

OFDM 방식을 적용한 고속 무선 LAN 시스템의 다중 경로 채널 모델에서 성능분석

김신희, 김덕수, 나상중, 김철성
전남대학교 컴퓨터공학과, RRC

Performance Analysis of the High-Rate OFDM Wireless LAN Systems in Multipath Channel Environments

Shin-Hee Kim, Deok-Soo Kim, Sang-jung Na, Cheol-Sung Kim
Dept. of Computer Engineering, RRC, Chonnam National University

Abstract

In this paper, we analyze high-rate wireless LAN system based on Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) transmission method. For this analysis, actual channel measurement model of indoor office areas such as JTC model was adopted, and channel coding of IEEE 802.11 and channel equalizer over multipath environment are also considered.

I. 서론

최근 인터넷을 통한 비디오, 음성, 데이터 통신의 놀라운 성장과 함께 이동 전화(mobile telephone)가 급속 보급됨으로써 이동 멀티미디어 서비스에 대한 기대가 크게 증가하게 되었으며, 이에 따라 차세대 무선 광대역 멀티미디어 통신(Wireless Broadband Multimedia Communications Systems:WBMCS) 시스템을 정기 위한 전세계적인 연구와 개발이 활발하게 이루어지

고 있다. 차세대 WBMCS는 다양한 기능과 여러 응용분야를 통합할 것으로 예상되며, 사용자에게 20Mbps 이상의 정보전송률을 지원한다. 그런데 여기에서 발생하는 무선 채널에 의한 왜곡을 효과적으로 극복하기 위해서는 변조방식을 신중히 선택해야 한다. 현재 고속 데이터 전송에 가장 적합한 변조 방식으로 직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing:OFDM)가 가장 유력하게 검토되고 있다.

본 논문은 이러한 802.11a의 표준에 기초한 OFDM 방식을 적용한 고속 무선 LAN 시스템의 Rayleigh 페이딩 다중경로 상에서의 ISI 와 ICI 영향을 분석하였다. 그리고 무선 LAN 시스템에서 LMMSE(Linear Minimum Mean Square Error)방식과 LS(Least Square) 방식을 사용 채널 열화를 보상하면서 channel coding을 통하여 성능 개선을 꾀할 경우 각각의 성능을 비교, 분석하였다.

II. OFDM의 개요 및 시스템 모델

1. OFDM 시스템의 개요

OFDM의 기본원리는 입력 데이터 열을 N_s 개의 부채널로 나누어 심볼구간을 N_s 배 증가시킴으로써 심볼 주기에 대한 상대적인 다중경로 확산을 N_s 배 감소시키는 방법이다. 각 부반송파의 심볼구간(symbol duration) 증가하게 되므로 다중경로 지연확산에 의해 발생하는 시간상에서의 상대적인 신호 분산(dispersion)이 감소다. OFDM 시스템의 간단한 블록도를 그려보면, 그림과 같다.

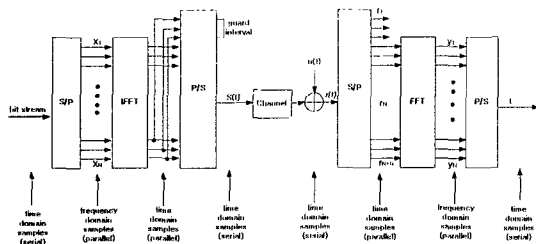


그림 1 FFT를 이용한 OFDM 시스템의 기본 블록도

입력 데이터를 심볼 발생기를 통해 심볼을 발생시키고 S/P(Serial/Parallel)변환기를 통해 병렬 데이터로 변환한다. 변환된 데이터는 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)와 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하여 송·수신을 간단히 처리할 수 있어 시스템 구현의 복잡성을 줄일 수 있다. 그러나 OFDM은 채널의 영향으로 ISI (Inter Symbol Interference) 및 부반송파간의 ICI(Inter-Carrier Interference)에 의한 직교성이 깨지는 문제가 발생한다 따라서 각 부채널의 주파수 오프셋을 정확히 보상해 주어야 한다.[1]

N_s 개의 부반송파를 동시에 보낸다면 본문의 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$y_n = z_n \sum_{k=0}^{N-1} X_k \exp(j2\pi kn/N), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (1)$$

여기서 z_n 은 n번째 시간에서의 Channel 환경이다. 수신단에서 m번째 부반송파 신호에 대한 DFT를 취하면 식 (2)와같이 표현 할 수 있다.

$$Y_m = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left[z_n \sum_{k=0}^{N-1} X_k \exp(j2\pi kn/N) \right] \exp(-j2\pi mn/N), \quad 0 \leq m \leq N-1 \quad (2)$$

식 (2)의 z_n 에 대한 DFT를 정의하면 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$Y_m = \sum_{k=0}^{N-1} X_k Z_{m-k}, \quad 0 \leq m \leq N-1 \quad (3)$$

식 (3)에서 $k=m$ 이라면 식 (4)와 같이 표현할 수 있다

$$Y_m = Z_0 X_m + \sum_{k=0, k \neq m}^{N-1} X_k Z_{m-k}, \quad 0 \leq m \leq N-1 \quad (4)$$

N_s 부반송파간에 직교성이 깨짐으로서 식 (4)의 두 번째 term이 0이 되지 않고 m번째 부반송파의 간섭신호로 작용한다.[2]

OFDM에서는 ISI 제거하기 위해 심볼 사이에 채널의 지연확산보다 긴 보호구간(Guard Interval)을 삽입하여 ISI를 제거할 수 있다. 또한, 보호구간에 OFDM 신호의 일부를 복사하여 심볼의 시작부분에 배치하면 OFDM 심볼은 순환적으로 확장(cyclically extended)되어 부반송파 간섭(Inter-Carrier Interference: ICI)을 피할 수 있다.

2. IEEE 802.11a 고속 무선 LAN 시스템 모델

고속 무선 LAN 시스템을 구현하기 위해 802.11a에 제안한 시스템 모델 블록도는 그림 2와 같다.

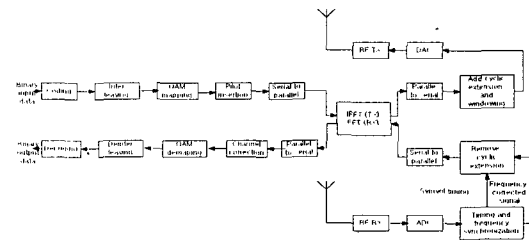


그림 2 시스템 모델 블록도

그림 2를 보면 송·수신기에서는 IFFT전 입력 데이터는 먼저 전방오류정정 부호화(Forward Error Correct Coding)에 의해 부호화 된다. 전방오류정정 부호화는 전송율에 따라서 구축장이 7이고 각각 1/2, 2/3, 3/4 convolution 부호화기에 의해 부호화 되어진다. 부호된 데이터는 인터리빙 되고 QAM 값으로 매핑된다. IFFT와 FFT를 사용하여 한 블록의 QAM 심볼로 다수의 부반송파를 변·복조시킨다. Serial to Parallel 변환을 거쳐 모아진 48개의 데이터 사이에는 주파수 offset이나 phase noise를 보상하는데 쓰이는 pilot 신호가 BPSK 변되어 -21, -7, 7, 21번째 부반송파에 실린다. 복조 데이터스트림은 데이터 부반송파 $N_{SD}(=48)$ 개로 나누어 지게 된다. 최종 OFDM 심볼은 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$r_{DATA}(t) = w_{TSYM}(t) \left\{ \sum_{k=0}^{N_{SD}-1} d_{k,n} \exp(j2\pi M(k) \Delta_F \cdot (t - T_{GI})) + p_{n+1} \sum_{k=-N_{d/2}}^{N_{d/2}} P_k \exp(j2\pi k \Delta_F (t - T_{GI})) \right\} \quad (5)$$

여기서 $d_{k,n}$ 는 n 번째 OFDM 심볼, k 번째 부반송파에 실리는 데이터이다. $M(k)$ 는 pilot 신호의 위치 값이다. n 번째 OFDM 심볼의 pilot 부반송파의 구성은 비트 열 P 의 Fourier Transform 으로 수행된다. pilot 부반송파의 극성을 결정하는 열 p_n 은 127개의 스크램블 비트열의 역을 반복하여 얻어낸다. 연속된 OFDM 심볼은 식 (6)으로 표현할 수 있다.

$$r_{DATA}(t) = \sum_{n=0}^{N_{SYM}-1} r_{DATA,n}(t - nT_{SYM}) \quad (6)$$

여기서 T_{SYM} 는 심볼 간격이다. 송신데이터는 IFFT를 수행한 후 식 (6)과 같이 전송된다.[3]

III. 모의 실험 및 성능분석

1. 채널 환경

모의 실험시 채널 환경은 [표1]처럼 실외 office 환경 모델을 바탕으로 하였다.

	Relative Delay(ns)	Average Power(dB)
1	0	0
2	100	-3.6
3	200	-7.2
4	300	-10.8
5	500	-18.0
6	700	-25.2

[표 1] Indoor Office Areas

Power delay pprofile이 길어지면 전송된 신호의 시간 분산 증가하여 ISI영향이 증가하므로 성능이 열화가 생긴다. 따라서 maximum excess delay가 보호구간 보다 작게 설정하였다.

2. 모의실험

무선 LAN에서는 채널의 영향에 따른 신호의 감쇠를 보상하기 위해 짧은 혼련신호와 긴 혼련 신호로 주파수와 채널을 보정한다.[2]

본 논문에서는 Reyleigh 페이딩 다중경로 채널을 가정하여 channel 열화 보상을 위해 긴 혼련 신호를 이용하여 보정하였다. 채널 추정 방법은 LS 와 LMMSE방식을 이용하였다. LS 방식은 식 (7)과 같이 표현 할 수 있다.

$$C_k = \frac{1}{H_k} \quad (7)$$

여기서 C_k 는 k 번째 신호에 대한 채널 보상 factor이다 H_k 는 식 (8)과 같이 다중경로 환경에서 다음 식으로 표현

할 수 있다.

$$H_k = A_k \exp(j\theta_k) \quad (8)$$

A_k 는 Rayleigh 분포를 따르고, θ_k 는 $[-\pi, \pi]$ 에서 uniform 분포를 따른다. 그러나 LS방식은 채널 보상시 power가 증가함에 따라 noise 성분도 증가하는 단점이 있다.

LS 방식을 이용한 채널 추정을 통하여 LMMSE방식을 유도하면 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{h} = R_{hh}^{-1} R_{hh}^H \hat{h}_b \quad (9)$$

여기서 \hat{h} 는 LMMSE 방식의 추정된 채널이고, \hat{h}_b 는 LS 방식의 채널 추정이다. R_{hh} 은 추정해야 하는 채널 값 벡터 h 와 LS 방식으로 추정된 벡터 \hat{h}_b 의 상호 분산 행렬 (cross-covariance matrix)의 값이다. 다중 경로 신호의 전력대비 지연시간 감쇠가 지수적으로 일어날 때 상관함수는 식 (10)과 같다.

$$R_{hh} = r(k-k') = \frac{1}{1 + j2\pi\tau_{rms}(k-k')/T} \quad (10)$$

여기서 k 는 부반송파의 위치를 의미하며 τ_{rms} 는 rms 지연 확산 값이다.[4]

channel coding은 그림 3과 같이 Generator polomia {133,171}인 1/2 convolutional(K=7) 사용하여 성능을 하였다.

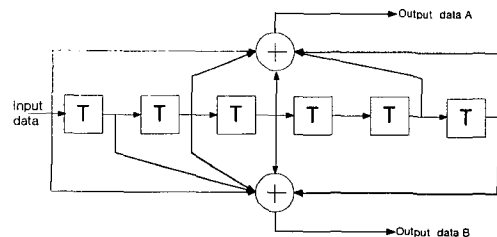


그림 3 3속장기 7인 컨벌루션 부호기의 블록도

그림 4는 LS 와 LMMSE 방식을 이용하여 채널을 보정한 고속 무선 LAN 시스템의 성능 분석도이다. 여기서 LS 방식보다 LMMSE 방식의 채널 열화 보상 방식이 더 좋은 성능을 가짐을 알 수 있다. 그림 5는 LS 와 LMMSE 방식을 적용후 802.11a 표준에 기초한 chan coding을 사용하였을 때의 성능 분석도이다. 채널 보상과 channel coding 같이 사용할 때 더 많은 성능 개선이 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 실측 채널인 JTC 모델을 기반으로 다중경로 채널상에서의 channel coding 과 LS 와 LMMSE 의 채널추정 방식을 적용하여 성능을 각각 비교, 분석하였다. 분석된 데이터는 고속 무선 LAN 시스템의 실내 무선 채널 연구에 도움이 될 것이며, OFDM 기반을 적용한 MC-CDMA 방식의 성능 평가에도 유용한 자료로 쓰일 것이다.

Mobile Channel Using Orthogonal Frequency Division Multiplexing," IEEE Trans. Commun. 1985

(3) IEEE 802.11a, High Speed Physical Layer in the band, 1999

(4) Scharf, L.L., Statistical signal Processing: Detection, Estimation and Time Series Analysis Addison-Wesely, 1991.

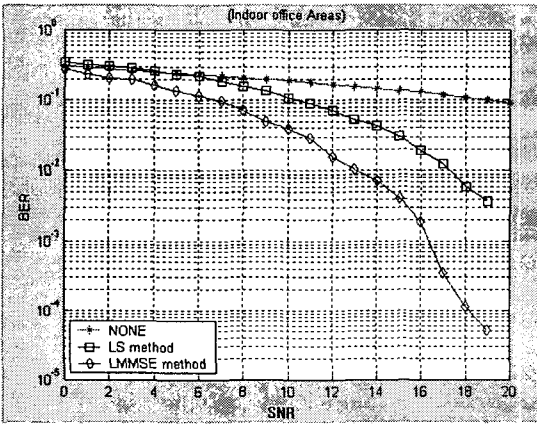
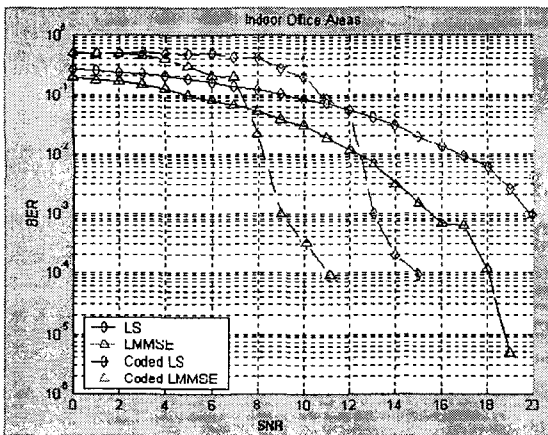


그림 4 채널 보상한 고속 무선 LAN 시스템의 BER 특성



*본 연구는 한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음

[참고문헌]

(1) V. N. Richard and P. Ramjee, OFDM for W Multimedia Communications, AH Publishers.

(2) L. Cimi, "Analysis and Simulation of a D