

다중 경로 페이딩 채널에서 무선 LAN용 16QAM/OFDM 시스템의 성능 개선에 관한 연구

최연주, 김항래, 김 남
충북대학교 정보통신공학과

A Study on the Performance Improvement of 16QAM/OFDM System for Wireless LAN in Multipath Fading Channel

Yeoun-Joo Choi, Hang-Rae Kim, Nam Kim
Dept. of Computer & Communication Eng., Chungbuk National Univ.
E-mail: yjchoi@osp.chungbuk.ac.kr

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN에 적합한 16QAM/OFDM 시스템의 성능을 AWGN과 two-ray 다중 경로 페이딩 채널에서 시뮬레이션을 통하여 분석하고 성능 향상을 위한 방법으로 비터비 복호를 하는 길쌈 부호와 단일 탭의 LMS 등화기를 사용한다. 길쌈 부호를 사용하면 AWGN과 다중 경로 페이딩 채널에서 각각 경판정(hard-decision)은 2 dB, 6 dB, 연판정(soft-decision)은 4.5 dB, 10 dB의 이득을 얻는다. 또한 다중 경로 페이딩 환경에서 경판정 비터비 복호와 단일 탭의 LMS 등화기를 함께 사용하는 경우에는 경판정 복호만을 사용하는 경우보다 5 dB 향상됨을 알 수 있다.

I. 서 론

최근 다중 경로 페이딩 채널에서 높은 전송률로 신호를 전송할 수 있는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송 방식이 각광을 받고 있다[1-3].

OFDM은 스펙트럼 효율이 좋은 다중 반송파 방식으로서 광대역 신호를 상호 직교성을 갖는 현대역의 부채널로 나누어서 전송한다. 이러한 다중 반송파 시스템은 전송되는 심볼 간격이 길어져 채널의 지연시간 영향을 덜 받게 되며 연속된 심볼간의 간섭을 줄일 수 있어 다중 경로 페이딩 채널에 잘 대처하므로 최근 IEEE 802.11a 무선 LAN 표준안에서도 OFDM 방식이 채택되었다[4].

무선 LAN은 무선 전송 기술을 사용하여 기존의 유선 LAN의 미비점을 보완하고, 유선 LAN의 설치가 어려운 환경까지 무선채널을 통해 LAN을 확장시킬 수 있는 이동성, 휴대성 및 간편성 등의 이점으로

응용 분야가 확산되고 있다. 그러나 기존에 상용화되어 있는 무선 LAN 전송 방식으로 적외선 방식과 대역확산 방식으로 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum), DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 등이 있지만 주파수 효율성이 낮고 데이터 전송률이 1~2 Mbps이므로 고속의 멀티미디어 전송에 적합하지가 않다[5]. 그러므로 고속, 광대역의 멀티미디어 서비스를 지원하기 위한 새로운 표준안이 등장하게 되었다.

본 논문에서는 무선 LAN에 적합한 16QAM/OFDM 시스템을 모델링하여 다중 경로 페이딩 환경에서 그 성능을 분석한다. 다차 변조와 결합한 OFDM 방식은 고속 전송에 매우 효율적인 기술이지만, 주파수 선택성 페이딩 환경에서는 시스템 성능의 열화 정도가 아주 크기 때문에 이를 극복하기 위해 별도의 기술이 요구된다. 따라서 성능 개선의 방법으로 부호율 1/2, 구속장이 7인 길쌈 부호와 경판정(hard decision), 연판정(soft decision) 비터비 복호를

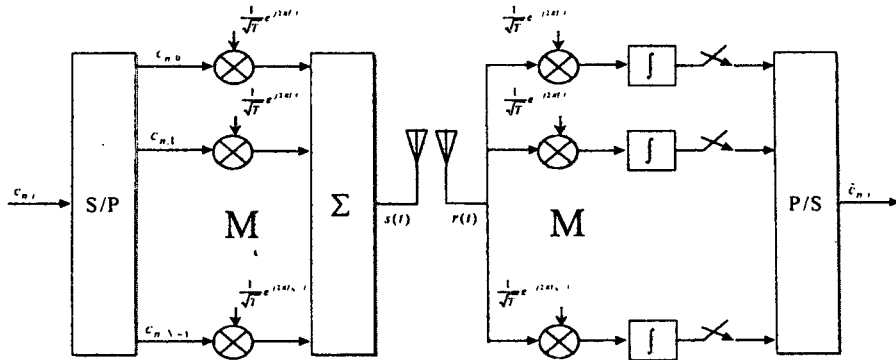


그림 1. OFDM 시스템의 기본 구조

각각 사용하여 시스템 성능을 나타낸다. 또한, OFDM 시스템은 하나의 랩을 갖는 주파수 영역의 등화기를 사용하여 진폭과 위상에 대한 왜곡을 쉽게 보상할 수 있으므로 단일 랩의 LMS 등화기를 사용하여 OFDM 시스템의 성능을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 II장에서 OFDM 시스템 및 채널 모델에 대하여 기술하고, III장에는 성능 개선의 방법으로 비터비 복호를 사용하는 길쌈 부호와 LMS 등화기를 설명하고 IV에서는 시뮬레이션 결과를 통한 OFDM 시스템의 성능을 나타낸다. V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. OFDM 시스템 및 채널 모델

OFDM 시스템의 일반적인 구조를 그림 1에 나타내었으며, 전송되는 OFDM 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다[6].

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{A}{\sqrt{T}} c_{n,i} e^{j2\pi f_i t} g(t-nT_s) \quad (1)$$

여기서 A 는 신호의 전력, T_s 는 OFDM 심볼의 주기, $c_{n,i} = a_{m,n} + jb_{m,n}$ 는 i 번째 전송되는 QAM 심볼, $f_i = i/T$ 는 i 번째 전송되는 부반송파의 주파수이다. $g(t)$ 는 펄스성형 함수로서 다음과 같다.

$$g(t) = \begin{cases} 1, & T_g \leq t \leq T_s \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 T_g 는 OFDM 신호의 보호 구간이며, $T = T_s - T_g$ 로 유효 심볼 구간을 나타낸다.

이러한 전송 신호가 다중 경로 페이딩 채널을 통해 전송되므로, 본 논문에서는 다음과 같은 임펄스 응답을 갖는 two-ray 모델로 다중 경로 페이딩 채널을 모델링 한다 [6, 7].

$$h(t) = \delta(t) + \alpha\delta(t-\tau) \quad (3)$$

여기서 α 는 반사파의 감쇄 상수로서 $\alpha < 1$ 이라고 가정하며 τ 는 지연 확산으로 보호구간보다 작다고 가정한다. 이러한 채널은 직접파가 존재하고 여러 개의 반사파를 하나의 대표 모델로 표시할 수 있는 무선 LAN 환경에 매우 적합한 채널 모델이다. 채널을 통과한 수신 신호 $x(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$y(t) = x(t) + \alpha x(t-\tau) + n(t) \quad (4)$$

여기서 $n(t)$ 는 평균이 0이고 전력 밀도가 $N_0/2$ 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이다.

III. OFDM 시스템의 성능 향상 방법

1. 길쌈 부호화 및 인터리빙

채널 부호화 방법으로 본 논문에서는 그림 2와 같은 부호율 1/2, 구속장 7인 길쌈 부호를 사용한다[4]. 길쌈 부호화된 신호는 수신단에서 MLSE(Maximum Likelihood Sequence Estimation)를 수행하는 비터비 알고리즘을 통하여 복호된다. 비터비 복호에는 0과 1

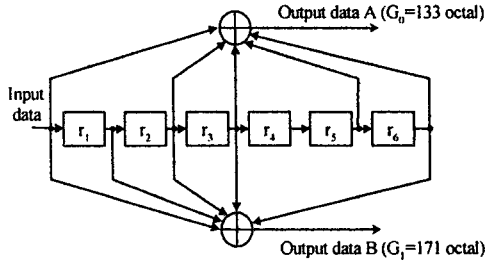


그림 2. (2,1,7) 길쌈 부호기

로 판정하는 경판정과 M 레벨로 판정하는 연판정이 있다. 본 논문에서는 경판정과 연판정을 각각 적용하여 그 성능을 분석하며, 이 때 복호 깊이는 64, 연판정의 경우에 양자화 비트는 4 ($k = \log_2 M$)를 사용한다[8].

길쌈 부호화된 데이터는 채널에 의한 버스트 에러를 방지하기 위해 블럭 크기가 하나의 OFDM 심볼의 비트 수인 블럭 인터리버에 의해 인터리빙 된다. 인터리빙은 식 (5) 및 식 (6)과 같이 두 번의 단계를 거쳐 수행되는데 첫 단계는 인접하는 비트가 서로 인접하지 않는 부반송파에 실리도록 하는 것이며, 두 번째 단계는 매핑 성좌도에서의 비트 위치를 바꾸어 주는 것이다[9].

$$i = (N_{CBPS}/16)(k \bmod 16) + \text{floor}(k/16) \quad (5)$$

$$k = 0, 1, \dots, N_{CBPS} - 1$$

$$j = s \times \text{floor}(i/s) + (i + N_{CBPS} - \text{floor}(16 \times i / N_{CBPS})) \bmod s \quad (6)$$

$$i = 0, 1, \dots, N_{CBPS} - 1$$

첫 번째 단계에서 인터리빙 되기 전의 비트열의 순서를 k 로 표시할 때 인터리빙 후의 순서는 i 가

되며 마찬가지로 두 번째 단계에서는 i 의 입력 순서를 갖는 비트열이 j 의 출력 순서를 갖는 비트열로 인터리빙 된다. 여기서 $N_{CBPS}(=192)$ 는 하나의 OFDM 심볼에 실리는 부호화된 비트수, $N_{BPSC}(=4)$ 는 하나의 부반송파에 실리는 비트수콜 나타내며, $\text{floor}(\cdot)$ 는 괄호 안의 수를 초과하지 않는 최대 정수, $s = \max(N_{BPSC}/2, 1)$ 를 나타낸다.

2. 채널 등화 기법

16QAM과 같은 동기변조 방법을 사용하는 경우에는 복잡한 구조의 채널 등화를 필요로 한다. 그러나 OFDM 시스템에서는 cyclic prefix에 의한 보호구간을 사용하여 ISI를 쉽게 제거할 수 있으므로 진폭, 위상 왜곡을 보상하는 단일 탭 등화기를 사용하면 충분하다[7]. 그림 3에는 일반적인 등화기의 구조를 나타내었다.

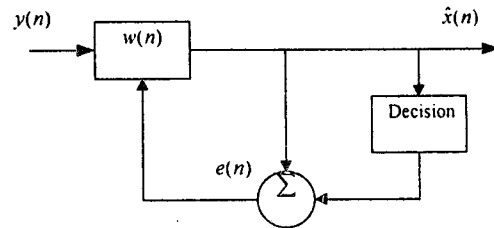


그림 3. 등화기 구조

본 논문에서는 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기준을 갖는 LMS(Least Mean Square) 등화기를 사용하며, MMSE 조건은 다음과 같다[10].

$$\min W(k) \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} |Y_m(k)W(k) - X_m(k)|^2 \quad (7)$$

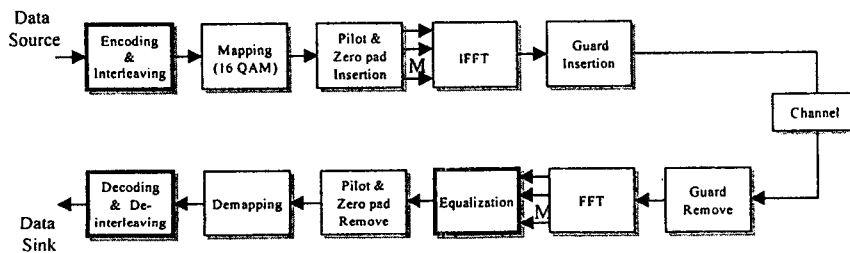


그림 4. 시뮬레이션 모델

윗 식에서 $W(k)$ 는 등화기 계수이며, LMS 등화기의 계수 조정식은 다음과 같이 나타낸다.

$$W_{m+1}(k) = W_m(k) + \Delta \epsilon_m(k) Y_m^*(k) \quad (8)$$

여기에서 Δ 는 학습 조정 계수이고, $\epsilon_m(k)$ 는 다음과 같다.

$$\epsilon_m(k) = X_m(k) - \hat{X}_m(k) \quad (9)$$

$$\hat{X}_m(k) = W_m(k) Y_m(k) \quad (10)$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서 사용된 시뮬레이션 모델은 그림 4와 같고 채널상에서 BER(Bit Error Rate)을 추정하기 위해 SPW(Signal Processing Worksystem)을 사용하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션에 사용되는 OFDM 시스템의 파라미터를 표 1에 나타내었다.

표 1. OFDM 시스템 파라미터

Bit rate	24Mbits/s
Number of subcarrier, N	64
Number of data subcarrier	48
Useful symbol duration, T _u	3.2 μ s
Guard interval duration, T _g	800ns
Subcarrier modulation	16QAM
Channel Coding	(2,1,7) Convolution coding
	Hard decision, 16-level soft decision viterbi decoding
Equalizer	LMS(10 training OFDM symbol, $\Delta=0.01$)
Delay, τ	50ns
Attenuation Coefficient, α	0.5

그림 5는 AWGN 환경에서 인터리빙과 길쌈 부호를 사용하는 16QAM/OFDM 시스템의 BER 성능을 나타낸다. AWGN에서 OFDM 방식과 단일 반송파 시스템의 성능은 동일하며 이는 이론적인 값과도 일치한다. 실제 시스템에서처럼 48개의 부반송파에만 데이터가 실리는 경우에는 BER 성능이 더욱 향상됨을 알 수 있다. 이는 시간영역에서 추가되는 AWGN은 모든 주파수에 걸쳐 동일한 크기로 분배되며 전체 전력은 시간, 주파수 영역이 동일하므로 데이터가 실리지 않는 부분에 해당하는 잡음의 양만큼 데이터

가 실리는 부분의 잡음의 양이 감소하기 때문이다. 48개의 부반송파에만 데이터가 실리는 16QAM/OFDM 시스템에 인터리빙과 길쌈 부호를 사용하면 BER 성능은 경관정과 연관정 비터비 부호를 사용하였을 경우가 부호화를 사용하지 않았을 경우보다 각각 2 dB, 4.5 dB 성능이 향상됨을 알 수 있다.

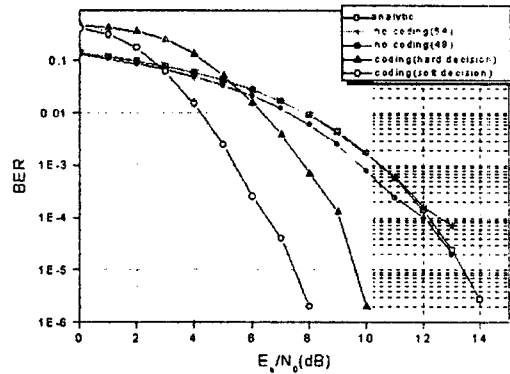


그림 5. AWGN에서 길쌈 부호를 사용하는 16QAM/OFDM 시스템의 BER 대 E_b/N_0

그림 6은 two-ray 다중 경로 페이딩 채널에서 인터리빙과 길쌈 부호를 사용하는 16QAM/OFDM 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 부호화를 사용하지 않았을 경우보다 경관정과 연관정 비터비 부호를 사용하였을 경우에 각각 6 dB, 10 dB의 성능이 향상된다.

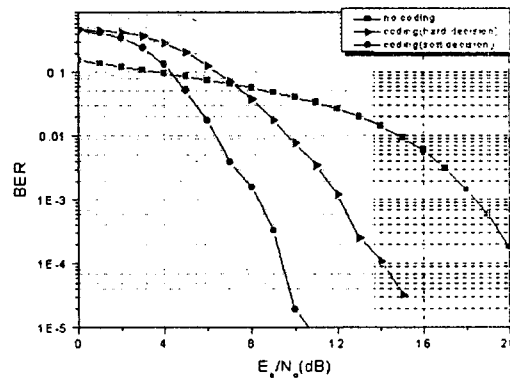


그림 6. 다중 경로 페이딩 채널에서 길쌈 부호를 사용하는 16QAM/OFDM 시스템의 BER 대 E_b/N_0

그림 7은 two-ray 다중 경로 페이딩 채널에서 LMS 등화기를 사용한 16QAM/OFDM 시스템의

BER 성능과 등화기와 길쌈 부호를 동시에 사용한 경우의 BER 성능을 나타낸다. LMS 등화기를 사용하지 않았을 경우보다 등화기를 사용할 경우 약 8 dB의 성능이 개선되며, 여기에 길쌈 부호까지 사용하면 AWGN 환경에서의 BER보다 더 효율적인 성능 곡선을 얻을 수 있다.

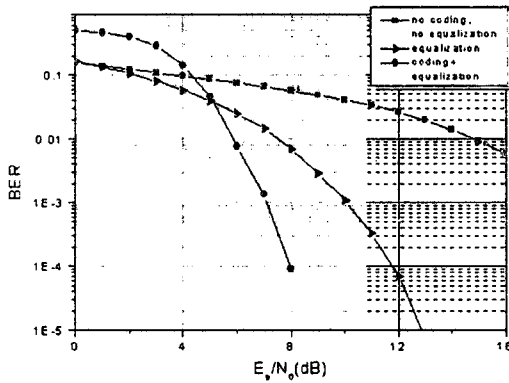


그림 7. 다중 경로 페이딩 채널에서 등화기를 사용하는 16QAM/OFDM 시스템의 BER 대 E_b/N_0

V. 결 론

본 논문에서는 무선 LAN에 적합한 길쌈 부호화된 16QAM/OFDM 시스템에 대한 성능을 two-ray 다중 경로 페이딩 채널에서 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 설계된 16QAM/OFDM 시스템은 5GHz 주파수대에서 24Mbps의 데이터를 지원하며 IEEE 802.11a 무선 LAN의 무선 물리 계층의 규격을 만족한다. 분석 결과, 경관정, 연판정의 비터비 복호와 진폭과 위상의 왜곡을 보상하는 단일 탭의 LMS 등화기를 사용하였을 경우에 시스템의 성능이 크게 향상됨을 알 수 있었다. 그러므로 제안된 16QAM/OFDM 시스템은 고속의 무선 멀티미디어 전송에 적합한 기술이라 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] S. B. Weinstein and P. M. Ebert, "Data transmission by frequency division multiplexing using the discrete fourier transform," IEEE Trans. on Comm. Tech., Vol. 19, No. 5, pp. 628-634, Oct. 1971.
 [2] L. J. Cimini, "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal

division multiplexing," IEEE Trans. on Comm., Vol. 33, No. 7, pp. 665-675, July 1985.
 [3] H. Sari, G. Karam and I. J. Claude, "Transmission technique for digital terrestrial TV broadcasting," IEEE Comm. Mag., pp. 100-109, Feb. 1995.
 [4] IEEE 802.11a, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specification: High speed physical layer in the 5GHz band, 1999.
 [5] S. V. Saliga, "An introduction to IEEE 802.11 wireless LANs," RFIC Symposium 2000, pp. 11-14, June 2000.
 [6] 정영모, 이상욱, "다중 경로 페이딩 채널에서 OFDM의 성능 분석", 한국통신학회논문지, Vol. 21, No. 11, pp. 2923-2941, Nov. 1996.
 [7] H. K. Kang, W. C. Hwang and K. S. Kim, "Performance analysis of the OFDM system with one tap equalizer against the two-ray multipath channel," IEEE TENCON 99, Vol. 1, pp. 45-48, Sept. 1999.
 [8] K. M. Lee, D. S. Han and K. B. Kim, "Performance of the viterbi decoder for DVB-T in rayleigh fading channels," IEEE Trans. on Cons. Elec., Vol. 44, No. 3, pp. 994-1000, Aug. 1998.
 [9] 정의석, 조용수, "IEEE 802.11a의 고속 무선 LAN 모델 기술", 한국통신학회지, Vol. 16, No. 10, pp. 1144-1145, Oct. 1999.
 [10] John G. Proakis, Digital Communication, McGraw-Hill, 3th ed., 1995.