

# 채널 부호기를 고려한 준직교 시공간 블록 부호기의 성능 평가

\*허서원, 여승준, 이호경  
 홍익대학교 전자전기공학부  
 e-mail : seoweon.heo@hongik.ac.kr

## Performance Evaluation of Quasi-Orthogonal Space Time Block Codes with Combined Channel Coding

\*Seo Weon Heo, Seung-Jun Yeo, Ho-Kyoung Lee  
 School of Information and Communication Engineering  
 Hongik University

### Abstract

본 논문은 다중 안테나 시스템에서 두 심볼을 묶어서 전송함으로써 최대 전송률을 유지하는 준직교 시공간 블록 부호(QOSTBC : quasi orthogonal space time block codes)의 성능을 평가하였다. 이제까지 제안된 여러 QOSTBC 부호는 다차원 신호 공간에서의 신호 설계 방식에 차이가 있고 결과적으로 diversity 차수는 동일하지만 부호 이득에 차이를 보인다. 채널 부호기를 결합한 경우와 그렇지 않은 경우에 여러 가지 방식의 QOSTBC의 성능을 모의실험으로 평가하였다.

### I. 서론

시공간 블록부호기는 수신기 구조가 간단하면서 최대 diversity를 얻을 수 있는 장점으로 다중 안테나 시스템에서 널리 채택되었다. 하지만 2개 이상의 전송안테나를 사용하는 경우 최적 전송률 (full-rate) 과 최대 diversity (full diversity)를 보장하는 직교 시공간 블록 부호 (OSTBC)는 존재하지 않는다. 따라서 4개의 전송안테나 시스템에서 복잡도를 희생하면서 최대 전송률을 만족시키는 여러 준직교 시공간 블록 부호 (QOSTBC)가 제안되었다.[1]

본 논문에서는 Dalton [2]의 QOSTBC 방식에서 제안된 Star QAM 방식과 universal code의 일종인 16 QAM permutation code [3] 의 성능을 부호기를 결합한 경우와 결합하지 않은 경우로 나눠서 평가하고 해석하였다.

### II. 시스템 모델

본 논문에서는 4 개의 전송 안테나와 1 개의 수신 안테나를 가정하였고, 전송단에서는 채널 상태를 모르고 수신단에서는 채널 정보를 정확히 알고 있는 시스템을 고려하였다. 수신된 신호는 다음과 같다.

$$Y = \sqrt{\frac{\rho}{4}} CH + V \quad (1)$$

여기서  $Y$  는 수신된 신호를 나타내는  $4 \times 4$  행렬이고,  $C$  는 전송 심볼을 나타내는  $4 \times 4$  행렬이다.  $H$  와  $V$  는  $4 \times 1$  행렬이고, 각각의 성분은 평균이 0이고 분산이 1인 상호 독립적인 원형 대칭 복소 랜덤 변수(AWGN) 이다.  $\rho$  는 하나의 수신 안테나에서의 신호 대 잡음비 (SNR) 이다.

[1][2]에서 제시한 QOSTBC 부호 설계는 복소 2차원 신호 공간에서의 신호 집합 설계 문제로 해석할 수 있다. 본 논문에서는 [2]에서 사용한 다음과 같은 신호 공간을 고려한다.

$$C = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -s_4^* & s_3^* \\ s_1 & s_2 & -s_3 & -s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & s_4^* & -s_3^* \end{bmatrix}, \quad \begin{matrix} s_1 = f(x_1, x_3), s_2 = f(x_2, x_4) \\ s_3 = g(x_1, x_3), s_4 = g(x_1, x_3) \end{matrix} \quad (2)$$

$C$ 는 직교 행렬이지만, 최대 diversity를 얻을 수 없는 구조이므로  $f, g$  함수를 통하여 두 개의 심볼씩 결합하여 복소 2차원 신호 공간 성상에 매핑시킨다. 입력 신호  $(x_1, x_3)$ 를 복소 2차원 신호 공간에 매핑하는 방

법으로는 다음과 같은 세가지 방식을 고려한다.

1. Star QAM [2]

입력신호  $x_1, x_3$  가 M\_PSK 신호일 때,  $x_3$  신호를  $\pi/M$  만큼 회전변환 시킨 후 아래와 같이 대응시키면  $M^2$  Star QAM 신호에 매핑된다.

$$f(x_1, x_3) = \frac{x_1 + x_3}{\sqrt{2}}, \quad g(x_1, x_3) = \frac{x_1 - x_3}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

2. QAM repetition/permutation [3]

기존의 rectangular 16QAM 성사에 매핑한다. 함수  $f$  와  $g$  가 동일한 repetition 방식을 사용하거나 부호 이득을 최대화 하기 위하여  $g$  함수는  $f$  함수의 permutation 형태로 신호를 매핑시킨다.

3. Simple code

Simple code는 최대 diversity를 고려하지 않고 원래 신호  $(x_1, x_3)$ 를 식 (2)의 신호 블록에 그대로 매핑하는 방법을 사용한다. 이 경우, 부호기를 결합하지 않는 경우 최대차수 2인 diversity를 가진다.

$$f(x_1, x_3) = x_1, \quad g(x_1, x_3) = x_3 \quad (4)$$

### III. 성능 평가 및 결론

채널 부호기를 고려하지 않는 경우 부호기의 성능은 부호 행렬의 계수 (rank criterion) 와 행렬식 (determinant criterion)으로 평가한다. 계수는 simple code를 제외하고는 4로 동일하므로 실질적으로 행렬식을 비교하는 diversity product를 비교한다. 높은 SNR에서 diversity product ( $\zeta$ ) 식은 다음과 같다. [4]

$$\zeta = \frac{1}{2\sqrt{n}} \min_{C \neq \tilde{C}} |\det[(C - \tilde{C})(C - \tilde{C})^H]|^{1/(2T)} \quad (5)$$

식 (2) 의 부호  $C$  를 위 식에 대입하면 행렬의 직교 성질에 의해 다음과 같이 간략히 나타낼 수 있다.

$$\zeta = \frac{1}{2\sqrt{4}} \min_{C \neq \tilde{C}} |\det[16(|s_1|^2 + |s_2|^2)(|s_3|^2 + |s_4|^2)]|^{1/8} \quad (5)$$

표 1에 여러 가지 부호 방식에 대한 diversity product 값을 비교하여 나타내었다. 채널 부호기를 결합하는 경우, 부호어가 여러 시간 구간에 걸쳐 dispersion 되기 때문에 추가의 diversity를 얻을 수 있다. 부호기가 결합된 경우에도 식 (5)에 의해서 모든 error event에 대해서 diversity product를 탐색할 수 있지만, 본 논문에서는 간단한 실험을 통해서 채널 부호와 QOSTBC 방식이 결합된 경우의 성능을 평가하였다. 결과는 그

표 1. 신호 매핑 방법에 따른  $\zeta$  값

성상도 (signal constellation)		2 bits	3 bits
Star_QAM	repetition	0.1464	0.0381
	Dalton	0.3536	0.1674
QAM	repetition	0.2236	0.1091
	permutation	0.3162	0.1543

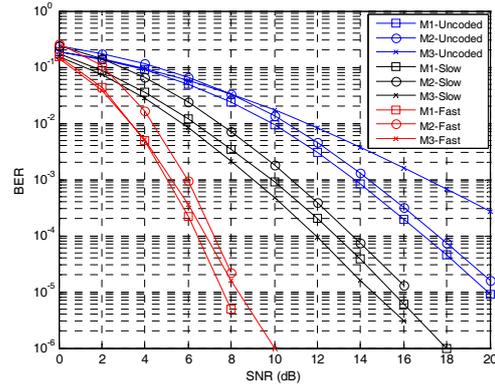


그림 1. 여러 가지 매핑 방식에 대한 BER 곡선

표 1에 나타나 있다.

먼저 채널 부호를 별도로 사용하지 않은 경우, star QAM 매핑(M1)이 permutation QAM 매핑(M2)에 비해 BER=10<sup>-3</sup>에서 약 0.5 dB 정도 성능이 우수하고 simple code(M3)는 diversity 차수가 2인 곡선을 보여 준다. 다음으로는 부호율 1/2 이고 생성 방정식이 (g1,g2)=(5,7)인 길쌈 부호기를 결합한 경우의 성능을 비교하였다. 채널이 느리게 변하는 경우 (한 프레임동안 채널이 고정되어 있다고 가정), 여전히 Star QAM 매핑이 permutation QAM 매핑 방식대비 10<sup>-3</sup>에서 약 1 dB정도의 성능 향상을 보인다. 이 경우에는 diversity 차수가 2인 simple code의 성능이 앞의 두 매핑 방식보다 약 0.5dB 정도 우수한 성능을 보인다. 각 QOSTBC 심볼마다 채널 특성이 달라지는 fast fading channel에 대해서 bit 단위로 interleaving을 하여 diversity order를 증가시킨 경우에 대한 실험 결과에서도 Star QAM 매핑의 성능이 우수하게 나타났다. 목표로 하는 BER이 낮을 경우는 Simple code의 성능이 크게 떨어지지 않음을 알 수 있지만, SNR이 증가함에 따라, diversity 차수가 타방식 대비 떨어진다. 본 논문에서는 고려하지 않았지만, 채널 부호기를 고려한 최적의 신호 설계 및 분석에 관한 연구가 필요하다.

### 참고문헌

[1] H. Jafarkhani, "A quasi-orthogonal space-time block code." IEEE Trans. Com., vol. 49, pp. 1-4, Jan. 2001.  
 [2] L. A. Dalton and C. N. Georghiades, "full-rate full-diversity four antenna quasi-orthogonal space time block code." IEEE Trans. Commun., vol. 4, no.2, Mar, 2005.  
 [3] S. R. Tavildar and P.Viswanath, "Approximately universal codes over slow fading channels", IEEE Trans. Inf., vol. 52, no. 7, July, 2006.  
 [4] W. Su and X. Xia, "Signal constellations for quasi-orthogonal space-time block codes with full diversity", IEEE Trans., Inf. Theory, vol. 50, no. 10, pp. 2331-2347, Oct, 2004.