

OFDM 시스템에서의 Sequential Least Squares 채널 추정 방식

고은석, 박병준, 천현수, 강창언, 홍대식
연세대학교 전기·컴퓨터 공학과 정보통신 연구실
전화 : (02) 361-2865 / 팩스 : (02) 312-4887

Sequential Least Square Channel Estimation in OFDM Systems

Eunseok Ko, Byungjoon Park, Hyunsoo Cheon, Changeon Kang and Daesik Hong
Information and Telecommunication Lab., Dept. of Electrical and Computer Engin., Yonsei Univ
E-mail : silver@prodigy.yonsei.ac.kr

Abstract

The use of multi-level modulation scheme in the wireless LAN(Local Area Networks) system requires an accurate channel estimation. In this paper, we present sequential least squares(LS) channel estimation scheme based on decision-directed channel tracking scheme. The proposed scheme improves the performance of the conventional LS estimator for wireless LAN. In addition, its structure is suitable for the high-rate wireless LAN. Simulation results show that the proposed scheme achieves about 1dB Packet Error Rate(PER) gain compared to the LS scheme in a frequency selective channel.

I. 서론

최근 들어, 다중 반송파 변조 방식(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 주파수 선택적 페이딩과 협대역 간섭에 강한 특성으로 인해 IEEE 802.11a 와 HIPERLAN-II 와 같은 고속의 무선 데이터 통신에 널리 쓰이고 있다[1]. 이러한 고속의 데이터 전송을 위해서는 QAM (Quadrature Amplitude

이 논문은 2000년도 두뇌한국21사업 핵심분야에 의하여 지원되었음.

Modulation) 과 같은 다단계 변조 방식이 OFDM의 부 반송파 변조 방식으로 쓰이게 된다. 그러나 다중경로 무선 채널의 경우 채널 왜곡 현상이 심하다. 그러므로 고속의 데이터 전송을 하는 OFDM 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 정확한 채널 추정을 통한 채널 등화가 필요하다.

일반적으로 OFDM 기반의 무선 LAN 시스템의 경우 LS (Least Squares) 채널 추정 방법이 사용된다. 하지만 LS 채널 추정 방법은 채널에 첨가되는 잡음에 상당히 민감한 특성을 가진다[2]. 그러한 부가 잡음에 대한 영향을 감소시키기 위해서 Ormondroyds[3]는 낮은 신호대 잡음비(SNR)에서 잡음의 영향을 줄이기 위해 추정된 채널 응답을 저역 통과 여파기를 통과시키는 방법을 제안하였다. 하지만 이 방법의 경우에도 LS 채널 추정 방법과 마찬가지로 신호대 잡음비가 높거나 채널 지연이 클 때에는 추정 성능이 저하된다.

본 논문에서는 LS 채널 추정 방법의 단점을 보완하기 위해서 결정 궤환을 기반으로 한 Sequential Least Squares 채널 추정 방법을 제안한다. 이 제안된 방법은 채널 추정에 있어서 부가 잡음의 영향을 효과적으로 감소시킬 뿐 아니라 시스템의 복잡도 또한 낮다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 무선 LAN 시스템과 OFDM 시스템을 기술하고 3장에서는 결정 궤환을 이용한 Sequential LS 채널 추정 방법을 제안한다. 4장에서는 제안된 채널 추정 방법을 적용한 시스템의 컴퓨터 모의 실험 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 제안된 알고리즘을 요약하고 결론을 맺는다.

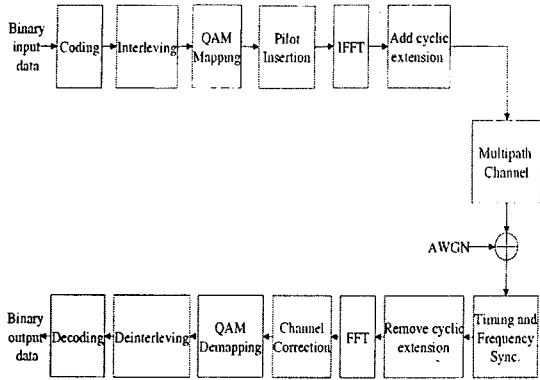


그림 1. OFDM 기반의 무선 LAN 블록도

표 1. 무선 LAN의 기본적인 파라미터

Data rate	6.9,12,18,24,36,48,54 Mbps
Modulation	BPSK,QPSK, 16-QAM,64-QAM
Coding rate	1/2,2/3,3/4
OFDM Symbol duration	4 μs
Guard Interval	800ns
Number of Subcarriers	52
Number of Pilots	4
Subcarrier spacing	312.5 kHz
Channel spacing	20 MHz

II. 무선 LAN 시스템

그림 1은 OFDM을 기반으로 한 무선 LAN 시스템의 블록도이다. 그리고 무선 LAN에서 사용되는 기본적인 파라미터는 표 1에 나타내었다. 이것은 IEEE 802.11a 무선 LAN 물리 계층 표준안에 따른 것이다. 이 표준안에 따르면, 무선 LAN은 5GHz 대역에서 52개의 부반송파를 가지고 동작하며, 데이터 전송률은 6Mbps에서 54Mbps까지를 지원한다.

매 패킷마다 동기 획득과 채널 추정을 위해 사용되는 Preamble 구조는 그림 2에 보였다. 특히, Long Preamble이 채널 추정을 위해 사용된다.

OFDM은 부반송파 간에 서로 직교성을 가지는 전송 방식이다. 이러한 부반송파 간의 직교성으로 인해, 수신된 신호 Y 는 다음과 같이 표현된다.

$$Y = HX + N. \quad (1)$$

여기서 X 는 주파수 영역에서의 전송된 OFDM 신호를 나타내고 H 는 주파수 영역에서의 채널 응답을 나타낸다. 그리고 N 은 복소 백색 부가 가우시안 잡음(AWGN)을 나타낸다.

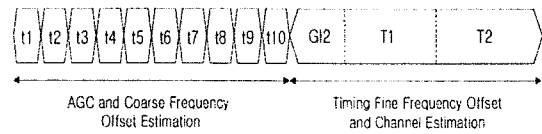


그림 2. 무선 LAN OFDM Preamble 구조

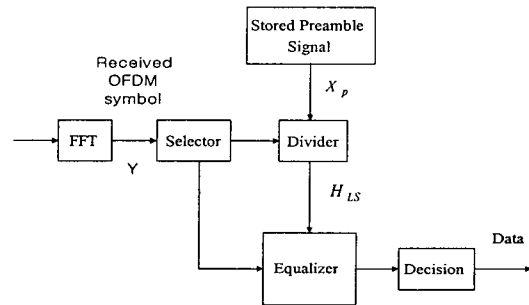


그림 3. LS 채널 추정 구조

III. 제안된 채널 추정 방법

기본적으로 무선 LAN 시스템에서는 Preamble 신호가 채널 추정을 위해 사용된다. 앞서 언급하였듯이, 다단계 변조기법을 사용할 경우 시스템의 성능을 높이기 위해서는 정확한 채널 추정이 반드시 필요하다. 채널 추정에 앞서, 동기가 완벽하게 맞추어 졌다고 가정하자.

A. Least Squares (LS) 채널 추정 방법

LS 채널 추정 구조는 그림 3에 나타내었다[4]. 그림 3에서, 추정된 채널 H_{LS} 은 다음의 의해 구해진다.

$$H_{LS} = \frac{Y}{X_P} = \frac{HX_P + N}{X_P} = H + \frac{N}{X_P} \quad (2)$$

여기서, X_P 는 Preamble 신호, N 은 가우시안 잡음 신호를 나타낸다. 식 (2)에 보듯이 LS 채널 추정 방법이 간단하지만, AWGN에 영향을 많이 받는다. 즉, 신호대 잡음비(SNR)가 높은 경우에는 채널 추정의 정확도가 높지만, 신호대 잡음비가 낮은 경우에는 채널 추정의 정확도가 크게 떨어지게 된다. 이러한 LS 채널 추정의 단점을 보완하기 위해서 다른 채널 추정 방법들이 제안되었다[5].

B. 결정 궤환을 이용한 Sequential LS 채널 추정 방법

제안된 채널 추정 방법의 블록도는 그림 4에 나타내었다. 추정된 채널을 시간축으로 평균을 취하기 위해서, 제안된 채널 추정 방법은 채널의 연속적인 정보를 필요로 한다. 그 연속적인 채널 정보는 결정된 신호를

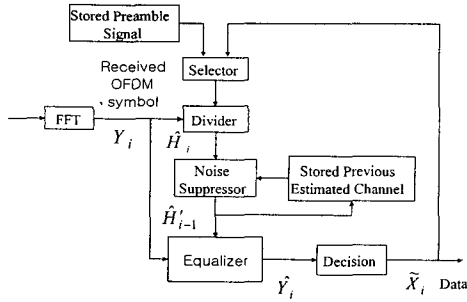


그림 4. 제안된 채널 추정 방법의 블록도

계환시켜 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{H}_i = \frac{Y_i}{\hat{X}_i}, \quad i=0, 1, \dots, k \quad (3)$$

이다. 여기서 i 는 OFDM 심볼의 수이고 Y_i 는 i 번째 수신된 OFDM 신호이며 \hat{X}_i 는 결정을 한 뒤 계환된 i 번째 신호를 나타낸다. 그리고 \hat{H}_i 는 i 번째 수신 신호에 대해 새롭게 추정된 채널을 나타낸다. 식 (1)으로부터, 식 (3)은

$$\hat{H}_i = \frac{Y_i}{\hat{X}_i} = \frac{HX_i + N_i}{\hat{X}_i} \quad (4)$$

이다. 이 때, $i=0$ 경우는 Preamble 신호로 채널을 추정한다. 그리고 $i \neq 0$ 인 경우에는 다음의 과정에 의해 채널을 추정하게 된다. 먼저, 앞서 추정된 채널을 가지고 새롭게 수신된 신호를 등화한다. 등화된 신호, \hat{Y}_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{Y}_i = \frac{Y_i}{\hat{H}_{i-1}'} = \frac{HX_i + N_i}{\hat{H}_{i-1}'} \quad (5)$$

다음으로 등화된 신호, \hat{Y}_i 에 결정을 내린다. 이렇게 결정을 내림으로써 잡음의 영향을 줄일 수 있다. i 번째 수신 신호의 결정이 완벽했다고 가정하면, 새롭게 추정된 채널은,

$$\hat{H}_i = H + \frac{N_i}{X_i} \quad (6)$$

으로 표현된다. 결국, 식 (6)에서 보여 주듯이 새롭게 추정된 채널은 알지 못하는 파라미터 H , 즉 채널 응답과 가우시안 잡음의 합으로 나타난다. 새롭게 추정된 채널과 Sequential LS 추정기를 사용하여[6], 다음 수신 신호의 등화를 위해 사용될 최종적인 추정된 채널은 다음과 같이 구해진다. 즉,

$$\hat{H}_i' = \frac{i}{i+1} \hat{H}_{i-1}' + \frac{1}{i+1} \hat{H}_i \quad (7)$$

으로 추정된 채널을 갱신하게 된다. 이런 방식으로 채널을 추정하게 되면, i 번째 수신 신호에서 추정된 채

표 2. 모의 실험 주요 파라미터

Data rate	24 Mbps
Modulation	16-QAM
Coding rate	1/2
OFDM Symbol duration	4 μ s
Guard Interval	800ns
Number of Subcarriers	52
Number of Pilots	4
Packet length	100Byte
Channel delay spread	100ns

널은 다음과 같이 나타난다.

$$\hat{H}_i' \approx H + \frac{1}{i+1} \left(\frac{N_0}{X_0} + \frac{N_1}{X_1} + \dots + \frac{N_i}{X_i} \right). \quad (8)$$

식 (8)에서 나타난 것처럼, 제안된 추정기는 잡음의 표본 평균을 취한 형태이다. 그러므로 더 많은 OFDM 신호가 수신될수록 잡음 성분은 더욱 줄어들 것이고 결국은 가우시안 잡음의 평균으로 접근할 것이다. 따라서 제안된 방법이 기존의 LS 채널 추정 방법보다 더 나은 성능을 보일 것이다.

IV. 모의 실험 결과

실험에 사용한 주요 파라미터는 표 2에 나타내었다. 실험에 사용한 채널 모델은 지수적으로 감소하는 채널 지연을 가지는 다중 경로 페이딩 채널이다[7].

그림 5는 한 패킷 안에서 수신 신호가 증가함에 따라서 채널 추정 평균 자승 오차(Mean Square Error)의 변화를 보여준다. LS 채널 추정의 경우, Preamble만을 가지고 한 번만 추정을 하게 되므로 한 패킷 안에서 평균 자승 오차는 일정하게 된다. 반면에 제안된 채널 추정 방법은 수신 신호가 늘어날수록 평균 자승 오차가 줄어들음을 볼 수 있다. 즉, 수신 신호의 수가 증가할수록 채널 추정의 정확도가 높아진다는 것을 볼 수 있다. 이 실험은 신호대 잡음비(SNR)가 10dB이고 16-QAM 변조 방식을 사용하여 행해졌다.

그림 6은 LS 채널 추정 방법과 제안된 채널 추정 방법과의 신호대 잡음비에 대한 평균 자승 오차의 변화를 보여준다. 그림 6에서, 괄호 안의 수는 수신된 신호의 수를 나타내고, 제안된 방법의 곡선은 10번째, 30번째, 50번째, 228번째 수신 신호에서의 평균 자승 오차를 나타낸 것이다. 이 그림은 제안된 채널 추정 방법이 수신 신호가 증가함에 따라서 평균 자승 오차가 감소한다는 것을 보여준다. IEEE 802.11a에 따르면, 데이터 전송률이 36Mbps이고 16-QAM, 3/4 코드율을 사용하였을 때, 최대 전송 가능한 OFDM 심볼의 수는 228개이다. 이 경우 제안된 채널 추정 방법을 사용하였을 때 그림 6에처럼 228번째 수신 신호에서 가장 큰 이득을 얻을 것이다.

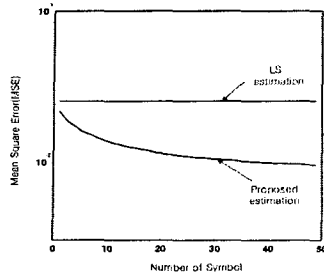


그림 5. 한 패킷 내에서 OFDM 심볼 수에 따른 평균 자승 오차의 변화 (16QAM, SNR=10dB)

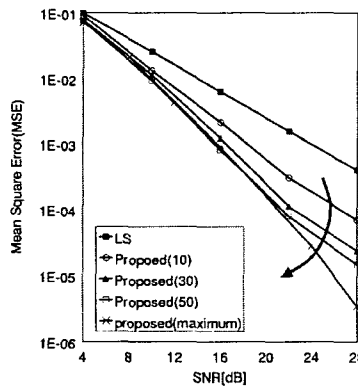


그림 6. LS 채널 추정기와 제안된 추정기의 평균 자승 오차 성능 비교

그림 7은 채널 추정 방법에 따른 패킷 오차 확률(Packet Error Rate)을 보여준다. 모의 실험은 16-QAM OFDM 시스템에 대하여 시행하였으며 패킷의 길이는 100 Byte이고 시스템은 IEEE 802.11a의 규격을 따라서 구성하였다. 또한 모의 실험은 주파수 선택적 페이딩 환경으로 채널 지연이 100ns일 경우에 대하여 시행하였다. 실험 결과 제안된 방법이 기존의 방법에 비해 패킷 오차 확률 성능이 개선되었음을 알 수 있다.

따라서, 제안된 채널 추정 방법은 LS 방법에 비해 주파수 선택적 페이딩 환경에서 평균 자승 오차 성능 뿐만 아니라 패킷 오차 확률 성능을 개선함을 모의 실험을 통해서 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 OFDM을 기반으로 하는 무선 LAN 시스템에서 사용할 수 있는 적응 채널 추정 방법을 제시하였다. 기존의 채널 추정 방법인 LS 채널 방법의 단점으로 보완하고자 결정 회환을 이용한 Sequential LS 채널 추정 방법을 제안하였다. 이 제안된 방법은

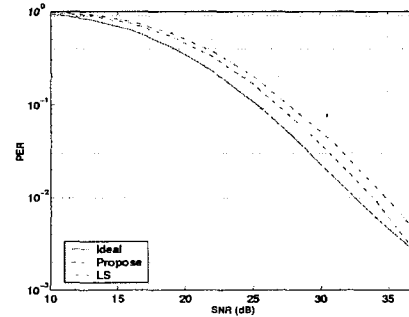


그림 7. 주파수 선택적 페이딩 환경에서의 100byte 패킷의 패킷 오차 확률 성능 (delay spread=100ns)

수신된 신호의 수가 증가할수록 잡음의 영향을 효과적으로 줄일 수 있다. 그리고 모의 실험을 통해 제안된 방법의 성능이 기존의 방법에 비해 평균 자승 오차 뿐만 아니라 패킷 오차 확률 성능이 우수함을 보여 주었다. 제안된 방법은 LS 방법에 비해 패킷 오차 확률 성능의 1dB 개선을 준다. 게다가 고속의 무선 LAN 시스템에 적합한 간단한 구조를 가지고 있다.

참고문헌

- [1] John A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come", IEEE Communication Mag, vol. 28, pp. 17-25, Mar. 1990.
- [2] J.J. van de Beek, O. Edfors, M. Sandell, S.K. Wilson and P.O. Borjesson, "On channel estimation in OFDM systems", Vehicular Technology Conference, pp. 815-819, 1995.
- [3] R. Ormondroyds and E. Al-Susa, "A high efficiency channel estimation and equalization strategy for a broadband COFDM system", ISSSE, pp. 471-475, 1998.
- [4] O. Edfors, M. Sandell, J.J. van de Beek, S.K. Wilson and P.O. Borjesson, "OFDM channel estimation by singular value decomposition", IEEE Trans. on Comm., vol. 46, pp. 931-939, July 1998.
- [5] T. Onizawa, M. Mizoguchi, T. Sakata and M. Morikura, "A simple adaptive channel estimation scheme for OFDM systems", Vehicular Technology Conference, pp. 279-283, 1999.
- [6] S.M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory. Prentice Hall, 1993.
- [7] J.G. Proakis, Digital Communication. McGraw Hill, 1995.