

# 실내 무선 채널 환경에서 무선 LAN용 OFDM 시스템의 성능 분석

## Performance Analysis of a OFDM System for Wireless LAN in Indoor Wireless Channel

최연주\* · 김항래\* · 김 남\* · 고영훈\*\* · 안재형\*

Yeoun-Joo Choi\* · Hang-Rae Kim\* · Nam Kim\* ·  
Young-Hoon Ko\*\* · Jae-Hyeong Ahn\*

### 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN에 적합한 OFDM 시스템에 비터비 복호를 사용하는 길쌈 부호와 단일 탭의 LMS 등화기를 적용하여 실내 무선 채널 환경에서 시스템 성능을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 실내 무선 채널은 라이시안 페이딩 채널로 모델링하고, 부채널 변조 방식으로는 QPSK와 16QAM을 사용한다. 직접파 대 간섭파 전력비  $K=5$  dB 인 라이시안 페이딩 채널에서 길쌈 부호 및 비터비 복호를 사용하는 경우, 경관정에서 QPSK는 8.6 dB, 16QAM은 19.2 dB, 연관정에서 QPSK는 5.3 dB, 16QAM은 9.8 dB에서  $10^{-4}$ 의 BER을 만족하였다. 또한 16QAM/OFDM 방식에 단일 탭의 LMS 등화기를 사용하면 길쌈 부호만을 사용한 경우보다 경관정 비터비 복호의 경우 8.6 dB, 연관정의 경우에는 2 dB의 성능이 향상됨을 알 수 있었다.

### Abstract

In this paper, the system performance with the convolution code using a Viterbi decoding and the one tap LMS equalizer applied to the OFDM system, which is suitable for IEEE 802.11a wireless LAN in indoor wireless channel, is analyzed through computer simulation. Indoor wireless channel is modeled as Rician fading channel, and QPSK and 16QAM scheme are used for subchannel modulation. In Rician fading channel with the power ratio of the direct path signal to the scattered signals,  $K=5$  dB, BER of  $10^{-4}$  is satisfied if the SNRs of the QPSK/OFDM and the 16QAM/OFDM are 8.6 dB and 19.2 dB in hard decision and 5.3 dB and 9.8 dB in soft decision, respectively. Compared with convolution code scheme, it is observed that 16QAM/OFDM system with the one tap LMS equalizer has the performance improvement of 8.6 dB and 2 dB in hard decision and soft decision, respectively.

### I. 서 론

무선 LAN은 무선 전송 기술을 사용하여 기존의 유선 LAN의 미비점을 보완하고, 유선 LAN의 설치가 어려운 환경까지 무선채널을 통해 LAN을 확장

시킬 수 있는 이동성, 휴대성 및 간편성 등의 이점으로 그 응용 분야가 확산되어 가고 있다. 그러나 기존에 상용화된 무선 LAN 전송 방식으로는 적외선 방식과 대역확산 방식의 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum), DSSS(Direct Sequence Sp-

\*충북대학교 정보통신공학과(Department of Computer & Communication Engineering in Chungbuk National Univ.)

\*\*협성대학교 컴퓨터공학과(Department of Computer Engineering in HyupSung Univ.)

· 논문 번호 : 20001031-128

· 수정완료일자 : 2001년 1월 4일

read Spectrum) 방식 등이 있지만, 주파수 효율성이 낮고 데이터 전송률이 1~2 Mbps로 고속의 멀티미디어 전송에는 적합하지가 않다<sup>[1]</sup>. 그러므로 고속, 광대역의 멀티미디어 서비스를 지원하기 위한 새로운 표준안에 대한 논의가 계속되어 왔으며, 최근 5 GHz에서 6~54 Mbps의 전송 속도를 갖는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식의 IEEE 802.11a 무선 LAN(Local Area Network) 표준안이 확정되었다<sup>[2],[3]</sup>.

OFDM은 스펙트럼 효율이 좋은 다중 반송파(multi-carrier) 전송 방식으로서 광대역 신호를 상호 직교성을 갖는 협대역의 부채널로 나누어 이를 중첩시켜 동시에 전송하므로 동일한 대역폭을 사용하는 단일 반송파(single-carrier) 전송 방식에 비하여 상대적으로 큰 전송 속도를 갖는다. 또한, 전송되는 심볼 간격이 길어져 채널의 지연시간에 대한 영향이 감소하며, 인접한 OFDM 심볼 사이에 채널의 임펄스 응답 길이보다 긴 보호 구간(guard interval)을 두어 인접 심볼간 간섭(ISI; Inter Symbol Interference)과 인접 채널간 간섭(ICI; Inter Channel Interference)를 쉽게 제거할 수 있다<sup>[4]~[8]</sup>.

본 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN에 적합한 OFDM 시스템을 모델링하여 실내 무선 채널 환경에서 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 분석한다. OFDM 시스템에서 각각의 부채널은 QPSK, QAM을 사용하여 변조하고, 실내 무선 채널 모델로는 LOS(Line-Of-Sight) 경로가 존재하는 라이시안(Rician) 페이딩 채널을 고려한다. 다차 변조와 결합한 OFDM 방식은 고속 전송에 매우 효율적인 기술로, 특히 고속 이동 통신이 가능한 이동 멀티미디어 양방향 서비스를 실현할 수 있으며, 화상 및 고속 데이터 전송 등 다양한 기능을 제공할 수 있다. 그러나, 이러한 다차 변조 방식은 주파수 선택성 페이딩 환경에서는 성능의 열화 정도가 아주 크기 때문에 이를 극복하기 위해 별도의 기술이 요구된다. 따라서 성능 개선의 방법으로 부호율 1/2, 구축장이 7인 길쌈 부호와 경관정(hard decision), 연관정(soft decision) 비터비 복호를 각각 사용하여 시스템 성능을 분석한다. 또한, OFDM 시스템은 하나의 탭을 갖는 주파수 영역의 등화기를 사용하여 진폭과 위상에 대한 왜곡을 쉽게 보상할 수 있으므로 단일 탭의

LMS 등화기를 사용한 OFDM 시스템의 성능도 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 II장에서 OFDM 시스템 및 채널 모델에 대하여 기술하고, III장과 IV에서는 OFDM 시스템에 적용한 길쌈 부호 및 비터비 복호 방법과 단일 탭의 LMS 등화기를 각각 설명하며 V에서는 시뮬레이션 결과를 통한 OFDM 시스템의 성능을 나타낸다. VI장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 채널 모델링 및 OFDM 신호

OFDM 시스템의 일반적인 구조를 그림 1에 나타내었으며, 실제 구현에서 다수의 반송파를 반복조하는 과정은 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)와 FFT를 사용하여 수행된다.

기저 대역에서 전송되는 OFDM 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[9]</sup>.

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

여기서  $N$ 은 부채널의 수,  $A$ 는 신호의 전력,  $T_s$ 는 OFDM 심볼의 주기,  $c_{n,i} = a_{n,i} + jb_{n,i}$ 는  $i$ 번째 부채널을 통해 전송되는 심볼로 QPSK 혹은 QAM 신호이며,  $f_i$ 는  $i$ 번째 전송되는 부채널의 주파수로 부채널간의 직교성을 만족하기 위하여  $f_i = i/T$ 의 관계를 갖는다.  $g(t)$ 는 펄스 성형 함수로서 다음과 같다.

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

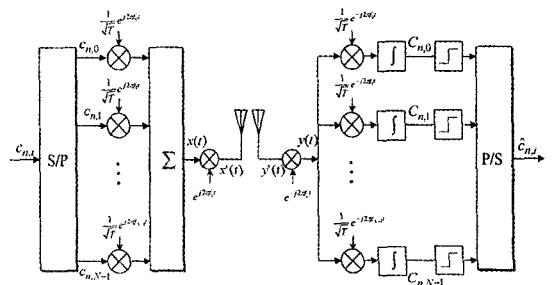


그림 1. OFDM 시스템의 기본 구조  
Fig. 1. Basic structure of a OFDM system.

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 직접파와 레일리(Rayleigh) 페이딩을 겪는 간접파의 합으로 모델링한 라이시안 다중경로 채널을 가정한다. 따라서, 채널의 임펄스 응답은 다음과 같다<sup>[9],[10]</sup>.

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

여기서  $\alpha$ 는 반사파의 감쇄 상수로서 레일리 확률 변수라 가정하고,  $\tau$ 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  $y'(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y'(t) = h(t) * x'(t) + n(t) \\ = x'(t) + \alpha x'(t-\tau) + n(t) \quad (4)$$

여기서 \*는 컨볼루션을 나타내고,  $n(t)$ 는 평균이 0이고 전력 밀도가  $N_0/2$ 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 이다. 그러므로 수신 신호  $y'(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y'(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{A}{\sqrt{T}} c_{n,i} e^{j2\pi(f_c+f_i)t} g(t-nT_s) \\ + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\alpha A}{\sqrt{T}} c_{n,i} e^{j2\pi(f_c+f_i)(t-\tau)} \\ \cdot g(t-\tau-nT_s) + n(t) \quad (5)$$

여기에서  $f_c$ 는 반송파 주파수이며, 반송파의 주파수와 타이밍에 있어서 동기가 완벽하다고 가정하면, 기저대역 신호  $y(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = y'(t) e^{-j2\pi f_c t} \\ = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{A}{\sqrt{T}} c_{n,i} e^{j2\pi f_i t} g(t-nT_s) \\ + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\alpha A}{\sqrt{T}} c_{n,i} e^{j2\pi f_i(t-\tau)} e^{-j2\pi f_c \tau} \\ \cdot g(t-\tau-nT_s) + n(t) e^{-j2\pi f_c t} \quad (6)$$

채널의 지연 확산이 보호 구간보다 작다고 가정하였으므로,  $i$  번째 부채널의  $C_{n,i}$ 는 다음과 같이

나타낼 수 있다.

$$C_{n,i} = A c_{n,i} + \alpha A c_{n,i} e^{-j\phi} + N_{n,i} \quad (7)$$

여기서  $\phi = 2\pi(f_c + f_i)\tau$ 이며,  $[0, 2\pi)$ 에서 균일(uniform) 분포를 갖고,  $N_{n,i}$ 는  $i$  번째 부채널에서의 AWGN에 의한 등가 잡음으로 가우시안 분포를 갖는다.

### III. OFDM 시스템에서의 길쌈 부호 및 비터비 복호

#### 3-1 부호화 및 인터리빙

OFDM 시스템에서, 신호 대 잡음비가 낮은 부채널을 통해 전송되는 신호에는 많은 에러가 발생하게 된다. 그러한 이유 때문에 OFDM 시스템은 일반적으로 채널 부호화가 필수적으로 사용되며 이러한 시스템을 COFDM(Coded OFDM)이라고 한다<sup>[6],[11]</sup>. 본 논문에서는 채널 부호화 방법으로 그림 2와 같은 부호율 1/2, 구속장 7인 길쌈 부호를 사용한다<sup>[2]</sup>. 길쌈 부호는 랜덤 잡음에 우수할 뿐만 아니라 적절한 인터리버와 결합할 경우, 버스트 에러 환경에서도 효율적인 성능을 갖는다.

길쌈 부호화된 데이터는 채널에 의한 버스트 에러를 방지하기 위해 블록 크기가 하나의 OFDM 심볼의 비트 수인 블록 인터리버에 의해 인터리빙 된다. 인터리빙은 식 (8) 및 식 (9)와 같이 두 번의 단계를 거쳐 수행되는데 첫 단계는 인접하는 비트가 서로 인접하지 않는 반송파에 실리도록 하는 것

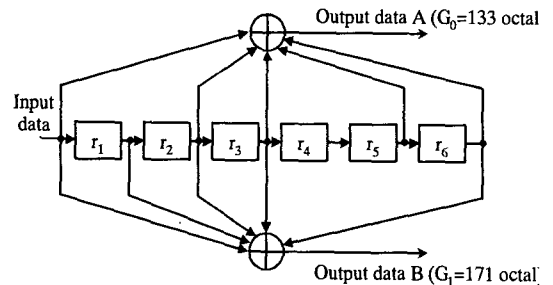


그림 2. (2,1,7) 길쌈 부호기  
Fig. 2. (2,1,7) convolution encoder.

이며, 두 번째 단계는 매핑 성좌도에서 비트 위치를 바꾸어준다<sup>[2]</sup>.

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

$$k = 0, 1, \dots, N_{CBPS} - 1 \quad (8)$$

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

$$i = 0, 1, \dots, N_{CBPS} - 1 \quad (9)$$

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  $N_{CBPS}$ 는 하나의 OFDM 심볼에 실리는 부호화된 비트수로 부채널 변조 방식이 16QAM인 경우에는 192, QPSK인 경우는 96이다.  $\text{floor}(\cdot)$ 는 괄호 안의 수를 초과하지 않는 최대 정수,  $s = \max(N_{BPSK}/2, 1)$ 를 나타내며, 여기에서  $N_{BPSK}$ 는 하나의 부반송파에 실리는 비트수로 16QAM인 경우에는 4, QPSK인 경우는 2이다.

### 3-2 비터비 복호

길썩 부호화된 신호의 복호 방법 중 가장 성능이 우수한 것으로 알려진 것은 수신단에서 MLSE(Maximum Likelihood Sequence Estimation)를 수행하는 비터비 알고리즘이다<sup>[11]</sup>. 비터비 복호는 수신 신호열에 대하여 격자도상에서 모든 경로의 확률을 계산하여 가장 큰 확률을 갖는 경로를 선택하는 알고리즘이다. 즉, 송신단에서 부호화된 신호열  $x$ 를 전송하여 채널의 영향을 받는다고 할 때, 복호기는 수신 신호열  $y$ 를 입력 받아  $p(y|x')$ 를 최대로 하는  $x'$ 를 추정한다.

비터비 복호에는 0과 1로 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.

## IV. LMS 등화기

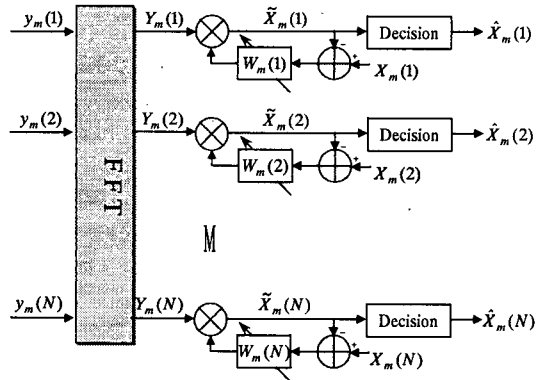


그림 3. OFDM에서의 주파수 영역 단일 탭 등화기  
Fig. 3. Frequency domain one-tap equalizer in OFDM.

16QAM과 같은 동기변조 방법을 사용하는 경우에는 복잡한 구조의 채널 등화를 필요로 한다. 그러나 OFDM 시스템에서는 주기적 전치 부호(cyclic prefix)에 의한 보호구간을 사용하여 ISI를 쉽게 제거할 수 있으므로 진폭, 위상 왜곡을 보상하는 단일 탭 등화기를 사용하면 충분하다<sup>[1],[9]</sup>.

본 논문에서는 주파수 영역에서 그림 3과 같은 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기준을 갖는 LMS(Least Mean Square) 등화기를 사용하며, MMSE 조건은 다음과 같다<sup>[13]</sup>.

$$\min_{W(k)} \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} |Y_m(k)W(k) - X_m(k)|^2 \quad (10)$$

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

$$W_{m+1}(k) = W_m(k) + \Delta \epsilon_m(k) Y_m^*(k) \quad (11)$$

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

$$\epsilon_m(k) = X_m(k) - \widehat{X}_m(k) \quad (12)$$

$$\widehat{X}_m(k) = W_m(k) Y_m(k) \quad (13)$$

## V. 시뮬레이션 결과 및 분석

AWGN과 라이시안 페이딩 환경에서 비터비 복호를 사용하는 길썩 부호와 단일 탭 LMS 등화기를

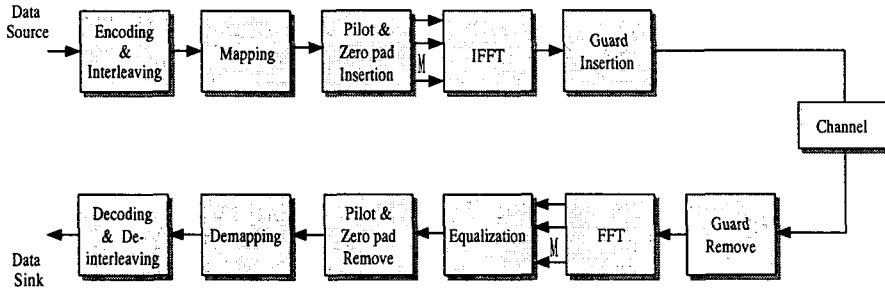


그림 4. 시뮬레이션 모델  
Fig. 4. Simulation model.

표 1. OFDM 시스템 파라미터  
Table 1. OFDM system parameters.

Bit rates	12, 24M bits/s
FFT size, $N$	64
The number of subcarriers	48(data)+4(pilot)
Effective symbol duration, $T$	3.2 us
Guard interval duration, $T_g$	800 ns
Subcarrier spacing	0.3125 MHz
Subcarrier modulation	QPSK, 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, $\tau$	50 ns
Attenuation Coefficient, $\alpha$	Rayleigh 랜덤 변수

적용하여 OFDM 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 본 논문에서 사용된 시뮬레이션 모델은 그림 4에 나타내었고, 사용되는 OFDM 시스템의 파라미터는 표 1에 나타내었다.

그림 5와 그림 6은 각각 AWGN 환경에서 변조 방식에 따른 OFDM 시스템의 성능을 나타낸다. AWGN에서 OFDM 방식과 단일 반송파 시스템의

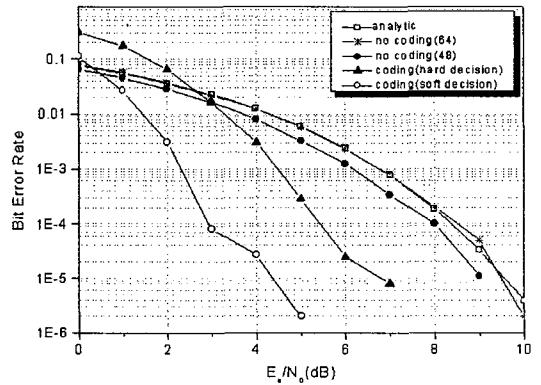


그림 5. AWGN에서 QPSK/OFDM 시스템의 BER 대  $E_b/N_0$   
Fig. 5. BER vs.  $E_b/N_0$  of the QPSK/OFDM system in AWGN.

성능은 동일하며 이는 이론적인 값과도 일치한다. 실제 시스템에서처럼 48개의 부반송파에만 데이터가 실리는 경우에는 BER(Bit Error Rate)이 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 잡음만큼 데이터가 실리는 부분의 잡음의 양이 감소하기 때문이다. 48개의 부반송파에만 데이터가 실리는 OFDM 시스템에 인터리빙과 길쌈 부호를 사용하면 BER은 QPSK 변조 방식을 사용하는 경우에는 경관정과 연판정 비터비 복호를 사용하였을 경우가 부호화를 사용하지 않았을 경우보다  $10^{-4}$ 에서 각각 2.5 dB, 5 dB의 성능이 향상되며, 16QAM에서는 각

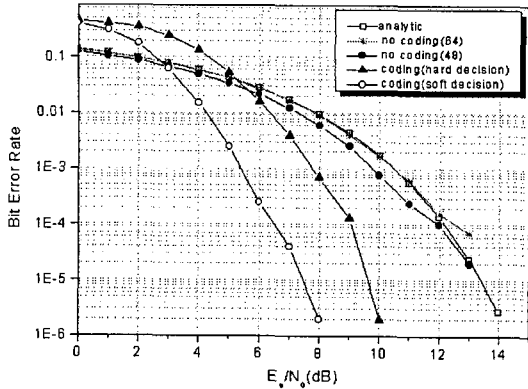


그림 6. AWGN에서 16QAM/OFDM 시스템의 BER 대  $E_b/N_0$

Fig. 6. BER vs.  $E_b/N_0$  of the 16QAM/OFDM system in AWGN.

각 3 dB, 5.2 dB의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 7과 8에서는 직접파 대 간섭파 전력비,  $K(\text{dB}) = 10 \log(A^2/2\sigma^2)$ 가 각각 5와 10인 라이시안 페이딩 채널에서 인터리빙과 길쌈 부호를 사용하는 QPSK/OFDM 시스템의 BER 성능을 나타낸다. QPSK/OFDM 시스템에 인터리빙과 길쌈 부호를 사용하면 그림 7에서는 경관정과 연관정 비터비 복호를 사용하였을 경우에 각각 8.6 dB, 5.3 dB에서  $10^{-4}$ 의 BER을 만족하며, 그림 8에서는 각각 6 dB, 3.8 dB

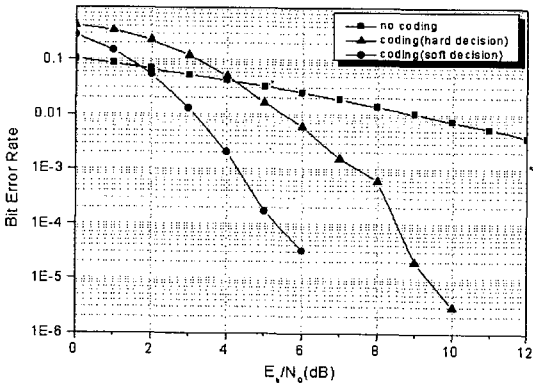


그림 7. 라이시안 페이딩 채널에서 QPSK/OFDM 시스템의 BER 대  $E_b/N_0$  ( $K=5$  dB)

Fig. 7. BER vs.  $E_b/N_0$  of the QPSK/OFDM system in Rician fading channel ( $K=5$  dB).

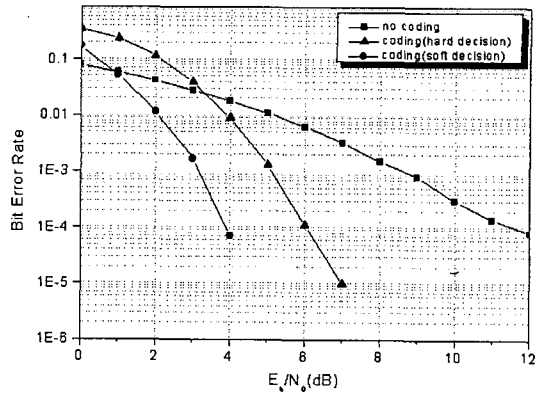


그림 8. 라이시안 페이딩 채널에서 QPSK/OFDM 시스템의 BER 대  $E_b/N_0$  ( $K=10$  dB)

Fig. 8. BER vs.  $E_b/N_0$  of the QPSK/OFDM system in Rician fading channel, ( $K=10$  dB).

에서  $10^{-4}$ 의 BER을 만족한다. 그러므로  $K=5$  dB인 경우가  $K=10$  dB일 때보다  $10^{-4}$ 의 BER에서 경관정의 경우는 2.6 dB, 연관정의 경우에는 1.5 dB의  $E_b/N_0$ 가 더 요구된다는 것을 알 수 있다.

그림 9와 10에서는  $K$ 가 각각 5 dB와 10 dB인 라이시안 페이딩 채널에서 인터리빙과 길쌈 부호를 사용하는 16QAM/OFDM 시스템의 BER 성능을 나타낸다. QAM/OFDM 시스템에 인터리빙과 길쌈 부호를 사용하면 그림 9에서는 경관정과 연관정 비터

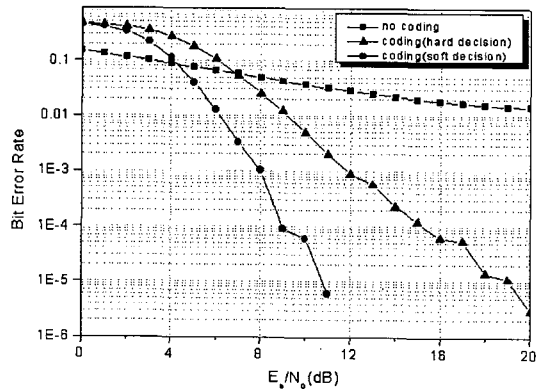


그림 9. 라이시안 페이딩 채널에서 16QAM/OFDM 시스템의 BER 대  $E_b/N_0$  ( $K=5$  dB)

Fig. 9. BER vs.  $E_b/N_0$  of the 16QAM/OFDM system in Rician fading channel ( $K=5$  dB).

비 복호를 사용하였을 경우에 각각 19.2 dB, 9.8 dB에서  $10^{-4}$ 의 BER을 만족하며, 그림 10에서는 각각 10.8 dB, 7.8 dB에서  $10^{-4}$ 의 BER을 만족한다. 그러므로  $K=5$  dB인 경우가  $K=10$  dB일 때보다  $10^{-4}$ 의 BER에서 경관정의 경우는 8.4 dB, 연관정의 경우에는 2 dB의  $E_b/N_0$ 가 더 요구된다는 것을 알 수 있다.

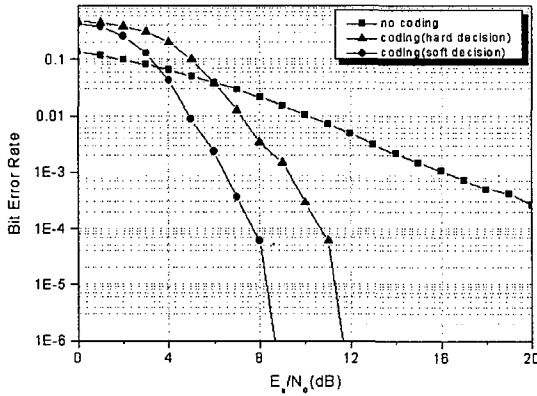


그림 10. 라이시안 페이딩 채널에서 16QAM/OFDM 시스템의 BER 대  $E_b/N_0$  ( $K=10$  dB)  
 Fig. 10. BER vs.  $E_b/N_0$  of the 16QAM/OFDM system in Rician fading channel ( $K=10$  dB).

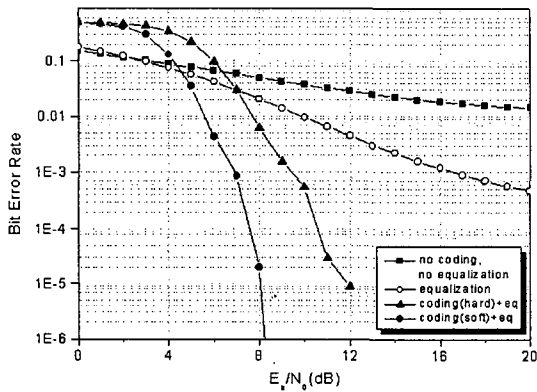


그림 11. 라이시안 페이딩 채널에서 등화기를 사용하는 16QAM/OFDM 시스템의 BER 대  $E_b/N_0$  ( $K=5$  dB)  
 Fig. 11. BER vs.  $E_b/N_0$  of the 16QAM/OFDM system with equalizer in Rician fading channel ( $K=5$  dB).

그림 11에서는  $K=5$  dB인 라이시안 페이딩 채널에서 길쌈 부호와 단일 탭의 LMS 등화기를 사용한 16QAM/OFDM 시스템의 성능을 나타낸다. 훈련 데이터열(training sequence)의 길이는 10개의 OFDM 심볼 길이이며, 1000개의 OFDM 심볼마다 전송한다. 등화기를 사용할 경우 16.7 dB에서  $10^{-3}$ 의 BER을 만족하며, 여기에 길쌈 부호까지 사용하면 경관정의 경우는 10.6 dB, 연관정의 경우에는 7.6 dB에서  $10^{-4}$ 의 BER을 만족한다. 그러므로 그림 9와 비교하여 볼 때 길쌈 부호만을 사용한 경우보다 경관정의 경우는 8.6 dB, 연관정의 경우는 2 dB의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 12에서는  $E_b/N_0=10$  dB에서 그림 11의 결과에 대한 신호 정상도를 나타낸다. 그림 12(a)는 페이딩 환경에서 등화기를 사용하기 전의 신호 정상도이며, 그림 12(b)는 등화기를 사용한 후의 신호 성

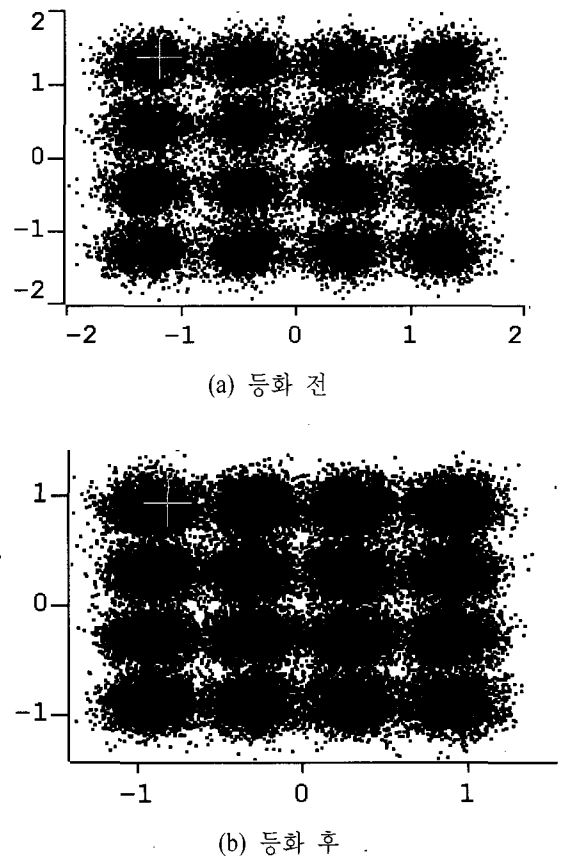


그림 12. 신호 정상도 ( $E_b/N_0=10$  dB)  
 Fig. 12. Signal constellation ( $E_b/N_0=10$  dB).

상도이다. 단일 탭의 LMS 등화기를 사용하여 페이딩의 진폭과 위상에 대한 왜곡이 보상됨을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 무선 LAN에 적합한 OFDM 시스템에 비터비 복호를 사용하는 길쌈 부호와 단일 탭의 LMS 등화기를 적용하여 AWGN과 실내 무선 채널 환경에서 시뮬레이션을 통해 시스템 성능을 분석하였다. 실내 무선 채널은 라이시안 페이딩 채널로 모델링 하였고 반송파 주파수와 타이밍에 있어서 동기가 정확하다고 가정하였다. 또한 제안된 OFDM 시스템은 5 GHz 주파수대에서 부채널 변조 방식으로 QPSK를 사용하는 경우에는 12 Mbps, 16 QAM을 사용하는 경우에는 24 Mbps의 데이터를 지원하며 IEEE 802.11a 무선 LAN의 물리 계층 규격을 만족한다. 분석 결과 AWGN에서 길쌈 부호 및 경관정, 연관정의 비터비 복호를 사용하면  $10^{-4}$ 를 만족하는 BER에서 QPSK 변조 방식을 사용하는 경우에는 각각 2.5 dB, 5 dB의 성능이 향상되며, QAM 변조를 사용하는 경우에는 각각 3 dB, 5.2 dB의 성능이 향상됨을 알 수 있다.  $K=5$  dB인 라이시안 페이딩 채널에서는 경관정 비터비 복호를 사용하는 경우에 QPSK는 8.6 dB, 16QAM은 19.2 dB에서  $10^{-4}$ 의 BER을 만족하며 연관정 비터비 복호를 사용하는 경우에는 QPSK는 5.3 dB, 16QAM은 9.8 dB에서  $10^{-4}$ 의 BER을 만족한다.  $K=10$  dB인 라이시안 페이딩 채널에서는 경관정 비터비 복호를 사용하는 경우에 QPSK는 6 dB, 16QAM은 10.8 dB에서  $10^{-4}$ 의 BER을 만족하며 연관정 비터비 복호를 사용하는 경우에는 QPSK는 3.8 dB, 16QAM은 7.8 dB에서  $10^{-4}$ 의 BER을 만족한다. 또한 성능의 열화가 가장 큰  $K=5$  dB인 라이시안 페이딩 채널에서의 16QAM/OFDM 시스템에 단일 탭의 LMS 등화기를 사용하므로써 길쌈 부호만을 사용한 경우보다 경관정 비터비 복호의 경우 8.6 dB, 연관정의 경우에는 2 dB의 성능이 향상되었다. 따라서 길쌈 부호 및 경관정, 연관정의 비터비 복호와 진폭과 위상의 왜곡을 보상하는 단일 탭의 LMS 등화기를 사용하였을 경우에 전체적으로 시스템의 성능이 크게 향상됨을 알

수 있었다.

따라서, 비터비 복호와 단일 탭의 등화기를 사용한 OFDM 시스템은 실내 고속 무선 LAN 시스템을 위한 전송방식으로 적합함을 알 수 있으며, 향후 고속 무선 ATM 또는 광대역의 무선 멀티미디어 시스템의 개발에 적용이 가능할 것이다. 본 논문은 다중 반송파 방식을 활용하는 시스템의 설계 시 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. V. Saliga, "An introduction to IEEE 802.11 wireless LANs," *RFIC Symposium 2000*, pp. 11-14, June, 2000.
- [2] 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.
- [3] R. Van Nee, "A new OFDM standard for high rate wireless LAN in the 5 GHz band," in *Proc. IEEE VTC'99*, vol. 1, pp. 258-262, Sept., 1999.
- [4] S. B. Weinstein and P. M. Ebert, "Data transmission by frequency division multiplexing using the discrete fourier transform," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 19, no. 5, pp. 628-634, Oct., 1971.
- [5] 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.
- [6] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 28, no. 5, pp. 5-14, May, 1990.
- [7] H. Sari, G. Karam and I. J. Claude, "Transmission technique for digital terrestrial TV broadcasting," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 33, no. 2, pp. 100-109, Feb., 1995.
- [8] R. Van Nee and R. Prasad, *OFDM for wireless multimedia communications*, Artech House, 2000.



- [9] 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.
- [10] H. Wang, J. Belzile and C. L. Despins, "64-QAM OFDM with TCM coding and waveform shaping in a time-selective Rician fading channel," *Broadband Communications 2000. Proc.*, pp. 257-261, Feb., 2000.
- [11] W. Y. Zou and Y. Wu, "COFDM: an overview," *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 41, no. 3, pp. 89-93, Sept., 1995.
- [12] B. Sklar, *Digital communications fundamental and applications*, Prentice-Hall International, Inc., 1988.
- [13] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 3th ed., 1995.

최 연 주



1999년: 대전산업대학교 정보통신공학과(공학사)  
 1999년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선 시스템

김 남



1981년: 연세대학교 전자공학과(공학사)  
 1983년: 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
 1988년: 연세대학교 전자공학과(공학박사)  
 1992년~1993년: 미 Stanford 대학

방문교수

2000년~현재: 미 California Technology Institute(Caltech) 방문교수

1989년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 교수

[주 관심분야] Diffractive Optics, WDM Optical Filter & DEMUX Optical Memory, Holography Application, 디지털 이동통신, 전자파 해석, EMI/EMC

김 항 래



1995년: 청주대학교 전자공학과(공학사)  
 1997년: 청주대학교 전자공학과(공학석사)  
 1997년~1997년: 한국전자통신연구원 위촉연구원  
 1999년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

[주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템

[주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템

고 영 훈



1991년: 연세대학교 전자공학과(공학사)  
 1993년: 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
 1997년: 연세대학교 전자공학과(공학박사)  
 1997년~1999년: 충북대학교 전기

전자공학부 초빙전임강사

1999년~현재: 협성대학교 컴퓨터공학과 전임강사

[주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템

안 재 형



1981년: 충북대학교 전기공학과(공학사)

1983년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1992년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1987년~현재: 충북대학교 전기전

자공학부 교수

[주 관심분야] 영상통신 및 영상정보처리, 멀티미디어 제작 및 정보제공, 인터넷 통신 및 프로그래밍