

OFDM 기반 WLAN 수신기에서 효율적인 채널추정 기법에 관한 연구

A Study on the Effective Channel Estimation Method in OFDM Based WLAN

전형구*
(Hyoung-Goo Jeon)

최원철**
(Won-Chul Choi)

이현**
(Hyun Lee)

오현시**
(Hyun-Seo Oh)

요약

본 논문에서는 OFDM 시스템에서 임펄스 신호를 이용한 채널 추정방법을 제안한다. 채널 응답을 추정하기 위해 주파수 영역에서 새로운 프리엠블을 사용하여 시간영역에서 16샘플 간격으로 4개의 구간으로 나누고, 각 구간에서 임펄스 응답이 나오도록 한다. 이 임펄스 신호들은 한 OFDM 심볼동안에 전송한다. 수신단에서, 각 구간별 임펄스 신호를 더하여 평균을 취한다. 평균된 임펄스 응답에서 최대지연 이후 데이터는 잡음이기 때문에 zero padding을 하여 제거하고 FFT를 수행하여 채널 추정 응답을 찾아낸다. 제안된 채널 추정방법을 이용한 WLAN 시스템의 BER성능은 IEEE802.11a에서 사용하는 긴 훈련신호(long preamble)를 이용한 기존의 채널 추정 방법에 비해 약 3dB 성능 향상을 보인다.

Abstract

In this paper, we propose a channel estimation method by impulse signal train in OFDM. In order to estimate the channel response, 4 impulse signals are generated and transmitted during one OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) symbol. The intervals between the impulse signals are all equal in time domain. At the receiver, the impulse response signals are summed and averaged. And then, the averaged impulse response signal is zero padded and fast Fourier transformed to obtain the channel estimation. The BER performance of the proposed method is compared with those of conventional estimation method using the long training sequence in fast fading environments. The simulation results show that the proposed method improves by 3 dB in terms of Eb/No, compared with the conventional method.

Key Words : Channel-estimation, OFDM, MMSE, LS-method, Zero-padding

1. 서론

최근 OFDM은 무선 이동통신 채널에서 다중경로 페이딩 환경에서 고속의 데이터를 전송하는데 효과적으로 사용되어 왔다. OFDM방식에서는 전송될 데이터를 N개의 블록으로 병렬 처리하고, N개

의 직교하는 부반송파(subcarrier)로 변조시켜 동시에 전송함으로써 본래에 전송될 데이터 주기보다 N배의 긴 심볼 주기를 가지게 된다. 그렇기 때문에 OFDM은 다중경로 페이딩 환경에 강인하다 [1]. OFDM 시스템에서 수신단의 성능은 채널 추정의 정확도에 많이 의존하기 때문에 채널 추정은 매우

* 주저자 : 동의대학교, 정보통신공학과 교수

** 공저자 : ETRI, 텔레매틱스·USN 연구단, USN 통신연구팀

† 논문접수일 : 2005년 1월 10일

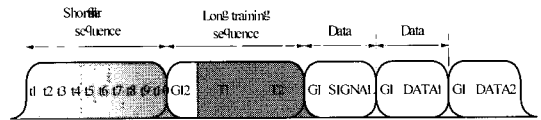
중요하다. 채널 추정방법은 시간 영역과 주파수 영역의 추정 방법이 연구되어 왔다. 최근에 DFT(Discrete Fourier Transform) 기반의 zero 삽입을 이용한 채널 추정 방법은 AWGN에 의한 영향을 효과적으로 줄일 수 있다[2]. 이 제안된 방법은 임펄스 응답의 최대 지연시간을 이용한 방법이다. 두 가지의 DFT기반의 채널 추정 방법은 참고문헌[3]에서 제안되었다. 하나는 MMSE 방법이고 다른 하나는 LS 방법이다. MMSE 방법은 구현이 매우 복잡하며 잡음 및 채널의 정보를 미리 알고 있지 못하면 사용할 수 없다. 반면에 LS 방법은 구현관점에서 낮은 복잡도를 갖고 좋은 성능을 발휘 할 수 있다.

채널 추정의 정확도를 증가하기 위해 본 논문에서 임펄스 신호에 의한 채널 추정 방법을 제안한다. OFDM에서 임펄스 신호는 모든 N개의 부 반송파에 모두 '1'인 신호를 넣고 inverse FFT(fast Fourier transform)을 취함으로써 쉽게 생성할 수 있다. 만약 한 개의 OFDM 심볼로 임펄스 신호를 전송된다면, 채널 추정은 매우 간단하게 될 것이다. 제안된 방법은 4개의 동일한 간격의 임펄스 신호를 생성하고 이것을 한 개의 OFDM 심볼 기간 동안 전송한다. 이 임펄스 신호 열 생성과 채널 추정방법은 III장에서 자세히 설명할 것이다. 이 논문에서는 다음과 같이 구성되어 있다. II장은 긴 훈련신호를 이용한 기본적인 채널 추정방법을 소개하고, III장은 임펄스 신호열을 이용한 제안된 채널 추정방법을 설명한다. IV장에서 기존의 채널 추정방법과 제안된 채널 추정방법의 성능 비교를 설명한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 주파수 영역에서 채널 추정 방법

채널 추정은 OFDM 시스템에서 coherent 검파기에서 필요하다. IEEE802.11a와 같은 버스트 데이터를 전송하는 모뎀의 경우에는 데이터 전송의 초기 단계에서 긴 훈련신호를 사용하여 채널을 추정한다. 긴 훈련신호를 이용한 방법은 한 OFDM 심볼 전체 길이에 해당하는 긴 훈련심볼을 전송하고 수신단에서는 이를 이용하여 전체 부채널의 채널을 추정하여 채널 보상 계수를 구한다. <그림 1>은 긴

훈련 신호를 사용하는 IEEE802.11a 물리계층의 프레임구조를 보여준다.



<그림 1> IEEE802.11a 물리계층의 프레임 구조
<Fig. 1> Frame structure of IEEE 802.11a physical layer

긴 훈련신호는 수신단에서 알고 있는 신호 x_n 이다. 채널을 통해 알고 있는 신호를 통과했을 때, 수신된 신호 y_n 은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서 x_n 은 송신된 신호, h_n 은 채널의 임펄스 응답, w_n 은 AWGN, *는 컨볼루션을 나타낸다. 이 식을 주파수 영역에서 나타내면 식 (2)와 같이 주어진다.

$$Y_k = X_k H_k + W_k, \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (2)$$

식 (2)에서 추정된 채널 응답은 식 (3)과 같이 추정할 수 있다.

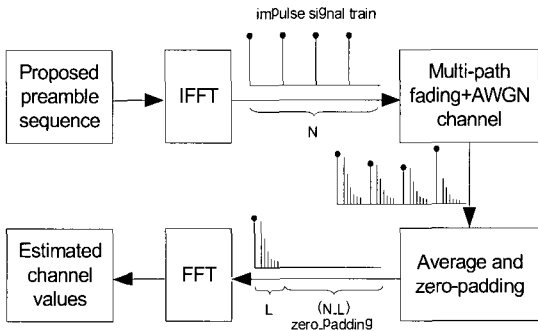
$$\hat{H}_k = Y_k / X_k + W_k / X_k, \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (3)$$

식 (3)에서 추정된 \hat{H}_k 은 채널상에서 존재는 잡음이 없을 때 추정된 채널 보상 값들이 된다. 이와 같은 방법으로 채널 추정을 하면 잡음에 의해서 주파수 전 대역에 AWGN이 추가 되어 AWGN이 증가할수록 채널 추정값의 오차는 커지게 된다.

III. 임펄스 신호열을 이용한 제안된 채널 추정방법

채널의 임펄스 응답의 길이는 한 개의 OFDM 심

블의 길이에 비해 매우 짧다. 그렇기 때문에 한 개의 OFDM 심볼에는 한 개보다 많은 채널 임펄스 응답이 존재할 수 있다. 본 논문에서는 시간영역에서 임펄스 신호 열을 이용하여 채널추정을 하며, IEEE802.11a OFDM 모델을 파라미터를 고려했다. 즉, 최대 임펄스 응답의 길이 $L=16$, 부반송파의 길이 $N=64$. <그림 2>는 제안된 채널 추정방법의 블록도의 개념을 보여준다.



<그림 2> 임펄스열을 이용한 제안된 채널추정 방법
 <Fig. 2> The proposed channel estimation method

제안된 방법에서 한 개의 OFDM 심볼의 길이를 동일하게 4구간으로 나눴고, 각 구간에서 임펄스 열이 나오도록 주파수 영역에서 프리엠블 신호를 설계하였다. <그림 2>에서 보듯이 4개의 임펄스 신호 전체는 한개의 OFDM 심볼에 존재한다. 주파수 영역에서 제안된 프리엠블 신호는 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$new_preamble[n] = \begin{cases} 4, & \text{if } n=4k, k=0,1,2,\dots,15 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

시간영역 신호는 제안된 프리엠블 신호 동안에 IFFT를 수행함으로써 얻을 수 있고 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$TS(n) = IFFT(new_preamble[n]) \\ = \delta(n) + \delta(n-L) + \delta(n-2L) + \delta(n-3L), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (5)$$

여기서 $\delta(n)$ 는 $n=0$ 일 때 '1'을 갖는 단일 임펄

스 함수이다. $TS(n)$ 신호는 <그림 2>에서 보였듯이 임펄스 신호열이다. 이것은 한 개의 OFDM 심볼동안에 채널은 시간적으로 변하지 않는다고 가정한다. 제안된 프리엠블은 주파수 영역에서 식 (4)와 같이 표현되며, 시간영역에서는 <그림 2>에 보인 것처럼 크기가 1이고 간격이 16개 샘플인 펄스가 4개 나오기 때문에 높은 PAPR(peak-to-average power ration) 값을 가지지 않는다. OFDM 수신기에서, 4개의 수신된 임펄스 신호는 이상적인 임펄스 채널 응답으로 간주될 수 있다. 그 임펄스들은 한 개의 수신된 임펄스 신호로 평균이 내어지며 식 (6)과 같이 표현되어진다.

$$h_e(n) = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 \{h(n+iL) + w(n+iL)\}, \quad 0 \leq n \leq L-1 \quad (6)$$

여기서 $h(n)$ 은 임펄스 신호 열에 의한 채널 응답이고 $w(n)$ 은 AWGN이다. 그렇기 때문에, AWGN에 의해 발생하는 채널 추정 에러는 수신된 임펄스 응답 신호의 평균을 뺀으로써 줄일 수 있다. 최대 임펄스 응답의 이후의 (N-L) 부분은 AWGN에 의해서 생성된 신호이기 때문에 이 (N-L)부분에 zero를 삽입함으로써 AWGN에 의한 영향을 줄일 수 있다. zero가 삽입된 임펄스 응답신호 $h^*(n)$ 은 식 (7)과 같이 표시될 수 있다.

$$h^*(n) = \begin{cases} h_a(n), & 0 \leq n \leq L-1 \\ 0, & L \leq n \leq N-1 \end{cases} \quad (7)$$

zero를 삽입한 임펄스 응답 $h^*(n)$ 동안에 FFT를 수행함으로써 채널을 추정할 수 있다. 식 (8)은 주파수 영역에서 추정된 채널을 보여준다.

$$H(k) = FFT\{h^*(k)\}, \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (8)$$

실내 환경에서 채널 응답의 길이는 실외환경의 길이보다 더 짧다. 채널 응답 길이에 따라서 zero 삽입 길이는 결정될 수 있다. 채널 길이는 결정하

는 방법은 주 관심사항 밖의 일이다. 본 논문에서는 실내 무선 환경에서 최대지연시간 $L=5$ 이며, 실외 무선 환경에서 $L=16$ 으로 가정한다.

IV. 시뮬레이션

제안된 방법의 성능평가를 위해 3가지의 다중 경로를 갖는 채널 조건 하에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행했다. 실내 환경에서 도플러 주파수는 0 Hz로 설정하였다. 그리고 최대 지연은 4샘플로 가정하였다. 실외환경에서 도플러 주파수는 200Hz로 설정하였고 최대 지연은 최악의 경우를 고려하여 16샘플로 가정하였다. 사용된 채널은 3-ray에 0, 2, 4 샘플에서 감쇄가 각각 0, 10, 20 dB인 다중경로 채널을 사용하였다. 시뮬레이션에 사용한 조건은 표 1에 설명하였다. MMSE방법은 이 시뮬레이션에 포함하지 않았다. 왜냐하면 그 방법은 미리 채널 추정에 관한 정보가 필요하기 때문이다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

<Table 1> Simulation parameters

Item	Value
Fading channel	Multi-path Rayleigh fading channel (3ray)
Mean power	3-ray (0, 10, 20) dB
Arrival time delay	3-ray (0, 2, 4) samples
Modulation	QPSK
Doppler Frequency	0 Hz (indoor), 200 Hz(outdoor)
Loop	10000

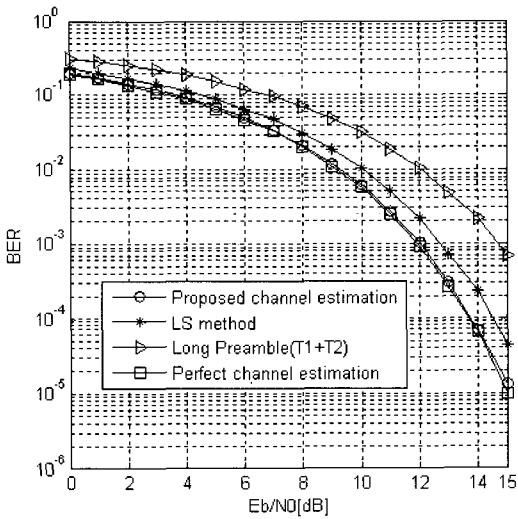
사용한 시뮬레이션에서 OFDM 시스템은 완벽한 동기를 이루었다고 가정하였다. 제안된 방법은 긴 훈련신호 방법 및 LS 방법과 비교하여 BER 성능을 측정하였다. <그림 3>은 3 가지의 다중 경로를 갖고 최대지연 시간 $L=5$ 샘플이며 도플러 주파수가 0Hz인 실내 환경에서 제안된 방법과 긴 훈련신호를 이용한 방법 및 LS 방법을 적용한 OFDM 시스템에서 얻어진 BER 곡선이다. 시뮬레이션에서

사용된 긴 훈련신호를 이용한 방법은 II장에서 설명했듯이 IEEE802.11a 무선 모뎀에서 초기동기 및 채널추정을 하기 위해서 데이터 심볼이 나오기 전에 삽입되는 주기가 각각 16, 64 샘플인 두 종류의 훈련심볼을 이용하는 방법이다. 이 방법은 주파수 영역에서 알고 있는 신호를 보내기 때문에 수신된 신호로 무선채널을 추정할 수 있다. LS 방법은 시간영역에서 출력된 임펄스 응답을 다시 주파수 영역으로 변경함으로써 무선채널을 추정할 수 있는 방법이다.

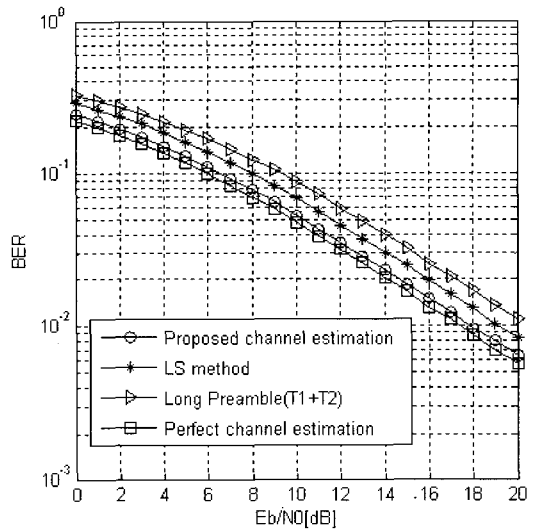
제안된 방법은 긴 훈련 신호를 사용하는 방법에 비해 E_b/N_0 관점에서 약 2 dB 향상 되었고, LS 방법을 이용한 방법에 비해 약 0.4 dB 향상되었다. 실내 환경은 채널응답 길이가 매우 짧기 때문에 zero 삽입 길이는 더욱 길어진다. 이 경우, 임펄스 응답의 평균으로 생기는 이득은 BER 성능에 많은 영향을 미치지 못한다. <그림 4>는 3가지의 다중 경로를 갖고 도플러 주파수가 200 Hz인 고속 이동체 실외 환경에서 제안된 방법 및 긴 훈련신호 방법 및 LS 방법을 적용한 OFDM시스템에서 얻어진 BER 곡선이다. 고속 이동체 환경에서 채널은 시간에 빠르게 변화한다. 그렇기 때문에, 두 개의 훈련 심볼(T_1, T_2)을 사용하는 긴 훈련신호 방법은 시간적으로 길게 채널을 추정함으로써 비 효과적이다. 그러나 제안된 방법은 한 개의 훈련 심볼만 사용하기 때문에 고속 이동체 환경에서 매우 효과적이다. 최악의 경우를 고려해서 최대 지연 $L=16$ 으로 가정했기 때문에, 이 경우 4개의 임펄스 응답의 평균에 의한 효과는 크게 될 것이다. 예상했던 대로 제안된 방법은 긴 훈련 신호 방법과 비교해서 E_b/N_0 관점에서 약 3 dB, LS 방법과 비교해서 약 1.5 dB 향상을 보였다.

V. 결 론

OFDM 수신단의 성능은 채널 추정의 정확성에 많이 의존을 한다. 본 논문에서는 OFDM에서 임펄스 신호 열을 이용하여 채널을 추정하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 BER 성능측정을 위해



<그림 3> 실내환경에서 3개의 다중경로를 가질 때 BER 곡선
<Fig. 3> BER curves in 3 path indoor environment



<그림 4> 실외환경에서 3개의 다중경로를 가질 때 BER 곡선
<Fig. 4> BER curves in 3 path outdoor environment

실내환경과 실외환경에서 긴 훈련신호를 이용한 방법과 LS 방법을 비교하여 측정하였다. 시뮬레이션 결과는 실외환경에서 제안된 방법이 긴 훈련신호를 이용한 방법에 비해 E_b/N_0 관점에서 약 3 dB 성능 향상이 되었고, LS 방법에 비해 약 1.5dB 성능 향상을 보였다. OFDM 시스템이 고속 이동체 환경일 때와 심볼 길이가 긴 WiBro 같은 경우에는 채널 추정을 빠르게 추정해야만 된다. 제안된 방법은 빠른 채널 추정을 보장하고 채널 응답을 추정할 때 복잡한 계산이 필요하지 않다. 제안된 방법은 느린 페이딩 채널보다는 고속의 빠른 페이딩 채널에서 더욱 효과적이다.

참고 문헌

[1] J. Terry and J. Heiskala, *OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide*, Sams Pub

lishing, 2002

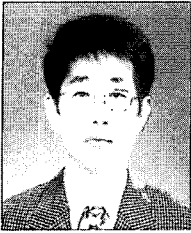
[2] A. M Saleh and R. A. Valenzuela, "A Statistical Model for Indoor Multipath Propagation", *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, vol. 5, no. 2, pp. 128-137, Feb. 1987.

[3] O. Edfors, M. Sandell, J.-J. Van De Beek, et al., "OFDM Channel Estimation by Singular Value Decomposition," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp. 931-939, July 1998.

[4] J.-J. Van De Beek, O. Edfors, et al., "On Channel Estimation in OFDM Systems," *Proc. IEEE VTC' 95*, pp. 815-819, 1995.

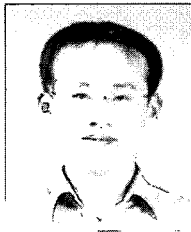
[5] H. Minn and V. K. Bhargava, "DFT-based Channel Estimation in 2D-Pilot-Symbol-Aided OFDM Wireless Systems," *Proc. IEEE VTC' 01*, pp. 810-814, 2001.

〈저자소개〉



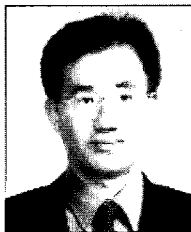
전 형 구 (Hyoung Goo Jeon)

1987년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
1992년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
2000년 8월 : 연세대학교 전자공학과 공학박사
1987년 2월~2001년 2월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구소 선임연구원
2001년 3월~현재 : 동의대학교 정보통신과 조교수
관심분야 : MIMO, 무선랜, CDMA 변복조, 텔레매틱스통신기술



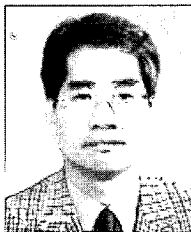
최 원 철 (Won Chul Choi)

2002년 2월 : 충북대학교 전자공학과 학사
2004년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 석사
2004년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 USN 통신연구팀 연구원.
관심 분야 : 텔레매틱스 통신 기술, 초고속 무선 패킷 변복조 및 4세대 이동통신기술, 디지털 이동통신, VLSI 설계



이 현 (Hyun Lee)

1986년 2월 : 연세대학교 물리학과 학사
2000년 충북대학교 정보통신공학과 석사
2001년 2월~현재 충북대학교 정보통신공학과 박사과정
1991년~1994년 대우통신 OA 개발단 주임연구원
1994년~현재 한국전자통신연구원 USN 통신연구팀 선임연구원.
관심분야 : 디지털 이동통신, ITS 무선패킷통신, 텔레매틱스 통신 기술



오 현 서 (Hyun Seo Oh)

1982년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 학사
1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
1998년 2월 : 연세대학교 전자공학과 공학박사
1982년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 USN 통신 연구팀장
관심분야 : 디지털 이동통신, CDMA 변복조, ITS 무선패킷통신, 초고속 무선 패킷 변복조 및 4세대 이동통신기술, 텔레매틱스 통신기술