

OpenCable 방식과 DVB-C 방식의 전송성능에 관한 연구

준회원 이재련*, 정회원 손원*

Studies on the Transmission Performance of OpenCable and DVB-C

Jae-Ryun Lee* Associate Member, Won Sohn* Regular Member

요 약

이 논문은 미국과 유럽에서 디지털 CATV (Community Antenna Television) 전송방식으로 각각 채택되고 있는 OpenCable 방식과 DVB-C (Digital Video Broadcasting-Cable System) 방식의 전송성능을 모의실험을 통하여 동일한 채널환경에서 비교 및 분석하였다. 두 방식을 공정하게 비교하기 위하여, 랜덤잡음과 CTB (Composite Triple Beats) 잡음을 신호손상요소로서 포함한 채널 모형을 고려하였으며, 가변 인터리빙 깊이 기능을 가지는 OpenCable 전송시스템은 여러 가지 인터리빙 깊이에 대한 전송성능을 분석하였다. 전송성능을 비교하기 위하여 각 전송방식에 대한 송수신 시스템을 소프트웨어로 구현한 다음, C/N값의 증가에 따른 BER(Bit Error Rate) 값을 비교 및 분석하였다. 모의실험결과, 각 잡음에 대하여 BER 값 10^{-6} 을 얻기 위한 C/N 값이 64-QAM 모드에서는 OpenCable 방식이 DVB-C 방식보다 약 1.2 dB 정도 낮았으며, 256-QAM 모드에서는 두 방식이 유사하다는 결과를 얻었다.

ABSTRACT

This paper compares and analyzes the transmission performance of the OpenCable system and the DVB-C system which are adopted as the digital CATV transmission standard in U.S.A. and Europe respectively through computer simulation under the same channel environment. We considered the channel environment including the random noise and the CTB (Composite Triple Beats) noise as channel impairments in order to compare the two standard fairly. Additionally, we analyzed the transmission performance of the OpenCable system for the various interleaving depths. We implemented each transmission system by software, and we analyzed BER values with respect to the C/N in order to compare their transmission performance. As a result of the computer simulation, to get the BER of 10^{-6} the OpenCable system requires 1.2 dB lower C/N than the DVB-C system in the 64-QAM mode, and the two system require similar C/N in the 256-QAM mode.

1. 서 론

디지털 CATV 전송기술은 변조방식에 따라 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 방식과 16-VSB(Vestigial SideBand) 방식으로 분류되어 표준화되었으며^[1], QAM 방식은 채널부호화 기법에

따라 미국의 OpenCable 방식^[2]과 유럽의 DVB-C 방식^[3]으로 표준화되었다. x^2 -QAM 변조와 x -VSB 변조에 대한 성능은 거의 유사한 것으로 밝혀졌다^[4]. OpenCable 방식과 DVB-C 방식의 성능비교는 Way에 의해서 랜덤잡음 환경과 64-QAM 변조모드에서 근사적 방법을 이용하여 수행되었으며^[5],

* 경희대학교 전자정보학부 멀티미디어전송 연구실(wsohn@khu.ac.kr, gflee@orgio.net)

논문번호 : 010239-0905, 접수일자 : 2001년 9월 5일

OpenCable 방식이 DVB-C 방식보다 우수한 것으로 밝혀졌다.

이 연구는 우리나라에서 디지털 CATV 방송서비스를 수행하기 위해서 어떤 전송방식을 사용하는 것이 정량적으로 얼마나 유리한지를 분석하기 위해서 OpenCable 방식과 DVB-C 방식의 전송시스템을 소프트웨어적으로 구현하여, 각 방식의 성능을 64-QAM 모드와 256-QAM 모드에서 모의실험을 통하여 확인하고자 한다. Way가 제시한 64-QAM 모드에서의 두 방식의 이론적인 성능비교⁵⁾는 많은 근사적인 방법을 사용했을 뿐만 아니라, 가우시안 잡음 환경에서만 수행하였기 때문에, 그 결과를 실제 환경에 그대로 적용하는 것이 충분하지는 않다. 이 연구는 이러한 점을 보완하기 위하여, 각 방식에서 제시하는 모든 전송 파라미터를 고려했을 뿐만 아니라, 채널환경도 랜덤잡음뿐만 아니라 CTB (Composite Triple Beats) 잡음을 포함하여, 각 방식에 대한 성능을 비교하였다.

이 논문의 구성은 먼저 DVB-C 시스템과 OpenCable 시스템의 전송특성을 비교하였으며, 두 번째로 두 전송방식을 비교하기 위한 제안된 채널 모형에 대하여 논하였다. 세 번째로 각 전송표준을 만족하는 디지털 CATV 송수신 시스템을 소프트웨어적으로 구현한 것에 대하여 논하였으며, 네 번째로 모의실험결과와 분석을 논하였으며, 마지막으로 결론을 맺었다.

II. DVB-C 및 OpenCable 시스템

OpenCable 표준과 DVB-C 표준은 전송시스템의 입력신호를 MPEG-2 TS 패키지로 하며, 전송방식은 그림 1과 같이 전체적으로 채널부호화기와 변조기로 구성되어 있다. OpenCable 방식은 채널 부호화기 앞단에 MPEG 프레임링을 두어, 채널부호화기 기능과는 별도로 MPEG TS 패키지의 오류발생 여부에 대한 정보를 제공할 수 있다.

채널 부호화에는 그림 2와 같이 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 부호화기만이 채널 부호화기로 사용되지만, OpenCable 표준에서는 연접 부호화 방식을 채택하여 외부 부호기로 RS 부호화기를, 내부 부호기로

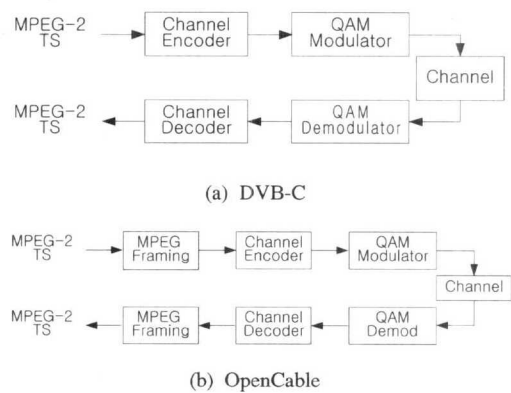


그림 1. 전송시스템 블록도.

트렐리스 부호화기를 사용함으로써 성능 향상을 도모하고 있다.

DVB-C 표준은 GF(256)을 기반으로 하여 8비트 단위의 심볼을 갖는 단축형 RS (204,188) 부호화기를 사용하고, OpenCable 표준은 GF(128)을 기반으로 하여 7비트 단위의 심볼을 갖는 확장형 RS (128,122) 부호화기를 사용한다. 길쌈 인터리버도 두 표준에 공통으로 적용되나, DVB-C 표준에서는 인터리빙 깊이가 고정되어 있는 반면에, OpenCable 표준에서는 채널 환경에 따라 인터리빙 깊이를 변경할 수 있도록 하였다. 랜덤화기는 서로 다른 위치에 존재하는데, DVB-C 표준에서는 MPEG-2 TS 패키지를 입력받아 비트 단위로 연산하고, OpenCable 표준에서는 RS 심볼입력을 7비트 단위로 연산한다. OpenCable 표준의 MPEG 프레임링은 MPEG TS 패키지의 동기 바이트를 이용하여 패리티 체크섬 기능을 제공하는 것으로, 수신기에서 각 TS 패키지의 오류 유무를 탐지하여 가입자에게 좀 더 좋은 품질의 영상을 제공할 수 있다. 트렐리스 부호화기는 심볼

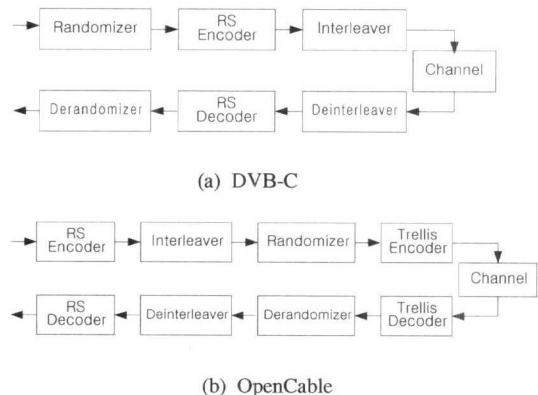


그림 2. 채널 복·부호화기.

율을 증가시키지 않고 심볼 당 비트 수의 증가로 인한 리던던시로 높은 부호화 이득을 얻을 수 있게 한다. 그 외 FEC 프레임 동기화의 관점에서 보면, DVB-C 표준은 MPEG-2 전달 패킷의 동기 바이트를 반전시키거나 그대로 사용하여 비교적 간단히 동기화를 구현할 수 있으나, OpenCable 표준의 경우는 RS 부호화기가 7비트 단위의 심볼을 사용함에 따라 별도의 프레임 동기 시퀀스가 필요하다.

변조 부분은 두 가지 표준 모두 64-QAM 변조방식과 256-QAM 변조방식이 사용되며, 차등 부호화기와 올림 코사인 제공근 여파기를 포함한다. 단, OpenCable 시스템의 변조는 트렐리스 부호화기와 연계되어 동작되며, 차등 부호화기도 트렐리스 부호화기 내에 위치한다. 그리고 올림 코사인 제공근 여파기의 롤-오프는 DVB-C 표준의 경우 64-QAM과 256-QAM 변조방식 모두 0.15를 사용하지만, OpenCable 표준에서는 64-QAM의 경우 0.18을, 256-QAM의 경우 0.12를 사용하여 아날로그 파형을 생성해낸다. DVB-C와 OpenCable 전송규격에 대한 비교는 표 1에 요약되어 있다.

표 1. DVB-C 와 OpenCable 전송규격의 비교^[1-3]

구 분	DVB-C	OpenCable
채널대역폭	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
채널비트율 (Mbps)	31.302 for 64-QAM, 41.736 for 256-QAM	30.342 for 64-QAM, 42.884 for 256-QAM
정보비트율 (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

III. 채널 모델링

디지털 CATV 망은 여러 가지 신호손상 요소에 의하여 영향을 받을 수 있으며, 신호손상 요소로는 랜덤잡음, 찌그러짐, 극소반사, AM 험, 잉여 FM 등이 있으나, 여기서는 이들 중 랜덤잡음과 찌그러짐을 고려하여 채널을 모형화 하였다. 극소반사잡음에 의한 영향이 CATV 전송시스템의 성능에 큰 영향을

주나, 이에 대한 대책으로 DVB-C와 OpenCable 방식 모두 수신단에서 블라인드 등화기를 이용함으로써 극소반사잡음을 최소화하고 있기 때문에, 이 잡음에 대한 영향은 각 전송방식에서 적용한 블라인드 등화기의 성능과 관계가 있다. 이러한 이유로 이 연구에서는 극소반사잡음을 포함하지 않았다. 랜덤잡음은 주로 CATV 시스템의 간선, 분기 및 연장증폭기를 통하여 시스템에 부가되는 것으로 백색 가우시안 잡음이 채널 상에 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 눈금인자를 변수로 한 와이블 분포를 가지는 것으로 하였다^[5]. 와이블 분포에 따른 CTB 잡음은 I 및 Q 채널에 와이블 분포를 가지는 랜덤신호를 RF 신호에 더하는 방식으로 시스템에 추가하였다. 이 때의 잡음밀도는 식 (1)에 따라 구하였다.

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

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

송신기에서의 RF 출력신호를 $s(n)$, 수신기 입력부에서의 수신신호를 $r(n)$, 랜덤 잡음을 $w_r(n)$, 합성 찌그러짐을 $w_d(n)$ 라고 할 때, 수신신호는 식 (2)와 같이 표현될 수 있다. 또한, 이러한 경우의 채널 모형은 그림 3과 같이 표현될 수 있다.

$$r(n) = s[n] + w_r[n] + w_d[n] \quad (2)$$

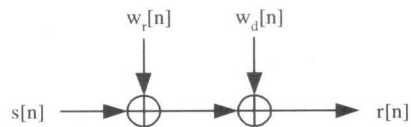


그림 3. 채널 모델링

IV. 시스템 분석 및 구현

1. 시스템 성능의 이론적 계산(가우시안 잡음)
M-QAM 변조에 대한 심볼오류 P_{QAM} 은 \sqrt{M} -ary PAM의 심볼오류확률 $P_{\sqrt{M}}$ 이 $P_{\sqrt{M}} \ll 1$ 일 때, 식 (3)과 같다^[6].

$$P_{QAM} \approx 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) Q \left(\sqrt{\frac{3E_s}{(M-1)N_0}} \right) \quad (3)$$

RS(n, n-2t) 부호화기를 포함했을 때의 심볼오율은 식 (4)와 같다¹⁷⁾.

$$P_{QAM+RS} \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n i \binom{n}{i} P_{RS}^i (1 - P_{RS})^{n-i} \quad (4)$$

여기서, $(1 - P_{QAM})^a = (1 - P_{RS})^b$, $a = \log_2 n$, $b = \log_2 M$.

DVB-C 표준인 경우에는 식 (4)에 RS(204, 188)와 M=64를 적용하면 E_s/N_0 에 대한 심볼오율을 구할 수 있다. OpenCable 표준의 64-QAM인 경우에는 TCM 부호화된 비트에 대한 최소제곱 유클리드 거리는 $12d^2$ 이고 부호화되지 않은 비트에 대해서는 $4d^2$ 이기 때문에 부호화 이득은 약 4.77 dB가 된다¹⁸⁾. 따라서 OpenCable 표준의 E_s/N_0 에 대한 심볼오율은 식 (4)에 RS(128,122)와 TCM에 따른 부호화 이득 4.77 dB를 적용하면 구할 수 있다. DVB-C와 OpenCable 표준에 대한 C/N에 따른 비트오율값은 그림 4와 같다. 식 (4)는 BER \ll 1일 때의 경우이기 때문에 그림 4는 BER값이 10⁻⁴일 때부터 표현하였다.

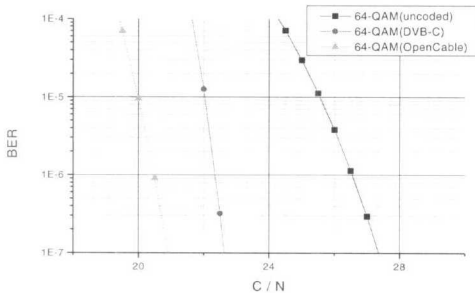


그림 4. C/N에 대한 이론적인 BER 값.

2. DVB-C 시스템 구현

DVB-C 전송시스템은 DVB-C 규격[2]에 따라 그

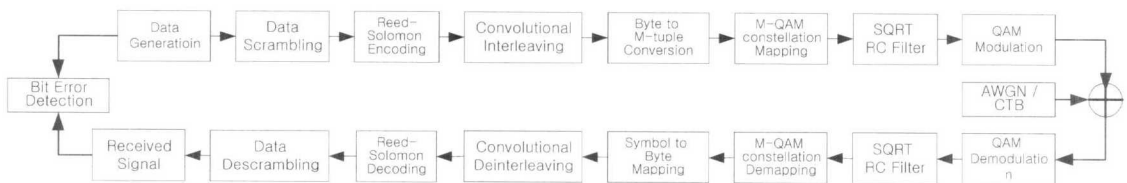


그림 5. DVB-C 전송시스템 구현 예.

림 5와 같이 소프트웨어적으로 구현하였다.

RS(204, 188) 부호화기를 구현하기 위해서 188 바이트의 MPEG TS 패킷에 51 바이트의 '0'을 추가시킨 후 RS(255, 239) 부호화기에 입력시켰고, 출력시에 다시 51 바이트의 '0'을 제거함으로써 단축형 RS(204, 188) 부호화를 구현하였다.

변조단에는 차등부호화, 올림코사인 제공근 여파기, QAM 변조 및 채널잡음의 기능을 포함하였다. 변조할 때는 심볼율이 5.217 Mbaud, 반송파 주파수가 5.217MHz가 되도록 하였다. 올림코사인 제공근 여파기에서는 입력 심볼을 10배로 상향 표본화하여 연산을 수행하였다. 잡음은 수신단의 올림코사인 제공근 여파기의 출력단에서 추가하였으며, 잡음전력은 입력되는 C/N값에 따라 결정되도록 하였다. BER 값은 소스신호와 수신신호를 비트 단위로 비교해서 오류가 발생한 비트 수를 산출해내고 이 값을 전체 비트 수로 나누어 구하였다.

3. OpenCable 시스템 구현

OpenCable 전송시스템은 ITU J.83 Annex B 표준¹¹⁾에 따라 그림 6과 같이 소프트웨어적으로 구현하였다. 생성된 MPEG-2 TS 패킷은 확장형 RS 부호화기를 사용하여 (128,122)부호로 부호화하였으며, 1개의 패리티 심볼을 추가하여 3개의 심볼오류까지 정정할 수 있다.

RS 부호화된 신호들은 길쌈 인터리버와 랜덤화기를 통과한 후 트렐리스 부호화기에 입력하였다. 트렐리스 부호화기에서는, 입력 비트 중에서 동일위상 성분과 직교위상성분의 LSB에 해당하는 비트만을 길쌈 부호화하고, 나머지 비트는 부호화하지 않았다.

트렐리스 복호화기에서는 QAM 복조기의 I 및 Q 출력신호의 LSB에 해당하는 성분을 3 비트로 양자화한 다음, 양자화된 비트 스트림에 부호화 친공과정에서 제거되었던 비트를 재삽입하기 위하여, 비트 스트림상의 제거된 지점에 연성 판정의 중간값인 '3'과 '4'를 반복적으로 삽입한 후, 이들을 비터비 복호기로 입력하였다. 비터비 복호화기를 통하여 복

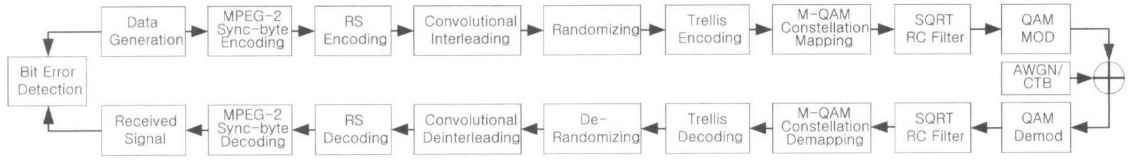


그림 6. OpenCable 전송시스템 구현 예.

호화된 각 LSB는 트렐리스 부호화의 집합 결정(Set Partitioning)을 위해 다시 한번 길쌈 부호화와 천공과정을 거쳤으며, 복호화는 재부호화된 LSB에 따른 심볼이 어떤 집합에 속하는지를 판단하여, 집합내 각 심볼과의 거리를 계산하여 가장 가까운 거리를 갖는 심볼값으로 결정하였다. 변조부분은 원리적으로 DVB-C 경우와 동일하게 구현하였다.

V. 모의실험 결과 및 분석

DVB-C 전송시스템과 OpenCable 전송시스템의 성능을 비교하기 위해서는 채널환경 뿐만 아니라, 시스템 운용 파라미터를 동일하게 두는 것이 중요하다. 시스템 운용 파라미터 중 인터리빙 길이는 DVB-C 시스템에서는 고정된 값을 사용하고 있으나, OpenCable 시스템에서는 가변적으로 사용하도록 되어 있다. 여기서는 각 시스템의 연접오류 방지 시간이 동일하도록 OpenCable 전송시스템에서는 인터리빙 길이를 32로 하였다. 이 장의 마지막 절에서는 인터리빙 길이에 따른 성능차이를 보였다.

1. 랜덤잡음

64-QAM의 경우 DVB-C 전송시스템과 OpenCable 전송시스템의 랜덤잡음에 대한 BER 값을 나타낸 모의실험 결과는 그림 7과 같다. 모의실험결과를 그림 4의 이론값과 비교하면, DVB-C인 경우에는 약 0.2 dB정도의 차이가 있으며, OpenCable의 경우에는 BER값이 10^{-4} 일 때는 약 0.9 dB정도의 차이가 있으나, BER값이 감소함에 따라

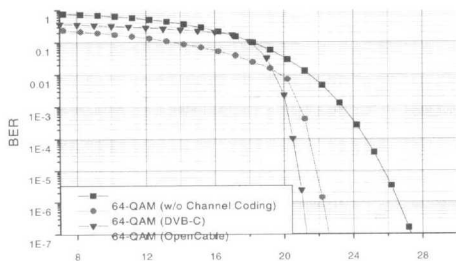


그림 7. 64-QAM 변조모드에서의 랜덤잡음에 대한 BER 값.

그 차이도 점점 감소하여, BER값이 10^{-7} 일 때는 약 0.2 dB정도의 오차만이 발생하였다. 이론값과 모의 실험 결과값 사이에 약간의 차이가 발생하지만, 이는 이론값 계산에서 근사치를 사용했기 때문에 발생했다고 할 수 있다.

그림 7에 따르면, BER 값이 10^{-4} 부터 10^{-7} 의 범위에서는 OpenCable 시스템이 DVB-C 시스템과 동일한 BER 값을 갖기 위해서, C/N값이 1.3 dB 정도 작음을 알 수 있다.

256-QAM 경우에 대한 모의실험 결과는 그림 8과 같다. BER값이 10^{-4} 부터 10^{-7} 의 범위에서는 OpenCable 시스템이 DVB-C 시스템보다 동일한 BER을 갖기 위한 C/N값이 0.2 dB 정도 작음을 알 수 있다.

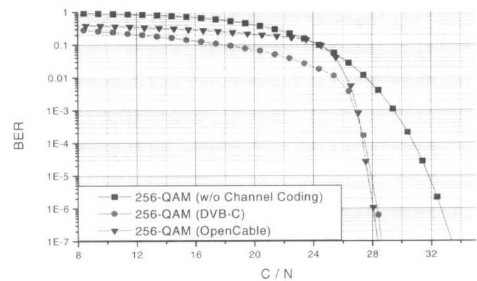


그림 8. 256-QAM 변조모드에서의 랜덤잡음에 대한 BER 값.

2. CTB 잡음

그림 9는 CTB 잡음 환경에서 64-QAM 변조방식에 대한 DVB-C 전송시스템과 OpenCable 전송시스

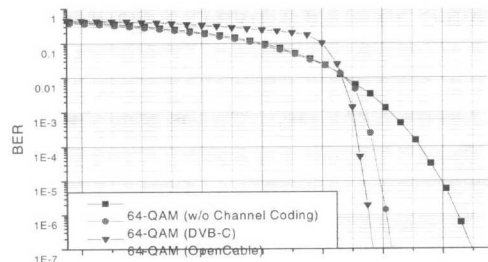


그림 9. 64-QAM 변조모드에서의 CTB 잡음에 대한 BER 값.

템의 전송성능에 대한 모의실험 결과를 보여주고 있다. CTB 잡음의 경우에는 BER 값이 10^{-4} 부터 10^{-7} 의 범위에서는 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 10과 같다. 이 결과를 보면 BER 값이 10^{-4} 부터 10^{-7} 의 범위에서는 DVB-C 방식과 OpenCable 방식의 성능이 거의 동일함을 볼 수 있다.

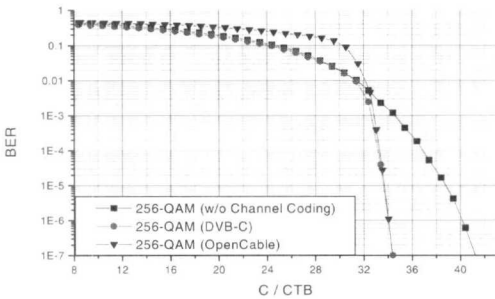


그림 10. 256-QAM 변조모드에서의 CTB 잡음에 대한 BER 값.

3. 랜덤잡음과 CTB잡음을 동시에 고려한 경우

실제로 CATV 망을 통해 신호가 전송될 경우에는 앞서 살펴본 랜덤잡음과 CTB 잡음 모두가 전송 성능에 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 BER 값을 모의실험을 통하여 구하였다. 랜덤잡음의 크기는 DVB-C 시스템이 256-QAM 변조 모드일 때, 랜덤잡음만에 의하여 약 10^{-6} 의 BER 값을 갖게 되는 값으로 하였으며, 이 때의 C/N 값은 약 28.35 dB이다. 이러한 크기의 랜덤잡음이 존재할 때, CTB 잡음을 증가시키면서 BER 값을 구하

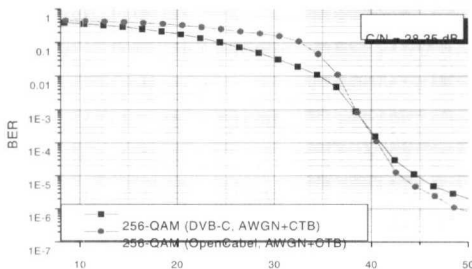


그림 11. C/N=28.35 dB일 때, CTB 잡음에 대한 BER 값 (256-QAM).

였으며, 모의실험 결과는 그림 11과 같다.

그림 11에 따르면, 두 시스템의 BER 값이 다른 값에서 수렴하는데, 이는 각 시스템이 동일한 C/N에 대한 BER 값이 서로 다르기 때문이다. 결과를 살펴보면 두 시스템은 C/CTB 값이 50 dB 근처일 때, 성능 향상이 거의 없음을 알 수 있다. 이는 시스템 전체의 성능이 주어진 랜덤잡음에 의해 제한되기 때문이다.

4. 인터리빙 깊이

잡음 이외에도 전송 성능에 영향을 미칠 수 있는 요소로는 인터리버가 있다. DVB-C 전송규격에 사용되는 인터리버는 인터리빙 깊이가 12인 반면에 OpenCable의 경우에는 수준 1의 경우 기본적으로 인터리빙 깊이가 128이고, 수준 2의 경우 채널환경에 따라 인터리빙 깊이를 변경할 수 있도록 하였다. OpenCable 규격에는 길쌈 인터리버가 사용되고 있고, 길쌈 인터리버의 연접오류 방지능력은 인터리빙 깊이와 R-S 부호기의 심볼오류 정정능력에 따라 달라진다. 일반적으로 길쌈 인터리버는 I 개의 가지를 갖으며, R-S 복호기의 오류 정정능력과 인터리빙 깊이에 따른 최대연접오류 방지시간, t_{max} 는 식 (5)를 이용하여 구할 수 있다.

$$t_{max} = t \times y \times I \times T_b \quad (5)$$

여기서, t 는 RS 복호화기에서 정정가능한 심볼 수이고, 각 심볼은 y 비트로 구성되며, T_b 는 비트 주기를 나타낸다. 이 논문에서는 DVB-C 방식과 OpenCable 방식에 각각 12와 32의 인터리빙 깊이를 사용하였고, 두 경우 모두 약 $24\mu s$ 의 연접오류 방지시간을 갖는다.

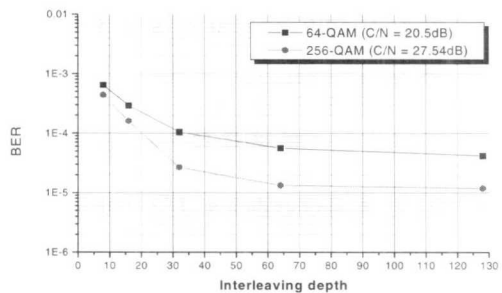


그림 12. 인터리빙 깊이에 따른 BER 값.

그림 12는 동일한 크기의 랜덤잡음을 적용했을 때 인터리빙 깊이에 따른 BER 성능의 변화를 64-QAM 변조방식과 256-QAM 변조방식에 대해

나타낸 것이다. 이 때, 각 시스템의 랜덤잡음은 C/N 값으로 64-QAM 변조방식에 20.5 dB, 256-QAM 변조방식에 27.54 dB 가 적용되었다. 그림 12에 의하면 인터리빙 깊이가 32 이상일 때는 성능향상이 뚜렷하지 않다는 것을 알 수 있다.

VI. 결론

이 논문에서는 DVB-C 방식과 OpenCable 방식의 전송 성능을 비교하기 위하여 동일한 채널 환경에서 모의실험을 수행하였다. 모의실험 결과, OpenCable 시스템은 64-QAM 모드에서 DVB-C 시스템보다 전체적으로 성능이 우수함을 보여 주었다. 랜덤잡음 환경에서는 BER 값이 10^{-6} 이 되기 위한 C/N이 OpenCable 시스템은 DVB-C 시스템보다 1.3 dB 정도 낮다는 것을 보여 주었다. CTB 잡음 환경에서는 BER 값이 10^{-6} 이 되기 위한 C/CTB가 OpenCable 시스템은 DVB-C 시스템보다 1.2 dB 정도 낮다는 것을 보여 주었다.

256-QAM 모드에서는 두 시스템의 성능이 거의 같았으며, OpenCable 시스템이 DVB-C 시스템에 비해 약간 성능이 앞서거나 거의 같은 결과를 보였다. 64-QAM 모드일 때와 다른 결과를 갖는 것은 OpenCable 방식이 256-QAM 모드에서 사용하고 있는 부호율이 64-QAM 모드일 때에 비하여 큰 값을 사용하고 있을 뿐만 아니라 롤-오프 값을 더 작은 값을 사용하기 때문이다. 이렇게 함으로써 OpenCable 방식은 256-QAM 모드에서 두 채널의 HDTV 신호를 6 MHz 대역을 통하여 용이하게 전송할 수 있다. 모의실험 결과, 랜덤잡음 환경에서는 BER 값이 10^{-6} 이 되기 위한 C/N이 OpenCable 방식이 DVB-C 방식보다 0.2 dB 정도 낮다는 것을 보여 주었고, CTB 잡음환경에서는 BER 값이 10^{-6} 이 되기 위한 C/CTB가 두 방식이 서로 유사하다는 것을 보여 주었다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-T Recommendation J.83, Digital Multi-programme Systems for Television Sound and Data Services for Cable Distribution, April 1997.
- [2] SCTE DVS/031r5, Digital Video Transmission Standard for Cable Television, July 2000.
- [3] EN 300 429 v1.2.1, Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and

modulation for cable systems, April 1998.

- [4] K. J. Kerpez, "A Comparison of QAM and VSB for Hybrid Fiber/Coax Digital Transmission," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 41, No. 1, March 1995, pp. 9-16.
- [5] 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.
- [6] W. I. Way, Broadband Hybrid Fiber/Coax Access System Technologies, Academic Press, San Diego, 1999.
- [7] J. P. Odenwalder, Error Control Coding Handbook, Linkabit Corp., San Diego, July 15, 1976.
- [8] H. K. Wolf and E. Zehavi, "P2 codes: Pragmatic trellis codes utilizing punctured convolutional codes," IEEE Communications Magazine, vol.25, pp.12-21, February 1987.
- [9] Shu Lin and Daniel J. Costello, Jr., Error Control Coding: Fundamental and Applications, Prentice Hall, 1983.

이 재 련(Jae-Ryun Lee)

준회원



2000년 2월 : 경희대학교
전파공학과 졸업
2000년 3월~현재 : 경희대학교
전파공학과 석사과정
<주관심 분야> 영상통신, 공동
소스/채널 부호화

손 원(Won Sohn)

정회원



1982년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업
1990년 5월 : 텍사스 A&M대
전기 공학과 석사
1993년 8월 : 텍사스 A&M대
전기 공학과 박사
1982년 1월~1987년 6월 :
국방과학연구소(진해)
1993년 9월~1999년 2월 : 한국전자통신연구원
1999년 3월~현재 : 경희대학교 전자정보학부
<주관심 분야> 디지털방송, 위성통신, 신호처리