

M-ary OSTBC MIMO 시스템의 성능 연구

홍영진*

¹동명대학교 전기공학과

Performance of M-ary OSTBC MIMO System

Young-Jin Hong^{1*}

¹Department of Electrical Engineering, Tongmyong University

요 약 Alamouti 알고리즘에 기반한 M-ary 2×N OSTBC(Orthogonal Space Time Block Coded) MIMO(Multi Input Multi Output) 시스템의 성능을 두개의 파라미터, 즉 constellation 숫자(M)와 수신안테나 숫자(N)를 변화시키며 컴퓨터 모의실험에 의하여 알아보았다. 2×N MIMO 시스템의 성능과 단일 송신안테나 시스템의 성능비교를 위하여 MRC(Maximum Ratio Combining) 다이버시티 안테나 시스템의 성능 역시 컴퓨터 모의실험을 통하여 수행하였다. 10 dB EbNo QPSK 시스템의 경우 Alamouti 2×1 MIMO가 단수안테나 시스템에 비해 4.2 dB의 BER을 향상시켰으며 2×2 MIMO는 1×2 MRC 대비 7.4 dB의 BER을 향상시켰다.

Abstract Performance of the Alamouti algorithm based M-ary 2×N OSTBC(Orthogonal Space Time Block Coded) MIMO(Multi Input Multi Output) system has been simulated varying two main parameters - the number of constellation(M), and the number of receiving antennas(N). Computer simulation has also been carried out using Matlab software for performance comparison between 2×N MIMO and MRC(Maximal Ratio Combining) diversity antenna system to evaluate the degree of enhancement achieved through the use of Alamouti 2×N MIMO. Under 10 dB EbNo QPSK scenario, 2×1 MIMO brought 4.2 dB BER improvement over single antenna system and 2×2 MIMO resulted in 7.4 dB BER improvement over 1×2 MRC.

Keywords : BER, EbNo, MIMO, MRC, OSTBC

1. 서론

20세기 말과 21세기 초반에 걸쳐 이루어진 무선이동 통신의 전세계적인 확산에 주파수자원의 효율적인 이용을 가능하게 하는 다양한 실용화기술(enabling technology)의 발전이 밑바탕이 되었다는 것은 아무리 강조하여도 지나침이 없다. 2G, 3G를 거쳐 4G LTE 기술표준이 상용화되고 있는 현재 셀룰라 망 뿐만 아니라 WiFi망에서도 주파수 효율화를 가능하게 하는 도우미의 하나로 MIMO기술이 자리잡게 되었다.

무선통신기술의 진화는 자연적으로 복수안테나 채용 가능성에 대한 연구로 이어졌는데 초기단계의 복수안테

나는 통신의 한쪽 끝, 주로 수신단에 한정되어 있었다. Alamouti[1]는 이러한 수신 다이버시티 개념을 송신 다이버시티 개념으로 확장하였는데 동일 송신신호의 다중 복사본을 수신단에서 신호처리함으로써 다중경로에 의한 열화현상을 완화할 수 있음을 제시하였다. Tarokh et. al.[2,3]은 송신 다이버시티 개념을 바탕으로 송신안테나와 수신안테나의 숫자를 확장하는 OSTBC MIMO 이론을 정립하였고 MIMO 시스템이 단수안테나에 비해 링크의 효율과 BER 특성을 개선함을 보였다. 특히 Rayleigh 다중경로 환경에서 MIMO 시스템의 링크효율 즉 용량이득이 송수신 안테나 숫자 중 적은 숫자에 비례해서 증가한다는 것을 Foschini Jr. et. al.[4]이 발표하였

*Corresponding Author : Young-Jin Hong(Tongmyong Univ.)
Tel: +82-10-3778-0619 email: gryj hong@tu.ac.kr

다. OSTBC MIMO에서는 송신 신호가 블록 단위로 부호화되어 공간적 이격을 갖는 복수개의 송신안테나에 시간적인 배열순서를 가지고 전달된다. 안테나에서 송신된 신호스트림은 다시 복수개의 수신안테나에 수신되어 maximum likelihood 방법으로 복조된다.

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)[5]은 이동통신 환경의 주파수선택적 다중경로 페이딩에 대응하는 대표적 기술로 MIMO와의 결합으로 의미 있는 성능 향상을 기대할 수 있기 때문에 MIMO OFDM 분야에는 많은 연구가 집중되어 왔으나 OSTBC MIMO 이론을 적용한 기본적인 통신시스템의 정량적인 성능개선에 관한 연구발표는 상대적으로 많지 않았던 것이 현실이다. 본 논문에서는 기본적인 통신시스템인 M-ary PSK 변조를 사용한 시스템에 MIMO를 적용했을 경우의 성능개선 효과를 정량적으로 다루어 보고자 한다.

본 논문은 모두 4장으로 이루어져 있다. 2장에서는 Alamouti Space-Time Code 모델이 설명되고 constellation 숫자와 수신안테나 숫자의 변화에 따른 OSTBC MIMO 시스템의 성능 개선을 나타내는 Matlab을 사용한 컴퓨터 모의실험이 3장에서 설명되었으며 마지막으로 4장에서 결론이 서술되었다.

2. Alamouti Space-Time Code

Alamouti 2x1 STBC 모델의 부호기와 복호기의 블록도가 Fig.1과 Fig.2에서 각각 설명되었다.

Fig. 1의 Alamouti 부호기[6]는 두 개의 변조된 심볼 s_1 과 s_2 로부터 코드행렬을 다음 식처럼 생성한다.

$$S = \begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

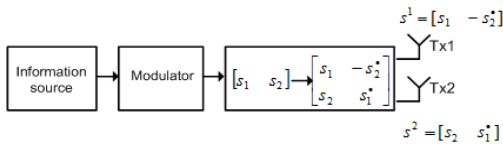


Fig. 1. Alamouti space time encoder

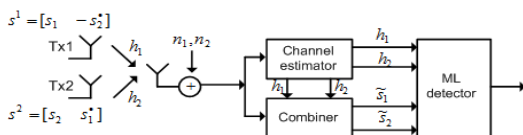


Fig. 2. Alamouti 2x1 STBC decoder

식 (1)에서 각 열은 송신시간을, 각 행은 송신안테나 배열을 의미하고 s_1^* 는 s_1 의 공액복소수를 의미한다. 두 개의 송신안테나와 하나의 수신안테나가 연결되는 경로의 채널 특성이 Fig. 2에서 나타난 것처럼 각각 h_1 과 h_2 로 표시된다면 수신안테나 신호는 다음식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} r_1 &= h_1 s_1 + h_2 s_2 + n_1 \\ r_2 &= -h_1 s_2^* + h_2 s_1^* + n_2 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 r_1 과 r_2 는 각각 시간 t 와 $t + T$ 에서의 수신 신호를, n_1 과 n_2 는 각각 시간 t 와 $t + T$ 에서의 백색 가우시안 잡음을 나타내고 T 는 심볼 구간을 표시한다. Fig. 2의 결합기에서는 채널 추정기에서 복원한 채널 특성을 이용해서 ML검파기에 보낼 신호를 다음식에 의하여 생성한다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_1 &= h_1^* r_1 + h_2 r_2^* = (|h_1|^2 + |h_2|^2) s_1 + h_1^* n_1 + h_2 n_2^* \\ \tilde{s}_2 &= h_2^* r_1 - h_1 r_2^* = (|h_1|^2 + |h_2|^2) s_2 - h_1 n_2^* + h_2^* n_1 \end{aligned} \quad (3)$$

ML검파기에서는 최소 유클리디언거리 방법에 의해 신호를 복호한다. 수신안테나가 여러개 존재할 경우에는 각 수신안테나 신호의 선형결합을 송신신호 결정에 사용한다는 것을 제외하고는 하나의 수신안테나가 있는 경우와 동일한 복호 방법을 사용한다.

3. 모의실험결과

Matlab R2010b를 이용하여 두 개의 송신안테나와 다수의 수신안테나로 이루어진 Alamouti 알고리즘에 기반한 OSTBC MIMO 시스템의 성능 모의실험을 수행하였다. 모의실험환경을 이루는 파라미터들이 Table 1에 표시되었다.

Table 1. Simulation Parameter

Parameter		Parameter	
Tx antenna	2	Packet	1000
Frame length	100	Multi-path	Rayleigh

랜덤변수발생기에 의해 생성되고 사상의 과정을 거친 통신시스템의 입력신호는 M-PSK 디지털 신호로 변조된

후 OSTBC 부호기를 통과하여 두 개의 송신안테나에서 레일리 다중경로 페이딩 채널로 방 사된다. 수신안테나에서 백색 가우시안 잡음에 의해 왜곡된 신호는 OSTBC 복호기, M-PSK복조기에 의해 원래의 신호로 복원된다. 모의실험은 송수신단의 시간동기와 주파수동기가 완전하다는 가정아래 진행되었다.

Fig. 3에서는 변조의 차수가 4, 즉 QPSK 변조 환경에서 송신안테나와 수신안테나의 수가 각각 1인 단수안테나 시스템의 BER성능과 송신안테나의 수를 두 개로 한 2×1 MIMO 시스템의 BER성능이 백색잡음 신호대잡음비를 0 dB에서 20dB로 변화시키며 비교되었다. 단수안테나시스템 대비 2×1 MIMO 시스템의 성능향상은 EbNo의 증가와 함께 커지다가 17-18 EbNo 근처에서 10 dB에 도달함이 관찰되었다. 송신다이버시티의 성능 개선 정도를 비교평가하기 위한 목적으로 1×2 MRC 다이버시티 콤바이너의 BER특성도 예시되었는데 하나의 허브(송신안테나)에 접속되는 각각의 수신장치 마다 두 개의 안테나를 설치하여야 하는 비용의 상승과 BER성능의 향상이 서로 트레이드 오프의 관계에 있음을 유의할 필요가 있다.

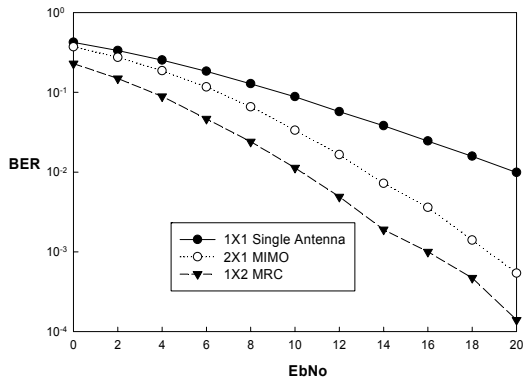


Fig. 3. Performance of 2×1 MIMO and 1×2 MRC at QPSK scenario

Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 변조환경과 수신단 SNR 환경에서 1×2 MRC 대비 2×2 MIMO 시스템으로 얻을 수 있는 BER성능 개선을 나타낸 그래프이다. EbNo 6 dB 이하에서는 그 개선의 정도가 미미하였으나 대부분의 통신환경에서 전형적인 EbNo 10 dB에서 7.4 dB의 BER 성능개선을 보였다.

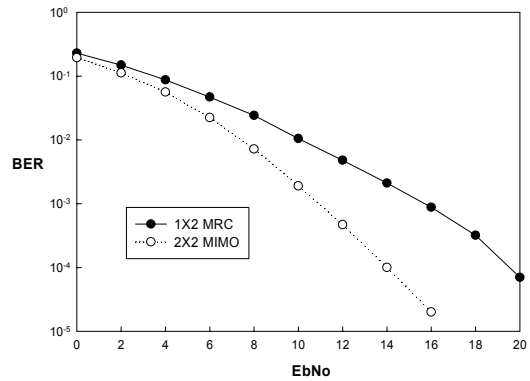


Fig. 4. BER Performance of 2×2 MIMO and 1×2 MRC at QPSK scenario

Fig. 5는 constellation 숫자의 변화에 따른 2×1 MIMO 시스템의 성능변화를 나타낸 그림이다. Constellation 숫자는 2(BPSK), 4(QPSK), 8(8PSK)을 대상으로 하였으며 성능을 나타내는 척도는 단수안테나시스템 대비 BER 특성의 향상정도(dB)로 하였다. 변조의 차수가 적을수록, 즉 주파수효율이 낮을수록 2×1 송신다이버시티에 의한 BER성능 향상의 정도는 컸으며 EbNo가 16 dB 일 때 단수안테나시스템의 BER 대비 BPSK, QPSK, 8PSK 에서 각각 10.8 dB, 8.9 dB, 4.9 dB 향상(감소)함이 관찰되었다. 수신단 열잡음 신호대잡음비가 높을수록 성상 숫자의 변화에 따른 2×1 송신다이버시티에 의한 성능변화의 민감도가 증가하였다.

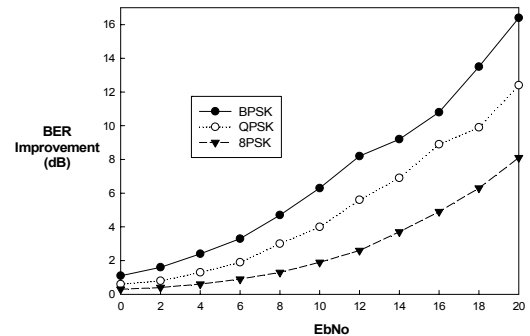


Fig. 5. BER performance improvement of 2×1 MIMO over single antenna system

QPSK 환경에서 수신안테나 숫자와 MIMO 시스템의 성능과의 관계가 Fig. 6에 설명되었다. Fig. 6은 수신단 열잡음 신호대잡음비의 값을 0 dB에서 20 dB까지 변화

시키며 2×1, 2×2, 2×4, 2×6 MIMO 시스템의 BER 특성을 스케치한 것으로 수신안테나의 숫자의 증가는 당연히 그 비용의 댓가로 BER 특성의 향상을 초래하였다. SNR 10 dB에서 2×1 MIMO가 0.034 BER을 나타낸 반면 2×2 MIMO가 0.0019 BER을 나타내어 10 dB 이상의 BER 감소를 달성함이 관찰되었다. 특히 2×2의 경우 수신단 SNR 18 dB 이상, 2×4의 경우 수신단 SNR 10 dB 이상, 그리고 2×6의 경우 수신단 SNR 8 dB 이상에서 그래프가 불연속인 것은 그 점에서의 BER이 0에 가까운 값을 갖는 것을 의미한다. Fig. 6의 응용 예로 주어진 통신환경에서 특정한 BER 값을 얻기 위한 방편으로 수신안테나의 규격을 결정할 수 있다. 즉 수신단 SNR이 10 dB인 환경에서 사용 가능한 주파수 대역폭 때문에 디지털변조의 차수를 4 이상으로 해야 하고 BER 10⁻³ 이상을 얻어야 할 경우 Fig. 6에서 수신안테나의 숫자는 적어도 2 이상이 되어야 함을 알 수 있다.

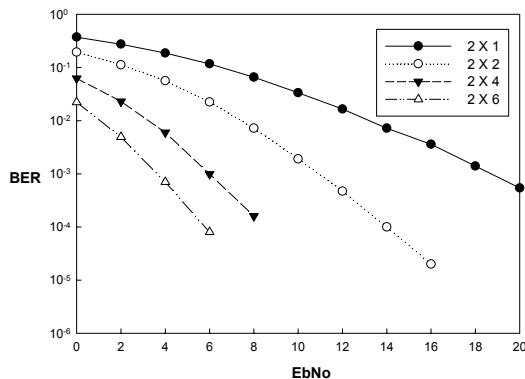


Fig. 6. BER performance of several MIMO systems at QPSK scenario

4. 결론

본 논문에서는 Alamouti 알고리즘 기반의 MIMO 시스템의 원리를 간단히 살펴보고 Matlab R2010b를 이용하여 두 개의 송신안테나와 다수의 수신안테나로 이루어진 MIMO시스템의 성능에 관한 모의실험을 수행하였다. M-ary PSK 디지털 변조 모델을 모의실험 대상으로 하였고 constellation 숫자와 수신안테나의 숫자의 변화에 따른 시스템의 성능 변화를 관찰하였다. 수신단 입력 SNR이 증가할수록 MIMO시스템 채용으로 인한 성능개

선의 폭도 따라서 증가하였으며 디지털변조의 차수가 증가할수록 MIMO시스템의 성능개선 효율은 감소함이 관찰되었으나 주파수효율의 증가에 따른 비용효과를 감안한다면 M-ary 변조 통신환경에서 OSTBC MIMO 시스템은 우수한 성능을 보임이 입증되었다.

References

- [1] S. M. Alamouti, "A simple transmitter diversity technique for wireless communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 16, No. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/49.730453>
- [2] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 45, No. 5, pp. 1456-1467, July 1999.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/18.771146>
- [3] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block coding for wireless communications: performance results", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 3, pp. 451-460, March 1999.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/49.753730>
- [4] G. Foschini Jr. and M. Gans, "On limits of wireless communication in a fading environment when using multiple antennas", Wireless Personal Communications, Vol. 6, pp. 311-335, March 1998.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:100888922784>
- [5] L. Hanzo, M. Münster, B. Choi, and D. Keller, OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-user Communications, WLANs and Broadcasting, John Wiley and IEEE Press, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9780470861813>
- [6] M.Jankiraman, space-time codes and MIMO systems, Artech House, 2004.

홍 영 진(Young-Jin Hong)

[정회원]



- 1978년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (전기공학학사)
- 1985년 12월 : 뉴욕주립대 스토니브룩 전자공학과(전자공학박사)
- 1977년 11월 ~ 1981년 8월 : 삼성 전자 연구원
- 1986년 6월 ~ 1992년 1월 : 뉴욕 LNR Communications 책임연구원
- 1992년 1월 ~ 1993년 8월 : 삼성종합기술원 전송기술연구실장
- 1993년 8월 ~ 1994년 3월 : KT 위성사업단 위성감리국장
- 1994년 3월 ~ 1997년 7월 : 성미전자 연구소장 전무
- 1997년 7월 ~ 2003년 12월 : SK C&C SI부부장 전무
- 2005년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

이동통신, 스마트안테나