

Co-Channel Interference 환경에서 Alamouti coded OFDM System의 성능개선

이성근, 오태원  
고려대학교 전자통신공학과

Performance Improvement of Alamouti coded OFDM System under Co-Channel Interference

Sung Geun Lee(sunggeun\_lee@korea.ac.kr), Tae Won Oh (taewon@korea.ac.kr)  
Department of Radio and Communication Engineering, The Graduate School, Korea University

**Abstract** - 대용량의 이동 고속통신 환경 하에서 다중경로 페이딩에 의한 성능열화 영향을 효과적으로 줄이고, 용량을 극대화하기 위해 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 와 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술들이 차세대 이동통신시스템으로 최근에 각광을 받고 있다. 그러나 cellular 시스템에서는 Co-Channel Interference 의 영향을 피할 수도 없으며, 그 영향 또한 그 무엇보다도 크다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 MIMO OFDM 시스템의 Co-Channel Interference 의 영향을 줄이고 성능향상을 위해 Interference Cancelling 기법을 응용한 STBC-OFDM 시스템의 성능을 MATLAB simulation을 통해 기술하였다.

식 (3)의 경우 OFDM 을 사용하지 않을 경우의 수신단 출력이며, Alamouti coded OFDM 의 경우 수신단의 출력은 아래와 같이 추정이 될 수 있다.[4]

$$\hat{s}_0 = \sum_{i=1}^{FFTsize} \arg \min_{s_{ii} \in S} d^2(\tilde{s}_{ii}, s_{ii})$$

$$\hat{s}_1 = \sum_{i=FFT+1}^{2 \times FFTsize} \arg \min_{s_{ii} \in S} d^2(\tilde{s}_{ii}, s_{ii})$$
(4)

1. 서 론

최근 들어 고속의 데이터 전송과 전송효율의 향상을 위해 여러 가지 다중 안테나 기술이 활발히 연구되고 있다. 이중 STBC(Space-Time Block Coding)는 시간간 부호화된 신호를 다중 안테나를 통해 전송함으로써 수신단에서 다이버시티 이득을 쉽게 얻을 수 있는 대표적인 다중 안테나 기술 중 하나이다. STBC 기법은 Alamouti에 의해 처음으로 제안되었으며 2개의 송신 안테나에만 적용 가능한 기술이었으나[1], 이후 Tarokh 에 의해 3개 또는 4개의 송신 안테나에 적용하도록 확장되었다[2].

한편 OFDM 방식은 고속의 데이터 전송에 적합한 방식으로 무선 랜 및 디지털 방송 시스템 등에 채택 되었으며, 차세대 이동통신 시스템의 전송방식으로 유력시 되고 있다. 따라서 STBC 기법을 OFDM 시스템에 적용한 STBC-OFDM 시스템은 Wibro 와 같은 차세대 이동통신 시스템에서 활발히 검토 되고 있는 기술이라 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 STBC-OFDM 의 기본 성능을 분석한 후, CCI(Co-Channel Interference)에 의한 시스템의 성능 열화 정도 및 CCI에 의한 성능 열화를 보상해 주기 위해, RLS-MLSE 에 기반한 Interference Cancelling Equalizer[3] 기법을 사용함으로써 시스템의 성능을 분석한다.

STBC는 전송하고자 하는 심볼들을 공간과 시간에 따라 분할을 한후 송신 안테나를 통해 전송되는 방식이며, 수신단에서는 Maximum Likelihood Decision Rule 에 의해 복원이 된다. Alamouti 코드는 송신 안테나가 2개 일 때 사용하는 방식으로 전송하고자 하는 2개의 복소 심볼은 아래와 같이 공간과 시간적으로 재배열이 되어 전송이 된다.

	Antenna 0	Antenna 1
Time t	$s_0$	$s_1$
Time t+T	$-s_1^*$	$s_0^*$

〈표 1〉 Alamouti 코드의 송신 심볼 배열구조

또한, 기저 대역에서의 각 안테나의 수신신호  $r_0, r_1$ 은 다음과 나타낼 수 있으며,

$$r_0 = r(t) = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0$$

$$r_1 = r(t+T) = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1$$
(1)

여기서, \* 는 공역 복소수를 나타내며  $h_1, h_2$  는 두 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 채널 응답 특성,  $n_0, n_1$  은 AWGN 을 의미한다. 수신단의 combiner output 은 아래와 같이 표현이 된다.

$$\tilde{s}_0 = h_0^* r_0 + h_1 r_1^* = (|h_0|^2 + |h_1|^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^* = (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^*$$

$$\tilde{s}_1 = h_1^* r_0 - h_0 r_1^* = (|h_0|^2 + |h_1|^2) s_1 - h_0^* n_1 + h_1 n_0^* = (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_1 - h_0^* n_1 + h_1 n_0^*$$
(2)

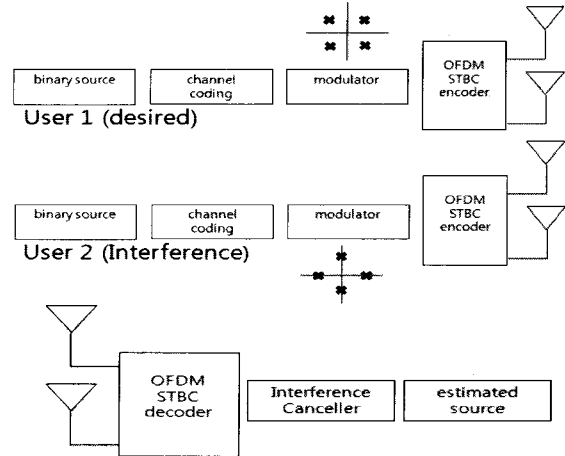
여기서,  $\alpha_0, \alpha_1$  은 두 송신 안테나로부터 수신된 신호의 페이딩 포락선을 의미 한다. 최종적으로 수신단에서의 Maximum Likelihood Decision Rule 은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{s}_0 = \arg \min_{s_{ii} \in S} d^2(\tilde{s}_0, s_{ii}) \quad \hat{s}_1 = \arg \min_{s_{ii} \in S} d^2(\tilde{s}_1, s_{ii})$$
(3)

2. 본 론

2.1 Co-Channel Interference 환경에서의 STBC-OFDM 시스템

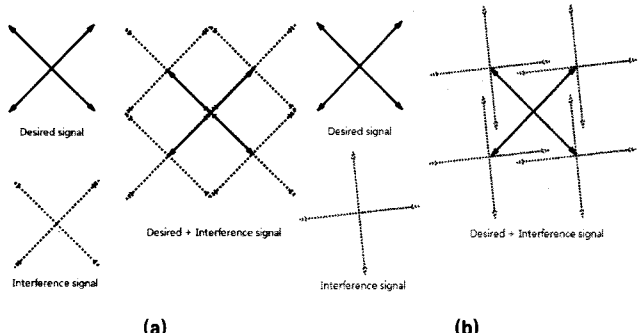
본 논문에서 고려한 Co-Channel Interference 환경에서의 STBC-OFDM 시스템의 구조는 그림1 과 같다.



〈그림 1〉 Co-Channel Interference 환경의 STBC-OFDM 시스템의 블록 다이어그램

위 그림에서 송신기의 구조는 desired 신호와 Interference 신호 사이에 phase offset 을 주어 신호를 mapping 하여 전송하는 과정을 나타내고 있다[5][6]. 이렇게 desired 신호와 Interference 신호에 phase offset 을 줌으로써, 새로 형성된( desired 신호 + Interference 신호) constellation point 는 ambiguity point 가 줄어들므로 인해 MLSE 과정을 거치면서 Co-Channel Interference cancelling 의 성능이 향상됨을 알 수 있다[7].

2.2 Co Channel Interference



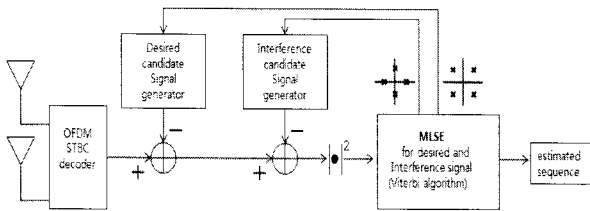
〈그림 2〉 desired 와 interference signal의 좌표 변화에 따른 ambiguity point

그림2는 SIR(Signal to Interference Ratio) 0dB 일때, QPSK mapping 을 갖는 desired 신호와 interference 신호가 더해진 constellation point 를 나타내고 있다. 첫 번째 그림(a)는 desired 신호와 Interference 신호가 동일한 좌표를 가질 때 더해진 신호의 좌표를 나타낸다. 이때는 5개의 ambiguity y point 가 생기므로 수신기에서 신호를 추정할 때 성능 저하의 원인이 되며, 두 번째 그림(b)는 desired 신호와 Interference 신호가 서로 다른 phase 를 갖는 좌표를 가질 때 더해진 신호의 좌표이다. 이때는 ambiguity point 가 생기지 않으므로 MLSE(Maximum Likelihood Sequence Estimation) 기법으로 CCI 에 대한 영향을 줄일 수 있게 된다. 이렇게 desired 신호와 interference 신호의 심볼 맵핑에 phase offset을 주어 MLSE 기법을 사용하는 방법은 이미 여러 논문에서 성능에 대한 효과가 입증 되었다.[5][6][7]

### 2.4 Interference cancelling

그림 1의 Co-Channel Interference 환경의 STBC-OFDM 시스템에서 desired 신호와 Interference 신호가 동일한 채널 환경을 겪는다고 가정 했을 때, OFDM-STBC decoder 의 출력은 아래와 같다.

$$r_n = \tilde{s}_n + \tilde{c}\tilde{c}_n + A\text{WGN} \quad (5)$$



〈그림 3〉 RLS-MLSE Interference canceller 의 구조

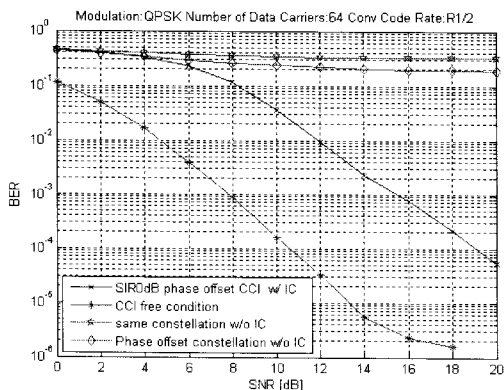
그림 3은 phase offset 을 갖는 desired 신호와 Interference 신호에 대한 CCI 제거를 위한 RLS MLSE Interference canceller 를 가지는 수신기의 구조로써 그림 1을 자세히 표현한 그림이다[3]. OFDM STBC 의 decoder 출력 sequence  $r_n$  은 desired 신호 sequence  $\tilde{s}_n$  와 interference 신호 sequence  $\tilde{c}\tilde{c}_n$  가 AWGN 과 더해진 신호이다. 만약 전체 trellis path length 가 N 일 경우, desired 신호와 interference 신호는 각각  $2^N$  개의 심볼 시퀀스중 1개의 심볼 시퀀스 이므로, 원하는 신호의 심볼 시퀀스는  $2^{2N}$  개 중 하나의 심볼 시퀀스가 된다. 하지만 Viterbi algorithm 일 이용한 MLSE 를 사용할 경우 계산량을 줄일 수 있게 된다.

### 2.4 STBC-OFDM 시스템 성능 및 CCI 에 대한 영향과 interference canceller 를 이용한 성능 분석

총 대역폭	20 MHz
FFT size	64개(3.2 us)
서브 캐리어 간격	312.5KHz
CP size	16개(800 ns)
변조 방식	QPSK
프레임 길이	10 OFDM 심볼(40us)
채널 모델 /maximum dealy	Rayleigh/200ns
채널 추정기법	Perfect channel estimation
MIMO	Alamouti, 2 x 2
채널 코딩	convolution code(R=1/2, K=3)

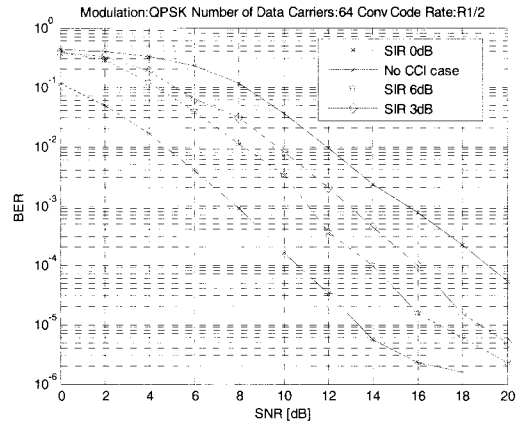
〈표 2〉 STBC-OFDM 시스템 주요 parameter

표 2는 본 논문에서 시뮬레이션 한 STBC-OFDM 시스템의 기본 파라미터로써, 기본 환경은 IEEE 802.11a 의 무선랜 환경을 참조 하였다



〈그림 4〉 CCI 에 의한 STBC-OFDM 의 성능 분석

그림 4는 Co-Channel Interference 환경에서의 Alamouti coded OFDM 시스템의 성능을 분석한 그래프이다. 성능 비교를 위해 CCI 가 없는 환경에서의 기본 성능을 분석 하였으며, SIR 0dB 일 때 desired 신호와 Interference 신호의 phase offset 여부에 따른 성능분석 및 RLS MLSE 를 바탕으로 한 Interference canceller 를 적용한 후의 성능을 비교하였다. IC(Interference Canceller) 를 적용하기 전의 성능을 보면 단순히 phase offset 적용만으로도 성능이 개선됨을 알 수 있으나 IC 를 적용하지 않음으로 인해  $10^{-1}$  보다 성능이 열화됨을 알 수 있었다. 또한 IC 를 적용함으로써, SNR 20dB 기준으로 적용하지 않았을 때 대비 BER 성능이  $10^{-1}$  에서  $10^{-4}$  으로 향상됨을 알 수 있었다.



〈그림 5〉 SIR 의 변화에 따른 STBC-OFDM 의 성능 변화

그림 5는 SIR(Signal to Interference Ratio) 의 변화에 따른 성능의 변화를 시뮬레이션 한 그래프이다. 결과에서 알 수 있듯이 SIR 이 커질수록 성능이 향상됨을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문은 TCM system에서 성능 개선을 위해 제안되었던 Interference canceller를 Alamouti coded OFDM(STBC OFDM) 시스템에도 적용가능하다는 것을 MATLAB 시뮬레이션을 통해 증명하였다. Co-Channel interference에 의한 성능열화가 심각한 상황에서부터 SIR이 심각하지 않은 상황에 이르기까지 본 논문에서 제안하는 기법이 우수한 성능향상을 보이고 있다. 따라서 향후 차세대 이동통신에서 적용 가능한 STBC-MIMO 기술에서 CCI 에 의한 영향을 줄일 수 있는 방안으로 사용 될 수 있을 것으로 기대한다.

### 〈참 고 문 헌〉

- [1] S.M Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communication," IEEE J. select. Areas Commun. vol.16, no.8, p.1451-1458. Oct.1998
- [2] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A.R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs", IEEE Trans. Inform. Theory, vol.45, no.5, pp.1456-1467, Jul. 1999
- [3] H. Yoshino, K. Fukawa and H. Suzuki, "Interference Canceling Equalizer(ICE) for Mobile Radio Communication," IEEE Trans. Technology, vol.46, no.4, pp.849-861, Nov 1997
- [4] Juha Heiskala and John Terry, "A Theoretical and Practical Guide" SAMS2002
- [5] H. Murata, S. Yoshida and T. Takeuchi, "Trellis-coded co-channel interference canceller for mobile communication," Technical report of IEICE, RCS93-75, pp.39-46, Nov.1993
- [6] H. Murata and S. Yoshida, "Performance of trellis coded co-channel interference canceller for cellular radio," Proc. International Workshop on Multi-dimensional Mobile communications, Niigata, Japan, pp.109-112, Nov.1994
- [7] Se Hyun Cho, Tae Won Oh. "A study on the ambiguity of TCM Interference Canceller", Korea University master's degree graduation thesis, 2007