

ASO(Analogue Switch Off) 시대를 위한 차세대 지상파 TV 표준 DVB-T2 기술 소개

서정욱 | 김현식 | 전원기 | 백종호 | 김동구*
전자부품연구원, 연세대학교*

요 약

본고에서는 차세대 디지털 지상파 TV 표준으로 알려진 DVB-T2(Digital Video Broadcasting-the 2nd Generation Terrestrial)에 대해 소개한다.

DVB-T2 기술은 ASO(Analogue Switch Off) 이후의 환경을 위해 DVB 프로젝트에 의해 개발되었으며 최신의 변조 및 코딩 기술을 채택하고 있다. 기존 DVB-T에 비해 전송효율을 30% 이상 증가시킬 수 있으며 2010년경에 상용화 될 것으로 예상된다.

I. DVB-T2 개요

디지털 지상파 TV 표준인 DVB-T(Digital Video Broadcasting-the 1st Generation Terrestrial)는 현재 35개국 이상의 나라에서 서비스되고 있으며 막대한 규모의 경제적 이익을 창출할 수 있는 강력하고 성숙한 시스템으로 많은 나라에서 도입을 검토하고 있다. 이와 더불어 아날로그 TV 시대의 끝을 알리는 ASO(Analogue Switch Off)에 의해 새롭게 확보될 방송 주파수를 활용하는 차세대 디지털 지상파 TV 표준인 DVB-T2(DVB-the 2nd Generation Terrestrial)에 대한 관심이 증폭되고 있다 [1][6]. 특히 ASO시대를 대비하기 위해 ATSC와 ISDB-T가 미래 표준 솔루션을 제공하지 않고 있어 DVB-T를 사용하지 않던 우리나라, 미국, 일본 등에서 DVB-T2를 고려하고 있다. 새롭게 등장할 DVB-T2 표

준은 디지털 TV의 데이터 전송률을 높이고 전송 네트워크를 튼튼하고 유연하게 만드는 것을 핵심으로 삼고 있으며 모바일기기로 디지털TV 콘텐츠를 전송하거나 지하철, 기차, 버스 등의 운송수단으로 방송 서비스를 원활하게 전달하는 것에 초점을 맞추고 있다.

DVB-T2는 1997년에 소개된 DVB-T를 보완하여 전송효율을 30% 이상의 개선한 우수한 시스템이며 향후 2010년경에 상용화될 것으로 보인다. 앞서 언급하였듯이 이 표준의 개발 목적은 ASO로 인해 회수되는 주파수를 사용하는 것이며, 이를 통해 다채널 지상파 HDTV(High Definition Television) 서비스나 혁신적이고 새로운 데이터 캐스팅(data casting) 서비스가 제공될 것으로 기대된다. 또한 DVB-T와 호환성 있게 설계되어 ASO이후에도 두 시스템은 공존할 수 있을 것으로 예상된다. 무엇보다 DVB-T2는 현존하는 수신 안테나와 송신 인프라를 그대로 사용할 수 있고 SFN(Single Frequency Network)의 성능과 주파수/대역폭의 유동성을 개선했다는 점에서 상업화 조건을 고루 갖추고 있다. 본고에서는 이러한 DVB-T2의 물리계층 기술에 대해 표준초안을 토대로 설명한다.

II. DVB-T2 물리계층 기술

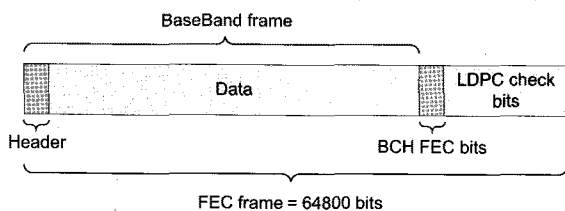
DVB 표준들은 가능하면 상호 호환될 수 있도록 개발되는 것이 원칙이다 [1]. 달리 말해 다른 표준에 이미 존재하는 우수한 솔루션이 있다면 새롭게 개발하지 않고 그것을 활용하

자는 것이다. 이러한 원칙에 따라 DVB-T2는 표 1과 같이 DVB-S2(DVB-the 2nd Generation Satellite)의 데이터 패키징(packaging)용 BaseBand 프레임과 에러정정용 LDPC(Low Density Parity Check) 코드를 사용한다[1][2][7].

<표 1> DVB-T2와 DVB-S2 의 특성비교

	DVB-T	DVB-H	DVB-T2	DVB-S2
Modulation	QPSK/16QAM/64QAM	QPSK/16QAM/64QAM	TBD	QPSK/8PSK/16APSK/32APSK
PHY FEC	CC + RS	CC + RS	BCH + LDPC	BCH + LDPC
FFT sizes	2k, 8k	2k, 4k, 8k	TBD	
PHY/Link layer interface	MPEG-2 TS	MPEG-2 TS	BaseBand Frames	BaseBand Frames
Link layer protocol		MPE	GSE	GSE
Multiplexing	Cont. CBR	Time-sliced	Time-Freq. sliced VBR	
Liner layer FEC	None	RS(255,191)	None	None
Bandwidth	8 MHz	8 MHz	8 MHz	27.5 MHz
Service rate/RF	~22.1 Mbps (64QAM, 2/3)	~8.3 Mbps (16QAM, 1/2&5/6)	~32.4 Mbps (256QAM, 3/4)	~58.8 Mbps (8PSK, 2/3)

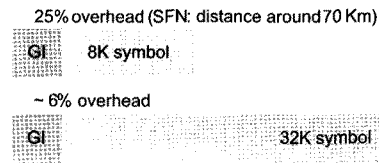
(그림 1) 처럼 BaseBand 프레임은 기저대역 헤더와 데이터로 구성되며 LDPC 코드에 의해 보호된다. LDPC 복호 후에도 남아있는 잔여에러는 BCH(Bose-Chaudhuri-Hocquengham) 코드를 통해 제거된다. 기저대역 헤더는 스트림 내의 데이터에 대한 정보와 동기 메커니즘에 대한 정보를 포함하고 있으며, Fully S2-compatible모드와 new high-efficiency모드로 구분된다.



(그림 1) FEC 프레임 구조 (BaseBand 프레임과 LDPC 코드)

FEC(Forward Error Correction) 프레임의 길이는 64800 비트이며 이것이 DVB-T2의 기본 단위가 된다. 저속의 데이터 서비스를 지원하기 위해서 16200 비트의 짧은 FEC 프레임

도 사용된다.

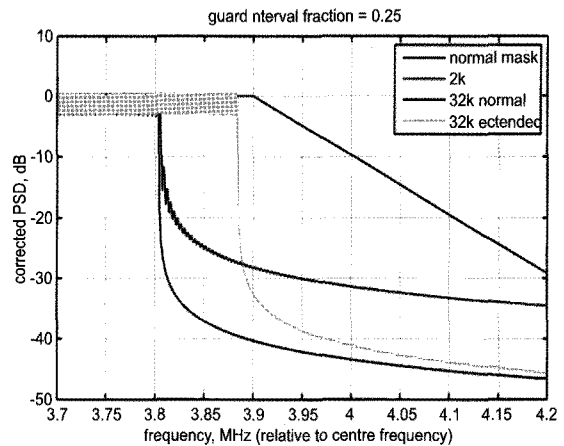


(그림 2) 가변적인 OFDM 심볼길이

DVB-T2의 물리계층 전송기법으로는 GI-OFDM(Guard Interval - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 이 사용된다. OFDM 심볼은 1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K등의 다양한 개수의 부반송파로 구성될 수 있다.

특히 16K와 32K는 SFN의 성능을 향상시키기 위해 사용되며 1K는 대역폭과 주파수의 가변성을 위해 사용된다. 샘플링 간격이 동일할 경우 부반송파의 개수를 증가시키면 심볼의 길이가 늘어나게 된다. (그림 2)처럼 8K가 1ms라면 32K는 4ms가 되는 것이다. 심볼의 길이를 증가시키면 주어진 SFN에 대해 GI의 오버헤드를 줄일 수 있고, GI가 주어지면 SFN을 증가시킬 수 있다.

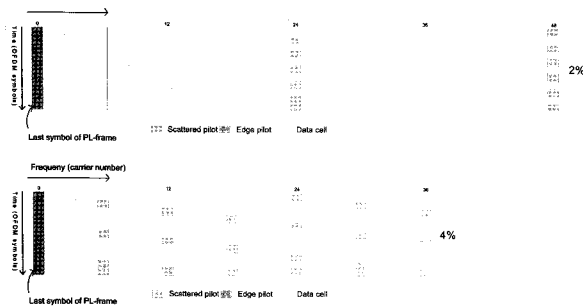
DVB-T2에서는 GI의 오버헤드를 줄이고 다양성을 제공하기 위해 GI의 범위를 확대하였다. 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4 등이 사용된다. (그림 3)은 부반송파 개수에 따른 스펙트럼 특성을 나타낸다. 32K의 스펙트럼을 살펴보면



(그림 3) 확장된 대역폭 모드

면 2K의 스펙트럼보다 빨리 감쇄됨을 알 수 있다. 이로 인해 스펙트럼 마스크를 만족시키면서 2% 정도의 대역폭 혹은 용량을 증가시킬 수 있다.

DVB-T2의 새로운 특징 중 하나는 데이터 셀을 변조하기 위해 QPSK, 16QAM, 64QAM등의 전형적인 변조방식 외에 256QAM이 추가적으로 사용된다는 것이다. 셀당 8비트가 소요되므로 용량을 크게 증가시킬 수 있다.



(그림 4) 파일럿 패턴과 오버헤드

다음으로 분산형(scattered) 파일럿과 연속형(continual) 파일럿에 대해 설명한다. 분산형 파일럿은 무선 채널의 영향을 수신기에서 추정하고 보상하기 위해 사용된다. DVB-T에서 분산형 파일럿은 12개의 부반송파 간격으로 배치되었으며 8% 정도의 오버헤드를 갖고 있다. 반면 DVB-T2에서는 8가지의 다양한 분산형 파일럿 패턴이 존재하며 주어진 GI에 따라 배분된다.

또한 파일럿 셀들은 밀도에 따라 최대 7 dB까지 전력이 상승되어 전송되기 때문에 채널추정에 요구되는 수신 SNR(Signal-to-Noise Ratio)이 크게 향상될 수 있다. 파일럿 패턴은 PN(Pseudo-random Noise) 시퀀스에 의해 변조되며 PN 시퀀스는 시간동기 알고리즘을 위해 사용될 수도 있다. (그림 4)는 파일럿 패턴의 예를 나타낸 것이다. 여기서 주의할 것은 에지 반송파와 프레임의 마지막 심볼에서 패턴이 변경된다는 것이다.

〈표 2〉 분산형 파일럿 패턴 파라미터

Pilot Pattern	Separation of pilot bearing carriers (x)	Number of symbols forming one scattered pilot sequence (y)
PP1	3	4
PP2	6	2
PP3	6	4
PP4	12	2
PP5	12	4
PP6	24	2
PP7	24	4
PP8	6	16

〈표 2〉는 분산형 파일럿 패턴 파라미터를 나타낸다. 앞서 설명하였듯이 PP1~PP8의 8개의 패턴을 갖고 있다. 표에서 두 번째 열에 나타난 숫자들은 주파수 영역에서의 파일럿 간격을 의미하며 세 번째 열에 나타난 숫자들은 파일럿의 OFDM 심볼간 간격을 의미한다.

〈표 3〉 SISO 모드에서 FFT 크기와 GI에 따른 분산형 파일럿 패턴

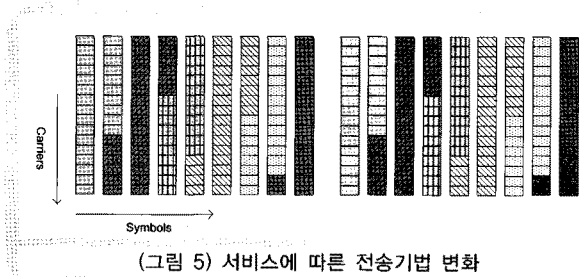
FFT	Guard Interval						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	PP7	PP4 PP6	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8	N/A	N/A
16K	PP7	PP7 PP4 PP6	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
8K	PP7	PP7 PP4	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
4K/2K	N/A	PP7 PP4	PP4 PP5	PP4 PP5	PP2 PP3	PP2 PP3	PP1
1K	N/A	N/A	PP4 PP5	PP4 PP5	PP2 PP3	PP2 PP3	PP1

〈표 3〉은 SISO(Single Input Single Output)에서 FFT 크기와 GI에 따른 파일럿 패턴을 정리한 것이다. 예를 들어 FFT 크기가 16K이고 GI가 FFT 크기의 1/8이라면 파일럿 패턴으로 PP2, PP3, PP8이 사용될 수 있다. PP3의 경우 〈표 2〉를 통해 주파수 영역에서 간격이 6이고 시간 영역에서 간격이 4임을 알 수 있다. 결과적으로 (그림 4)의 두 번째 그림과 같이 분산형 파일럿이 배치된다. 분산형 파일럿과 함께 연속형 파일럿도 DVB-T2에서 사용된다. 이것은 정밀한 주파수 동기나 위상 에러를 제거하기 위해 사용된다. DVB-T에서는

연속형 파일럿의 오버헤드가 2.5% 정도였지만 DVB-T2에서는 FFT 사이즈에 따라 달라진다. 1K, 2K 에서는 약 2.5% 이하이고 8K, 16K, 32K에서는 약 0.7% 이하이다. 연속형 파일럿 위치가 분산형 파일럿 위치와 겹칠 경우 오버헤드는 더 줄어들게 된다.

연속형 파일럿의 위치는 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)를 줄이기 위해 사용하는 톤(또는 부반송파)들과 겹치지 않도록 주의해야 한다.

DVB-T2는 서비스에 따라 전송기법의 강건성을 달리할 수 있다. 각 서비스는 고유의 변조 모드와 FEC 코드율을 가질 수 있다. 또한 각 서비스는 (그림 5)에서와 같이 프레임 내에서 데이터 셀들의 슬라이스(slice) 형태로 전송된다.



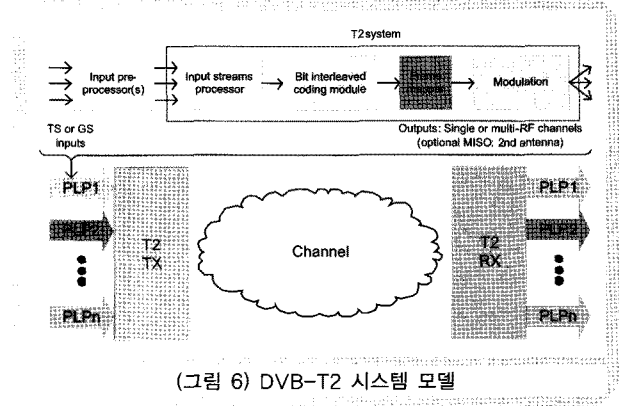
(그림 5) 서비스에 따른 전송기법 변화

슬라이스는 서비스 입력 스트림인 PLP(Physical Layer Pipe)의 일부이며 슬라이스 형태의 전송을 통해 수신기에서는 전력소모를 줄일 수 있다.

또한 슬라이스는 더 많은 시간 다이버시티를 얻기 위해 서브 슬라이스(sub-slice)로 분해될 수 있다. 각 PLP는 (그림 6) 처럼 독립적으로 처리된다. 즉 PLP에 따라 FEC, 변조방식, 인터리빙 방식(비트, 시간, 주파수) 등이 모두 달라질 수 있다. PLP는 단일 PLP와 다중 PLP로 나눌 수 있다.

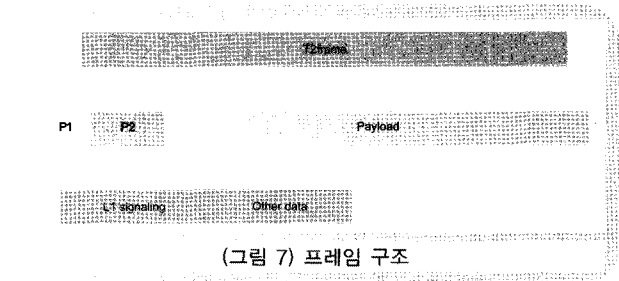
모든 PSI/SI (Program Specific Information/Service Information)가 포함된 트랜스포트 스트림이 단일 PLP를 통해서 전달될 수 있다. 다중 PLP에서는 최소 PSI를 포함한 단일 프로그램 트랜스포트 스트림이 해당 PLP를 통해 전달된다.

DVB-T2의 프레임 길이는 일반적인 150~250 ms이다. (그림 7)에 프레임 구조를 나타내었다. P1과 P2는 일종의 파일럿 신호이며 1% 이하의 오버헤드를 갖는다. P1은 프레임의 시작과 FFT 사이즈 등을 알려주는 신호로 사용되고 P2는



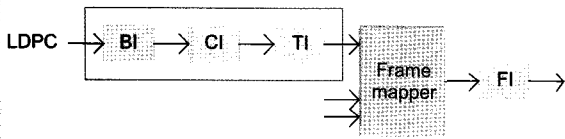
(그림 6) DVB-T2 시스템 모델

L1-프레임 구조 데이터(프레임 내에서의 PLP 셀들의 위치)와 서비스에 대한 PSI/SI 데이터 등을 전송하는데 사용된다.



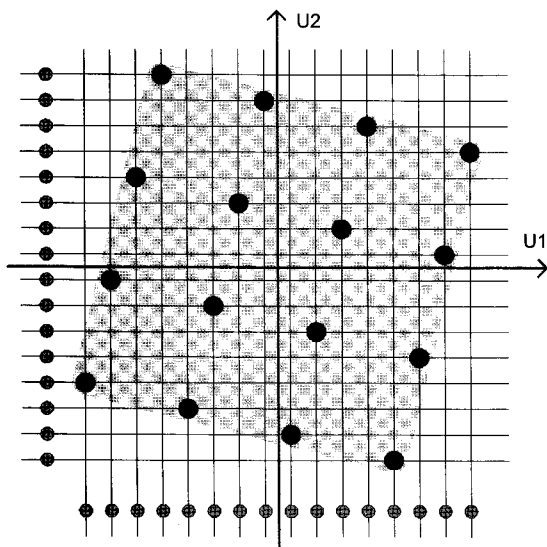
(그림 7) 프레임 구조

DVB-T2에서 사용되는 인터리빙 기법은 다소 복잡하다. LDPC코드는 랜덤하게 분포하는 비트 에러에 대해 우수한 성능을 나타내기 때문에 일정한 패턴을 갖는 에러나 버스트 에러는 피해야 한다. 앞으로 설명할 인터리버는 랜덤한 패턴의 에러가 발생하도록 사용되는 기술이다. DVB-T2에서는 (그림 8)과 같이 4가지 종류의 인터리버가 사용되며 각 PLP에 대해 적용된다. 비트 인터리버(BI: Bit Interleaver)는 한 FEC 블록 내에서 에러를 랜덤화하기 위해 사용되며 패리티(parity) 인터리버와 열 비틀(column twist) 인터리버로 구성된다. 시간 인터리버 (TI: Time Interleaver)와 셀 인터리버 (CI: Cell Interleaver)는 슬라이스나 서브 슬라이스 전체를 통해 FEC 블록들로부터 데이터 셀들을 분산시키기 위해 사용된다. 마지막으로 주파수 인터리버(FI: Frequency Interleaver)는 한 OFDM 심볼에서 인접한 데이터 셀들을 랜덤화하기 위해 사용된다. 이를 통해 주파수 선택성 페이딩에 강한 특성을 갖게 된다.



(그림 8) DVB-T2의 인터리빙 기법

주파수 선택성 페이딩에 의해 부반송파에 실린 데이터 셀이 심각하게 손상될 경우 많은 비트들이 소실될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 성좌도 회전(constellation rotation) 기법이 DVB-T2에서 사용된다. 그림 9에 나타난 것처럼 데이터를 전형적인 QAM 성좌도 (x,y)에 매핑한 후 축을 회전시켜 새로운 성좌도 (u1,u2)를 생성한다. u1과 u2는 서로 다른 셀들을 통해 전송되며 u1과 u2는 모두 원래의 (x,y) 정보를 포함하고 있다. 또한 서로 다른 독립적인 페이딩을 겪게 되므로 수신기에서 적절한 복호를 통해 이득을 얻을 수 있다. 코드율을 4/5로 가정하고 Rayleigh 채널과 15%의 부반송파 소실을 고려할 경우 성좌도 회전기법을 통해 약 5 dB의 이득이 발생한다 [1].

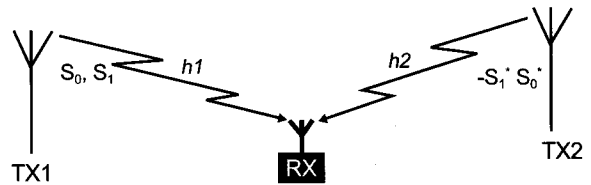


(그림 9) 성좌도 회전기법

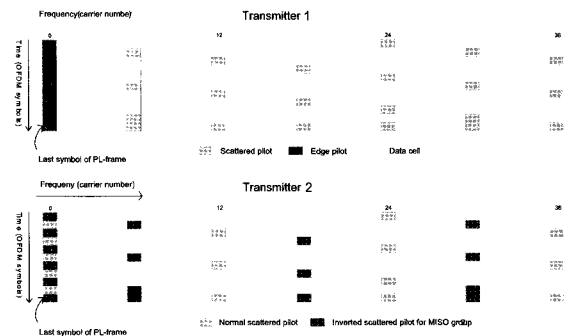
코드율을 4/5로 가정하고 Rayleigh 채널과 15%의 부반송파 소실을 고려할 경우 성좌도 회전기법을 통해 약 5 dB의

이득이 발생한다 [1].

DVB-T2에서는 송신 다이버시티 기법으로 (그림 10)의 Alamouti 기법이 사용된다. 송신 안테나 TX1은 S_0 과 S_1 의 데이터 셀을 전송하고 TX2는 $-S_1^*$ 과 S_0^* 의 데이터 셀을 전송한다. 두 안테나를 통해 전송되는 신호의 파일럿 패턴도 (그림 11)과 같이 변형된다. 송신 다이버시티 기법에 의해 SFN의 커버리지 영역이 대략 30% 정도 증가될 수 있다.



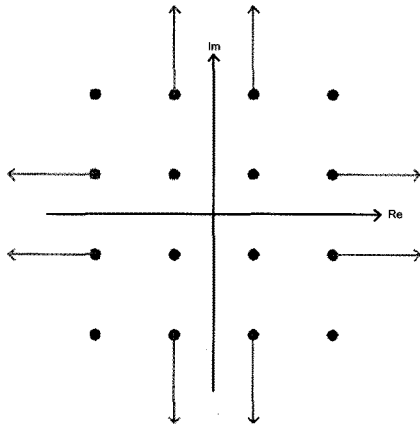
(그림 10) 송신 다이버시티 기법



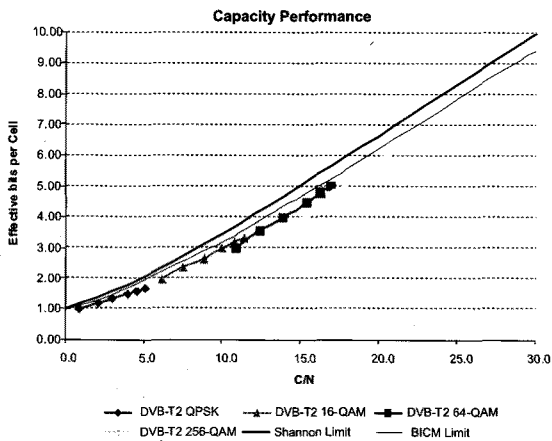
(그림 11) 송신 다이버시티를 위한 분산형 파일럿 패턴

OFDM심볼의 PAPR를 줄이기 위해 DVB-T2에서는 톤 예약 (tone reservation) 기법과 ACE(Active Constellation Extension) 기법이 사용된다. 톤 예약 기법은 1%에 해당하는 부반송파로 데이터나 L1/L2 신호를 전송하는 대신 PAPR을 줄이기 위한 임의의 복소수를 전송하는 방식이다. ACE 기법은 (그림 12)에 나타난 것처럼 피크들을 없애기 위해 성좌도를 왜곡시키는 방식이며 바깥쪽 성좌점들을 동적으로 확장시킨다. 이를 통해 증폭기 최대 전력 요구사항이 20%로 줄어들 수 있다.

(그림 13)은 가우시안(Gaussian) 잡음채널에서 DVB-T2의 용량성능을 나타낸 것이다. 맨 위에 놓인 실선은 Shannon



(그림 12) PAPR 경감을 위한 ACE 기법



(그림 13) DVB-T2의 용량 성능 [1]

Limit를 나타내고 바로 아래의 실선은 BICM(Bit-Interleaved Coded Modulation) 성능을 나타낸다. 각 변조방식에 따라 DVB-T2의 성능을 도시하였으며 LDPC 코드에 의해 이론적인 한계에 매우 근접한 성능이 나타남을 알 수 있다. DVB-T와 비교했을 때 대략 30%의 용량 이득이 발생한다.

마지막으로 <표 4>에 DVB-T2의 물리계층 특징을 DVB-T와 비교하여 나타내었다. 표를 통해 알 수 있듯이 FEC 코드율에 3/5, 4/5가 추가되었고 GI에 19/256, 19/128, 1/128이 추가되었다. FFT 사이즈도 DVB-T에 비해 다양화되었고 파일럿에 대한 오버헤드가 줄었음을 알 수 있다.

<표 4> DVB-T와 DVB-T2의 비교

	DVB-T	DVB-T2
FEC	CC + RS	LDPC + BCH
Modes	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
FFT Size	2K, 8K	1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K
Scattered Pilots	8% of total	1%, 2%, 4%, 8% of total
Continual Pilots	2.5% of total	0.35% of total

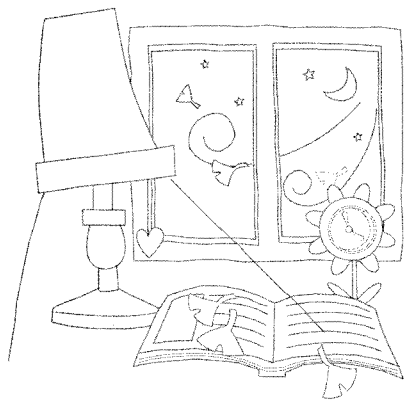
III. 결 론

본고에서는 차세대 지상파 TV 표준인 DVB-T2에 대해 물리계층을 중심으로 살펴보았다. 성능향상을 위해 DVB-S2의 LDPC/BCH 코드가 사용되었으며 PAPR 감쇄기법과 송신 다이버시티 기법이 도입되었다. 기존 DVB-T 표준에 비해 FFT 사이즈, GI개수, 분산형 파일럿 패턴 등이 다양화되었고 256QAM이 추가되었다. 이로 인해 전송 용량은 증가하고 오버헤드는 줄어들게 되었다. DVB-T2는 기존의 DVB-T와 공존할 수 있으며 그에 비해 용량을 30% 이상 증가시킬 수 있는 우수한 시스템이다. 향후 ASO를 통해 회송되는 방송 주파수를 활용한다는 측면에서 경제적 파급효과가 클 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] J. Bigeni, "The New Terrestrial Television Standard DVB-T2," KOBA2008 Conference, May 2008.
- [2] Digital video broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), Draft DVB-T2 Specification Version 0.5.8, European Telecommunications Standards Institute (ETSI).

- [3] DVB organization <http://www.dvb.org/technology/>
- [4] A. Nazarov, G. Bauer and R. Jakoby, "DVB-T1/DVB-T2 Overlay Network Optimization with Minimal Cost by Simulated Annealing," VTC2004-Fall., vol. 5, Sept. 2004, pp. 3349 - 3353.
- [5] DVB-T2 Call for Technologies (Including Commercial Requirements), DVB Forum, 16 April 2007, [Online]. Available: http://www.dvb.org/groups_modules/technicalmodule/
- [6] DVB Bluebook A1 16, May 2007. [Online]. Available: <http://www.dvb.org/>
- [7] U. Reimers and A. Morello, "DVB-S2, the second generation standard for satellite broadcasting and unicasting," Int. J. Satell. Commun. Network., vol. 22, no. 3, May-Jun, 2004.



약 력



서 정 옥

1999년 한국항공대학교 학사
 2001년 한국항공대학교 석사
 2005년 - 현재 연세대학교 박사과정
 2001년 - 현재 KETI 모바일단말연구센터 선임연구원
 관심분야: 방송통신융합시스템



김 현 식

2002년 인하대학교 학사
 2004년 인하대학교 석사
 2004년 - 현재 KETI 모바일단말연구센터 전임연구원
 관심분야: 방송통신융합시스템



전 원 기

1994년 중앙대학교 학사
 1996년 중앙대학교 석사
 1999년 중앙대학교 박사
 2001년 - 현재 KETI 모바일단말연구센터 책임연구원
 관심분야: 방송통신융합시스템



백 중 호

1994년 중앙대학교 학사
 1997년 중앙대학교 석사
 2007년 중앙대학교 박사
 2003년 - 현재 KETI 모바일단말연구센터 센터장
 2007년 - 현재 서울여자대학교 겸임교수
 관심분야: 방송통신융합시스템



김 동 구

1983년 한국항공대학교 학사
 1985년 U.S.C. 석사
 1992년 U.S.C. 박사
 1994년 - 현재 연세대학교 전기전자공학과 교수
 관심분야: 이동통신, MIMO 기술, 다중접속기술 등