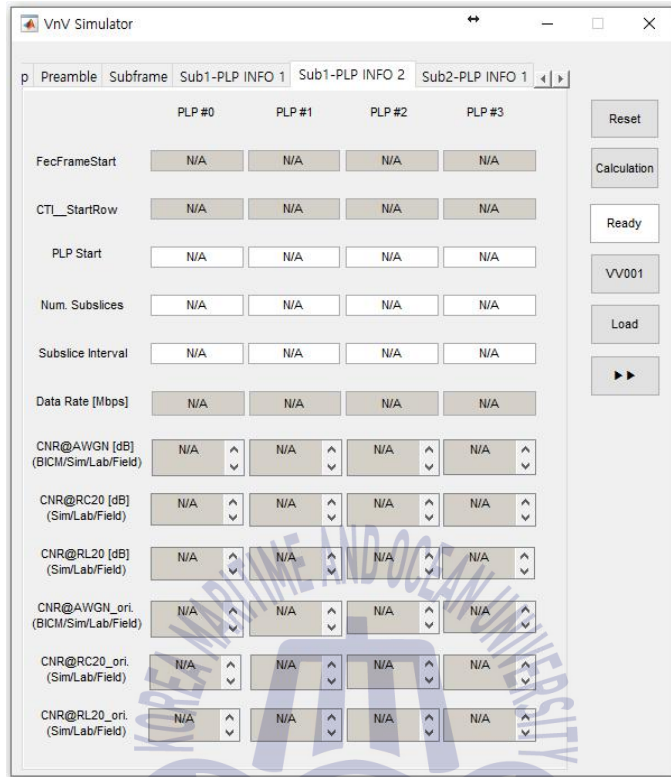


Fig. 20 PLP INFO 2 item of GUI Simulator

다. Data Rate은 수식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{PLP\ size \times Modbit \times Code\ rate \times \frac{kbch}{Nbch}}{Frame\ length} \quad (2)$$

PLP 크기와 변조 비트 수를 곱하여 총 데이터 비트 수를 구한 후, 부호율을 곱하여 실제 데이터를 구한다. 또한 외부 부호를 사용하는 경우 BCH는 codeword 길이에 따라 192 또는 168비트, CRC는 32비트가 적용되기 때문에 이를 고려하여 비트 수가 계산된다. $kbch$ 는 사용된 패리티 비트를 나타내고 $Nbch$ 는 codeword 길이를 나타낸다. 이렇게 구한 데이터 비트 수를 프레임 길이로 나누어 최종적으로 데이터율을 계산한다. CNR은 다양한 채널에서의 요구 CNR이 디스플레이된다. CNR은 CNR과 CNR_ori로 구성되고 각 CNR 항목은 채널

환경에 따라 CNR@AWGN, CNR@RC20, CNR@RL20으로 구성된다. 각 채널에서 CNR은 BICM결과, 시뮬레이션 결과, 필드 테스트 결과로 분류된다. scattered pilot pattern과 scattered pilot_boost에 따른 파일럿 크기와 LDM이 적용될 경우 삽입 레벨의 크기에 따라서 요구 CNR의 값이 달라진다. 파일럿 크기가 커질수록 데이터의 신호 크기는 줄어들기 때문에 요구 CNR은 증가하게 된다. LDM을 하는 경우 삽입 레벨이 증가할수록 코어 계층에 해당되는 PLP는 항상 계층의 영향을 적게 받기 때문에 요구 CNR은 줄어들게 된다. 반대로 항상 계층에 해당되는 PLP는 삽입 레벨이 증가할수록 신호의 세기가 감소하므로 요구 CNR은 증가하게 된다. CNR_ori는 파일럿 크기와 삽입 레벨을 고려하지 않았을 경우의 CNR의 값을 나타내고 CNR은 파일럿 크기와 삽입 레벨을 모두 고려했을 때의 CNR을 나타낸다.

5.2 GUI 시뮬레이터의 동작 결과

본 절에서는 GUI 시뮬레이터의 동작과 다양한 파라미터 모드 별 시뮬레이션 동작 결과를 살펴본다. GUI 시뮬레이터를 통해 시뮬레이션을 송수신 동작 결과를 알아보기 위해서는 Fig. 21과 같이 확장 인터페이스를 이용하여 추가적인 파라미터를 설정한다. 확장 인터페이스는 모두 3개의 탭으로 구성된다. ‘Simulation Parameters’는 시뮬레이션하기 위한 파라미터 설정 항목이다.

‘Constellation’을 통해 송수신 시뮬레이션을 할 때 송신 신호와 수신 신호의 정상도를 실시간으로 확인할 수 있다. ‘frequency response’를 통해 수신 신호의 주파수 응답을 실시간으로 확인할 수 있다. GUI 시뮬레이터를 동작시키기 위한 시뮬레이션 파라미터들은 Table 9와 같다. ch_model은 채널 모델 종류로써 AWGN, RL20, RC20, TU6 채널을 선택할 수 있다. chEstscheme은 채널 추정에 사용되는 기법 종류를 설정하는 항목이며 완벽한 채널 추정인 ‘Perfect’, Linear Interpolation 방법을 사용하는 ‘Linear’ 그리고 DFT(discrete Fourier transform)기반 채널 추정 방법인 ‘DFT’가 있다. Packet Type은 IPv4, Compressed, Signaling, MPEG2-TS 중에서 선택할 수 있다. SIM_OPT은 ALP(ATSC 3.0 link layer protocol) Packet 과 random중에서 선택하

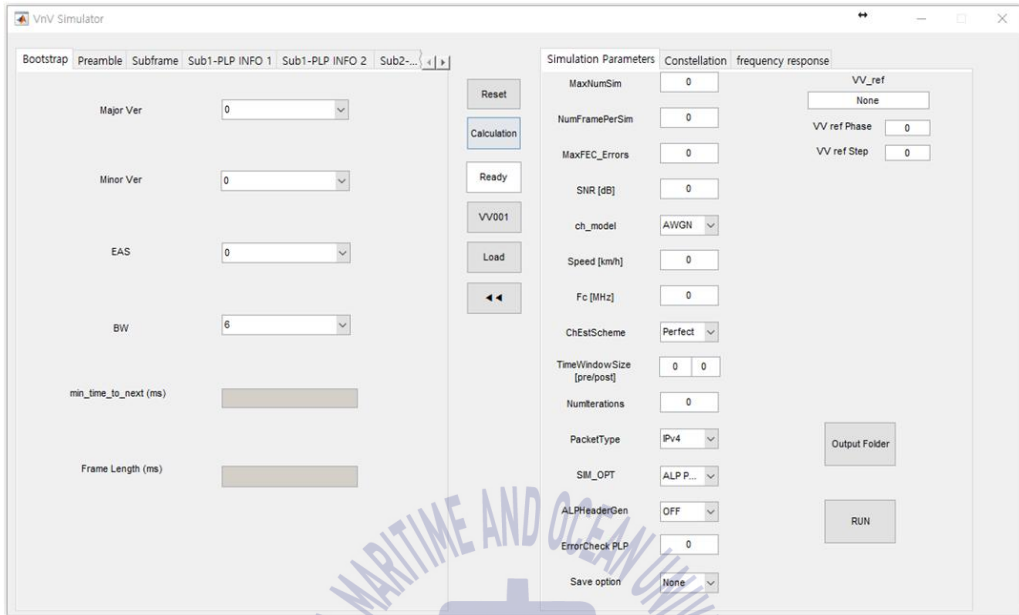


Fig. 21 Extended interface of GUI Simulator

Table 9 Simulation Parameters

Simulation Parameters	Description
MaxNumSim	시뮬레이션 최대 횟수
NumFramePerSim	시뮬레이션당 전송하는 프레임의 개수
MaxFEC_Errors	최대 FEC 에러 개수
SNR [dB]	6.912MHz 대역폭에서의 SNR
ch_model	채널 모델 종류
speed [km/h]	수신 단말의 이동속도
Fc [MHz]	반송파 주파수
chEstscheme	채널 추정 방법

TimeWindowSize [pre/post]	DFT기반 Interpolation에서 Time Window의 크기
NumIterations	LDPC 디코더의 반복 횟수
PacketType	패킷의 유형
SIM_OPT	기저대역 프레임 생성 옵션
ALPHeaderGen	ALP 패킷 헤더 생성 옵션
ErrorCheck PLP	최대 FEC 에러 개수를 비교할 PLP
Save option	결과 저장 유무 옵션

여 정해진 데이터를 생성하거나 임의의 데이터를 생성할 수 있다. Save option 은 시뮬레이션 결과를 저장할 수 있는 옵션이다.

5.2.1 S-PLP 시뮬레이션 결과

본 절에서는 단일 PLP를 사용했을 경우의 시뮬레이션 결과를 기술한다. 시뮬레이션에 사용된 주요 파라미터는 Table 10과 같다. 단일 PLP를 사용한 시뮬레이션 결과로는 AWGN 채널에서 SNR에 따른 수신기의 정상도를 살펴보고 완벽한 채널 추정을 할 경우 채널에 따른 수신기의 채널 응답을 살펴본다. 또한 동일한 SNR에서 채널 추정 기법에 따른 수신기의 채널 응답을 살펴보고 TU6 채널에서 수신기의 이동속도에 따른 채널 응답을 살펴본다. 개발한 시뮬레이터가 다양한 기술을 잘 지원하는지 검증하기 위하여 LDM과 MISO를 적용했을 때의 시뮬레이션 결과 또한 살펴본다. 송수신 시뮬레이션을 수행하기 전 ‘Calculation’ 을 통해 해당 PLP의 Data Rate과 각 채널에서의 요구 CNR[dB] 을 알 수 있다. Fig. 22는 GUI 시뮬레이터 항목 중 Data Rate과 요구 CNR 결과를 나타내는 동작 결과 모습이다. Table 10의 파라미터로 시뮬레이션을 할 경우 13Mbps 정도의 Data rate과 8.51dB@AWGN, 9.1dB@RC20, 11.4dB@RL20(시뮬레이션 결과)정도의 CNR값을 알 수 있다. 송수신기 시뮬레이션을 위해 설정한 파라미터는 Table 11과 같다. 동작 검증을 위하여 채널 별 frequency response

Table 10 ATSC 3.0 Parameters for S-PLP Simulation

Preamble parameters	FFT size	16k
	Guard interval	GI4_768
	Pilot Pattern	SP_Dx = 8
	Signaling protection	L1 basic/Detail mode 1
	# of preamble symbols	2
Payload OFDM parameters	FFT size	16k
	Guard interval	GI4_768
	Pilot pattern	SP16_4
	pilot boosting	1.82
	# of payload symbols	36
	Time interleaver	CTI (Depth:1024)
	Frequency interleaver	on
Payload BICM parameters	Inner Code	10/15-LDPC (64800)
	Outer Code	BCH
	Constellation	16QAM

를 살펴보고 요구 CNR에서 동작을 잘 하는지 확인하기 위해 AWGN, RL20, RC20, TU6 channel에서의 시뮬레이션 결과를 확인한다. 또한 특정 채널(RL20)에서 채널 추정 기법을 다르게 하여 frequency response를 살펴본다.

송수신 시뮬레이션을 한 결과 송수신기에서의 정상도는 Fig. 23, Fig. 24와 같이 나타난다. Fig. 23은 송신기의 정상도이며 12/15의 부호율을 가지는 16QAM의 NUC임을 알 수 있다. 또한 Fig. 24는 수신기의 AWGN 채널에서 SNR에 따른 정상도이며 송신기의 정상에서 잡음이 더해져 수신됨을 확인할 수 있다. 해당 파라미터에서의 요구 SNR은 약 10dB정도이며 Fig. 24(a)와 같이 SNR이 10dB일 때 잡음의 영향으로 인해 원래 신호의 정상도를 살펴보기 힘들지만 예러 없이 데이터를 잘 복조하는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다. 또한 수신 SNR이 높을수록 잡음의 영향이 적어지는 것을 확인할 수 있고, 30dB정도에서는 송수신 정상도의 형태를 보아 잡음의 영향을 크게 받지 않는 것을 알 수

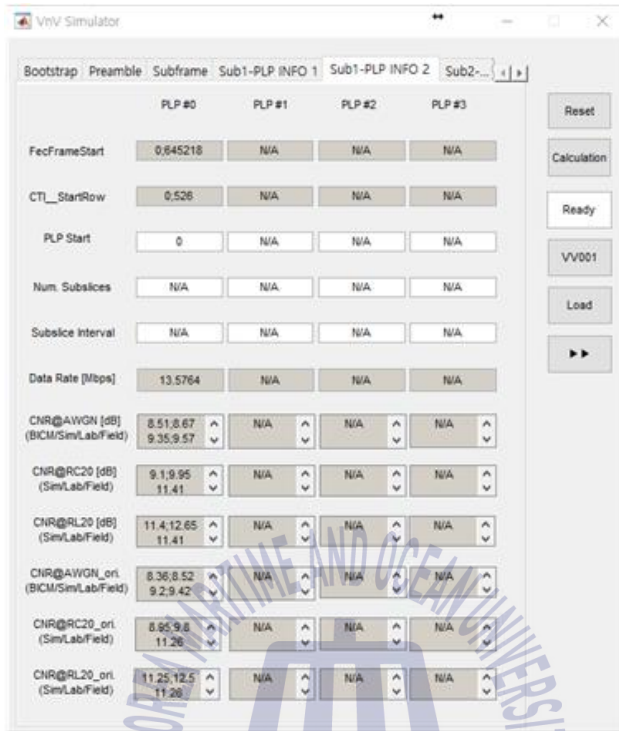


Fig. 22 Sub1-PLP INFO2 of S-PLP Calculation

있다.

Frequency response 항목을 통해 수신기에서의 채널 이득을 확인할 수 있다. 채널별 frequency response의 결과는 Fig. 25와 같다. 모든 채널에서 완벽한 채널 추정 기법을 사용하였다.

Table 11 Simulation Parameters of S-PLP

Simulation Parameters	Value
MaxNumSim	1
NumFramePerSim	3
MaxFEC_Errors	100
SNR [dB]	10, 15, 20, 30
ch_model	AWGN
speed [km/h]	-
Fc [MHz]	892
chEstscheme	Perfect / Linear / DFT
TimeWindowSize [pre/post]	100 / 100
NumIterations	50
PacketType	IPv4
SIM_OPT	random
ALPHeaderGen	ON
ErrorCheck PLP	1
Save option	None

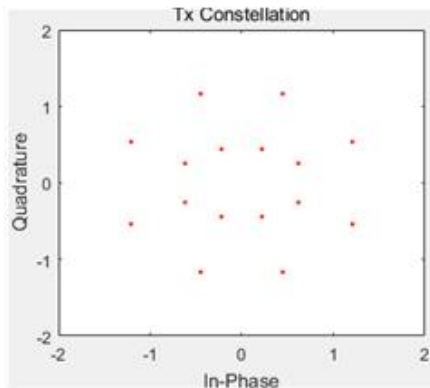
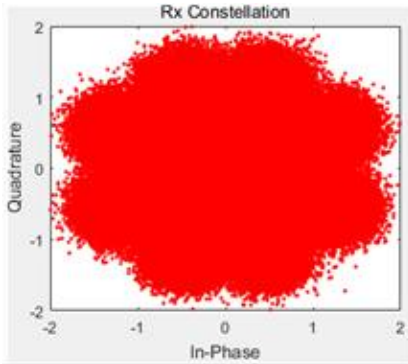
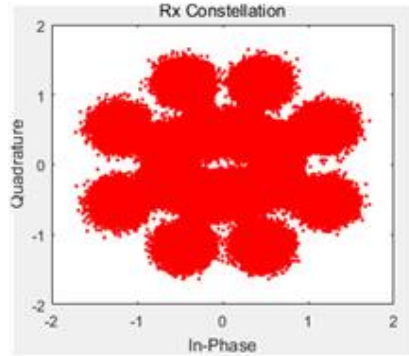


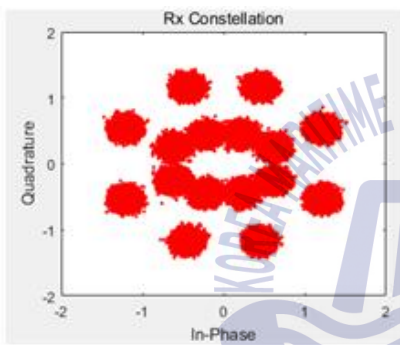
Fig. 23 Tx constellation of S-PLP



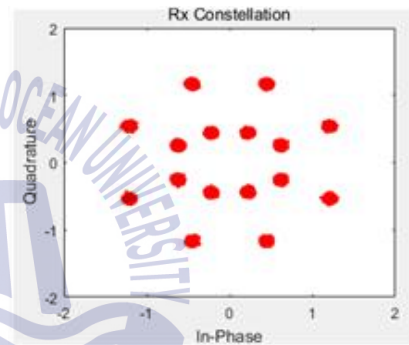
(a) 10dB



(b) 15dB



(c) 20dB



(d) 30dB

Fig. 24 Rx Constellation of S-PLP Simulation in AWGN channel (a) 10dB (b) 15dB (c) 20dB (d) 30dB

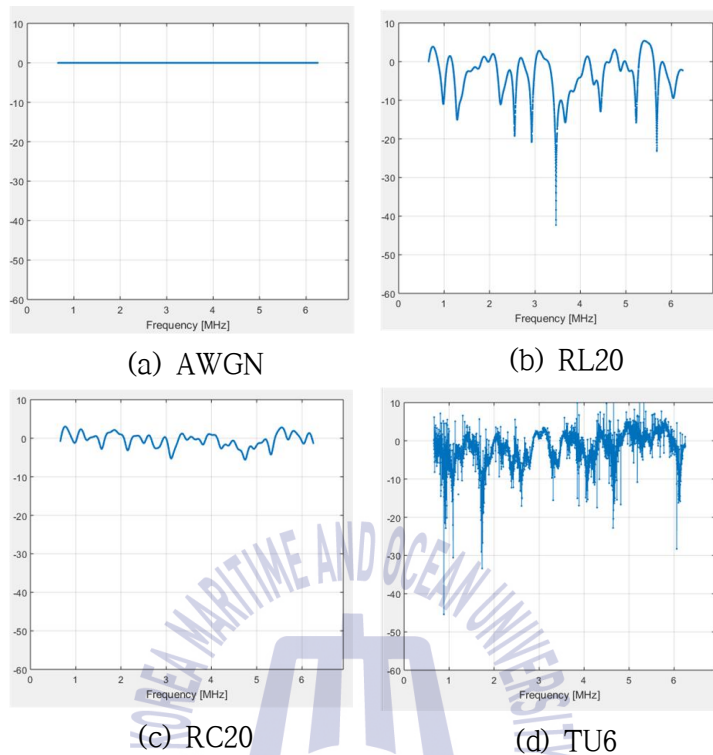


Fig. 25 Frequency response of S-PLP Simulation (a) AWGN (b) RL20 (c) RC20 (d) TU6(120km/h)

채널 추정 기법에 따른 결과를 관찰하기 위해서 특정 채널에서의 frequency response를 확인하였다. Fig. 26은 RL20 채널에서의 frequency response를 나타낸다. Fig. 27은 TU6 채널에서 수신기의 이동속도에 따른 frequency response 결과를 나타낸다. 수신기의 이동속도가 높을수록 도플러 천이가 높아지게 되고 그에 따라서 상관시간(coherence time)이 줄어들게 되어 채널이 매우 빨리 바뀌게 됨을 알 수 있다.

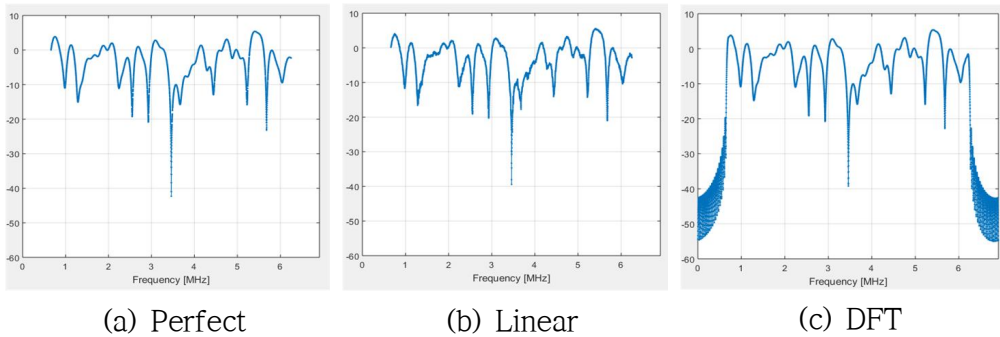


Fig. 26 Frequency response of S-PLP Simulation by channel estimation scheme

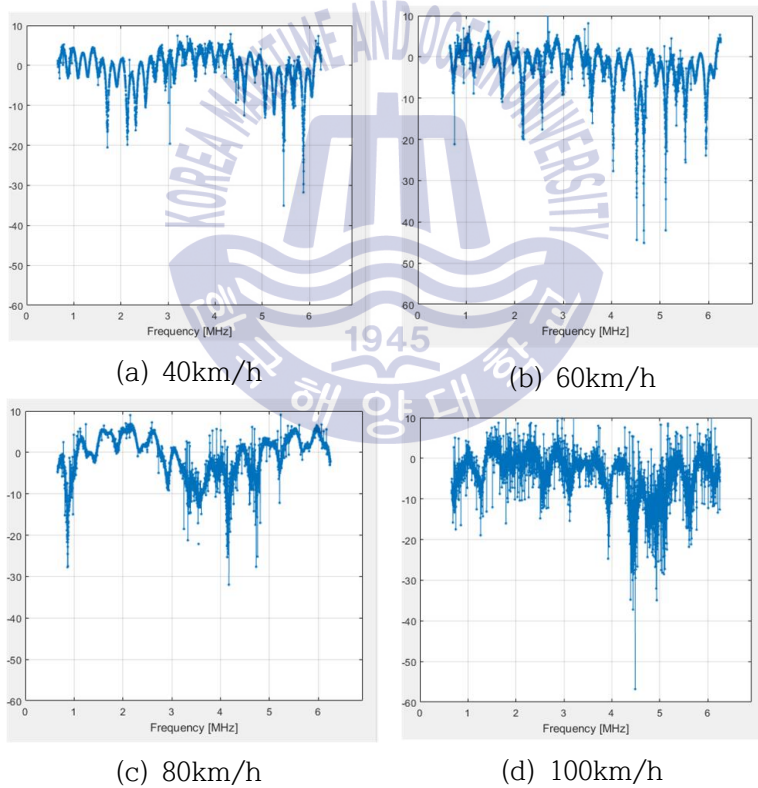


Fig. 27 Frequency response of S-PLP Simulation in TU6 channel according to the speed of the receiver, (a) 40km/h (b) 60km/h (c) 80km/h (d) 100km/h

5.2.2 LDM 시뮬레이션 결과

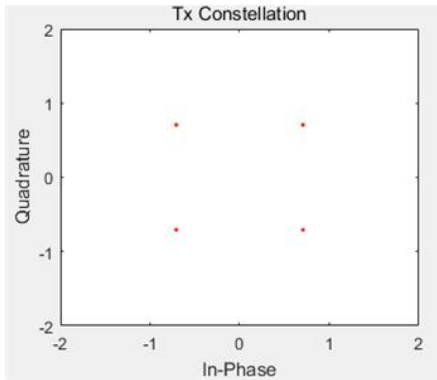
본 절에서는 GUI 시뮬레이터를 이용하여 LDM 시뮬레이션 했을 때의 결과를 알아본다. Table 12는 GUI 시뮬레이터에서 LDM 시뮬레이션하기 위한 코어 계층과 향상 계층의 주요 파라미터를 나타낸다. 내부 부호는 코어 계층과 향상 계층 모두 BCH를 사용하였으며 코어 계층 PLP는 2/15 부호율을 가지는 QPSK 신호이고 향상 계층 PLP는 9/15 부호율을 가지는 16QAM 신호이다. 향상 계층은 -1dB만큼 삽입 레벨이 적용되어 코어 계층과 합쳐진다. 설정한 파라미터에 따른 송수신 정상도는 Fig. 28과 같다. Fig. 28(a)와 Fig. 28(b)에서 각 송신기 PLP의 정상도를 확인할 수 있고, Fig. 28(c)와 Fig. 28(d)에서 수신기 PLP의 성

Table 12 LDM parameters for GUI Simulation

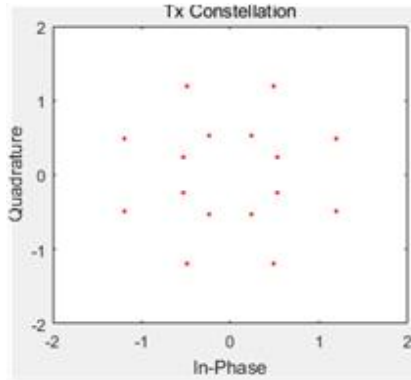
Core Layer	Inner code	BCH
	Outer code	2/15 - LDPC(64800)
	Constellation	QPSK
Enhanced layer	Inner code	BCH
	Outer code	9/15 - LDPC(64800)
	Constellation	16QAM
Injection level		-1dB

상도를 확인할 수 있다. Fig. 28(c)는 수신기에서 최초로 수신된 신호를 나타낸다. 최초로 수신된 신호는 코어 계층과 향상 계층이 합쳐진 신호로 나타남을 알 수 있다. 코어 계층을 추출하기 위해서 합쳐진 신호의 성상을 QPSK 신호의 관점에서 복조한다. 향상 계층의 신호는 잡음으로 간주하여 코어 계층을 추출한다. 그리고, 향상 계층을 추출할 경우에는 코어 계층 신호가 제거된 후에 동작하여 16QAM 신호만 남게 된다.

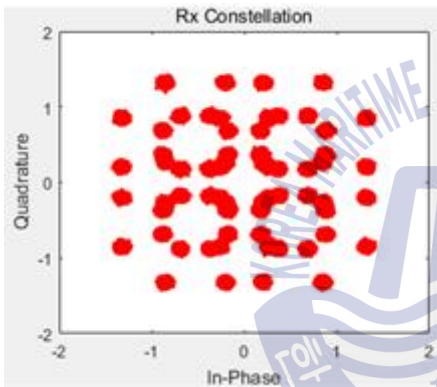
코어 계층 신호가 제거된 후의 수신 신호는 Fig. 28 (d)와 같다. 채널은 AWGN을 사용하였고 완벽한 채널 추정 방법을 사용하였다.



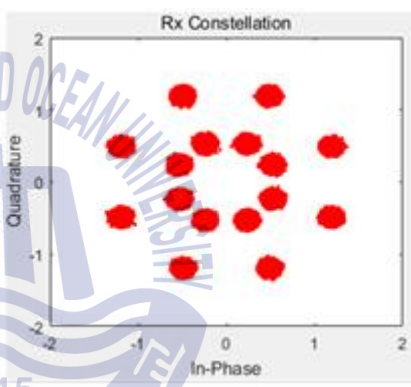
(a) Core layer of Tx



(b) Enhanced layer of Tx



(c) Original received signal of Rx



(d) Received signal after removing core layer

Fig. 28 Constellation of LDM Simulation

제 6 장 MISO 시스템 성능 분석

제 6 장에서는 ATSC 3.0에서 MISO가 적용될 경우 송신기와 수신기의 시스템 구조를 알아보고 MISO 기술에 사용되는 TDCFS에 대해서 설명한다. 또한 TDCFS가 적용된 MISO 시스템을 구현하고 MISO가 적용되었을 경우 수신기에서 시스템 성능을 분석하고 고찰한다.

6.1 MISO 시스템 송수신기 구조

본 절에서는 ATSC 3.0 물리계층 시스템에서 MISO 기술이 적용될 때 시스템 송수신기의 구조에 대해서 설명한다. MISO는 ATSC 3.0 전체 송신 시스템에서 파형생성부의 파일럿 삽입 블록 이후에 선택적으로 적용된다. Fig. 29는 MISO가 적용된 송수신 시스템의 주요 블록 구성도를 나타낸다. MISO가 적용될 때 송신기의 개수는 최대 4개까지 적용 가능하다. 프레임링/인터리빙 부를 거친 신호는 IFFT를 거치기 전 송신기에 따라 다른 필터계수가 적용된 TDCFS를 거쳐 위상 정보가 왜곡된다. 즉 심볼 변조를 지난 신호 $S[k]$ 는 송신기 개수에 따라 설계된 필터 벡터 $\{C_1[k], C_2[k], \dots, C_M[k]\}$ 와 곱해져 고유한 왜곡 신호

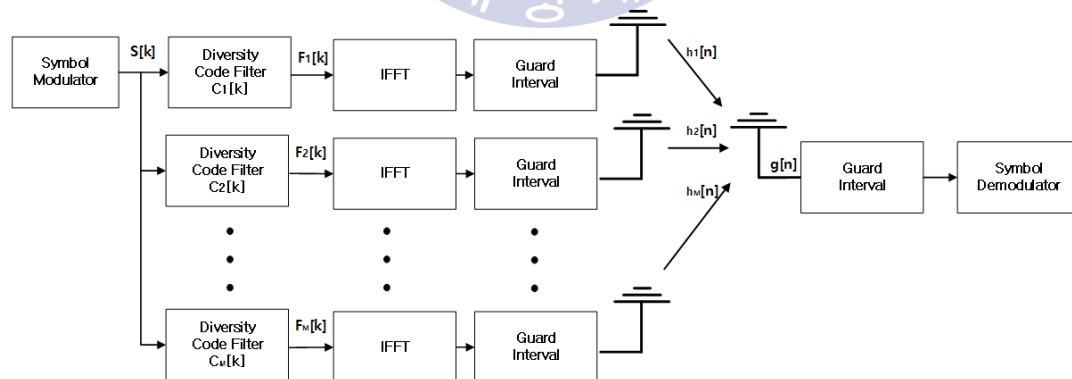


Fig. 29 Block diagram of MISO system in ATSC 3.0

$F_1[k], F_2[k], \dots, F_M[k]$ 를 생성한다.

왜곡된 신호는 각각 IFFT를 거치고 보호 구간이 삽입되어 전송된다. 전송된 신호는 각각의 채널을 거쳐 수신기로 전송된다. 시간 영역에서의 채널 임펄스 응답을 나타내면 $h_1[n], h_2[n], \dots, h_M[n]$ 과 같이 표현할 수 있다. 수신기에서는 각 송신기의 신호들이 중첩된 신호에 잡음 신호($w[n]$)가 더해져 수신된다. 수신된 신호는 $g[n]$ 과 같이 표기한다. 이렇게 수신된 신호를 주파수 영역에서 표현하면 수식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$G[k] = \left(\sum_{i=1}^M H_i[k] C_i[k] \right) S[k] + W[k] \quad (3)$$

6.2 TDCFS

본 절에서는 ATSC 3.0에서 MISO 기술이 적용 되었을 때 사용되는 TDCFS에 대해서 설명하고 TDCFS필터 계수의 위상을 관찰한다. ATSC 3.0에서 단일 주파수 네트워크 환경에서의 성능 향상을 위해 MISO 기술을 적용할 수 있다. 여러 개의 송신기를 사용할 경우 서로 다른 위상을 가지는 송신 신호들이 상쇄간섭을 일으켜 수신기에서 신호를 제대로 복조할 수 없게 된다. MISO 기술은 이를 최소화하기 위해 TDCFS를 사용한다[17]. TDCFS는 SFN 환경 내 다수 개의 송신기에서 인위적으로 신호의 위상정보를 왜곡(pre-distortion)시킨 후 전송하는 안테나 기술이다. MISO가 적용 가능한 송신기의 개수는 최소 2개부터 최대 4개이며, TDCFS는 부트스트랩과 프리앰블에는 적용되지 않고 부프레임의 OFDM 심볼에만 적용된다. 각 송신기에 적용되는 TDCFS 필터 계수는 수식 (4)와 같이 규격에 정의되어 있는 시간영역 임펄스 응답 벡터 $h_x[n]$ 에 의해 계산된다. 시간영역 임펄스 응답 벡터는 송신기의 개수에 따라 규격에 정의되어 있다.

$$\Phi_x[k] = \exp[i \arg \left(\sum_{n=0}^{N_{MISO}-1} h_x[n] e^{\frac{-2\pi kn}{k_{FFT}^m}} \right)], k \in 0, \dots, N_C - 1, x \in 1, \dots, N_{TX} \quad (4)$$

TDCFS는 주파수 영역에서 (5)와 같이 적용된다.

$$c_{x,m,l,k} = \Phi_x[k]c_{m,l,k} \quad (5)$$

수식에서 정의된 파라미터는 다음과 같다.

- k : 부반송파 인덱스
- l : 부프레임에서 1번째 OFDM 심볼
- m : m 번째 부프레임
- x : 송신기 인덱스, $x \in 1, \dots, N_{TX}$
- $c_{m,l,k}$: m 번째 부프레임, 1번째 심볼, k 번째 부반송파에 대한 복소 변조 값
- $c_{x,m,l,k}$: x 번째 송신기, m 번째 부프레임, 1번째 심볼, k 번째 부반송파에 대한 MISO 복소 변조 값

Fig. 30은 256길이를 가지는 필터 계수에서 2개의 송신기를 사용할 때 사용되는 임펄스 응답 벡터의 자기상관 값과 상호상관 값을 나타낸다. Fig. 30의 (a)와 (b)에서 임펄스 응답벡터 자기상관 값의 크기를 보면 0 샘플 지연의 위치에서 피크가 발견되는 것을 알 수 있다. Fig. 30 (c)에서는 모든 샘플 구간에서 상호상관 값의 크기가 0.1 보다 작은 것을 알 수 있어 1보다 매우 작은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 두 개의 송신기를 사용할 경우 각 송신 신호에 대하여 TDCFS를 적용하였을 때 상쇄간섭이 발생하는 상황이 발생하더라도 상호상관 값이 매우 작기 때문에 상쇄간섭의 영향을 최소화 할 수 있는 것을 알 수 있다.

MISO의 성능 증대를 위해서는 위상 정보를 왜곡하는 필터를 잘 설계하는 것이 중요하다. [18]에서는 TDCFS를 설계함에 있어서 Gradient Descent Cyclic 알

고리즘을 이용하여 필터를 설계하였다.

Fig. 31은 TDCFS 필터 계수에 사용되는 pre-distortion 함수의 위상을 나타낸다. 각 안테나 개수에 따른 위상 결과는 데이터 OFDM 심볼의 FFT 크기가 8K 일 때의 결과이며, MISO의 필터길이가 64일 때의 시뮬레이션 결과이다. Fig. 31은 동일한 필터 길이와 FFT 크기에 대해서 송신기의 개수에 따른 위상 신호를

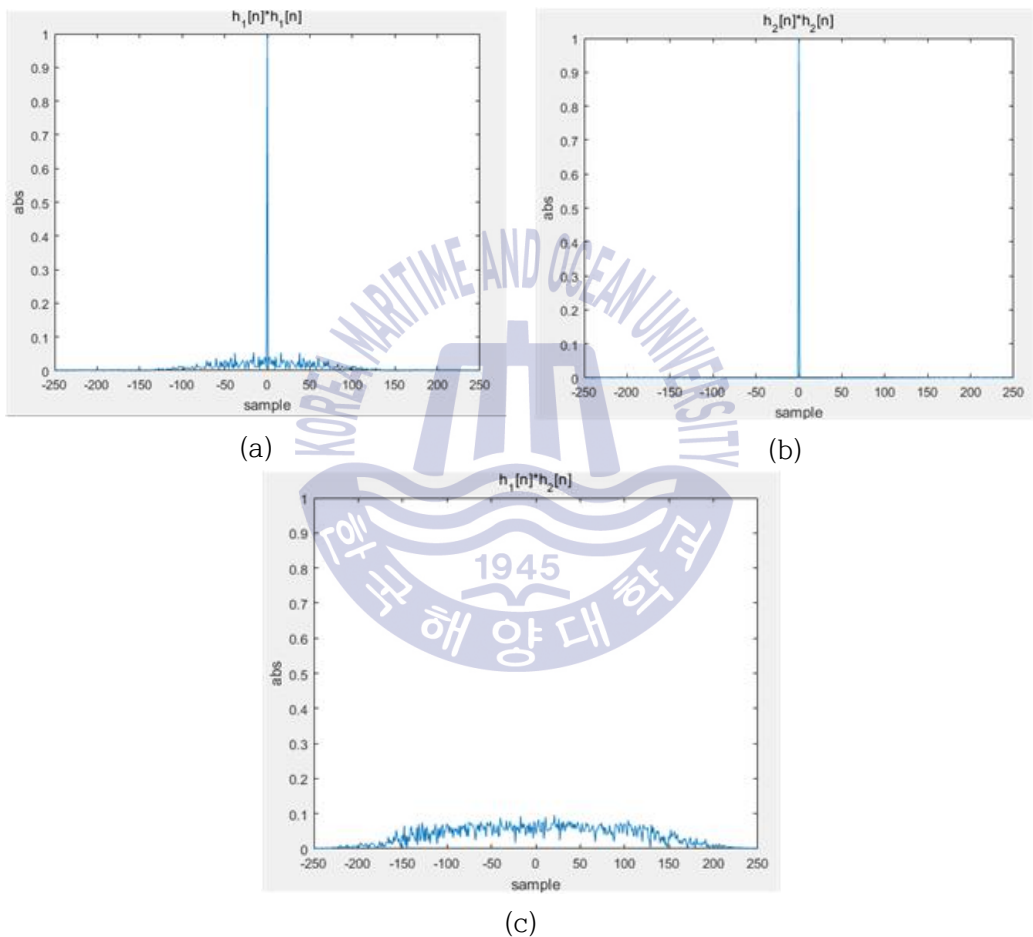
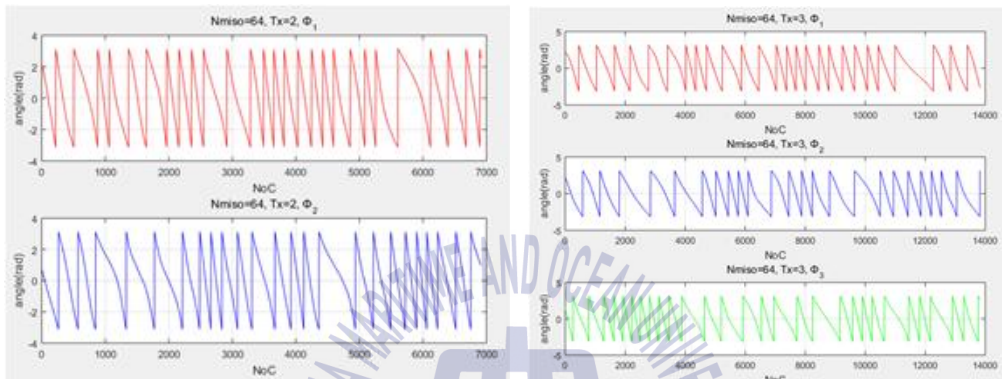
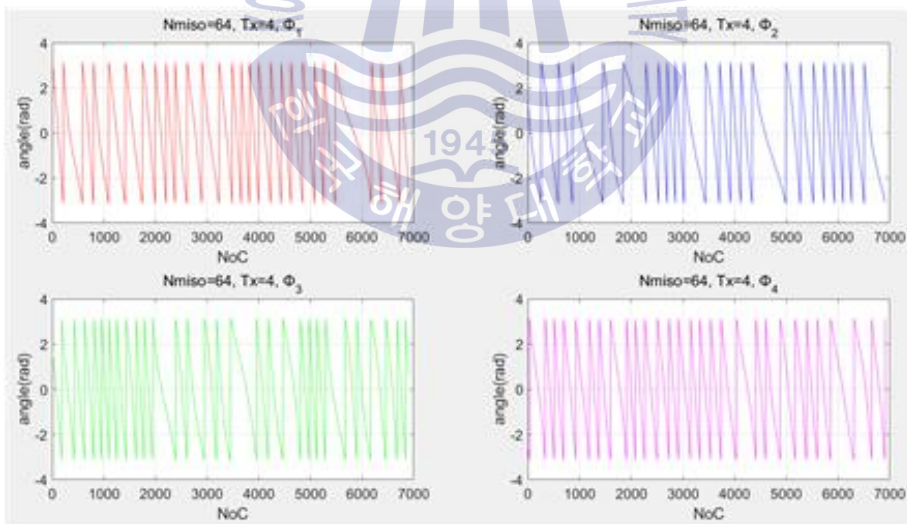


Fig. 30 Auto-correlation and cross-correlation of 2 transmitters' impulse response vector (a) auto-correlation of $c_1[n]$, (b) auto-correlation of $c_2[n]$, (c) cross-correlation of $c_1[n]$, $c_2[n]$

나타내며 시뮬레이션 결과 위상 정보를 왜곡하는 pre-distortion 신호는 수식 (4)에서도 보듯이 크기에는 영향을 주지 않고 위상정보만 바뀌는 것을 알 수 있다. 또한 NoC(number of carriers)에 따라서 위상정보가 선형적으로 변하는 것을 알 수 있다. 또한 NoC에 따라서 바뀌는 위상정보는 송신기마다 다른 특성으로 바뀌는 것을 확인할 수 있다. 결론적으로 안테나마다 모두 다른 위상 정



(a) Tx = 2 (b) Tx = 3



(c) Tx = 4

Fig. 31 Angle of pre-distortion function $\Phi_x[k]$, (a) Tx = 2 (b) Tx = 3 (c) Tx = 4

보를 가지고 왜곡되는 것을 알 수 있다. 따라서 TDCFS를 사용하면 신호의 감쇠는 없고 위상 정보만 왜곡하여 신호 상쇄의 영향을 최소화 시킬 수 있다.

6.3 성능 분석 결과

본 절에서는 MISO가 적용되었을 경우의 시스템 성능 결과를 알아보기 위해 송신기가 동일한 RF채널을 사용하고 두 송신기로부터 다중 경로가 없는 가시거리(LoS: line of sight)에 있을 때 두 신호의 감쇠가 없는 SFN 환경을 고려하였다. 또한 현실적인 환경을 고려하여 두 개의 송신기의 신호 중 하나의 신호 위상이 랜덤으로 들어오는 경우를 고려하였다. Fig. 32는 이러한 조건에서 하나의 신호가 지연이 전혀 없을 경우, GI 길이의 10%, GI 길이의 90%의 길이만큼 지연되어 수신될 경우에 대하여 TDCFS를 적용했을 때와 적용하지 않았을 때 SNR에 따른 비트 에러율을 관찰한 것을 나타낸다. 시뮬레이션에 사용된 주요 파라미터로는 8K FFT 크기를 적용하였으며 부호율 및 성상은 9/15, 16QAM을 사용하였다. 0 GI Delay에서 TDCFS를 적용하지 않았을 때 SNR이 높아져도 신호를 복조하지 못하지만, TDCFS를 적용했을 때 SNR이 높아짐에 따라 신호를 잘 복조할 수 있는 것을 알 수 있다. 따라서 TDCFS를 적용하면 상쇄간섭이 발생할 수 있는 조건에서도 임의로 왜곡된 위상으로 인해 신호를 제대로 수신할 수 있음을 알 수 있다. 신호의 지연이 있을 경우 TDCFS와 No TDCFS는 성능이 크게 차이가 나지 않고 신호를 잘 복조할 수 있는 것을 알 수 있다.

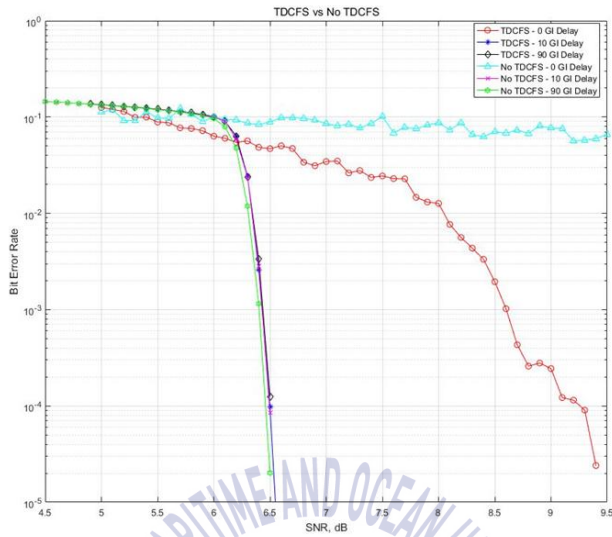
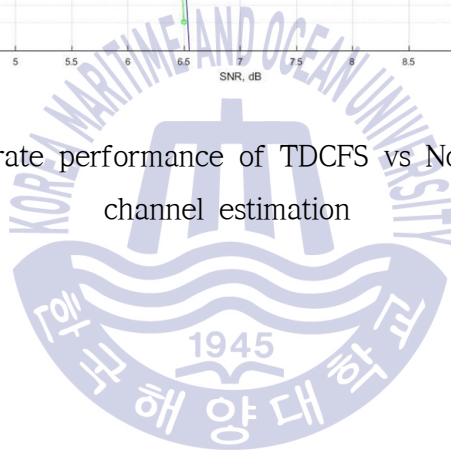


Fig. 32 Bit error rate performance of TDCFS vs NoTDCFS with perfect channel estimation



제 7 장 결론

본 논문에서는 ATSC 3.0 물리계층에서 파라미터 구성을 위해 필요한 시그널링 정보를 설정하여 시뮬레이션을 할 수 있는 GUI기반의 방송 시스템용 시뮬레이터를 구현하였다. ATSC 3.0 물리계층에서는 향상된 성능과 유연한 서비스를 위해서 매우 다양한 조합을 지원하기 때문에 그에 따라 다양한 조합에 따른 시뮬레이션 결과를 알 수 있는 시뮬레이터가 필요하다. 본 논문에서 구현한 시뮬레이션을 통해서 필요한 모든 파라미터를 설정할 수 있고, 그에 따른 시뮬레이션 결과를 관찰할 수 있다. 특히 개발된 시뮬레이터는 파라미터 조합에 따른 시뮬레이션, 실내, 필드 테스트 환경에서 AWGN, RC20, RL20 채널에서의 요구 CNR을 계산하여 사용자에게 알려주며, 사용자는 실제 송수신 전산 시뮬레이션 시 시스템 성능을 관찰할 수 있으며 LDPC를 적용했을 때의 비트 에러 개수와 비트 에러율, FEC 프레임 에러 개수와 FEC 프레임 에러율, 내부 부호가 사용될 경우 BCH를 적용했을 때의 비트 에러 개수와 비트 에러율, FEC 프레임에러 개수와 FEC 프레임 에러율을 알 수 있어 제공하고자 하는 서비스를 만족하기 위한 파라미터 조합과 채널 환경, 조건 등을 손쉽게 파악할 수 있다.

또한 개발된 시뮬레이터는 서로 다른 부호율과 변조 파라미터를 가지는 서비스를 제공하기 위해서 사용되는 다양한 셀 다중화 방식을 지원하도록 모든 가능한 경우의 수에 대한 셀 인덱싱 알고리즘을 구현하였다. 그러므로 시뮬레이터를 통해서 다양한 PLP 다중화에 대해서도 시뮬레이션 결과를 알아볼 수 있다. 방송사들은 개발된 GUI시뮬레이터를 통해서 동작 SNR 및 데이터 전송율을 토대로 제공하고자 하는 방송 서비스를 만족하는 다양한 파라미터의 조합을 알 수 있다. 또한 다양한 파라미터 조합에 따른 송수신 시뮬레이션 결과를 통해서 시스템 성능을 분석할 수 있고 성상도 및 채널 응답을 손쉽게 확인할 수 있다.

구현된 시뮬레이터가 제대로 동작하는지를 검증하기 위해서 단일 PLP를 사용할 경우 AWGN 채널에서 SNR에 따른 송수신 성상도를 살펴보고 AWGN, RC20, RL20, TU6 채널에서의 채널 응답을 살펴보았다. 시뮬레이터에서 지원하는 채널 추정 방법이 잘 적용되는지 확인하기 위해서 RL20 채널에서 채널 추

정 방법에 따른 채널 응답 또한 살펴보았다. 또한 LDM을 사용할 경우 송수신
성상도를 살펴보고 LDM시스템이 잘 적용되는지 확인하였다.

또한 본 논문에서는 ATSC 3.0 규격에서 사용되는 MISO 방식에 대해서 소개
하고 기존의 MISO 방법과 다르게 규격에서 새롭게 적용되는 TDCFS를 설계하
고 특성을 분석하였다. 규격의 TDCFS를 토대로 단일 주파수 방송망에서 MISO
시스템의 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 결과 상쇄간섭이 발생할 수 있는 환
경에서 TDCFS를 적용하였을 경우 TDCFS를 적용하지 않았을 경우에 비해서 신
호를 잘 복조할 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 MISO 시스템을 적용하면
SFN 환경에서 상쇄간섭의 영향을 최소화시킬 수 있다.



참고 문헌

- [1] 김호겸, 서재현, 김흥목, 2016. 지상파 UHDTV 전송 기술. *한국통신학회지 (정보와통신)*, 33(7), pp.3-9.
- [2] 이재영, 권선형, 박성익, 김흥목, 2014. ATSC 3.0 기술 및 표준화 현황. *전자파기술*, 25(5), pp.33-41.
- [3] 권선형 등, 2015. ATSC 3.0 물리계층 표준기술. *방송과 미디어*, 20(4), pp.17-27.
- [4] TTA, 2016. 지상파 UHDTV 방송 송수신 정합 - 파트 4. 물리계층. TTA.KO-07.0127/R1-Part4.
- [5] Fay, L. et al., 2016. An overview of the ATSC 3.0 physical layer specification. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 62(1), pp.159-171.
- [6] Loghin, N.S. et al., 2016. Non-uniform constellations for ATSC 3.0. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 62(1), pp.197-203.
- [7] Michael, L. & Gómez-Barquero, D., 2016. Bit-interleaved coded modulation (BICM) for ATSC 3.0. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 62(1), pp.181-188.
- [8] Gómez-Barquero, D. et al., 2016. Mimo for atsc 3.0. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 62(1), pp.298-305.
- [9] Stadelmeier, L., Schneider, D., Zöllner, J. & Gimenez, J.J., 2016. Channel bonding for ATSC 3.0. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 62(1), pp.289-297.
- [10] Park, S.I. et al., 2017. Transmitter identification for ATSC 3.0 single frequency network, *Proceeding of 2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pp.1-3.
- [11] Carcel, J.L., Gimenez, J.J. & Gomez-Barquero, D. 2017. Zero-guard

OFDM performance in SFN with ATSC 3.0 ultra-robust transmission modes, *Proceeding of 2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pp.1-5.

[12] Earnshaw, M. et al., 2016. Physical layer framing for ATSC 3.0. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 62(1), pp.263-270.

[13] 김정창, 김형석, 박성익, 김홍목, 2016. ATSC 3.0 시스템을 위한 부트스트랩 신호를 이용한 동기 방식 연구. *방송공학회논문지*, 21(6), pp.899-912.

[14] 옥규순 등, 2015. ATSC 3.0 부트스트랩 신호 탐지를 통한 프레임 동기화 기법. *한국통신학회 2015년도 추계종합학술발표회*, pp.17-18.

[15] Park, S.I. et al., 2017. Field Comparison Tests of LDM and TDM in ATSC 3.0. *IEEE Transactions on Broadcasting*. PP(99), pp.1-11.

[16] Lee, J.Y. et al., 2017. Multiple service configurations based on layered division multiplexing. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 63(1), pp.267-274.

[17] LoPresto, S., Citta, R., Vargas, D. & Gómez-Barquero, D. 2016. Transmit diversity code filter sets (TDCFSs), an MISO antenna frequency predistortion scheme for ATSC 3.0. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 62(1), pp.271-280.

[18] Hong, H. et al., 2017. Gradient descent cyclic algorithm—An algorithm to design the filter set in TDCFS method, *Proceeding of 2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pp.1-6.