

MIMO OFDM 기반 무선랜 시스템에서의 새로운 프리앰블 구조

준회원 김지형*, 정회원 홍대식*, 종신회원 강창언*

A New Preamble Structure for a MIMO OFDM-based WLAN System

Ji-hyung Kim* *Associate Member*,
Dae-sik Hong* *Regular Member*, Chang-eon Kang* *A Lifelong Member*

요약

본 논문에서는 MIMO OFDM 기반 무선랜 시스템에서 다중 채널 추정을 위한 새로운 프리앰블 구조를 제안한다. 또한 기존의 OFDM 기반 무선랜 시스템인 IEEE 802.11a 시스템과의 호환성 문제와 더불어 프리앰블에 따르는 오버헤드(overhead)를 줄이는 방안을 함께 고려한다. 모의실험을 통해 제안한 프리앰블 구조가 적은 오버헤드를 가지면서도 좋은 채널 추정 성능을 얻을 수 있다.

Key Words : preamble design, MIMO OFDM-based WLAN system, channel estimation, backward compatibility

ABSTRACT

In this paper, we propose a new preamble structure for channel estimation in a MIMO OFDM-based WLAN System. Moreover, both the backward compatibility with IEEE 802.11a system and low overhead are considered for the preamble design. Simulation results show that the proposed preamble has low overhead and is obtained the good performance gain for channel estimation.

1. 서론

인터넷 사용의 폭발적인 증가와 함께 멀티미디어 정보에 대한 수요가 끊임없이 증가하면서 차세대 무선랜에 대한 논의가 진행되고 있다. 차세대 무선랜이 지향하는 목표는 고속의 데이터 전송, 주어진 처리량(throughput)에서의 반경의 증가, 그리고 간섭에 대한 강인함(robustness) 증가로 요약된다. 이를 위하여 차세대 무선랜 시스템은 기존의 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 기반 무선랜 규격인 IEEE 802.11a 시스템 [1]과의 호환성을 유지하며 MIMO(multi-input multi-output) 기술을 접목시키는 방향으로 흘러가고 있다. 따라서 OFDM 기반 무선랜

시스템에 다중 안테나를 사용하는 방식에 대하여 연구하는 것은 향후 차세대 무선랜 시장에 효과적으로 대응할 수 있는 해결책이 된다.

한편, 다중 안테나 사용에 있어 가장 근본적인 문제들 중 하나인 채널 추정을 위한 training sequence 혹은 프리앰블 설계에 대한 연구들은 최근에 활발히 진행되어왔다 [2]-[5]. 그러나 이러한 연구에서는 가드밴드를 고려하지 않고 시간상에서의 채널 추정에 의해 복잡도가 높아서 구현이 어렵다 [2]. 또한 전송 안테나 개수의 증가에 따라서 오버헤드가 매우 커지거나 성능 저하를 가져오기 때문에 실제로 MIMO OFDM 기반 무선랜 시스템에 바로 적용하기가 어렵다 [3]-[5].

* 연세대학교 전기전자공학과 정보통신 연구실 (savant21@itl.yonsei.ac.kr)
논문번호 : KICS2004-06-070, 접수일자 : 2004년 6월 30일

본 논문에서는 802.11a 시스템과의 호환성을 유지 하면서 다중 전송 안테나에 따른 채널 추정을 위한 프리앰블 구조를 제안한다. 제안한 프리앰블 구조는 주파수상에서 채널 추정을 하는 방식으로 낮은 복잡도를 가지며 채널 추정에 따른 오버헤드를 줄이는 방안도 함께 고려한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 802.11a 시스템과의 호환성 유지 및 다중 채널 추정을 위해 필요한 기본적인 프리앰블 설계 방식에 대해 설명한다. 다음 III장에서는 II장에서의 내용을 바탕으로 효율적인 프리앰블 구조를 제안한다. IV장에서는 컴퓨터 모의실험 결과를 바탕으로 성능을 검증하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

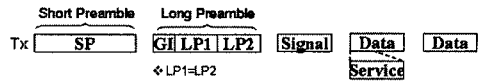
II. 호환성 및 다중 채널 추정을 위한 프리앰블 구조

MIMO OFDM 기반 무선랜 시스템은 기존의 OFDM 기반 무선랜 시스템과 호환성을 위해 다음과 같은 조건을 가진다 [6].

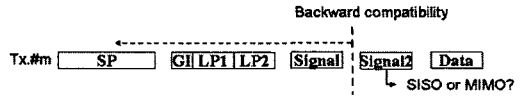
1. 임의의 고차 MIMO 시스템의 수신단에서는 더 적은 수의 안테나를 사용하는 MIMO 혹은 SISO (single input single output) 시스템에서 보내는 신호를 수신할 수 있다. 여기서 SISO 시스템은 802.11a 시스템을 가리킨다.
2. 고차 MIMO 시스템의 전송단에서는 더 적은 수의 안테나를 사용하는 MIMO 혹은 SISO 시스템의 수신단에 적합한 신호를 전송할 수 있다.
3. MIMO 시스템의 전송단에서 MIMO 수신단을 고려한 신호를 보낼 경우 SISO 시스템의 수신단에서는 이를 수신할 수 없고, 이 경우 SISO 시스템은 전송된 신호를 감지하고 전송하는 동안 대기한다.

이를 위해서는 프리앰블을 검출하고 헤더 부분을 해석해서 상황에 맞도록 교환 (switching) 하거나 대기해야 한다. 따라서 서로 호환성을 가지기 위해서는 802.11a 시스템의 프리앰블은 MIMO 시스템에서도 그대로 유지되어야 한다.

결과적으로 그림 1에서 보듯이 MIMO 시스템의 프리앰블은 802.11a 시스템의 프리앰블을 유지한 채 데이터 앞 부분분에 MIMO 시스템의 정보를 실어주는 Signal2를 첨가하여 설계될 수 있다. SISO 시스템은 데이터 앞부분의 Service 부분을 통하여 Signal2와 비교함으로써 전송 시스템을 구분하게 된다.



(a) IEEE 802.11a 프레임 구조



(b) IEEE 802.11a 시스템과의 호환성을 위한 MIMO OFDM 시스템의 프레임 구조

그림 1. 무선랜 시스템의 프레임 구조

한편, 802.11a 시스템에서 채널 추정은 패킷의 선두에 전송되는 프리앰블을 이용한다. 이 프리앰블은 크게 두 가지 종류로 구성되는데, 두 심벌 길이를 갖는 short preamble은 시간 동기화 및 대략적 주파수 동기를 잡는데 사용되며 동일한 길이의 long preamble은 미세 주파수 동기화 및 채널 추정을 위한 것이다. 그러나 사실상 시간 동기화 및 주파수 동기는 short preamble 기간 동안에 이루어져야 long preamble을 통해 채널을 정확히 추정할 수 있다. 그러나 다중 전송 안테나를 사용하는 경우 수신 신호에는 전송 신호들이 중첩되어 들어오고 결과적으로 두 개의 같은 심벌로 구성된 long preamble만으로는 다중 전송 안테나에 의해 형성되는 채널을 추정하기 불가능하다. 따라서 위에서 설명한 802.11a 시스템과의 호환성을 위한 기본적인 프리앰블 구조를 바탕으로 새로운 프리앰블 설계가 필요하다.

다중 채널을 추정하기 위해서는 최소 MSE (mean square error) 관점에서 서로 다른 전송 안테나간 프리앰블은 직교하거나 혹은 최소 채널 길이만큼 위상 이동 직교성을 가져야한다 [2]. 이를 위해서 [7]에서는 시간 상으로 지연을 두어 long preamble을 반복함으로써 직교하는 프리앰블을 구성하였다. 그림 2는 전송 안테나 2개에 대한 프리앰블 구조이다. 이는 다중 채널을 SISO 시스템의 채널 추정과 같은 방식으로 쉽게 구할 수 있고 상대적으로 이상적인 성능을 얻는다. 그러나 필요한 프리앰블의 길이가 전송 안테나 개수만큼 증가하여 큰 오버헤드를 지니게 됨으로써 매우 비효율적이다. 앞에서 언급한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 간단하

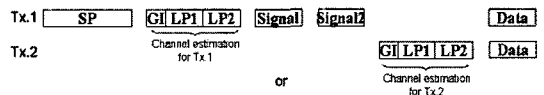


그림 2. 전송 안테나 2개를 사용하는 MIMO OFDM 시스템에서 다중 채널 추정을 위한 프리앰블 구조 [7]

고 좋은 성능을 유지하면서 오버헤드가 작은 효율적인 프리앰블을 제안한다. 본 논문에서 제안한 프리앰블 설계 방식은 주파수상에서의 채널 추정을 위한 방식이다. 시간상에서의 채널 추정 방식은 복잡도가 높고 수신단에서 FFT 과정을 두 번 해야 하기 때문에 실제 processing time으로 인해 구현이 어렵다.

III. 제안한 프리앰블 구조

제안한 프리앰블의 기본 구조는 그림 3.(a)와 같다. 이는 호환성을 위해 802.11a 시스템의 프리앰블을 유지한 채 데이터가 들어가는 앞부분에 파일럿 심벌을 보내어 이를 이용하여 채널 추정을 한다. 여기서 오버헤드를 줄이고 성능을 향상시키는 방편으로 데이터 앞부분에 들어가는 파일럿 심벌뿐만 아니라 802.11a의 long preamble을 이용한다. 다시 말해, 데이터 앞부분에 들어가는 파일럿 심벌은 802.11a의 long preamble의 심벌과 같은 신호의 심벌로 구성된 뒤에 직교하도록 부호를 설정한다. 채널 추정 시에는 추가된 파일럿 심벌과 long preamble의 두 개의 같은 심벌을 이용해 두 번의 채널 추정 후 평균을 취함으로써 채널 추정의 정확도를 높인다.

1. 전송 안테나 개수가 2일 경우

위에서 설명한 프리앰블 구조의 예로써 전송 안테나 개수가 2개일 경우에 대하여 그림 3.(b)에 보이고 있다. 802.11a 시스템의 long preamble 뒤에 하나의 파일럿 심벌을 추가하여 직교하도록 부호를 설정한다. 이에 따른 k 번째 부반송파에서의 수신 신호는 다음과 같다.

$$Y_{1,k} = X_k(H_k^1 + H_k^2) + W_{1,k}, \quad (1)$$

$$Y_{2,k} = X_k(H_k^1 + H_k^2) + W_{2,k}, \quad (2)$$

$$Y_{3,k} = X_k(H_k^1 - H_k^2) + W_{3,k}, \quad (3)$$

여기서 $Y_{i,k}$ 는 i 번째 시간의 수신신호로써 $i=1, 2$ 는 long preamble 심벌의 구간, 그리고 나머지는 뒤에 오는 파일럿 심벌의 구간이다. X_k 는 long preamble에 해당하는 심벌의 k 번째 부반송파의 파일럿, H_k^m 은 m 번째 전송 안테나에 따른 채널, 그리고 $W_{i,k}$ 는 평균이 0이고 분산이 σ_w^2 인 AWGN (additive white Gaussian noise)이다. 식 (1)과 (3)에 의해 추정된 채널은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{H}_k^1 &= \frac{1}{2X_k} (Y_{1,k} + Y_{3,k}), \\ \hat{H}_k^2 &= \frac{1}{2X_k} (Y_{1,k} - Y_{3,k}). \end{aligned} \quad (4)$$

동일한 방식으로 식 (2), (3)에 의해 추정된 채널을 각각 \hat{H}_k^1, \hat{H}_k^2 이라고 할 때 이들의 평균값을 취함으로써 채널 추정의 정확도를 높일 수 있다. 따라서 추정된 채널은 다음과 같다.

$$\hat{H}_k^1 = \frac{1}{2} (\hat{H}_k^1 + \bar{H}_k^1), \quad \hat{H}_k^2 = \frac{1}{2} (\hat{H}_k^2 + \bar{H}_k^2). \quad (5)$$

2. 전송 안테나 개수가 3 이상일 경우

한편, 전송 안테나 개수가 증가함에 따라 데이터 앞부분에 들어가는 파일럿 심벌도 증가하기 때문에 오버헤드를 좀더 줄이기 위해 block-type 파일럿 심벌과 comb-type 파일럿 심벌을 병행한다. 여기서 comb-type 파일럿 심벌의 파일럿 부반송파 간격은 2로 고정한다. 이로 인해 $2k$ 혹은 $2k+1$ 번째 부반송파의 채널값만을 파일럿을 통해 구할 수 있고 그 사이의 채널값들은 보간을 이용하여 추정한다. 파일럿 부반송파의 간격을 2로 고정하는 이유는 frequency-selectivity가 크지 않은 무선랜 환경에서 보간을 통한 채널값의 오차가 작아서 보간을 통한 잡음 감소 효과와 더불어 채널 추정에 따른 성능 하락을 방지할 수 있기 때문이다 [8]. 따라서 파일럿 간격을 2로 고정시킨 comb-type 파일럿 심벌을 함께 사용함으로써 오버헤드를 줄이고 채널 추정의 정확도도 유지할 수 있다.

이에 대한 예로써, 전송 안테나의 수가 4개일 경우

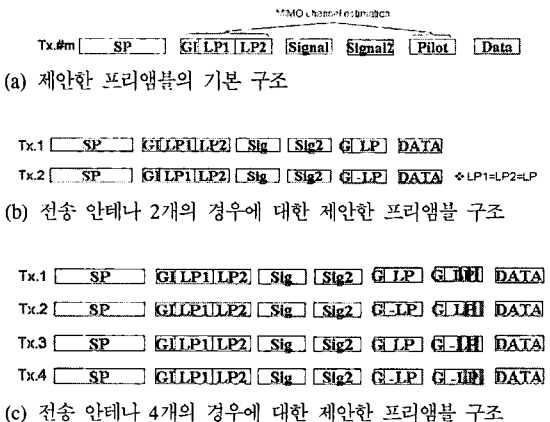


그림 3. MIMO OFDM 기반 무선랜 시스템에서의 다중 채널 추정을 위한 제안한 프리앰블 구조

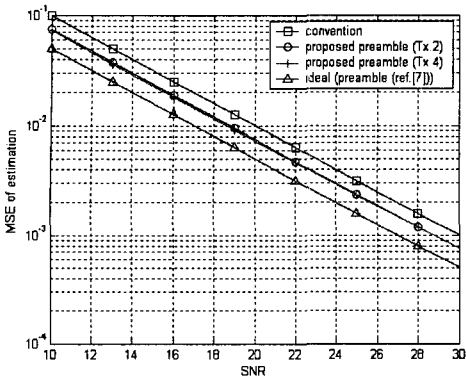


그림 4. 각 프리엠블 구조에 따른 SNR 대 채널 추정의 MSE

에서의 제안한 프리엠블 구조를 그림 3.(c)에서 보여 주고 있다. 이에 따른 수신단에서의 신호는 다음과 같다.

$$Y_{1,k} = X_k (H_k^1 + H_k^2 + H_k^3 + H_k^4) + W_{1,k}, \quad (6)$$

$$Y_{2,k} = X_k (H_k^1 + H_k^2 + H_k^3 + H_k^4) + W_{2,k}, \quad (7)$$

$$Y_{3,k} = X_k (H_k^1 - H_k^2 + H_k^3 - H_k^4) + W_{3,k}, \quad (8)$$

$$Y_{4,2j} = X_{2j} (H_{2j}^1 - H_{2j}^3) + W_{4,2j}, \quad (9)$$

$$Y_{4,2j+1} = X_{2j+1} (H_{2j+1}^2 - H_{2j+1}^4) + W_{4,2j+1}, \quad (10)$$

여기서 $0 \leq k \leq K-1$, $0 \leq j \leq \frac{K}{2} - 2$, 그리고 K 는 OFDM 심벌의 부반송파의 개수이다. 식 (6), (8), (9), 그리고 식 (7), (8), (9)에 의해 결과적으로 추정된 채널은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{H}_{2j}^1 &= \frac{1}{2X_{2j}} \left(\frac{Y_{1,2j} + Y_{3,2j}}{2} + Y_{4,2j} \right) \\ &\quad + \frac{1}{2X_{2j}} \left(\frac{Y_{2,2j} + Y_{3,2j}}{2} + Y_{4,2j} \right) \\ \hat{H}_{2j}^3 &= \frac{1}{2X_{2j}} \left(\frac{Y_{1,2j} + Y_{3,2j}}{2} - Y_{4,2j} \right) \\ &\quad + \frac{1}{2X_{2j}} \left(\frac{Y_{2,2j} + Y_{3,2j}}{2} - Y_{4,2j} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

동일한 방식으로 식 (6)-(8), (10)에 의해 \hat{H}_{2j+1}^2 , \hat{H}_{2j+1}^4 을 추정한다. 마지막으로 \hat{H}_{2j+1}^1 , \hat{H}_{2j}^2 , \hat{H}_{2j+1}^3 , \hat{H}_{2j}^4 는 선형 보간을 통해 얻는다. 선형적인 방법을 사용하지 않고 고차원의 보간 방법을 사용하면 보다 정확하게 근사화 할 수 있지만 이 경우 복잡도가 증가하는 단점이 생긴다.

IV. 모의실험 결과 및 분석

실험에서는 2, 4개의 전송 안테나를 이용하는 802.11a 시스템을 사용하였다. 실험에 사용된 채널은 Hiperlan 2 채널-A [9]로서 각 안테나마다 서로 독립적이다.

그림 4는 전송 안테나 개수가 2개와 4개일 경우에 대하여 각 프리엠블에 따른 SNR 대 채널 추정의 MSE를 보여주고 있다. 그림에서 convention의 경우는 [3]에 나와 있는 방식으로 전송 안테나 개수만큼 파일럿 심벌을 직교하게 보내어 주파수상에서 채널 추정을 하는 가장 일반적인 방법이다. [7]의 프리엠블은 앞에서 설명한대로 실질적으로 성능 측면에서는 이상적인 경우로 볼 수 있지만 오버헤드가 매우 큰 단점을 지니고 있다. 802.11a 시스템과 비교하여 전송 안테나가 2개, 4개일 경우에 각각 2, 6개의 추가 파일럿 심벌이 필요하다. 이에 반해 제안한 프리엠블은 전송 안테나가 2개, 4개일 경우에 대하여 각각 1, 2개의 추가 파일럿 심벌이 필요하다. 상대적으로 매우 적은 파일럿 심벌을 사용하면서 적당한 성능을 유지함을 알 수 있다. Comb-type 파일럿 심벌을 함께 사용하는 전송 안테나 수가 4개일 경우에서도 보간에 의한 채널 추정 오차와 더불어 잡음 감소 효과로 인하여 오버헤드를 줄이면서도 성능을 유지함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 MIMO OFDM 기반 무선랜 시스템에서 기존의 OFDM 기반 무선랜 시스템인 IEEE 802.11a 시스템과 호환성을 유지하면서 다중 채널 추정을 위한 프리엠블 구조를 제안하였다. 제안한 프리엠블은 주파수상에서의 채널 추정을 통해 낮은 복잡도를 가지며 기존의 802.11a 프리엠블을 효율적으로 이용함으로써 채널 추정에 따른 오버헤드를 줄일 뿐만 아니라 채널 추정의 정확도를 높인다. 또한 전송 안테나 개수가 늘어남에 따라 파일럿 부반송파의 간격이 2인 comb-type 파일럿 심벌과 block-type 파일럿 심벌을 함께 사용함으로써 추가되는 파일럿 심벌의 수를 줄일 수 있고 채널 추정에 따른 성능 하락을 방지한다. 채널 추정 성능에 대한 모의실험을 통해 제안한 프리엠블 구조는 다중 안테나를 사용하는 차세대 OFDM 기반 무선랜 시스템에 적합함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] IEEE 802.11, Supplement to Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems- LAN/MAN Specific Requirements- Part 11: Wireless MAC and PHY Specifications: High Speed Physical Layer in the 5 GHz Band, P802.11a, Dec.1999.

[2] I. Barhumi, G. Leus, M. Moonen, "Optimal training design for MIMO OFDM systems in mobile wireless channels", *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol.51, Issue.6, pp.1615--1624, June 2003.

[3] S. Sun, I. Wiemer, C.K. Ho, T.T Tjhung, "Training sequence assisted channel estimation for MIMO OFDM", *WCNC 2003. 2003 IEEE*, Vol.1, pp.38--43, Mar. 2003.

[4] Yahong Zhao, Weihua Li, Weiling Wu, "An efficient channel estimation method for OFDM systems with multiple transmit antennas", *ICII 2001*, Vol.2, pp.335--339, Nov. 2001.

[5] S. Ben Slimane, "Channel estimation for ofdm based systems with transmitter diversity", *Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference on*, Vol.1, pp.397--402, Oct. 2002.

[6] IEEE 802.11-03/714r0

[7] A. van Zelst, T.C.W. Schenk, "Implementation of a MIMO OFDM-based wireless LAN system", *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol.52, Issue.2, pp.483--494, Feb. 2004.

[8] Jihyung Kim, Jeongho Park, and Daesik Hong, "Performance Analysis of Channel Estimation in OFDM Systems", *VTC'F04*, Sept. 2004.

[9] ETSI Normalization Committee, "Channel Models for HIPERLAN/2 in Different Indoor Scenarios", ETSI EP BRAN 3ERI085B, 1998.

김 지 형 (Ji-hyung Kim)	준회원
2000년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업	
2002년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 석사	
2002년~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정	
<관심분야> 통신 신호처리, OFDM 시스템	
홍 대 식(Dae-sik Hong)	정회원
한국통신학회 논문지 제 21권, 제 8호 참조	
강 창 언 (Chang-eon Kang)	중신회원
한국통신학회 논문지 제 23권, 제 2호 참조	