

OpenCable 시스템과 DVB-C 시스템의 전송성능 분석

이재련*, 윤영준*, 손원*, 서재현**, 권오형**

* 경희대학교 전자정보학부 전파공학과, ** 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소

Transmission Performance Analysis of OpenCable System and DVB-C System

J.R. Lee*, Y.J. Yoon*, W. Sohn*, J.H. Seo**, O.H. Kwon**

* School of Electronics and Information, Kyung Hee University, ** ETRI
gflee@orgio.net

요 약

이 논문에서는 미국과 유럽에서 디지털 CATV 전송 방식으로 각각 채택하고 있는 OpenCable 시스템과 DVB-C 시스템의 전송성능을 비교하였다. 채널 환경의 신호손상요소는 랜덤잡음과 CTB (Composite Triple Beats) 잡음을 고려하였다. 전송성능을 비교하기 위하여 각 전송시스템에 대한 모의실험장치를 S/W적으로 구현하여, 각 잡음 값에 따른 BER(Bit Error Rate) 값을 구하였다. 동일한 조건에서 모의실험을 실시한 결과, 64-QAM 모드에서는 OpenCable 방식이 우수하고, 256-QAM 모드에서는 두 가지 전송방식의 성능이 비슷하다는 결과를 얻었다.

1. 서 론

이 논문은 미국의 OpenCable 표준[1]과 유럽의 DVB-C 표준[2]에 따른 디지털 CATV 전송 시스템의 성능을 동일 채널환경에서 모의실험을 통해 비교·분석하였다. 채널환경은 랜덤잡음과 CTB(Composite Triple Beats) 잡음을 고려하였으며, 극소반사(Micro-reflection)에 의한 영향은 주로 수신단의 블라인더 등화기 성능에 따라 달라지기 때문에, 두 표준간의 전송성능을 비교하기에는 적당한 좌표가 될 수 없으므로 고려하지 않았다.

DVB-C 표준은 8 MHz와 6 MHz 대역에 대한 전송 규격이 있으나, 여기서는 OpenCable 표준과 동일한 전송환경을 적용시키기 위하여 6 MHz에 대한 경우만을 고려하였다. 또한 OpenCable과 DVB-C 표준은 동일한 6 MHz 채널 대역폭을 사용하더라도 각각 다른 값의

롤-오프 요소, 채널 비트율 및 정보 비트율을 가지고 있으므로, 공정한 전송성능을 비교하기 위하여 C/N에 대한 BER 값을 이용하였다.

전송성능과 밀접한 관계를 갖는 채널부호화의 경우, DVB-C 방식은 채널 부호율이 0.9216, OpenCable 방식은 채널 부호율이 64 QAM에서는 0.889, 256 QAM에서는 0.905 정도이다. 채널 부호화 방식은 DVB-C에서는 RS 부호화기만을 사용하나, OpenCable에서는 RS 부호화기와 트렐리스 부호화기를 함께 사용하고 있다. 또한 DVB-C 표준은 인터리빙 깊이가 고정되어 있으나, OpenCable 표준은 가변 인터리빙 깊이를 채택하고 있다. 일반적으로 인터리빙 깊이가 클수록 버스트 오류를 정정하는 능력이 크기 때문에, OpenCable 시스템은 여러 가지 인터리빙 깊이에 대하여 전송성능을 분석하였다.

OpenCable 방식은 DVB-C 방식보다 낮은 채널 부호율을 사용할 뿐만 아니라, 복잡도가 높은 부호화기를 사용하고 있어, 채널잡음에 강할 것으로 예측되며, 모의 실험을 통하여 이에 대한 정확한 분석을 하고자 한다.

2. DVB-C 및 OpenCable 시스템

미국의 OpenCable 표준과 유럽의 DVB-C 표준을 따르는 디지털 CATV 전송 시스템은 모두 188바이트 단위의 패킷으로 이루어진 MPEG-2 전달 계층 데이터를 입력으로 하며, 시스템 구성은 크게 채널 부호화 부분과 변조 부분으로 나눌 수 있다. 채널 부호화에는 DVB-C 표준의 경우 랜덤화기, RS 부호화기, 길쌈 인터리버 등을 포함하고, OpenCable 표준의 경우 RS 부호화기, 길쌈 인터리버, 랜덤화기, 트렐리스 부호화기

등을 포함한다. 채널 부호화는 채널 잡음에 의해 발생하는 오류를 정정함에 목적을 두는데 DVB-C 표준의 경우 RS 부호화기가 채널 오류정정을 전담함에 비하여, OpenCable 표준에서는 연접 부호화 방식을 채택하여 외부 부호기로 RS 부호화기를, 내부 부호기로 트렐리스 부호화기를 적용함으로써 성능 향상을 도모하고 있다. 길쌈 인터리버도 두 표준에 공통으로 적용되었으나, DVB-C 표준에서는 인터리빙 깊이가 고정되어 있는 반면에, OpenCable 표준에서는 채널 환경에 따라 인터리빙 깊이를 변경 할 수 있도록 하였다.

두 가지 표준 모두 64-QAM 변조방식과 256-QAM 변조방식에 대한 전송 규격을 갖고 있다.

<표 1> DVB-C 와 OpenCable 전송규격의 비교.

구 분	DVB-C	OpenCable
채널 대역폭	6.0 MHz	6.0 MHz
변조 방식	64-QAM, 256-QAM	64-QAM, 256-QAM
Inner Code	None	Trellis coded at rate 4/5, overall rate: 14/15 (64-QAM), 19/20(256-QAM)
Outer Code	RS (204, 188)	RS (128, 122)
심볼율 (Mbaud)	5.217	5.057 for 64-QAM, 5.36 for 256-QAM
채널 비트율 (Mbps)	31.302 for 64-QAM, 41.736 for 256-QAM	30.342 for 64-QAM, 42.884 for 256-QAM
정보 비트율 (Mbps)	28.8 for 64-QAM, 38.5 for 256-QAM	26.97 for 64-QAM, 38.81 for 256-QAM
Excess BW	15 %	18 % for 64-QAM 12 % for 256-QAM

3. 채널 모델링

디지털 CATV 망은 여러 가지 신호손상 요소에 의하여 영향을 받을 수 있으며, 신호손상 요소로는 랜덤 잡음, 찌그러짐, 극소반사, AM 험, 잉여 FM 등이 있으나, 여기서는 이들 중 랜덤잡음과 찌그러짐을 고려하여 채널을 모형화 하였다. 랜덤잡음은 주로 CATV 시스템의 간선, 분기 및 연장증폭기를 통하여 시스템에 부가되는 것으로 백색 가우시안 잡음이 채널상에 부가되도록 하였다.

대부분의 상호변조에 의한 찌그러짐은 초간선, 동축 분배망 및 가입자 수신기에서 생성되는 것으로, CSO (Composite Second Order)와 CTB (Composite Triple Beat)가 있으나, 각 증폭기를 푸시-풀 방식을 이용할 때, CSO는 무시할 수 있으므로, CTB만 고려하였다. CTB에 대한 채널 모델링은 비대칭도가 1.5이고 눈금인

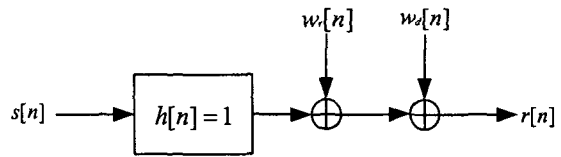
자를 변수로 한 와이블 분포를 가지는 것으로 하였다.[3] 와이블 분포에 따른 CTB 잡음은 I 및 Q 채널에 와이블 분포를 가지는 랜덤숫자를 RF 신호에 더하는 방식으로 시스템에 추가하였다. 이 때의 잡음밀도는 (식 1)에 따라 구하였다.

$$N_0 = \frac{E[r^2]}{2} = \frac{b^2}{a} \Gamma\left(\frac{2}{a}\right) \quad (1)$$

여기서, a 는 분포의 형태를 결정하는 비대칭도를 의미하고, b 는 크기를 결정하는 눈금 인자이다.

헤드 엔드부에서의 RF 출력신호를 $s(n)$, 수신점에서의 수신신호를 $r(n)$, 랜덤 잡음을 $w_r(n)$, 합성 찌그러짐을 $w_d(n)$ 라고 할 때, 채널모델은 (식 2) 및 (그림 1) 과 같이 표현될 수 있다.

$$r(n) = s[n] + W_r[n] + W_d[n] \quad (2)$$



<그림 1> 채널 모델

4. 모의실험 및 결과분석

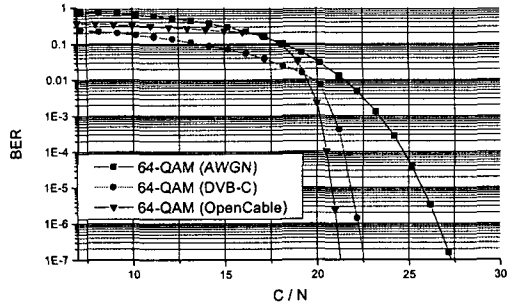
DVB-C 표준과 OpenCable 표준의 전송 성능을 실험하기 위해 각 전송시스템을 소프트웨어로 구현하였다. 소스신호인 MPEG-2 전달 데이터는 '0'과 '1'을 동일한 빈도로 발생시키는 랜덤정수 발생기에 의해 생성되고, 송신단의 채널 부호화와 변조과정을 거친 후, 채널을 통과하게 되며, 수신단에서는 송신단의 반대과정으로 원래의 소스신호를 복원하게 된다. 복원된 신호는 송신단에서 발생된 소스신호와 비트단위로 비교되며, 산출된 오류 개수로 BER을 구하였다.

OpenCable 시스템의 경우에는 길쌈 인터리버의 인터리빙 깊이가 가변이기 때문에, 인터리빙에 의한 정정가능한 최대 연접오류 기간이 DVB-C 방식과 동일하도록 32를 사용하였으며, 수신단의 비터비 복호기는 3비트 연성 판정 방식을 사용하였다.

4.1 랜덤잡음의 영향

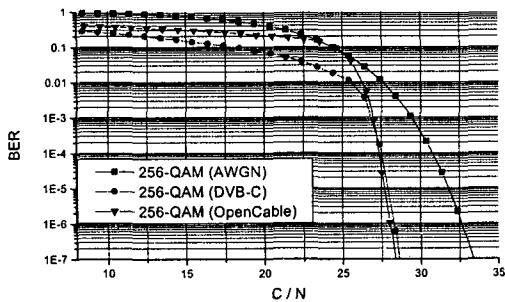
64-QAM의 경우 두 전송시스템의 랜덤잡음에 대한 모의실험 결과는 (그림 2)와 같다. (그림 2)에 따르면, BER 값이 1.0×10^{-4} 보다 작은 경우에 OpenCable 시스템

이 DVB-C 시스템과 동일한 BER 값을 갖기 위해서, C/N값이 1.3 dB 정도 작아도 되기 때문에, 성능면에서 DVB-C보다 우수함을 알 수 있다.



<그림 2> 랜덤잡음에 대한 성능비교 (64-QAM)

256-QAM 경우에 대한 모의실험 결과는 (그림 3)과 같다. BER값이 1.0×10^{-4} 보다 작은 경우에 OpenCable 시스템이 DVB-C 시스템보다 동일한 BER을 갖기 위한 C/N값이 약 0.2 dB 정도 작아도 된다는 것을 알 수 있다.

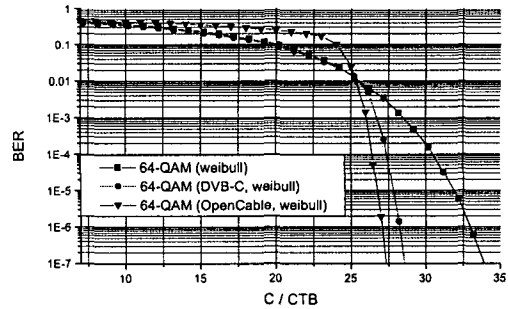


<그림 3> 랜덤잡음에 대한 성능 비교(256-QAM)

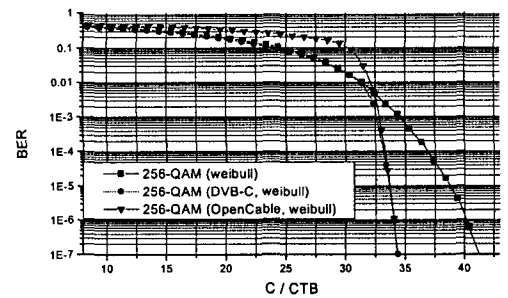
4.2 CTB 잡음의 영향

(그림 4)는 CTB 잡음 환경에서 64-QAM 변조방식에 대한 모의실험 결과를 보여주고 있다. CTB 잡음의 경우에는 OpenCable 방식이 DVB-C 방식과 동일한 BER 값을 얻기 위해서 약 1.2 dB 정도 낮은 C/CTB가 요구된다는 것을 알 수 있다.

CTB 잡음에 대한 256-QAM 변조방식의 실험 결과는 (그림 5)에 나타나 있다. 이 결과를 보면 BER 값이 10^{-4} 이하인 경우에는 동일한 C/CTB 값에 대한 DVB-C 방식과 OpenCable 방식의 성능이 거의 동일함을 볼 수 있다.



<그림 4> CTB 잡음에 대한 성능비교 (64-QAM)



<그림 5> CTB 잡음에 대한 성능비교(256-QAM)

4.3 랜덤잡음과 CTB 잡음을 동시에 적용한 경우

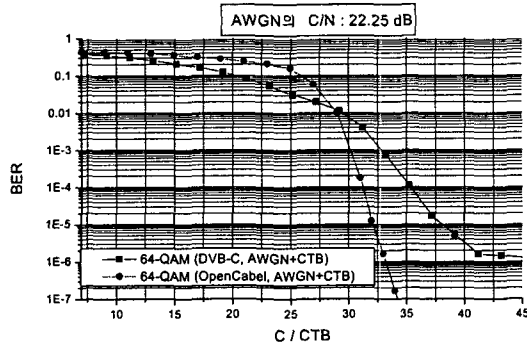
실제로 CATV 망을 통해 신호가 전송될 경우에는 앞서 살펴본 랜덤잡음과 CTB 잡음 모두가 전송성능에 영향을 미친다. 따라서 두 가지 잡음 형태를 모두 고려한 전송 성능을 분석해 볼 필요가 있다.

랜덤잡음과 CTB 잡음이 공존할 때의 두 시스템의 성능비교를 하기 위해서는 경우의 수가 너무 많기 때문에, 랜덤잡음이 어느 정도 있을 때, CTB 값의 변화에 따른 BER값을 모의실험을 통하여 구하였다. 64-QAM 변조 모드에 대한 모의실험 결과는 (그림 6)과 같다.

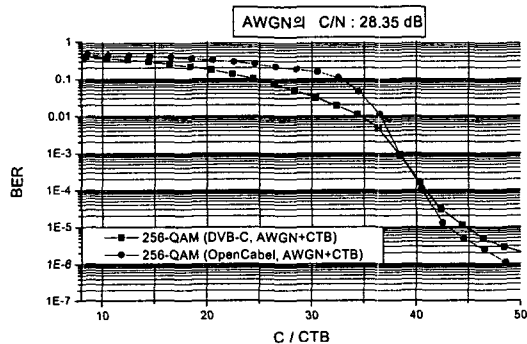
(그림 6)에 따르면, 두 시스템의 BER 값이 수렴하는 값이 다른데, 이는 각 시스템이 동일한 C/N에 대한 BER 값이 서로 다르기 때문이다. 결과를 살펴보면 DVB-C 시스템은 C/CTB 값이 40 dB 이상으로 높아지더라도 성능의 향상이 거의 없음을 알 수 있다. 이는 시스템 전체의 성능이 주어진 AWGN에 의해 제한되기 때문이다. 반면에 OpenCable 시스템의 경우 C/CTB의 증가에 따라 계속 BER 값이 낮아지고, 결과적으로 매우 낮은 BER 값에서 수렴할 것을 예측할 수 있다.

(그림 7)은 256-QAM 변조방식을 사용하였을 경우의 모의실험 결과이다. 이 결과에 따르면, 10^{-4} 정도의

BER 값에서는 두 시스템의 성능이 거의 같으며, 그 이하의 BER 값에서는 OpenCable 시스템이 DVB-C 시스템보다 더 좋은 성능을 보이고 있다.



<그림 6> 랜덤잡음과 CTB 잡음이 동시에 주어질 때의 성능비교 (64-QAM).



<그림 7> 랜덤잡음과 CTB 잡음이 동시에 주어질 때의 성능비교 (256-QAM).

6. 결 론

이 논문에서는 유럽과 미국의 디지털 CATV 전송 규격인 DVB-C 방식과 OpenCable 방식의 전송 성능을 동일한 채널 환경에서 모의실험을 통하여 비교하였다.

모의실험 결과, OpenCable 시스템은 64-QAM 모드에서 DVB-C 시스템보다 성능이 우수함을 보여 주었다. 랜덤잡음 환경에서는 C/N 값에 대하여 약 1.3 dB 정도 우수함을 보여주었으며, CTB 잡음 환경에서는 C/CTB 값에 대하여 약 1.2 dB 정도 우수함을 보여 주었다.

256-QAM 모드에서는 두 시스템의 BER 성능 차이가 크지 않았으며, OpenCable 시스템이 DVB-C 시스템에 비해 약간 성능이 앞서거나 거의 같은 결과를 보였다. 64-QAM 모드일 때와 다른 결과를 갖는 이유는 OpenCable 방식이 256-QAM 모드에서 사용하고 있는

부호율이 64-QAM 모드일 때에 비하여 큰 값을 사용하고 있을 뿐만 아니라 틀 오프 값을 더 작은 값을 사용하기 때문이다. 실험 결과 랜덤잡음 환경에서는 OpenCable 방식이 DVB-C 방식보다 C/N 값에 대하여 약 0.2 dB 정도 우수함을 보여 주었고, CTB 잡음환경에서는 DVB-C 방식과 OpenCable 방식의 성능이 거의 유사함을 알 수 있었다.

동일한 잡음 환경에 대한 두 시스템의 BER 성능을 비교해 본 결과, 전체적으로 OpenCable 방식이 DVB-C 방식에 비해 성능이 우수한 것으로 나타났다. 이러한 차이는 DVB-C 방식이 채널 오류정정에 RS 부호화기만을 사용하나, OpenCable 방식은 RS 부호화와 더불어 길쌈부호화기를 채택한 TCM 변조를 함께 사용하고 있기 때문인 것으로 판단되며, 결국 OpenCable 방식은 시스템의 복잡도를 높임으로써 동일한 크기의 잡음 환경에서 좀 더 우수한 성능을 갖는 것으로 나타났다. 또한 OpenCable 방식에서 인터리빙 깊이가 증가할 때, 성능 차는 좀 더 커질 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] SCTE DVS/031r5, Digital Video Transmission Standard for Cable Television, July 2000.
- [2] EN 300 429 v1.2.1, Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems, April 1998.
- [3] K. Maeda and K. Utsumi, "Bit-Error Rate of M-QAM Signal and Its Analysis Model for Composite Distortions in AM/QAM Hybrid Transmission", IEEE Transaction on Communications, Vol. 47, No. 8, August 1999, pp.1173-1180.
- [4] Winstone I. Way, Broadband Hybrid Fiber/Coax Access System Technologies, Academic Press, San Diego, 1999.