

ATSC 3.0 기술 및 표준화 현황	이재영 · 권선형 · 박성익 · 김홍묵
	한국전자통신연구원 방송시스템연구부

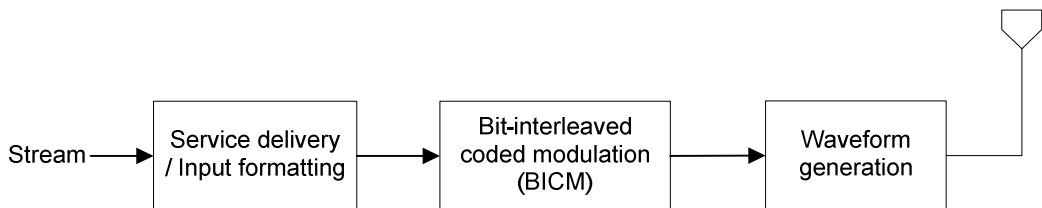
I. 서 론

한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위한 방법은 최근 급변하는 방송 및 통신 환경, 차세대 방송 통신 시스템으로의 전환, 새로운 융합 기술들의 개발 등과 함께 가장 중요한 연구 과제 중 하나로 떠오르고 있다. 이에 따라 Advanced Television Systems Committee(ATSC)에서는 2013년 차세대 국제 방송 표준 ATSC 3.0을 위한 제안안을 받고 표준화를 시작하였으며, 2015년까지 방송망의 효율화와 전 세계적으로 사용될 수 있는 국제 표준을 만들기 위해 계획하고 있다¹⁾.

차세대 방송 표준을 위한 ATSC 3.0 시스템의 기본적인 구성도는 [그림 1]과 같다. 먼저 service delivery/input formatting 부는 방송뿐만 아니라, 통신망을 이용하여 콘텐츠를 전달하기 위한 기술로써, 기본적으로 IP(Internet protocol) 기반으로 개발되고 있다. BICM(bit-interleaved coded modulation)부는 service delivery/input formatting부에서 IP packet을 입력 받아 강인한

channel coding을 수행하는 기술로써 LDPC(low-density parity check) coding, bit interleaver, non-uniform constellation 등으로 구성되어 있다. Waveform generation 부는 BICM부에서 심볼 매핑된 신호를 입력 받아 framing, modulation, multiplexing 등을 처리하는 기술로써, OFDM(orthogonal frequency-division multiplexing) modulation이 기본적으로 사용되며, multiplexing 기술로써 TDM(time division multiplexing) 및 LDM(layer division multiplexing) 기술 등이 고려되고 있다.

본 논문에서는 ATSC 3.0 시스템에서 다루고 있는 기술 중 물리 계층(physical layer), 즉 BICM부와 waveform generation부를 집중하여 기술하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 섹션 II에서는 BICM을 구성하는 주요 기술인 LDPC coding 및 bit interleaver, non-uniform constellation 기법 등을 소개한다. 섹션 III에서는 waveform generation부에서 기존 방송 표준과 차별된 기술인 multiplexing부를 중점적으로 다루도록 한다. 기존의 TDM 방식과 ATSC 3.0 표준에 처음으로 제안된 LDM 방식의 비교를 통하여 LDM 방식의



[그림 1] ATSC 3.0 시스템의 기본적인 구성도

본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2014년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음.

장점을 기술하고자 한다.

II. BICM

BICM은 주파수 대역을 효율적으로 사용할 수 있는 전송 기술로써 오류 정정 부호(forward error correction), 비트 단위 인터리버(bit interleaver), 변조(mapper)가 결합된 [그림 2]와 같은 구조를 가진다. 오류 정정 부호로는 inner code로써 LDPC code와 outer code로써 BCH code가 사용되며, 변조 방식으로는 비균등 상상도(non-uniform constellation)가 사용된다.

2-1 Forward Error Correction

오류 정정 부호로는 LDPC 계열의 채널 코드를 고려하고 있으며, [그림 3]과 같이 두 가지 구조를 고려하고 있다. [그림 3] (a)의 경우, DVB-T2와 S2에서 널리 사용하고 있는 LDPC 구조로써, 오류 정정 부호의 PCM(Parity Check Matrix)은 길이가 K 인 정보 비트에 대응되는 I 부분과 길이가 $N-K$ 인 패리티 비트(parity bit)에 대응되는 P 부분으로 나뉘어 있다. 이때, P 부분이 dual diagonal 형태를 가지는 것을 특징으로 한다. [그림 3] (b)는 ETRI에서 제안한 또 다른 형태의

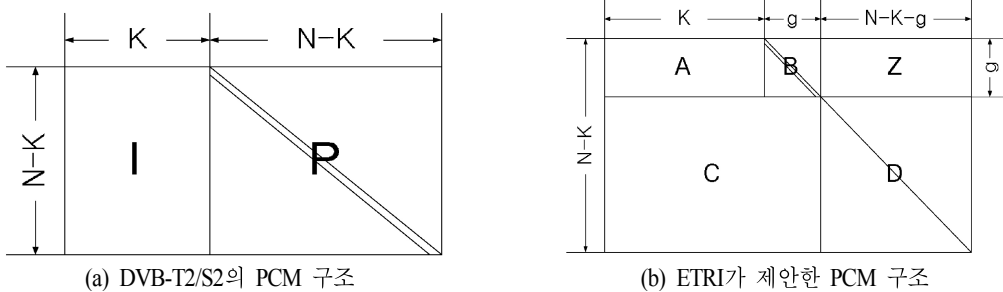
LDPC 구조로써, PCM 길이가 K 인 정보 비트에 대응되는 A 부분과 dual diagonal 형태를 가지는 B 부분, identity 형태를 가지는 D 부분, 영행렬로 채워져 있는 Z 부분, 그리고 C 부분으로 구성되어 있다^[2]. 일반적으로 [그림 3] (a) 구조는 높은 부호율에서 좋은 성능을 보이는 반면, [그림 3] (b) 구조는 낮은 부호율에서 좋은 성능을 보이는 경향이 있어, 두 가지 구조가 모두 사용되고 있다.

2-2 Bit Interleaver

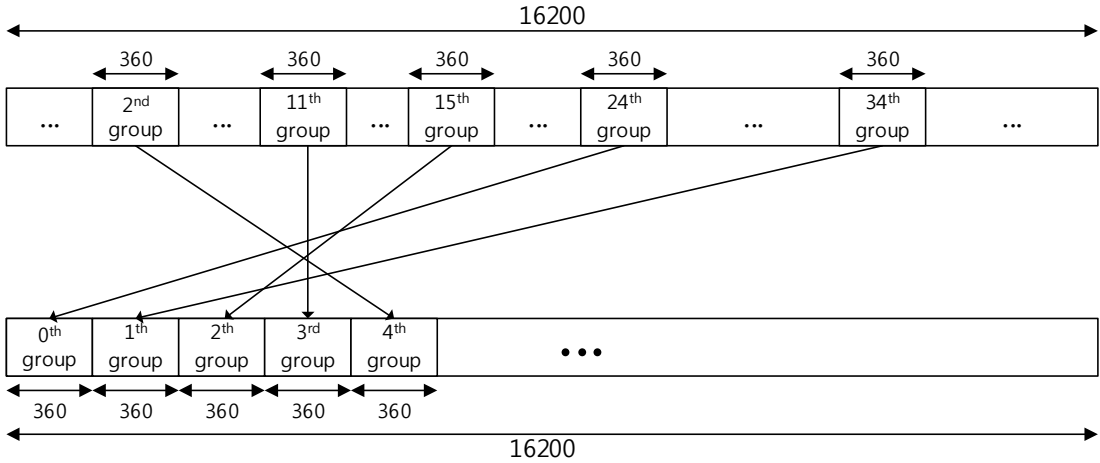
Bit interleaver 페이딩 채널과 같은 열악한 채널 환경에서 BICM이 보다 나은 성능을 제공할 수 있도록 LDPC 부호어를 적절히 섞어주는 기능을 수행한다. 현재 ATSC 3.0에서는 parallel factor가 360인 LDPC를 고려하고 있기 때문에, bit interleaver에서도 LDPC 부호어를 360 bits 단위의 bit group으로 구분한다. 예를 들어, 길이가 16200인 LDPC 부호어의 경우, 360 bits 단위의 45개의 bit group으로 구분된다. 이때, 인터리버 패턴 수열 = {24 34 15 11 2 ...}라고 가정하면, LDPC 부호의 bit group 순서는 [그림 4]와 같이 바뀌게 된다. 이러한 인터리버 패턴 수열은 복조 방식과 채널 코드의 부호율에 따라 최적의 값을 찾아



[그림 2] BICM 구성도



[그림 3] 오류 정정 부호로 사용되는 PCM 구조



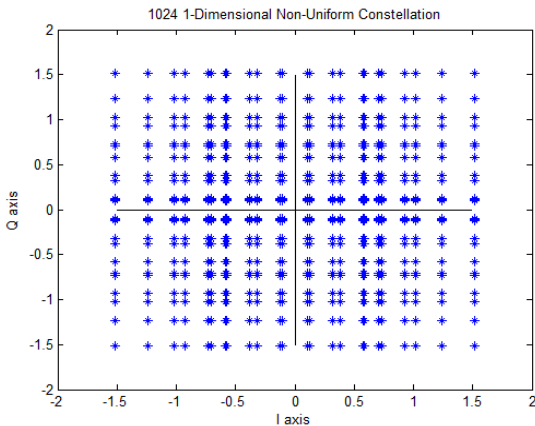
[그림 4] 길이가 16200인 LDPC 부호의 비트그룹 인터리빙

주는 것이 필요하다.

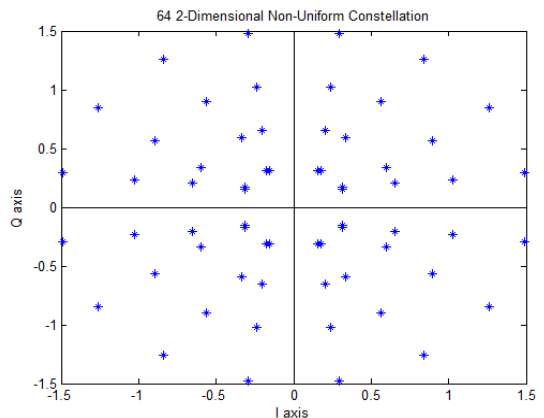
2-3 Non-Uniform Constellation

이론적으로, AWGN(Additive White Gaussian Noise) 환경에서 채널 입력 신호(송신 신호)의 amplitude와 채널의 amplitude가 동시에 Gaussian 분포를 따를 때, 송신 신호와 수신 신호 사이의 mutual information인 capacity가 최대가 됨이 알려져 있다^[3]. Non-uniform constellation은 uniform constellation와 비교하여, 송신

신호의 amplitude 분포가 보다 Gaussian에 가까워질 수 있도록 의도적으로 성상도를 왜곡하는 것이다. 이러한 이론적 배경을 바탕으로, ATSC 3.0에서도 non-uniform constellation을 고려하고 있다. [그림 5] (a)는 1차원 non-uniform constellation의 한 가지 예시이다. 1차원 non-uniform constellation은 I와 Q 축이 symmetric하게 설계된 것으로, 수신기에서 비교적 간단하게 2개의 PAM(Pulse Amplitude Modulation) demapper를 이용하여 복호할 수 있다는 장점을 가진다. [그림



(a) 1,024개의 성상을 가지는 1차원 비균등 성상도



(b) 64개의 성상을 가지는 2차원 비균등 성상도

[그림 5] 1차원과 2차원 비균등 성상도

4] (b)는 2차원 non-uniform constellation의 한 가지 예시로, 1차원 non-uniform constellation의 형태가 사각형을 띄는 것과는 달리 PSK 계열과 비슷한 형태를 가지는 것을 특징으로 한다. 2차원 non-uniform constellation은 1차원 non-uniform constellation에 비해 더 높은 자유도를 가지고 있으므로 더 좋은 성능을 제공하는 반면, 수신기의 demapper가 복잡해지는 단점을 가지고 있다. ATSC 3.0에서는 적절한 복잡도와 우수한 성능을 제공하기 위해, 16 QAM부터 256 QAM까지는 2차원 non-uniform constellation을 고려하고, 1 KQAM 이상의 constellation에 대해서는 복잡도 감소를 위해 1차원 non-uniform constellation를 고려하고 있다.

III. Multiplexing

Multiplexing은 서로 다른 서비스를 제공하는 스트림을 하나의 매체로 전송하기 위해 결합하는 기술로써, TDM을 기반으로 하는 ATSC-mobile 및 DVB-T2, FDM(frequency division multiplexing)을 기반으로 하는 ISDB-T, TDM과 FDM을 모두 사용하는 LTE 등이 대표적이다. 위와 같은 TDM과 FDM 방식이 시간과 대역을 일부만 사용하여 전송 용량이 제한되는 측면이 있는 반면, 최근에 제안된 LDM 방식은 모든 스트림이 100 %의 시간 영역과 RF 채널 대역을 사용함으로써, 전송 용량 측면에서 그 성능을 극대화할 수 있는 장점이 있다^{44)[6]}. 본 절에서는 ATSC 3.0에서 고려되고 있는 TDM과 LDM 기술의 개념 및 특징을 소개하고, 두 기술의 이론적인 성능 비교를 통하여 각 기술의 장점을 설명하고자 한다.

3-1 TDM

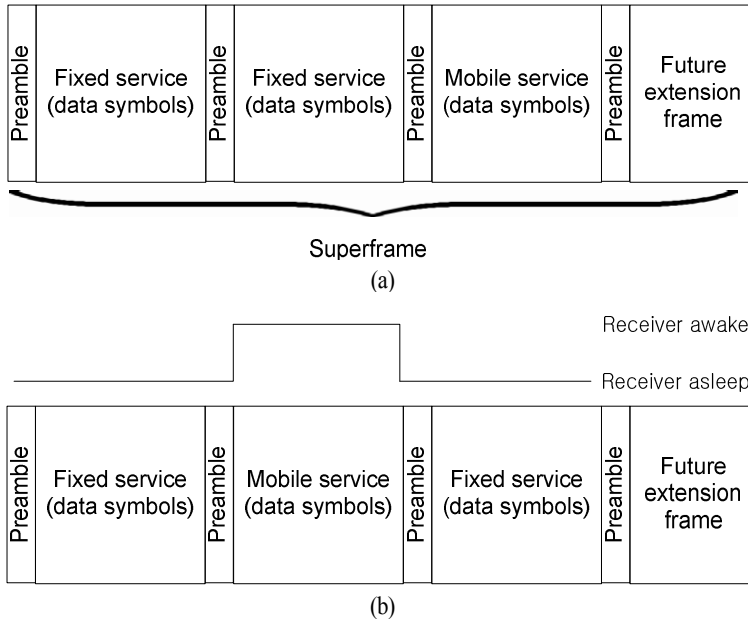
TDM 방식은 여러 개의 방송 스트림을 짧은 시간 영역의 세그먼트로 분할하여 전송시키는 방식으로써, [그림 6] (a)는 mobile 및 fixed 서비스를 동시에

제공하기 위하여 프레임을 분할하여 전송하는 TDM 방식의 한 예이다. [그림 6] (a)에서와 같이 설정된 superframe에 2개의 fixed 서비스 프레임, 하나의 mobile 서비스 프레임, 또 다른 서비스를 위한 future extension frame(FEF)을 할당하여 superframe을 반복하여 전송함으로써, fixed 서비스와 mobile 서비스가 각각 50%와 25 %의 대역을 활용하는 TDM 방식의 구현이 가능하다. 또한 각각의 서비스 프레임을 각기 다른 modulation, coding 혹은 FFT 사이즈를 사용함으로써 서로 다른 robustness를 제공할 수 있다.

본 TDM 방식에 따르면, [그림 6] (a)와 같이 적어도 두 개 이상의 프레임으로 구성된 superframe이 반복된 형태로 전송되며, 각각의 superframe은 동일한 패턴의 parameter(e.g. guard interval, pilot pattern, FFT size, time interleaving depth)을 전송하게 된다. 따라서 하나의 superframe에서 여러 개의 서비스를 제공하기 위한 PLP(physical layer pipe)를 전송할 경우, preamble 또는 in-band signaling 정보를 이용하여 각 수신기에서 원하는 PLP의 시작 address 정보를 검출하는 것이 가능하다. 이를 이용하여 각 수신기에서 필요로 하는 서비스만을 선택하여 수신함으로써, power saving에 효과적인 장점이 있다. [그림 6] (b)는 TDM 방식에서의 power saving 방법을 나타낸 그림이다. [그림 6] (b)에 도시된 바와 같이 mobile 수신기에서는 signaling 정보에 따라 superframe 내에서 원하는 mobile service를 위한 frame 혹은 PLP가 검출되는 부분에서 동작시킴으로써 power saving을 효과적으로 수행할 수 있다.

3-2 LDM

LDM 기술은 차세대 방송 시스템 개발에 제안된 주요 요소 기술 중에 하나로써, 클라우드 전송 기술(Cloud transmission)이란 이름으로 처음 제안되었다⁴⁴⁾. 본 방식은 다층 전송(multi-layer transmission)을 기반으로 하나의 방송 채널에 여러 개의 방송 스트림을 서로 다른 LDPC 코딩 기법과 변조 기술을 사용하여

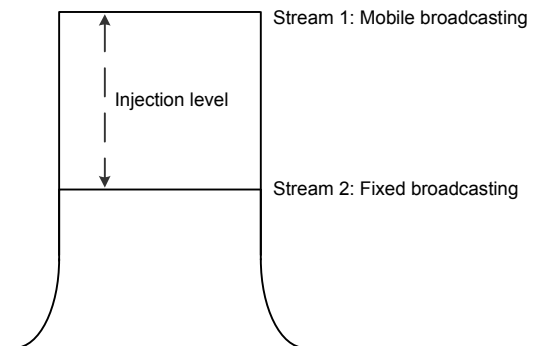


[그림 6] TDM 방식의 superframe 구조(a) 및 power saving 방법(b)

여 전송하는 physical scalability 제공을 목적으로 제안되었다. 각 계층은 각기 다른 파워에 따라 삽입되어 전송되며, 수신된 다층 신호 중 하위 계층 신호는 신호 제거 기술에 의하여 복조가 가능하다. 이와 같은 다층 전송 방식에 따라, 방송사에서는 각기 다른 서비스를 하나의 방송 채널에 서비스 할 수 있고, 이동 및 고정 서비스를 목적으로 각기 다른 강인성을 가진 스트림을 서비스할 수 있는 등의 다양한 서비스를 효율적으로 제공할 수 있게 된다. [그림 7]은 2계층의 서비스(이동 및 고정 방송)를 하나의 RF 채널에 제공하기 위한 LDM 방식의 스펙트럼 사용 개념도이다.

[그림 7]에서와 같이 스트림 1은 이동 방송을 목적으로 하는 강인하고 데이터 전송률이 낮은 신호를 이용하고, 스트림 2는 고정 수신을 위하여 UHDTV 서비스와 같은 비교적 높은 데이터 전송률의 신호를 스트림 1보다 낮게 삽입한다(e.g. 5 dB). 즉, 하나의 RF 채널에 저용량(e.g. 2~3 Mbps)의 강인한 이동 방

송용 스트림과 UHDTV가 가능한 고용량의 고정 방송용 스트림을 전송함으로써 전송 효율을 극대화할 수 있다. [그림 7]과 같은 신호를 수신하기 위해서는 먼저 스트림 1의 제 1계층 신호를 먼저 복조한 후, 전체 수신 신호에서 제 1계층 신호를 제거하는 과정을 거쳐, UHDTV 서비스를 위한 제 2계층 신호를 복조하여야 한다.



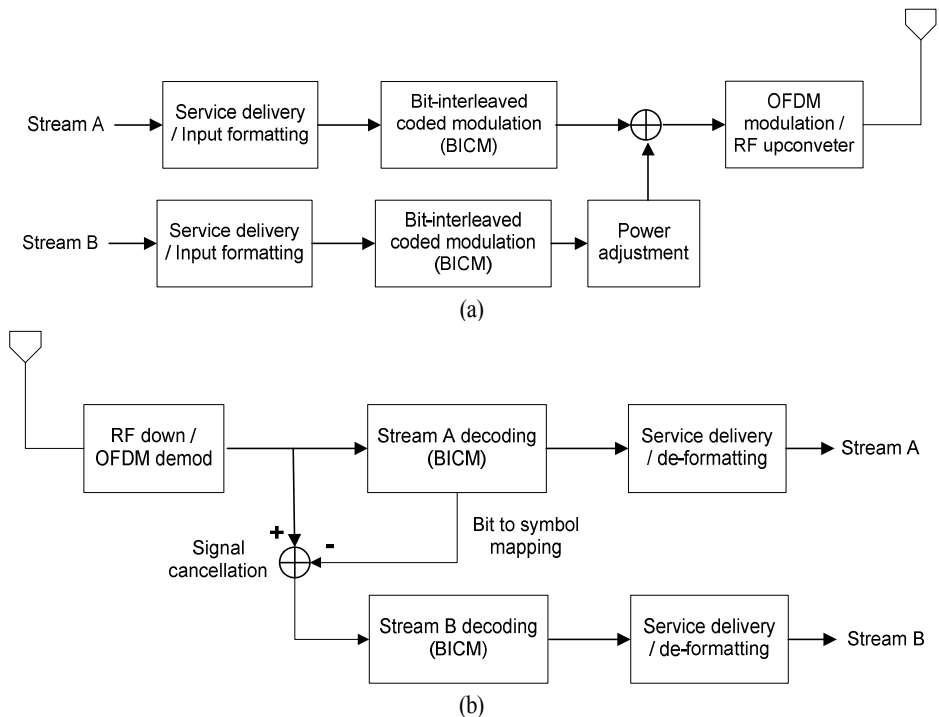
[그림 7] LDM 의 2계층 전송 시 스펙트럼 사용 방법

[그림 8]은 2개의 계층으로 구성된 LDM 방식의 송신기와 수신기의 구조를 나타낸다. [그림 8] (a)에서 보는 바와 같이, 스트림 1은 이동 방송을 목적으로 0 dB 이하의 낮은 SNR에서도 수신 가능하도록 낮은 코드율(e.g. 2/15~5/15)의 LDPC 인코더와 error floor를 제거하기 위한 BCH 코드를 포함한 BICM을 수행한다. 스트림 2는 고정 방송을 목적으로 높은 데이터 전송률을 전송하기 위한 높은 코드율의 LDPC와 BCH 코드를 포함한 BICM을 수행한다. 스트림 1과 2의 심볼 매핑 이후의 데이터를 [그림 8] (a)와 같이 파워를 다르게 조정하여 삽입한 후, OFDM 변조와 RF 변환을 통해 전송하게 된다.

수신부에서는 2계층이 혼합된 신호를 수신하여 일반적인 시간 및 주파수 동기, 등화, 그리고 OFDM 복조, 채널 추정을 수행한다. 이후 수신 단말 형태에 따라 분리 수신하게 되는데, 이동 수신용 단말기일

경우, 스트림 1은 하위에 삽입된 스트림 2가 간섭으로 작용하기 때문에 Log-likelihood ratio(LLR) 계산과 제 1계층 BICM 복조를 통해 수신 가능하다. 하지만 스트림 2 수신 시의 경우, 복조된 스트림 1을 다시 심볼 단위로 변환한 후, 이를 혼합된 복조 신호로부터 제거해 주는 신호 제거(signal cancellation) 과정을 거쳐야 한다. 스트림 1의 제거 이후, 다시 LLR 계산 및 BICM 복조 과정을 거쳐 스트림 2 신호를 복원하게 된다.

본 LDM 방식에 따라 수신할 때, 튜너(tuner), 동기(synchronization), IF, ADC, equalizer, FFT 등 많은 부분이 두 계층에서 공유되기 때문에, 수신기의 복잡도는 크게 증가하지 않도록 구현이 가능하다. 고정 수신을 위하여 Stream A와 Stream B를 모두 복조하여야 하지만, Stream A LDPC decoder와 Stream B LDPC decoder가 서로 resource를 공유하는 것이 가능하고,



[그림 8] 2계층 전송 시 LDM 방식의 송, 수신 블록도

고정 수신 환경에서는 제 1계층 신호의 SNR margin 이 충분함에 따라 LDPC decoding iteration 수를 줄일 수 있기 때문에, 수신기 복잡도를 더욱 줄일 수 있다.

3-3 TDM과 LDM의 비교

TDM 방식은 하나의 RF channel을 시간 영역의 세그먼트로 분할하여 서로 다른 서비스들(mobile, hand-held, fixed services)을 혼합하여 전송할 수 있다. 반면에, LDM 방식은 spectrum overlay 기술의 하나로서, 서로 다른 서비스의 신호들을 super-imposed하여 100%의 RF 대역과 시간을 모두 이용할 수 있는 장점이 있다. 예를 들면, 제 2계층 신호가 제 1계층 신호보다 6 dB 낮게 삽입된다면, 전체 송출 파워의 80%는 제 1계층에, 나머지 20%는 제 2계층 신호에서 사용되게 된다.

<표 1>은 TDM 방식을 사용하는 DVB-T2/NGH 시스템과 LDM 방식의 시스템의 요구되는 수신 SNR의 이론적인 분석 비교표를 보여 준다^{[5],[6]}. 각 모드 별로 데이터 전송율을 만족하기 위해서 변조 방식(QPSK,

16QAM, 64QAM, 256QAM)과 코드율(3/15~12/15)을 적절히 선택하였다. LDM 방식의 경우, 2.7~4.1 Mbps는 이동 수신을 위한 제 1계층 신호를 나타내고, 나머지 14.3~30.1 Mbps는 고정 수신을 위한 제 2계층 신호를 나타낸다. 제 2계층 신호는 제 1계층 신호보다 5 dB 낮게 삽입되었다. DVB-T2/NGH는 이동 수신을 위한 NGH 신호를 30~55% 할당하였고(i.e. 2.7~4.1 Mbps), 나머지 70~45%의 대역은 고정 수신을 위한 DVB-T2 신호를 할당하였다(i.e. 14.4~30.6 Mbps). <표 1>에서 보는 바와 같이, LDM 시스템이 두 계층의 신호를 100% 대역을 활용하여 전송함으로써, 대역을 분할하여 전송하는 DVB-T2/NGH 시스템에 비하여 요구되는 SNR이 낮게 형성됨을 볼 수 있다. 예를 들면, LDM과 TDM이 각각 4 Mbps의 이동용 방송을 송신하는 경우, NGH를 40% 할당한다면, LDM 방식은 이동 수신에서 2.7 dB SNR에서 동작하는 반면, TDM은 6.4 dB에서 동작하여 LDM이 약 3.7 dB 우수함을 보여준다. 뿐만 아니라, 고정용 수신에서도 LDM의 수신 SNR이 21.0 dB인 반면, TDM은 23.5 dB를 나타

<표 1> TDM과 LDM 방식의 요구되는 SNR 비교표^{[5],[6]}

LDM 방식			TDM 방식					
			Mobile 55 %		Mobile 40 %		Mobile 30 %	
1 st Layer	Data rate	SNR	Data rate	SNR	Data rate	SNR	Data rate	SNR
	2.7 Mbps QPSK 4/15	-0.8 dB	2.7 Mbps QPSK 8/15	1.3 dB	2.7 Mbps QPSK 11/15	3.7 dB	2.6 Mbps 16Q 7/15	5.3 dB
	4.1 Mbps 16Q 3/15	2.7 dB	4.1 Mbps 16Q 6/15	4.3 dB	4.0 Mbps 16Q 8/15	6.4 dB	3.7 Mbps 16Q 10/15	8.5 dB
2 nd Layer with -5 dB injection			Fixed (TDM) 45 %		Fixed (TDM) 60 %		Fixed (TDM) 70 %	
2 nd Layer	14.3 Mbps 64Q 7/15	15.3 dB	14.4 Mbps 256Q 11/15	18.9 dB	14.4 Mbps 64Q 11/15	14.4 dB	15.3 Mbps 64Q 10/15	13.0 dB
	24.6 Mbps 256Q 9/15	21.9 dB	-	N/A	24.0 Mbps 1 kQ 11/15	23.5 dB	24.4 Mbps 256Q 12/15	20.7 dB
	30.1 Mbps 256Q 11/15	25.1 dB	-	N/A	-	N/A	30.6 Mbps 1 kQ 12/15	25.6 dB

내어 LDM이 약 2.5 dB 우수하다. 이를 전체 시스템 측면에서 보면 LDM이 TDM보다 약 6.2 dB 우수함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문은 차세대 국제 방송 표준인 ATSC 3.0의 물리 계층의 핵심 기술인 BICM 및 multiplexing 기술들에 대하여 분석하였다. BICM 기술에서는 LDPC coding 및 bit interleaver, non-uniform constellation 기법 등을 소개하였고, multiplexing 기술에서는 기존의 TDM 방식과 ATSC 3.0표준에 처음으로 제안된 LDM 기술에 대하여 소개하였다. 또한 TDM 방식과 LDM의 방식의 이론적 성능 분석을 통하여 두 기술의 장점을 비교 분석하였다.

참 고 문 헌

[1] ATSC Technology Group 3.0, "Call for proposals for ATSC 3.0 physical layer", Mar. 26, 2013.
 [2] S. I. Park, H. M. Kim, Y. Wu and J. Kim, "A newly

designed quarter-rate QC-LDPC code for the cloud transmission system", *IEEE Trans. on Broadcasting*, 59(1), p.155, 159, Mar. 2013.

[3] D. Sommer and G. Fettweis, "Signal shaping by non-uniform QAM for AWGN channels and applications using turbo coding", *Proc. ITG Conf. Source and Channel Coding*, pp. 81-86, 2000.
 [4] Y. Wu, B. Rong, K. Salehian, and G. Gagnon, "Cloud transmission: A new spectrum-reuse friendly digital terrestrial broadcasting transmission system", *IEEE Trans. on Broadcasting*, 58(3), pp. 329-337, Sep. 2012.
 [5] ETSI TS 102 831 V1.2.1 (08/12) Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system(DVB-T2), European Telecommunications Standards Institute, Geneva. 2012.
 [6] J. Montalban, L. Zhang, U. Gil, Y. Wu, I. Angulo, K. Salehian, S. I. Park, B. Rong, W. Li, H. M. Kim, P. Angueira and M. Velez, "Cloud transmission: System performance and application scenarios", *IEEE Trans. on Broadcasting*, 60(2), Jun. 2014.

≡ 필자소개 ≡

이 재 영



2013년 7월: Simon Fraser 대학교 Engineering Science (공학박사)
2003년 6월~현재: 한국전자통신연구원 지상파방송연구실
[주 관심분야] 디지털 신호 처리, 지상파 방송 시스템

박 성 익



2000년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
2002년: 포항공과대학교 전자공학과 (공학석사)
2011년: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
2002년~현재: 한국전자통신연구원 지

상파방송연구실

[주 관심분야] 오류 정정 부호, 신호 처리, 디지털 통신 및 방송 시스템

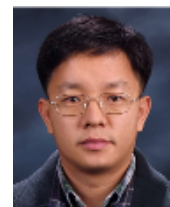
권 선 형



2008년 8월: 한국전자통신대학교 전자과 (공학사)
2010년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2010년 9월~현재: 한국전자통신연구원 지상파방송연구실
[주 관심분야] 지상파 방송 송/수신기

시스템 설계, BICM

김 흥 목



1993년: 포항공과대학교 전자공학과 (공학사)
1995년: 포항공과대학교 전자공학과 (공학석사)
2013년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2004년~현재: 한국전자통신연구원 지

상파방송연구실

[주 관심분야] 디지털 신호 처리, RF 전송, 디지털 통신 및 방송