

DOCSIS 3.1 고차 혼합 변조 성능 분석

정준영, 최동준, 허남호

한국전자통신연구원

{jungjy, djchoi, namho}@etri.re.kr

Performance Analysis of High order Mixed Modulation of DOCSIS 3.1

Jung, Joon-Young, Choi, Dong-Joon, Hur, Namho

Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

케이블 방송망에서 최대 10Gbps 데이터 전송을 위해 최근 북미에서 표준화된 DOCSIS 3.1(Data over Cable Service Interface Specifications Version 3.1)에서는 고차 혼합 변조(Mixed Modulation) 방식을 제시하였다. DOCSIS 3.1 은 하향 데이터 전송을 위해 최대 192MHz 의 대역에서 4K 또는 8K 다중 직교 반송파를 사용한다. 특히 채널 오류 정정을 위한 채널 부호화 방법으로 유럽의 차세대 케이블 방송 표준인 DVB-C2(Digital Video Broadcasting - Cable Version 2)에 정의된 BCH(Bose, Chaudhuri, and Hocquenghem)와 LDPC(Low Density Parity Check) 연접부호를 사용한다. 단, DOCSIS 3.1 에서는 DVB-C2 와 달리 부호율 8/9 의 Short Mode 부호만을 사용하며 최대 16384-QAM 까지 사용한다. 하나의 부호율을 사용하기 때문에 QAM 차수에 따른 요구 SNR 의 차가 크게 된다. 주어진 채널 상황에서 최적의 전송용량을 얻기 위해 QAM 차수에 따른 요구 SNR 의 차를 줄일 수 있는 방법으로 혼합 변조가 도입되었으며, 본 논문에서는 혼합 변조에 따른 수신 성능을 제시한다.

1. 서론

케이블 네트워크는 디지털 방송 서비스와 고속 데이터 통신 사업 및 VoIP 시장에서의 가시적인 성장세를 바탕으로 IP 기반의 비디오/오디오/데이터의 통합 멀티미디어 서비스 경쟁에서 가장 유리한 위치에 있다고 할 수 있다. 이는 양방향 서비스가 가능한 HFC 망 고유의 장점뿐만 아니라, DOCSIS 및 OpenCable 과 같은 케이블 관련 표준 제정과 상기 표준 각각이 망 관련 국제 표준을 유연하게 수용함으로써 인해 시스템들 간의 상호 운용이 용이한 점을 기반으로 한다.

DOCSIS 3.1(Data over Cable Service Interface Specifications Version 3.1) 규격은 최근 북미 케이블 표준화 단체인 CableLabs 에서 케이블 방송망에서 최대 10Gbps 데이터 전송을 위해 개발된 표준이다. 이는 광케이블이 닥내까지 설치되어야 가능할 것을 여겨졌던 10Gbps 급 전송이 기존의 케이블 방송망에서 가능할 것을 판단되어 새로운 주목을 받고 있다. DOCSIS 규격은 크게 MAC(Media Access Control) 계층과 PHY(Physical) 계층으로 나뉘어진다. 기존의 DOCSIS 규격들이 주로 MAC 계층에서 기능이 향상된 반면, DOCSIS 3.1 규격의 큰 특징 중 하나는 PHY 계층의 새로운 전송 방식을 도입했다는 점이다 [1].

본 논문에서는 DOCSIS 3.1 규격에서 주어진 채널 환경에서 최적의 전송 효율을 가지기 위해 새롭게 도입된 혼합 변조(Mixed Modulation)의 수신 성능을 제시한다.

2. DOCSIS 3.1 혼합 변조(Mixed Modulation)

기존 북미 케이블 전송 표준인 ITU-T J.83B 규격에서는 64 또는 256-QAM(quadrature amplitude modulation) 기반의 단일 반송파 변조와 채널 오류정정 방식으로 RS(Reed Solomon)와 TCM(Trellis Coded Modulation) 연접 부호를 사용하였다. 기존의 전송 표준은 후방 호환성을 위해 DOCSIS 3.0 규격까지 하향 데이터 전송을 위해 변경 없이 사용되었으나, DOCSIS 3.1 규격에서는 주파수 사용 효율을 높이기 위한 새로운 전송 방식을 도입하게 되었다. 이는 유럽의 차세대 케이블 전송 방식인 DVB-C2(Digital Video Broadcasting - Cable Version 2) 규격의 개발과 그 맥락을 같이한다고 볼 수 있다.

DOCSIS 3.1 에서는 DVB-2 와 유사하게 직교 분할 다중 반송파 변조방식인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 채널 오류 정정을 위해 BCH(Bose, Chaudhuri, and Hocquenghem)와 LDPC(Low Density Parity Check) 연접부호를 사용한다. 하지만 DVB-C2 와는 달리 16-QAM 에서 최대 16384-QAM 의 초고차 변조 포맷을 지원하며, 최소 24 에서 최대 192MHz 의 광역 채널을 사용한다. 또한 DVB-2 가 다양한 채널 부호율을 지원하는 반면 DOCSIS 3.1 에서는 8/9 하나의 부호율만 지원한다.[1, 2]

DOCSIS 3.1 규격에서 특이한 사항들 중 하나는 혼합 변조 방식을 사용한다는 점이다. 혼합 변조 방식이란 하나의 OFDM

심볼 내에서 각 서브 캐리어 별로 다른 QAM 변조 포맷을 사용하는 것을 의미한다. DOCSIS 3.1 에서는 채널 부호화 하나의 부호율만 지원하기 때문에 QAM 변조 포맷에 따른 수신기의 요구 SNR 격차가 커져 주어진 채널 환경에서 최적의 전송 효율을 얻을 수 없다. 이를 보완하기 위해 혼합 변조를 사용하게 된다. 그림 1 의 예에서와 같이 1024QAM 과 2048QAM 간에 요구 SNR 이 3dB 정도 차이가 난다면, 1024QAM 과 2048QAM 을 서브 캐리어 별로 각각 50% 정도로 사용하는 혼합 변조를 사용하여 요구 SNR 의 격차를 1.5dB 정도로 줄일 수 있다.

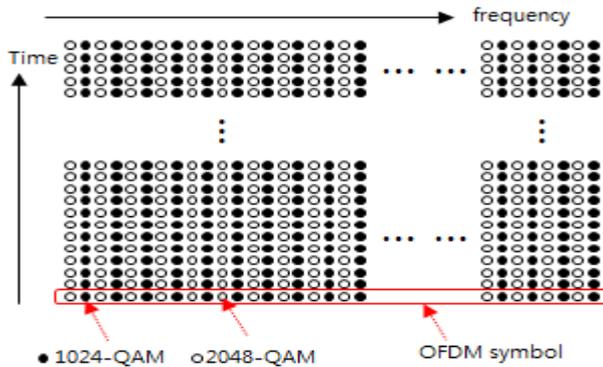


그림 1 DOCSIS 3.1 혼합 변조의 예

3. 시뮬레이션 및 결과

DOCSIS 3.1 의 고차 혼합변조 성능을 살펴보기 위해 BCH 복호를 위해 Berlekamp Masser 알고리즘을 적용하고 LDPC 복호를 위해 Sum Product 알고리즘을 사용 하였다. 여기서 알고리즘에 대한 구체적인 내용은 생략한다. 채널 모델은 케이블 채널에서 일반적으로 사용되는 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널을 적용하였다. 그리고 OFDM 에 대한 수신은 완벽하게 이루어 졌다는 가정 하에, QAM 심벌에 대한 SNR(Signal to Noise Ratio)에 따라 성능을 검증하였다. 시뮬레이션 환경은 표 1 과 같다.

표 1. 시뮬레이션 환경

구분	내용
채널부호	BCH+ LDPC(R= 8/9, N=16,200bit)
인터리버	Parity interleaving+ column-twist interleaving
QAM 맵핑	Bit-to-cell demultiplexing + gray mapping
FFT 크기	4K
변조 포맷	1024, 2048, 4098, 8192, 16,384-QAM
채널	AWGN

그림 2 는 DOCSIS 3.1 의 고차 변조에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 2 의 결과에서 동일한 BER 성능을 얻기 위해 QAM 차수 별로 약 2.6dB 정도의 SNR 차를 보인다. 2.6dB 의 SNR 차는 특정 채널 환경에 유연하게 대처하기 어렵다. 또한 16384-QAM 을 지원하기 위해서는 41dB 이상의 SNR 을 요구한다. 그림 3 은 혼합 변조를 적용하여 SNR 격차를 살펴본 결과이다. 혼합 변조는 인접한 두 QAM 차수의 심벌을 OFDM 의 각 서브 캐리어에 50%씩 적용하였다. 그림 2 의 결과로부터 SNR 격차를 약 1.3dB 정도로 줄일 수 있음을 알 수 있다. 이는 혼합 변조를 사용하는 경우 두 QAM 차수의 심벌을

어떠한 비율로 포함하는가에 따라 특정 채널 환경에서 가능한 수신 SNR 로 적용이 가능하다는 것을 알 수 있다.

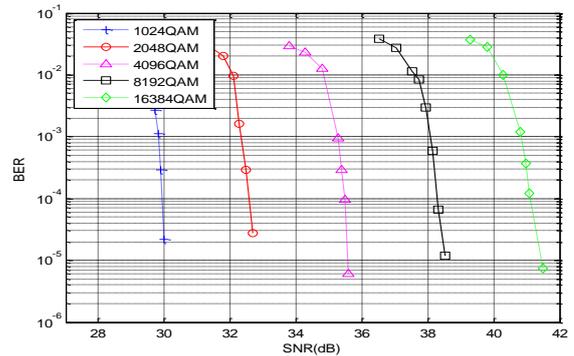


그림 2. DOCSIS 3.1 고차 변조 성능

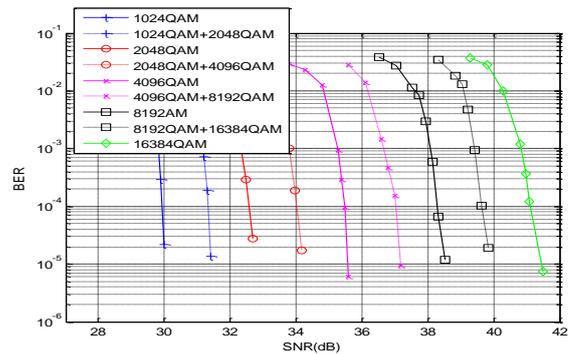


그림 3. DOCSIS 3.1 고차 혼합 변조 성능

4. 결론

본 논문에서는 DOCSIS 3.1 에서 제시된 고차 혼합 변조의 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 시뮬레이션 결과로부터 혼합 변조를 통해 특정 채널 환경에 적합한 SNR 로 전송이 가능함을 확인할 수 있었다. 단 운용 측면에서 혼합 변조를 사용하는 경우 수많은 비율 조합이 생길 수 있으며, 이를 모두 지원하기에는 어려움이 따른다. 따라서 운용을 위한 최소의 전송 프로파일을 적용하는 것이 필요할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2014-044-053-001, FTN 기반 유무선 방송시스템 고도화 기술 개발]

참고문헌

[1] CableLabs CM-SP-PHYv3.1-I02-140320, "Data-Over-Cable Service Interface Specifications 3.1 - Physical Layer Specification," March 20, 2014.
 [2] DVB A138, "Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2)," March 2010