

논문 2004-41TC-9-6

# 실내 다중경로 채널에서 주파수 오프셋 보상 및 채널 추정을 고려한 IEEE 802.11a 무선 LAN 시스템의 성능 분석

(Analysis of IEEE 802.11a wireless LAN system considering frequency offset compensation and channel estimation in the indoor multipath channel)

오 동 진\*, 김 철 성\*\*

(Dong-Jin Oh and Cheol-Sung Kim)

## 요 약

OFDM 기반의 무선 LAN 시스템에 대한 기존의 연구는 주로 주파수 오프셋이나, 채널추정 방식에 관한 개별적인 성능분석에 관한 내용이었다. 본 논문에서는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)방식을 채택한 IEEE 802.11a 무선 LAN 시스템에 대해 실내 다중경로 채널에서 주파수 오프셋 보상 및 채널 추정을 고려한 무선 LAN 시스템의 성능분석을 하였다. 실내 환경에서 측정된 전력지연 프로파일에 Rayleigh 다중경로 채널모델을 적용하여, 표준안에 맞추어 구성된 OFDM 무선 LAN 시스템에서 1/2 코딩을 16-QAM 방식의 BER(Bit Error Rate) 성능을 구하였다. 성능분석 결과, 주파수 오프셋 보상과 채널 추정을 통한 성능과 주파수 오프셋이 없고 완벽한 채널추정 상황에서 성능은 10<sup>-3</sup> BER 기준 약 1-2dB의 Eb/No 차이가 있음을 확인 하였다.

## Abstract

The previous works for WLAN system based on OFDM is mainly individual study for independent frequency offset or symbol synchronization. In this paper, the performance of IEEE 802.11a WLAN(Wireless Local Area Network) system in the realistic indoor multipath channel models is analyzed with frequency offset compensation and channel estimation methods. For the performance analysis of the WLAN system, indoor Rayleigh multipath channels are adopted, and the BER(Bit Error Rate) of WLAN system is calculated with 1/2 code-rate 16-QAM based on standard specification. From the simulation results, the difference of required Eb/No for BER of 10<sup>-3</sup> is 1-2dB between the channel estimation and frequency offset compensation, and perfect channel estimation and no frequency offset.

**Keywords** : OFDM, WLAN, frequency offset, Indoor multipath channel, channel estimation

## I. 서 론

인터넷에 기반한 새로운 서비스에 대한 통신 수요의

\* 정회원, 전남대학교 정보통신연구소

(The Information & Telecommunication Research Institute, Chonnam National University)

\*\* 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

(School of Electronics, Computer & Information Engineering, Chonnam National University)

※ 본 연구는 RRC-HECS, CNU(과제번호2-4) 지원에 의하여 수행되었습니다.

접수일자: 2004년1월6일, 수정완료일: 2004년9월4일

증대로, 유선에 의한 인터넷 접속 증가는 물론 셀룰러 이동통신에서의 인터넷 접속 등이 폭발적으로 증가되어 가고 있다. 이에 따라 이용자의 정보 요구에 대한 마인드도 급속도로 변화하고, 휴대용 컴퓨터 또는 PDA(Personal Digital Assistant)의 보급이 증가하면서 장소에 상관없이 무선으로 통신망에 접속하는 수단으로 무선 LAN(Wireless Local Area Network)에 대한 관심이 고조되고 있다. 무선 LAN은 무선전송기술을 사용하여 기존의 유선 LAN의 미비점을 보완하고, 유선 LAN의 설치가 어려운 환경까지 무선채널을 통해 LAN을 확장

시킬 수 있는 이동성, 휴대성 및 간편성등의 이점으로 응용분야가 확산되고 있다<sup>[1],[2]</sup>.

이러한 고속 무선 LAN의 장점에 따른 시스템의 구체화 작업에 대한 필요성이 대두됨에 따라 미국, 유럽 등 선진국에서는 5GHz 대역에서 6~54Mbps의 전송속도를 지원하는 OFDM 전송방식을 채용한 IEEE 802.11a와 HIPERLAN/2(High Performance Local Area Lan/2)의 기술 표준안을 확정하였다<sup>[3],[4]</sup>.

OFDM방식은 전송 데이터를 N개의 병렬 데이터열로 변환하여 서로 다른 주파수를 갖는 N개의 직교 반송파를 변조시켜 이를 중첩시켜 동시에 전송하므로 단일 반송파를 이용하여 데이터를 전송하는 경우보다 상대적으로 높은 전송율을 갖는다. 또한 전송되는 심볼 간격이 길어져 채널의 지연에 의한 심볼 간섭을 줄이는 효과를 갖으며, 다중경로 페이딩에 강한 장점이 있다. 그러나 여러 개의 반송파를 사용하기 때문에 수신시 동기화가 이루어지지 않으면 반송파 사이의 직교성이 유지되지 못하여 반송파들 사이에 인접 채널 간섭이 발생한다. OFDM은 다중경로에 의한 주파수 선택성 페이딩 영향을 줄이는 특징이 있지만 채널의 영향은 여전히 남아있으며 성능의 저하를 가져오는 주요한 요인이다. 기존의 연구는 시스템 성능에 영향을 미치는 이러한 요인들을 개별적으로 분석한 결과들을 주로 제시하고 있다<sup>[5]</sup>. 따라서 OFDM 무선 LAN 시스템의 성능에 주요한 영향을 미치는 여러 요소 중에서 무선 페이딩 채널의 영향과 주파수 오차가 있는 경우에 채널추정과 주파수 오프셋 보상을 동시에 적용한 경우의 성능 평가는 시스템 개발에 필요한 중요 변수를 결정하는 중요한 자료가 될 것이다.

본 논문에서는 U-NII (Unlicensed - national Information Infrastructure) 대역에서 고속 무선 LAN에 대한 물리계층 표준으로 제정된 IEEE 802.11a 표준안에 따른 OFDM 무선 LAN 모델 시스템에서 전송속도 24Mbps인 1/2 코드율 16-QAM에 대하여 채널추정 보상 및 주파수 오프셋이 존재할 때 보상회로가 적용되는 경우의 시스템 성능을 분석한다. 표준안에 맞는 OFDM 무선 LAN 모델의 시뮬레이터를 프로그램으로 구현하고, 채널보상기법으로 LS(least square)와 MMSE(minimum mean square error)를 적용하였을 때 주파수 오프셋 오차가 존재하는 경우의 시스템 성능의 저하 정도를 모의실험을 통해 분석한다. 모의실험에 적용한 채널 모델은 유럽의 HIPERLAN/2에 적용된 실내환경 모델 중에서 전형적인 사무실 환경과 넓은 공간을 갖는 실내

환경의 2가지 실내모델이 사용되었다. 그리고 실내 환경은 이동에 따른 도플러효과가 작기 때문에 채널은 느린 페이딩이 발생하는 시불변 채널로 가정하였다.

본 논문의 구성은 II장에서 IEEE 802.11a 무선 LAN 시스템의 개요 및 전송 데이터의 기본 프레임 구조와 기능적 역할을 설명한다. III장에서는 모의실험에 적용한 무선채널 모델, 채널추정 방식과 주파수 오프셋 보상 방식에 대해 설명한다. 그리고 IEEE 802.11a 표준에 정의된 전송률 중 전송속도 24Mbps인 1/2 코드율 16-QAM에 대하여 반송파 주파수 오프셋, 다중경로 페이딩 등이 존재하는 환경에서 성능을 분석한다. 마지막으로 IV장에서는 성능분석 결과를 토대로 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.11a OFDM 무선LAN 시스템

### 1. IEEE 802.11a 시스템의 개요

IEEE 802.11a 표준은 IEEE 802.11b와 함께 1999년 9월 5GHz U-NII 주파수 대역에서 동작하는 고속 무선 LAN 물리 계층 표준으로 확정되었다. IEEE 802.11b와 달리 IEEE 802.11a는 전통적인 확산 대역 기술을 사용하지 않고 오피스 같은 옥내 환경에 더 적합한 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 사용하여 10~50m 정도의 짧은 거리에서 6~54Mbps의 고속 데이터 전송을 실현할 수 있다. 무선에서 고속 전송을 실현하기 위해서는 보다 높은 주파수를 사용해야 하기 때문에 장애물이 많은 옥내 환경에서는 전송 효율이 크게 저하되어 전송 거리가 심각하게 줄어들게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 IEEE 802.11a에서는 OFDM 방식을 사용하여 하나의 고속 반송파를 여러 개의 저속 반송파로 나누어 병렬로 전송하게 함으로써 어느 정도 실효성 있는 전송 거리를 확보할 수 있게 되었다.

고속 무선 LAN 시스템을 구현하기 위해 802.11a에서 제안한 시스템의 블록도는 그림 1과 같다<sup>[3]</sup>.

그림 1을 보면 송신부에서는 입력 데이터는 먼저 전방오류정정 부호화(forward error correction coding)에 의해 부호화 된다. 전방오류정정 부호화는 전송률에 따라서 구속장이 7이고 각각 1/2, 2/3, 3/4인 길쌈(convolutional) 부호화기에 의해 부호화 되어진다. 부호화된 데이터는 연립 에러를 랜덤 에러로 바꾸어 주기 위해 인터리빙 되고, BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM 변조된다. 변조된 신호는 IFFT(Inverse Fast Fourier Trans

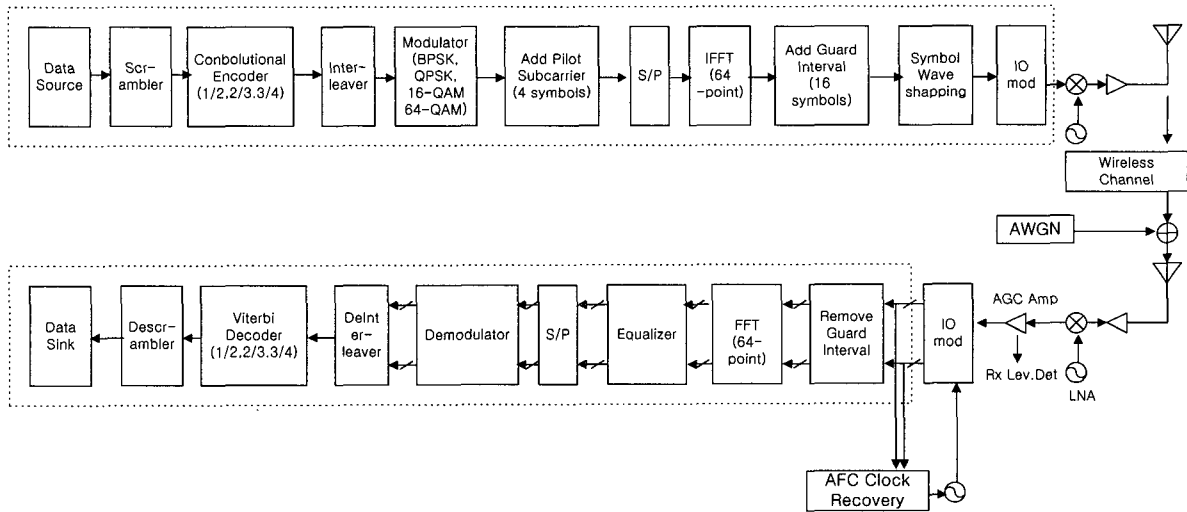


그림 1. IEEE 802.11a 무선 LAN 모뎀의 블록도  
 Fig. 1. Block diagram of IEEE 802.11a WLAN modem.

-form)를 통하여 다수의 부반송파에 실리게 된다. 무선 LAN 시스템은 48개의 데이터 부반송파와 4개의 파일럿 부반송파를 사용한다.

직·병렬(serial to parallel) 변환기를 거쳐 모아진 48개의 데이터 사이에는 주파수 오프셋(offset)이나 위상 잡음(phase noise)를 보상하는데 쓰이는 4개의 파일럿 신호가 BPSK 변조되어 -21, -7, 7, 21번째 부반송파에 실린다. 복소 데이터 스트림은 데이터 부반송파  $N_{SD}(=48)$ 개로 나누어지게 된다. 최종 OFDM 심볼은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서  $d_{k,n}$ 는  $n$ 번째 OFDM 심볼,  $k$ 번째 부반송파에 실리는 데이터이다.  $M(k)$ 는 파일럿(pilot) 신호의 위치 값이다.  $n$ 번째 OFDM 심볼의 파일럿 부반송파의 구성은 비트 열  $P$ 의 푸리에 변환으로 수행된다. 파일럿 부반송파의 극성을 결정하는 열  $p_n$ 은 127개의 스크램블 비트열의 역을 반복하여 얻어낸다. 연속된 OFDM 심볼은 식 (2)으로 표현할 수 있다.

$$r_{DATA}(t) = \sum_{n=0}^{N_{SYM}-1} r_{DATA,n}(t - nT_{SYM}) \quad (2)$$

여기서  $T_{SYM}$ 는 심볼 간격이다. 송신데이터는 IFFT를 수행한 후 식 (2)와 같이 전송된다<sup>[3]</sup>.

수신단에서는 송신단의 역과정이 일어나며 동기화 과정이 첨가된다. 먼저 정해진 훈련심볼을 사용하여 주파수 오프셋 및 심볼 오프셋을 추정하는 과정이 수행되고 그 뒤에 데이터가 FFT(Fast Fourier Transform)를 통과하여 52개의 부반송파로 복원된다. 등화기를 통과하여 채널응답이 보상된 데이터는 비트열로 변환되어 비터비 복호기와 디스크램블러를 거쳐서 최종 데이터로 출력된다.

## 2. IEEE 802.11a의 프레임 포맷

그림 2는 OFDM PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 프리앰블, OFDM PLCP 헤더, PSDU(PLCP Service Data Unit), Tail 비트, Pad 비트로 구성된 IEEE 802.11a의 PPDU(PLCP Protocol Data Unit) 프레임 포맷을 보여준다.

PLCP 헤더는 RATE, Reserved 비트, LENGTH, 짝수 패리티 비트, Tail 비트, SERVICE 필드로 구성되는데, 이 중 RATE, Reserved 비트, LENGTH, 짝수 패리티 비트, Tail 비트는 SIGNAL로 정의된 별도의 1 OFDM 심볼로 구성되어 가장 안정적인 BPSK 변조와 1/2 부호화를 거쳐 전송된다. PLCP 헤더의 SERVICE 필드, PSDU, Tail비트, Pad 비트는 DATA로 정의되고 RATE 필드에 정의된 데이터 전송되며 OFDM 심볼들로 구성된다.

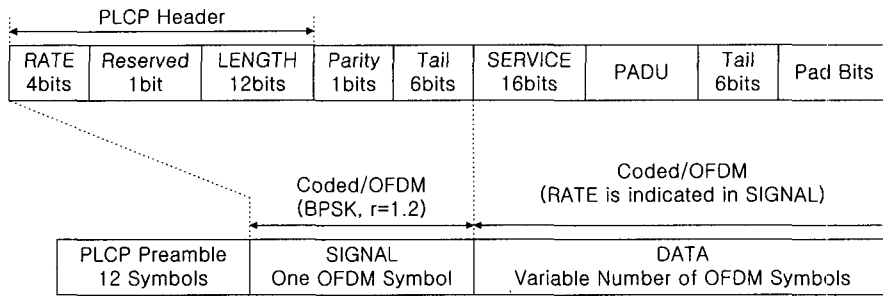


그림 2. IEEE 802.11a 무선 LAN 모델의 PPDU 프레임 포맷  
Fig. 2. PDU frame format of IEEE 802.11a WLAN modem.

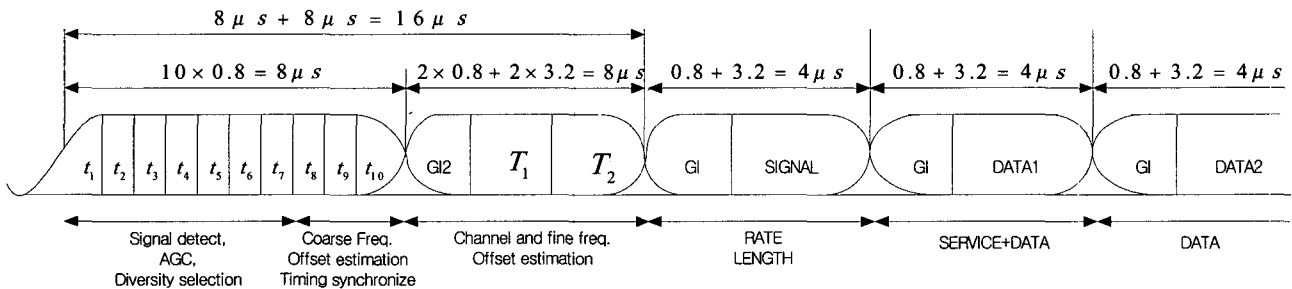


그림 3. IEEE 802.11a 무선 LAN 모델의 PLCP 프리엠블<sup>[3]</sup>  
Fig. 3. PLCP preamble of IEEE 802.11a WLAN modem<sup>[3]</sup>.

PLCP 프리엠블은 기본적으로 동기화를 위해 사용되며 OFDM 패킷의 앞에 전송된다. 그림 3은 IEEE 802.11a에서 사용되는 동기화를 위한 PLCP 프리엠블을 나타낸다.

PLCP 프리엠블 필드는 10개의 짧은 훈련 심볼(short training symbol)과 2개의 긴 훈련심볼(long training symbol)로 구성된다. 프리엠블 한 샘플의 간격은 50ns로 프리엠블 전체는 16μs의 길이를 갖는다. 짧은 훈련심볼은  $t_1$ 부터  $t_{10}$ 까지는 주기가 16샘플이고 각각 주기마다 동일한 샘플이 삽입된다. 긴 훈련심볼은  $T_1$ 과  $T_2$ 는 주기가 64샘플이고 각각의 주기에 64개의 동일한 샘플이 삽입된 형태이다. 긴 훈련심볼의 주기는 FFT 주기와 같은 3.2us이며, 1.6us의 보호구간(GI2)이 더해져서 총 8us가 된다. 긴 훈련심볼의 보호구간은 데이터 OFDM 심볼 보호구간의 2배에 해당하며, IFFT 출력의 마지막 샘플을 순환 확장하여 사용한다. IEEE 802.11a 규격에서는 그림 3과 같이  $t_1 \sim t_{10}$ 구간을 신호 검출, AGC(Automatic Gain Control), 다이버시티 선택을 위해 할당하였다.  $t_8 \sim t_{10}$ 구간에서는 대략적인(coarse) 반송파 주파수 오프셋과 심볼 동기 오프셋 추정을,  $T_1$ ,  $T_2$ 구간에서는 정밀한(fine) 반송파 주파수 오프셋과 채널 추정을 수행하도록 할당되었다. 표 1은 OFDM 무선

LAN 시스템에서 사용되는 주요 파라미터를 보여주고 있다. 이 파라미터들은 시스템의 모의실험이나 구현에 필요한 기본적인 정보이다.

### III. 모의실험 및 성능 분석

본 장에서는 II장에서 기술한 IEEE 802.11a OFDM 무선 LAN 모델 규격중에서 24Mbps 전송속도를 갖는 1/2 길쌈 코딩율의 16-QAM 방식에 대해서 채널추정 및 주파수 오프셋이 존재할 때 보상회로가 적용되는 경우의 시스템 성능을 분석한다. 표준안에 제시된 주요 파라미터 및 규격에 따라 OFDM 무선 LAN 모델 시뮬레이터를 Matlab을 이용하여 구현하였다.

무선채널을 통과한 OFDM 신호에서 주파수 오프셋 오차가 존재할 때 채널 추정방법으로 LS(least square)와 MMSE (minimum mean square error)을 적용한 경우 이상적인 조건의 시스템의 성능과 비교하여 성능의 저하 정도를 모의실험을 통해 평가한다.

OFDM 무선 LAN 시스템 모의실험에 사용된 채널모델은 유럽의 HIPERLAN/2에 적용되었던 5가지 모델<sup>[6]</sup>중에서 가장 짧은 지연시간을 갖으며 전형적인 실내 사무실 환경을 보여주는 모델 A와 긴 지연시간을 가지며 역이나 공항 같은 넓고 탁 트인 환경을 보여주는 모

표 1. IEEE 802.11a의 OFDM 심볼 파라미터<sup>[3]</sup>  
Table 1. Symbol parameter of IEEE 802.11a modem.<sup>[3]</sup>

Parameter	Value
$N_{SD}$ : Number of data subcarriers	48
$N_{SP}$ : Number of pilot subcarriers	4
$N_{ST}$ : Number of subcarriers	52 ( $N_{SD} + N_{SP}$ )
$\Delta_F$ : Subcarrier frequency spacing	0.3125 MHz
$T_{FFT}$ : IFFT/FFT period	3.2 $\mu$ s ( $1/\Delta_F$ )
$T_{PREAMBLE}$ : PLCP Preamble duration	16 $\mu$ s ( $T_{SHORT} + T_{LONG}$ )
$T_{SIGNAL}$ : Duration of the Signal BPSK- OFDM symbol	4.0 $\mu$ s ( $T_{GI} + T_{FFT}$ )
$T_{GI}$ : GI duration	0.8 $\mu$ s ( $T_{FFT}/4$ )
$T_{GR2}$ : Training symbol GI duration	1.6 $\mu$ s ( $T_{FFT}/2$ )
$T_{SYM}$ : Symbol interval	4 $\mu$ s ( $T_{GI} + T_{FFT}$ )
$T_{SHORT}$ : Short training sequence duration	8 $\mu$ s ( $10 \times T_{FFT}/4$ )
$T_{LONG}$ : Long training sequence duration	8 $\mu$ s ( $T_{GR2} + 2 \times T_{FFT}$ )

델 E이다. 각 모델의 전력지연 프로파일을 대상으로 하여 시스템의 표본화율에 맞게 채널 임펄스 응답으로 변환하여 적용하였다<sup>[7]</sup>. 여기서 표본화 간격은 50ns가 된다. 표 1은 모델A에 대한 전력지연 프로파일을 보여주고 있다. 탭 계수의 크기는 Rayleigh 확률밀도함수 분포를 가지는 랜덤 변수이며, 실내 환경은 단말기가 고속으로 이동하지 않으므로 채널은 느린 페이딩이 발생하는 시불변 채널로 가정한다.

주파수 오프셋의 영향과 채널보상 오차에 따른 영향을 분석하기 위해 모의실험은 두 가지 요인을 포함하여 진행된다. 주파수 오프셋 보상과 채널 보상은 반복되는 훈련 심볼을 이용하여 보상하게 된다.

반복되는 훈련 심볼을 이용하여 반송파 주파수 오프셋을 추정하는 방법은 각각 다음 식으로 주어진다.

$$\hat{\epsilon} = \frac{N}{2\pi D} \angle \left( \sum_{k=0}^{D-1} y^*(k)y(k+D) \right) \quad (3)$$

여기서,  $\hat{\epsilon}$ 은 추정된 반송파 주파수 오프셋, N은 FFT 크기(여기서는 64)이며, D는 연속되는 두 심볼간의 거리를 나타낸다. 위 식에서 수신되는 시간영역 신호  $y(k)$ 와  $y(k+D)$ 사이에는 반송파 주파수 오프셋에 의해 각각  $\exp\left(\frac{j2\pi\epsilon n}{N}\right)$ ,  $\exp\left(\frac{j2\pi\epsilon(n+D)}{N}\right)$ 만큼의 위상변화가 발생한다. 따라서, 두 신호의 위상차이  $\theta$ 와 그 값의 범위는 다음과 같이 주어진다.

$$\theta = \angle \frac{2\pi\epsilon(n+D)}{N} - \frac{2\pi\epsilon n}{N} = \frac{2\pi\epsilon D}{N} \quad (4)$$

표 2. 전형적인 실내 사무실 환경을 보여주는 전력지연 프로파일 모델 A(직접파가 없는 환경, 50ns 평균 실효지연)

Table 2. Model A, corresponding to a typical office environment for NLOS conditions and 50ns average rms delay spread.

Tap Number	Delay (ns)	Average Relative Power (dB)	Ricean K	Doppler Spectrum
1	0	0.0	0	Class
2	10	-0.9	0	Class
3	20	-1.7	0	Class
4	30	-2.6	0	Class
5	40	-3.5	0	Class
6	50	-4.3	0	Class
7	60	-5.2	0	Class
8	70	-6.1	0	Class
9	80	-6.9	0	Class
10	90	-7.8	0	Class
11	110	-4.7	0	Class
12	140	-7.3	0	Class
13	170	-9.9	0	Class
14	200	-12.5	0	Class
15	240	-13.7	0	Class
16	290	-18.0	0	Class
17	340	-22.4	0	Class
18	390	-26.7	0	Class

$$|\theta| = \frac{2\pi\epsilon D}{N} < \pi \quad (5)$$

짧은 훈련 심볼을 사용할 경우 위 식에서  $N=64$ ,  $D=16$ 이므로 1 FFT 주기에 신호가 4번 반복하게 되어 추정할 수 있는 주파수 오프셋 범위가 반반송파 간격의 4배가 되며 ( $|\epsilon| < 2$ ), 긴 훈련 심볼을 사용할 경우  $N=D=64$ 이므로 반반송파 간격 이내의 주파수 오프셋만 추정할 수 있다 ( $|\epsilon| < 0.5$ ). 따라서 IEEE 802.11a에서는 추정 범위를 넓히기 위해 짧은 훈련 심볼을 이용하여 대략적인 주파수 추정을 한 후, 긴 훈련 심볼을 이용하여 정확하고 세밀한 주파수 추정을 하게 된다.

표준안의 무선 LAN 시스템은 또한 채널의 영향에 따른 신호의 감쇠를 보상하기 위해 짧은 훈련신호와 긴 훈련 신호로 주파수와 채널을 보정한다. 본 논문에서는 Rayleigh 다중경로 페이딩 채널을 가정하여, 채널 열화 보상을 위해 긴 훈련 신호를 이용하여 보상한다.

채널 추정시 간단한 추정 방법은 추정 에러의 차승을 최소화하는 LS(Least Square) 방식이다. 그림 4는 긴

심볼을 이용하는 LS채널 예측기의 시스템 모델이다. 두 개의 긴 훈련 심볼에 대한 평균을 취하여 채널을 예측하는 방법으로 평균화에 의해서 잡음 수준을 낮추는 방법을 사용한다<sup>[6]</sup>.

k번째 반송파에서 수신되는 훈련 심볼은 다음 식(6)과 같다.

$$Y_k = X_k H_k + W_k \quad (6)$$

여기서  $Y_k$ 는 수신 심볼,  $X_k$ 는 송신된 훈련심볼,  $H_k$ 는 채널의 전달함수,  $W_k$ 는 평균이 0이고 분산이  $\sigma_w^2$ 인 잡음을 나타낸다. LS 방식에 의한 채널 추정치는 식 (7)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\hat{H}_k = \frac{Y_k}{X_k} \quad (7)$$

그리고 시스템의 성능향상을 위해 추정치 오차 자승의 평균을 최소화하는 MMSE(Minimum Mean Squared Error)방식이 있다. LS 방식을 이용한 채널 추정을 통하여 LMMSE(Linear MMSE)방식을 유도하면 식 (8)와 같이 표현할 수 있다<sup>[8]</sup>.

$$\hat{H} = R_{\hat{H}\hat{H}_k} \left\{ R_{HH} + \frac{1}{SNR} I \right\}^{-1} \hat{H}_k \quad (8)$$

여기서  $\hat{H}$ 는 LMMSE 방식의 추정된 채널이고,  $\hat{H}_k$ 는 LS 방식의 채널 추정이다.  $R_{\hat{H}\hat{H}_k}$ 은 추정해야 하는 채널 값 벡터  $H$ 와 LS 방식으로 추정된 벡터  $\hat{H}_k$ 의 상호분산 행렬(cross-covariance matrix)이며,  $R_{HH}$ 는 채널의 자기상관행렬 이다.

주파수 오프셋에 의해 OFDM 부반송파간의 간섭이 발생하는데 주파수 오프셋이 없을 때와 비교해 주파수 오프셋이 부반송파간의 주파수 간격에 대해 정규화 된 주파수 오프셋이 1%이내 일 경우에 성능의 차이는 미미하다<sup>[9]</sup>.

모의실험에서 주파수 오프셋이 1%보다 큰 경우는 주파수 오프셋 보상에 의해 1%이하로 유지되므로 주파수 오차에 의한 영향은 무시될 수 있으며, 작은 주파수 보상 오차는 채널 추정에 작은 영향만을 줄 것으로 생각 된다. 본 논문에서는 주파수 오프셋이 없을 때와 정규화 된 초기 주파수 오프셋이 1%일 때 모의실험 대상인 16-QAM 변조방식에 대해 LS 채널추정, MMSE 채널 추정 등을 적용했을 때의 성능차이를 비교하고자 한다.

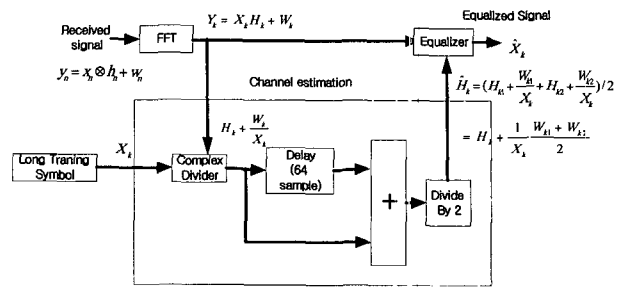


그림 4. 긴 훈련 심볼을 이용하는 채널 예측기의 시스템 모델

Fig. 4. System model of channel estimator using long training symbol.

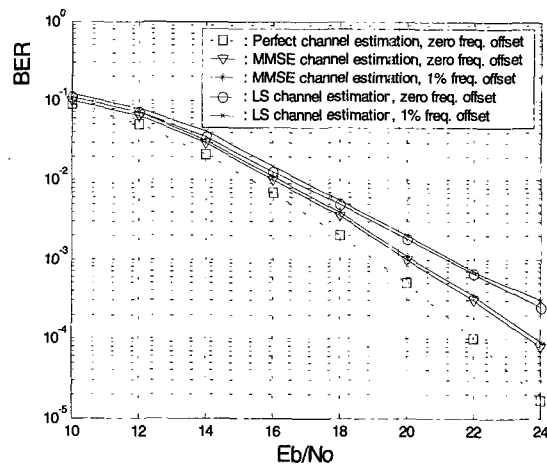


그림 5. 이상적인 채널 추정의 경우와 주파수 오프셋이 있을 경우 LS 및 MMSE채널 추정된 16QAM BER(24Mbps, 1/2 code rate, 채널모델 A)

Fig. 5. 16QAM BER of ideal channel estimation, and LS channel estimation and MMSE channel estimation with frequency offset(24Mbps, 1/2 code rate, channel model A).

그림 5은 다중경로 채널 모델 A에서 주파수 오프셋이 없을 때와 주파수 오프셋이 있는 경우(1%)에 대하여 주파수 오프셋 보상 알고리즘과 LS 채널 추정과 MMSE 채널 추정을 사용한 성능을 이상적인 경우의 성능과 비교한 결과이다.

그림 6은 다중 경로 채널 모델 E에서 같은 조건에 대해 성능을 비교한 것이다. 주파수 오프셋 보상과 채널 추정 보상을 통한 성능과 이상적인 상황에서 성능은  $10^{-3}$  BER 기준 약 2.2 dB와 1 dB의 Eb/No 차이가 있음을 볼 수 있다. 주파수 오프셋이 없을 때의 채널 추정과 주파수 오프셋이 있을 때 채널 추정의 성능 차이는 모의실험 결과에서 그 차이가 작음을 확인할 수 있었다. 그리고 이 결과로부터 주파수 오프셋 보상은 작은 영향만을 주고 있음을 확인할 수 있으며, MMSE 채널 추정 방법은 Eb/No가 증가함에 따라 LS

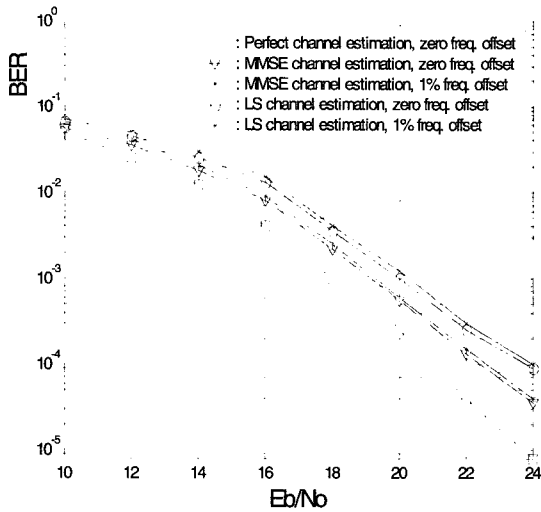


그림 6. 이상적인 채널 추정과 주파수 오프셋이 있을 경우 LS 및 MMSE 채널 추정한 16QAM의 BER (24Mbps, 1/2 code rate, 채널모델 E)

Fig. 6. 16QAM BER of ideal channel estimation, and LS channel estimation and MMSE channel estimation with frequency offset (24Mbps, 1/2 code rate, channel model E).

추정 방법보다 약 1dB 정도 성능이 나아짐을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11a의 물리 계층의 무선 LAN 모델을 구현한 시뮬레이터를 이용하였다. 무선 채널 모델로 5GHz 대역에서 실제 측정된 HIPERLAN/2용 채널 모델을 적용하여, 주파수 오프셋 추정 및 LS와 MMSE 채널 추정방법을 연동하여 무선 LAN 모델의 BER 성능을 모의실험을 통해 평가하였다.

주파수 오프셋의 영향을 분석하기 위해 주파수 오프셋이 없는 경우와 주파수 오프셋이 있는 경우에 대해서 채널 추정 보상을 적용한 경우와 이상적인 채널 추정과 주파수 오프셋이 없는 경우의 성능 평가 결과를 구하여 비교하였다.

기존의 연구결과들은 시스템에 미치는 영향 등을 개별적으로 분석한 결과들을 제시하고 있었다. 시스템의 성능에 영향을 미치는 여러 가지 요소의 개별적인 영향과 통합적인 영향을 간단히 산술적으로 비교하기 어렵기 때문에 본 논문에서 제한적이긴 하지만 채널 보상과 주파수 오프셋 보상 오차에 따른 성능 저하 정도를 BER을 기준으로 하여 요구되는 Eb/No 으로 구하였다. 주파수 오프셋 보상과 채널 추정 보상을 동시에 행한

성능과 이상적인 상황에서 성능 차이는  $10^{-3}$  BER 기준 LS 채널추정의 경우 약 2.2dB, MMSE 채널 추정의 경우 약 1dB의 Eb/No 차이가 있음을 확인 하였다. 그리고 주파수 오프셋이 없을 때의 채널 추정과 주파수 오프셋이 있을 때 채널 추정의 성능 차이는 모의실험 결과에서 그 차이가 작음을 확인 할 수 있었다. 또한 MMSE 채널 추정은 추가적인 복잡성은 증가시키지만 LS 채널 추정보다 보다 약 1dB 나은 성능을 제공하는 것을 확인 하였다. 이 결과로부터 시스템의 성능에 영향을 미치는 모든 요소를 고려한다면 이상적인 상황과 동일한 BER을 얻기 위해서는 2-3dB의 추가적인 Eb/No가 요구될 것으로 판단된다.

본 연구 결과는 현재 국내에서 개발하고 있는 OFDM 기반 802.11a 무선 LAN 시스템의 개발을 위한 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 조용수, "고속 무선 LAN 모델 기술 동향", *대한전자공학회 99 추계종합학술대회 논문집*, pp.21-26, 1999년 11월
- [2] 전호인, 신용섭, "홈 네트워크 기술 및 표준화동향", *대한전자공학회지*, 제29권 6호, pp 638-659, 2002년 6월
- [3] IEEE 802.11a, *High Speed Physical Layer in the 5GHz band*, 1999.
- [4] ETSI, "Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Physical(PHY) Layer," TS 101 475, Feb. 2001.
- [5] Lajos Hanzo, W. Webb, T. Kelle, *Single-and Multi-carrier Quadrature Amplitude Modulation*, John Wiley and Sons, 2000.
- [6] J. Medbo, "Radio Wave Propagation Characteristic at 5 GHz with Modeling Suggestion for HIPERLAN/2", ETSI BRAN 3ERI074A, Jan. 1998.
- [7] Joint Technical Committee :Deployment/Testing Ad Hoc Group, "Technical report on RF Channel Characterization and System Deployment Modeling", Paper no. JTC(AIR)/94-9.23-065R6, Sept. 23, 1994.
- [8] O. Edfors, M. Sandell, J. J. van de Beek, S. K. Wilson, and P.O. Börjesson, "OFDM Channel Estimation by Singular Value Decomposition," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, no. 7, pp.931-939, July 1998.
- [9] R. van Nee and R. Prasad, *OFDM Wireless multimedia communications*, Artech House, 2000.

## 저 자 소 개



오 동 진(정회원)

1991년 전남대학교 전자공학과  
학사1993년 전남대학교 전자공학과  
석사2000년 전남대학교 전기공학과  
박사

2002년~현재 목포대학교 정보통신공학과 강사

2003년~전남대학교 정보통신연구소 연구원

&lt;주관심분야: 무선통신시스템, 채널모델링&gt;



김 철 성(정회원)

1977년 2월 서울대학교  
전자공학과 학사1979년 2월 서울대학교  
전자공학과 석사1987년 12월 University of Arizona  
박사

1979년 12월~1983년3월 국방과학연구소

1987년 11월~1989년 2월 한국전자통신연구소

이동통신 연구실장

1989년 3월~1995년 3월 전남대학교 전자공학과  
교수1995년 3월~2001년 3월 전남대학교 컴퓨터공학과  
교수

1997년 2월~1998년 2월 UCSD, 방문교수

현재 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

<주관심분야: 이동통신시스템, CDMA, 디지털통  
신방식>