

DVB-C를 적용한 CATV망의 전송성능분석에 관한 연구

이재련*, 윤영준*, 손원*, 이진환**

*경희대학교 전자정보학부, **한국전자통신연구원

Studies on CATV Network Transmission Performance Using DVB-C

J.R. Lee*, Y.J. Yoon*, W. Sohn*, J.H. Lee**

*Kyung Hee University, **ETRI

요약

이 논문은 아날로그 CATV망을 이용하여 디지털 TV신호를 전송할 때의 성능을 연구하였다. 디지털 전송성능을 분석하기 위하여, 디지털 전송시스템은 DVB-C 규격을 적용하였으며, 채널손상요소로는 랜덤잡음과 극소반사(microreflection)를 고려하였다. 극소반사에 대한 모델링은 미국 CableLab사에서 측정한 값을 적용하였으며, 극소반사의 영향을 최소화하기 위해서 수신단에서 블라인더 등화기를 적용하였다. 전송성능은 E_b/N_0 에 대한 BER과 MSE를 이용하여 표현하였다.

I. 서론

우리 나라는 1995년 7월부터 실시된 무궁화 위성을 이용한 디지털위성시범방송을 시작으로 [1], 1999년에는 디지털 지상파 실험방송을 실시하였으며[2], 디지털 CATV 방송도 곧 실시할 예정이다[3]. 이 논문에서는 우리 나라에서 디지털 CATV 송신기를 이용하여 디지털방송 신호를 CATV망을 통하여 전송할 때의 디지털 CATV 수신기를 통한 전송성능을 살펴보았다.

기존의 아날로그 CATV망을 통한 디지털 신호전송에 관한 연구는 1990년대부터 활발하게 진행되고 있다. 미국은 디지털방송방식을 논의하기 시작할 때, 지상파방송 뿐만 아니라, CATV방송에 대해서도 함께 다루었으며, 유럽은 위성, 지상파, 및 CATV에 대한 디지털방송을 모두 다루었다. 이러한 관점에서 우리 나라는 디지털 CATV방송에 대한 논의가 선진국에 비하여 늦은 편에 속한다. 미국 CableLab사의 디지털 전송실험에 따르면, 측정 지역의 95% 정도가 C/N값이 33 dB를 만족하였으며, 99%가

25dB를 만족한다고 하였다[4]. 참고문헌[5]에 의하면 16-VSB가 최소화질을 보장하는 TOV (Test of Visibility)를 만족하는 C/N이 29.1 dB 인 것을 고려하면, 측정 대상 중 약 95% 이상이 TOV를 만족한다는 것을 알 수 있다. ATSC 전송시스템을 이용한 CATV 필드시험결과[5]를 보면 FCC 규격을 만족하는 지역과 FCC 규격 중 수신신호 크기만을 만족하지 못하는 지역은 모두 좋은 시험결과를 가졌다는 것을 밝혔다. J. Hamilton과 D. Stoneback은 디지털 반송파를 아날로그 CATV 전송시스템에 부가했을 때의 손상정도에 대하여 연구를 하여, 추가로 전송되는 디지털반송파에 의한 기존의 아날로그 채널에 대한 영향을 최소화하기 위해서는 아날로그 CATV 반송파보다 8~10dB 정도 낮은 디지털 CATV 반송파를 전송할 것을 제안하였다[6]. R.S. Prodan 등은 CATV 시스템에서 디지털 전송을 할 때 발생하는 순간적 신호손상에 대한 특성화 방법을 제안하였다.[7] K.J. Kerpez는 HFC 디지털전송에서 QAM과 VSB의 전체적인 전송성능은 유사하다고 밝혔다[8]. K. Laudel 등은 디지털 송수신기를 세심하게 설계하면

256 QAM 변조방식이 디지털 TV신호와 같은 고속데이터를 CATV망을 통하여 전송하는데 사용될 수 있다는 것을 보였다.[9] K. Maeda와 K. Utsumi는 AM/QAM 혼합전송에서 혼성 찌그러짐은 와이블분포를 갖는다는 것을 주장하였다[10]. K.J. Kerpez 등[11]은 자택 내에서의 CATV망에서 발생하는 일부 반사는 수신신호 전력을 일반적인 경우보다 10 dB 이상 감쇠되기 때문에, 이러한 문제는 적응등화기에 의해서도 해결되지 않는다고 주장하였다.

이 논문에서는 전송성능분석을 위하여 사용된 채널모델링을 소개하고, DVB-C 규격을 적용한 디지털 CATV 송수신시스템을 소개하고, 모의실험결과를 제시한다.

II. 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 가장 심각한 문제를 일으키는 것으로 알려진 랜덤잡음, 찌그러짐, 및 극소반사에 한하여 채널모델링을 하였다. 랜덤잡음은 주로 CATV 시스템의 간선, 분기 및 연장증폭기를 통하여 시스템에 부가되는 것으로 백색 가우시안 잡음이 채널상에 부가되도록 하였다. 대부분의 상호변조에 의한 찌그러짐은 초간선, 동축분배망, 및 가입자 수신기에서 생성되는 것으로, CSO(Composite Second Order)와 CTB(Composite Triple Beat)가 있으나, 각 증폭기를 푸시-풀방식을 이용할 때, CSO는 무시할 수 있으므로, CTB만 고려하였다. CTB에 대한 채널모델링은 참고문헌 [10]에 따라, 랜덤잡음의 가우시안 분포와는 다르게 와이블 분포를 가지는 것으로 하였으며, 비대칭도는 1.5로 하였으며, 눈금인자는 변수로 하였다. 와이블 분포에 따른 CTB 잡음은 I 및 Q 채널에 와이블 분포를 가지는 랜덤숫자를 신호에 더하는 방식으로 시스템에 추가하였다. 이 때의 잡음밀도는 (식 1)에 따라 구하였다.

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

극소반사 또는 다중경로는 CATV 시스템내의 임피던스 부정합에 의하여 발생하는 것으로, 이를 발생시키는 요소는 광대역 동축망내의 어느 곳에서나 발생할 수 있으나, 소자간의 거리가 수 백 피트 이내인 곳에서의 문제가 특히

심각하므로, (그림 1), (그림 2) 및 (그림 3)과 같이 탭으로부터 가입자까지의 인입선 구조, 아파트망 구조, 및 맥내망 구조에 대해서만 고려하였다.

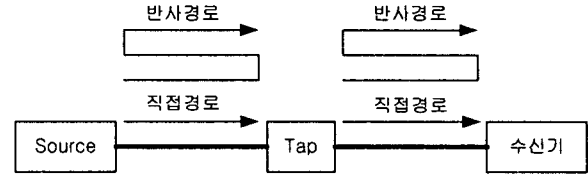


그림 1 탭과 가입자간의 인입선에서 극소반사요인

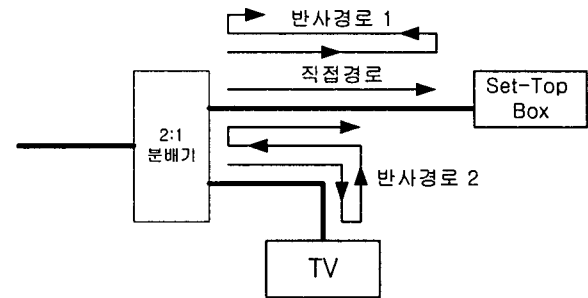


그림 2 맥내망에서의 극소반사 발생요인

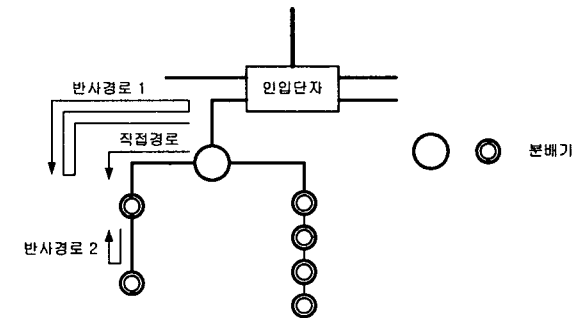


그림 3 아파트 구조에서의 극소반사요인

헤드엔드부에서의 RF 출력신호를 $s(n)$, 수신점에서의 수신신호를 $r(n)$, CATV 망의 극소반사에 의한 채널 충격반응을 $h_m(n)$, 랜덤 잡음을 $n_r(n)$, CTB에 의한 찌그러짐 잡음을 $n_c(n)$ 이라고 할 때, 채널 모델은 (식 2) 및 (그림 4)와 같이 표현될 수 있다.

$$r(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]s[n-k] + n_r[n] + n_c[n] \quad (1)$$

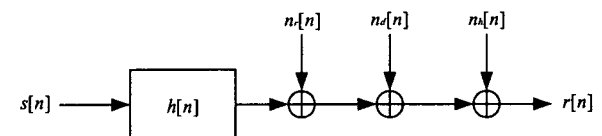


그림 4 채널 모델링

DVB-C 규격을 적용하고 채널당 6MHz를 사

용하는 CATV 시스템에서 심볼율이 약 5.2 MHz 정도 되기 때문에 심볼주기는 약 192 nsec가 된다. (그림 1)과 같은 경우에는 탭과 수신기간의 거리를 약 100 ft로 가정하면, 반사 신호에 의한 지연시간이 226 nsec 정도가 되기 때문에, 적응등화기의 탭간의 단위지연시간을 심볼주기의 1/2정도로 두면 극소반사에 의한 영향을 없앨 수 있다. (그림 2)와 (그림 3)에 의한 지연시간은 분배기와 수신기간의 거리가 매우 짧아 지연시간이 20 nsec 이하까지 단축될 수 있기 때문에 극소반사에 의한 영향을 일반적인 적응여과기를 이용하여 없앤다는 것은 쉽지 않다. 극소반사에 의한 채널충격응답에 대한 모델링은 미국 CableLab사에서 수행한 시험결과를 이용하였으며, 매우 짧은 지연시간에 대한 영향은 무시할 수 있는 것으로 가정하였다. Cable Lab사에 의하여 수행된 시험결과를 이용하면 $h[n]$ 에 대한 값은 측정대상 중 99%를 만족하는 충격응답계수는 (표 1)과 같다. (표 1)은 헤드엔드에서 탭까지의 극소반사, 헤드엔드에서 맥내의 케이블 출력단자까지의 극소반사, 맥내망의 극소반사에 의한 충격응답계수를 나타내고 있다. 지연시간은 100 nsec 단위로 주어졌으나, 이들을 심볼 주기의 1/2에 따른 값으로 변환하였다.

표 1 가입자 99%를 만족하는 충격응답계수(dB)

n	지연시간 (nsec)	탭반사	출력단자	맥내망 ¹	맥내망 ²
0	0	0	0	0	0
1	83	-14	-13	-12	-17
2	166	-20	-19	-21	-19
3	249	-20	-19	-21	-19
4	333	-26	-24	-17	-24
5	416	-27	-26	-23	-27
6	500	-28	-28	-19	-18
7	583	-29	-30	-27	-29
8	666	-32	-32	-30	-36
9	750	-32	-32	-30	-36
10	833	-31	-31	-38	-24
11	916	-31	-31	-40	-28
12	1000	-34	-35	-40	-37

III. S/W에 의한 DVB-C 송·수신 시스템 구현

CATV망의 전송성능을 분석하기 위하여 디지털 CATV 시스템을 (표 2)에 있는 DVB-C 규격에[12] 따라 (그림 5)와 같이 S/W로 구현하였다.

표 2 각 전송방식의 전송 파라미터

전송 파라미터	DVB-C
Channel Bandwidth	6.0 MHz
변조방식	64QAM/256QAM
Inner code	None
Outer code	RS(204, 188)
Randomizer	$1+X^{14}+X^{15}$
Symbol rate(MBaud)	5.217
Information bit rate(Mbps)	64 QAM: 28.8 256 QAM: 38.5
Excess Bandwidth	15%

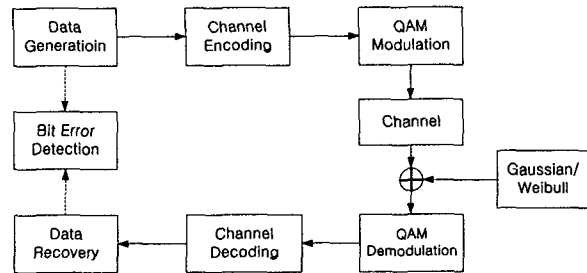


그림 5 DVB-C방식에 따른 전송시스템

모의실험은 (그림 5)와 같이 채널 코딩과 QAM 변조방식을 사용한 변·복조부로 나누어 구현하였으며, 몬테카를로방식을 사용하기 때문에 비트 에러수가 적어도 100개가 나오도록 하기 위해서 매우 많은 양의 데이터를 연산하여야 했다. 이에 따른 연산시간을 줄이기 위해 전체적인 모의실험구조는 약 10^5 bit를 단위로 이것을 여러 번 반복하는 방법을 사용하였다.

먼저 소스신호인 MPEG-2 트랜스포트 데이터는 0 과 1 을 동일한 빈도로 발생시키는 랜덤정수발생기를 사용하여 생성했다.

채널코딩에는 스크램블링과 RS 부호화, 길쌈 인터리빙 등이 포함되었다. 스크램블링에서 PRBS는 각 fp지스터에 할당된 초기 값과 생성다항식에 의해 발생하며, 길이가 15인 배열을 잡아서 각 레지스터를 배열의 인덱스에 해당하는 값으로 연산한 후, 인덱스를 하나씩 이동시키는 방법을 사용하였다. DVB-C는 RS(204, 188) 부호화를 사용하므로 188 바이트의 MPEG 트랜스포트에 51 바이트의 '0'을 추가시킨 후 RS(255,239) 인코더에 입력시켰고, 출력시에 다시 51 바이트의 '0'을 제거함으로써 RS(204,

188) 부호화를 구현하였다. 길쌈 인터리빙은 입력데이터를 일렬로 나열한 후 각 비트의 인덱스를 이용하여 그 순서를 바꿔주는 것으로 동작시켰다. 이때 입력된 한 프레임 시퀀스는 12 프레임 길이로 확장되고 결과적으로 총 11 프레임의 지연이 발생하게 되며, 이 지연은 수신단의 길쌈 인터리버에서 제거되도록 하였다.

변조단에는 심볼매핑, 차등부호화, QAM 매핑, 올림코사인자승근 여파기, QAM 변조, 및 채널잡음의 기능을 포함하였다. 변조할 때는 심볼율이 5.217 Mbaud, 반송파 주파수가 5.217 MHz가 되도록 하였다. 올림코사인 제곱근 여파기에서는 입력 심볼을 10배로 상향 표본화하여 연산을 수행하였다. 변조할 때는 대부분의 경우에는 상향표본화를 수행하지 않고 특정 경우에만 10배로 상향 표본화하였다. 수신단의 최적필터는 송신단에서 사용된 것과 동일한 올림코사인 제곱근 여파기를 사용하였다. 잡음은 수신단의 올림코사인 제곱근 여파기의 출력단에서 추가하였으며, 잡음전력은 입력되는 E_b/N_0 값에 따라 결정되도록 하였다. BER값은 소스신호와 수신신호를 비트단위로 비교해서 에러가 발생한 비트 수를 산출해내고 이 값을 전체 비트 수로 나누어 BER을 구하였다. 극소반사에 의한 영향을 없애기 위하여 I와 Q 출력값에 대하여, CMA(Constant Modulus Algorithm)를 사용하고 25개의 탭을 사용하는 블라인더 등화기를 구현하였다.

IV. 모의실험 결과 및 분석

모의실험은 채널환경에 따라 랜덤잡음, CTB 잡음, 및 극소반사잡음의 경우에 대하여 각각 수행하였다.

1. 랜덤잡음

CATV망 채널이 AWGN 채널이라는 가정아래, 64-QAM 또는 256-QAM 변조방식을 적용했을 때, 채널코딩을 사용했을 때와 사용하지 않았을 때의 E_b/N_0 의 값에 따른 BER값을 구하였다. (그림 6)은 변조방식종류와 채널코딩 사용여부에 따른 4가지 경우의 BER 곡선을 나타낸 것이다. ATSC에서 TOV는 BER값이 3×10^{-6} 일 때를 규정하기 때문에, 이 BER값에서의 E_b/N_0 값을 (그림 6)으로부터 구하면, 64-QAM에서는 약 15 dB, 256-QAM에서는 약 20 dB임

을 알 수 있다. C/N값은 채널대역폭이 6 MHz 이고 비트 율은 64-QAM이 31.302 Mbps, 256-QAM이 41.736 Mbps가 되므로 각각 22 dB 및 28.4 dB가 된다.

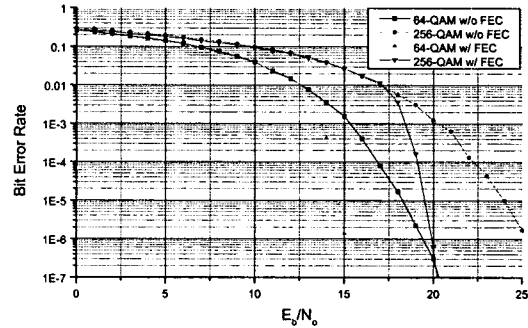


그림 6 E_b/N_0 에 대한 BER값

CableLabs사에 의한 자료에 따르면[5], 가입자 99%에 대한 최소 C/N값이 25dB가 되기 때문에 64-QAM 변조방식은 TOV를 얻기 위한 C/N이 22 dB이기 때문에 가입자 99% 이상에게 TOV를 만족하는 화질을 제공할 수 있다는 것을 알 수 있다. 256-QAM의 경우에는 TOV를 만족하는 C/N이 28.4 dB이기 때문에 가입자 99%에게 TOV를 제공한다는 것은 어렵게 되나, 가입자 95%에 대한 최소 C/N값이 33 dB이기 때문에 95%의 가입자에게는 TOV를 만족하는 화질을 제공할 수 있다. 또한 CATV 서비스가 이루어지고 있는 상한 주파수보다 12 MHz 높은 서비스대역 밖의 지역에 대해서는 가입자 99%의 최소 C/N이 19 dB, 95%는 27 dB, 90%는 30 dB이기 때문에, 64 QAM은 95%의 가입자에게 TOV를 만족하는 화질을 제공할 수 있고, 256-QAM은 90%의 가입자에게 제공할 수 있다.

2. CTB

CATV망 채널에 CTB가 가장 영향을 크게 미치는 손상요소라는 가정아래, 채널코딩을 사용하지 않은 상태에서 E_b/N_0 의 값에 따른 BER값을 64-QAM과 256-QAM에 대하여 (그림 7)과 같이 구하였다. (그림 6)에서 채널코딩을 사용하지 않았을 때의 TOV에 대한 BER값은 약 1.5×10^{-3} 이므로, 이 때의 E_b/N_0 값은 (그림 7)로부터, 64-QAM일 때는 20 dB, 256-QAM일 때는 26 dB가 된다. 따라서 C/CTB는 각각 27dB 및 34.4 dB가 되므로, 가입자의 수신환경에서의

CTB가 이 값들을 만족하면 좋은 화질의 서비스를 제공받을 수 있다.

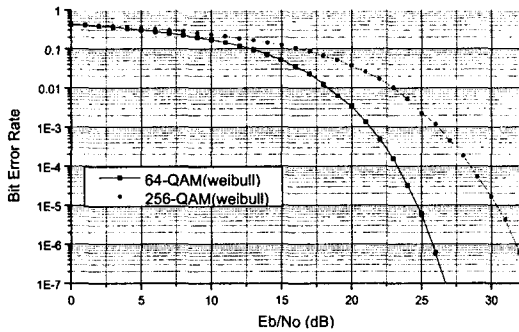


그림 7 CTB에 대한 BER값

3. 극소반사

가입자 99%를 만족하는 (표 1)의 충격응답 계수를 가진 채널환경에 대하여 블라인더 등화기를 사용하지 않을 때와, 사용할 때의 BER에 대한 실험결과는 (표 3)과 같다. 이 때, 채널코딩은 사용하지 않았으며, 변조방식은 64-QAM이다. (표 3)에 따르면, 블라인더 등화기를 적용하였을 때의 BER값은 각 측정점에서 10^{-5} 크기가 되기 때문에 극소반사에 따른 채널손상은 제거할 수 있다는 것을 알 수 있다.

표 3 등화기 사용여부에 따른 BER값(64-QAM)

	Tap echo	Home outlet echo	Home wiring
등화기 미사용	6.09×10^{-2}	8.04×10^{-2}	5.34×10^{-2}
등화기 사용	2.0×10^{-3}	9.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}

V. 결론

이 논문은 기존의 CATV망을 이용하여 DVB-C규격에 따라 디지털방송신호를 전송할 때의 수신성능을 랜덤잡음, CTB, 및 극소반사의 관점에서 살펴보았다. 랜덤잡음에 대해서는 CableLabs사의 측정결과를 이용하면, 64-QAM 변조방식은 가입자의 99%이상에게 TOV를 만족하는 화질을 제공할 수 있지만, 256-QAM 변조방식은 가입자의 95%에게 최상의 화질을 제공할 수 있다. CTB의 경우에는 C/CTB가 64-QAM과 256-QAM에서 각각 27dB와 34.4dB를 만족한다면, CTB에 의한 영향은 무시할 수

가 있다. 극소반사는 최소 지연시간이 83.3 nsec인 경우를 고려했을 때, 블라인더 등화기를 수신단에 사용하면, 이에 따른 신호손상은 무시할 수 있다.

세 가지 손상요소의 각각에 대하여 모의실험을 수행하였으나, 이들의 복합적인 영향을 알기 위해서는 모든 손상요소를 동시에 시스템에 적용할 필요가 있다. 극소반사에 대해서는 훨씬 적은 지연시간에 대한 전송성능의 저하여부를 검토할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] W. Sohn, O.H. Kwon, J.S. Chae, "Digital DBS System Design and Implementation for TV and Data Broadcasting using Koreasat," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol.44, No. 3, September 1998.
- [2] 차양신, "디지털방송 정책방향," 한국방송공학회지, 제5권 1호, 2000년 3월, pp. 22-27.
- [3] 박승권, "디지털 유선방송," 디지털 유선방송 세미나, 2000년 4월 24일.
- [4] "Digital Transmission Characterization of Cable Television Systems," CableLabs, November, 1994.
- [5] "Field Test Results of the Grand Alliance HDTV Transmission Subsystem," submitted by MSTV, CableLabs, and PBS to SS/WP-2 Field Testing Task Force of ACATS, September 16, 1994.
- [6] J. Hamilton and D. Stoneback, "The Effect of Digital Carriers on Analog CATV Distribution Systems," 1993 NCTA Technical Papers, pp. 100-111, 1993.
- [7] R.S. Prodan, *et al.*, "The Cable System Return Channel Transmission Environment," 1995 NCTA Technical Papers, pp. 141-145, 1995.
- [8] 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.
- [9] K. Laudel, *et al.*, "Performance of a 256-QAM Demodulator/Equalizer in a Cable Environment," 1994 NCTA Technical Papers, pp. 141-145, 1994.

- [10] 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 Transactions on Communications*, vol. 47, No. 8, August 1999, pp.1173-1180.
- [11] K. J. Kerpez, *et al.*, "Digital Transmission Over In-Home Coaxial Wiring", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 43, No. 2, June 1997, pp 136-144.
- [12] M. Ghosh, "Digital Video Broadcasting: Cable Specification," *Philips Journal of Research*, vol. 50, No. 1/2, 1996, pp. 79-90.