

Rummler 모델 기반의 케이블 채널에서 OFDM/64QAM 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of OFDM/64QAM System in Rummler Model based Cable Channel

안정길*, 곽재민**, 박기식***, 조성언****, 조성준*

Jung Kil Ahn*, Jae Min Kwak**, Ki Sik Park***, Sung Eon Cho**** and Sung Joon Cho*

요 약

본 논문에서는 Rummler 모델 기반의 케이블 채널에서 OFDM/64QAM 시스템의 성능을 시뮬레이션을 수행하여 평가하고, 적응 LMS 등화기를 적용하여 성능 개선 정도를 평가하였다. 성능 평가 결과, Rummler Two-ray 채널에서 반사파에 대한 감쇠계수(b)가 0.15 이하인 경우에는 등화기를 채용하여야 성능 개선 정도가 크게 이루어짐을 알 수 있었다. 그리고 b 가 0.15 이상인 경우에는 등화기를 채용해도 E_b/N_0 에 관계없이 거의 동일한 성능이 얻어짐을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, the performance of OFDM/64QAM systems under Rummler model based cable channel is evaluated through computer simulation, and then the degree of performance improvement is estimated when adopting adaptive LMS equalizer. From the performance evaluation results, in the Rummler two-ray channel model, it is known that the performance improvement degree by adopting equalizer is greatly increased in case of attenuation coefficient of reflected ray (b) being less than 0.15, but when attenuation coefficient (b) is larger than 0.15, the performance improvement degree by adopting equalizer shows little changes in almost all range of E_b/N_0 .

Key words : Cable Modem, Rummler Channel, OFDM/64QAM, adaptive LMS equalizer

□

* 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 (Dept. of Information & Telecommunication., Graduate School of Hankuk Aviation University)

** 전자부품연구원 SoC연구센터 (SoC Research Center, Korea Electronics Technology Institute)

*** 인하공업전문대학 정보통신과 (Dept. of Inform. & Comm., Inha Technical College)

**** 순천대학교 정보통신공학부 (Dept. of Computer & Comm. Eng., Suncheon Univ.)

· 제1저자 (First Author) : 안정길

· 접수일자 : 2007년 1월 24일

I. 서 론

최근 유무선 통합 및 통신과 방송이 융합되는 광대역 통합 망(BcN : Broadband convergence Network) 환경에서 초고속 인터넷 서비스와 디지털 방송 서비스를 제공하기 위한 초고속 인프라의 가입자 망 형태는 동선 기반의 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)/VDSL (Very high-data rate Digital Subscriber Line) 및 광/동축 혼합 망인 HFC (Hybrid Fiber Coaxial), 광 섬유 기반의 FTTH (Fiber To The Home) 등이 있다[1-5]. 그 중에서 HFC는 그 동안 주로 케이블 TV 프로그램의 전송 망으로 활용되어 오다가 최근 통신·방송 융합 환경에서 초고속 인터넷 가입자 망으로 부각되고 있다. 그림 1과 같이 HFC 망은 SO (System Operator)내 지역을 가입자 규모에 따라 여러 개의 셀로 나누어 설치하고, 각 셀은 광 케이블로 연결된 ONU (Optical Network Unit)에서 시작하여 tree and branch 구조를 갖는 동축 케이블로 구성된다.

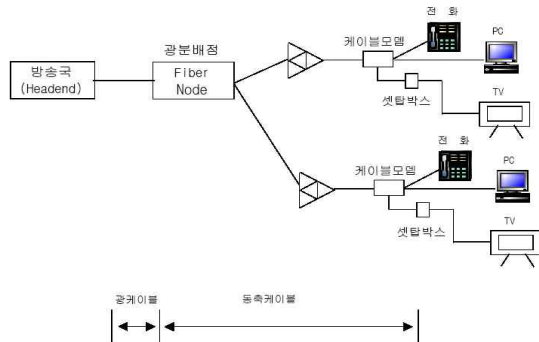


그림 1. HFC 시스템 블록도
Fig. 1. Block diagram of HFC system.

가입자를 셀 단위로 구축하여 광 케이블과 동축 케이블을 통한 초고속 데이터 전송 서비스를 제공하는 기술로 크게 HE (Head End) 장비인 CMTS (Cable Modem Termination System)와 가입자 장비인 CM (Cable Modem)으로 구성된다.

케이블 모뎀은 HFC 형태의 기존 케이블 TV 네트워크를 통해 제공되는 고속 데이터 서비스 기술이며, 서비스 구축비용이 저렴하고 루프 테스트가 필요 없어 서비스 제공이 용이하며 방송/데이터/음성 등 3 가지 서비스를 동시에 제공할 수 있다는 장점이 있다.

또한, 전송 거리 제약이 있는 xDSL과 달리 케이블 사업자와 가입자 사이의 거리가 서비스 수준에 영향을 주지 않는 장점을 가지나, 현재까지 개발된 케이블 모뎀 기술은 공유 매체 방식이므로 최대 30Mbps의 대역폭을 네트워크에 접속하고 있는 사용자들과 공유하므로, 실제 각 사용자들이 얻을 수 있는 대역폭은 낮아 서비스 품질을 보장하기 어렵기 때문에 가입자 당 서비스 속도를 증가시키기 위한 기술의 개발이 필수적이다. 또한 HFC 망은 가입자 수가 증가할수록 속도 저하로 속도 보장을 위해 셀 분할 또는 신규 셀 구성이 필요하며, 셀 수 증가에 따른 CMTS, ONU 등 장치비 증가로 투자비가 비례적으로 증가한다는 문제점이 초래된다. 따라서 이와 같이 저속도화 되는 문제점을 해결하기 위해 기가급으로 초고속화 시킬 수 있는 신규 케이블 채널 모델링과 새로운 변복조 방식(OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 개발 연구가 반드시 필요한 실정이다. 이에 본 논문에서는 케이블 채널을 Rummier Two-ray 채널로 모델링하고, OFDM/64QAM 전송 시스템의 성능을 시뮬레이션하여 평가하고자 한다. 또한 적응 LMS 등화기를 성능 개선 기법으로 적용하여 성능 개선 정도를 평가하고자 한다.

II. OFDM/64QAM 전송 시스템

2-1 OFDM 송수신기 구조

FFT를 사용한 OFDM 송수신기의 기본 블록도를 그림 2에 나타낸다.

그림 2의 OFDM 송신기에서 높은 전송 속도의 입력 데이터는 S/P (Serial to Parallel) 변환부에 의해 낮은 전송 속도의 병렬 데이터로 변환되고, 변환된 출력은 M-ary QAM Mapper를 통해 다시 부호화 되고 고속 푸리에 역변환 (IFFT) 과정을 거쳐서 OFDM 신호가 만들어진다. 그 다음 IFFT 출력을 RF (Radio Frequency) 주파수로 변환하기 위해 반송파 f_c 가 곱해진 신호는 BPF (Band Pass Filter) 거친 후 공간으로 전송된다.

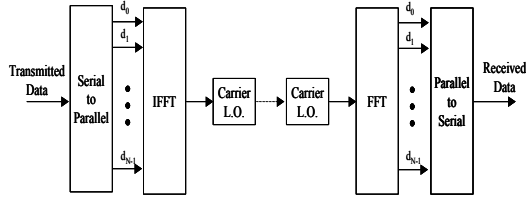


그림 2. OFDM 시스템의 송신기와 수신기의 블록 다이어그램

Fig. 2. Block diagram of transmitter and receiver of OFDM system.

전송된 신호 $s(t)$ 는 다음 식과 같다[6-8].

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} R [c_{ki} e^{j2\pi f_k(t-iT_s)}] f(t-iT_s) \quad (1)$$

여기서 f_k 는 k 번째 반송파 주파수로서

$$f_k = f_0 + \frac{k}{t_s} \quad (2)$$

가 되며, f_0 는 가장 낮은 반송파 주파수이고 $f(t)$ 는 펄스 파형으로서 다음과 같은 값을 갖는다.

$$f(t) = \begin{cases} 1 & (-t_g \leq t \leq t_s) \\ 0 & (t < -t_g, t > t_s) \end{cases} \quad (3)$$

여기서 t_g 와 t_s 는 보호 구간과 유효 심볼 구간이고, 심볼 주기는 $T_s = t_g + t_s$ 이다. 전송 신호 $s(t)$ 는 심볼 주기가 T_s 인 M-ary QAM 신호들의 합이며 반송파간의 주파수 간격은 $1/t_s$ 이 된다. 전송 신호 $s(t)$ 는 다중 경로 페이딩과 부가성 백색 가우시안 잡음(AWGN)에 의해 방해를 받게 되어 수신 신호 $r(t)$ 는 다음 식과 같이 된다[6-8].

$$r(t) = \int_0^{\infty} s(t-\tau)h(\tau, t) + n(t) \quad (4)$$

여기서 $h(\tau, t)$ 는 시간 t 에서의 채널 임펄스 응답이며, $n(t)$ 는 부가성 백색 가우시안 잡음이다.

수신기에서 수신된 신호 $r(t)$ 는 BPF에 의해 필터링 되고, 국부 반송파에 의해 IF (Intermediate Frequency)로 변환된다. 그 다음 OFDM 복조를 하기 위해 FFT 과정을 거친 후 P/S 2변환부에 의해 높은 전송 속도의 데이터가 복원된다.

2-2 적응 LMS 등화기

OFDM 방식은 페이딩의 영향을 받은 부 반송파에 대해서는 등화기를 적용했을 경우 큰 폭의 성능개선을 도모할 수 있다. 전송되는 심볼 앞에 가장 큰 채널 전파지연 값보다 큰 보호구간을 넣으면 심볼들 사이에서 발생하는 ISI (Inter-Symbol Interference)를 제거할 수 있다. OFDM 신호에 대해서는 각각의 부 반송파 신호들이 협대역 특성을 가지므로 주파수 영역에서 부 채널별로 TDL (Tap Delay Line) 구조인 그림 3의 1-tap 등화기를 이용하면 충분하다. 본 논문에서는 등화기 알고리즘으로 LMS 알고리즘을 사용한다[9].

그림 3에서 수신신호 $y_m(n)$ 를 복조한 심볼은 식 (5) 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_m(k) = \text{FFT}\{y_m(n)\}e^{-f_2 \pi kn/N} = \sum_{n=0}^{N-1} y_m(n)e^{-f_2 \pi kn/N} \quad (5)$$

여기서, m 은 심볼의 인덱스, n 은 시간영역 샘플 신호의 인덱스, k 는 주파수 영역에서의 부 반송파의 인덱스를 나타낸다. 식 (5)는 일반적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_m(k) = X_m(k)H_m(k) + D_m(k) \quad (6)$$

여기서, $H_m(k)$ 는 채널의 주파수 응답이고 $D_m(k)$ 는 가우시안 잡음을 나타낸다[9].

등화기 출력을 $\hat{X}_m(k)$ 라고 할 때 등화기의 추정 오차는 다음과 같다.

$$\varepsilon_m(k) = X_m(k) - \hat{X}_m(k) \quad (7)$$

제곱평균을 최소로 하는 등화기의 계수는 식 (8)과

같은 반복 알고리즘으로 구할 수 있다.

$$C_{m+1}(k) = C_m(k) + \mu \varepsilon_m(k) Y_m^*(k) \quad (8)$$

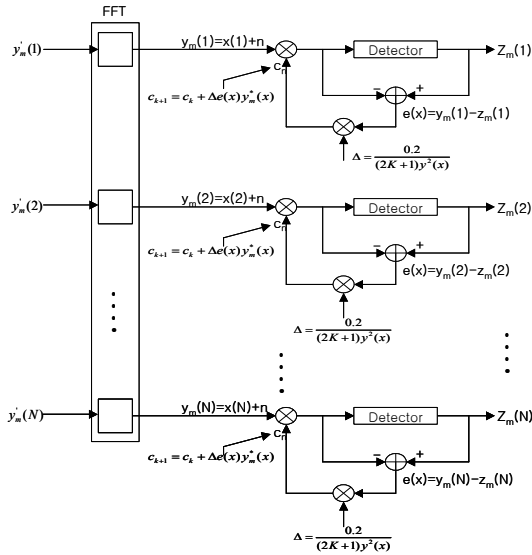


그림 3. 1-tap 선형 등화기 모델
Fig. 3. Model of 1-tap linear equalizer.

III. Rummler 채널에서 OFDM/64QAM 시스템의 시뮬레이션 모델

OFDM/64QAM 시스템을 케이블 전송 채널에서 사용할 경우, 채널 요소로서 다중경로로 입사되는 다중 경로 페이딩 채널을 고려하여야 한다. 본 논문에서는 Rummler의 Two-ray 모델을 페이딩 채널로 고려했을 때 OFDM/64QAM 시스템의 성능을 분석하기 위해 그림 4와 같은 시뮬레이션 모델을 이용하며, 시뮬레이션 모델의 파라미터는 표 1과 같다.

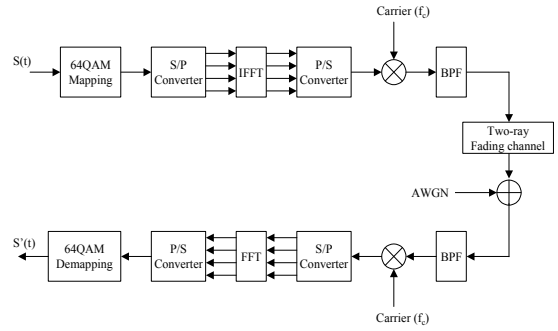


그림 4. Rummler 채널에서 OFDM/64QAM 시스템의 시뮬레이션 모델
Fig. 4. Simulation model of OFDM/64QAM system in Rummler channel.

표 1. 시뮬레이션 모델의 파라미터
Table 1. Parameters of simulation model.

Parameters	Values
Modulation type	64QAM
Required information bit rate	51.84[MHz]
Subcarrier spacing	540[KHz]
OFDM signal bandwidth (null to null)	9.18[MHz]
Number of carriers	16
The points of FFT/IFFT	32
Main carrier frequency	8[GHz]

IV. 성능 평가

그림 5는 Two-ray 채널에서 반사파에 대한 감쇠계수(b)에 따른 OFDM/64QAM 시스템의 심볼 오류 성능을 나타낸 그래프이다. Eb/N0를 10dB부터 20dB까지 변화시켰을 경우의 성능을 분석해본 결과, 감쇠계수 (b)가 0.15 이상일 때에는 Eb/N0에 관계없이 성능이 거의 동일하게 나타났다.

그림 6은 Two-ray 채널에서 반사파의 감쇠계수의 변화에 따라 적응등화기를 채용한 OFDM/ 64QAM 시스템의 심볼 오류 성능을 구한 그래프이다. 그림 5와 비교했을 때, 반사파 감쇠계수가 0.1이고 Eb/N0가 10dB인 경우를 살펴보면 등화기를 채용하지 않은 경우 2×10^{-1} 정도의 오류성능을 나타내었고, 등화기를 채용한 경우 8×10^{-2} 정도의 오류 성능을 나타내었다. 또한 Eb/N0가 큰 경우 등화기를 채용함으로써

써 얻어지는 오율성능 개선 폭은 더욱 크게 나타났다. 그러나 그림 5의 경우와 유사하게 등화기를 채용한 경우에도 b 가 0.15이상인 경우에는 E_b/N_0 에 관계없이 거의 동일한 성능을 나타내었다.

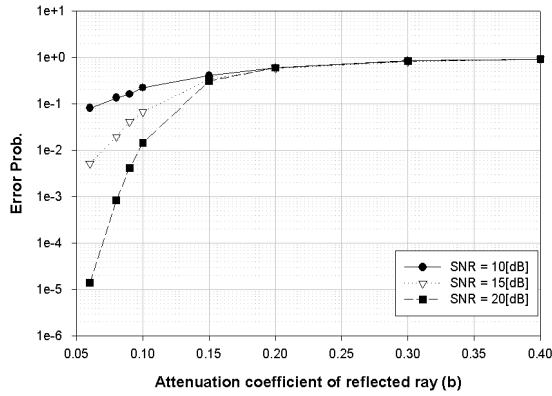


그림 5. Rummler 채널에서 OFDM/64QAM 시스템의 오율 성능

Fig. 5. Error probability performance of OFDM/64QAM system in Rummler channel.

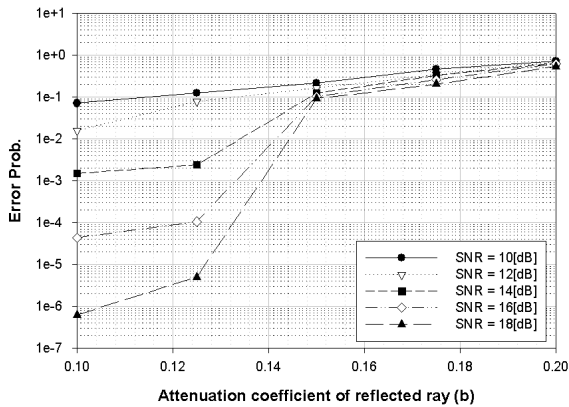


그림 6. Rummler 채널에서 등화기를 채용한 OFDM/64QAM 시스템의 감쇠 계수에 따른 오율 성능

Fig. 6. Error probability performance of OFDM/64QAM system adopting equalizer with respect to attenuation coefficient in Rummler channel.

그림 7은 Two-ray 채널에서 적응 등화기를 채용한 OFDM/64QAM 시스템의 심볼 오율 성능을 E_b/N_0 의 변화에 따라 나타낸 그래프이다. 그림으로부터 반사파 감쇠계수 b 가 0.15 이하인 경우에 등화기를 채용하여야 성능 개선 정도가 크게 이루어짐을 알 수 있었다.

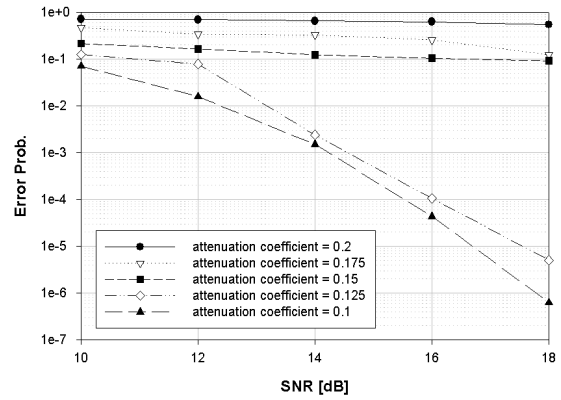


그림 7. Rummler 채널에서 등화기를 채용한 OFDM/64QAM 시스템의 SNR 값에 따른 오율 성능

Fig. 7. Error probability performance of OFDM/64QAM system adopting equalizer with respect to SNR in Rummler channel.

V. 결 론

본 논문에서는 케이블 채널을 Rummler Two-ray 채널로 모델링하고, OFDM/64QAM 전송 시스템의 성능을 시뮬레이션하여 평가하였다. 또한 적응 LMS 등화기를 성능 개선 기법으로 적용하여 성능 개선 정도를 평가하였다.

성능 평가 결과, Rummler Two-ray 채널에서 반사파에 대한 감쇠계수(b)가 0.15 이하인 경우에는 등화기를 채용하여야 성능 개선 정도가 크게 이루어짐을 알 수 있었다. 그리고 b 가 0.15이상인 경우에는 등화기를 채용해도 E_b/N_0 에 관계없이 거의 동일한 성능이 얻어짐을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.eic.re.kr>
- [2] “디지털 케이블 TV 산업 현황과 전망,” 제14권 4호, 정보통신정책연구원
- [3] “디지털 케이블 TV 사업진입 방안,” Korea Digital Cable Media Center, 2003. 06.
- [4] “DMB, 데이터 방송 및 DMC 등 디지털 방송에 관한 종합 계획,” 방송위원회, 2003. 02.
- [5] “디지털 방송산업 종합발전계획 수립,” 정보통신정책연구원, 2001. 09.

[6] O. Edfors, M. Sandell, J. J. van de Beek, D. Landstrom and F. Sjoberg, "An introduction to orthogonal frequency division multiplexing," *Research Report TULEA 1996, Division of Signal Processing*, Lulea University of Technology, 1996.

[7] Blahut, R. E., *Fast Algorithms for Digital Signal Processing*. Reading, MA : Addison-Wesley, 1985.

[8] L. Wei and C. Schlegel, "Synchronization requirements for multi user OFDM on satellite mobile and two-path Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 43, no. 2/3/4, pp. 887-895, Feb./Mar./Apr. 1995.

[9] N. Kataoka, R. Kohno, "Adaptive Equalizer for Multi-Carrier Communication System," *Technical Report of IEICE, SST 97-74*, pp.1-6, Dec. 1997.

안 정 길(安楨吉)



1991년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1993년 8월 : 한국항공대학교 전자공학과 석사졸업 (공학석사)
 2000년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 전자공학과 박사과정 재학중
 1993년 4월 ~ 1997년 11월 : (주)금

경계전

1998년 1월 ~ 2001년 3월 : (주)기산텔레콤 선임연구원
 2001년 8월 ~ 2003년 2월 : (주)신영텔레콤 수석연구원
 2003년 4월~현재 : (주)세니온 개발본부장
 관심분야 : 무선통신, 이동통신, WLAN, 광통신공학

곽 재 민(郭宰旻)



1998년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)
 1999년 8월 : 한국항공대학교 대학원항공통신정보공학과(공학석사)
 2002년 8월 : 한국항공대학교 대학원항공통신정보공학과(공학박사)
 2002년 7월~2003년 7월 : 한국전자

통신연구원 네트워크연구소 Post. doc.

2003년 7월 ~ 현재 : 전자부품연구원 SoC 연구센터 선임연구원

관심분야 : 이동통신, 무선랜, UWB

박 기 식(朴機植)



1991년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)
 1996년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)
 2000년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학박사)
 2001년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문

대학 정보통신과 부교수

관심분야 : 이동통신, 무선통신

조 성 언(趙誠彦)



1989년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사)
 1991년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)
 1997년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)

1997년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 정보통신공학부 부교수

관심분야 : 무선통신시스템, Wireless USN

조 성 준(趙成俊)



1969년 2월 : 한국항공대학교 항공
통신공학과 (공학사)

1975년 2월 : 한양대학교 대학원
(공학석사)

1981년 3월 : 오사카대학 대학원
(공학박사)

1972년 8월 ~ 현 재 : 한국항공대학
교 항공전자 및 정보통신공학부 교수

관심분야 : 이동통신, 무선통신, 환경전자공학, 이동무선
인터넷