OFDM을 적용한 차세대 무선 LAN의 성능 평가 및 분석

The Performance Evaluation and Analysis of Next Generation Wireless LAN with OFDM

한 경 수*, 윤 희 상*

Kyung-su Han* and Hee-sang Youn*

요 약

본 논문은 IEEE 802.11a에서 사용되는 ISM (Industry, Science, Medical) 밴드인 5GHz 대역에서의 무선 LAN (W-LAN)에 대한 시스템의 성능평가와 분석을 하였다.

W-LAN은 현재까지 개발, 적용되고 있는 2.4 GHz대의 제품이 주류를 이루고 있으나, 이는 전송 속도가 11 Mbps 로 고속의 전송이 요구되는 시스템에는 부적합하다. 이를 해결하기 위해 5 GHz 대역에서 54 Mbps까지 전송 속도를 지원하는 차세대 W-LAN을 구현하여, 강의실이나 구내 일정한 지역에서의 통신은 물론 차량과 같은 고속으로 이동시에도 데이터가 끊어짐이 없이 지속적인 서비스가 되도록 무선 접속장치(AP: Access Point)와 무선 단말 장치 (NIC: Network Interface Card) 간의 다중 경로 페이딩 채널을 모델링하였다.

또한 간섭성을 감소시키기 위해 컨벌루셔널 부호의 사용과 데이터 통신에서 필요로 하는 신뢰성있는 BER을 얻기 위해 단일 텝 LMS (Least Mean Square) 등화기를 적용하였고, 인접 심볼 또는 채널간 간섭을 제거하는 시뮬레이션으로 차세대 LAN 시스템의 성능을 평가 및 분석 하였다.

ABSTRACT

This paper describes the performance evaluation and analysis of Wireless Local Area Network (W-LAN) in the 5 GHz ISM-band in compliance with IEEE 802.11a. At present, most W-LAN products are based on 2.4 GHz band, but low speed (11Mbps) has the limitation to serve systems demanding high-speed data transmission. To solve this problem, it is necessary to design next generation W-LAN system with 54Mbps in the 5GHz. It is sure that implementation of next generation W-LAN will bring competitive advantages. In particular, it will support telecommunications for high-speed mobile environments as well as for fixed places such as a school zone, a lecture room, a hospital and other premises.

A few simulation methods are applied to more accurate and reliable performance analysis of next generation W-LAN. To verify if continuous data service is supported for a high-speed mobile notebook, multi-path fading channels between wireless Access Point (AP) and wireless Network Interface Card (NIC) are modeled. In addition, low interference is analyzed via convolutional codes and Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM). Also, to obtain reliable Bit Error Rate (BER), a single tap Least Mean Square (LMS) equalizer is applied.

Given the above simulation, next generation W-LAN is an ideal solution for continuous data transmission in high-speed mobile environments.

* 호서대학교 전기공학부 정보통신공학과 (Dept. of Telecommunication, School of Electricity Eng., Hoseo University)

·논문번호 : 2002-6-5

·접수일자 : 2002년 4월 25일

Ⅰ. 서 론

1990년대 초반에 W-LAN 기술이 소개된 이래 현재 IEEE 802.11b 표준을 적용한 2.4 GHz 대의 제품이 상용화되어 있고, 1999년 7월 IEEE 802.11a 의 표준안이 확정되어 칩 셑의 개발과 제품 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1],[2]. W-LAN 의 특징은 학교, 병원과 같은 반경 약 500 m의 한정된 범위 내에서 가시거리(LOS) 통신이다. W-LAN 의 구성은 무선 단말장치(NIC)와 이들을 유선 네트워크 또는 다른 통신망에 연결해 주는 무선 접속장치 (AP)로 구성되어 있다. 기존의 2.4 GHz W-LAN 과 5 GHz의 가장 큰 차이점은 전송속도에 있다. 802.11b인 2.4 GHz 제품은 최대 전송속도가 11 Mbps 인 반면, 802.11a인 5 GHz는 54 Mbps까지 증가한다. 따라서 전송속도의 증가와 구내에서 무선 단말장치를 이동 또는 차량등에 탑재한 채 이동하는 경우에 다중 경로 채널에서 ISI(Inter Symbol Interference)가 발생하여 주파수 선택성 페이딩 채널환경이 된다. 주파수 페이딩 채널 환경에서는 데이터의 오류 발생, 통신의 단절 현상등 QoS를 보장할 수 없는 상태가 종종 발생 하였다.

본 논문에서는 802.11a에서 권고하는 5.8 GHz 대의 주파수[3]를 사용하였고 페이딩에 강한 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 적용하여 시스템이 오류 없이 정상적으로 동작하는지를 확인 하였다. 다중 경로 성분을 고려하여 6-Ray 채널 환경에서 OFDM 시스템을 모델링하였으며, 또한 변조 방식은 BPSK, QPSK, 16QAM을 사용하였고, 부호율 1/2, 3/4, 구속장 7의 컨벌루셔널 부호와 경판정, 연판정 비타비 복호를 적용하여 시스템의 성능을 분석하였다. 다중 경로 주파수 페이딩에 의한 ISI 간섭을 제거하기 위해 단일 텝 LMS 등화기를 사용하여 진폭과 위상에 대한 왜곡을 보상하였다.

Ⅱ. OFDM 시스템

디지털 통신에서 대역폭이 제한된 채널을 통하여 수십 Mbps의 정보 데이터를 전송하는데 심볼의 전송율이 증가할수록 전송 신호의 대역폭은 비례하여 증가한다. 그러므로 제한된 대역폭에서 고속 데이터 전송을 위해서는 주파수 효율성이 높은 다중 반송파 전송 방식인 OFDM 변조 기술은 다중 경로 채널에서 우수한 성능을 보여 현재 유럽에서 HDTV 의 지상파 방송 방식 및 디지털 오디오 방송(DAB: Digital Audio Broadcasting)의 표준으로 사용되고 있다[4].

OFDM은 주파수를 효율적으로 활용하는 다중 반송파 (Multi-Carrier) 전송 방식으로 Chang[5]에 의해 제안 되었고, 고속의 전송이 요구되는 무선 시스템에 많이 사용된다. 이는 광대역 신호를 상호 직교성을 갖는 협대역의 여러 부 채널로 나누어 이를 중첩시켜 동시에 전송하는 방식으로 효율이 좋다.

OFDM은 심볼과 심볼 사이에 임펄스 응답 길이보다 긴 보호구간을 두어 인접 심볼과 채널간 간섭을 쉽게 제거할 수 있는 장점이 있다.

OFDM 시스템의 일반적 구조는[6] 다음 그림 1에 나타내었다.

기저 대역의 OFDM 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = \sum_{m=1}^{M} C_{m,k} P_m (t - kT_s) \exp\left(j2\pi \frac{m}{T_s} t \right)$$

$$KT_s \le t \le (K+1)\ T_s \qquad (1)$$

여기서 m은 부반송파의 수, T_s는 OFDM 심볼의 주기, Cm,k = am,k + jbm,k 는 k 번째 부채널을 통해 전송되는 변조 신호를 나타내며 Pm(t) 은 m 개의 부 반송파를 사용한 펄스 함수이다.

2-1 컨벌루셔널 부호 및 비터비 복호

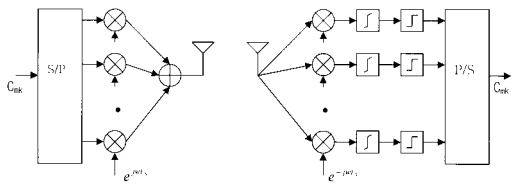

그림 1. OFDM의 기본 구조

Fig. 1. Basic Configuration of OFDM.

신호의 전송에는 많은 에러가 있을 수 있으므로 채널 부호화가 필요하다. 채널 부호화에는 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 부호율 1/2, 3/4 구속장이 7인 천공된 컨벌루셔널 부호화를 사용한다. 천공된 컨벌루셔널 부호는 부호율이 낮은 코드의 부호기 출력 심볼 중 특정 패턴에 의해 주기적으로 몇 개의 심볼을 제거하므로써 아주 높은 부호율을 얻는다[7].

또한 천공된 컨벌루셔널 부호는 천공 패턴 형태로 부호를 표현하고 패턴을 적절히 변경하여 부호율과 형태를 바꿀 수 있다. 특히 천공된 컨벌루셔널 부호화된 데이터는 연속 다중 에러를 방지하기 위해 OFDM 심볼 비트 수만큼 블럭 인터리버에 의해 인터리빙된다.

인터리빙은 두 단계로 진행이 되는데 첫번째 단계에서는 인접하는 비트가 서로 인접하지 않는 부반송파에 실리는 것이며 두번째 단계에서는 매핑도에서 비트 위치를 바꾸어 주게 된다.

비터비 복호는 컨벌루셔널 부호화된 신호의 복호 방법 중 가장 성능이 우수한 것으로 알려진 수신단에서 MLSE(Maximum Likehood Sequence Estimation) 를 수행하는 알고리즘으로 수신 신호열에 대하여 매핑도에서 모든 경로의 확률을 계산하여 가장 큰 확률을 갖는 경로를 선택한다.

비터비 복호에는 0과 1로 판정하는 경판정과 M-ary로 판정하는 연판정이 있으며, 본 논문에서는 경판정, 연판정을 사용하여 부호율이 3/4인 경우에는 복호 깊이를 40 ~ 100으로 하고 연판정의 경우에는 3, 4 양자화 비트를 사용한다.

2-2 채널 모델

차세대 무선 LAN 환경에서는 AP 또는 Bridge와 이동국 단말기(노트북)의 거리는 길어야 200 m~500 m인 가시 거리이며 (LOS: Line of Sight) 도심지역에서는 건물과 장애물에 의해 반사파가 발생하고 이와 같은 다중 경로에 의한 페이딩이 발생한다. 또한 전송속도가 5.8 GHz 대역에서는 54 Mbps의 고속패킷 통신이므로 직접파와 반사파로 인한 간섭이 발생하게 된다.

이동 단말기가 AP의 가시영역 밖으로 완전히 벗어날 때가 종종 있다. 즉, 직접 경로를 통하여 수신기로 입력되는 신호가 없는 경우 장애물에 의한 여러 반사파들이 수신되며, 각각의 반사파들의 수신신호 세기는 거의 차이가 없다. 서로 다른 경로를 통하여 수신된 신호들은 도착하는 시간이 다소 차이가 있으며 각각의 크기 및 위상이 다소 차이가 있다. 움직이는 이동체가 수신한 반송파 신호의 포락선은 레일레이 분포를 한다는 것은 이론과 실험으로 모두 증명되었다. 이를 레일레이 페이딩이라 한다.[8][9]

레일레이 페이딩은 직접파의 성분이 거의 없고 주로 반사파나 회절파로 구성되어 수신점에서의 수신 전계 강도의 진폭 및 위상이 레일레이 확률 분포 함수에 따르며, 위성 통신과 같은 채널에서는 직접파의 성분이 상대적으로 강하므로 수신점에서의 수신 전계 강도의 진폭 및 위상이 라이시안 확률 분포 함수를 따른다.[10]

본 논문의 시뮬레이션에서는 실제 무선 통신 채널에서 발생하는 직접파와 반사파로 구성되는 일반적인 라이시안 페이딩 모델을 이용했으며, 이의 임펄스 응답 h(t)는 다음 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$h(t) = \delta(t) + \sum_{I=1}^{L} a_I \exp(j\phi_I)\delta(t-\tau_I) \qquad (2)$$

식 (2)의 첫번째 성분 $\delta(t)$는 직접파 성분이고, α_I는 반사파 성분의 임의의 이득, $\emptyset$ 는 위상, τ 는 반사파 성분의 임의의 지연 시간을 나타낸다.

무선 통신 시스템에서 서로 다른 다중 경로 채널을 비교하기 위해 다중 경로 채널을 정규화 하기 위한 파라미터가 사용되어 진다. 이들은 파라미터는 평균 초과 지연과 실효치(rms) 지연 확산이다. 평균 초과 지연은 전력 지연 프로파일의 1차 모멘트로서 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{\tau} = \sum_{I=1}^{L} \frac{P_I}{P_d}\tau_I \qquad (3)$$

여기서 P_I 는 반사파 전력, P_d 는 직접파 전력, τ_i 는 반사파 지연 시간을 각각 나타낸다.

rms 지연 확산은 전력 지연 프로파일의 2차 모멘트의 평방근으로서 다음과 같이 정의한다.

$$\tau_{rms} = \sqrt{\sum_{I=1}^{L} \frac{P_I}{P_d}\left(\tau_I - \bar{\tau}\right)^2} \quad (4)$$

일반적으로 실효치 지연확산이 비트 주기의 10 % 이상 크게 되면 등화를 필요로 하는 주파수 선택성 페이딩 채널 환경으로 간주된다. 그러므로 등화가 필요한 조건을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\tau_{rms} \geq \frac{T_b}{10} \quad (5)$$

여기서 T_b는 비트 주기이다.

본 논문에서는 실효치 지연확산을 150 ns로 AR-IB(Association of Radio Industries and Business)의 측정치를 적용하였다. 일반적으로 다중 반사파 변조 방식 (MCM: Multi-Carrier Modulation)은 반사파 성분으로 인한 수신 신호의 빠른 변화를 정확히 예측하기가 곤란하므로 무선 다중 페이딩 채널 모델링이 필요하게 된다.

그림 2는 라이시안 페이딩 펙터(K)에 의한 QP-SK 성능을 나타낸 것이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 BER 성능에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 직접파와 간섭파의 비율인 라이시안 펙터(K)이다. 라이시안 지수 K는 다음과 같이 표현된다.[11]

$$k = \frac{c}{m} = \frac{a^2}{2\sigma^2} \qquad or, \quad in\ dB,$$

$$K = 10 \log k = 10 \log \frac{a^2}{2\sigma^2}$$

여기서, α: 직접파의 크기, σ: 다중 경로의 평균 신호 전력

만일 $k = 0$이면 라이시안 분포는 레일레이 분포가 되며, k 가 크면 라이시안 페이딩이 된다.

라이시안 펙터에 의한 시뮬레이션 결과를 그림 2로 나타내었으며, 이는 또한 K가 10 dB 이하에서 고속 패킷 데이터 전송을 할 경우에 신뢰성 있는 데이터 통신을 위한 10^{-6} 이하의 BER 를 보장하지 못함을 알 수 있다. 그러므로 신뢰성있는 고속 데이터 통신을 확보하기 위해 간섭 성분을 제거하는 기술이

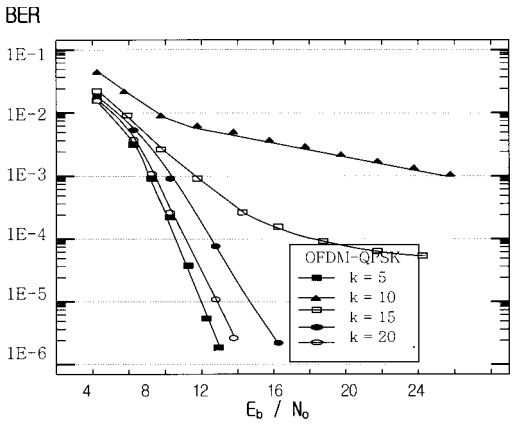

그림 2. 라이시안 펙터(K) 따른 OFDM-QPSK 오류율
Fig. 2. OFDM-QPSK Error Ratio based on Rician factor K.

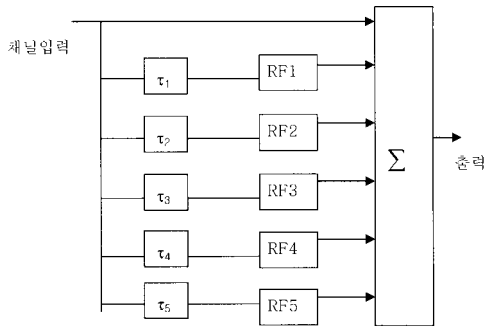

그림 3. 6-ray 라이시안 페이딩 채널 모델
Fig. 3. Channel Model for 6-ray Rician Fading.

필요하게 된다.

본 논문에서는 다중 경로 라이시안 페이딩 채널을 그림 3과 같이 구성하여 채널 모델을 구현하였다.

그림 3에서 RFn은 n번째 레일레이 페이딩을 나타낸다.

2-3 단일 탭 등화기

OFDM 방식의 장점은 ICI의 발생을 억제하여 성능을 향상 시킬 수 있을 뿐만 아니라, 보호구간을 적절히 설정하면 ISI를 제거할 수 있다. 그러나 보호구간을 아무리 잘 설정한다 해도 고 신뢰도의 BER 을 얻을 수 없게 되며 이를 개선하기 위한 채널 등화가

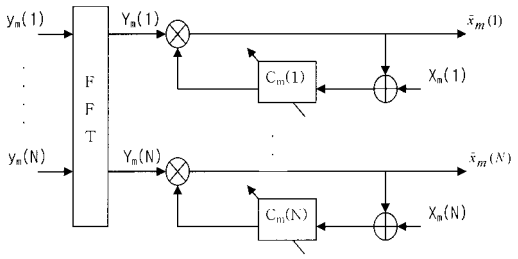

그림 4. OFDM 시스템의 단일 텝 등화기
Fig. 4. Single Tap Equalizer of OFDM System.

필요하게 된다.

그림 4는 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기준을 갖는 LMS(Least Mean Square) 등화기의 사용 예를 보여 준다.

FFT 뒤에 등화기를 적용시킬 경우에는 부 반송파 수만큼 등화기를 두어야 하므로 수행하는데 어려움이 있고, 보호구간만으로 직교성이 유지된다면 진폭과 위상왜곡만 발생하게 되므로 단순한 구조를 가진 단일 탭 등화기로 충분히 보상할 수 있다.

III. 실험 및 고찰

AWGN과 6-ray 라이시안 페이딩 체널 환경에서 컨벌루셔널 부호와 비터비 복호 및 단일텝 등화기를 적용하여 OFDM 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 천공된 컨벌루셔널 부호율에 따른 BER 특성과 등화기를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 대하여 특성을 비교 평가 하였다.

표 1 OFDM 시스템 파라미터
Table 1 OFDM System Parameter

전송 속도	6, 9, 12, 24, 36, 54 Mbps
변조 방식	BPSK, QPSK, 16QAM
FFT 크기, N	64
유효 심볼 주기 T	3.2 μs
보호 구간 간격 주기, T_g	0.8 μs
채널 부호	컨벌루셔널 부호, R=1/2, 3/4
페이딩 채널	6-Ray 라이시안 페이딩
등화기	단일 텝 등화기
Rms 지연	150 ns

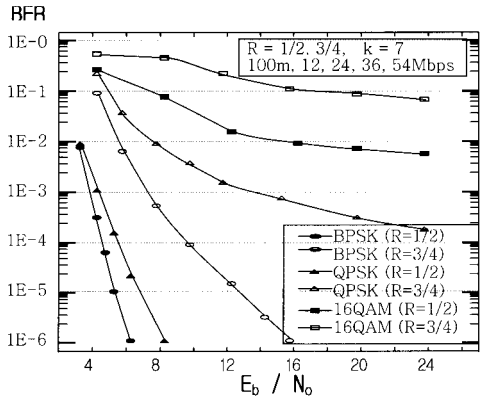

그림 5. 6-ray 페이딩 채널에서 부호율 1/2, 3/4 의 성능 평가
Fig. 5. Performance Evaluation of Coding rate 1/2, 3/4 at 6-Ray Fading Channel.

사용된 OFDM 시스템의 파라미터는 표 1과 같다.

6-ray 라이시안 페이딩 채널 환경에서 부호율 1/2, 3/4 를 적용한 결과는 그림 5에 나타내었다.

부호율 1/2 를 적용한 BPSK, QPSK의 경우 BER은 10^{-5}에서 5 dB 이상 개선 됨을 알 수 있다. 16 QAM에서는 컨벌루셔널 부호를 사용해도 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다. 부호율 3/4에서는 전송속도는 증가하지만 모든 변조 방식에서 높은 코딩 이득을 얻지 못하였고,부호율 1/2 보다 성능이 향상되지 않았다.

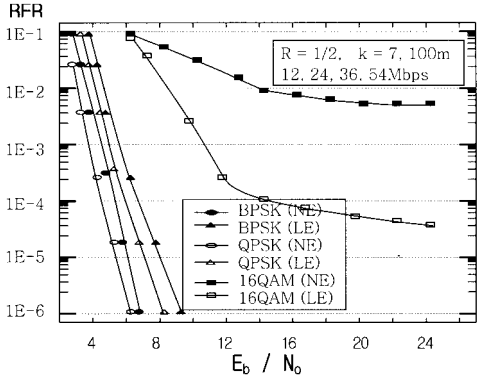

그림 6 부호율 1/2 에서 등화기의 성능 평가
Fig. 6. Performance Evaluation of Equalizer at Coding rate 1/2.

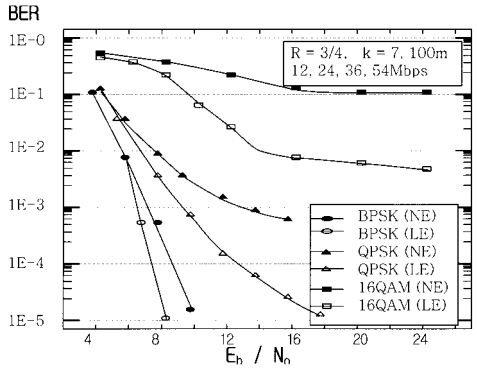

그림 7 부호율 3/4 에서 등화기의 성능 평가

Fig. 7. Performance Evaluation of Equalizer at Coding rate 3/4.

그림 5에서 BPSK, QPSK에 대해서는 컨벌루셔널 부호로 성능이 개선되었음을 알 수 있지만 16 QAM은 페이딩 채널 환경에서 성능이 저하됨을 보여준다. 이를 개선하기 위해 단일 텝 등화기를 사용하여 성능을 평가한 결과는 그림 6, 7에 나타내었다.

그림 6, 7에서 보는 바와 같이 BPSK의 부호율 1/2에 대해서 컨벌루셔널 부호에 등화기를 적용하여도 그리 많은 개선은 일어나지 않았다. 이는 OFDM 적용으로 심볼 전송시 삽입한 보호구간에 의해 ISI가 제거되었음을 나타낸다. QPSK에 등화기를 적용했을 때 부호율 1/2 경우에 약간의 개선이 이루어졌으며, 부호율 3/4 인 경우 BER 10^{-3}에서 약 4 dB 정도의 개선이 있음을 알 수 있다. 16 QAM 에서 부호율 1/2일 때 BER 10^{-3}을 얻기 위해서는 약 11 dB 이상의 E_b/N_o가 요구된다. 이는 무선 채널 환경에서 변조 방법에 따라 데이터의 전송속도가 빨라질수록 ISI 영향이 심각해 지기 때문이다.

IV. 결 론

도심 환경에서 무선 통신은 빌딩이나 장애물이 존재하므로 수신기는 다중경로에 의한 페이딩을 받게 된다. 특히 수신 단말기가 움직이는 상태에서는 이러한 페이딩이 에러를 유발하여 구성된 채널의 끊김이나 잘 못된 데이터의 수신등 통신의 신뢰성이 떨어지고 결국에는 통신 시스템으로서의 역할을 할 수 없게 된다.

본 논문에서는 이와 같은 환경에서 통신의 신뢰성을 확보하기 위하여 5 GHz 대역을 사용한 OFDM 방식을 적용하고, OFDM 방식은 심볼과 심볼 사이에 응답 시간보다 긴 보호 구간을 두어 인접 심볼간 또는 채널간 간섭을 감소시켜 무선 채널 환경에서 다중 경로에 의한 페이딩에 비교적 강한 장점이 있으나 BER 성능을 더욱 개선하기 위하여 천공된 컨벌루셔널 부호(부호율 1/2, 3/4)를 사용하였으며, 복호기로서 비타비 복호를 사용하여 성능을 비교 평가하였다.

또한 ISI를 감소시키기 위해 비교적 구조가 간단한 단일 텝 등화기를 사용하여 성능이 향상되었음을 알 수 있었다.

그림 5, 6, 7에서 알 수 있는 바와 같이 6-ray라이시안 페이딩 무선 채널 환경에서 성능이 향상되었음을 알 수 있었다.

따라서 100 m 이내의 짧은 거리에서 54 Mbps 이하의 전송속도를 갖는 통신에 있어서 OFDM 방식이 적합하다고 하겠으며 무선 환경에서 채널을 모델링하였다.

참 고 문 헌

[1] 전파연구소, “5GHz 대역 주파수 이용 기술 워크샵 자료", 2001. 10. 5.

[2] 박현식, “무선 LAN 시장 및 시스템 기술에 대한 연구", 호서대, 2001, 12.

[3] IEEE, 802.11a Part 11, “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specification : High speed physical layer in the 5 GHz Band", 1999.

[4] Kenichi Taura, Masahiro Tsujishita, Masuyuki Takeda, Hiroki Kato, Masayuki Ishida, and Yoshinobu Ishida, “A Digital Audio Broardcasting (DAB) Receiver", *IEEE Trans on Consumer Electronics*, Vol. 42, pp.322-326, Aug. 1996.

[5] R. W. Chang, “Synthesis of band-limited orthogonal signals for multi-channel data

transmission." *Bell system Tech. Journal* Vol. 45, pp.1775-1796, Dec,. 1996.
[6] R. Van Nee & R.Prasad, *OFDM for wireless multimedia communication*, Artech House, 2000.
[7] John G. Proakis, *Digital Communication*, 4th ed. McGraw-Hill, 2001.
[8] Jakes W.C. *Microwave Mobile Communication*, New York, NY, John Wiley and Sons, 1974.
[9] Samuel C. Yang (김남수 역), "CDMA 이동 통신 공학", 대영사, 1999.
[10] A.C.McCormick, "A Comparison of 컨벌루셔널 and Walsh Coding in OFDM Wireless LAN Systems", *IEEE Trans. Communication*, pp.166-169, 2000.
[11] 김관욱, "알기 쉬운 CDMA 이동 통신", 도서출판 광명, 2001.
[12] Jose M. Hernando, F. Perez Fontan, *Introduction to Mobile Communication Engineering*, *Artech House Publishers*, 1999.

한 경 수 (韓慶洙)

1973년 2월 : 한국항공대학교 전 자공학과 (공학사)
1999년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1999년 3월~현재 : 호서대학교 전기공학부 정보통신공학과 박사과정
1977년 8월~1994년 3월 : LG 전자 (LG 정보통신) 부장
1995년 10월~2000년 2월 : 청호컴넷 상무
2000년 3월~현재 : 텔레마스 사장(CEO)
관심분야 : 전자 교환 장치, 무선 LAN, 광전송 장치

윤 희 상(尹熙相)

1975년 2월: 한국항공대학교 통신공학과 (공학사)
1980년 2월 : 동국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1988년 2월 : 동국대학교 대학원 전자공학과 공학박사
1987년 3월~1988년 2월 : Montana State University 객원교수
2001년 3월~2002년 2월: Colorado State University 객원교수
1981년 3월~현재: 호서대학교 전기공학부 정보통신공학과 교수
관심분야 : 무선이동통신, Ultra Sonic