

Long/Short 훈련심볼을 이용한 채널추정에 의한 IEEE 802.11a

무선 LAN 시스템의 성능개선

곽재민*, 조성언**, 서정욱***, 임기택**, 최광호***, 조성준*

*한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

**순천대학교 정보통신공학과

***전자부품연구원 시스템 IC 연구센터

Performance Improvement of IEEE 802.11a WLAN System by Channel

Estimation Using Long/Short Training Symbol

Jae-Min Kwak*, Sung-Eon Cho**, Jeong-Wook Seo***, Ki-Taek Lim**, Kwang-Ho Choi*, Sung-Joon* Cho

* Dept. of Inform. & Telecomm. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.

** Dept. of Computer & Comm. Eng., Suncheon National Univ.

*** System IC Research Center, Korea Electronics Technology Institute

요 약

본 논문에서는 IEEE802.11a의 규격에 따라 OFDM 무선 LAN 모델과 프레임 포맷을 구성하여 시뮬레이션에 의해 BER 성능을 분석하고 수정된 채널 예측 알고리즘을 적용하여 채널예측성능이 개선됨을 보인다. 실내 무선채널로서는 AWGN과 TDL 모델을 적용한 지연확산채널을 고려한다. 우선 AWGN 환경에서 규격에 제시된 전송속도 및 부호율에 따른 OFDM 무선 LAN 시스템의 성능을 분석하고, 다음으로 실내무선 채널 환경에서 채널추정이 불완전한 경우에 대한 성능을 분석한다. 기존의 채널추정방식으로서 프리앰블 내의 2개의 Long 훈련심볼을 이용하여 채널을 추정하는 경우에 대한 성능을 분석하고, 이를 수정하여 Long 훈련심볼 뿐만 아니라 전체 10개의 Short 훈련심볼 중 8개의 훈련심볼들을 채널추정에 부가적으로 사용하는 방식을 채용한 경우의 성능을 분석하여 기존의 방식과 비교한다. 시뮬레이션 결과에 대한 분석으로부터 수정된 채널추정방식을 적용하는 경우, 잡음을 억제하는 효과가 높아지므로 채널추정오차를 감소시켜서 성능이 개선됨을 확인하였다.

1. 서 론

최근 정보화 사회가 가속화됨에 따라 무선 채널을 통한 고속 및 양질의 음성, 데이터, 영상을 동시에 수용할 수 있는 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 급속히 확대되어가고 있다 [1]. 특히, 인터넷을 기반으로 한 새로운 서비스에 대한 통신 수요는 날이 증대되어, 유선에 의한 인터넷 접속 증가는 물론 셀룰라 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 기반 통신망에 접속시키는 수단으로 무선 LAN에 대한 관심이 고조되고 있다 [2].

무선 LAN(Wireless LAN)은 오피스, 상가, 가정 등과 같이 일정 공간 또는 건물로 한정된 옥내 또는 옥외 환경에서 유선 케이블 대신 무선 주파수 또는 빛을 이용하여 허브에서 각 단말까

지의 네트워크 환경을 구축하는 것을 말하며, 배선이 필요 없고 단말기의 재배치가 용이하고 이동 중에도 통신이 가능하고 빠른 시간 안에 네트워크를 구축이 가능하다는 장점이 있다.

이러한 고속 무선 LAN의 장점으로 인하여 시스템 개발의 필요성이 대두됨에 따라 미국, 유럽 등 선진국에서는 OFDM 전송방식을 채용한 IEEE 802.11a 와 HIPERLAN/2의 기술 표준안을 확정하였다[3],[4].

OFDM 방식을 채택하는 IEEE 802.11a나 HIPERLAN/2와 같은 무선 패킷 전송시스템들에서는 송수신단간의 무선 채널에서 페이딩이 발생하여 송신 신호와 수신신호에는 신호의 포락선과 위상에 변동이 생기게 되므로 수신단에서는 채널 등화를 위한 채널 예측과정이 필요하게 된다. 그러나, 수신기의 이동속도를 고려한 실내무선 채널의 특성을 고려할 때, 패킷 길이는 채널의 시변특성에 비해 매우 짧아서 패킷길이에 대응되는 시

간동안 채널상태가 거의 일정하다고 가정할 수 있다. 즉, 시간적으로 급격하게 변동하는 페이딩 현상이 발생하지 않으므로 채널예측에 대한 문제를 상당히 간단하게 해결할 수 있다[5],[6].

즉, 주로 실내 무선 채널에서 운용되는 IEEE 802.11a 무선 LAN 시스템의 경우, 패킷 길이에 대응되는 시간동안 채널상태가 거의 일정하므로 패킷 구간내의 채널 예측을 위해 Long 훈련심볼을 사용한다. 기존의 통상적인 알고리즘에서는 두개의 Long 훈련 심볼에 대한 평균을 취하여 잡음 레벨을 3dB 정도 낮출 수 있는 채널 예측방법이 알려져 있다[7]. 본 논문에서는 Long 훈련심볼 뿐만 아니라 전체 10개의 Short 훈련심볼 중 8개의 훈련심볼들을 채널추정에 부가적으로 사용하는 기법을 채용하여 기존의 방식에 비하여 얻어지는 성능 개선도를 분석한다.

II. IEEE 802.11a 무선 LAN 시스템

1. 시스템 구성

IEEE 802.11a에는 5.150~5.250 GHz, 5.250~5.350 GHz, 5.725~5.825 GHz의 U-NII 대역을 사용하며 OFDM 전송방식을 이용하여 6Mbps~54Mbps의 전송률을 지원하는 고속 무선 LAN의 물리계층을 규정하고 있다.

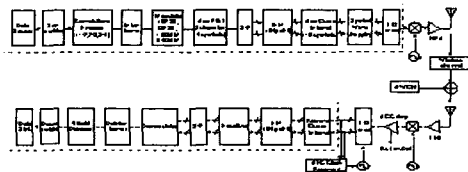


그림 1. IEEE 802.11a 무선 LAN 시스템 모델

그림 1은 IEEE 802.11a 무선 LAN 시스템 모델에 대한 블록도이다. 송신단에서 입력 데이터는 스크램블링되고 길쌈 부호기와 인터리버를 거쳐서 부반송파로 변조되는데, 이때 전송률에 따라서 각기 다른 부호율, 인터리빙 크기 및 변조방식을 갖게 된다. 이러한 전송률에 따른 파라미터는 표 1에 주어지 있다. 그 후, 4개의 파워렛 톤이 데이터 부반송파에 더해져서 총 52개의 부반송파가 IFFT를 통과하여 하나의 OFDM 심볼을 형성하며, 여기에 보호구간을 삽입한 뒤 윈도우를 취하여 전송하게 된다.

표 1. 전송률에 따른 시스템 파라미터

Data rate (Mbps)	Mod.	Coding Rate	Coded bits/subcarrier	Coded bits/OFDM symbol	DATA bits/OFDM symbol
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216

2. 프레임 포맷

그림 2는 OFDM PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 프리앰블, OFDM PLCP 헤더, PSDU(PLCP SDU(Service Data Unit)), Tail 비트, Pad 비트로 구성된 IEEE 802.11a의 PDU(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 BER 성능면에서 우수한 BPSK 변조와 1/2 부호화를 거쳐 전송된다. PLCP 헤더의 SERVICE 필드, PSDU, Tail 비트, Pad 비트는 DATA로 정의되고 RATE 필드에 정의된 데이터 전송률로 전송되며 OFDM 심볼들로 구성된다.

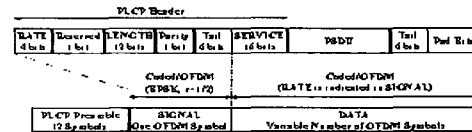


그림 2. IEEE 802.11a 무선 LAN의 PDU 프레임 포맷

그림 3에 나타난 PLCP 프리앰블은 기본적으로 동기화를 위해 사용되며 OFDM 패킷의 앞부분에서 전송된다.

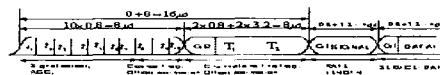


그림 3. IEEE 802.11a 무선 LAN의 PLCP 프리앰블

PLCP 프리앰블 필드를 보면 10개의 짧은 훈련심볼(Short Training Symbol)과 2개의 긴 훈련심볼(Long Training Symbol)로 구성된다. 전체 주기는 16μs이며, 짧은 훈련심볼은 대략적인(coarse)

주파수 오프셋을 추정하는데 사용된다. 긴 훈련심볼은 짧은 훈련심볼에서 수행한 후 남아 있는 미세한 주파수 오프셋을 세밀하게 추정하는 역할과 채널예측의 기능을 수행한다. 긴 훈련 심볼의 주기는 FFT 주기와 같은 $3.2\mu s$ 이며, $1.6\mu s$ 의 보호구간(GI2)이 더해져서 총 $8\mu s$ 가 된다. 긴 훈련심볼의 보호구간은 데이터 OFDM 심볼 보호구간의 2배에 해당하며, IFFT 출력의 마지막 샘플을 순환 확장하여 사용한다.

3. 채널 추정 알고리즘

패킷 전송 시스템에 있어서의 채널예측에 대한 일반적인 접근방법은 하나 혹은 그 이상의 기지의 OFDM 심볼들로 구성된 프리앰블을 사용하는 것이다.

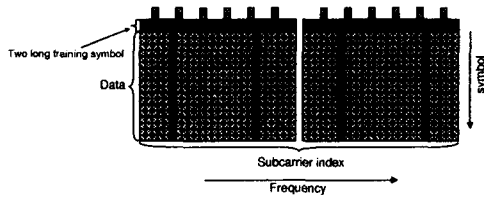


그림 4. IEEE 802.11a 패킷에서의 긴 훈련심볼의 배치

그림 4는 시간과 주파수의 평면을 나타낸다. 수직축은 부반송파의 인덱스를 나타내고 수평축은 OFDM 심볼의 시간적인 인덱스를 나타낸다. 그림에서 패킷은 모든 데이터 값을 미리 알고 있는 10개의 Short 훈련심볼과 2개의 Long 훈련심볼로 시작된다. 앞에서 언급한 바와 같이 Long 훈련심볼은 채널 예측뿐만 아니라 주파수 오프셋 예측을 위해서도 이용될 수 있다[5],[7].

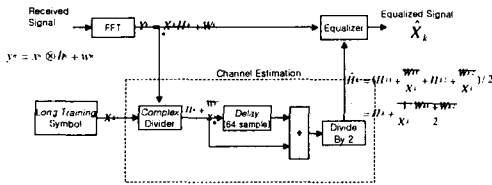


그림 5. 기존의 채널 추정기법

그림 5는 기존의 채널추정 알고리즘에 대한 블록도를 나타낸다. 수신되는 프레임을 FFT 취하여 주파수 영역의 데이터로 변환한 후, 그 중 Long 훈련심볼 두개(128샘플)를 추출해내어 수신단에서 기준신호로 가지고 있는 Long 훈련심볼로 나누어서 잡음이 포함되어 있는 128 샘플의 채널응답계수를 얻어낸다.

수신되는 시간영역의 OFDM 신호를 식 (1)과 같이 표현한다. 수신 신호의 n번째 시간샘플 y_n 과 FFT를 취한후의 수신신호의 i번째 샘플 Y_i 는 다

음과 같은 수식으로 표현 할 수 있다.

$$y_n = x_n \otimes h_n + w_n \quad (1)$$

$$Y_i = X_i H_i + W_i \quad (2)$$

여기서, x_n, h_n, w_n 은 각각 송신신호, 채널, 잡음의 n번째 시간샘플이고 X_i, H_i, W_i 는 각각 송신신호, 채널, 잡음의 n번째 주파수 영역 샘플이다.

FFT 후의 샘플 Y_i 를 수신단의 Long 훈련심볼로 나누어 구해진 샘플에 대한 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{Y_i}{X_i} = (X_i H_i + W_i) / X_i = H_i + W_i / X_i \quad (3)$$

식 (3)에 의해 구해지는 샘플들을 64샘플씩 두개로 구분하여 평균을 취해서 최종적인 채널응답의 예측값을 구하고 등화계수로 이용한다.

최종적으로 구해진 채널 응답예측 계수값에 대한 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{H}_i &= \left(H_{i1} + \frac{W_{i1}}{X_i} + H_{i2} + \frac{W_{i2}}{X_i} \right) / 2 \\ &= H_i + \frac{1}{X_i} \frac{W_{i1} + W_{i2}}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, H_{in} 과 W_{in} 은 각각 n번째 OFDM 심볼구간 (n번째 Long 훈련심볼구간)에서의 채널과 잡음의 i번째 주파수 영역 샘플값이다. 실내무선 채널의 경우 Quasi-stationary 특성을 가진 것으로 가정할 수 있으므로 H_{i1} 과 H_{i2} 는 같다고 가정할 수 있다.



그림 6. 수정된 채널 추정기법

그림 6은 본 논문에서 적용한 수정된 채널추정기법에 대한 블록도이다. 제안한 기법은 기존의 채널추정기법에서처럼 Long 훈련심볼만을 이용하는 것이 아니고 Long 훈련심볼 앞에 수신되는 Short 훈련심볼(총 160샘플)중 후반부의 128샘플을 이용하여 채널 예측과정에 이용하는 방법이다. 즉, 제안한 기법에서 FFT 취하여 구해진 주파수 영역의 데이터에서 채널예측에 이용하는 샘플 수는 총 256 샘플이 되고, 64샘플로 구성된 4개의 훈련 심볼을 구분하여 평균을 취한 후 주파수 영

역에서의 채널응답의 예측 값을 구해내어 등화계수로 이용한다. 이때, 기존의 방법보다 평균을 취해주는 심볼의 수가 두배로 증가되므로 채널예측 계수에 포함되어 있던 잡음성분이 억제되는 효과가 발생한다.

제안한 기법에서 구해지는 예측된 채널응답 계수값에 대한 식은 다음과 같다.

$$\hat{H}_i = \frac{1}{4} \sum_{n=1}^4 \left(H_{in} + \frac{W_{in}}{X_i} \right) = H_i + \frac{1}{X_i} \frac{W_{i1} + W_{i2} + W_{i3} + W_{i4}}{4} \quad (5)$$

III. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 Matlab을 이용하여 구성한 IEEE 802.11a 무선 LAN 에 대한 소프트웨어 시뮬레이터를 이용하여 실제 무선 채널에서의 BER 성능 및 채널 추정성능 등을 BER 곡선과 성좌도 등을 이용하여 구해내었다.

그림 7은 64QAM의 54Mbps 모드로 전송하는 경우에 대한 시뮬레이션을 통해 구해낸 성좌도이다. 구현한 시뮬레이터는 한 패킷에서 보내고자 하는 데이터의 Byte 수(초기치 : 200), 보내고자 하는 전체 패킷 수(초기치 : 100), 전송모드(초기치 : Mode1-6Mbps-BPSK-Code rate 1/2), 정규화된 주파수 오프셋(초기치 : 0), E_b/N_0 (초기치 : 10 dB) 등을 입력하여 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

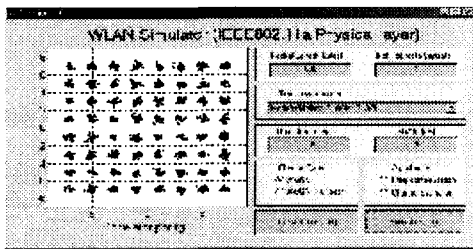


그림 7. Mode 8에서의 성좌점 시뮬레이션 (AWGN, $E_b/N_0=20dB$)

그림 8은 IEEE 802.11a에 정의된 모든 전송모드에 대한 시뮬레이션을 통해 구해낸 BER 성능이다. AWGN 환경에서 요구되는 각 전송 모드에서의 요구 E_b/N_0 는 6Mbps/12Mbps 전송 모드에서는 약 5dB, 9Mbps/18Mbps 전송 모드에서는 약 6.5dB, 24Mbps/36Mbps/48Mbps/54Mbps의 전송 모드에서는 각각 약 8.5dB/10dB/13dB/13.5dB 정도의 E_b/N_0 가 요구됨을 알 수 있다.

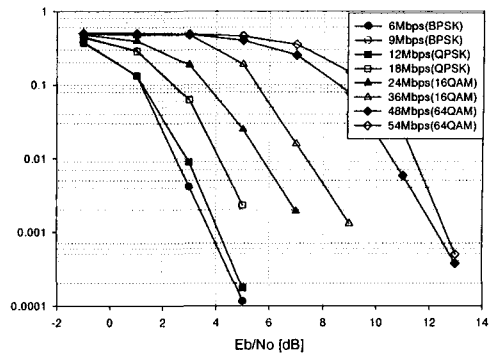


그림 8. AWGN 환경에서 IEEE 802.11a WLAN 시스템의 BER 성능

그림 9는 기존의 채널예측 기법을 이용한 경우와 본 논문에서 적용한 수정된 채널예측기법을 이용한 경우의 채널 예측 결과에 대한 예이다. 수정된 예측기법이 보다 정확하게 이상적인 주파수 응답을 예측하는 것을 확인할 수 있다. [3]에 나타난 Short 훈련심볼의 주파수 영역 샘플 값들 중에 실제 값이 존재하는 위치는 12샘플에 해당하므로 수신부에서 FFT이후에 이용할 수 있는 채널 계수값들도 12샘플에 해당한다. 그림에서도 확인할 수 있듯이 수정된 기법을 이용한 채널 예측에 있어서, 총 64개의 부반송파 중에 12개의 부반송파 인덱스 위치에서만 예측성능이 개선된다.

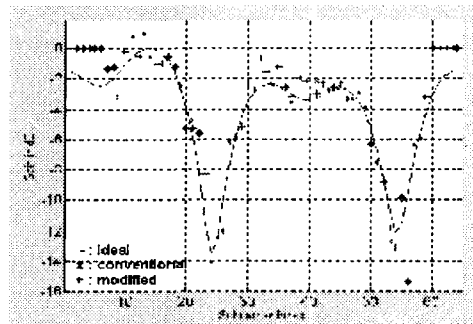


그림 9. 채널의 주파수 응답에 대한 예측결과 ($E_b/N_0=15dB$, rms 지연확산=50ns)

그림 10은 rms 지연확산이 50ns인 실내무선 채널환경에서 기존의 기법과 수정된 기법에 대해서 E_b/N_0 에 따른 MSE 성능에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 이때, 총 100개의 패킷을 송·수신하여 구해낸 채널예측 값들을 이용하였고, 그림 9의 설명에서 언급한 바와 같이 성능개선이 발생하는 12개의 채널 예측 값들에 대해서만 MSE를 구해내었다. 동일한 MSE를 기준으로 비교해본 결과 수정된 기법의 채널예측성능이 기존의 예측 기법보다 약 5dB만큼의 E_b/N_0 를 개선시

킬 수 있었다.

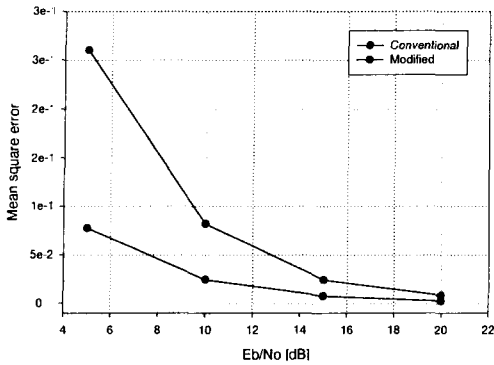


그림 10. 채널 예측기법에 대한 MSE 성능비교 (rms 지연확산 50ns)

IV. 결 론

본 논문에서는 OFDM 방식을 채택하는 IEEE 802.11a 무선 LAN 시스템의 시뮬레이션을 통해서 BER성능을 구해내고, 기존의 채널예측기법을 수정하여 보다 정확한 채널 예측 계수값을 얻어 낼수 있는 기법을 제안하였다. 제안한 방식은 기존의 프레임 포맷을 변경하지 않고서도 단지 Short 훈련심볼을 채널예측을 위한 기준으로 추가시켜 채널 예측시 평균을 취해주는 OFDM 심볼수를 두배로 증가시킴으로써 두개의 Long 훈련 심볼 두개만을 이용하는 기존의 방식에 비해서 예측의 정확도가 개선된 채널예측계수들을 얻어 낼 수 있었다. 성능개선이 발생할 수 있는 12개의 주파수 응답 예측 값들에 대해서 MSE를 분석한 결과, 제안한 기법을 적용한 경우 약 5dB의 E_b/N_0 절감할 수 있었다.

참고문헌

[1] Y. Sakamoto, M. Morimoto, M. Okada, and S. Komaki, "A wireless multimedia communication system using hierarchical modulation," IEICE Trans. Commun., vol. E81-B, no. 12, Dec. 1998.

[2] 이성춘, 주원용, 이미숙, 정한욱, 신기수, "광대역 무선 액세스 현황과 전망," 한국통신학회지, 제 18권 4호, pp. 485-502, 2001. 4.

[3] ISO 8802-11, Wireless Lan Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY)

Specifications, Jan. 1999.

[4] ETSI BRAN, Broadband Radio Access Networks(BRAN) ; High Performance Radio Local Area Network(HIPER-LAN) Type2 ; requirements and architecture for wireless broadband access and interconnection, TR 101 031 v2.2.1, Jan. 1990.

[5] R. V. Nee and R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communication, Artech House, 2000.

[6] R. Prasad, Universal Wireless Personal Communications, Boston - London: Artech, 1998.

[7] J. Heiskala, J. Terry, Ph. D., OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide, SAMS, 2002.