

IEEE 802.11a 기반의 MIMO-OFDM 시스템을 위한 채널 추정 기법

안치준, 안재민

충남대학교 정보통신공학과

The channel estimation scheme for the IEEE 802.11a based MIMO-OFDM systems

Chijun Ahn, Jaemin Ahn

Dept. of Information Communication Engineering, Chungnam National University

cjahn@seolhwa.cnu.ac.kr, jmahn@mission.cnu.ac.kr

요약

MIMO-OFDM 시스템은 다중 안테나 송신을 통하여 시스템의 capacity를 극대화 하지만, 이를 위해서는 정확한 채널계수 값의 추정을 필요로 한다. 본 논문에서는 MIMO-OFDM 시스템을 위한 채널계수 추정기법으로서 Space-Time Coding(STC)에 기반을 둔 방식을 제안한다. 제안된 채널계수 추정기법을 위해 필요한 심볼 구조, frame 구조를 IEEE 802.11a 시스템에 적용하였다. VBLAST 기법이 적용된 IEEE 802.11a 기반의 4 by 4 MIMO-OFDM 시스템에 대한 모의 실험을 통하여 제안된 방법의 성능과 기존의 방법의 성능을 coded BER를 통해 비교 분석해 보았다.

I. 서론

멀티미디어 서비스가 본격화 되기 시작하면서 많은 양의 정보전달의 필요성이 요구되고 있다. 이에 시스템의 capacity를 늘리기 위한 방법으로 Multiple-Input Multiple-Output(MIMO) 시스템이 제안되었다. MIMO 시스템은 다중 안테나를 사용해 diversity 이득을 얻음으로써 시스템의 capacity를 극대화 하고 있다. 또한, MIMO 시스템을 위한 VBLAST 기법으로 인해 data rate가 늘어남에 따라 MIMO 시스템의 필요성이 더욱 커지게 되었다.

MIMO 시스템과 더불어 Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) 시스템은 각 subcarrier의 직교성을 이용한 병렬형태의 data 전송 시스템으로 주파수의 이용 효율이 높고, 다중 경로 환경에 강한 특성을 가지고 있다. 특히, 다중 경로에 의한 채널 보상기의 구조가 간단하기 때문에 고속의 data 전송을 요구하는 시스템에서 사용되고 있다.

이와 같은 특징을 가지고 있는 두 시스템의 결합한 형태인 MIMO-OFDM 시스템은 고속의 이동 환경에서 채널의 capacity를 극대화 하고, data rate를 올리기 위한 시스템으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 하지만, 이 시스템에서는 커다란 장점과 함께 지켜져야 할 중요한 요소들이 있다. 우선, VBLAST 기법이 채널의 diversity 이득을 극대화 하고, data rate를 올리기 위해서는 정확한 채널계수 값이 필요하다. 수신 신호에서 각 송신 신호를 분리해 내고 각 송신 안테나의 송신 신호에 의한 interference를 최소화 하기 위해서는 정확한 채널계수를 알아야 하기 때문이다. 이처럼 MIMO-OFDM 시스템에서는 채널계수에 의한 영향이 매우 민감하기 때문에, 정확한 채널계수를 추정해야 함을 확인할 수 있다.

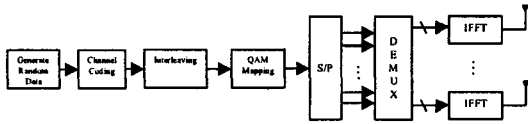
기존의 방식 중 Ye Li에 의해 제안되었던 방법(3)은 optimum training sequence를 이용한 채널계수 추정기법이다. 이 방법은 각 송신 안테나에서 서로 orthogonal한 training 심볼을 전송해 주면, 수신기에서 각 송신 안테나의 orthogonal한 training 심볼들을 분리하고 각 송신 안테나의 training 심볼에 담겨 있는 채널계수를 구한다. 하지만, 이 방법은 IEEE 802.11a 시스템이 가지는 training 심볼의 구조에 적합하지 않다. 이 시스템은 52개의 sequence로 구성된 training 심볼을 사용한다. 52개의 sequence는 IDFT 연산을 했을 때 모든 시간 영역에서 값을 가지기 때문이다. Ye Li의 방법에 의해 추정된 채널계수 값은 이웃 안테나의 training 심볼에 의한 interantenna interference를 가지게 된다. 따라서, 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방법으로 Space-Time Block Coding(STBC) 방법과 Space-Frequency Block Coding(SFBC) 방법의 새로운 채널 추정 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 II장에서는 제안된 방법의 성능 검증을 위해 사용한 송수신기 구조와 채널 모델을 설명하고, III장에서는 제안된 채널 추정 방법을 위한 심볼 구조 및 frame 구조를 제안한다. IV장에서는 모의 실험을 통해 제안된 방법의 성능을 분석해 보고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 기본 시스템 구조

제안된 채널 추정 기법의 성능을 검증하기 위해 사용된 MIMO-OFDM 시스템은 참고문헌 [1]을 통해 확인할 수 있다. 본 논문에서는 이 시스템의 송신기 구조와 채널 모델을 간략히 살펴보기로 한다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구사업(R01-2001-00349)의 지원으로 수행하였음.

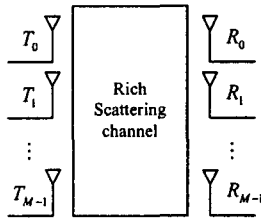


<그림 1> MIMO-OFDM 시스템의 송신기 구조

<그림 1>은 다중 안테나를 가지는 MIMO-OFDM 시스템의 송신기 구조이다. i 번째 송신 안테나를 통해 송신되는 신호는 식(1)과 같다.

$$S_i(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} d_i[k] e^{j2\pi kt} \quad (1)$$

여기에서 N 은 FFT size 를, $d_i[k]$ 는 i 번째 안테나의 k 번째 subcarrier 에서 송신되는 data 를 나타낸다.

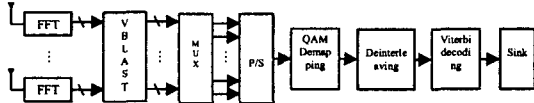


<그림 2> MIMO channel

<그림 2>는 M 개의 안테나를 가지는 송수신기의 채널 모델로서, L 개의 다중 경로를 가지는 i 번째 송신 안테나와 m 번째 수신 안테나 사이의 채널 이득은 식(2)와 같다.

$$h_{im}(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l(i,m) \delta(t - \tau_l(i,m)) \quad (2)$$

$\alpha_l(\cdot)$ 은 l 번째 경로가 가지는 이득 값을, τ_l 는 l 번째 경로가 가지는 시간 지연을 나타낸다.



<그림 3> MIMO-OFDM 시스템의 수신기 구조

<그림 3>은 수신기 구조이다. <그림 2>와 같은 채널을 거쳐 m 번째 안테나에 수신된 신호는 식(3)과 같다.

$$r_m(t) = \sum_{i=0}^{M-1} s_i(t) * h_{im}(t) + w_m(t) \quad (3)$$

이렇게 수신된 신호는 FFT 와 VBLAST detection 을 거치 고 난 후 식(4)와 같은 신호를 얻을 수 있다.

$$Detection(R) = \sum_{m=0}^{M-1} |H_{i,m}[k]|^2 d_i[k] \quad (4)$$

여기에서 $H_{i,m}[k]$ 는 i 번째 송신 안테나와 m 번째 수신 안테나 사이의 k 번째 subcarrier 가 갖는 채널 이득의 주파수 응답을 나타낸다.

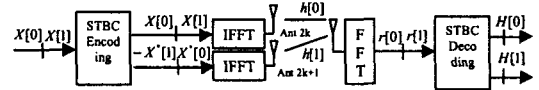
혼합되어있는 각 송신안테나의 신호들은 채널계수 값에 의한 VBLAST detector 의 동작을 통해 분리된다. 또한, 식(4)에서 보는 바와 같이 수신기에서 얻어지는 각 송신 안테나

신호들의 diversity 이득은 채널계수 값에 의해 결정된다. 따라서, diversity 이득과 각 송신 안테나의 신호들의 분리를 위해서는 정확한 채널계수를 알아야 한다.

III. 채널계수 추정 기법

3.1 STBC 기법

이 기법은 두 개의 연속된 심볼 시간 동안 채널계수가 변하지 않는다는 가정을 전제로 한다. 따라서, 연속된 두 개의 training 심볼에 직교성을 주어 채널계수를 추정하는 방법이 다.



<그림 4> STBC 기법을 위한 송수신기 구조

<그림 4>은 STBC 기법의 training 심볼을 전송하기 위한 송수신기 구조이다. 두 송신 안테나에서 전송하는 training 심볼을 구성하는 training sequence 의 구성은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X[0] &= X[n, \frac{M}{2}u + k] \\ X[1] &= X[n + 1, \frac{M}{2}u + k] \end{aligned} \quad (5)$$

여기에서 n 은 송신 신호의 OFDM 심볼 index 를 나타내며, $u(=0, 1, \dots, \frac{2N}{M} - 1)$ 는 채널계수 추정을 위해 사용하게 될 subcarrier 의 index 를 나타내며, $k(=0, 1, \dots, \frac{M}{2} - 1)$ 는 채널계수 추정을 위해 사용하는 subcarrier 의 offset 이다. STBC encoding 은 이웃하는 안테나에 직교성을 주어 채널계수를 분리하고, subcarrier offset 은 직교성을 갖지 못하는 송신 안테나들 사이에 발생할 수 있는 interference 를 제거하기 위해서이다.

수신기의 FFT 를 통과한 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

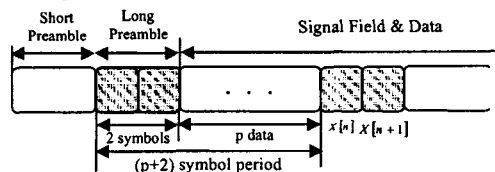
$$\begin{aligned} r[0] &= X[0]H[0] - X[1]^* H[1] \\ r[1] &= X[1]H[0] + X[0]^* H[1] \end{aligned} \quad (6)$$

이렇게 수신된 신호는 식(7)과 같은 STBC decoding 을 통해 채널계수 값을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} H[0] &= r[0]X[0]^* + r[1]X[1]^* \\ H[1] &= r[1]X[0] - r[0]X[1] \quad (|X[0]|^2 + |X[1]|^2 = 1) \end{aligned} \quad (7)$$

subcarrier 의 offset 으로 인해 추정하지 못한 채널계수는 interpolation 으로 채워 넣는다.

<그림 5>는 전체 frame 에 대한 채널계수를 추정하기 위해 training 심볼이 추가된 frame 구조이다.

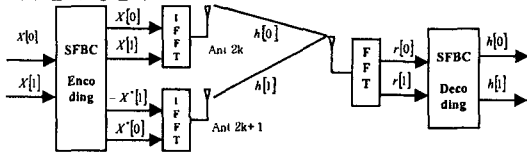


<그림 5> STBC 기법을 위한 2k 번째 안테나의 frame 구조

한 순간의 채널계수를 추정하기 위한 training 심볼은 2개의 OFDM 심볼로 구성되어 있다. 따라서, frame 내에 추가되는 training 심볼들은 p 개의 data 심볼들 사이에 추가되어 $p+2$ 의 주기를 갖는다. 주기 안의 data 심볼에 대한 채널계수 또한 interpolation을 통해 채워 넣는다.

3.2 SFBC 기법

이 기법은 연속된 두 개의 subcarrier 사이에 채널계수가 변하지 않는다는 가정을 전제로 한다. 따라서, 이웃하는 subcarrier 사이에 직교성을 주어 각 송신 안테나 쌍의 채널계수를 추정한다.



<그림 6> SFBC 기법을 위한 송수신기 구조

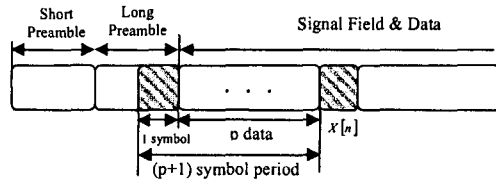
<그림 6>는 SFBC 기법을 위한 송수신기 구조이다. 두 송신 안테나에서 전송하는 training 심볼을 구성하는 training sequence의 구성은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X[0] &= X\left[n, \frac{M}{4}u + k\right] \\ X[1] &= X\left[n, \frac{M}{4}u + k + 1\right] \end{aligned} \quad (8)$$

여기에서 $u (= 0, 1, \dots, \frac{N}{M} - 1)$ 는 training 심볼이 사용하는 subcarrier의 index를, $k (= 0, 2, \dots, M - 2)$ 는 채널 추정을 위해 사용하는 subcarrier의 offset을 나타낸다. SFBC 기법은 채널 추정하기 위해 이웃하는 두 subcarrier를 사용하기 때문에, 한 개의 training 심볼만으로도 가능하다. 하지만, 두 개의 subcarrier를 사용하는 만큼 추정되는 채널계수 사이의 공백이 STBC 기법보다 두 배 더 벌어진다.

SFBC decoding의 동작은 이웃하는 subcarrier에서 얻어진 data를 통해 decoding이 이루어진다는 점을 빼고는 STBC decoding과 동일한 과정을 거친다.

<그림 7>은 전체 frame에 대한 채널계수 추정을 위해 training 심볼이 추가된 frame 구조이다.

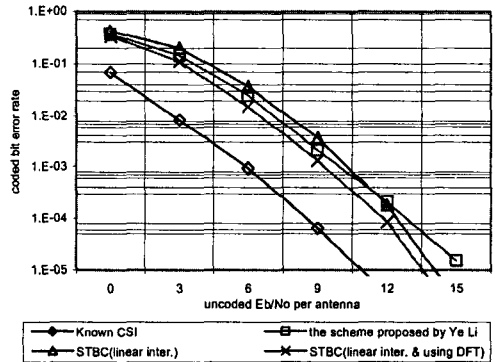


<그림 7> SFBC 기법을 위한 frame 구조

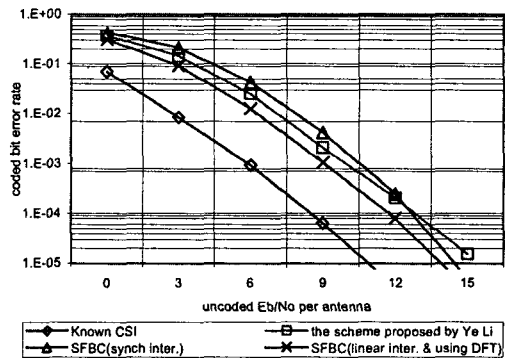
SFBC 기법에 사용되는 training 심볼은 하나의 심볼로 구성되기 때문에, p 개의 data 심볼마다 한 개의 training 심볼이 추가되어 $p+1$ 의 주기를 갖는다. 각 training 심볼 사이의 data에 대한 채널계수 값은 interpolation을 통해 채워 넣는다.

IV. 모의 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 제안된 방식의 채널 추정 기법의 성능을 검증하기 위해 다음과 같은 환경을 설정하였다. IEEE 802.11a 시스템을 기반으로 convolutional code(1/2)와 BPSK modulation을 가지는 4 by 4 MIMO-OFDM 시스템을 구성했다. training sequence는 IEEE 802.11a의 규격에 따라 52개로 구성하고, 한 frame 내에서 Training 심볼은 20개의 data 심볼 사이에 추가하였다. fading 채널은 3km의 이동 속도와 5GHz의 주파수 대역을 설정하였으며, 수신 신호들 사이의 상관성은 없다고 가정하였다. 다중 경로 환경은 50ns RMS delay와 150ns RMS delay를 가지는 exponential decaying fading으로 하고 제안된 방법이 적용된 시스템의 coded BER 성능을 확인해 보았다. 또한, training 심볼을 통해 추정된 채널 계수에 포함된 잡음 성분을 제거해 주기 위해 Ye Li에 의해 제안된 방법을 응용해 성능 개선을 확인해 보았다. 기존에 제안된 채널 추정 기법들 중 Ye Li에 의해 제안된 optimum training sequence에 의한 채널계수 추정 기법(3)을 동일한 환경에서 실험해 보고, 제안된 방법과 coded BER 성능을 비교 분석해 보았다.



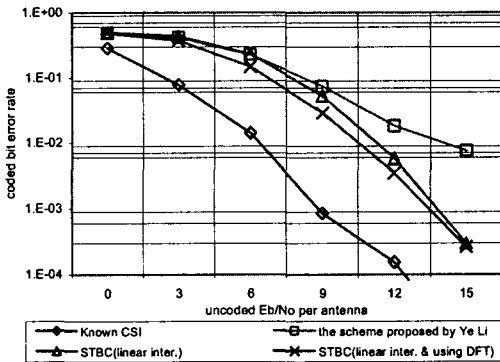
<그림 8> 50ns RMS delay를 가지는 exponential decaying fading 채널에서 STBC 기법을 통해 추정된 채널계수에 의한 coded BER 성능 곡선



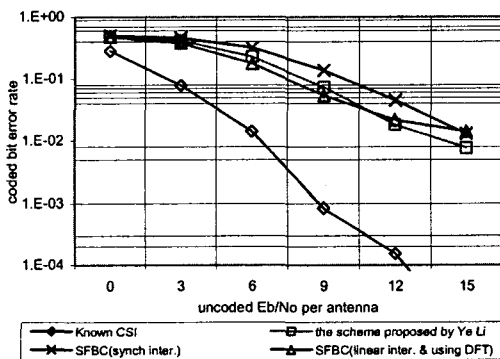
<그림 9> 50ns RMS delay를 가지는 exponential decaying fading 채널에서 SFBC 기법을 통해 추정된 채널계수에 의한 coded BER 성능 곡선

우선 50ns의 RMS delay 환경에서 각 채널 추정 방법에 의해 얻어진 채널계수를 통해 얻어질 수 있는 coded BER 은 <그림 8>, <그림 9>와 같다. linear interpolation 을 사용한 STBC 기법은 1.E-03 에서 알려진 채널계수(Channel State Information:CSI)에 의한 성능 곡선보다 4.5dB의 성능 저하를, Ye Li의 방법에 의한 성능 곡선보다 0.3dB의 성능 저하를 보여주고 있다. 또한, 제안된 방법에 의해 추정된 채널 계수 값에서 DFT 연산을 이용해 잡음을 제거해 줌으로써 이전보다 1.5B의 성능 개선을 보여주고 있다.

synch interpolation 을 사용하는 SFBC 방법은 1.E-03 에서 알려진 채널계수에 의한 성능 곡선보다 4.5dB의 성능 저하를, Ye Li의 방법보다 0.5dB의 성능 저하를 확인할 수 있다. 하지만, linear interpolation 과 DFT 연산을 이용해 잡음을 제거해 줌으로써 이전보다 1.5dB의 성능 개선을 가지면서 Ye Li의 방법보다 1.0dB 성능 개선 효과를 얻었다.



<그림 10> 150ns RMS delay 를 가지는 exponential decaying fading 에서 STBC 기법을 통해 추정된 채널 계수에 의한 성능 곡선



<그림 11> 150ns RMS delay 를 가지는 exponential decaying fading 에서 SFBC 기법을 통해 추정된 채널 계수에 의한 성능 곡선

다음으로 150ns RMS delay 를 가지는 fading 환경에서 제안된 기법의 성능은 <그림 10>, <그림 11>과 같다. STBC 기법은 50ns RMS delay 에서와 마찬가지로 1.E-02 에서 Ye Li의 방법보다 1.5dB의 성능 개선을 가져다 주었다. 또한,

DFT 연산을 이용한 잡음 제거를 해줌으로 인해 이전보다 약 0.5dB의 성능이 개선되었다. synch interpolation 을 적용한 SFBC 기법은 1.E-01 에서 Ye Li의 방법보다 2.0dB의 성능 저하를 가져왔지만, linear interpolation 과 DFT 연산을 이용해 잡음을 제거해 줌으로써 2.5dB의 성능 개선을 얻었다. 따라서, Ye Li의 방법보다 0.5dB의 성능 개선을 보여주고 있다. 하지만, 채널의 Eb/No가 커짐에 따라 그 성능은 Ye Li의 방법보다 떨어질 수 있다. 이는 SFBC 방법으로 추정되는 채널계수 값들이 4개의 subcarrier 간격으로 추정되기 때문이다. subcarrier 간에 채널계수의 급격한 변화로, nyquist criterion 을 만족하지 못해 4개의 subcarrier 간격의 추정 값으로는 제대로 된 채널계수를 얻을 수 없다.

V. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11a를 따르는 MIMO-OFDM 시스템을 위한 채널계수 추정 기법으로 STBC 기법과 SFBC 기법을 제안하였다. STBC 기법은 채널계수의 변화와 관계없이 기존에 제안되었던 방법보다 좋은 성능을 보여주었다. 하지만, SFBC 기법은 채널 계수의 변화가 큰 채널에서는 기존의 방법보다 성능이 좋지 못했지만, 채널 계수의 변화가 크지 않은 환경에서는 기존의 방법보다 좋은 성능을 가져다 주었다. 제안된 방법은 52개의 training sequence 를 사용할 때, Ye Li 방법에서 가지고 있던 interantenna interference 를 제거해 줌으로써 성능 개선이 이루어 졌음을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 안 치준, 임 선민, 안 재민, 은 창수, "IEEE 802.11a 기반의 MIMO-OFDM 시스템을 위한 V-BLAST 기법의 성능," 한국 통신학회 하계 학술대회, 제 27 권, pp.441, 2003년 4월.
- [2] Y. (G.) Li, "Simplified channel estimation for OFDM systems with transmit antenna" *IEEE Trans. On Comm.*, VOL. 1, pp. 67-75, January 2002
- [3] Y. (G.) Li, "Optimum training sequence for OFDM systems with multiple transmit antenna," *Global Telecommunication conference , 2000. GLOBECOM '00. IEEE* , VOL. 3 , 27, pp.1478-1482, Dec. 2000
- [4] 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
- [5] J.-J. van de Beek, O. Edfors; M. Sandell, S.K. Wilson, P.O. Borjesson, "On Channel Estimation in OFDM Systems," *Vehicular Technology Conference, 1995 IEEE 45th* , VOL. 2 , pp.815-819, 25-28 July 1995