

D-MSSTC-SM 기법에 관한 연구

A Study on D-MSSTC-SM

전찬용*, 이정우*

Chanyong Jeon*, Jeong Woo Lee*

Abstract

We proposed a spatial modulation (SM) scheme to improve spectral efficiency of multi-input multi output (MIMO) systems by using double multi-strata space-time codes (D-MSSTC). For improving the performance of proposed scheme, we allocate transmit power and phase to layers in each MSSTC, and assign rotation angle to SM codebooks. Additionally, we jointly optimize power, phase and rotation angle to maximize the minimum coding gain distance of D-MSSTC-SM. It is observed that the proposed scheme shows better error performance with high spectral efficiency than conventional schemes in simulation results.

요약

본 논문에서는 MIMO 시스템의 스펙트럼 효율 향상을 위해 두 개의 다중 시공간 블록 부호 기반의 공간변조 기법을 제안하였다. 제안된 기법의 성능 향상을 위하여, 각 MSSTC 내부의 계층에 전력과 위상을 할당하고, 공간변조 코드북에 회전각을 할당하였다. 추가로, D-MSSTC-SM 기법의 최소 코딩 이득 거리를 최대화 할 수 있도록 전력과 위상 그리고 회전각을 최적화하였다. 모의 실험 결과, 제안된 D-MSSTC-SM 기법이 높은 스펙트럼 효율을 가지면서 더 좋은 오류 성능을 얻음을 확인하였다.

Key words : SM, MSSTC, MIMO, Spectral Efficiency, OSTBC

* Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

★ Corresponding author

e-mail: jwlee2@cau.ac.kr tel: 02-820-5734

※ Acknowledgment

This work was supported by the Basic Science Research Program through the NRF funded by the MoE (NRF-2016R1D1A1B03933174), and by the MSIP, Korea, under the ITRC support Program supervised by the IITP (IITP-2016- H8501-16-1007).

Manuscript received Mar.28, 2017; accepted Mar.30, 2017

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

공간 변조 기법 (SM) [1]은 MIMO 시스템 환경에서 데이터 전송 시 다수의 안테나 중 하나를 선택하여 전송하는 방식으로, 수신단에서 선택된 안테나와 데이터를 복호해 냄으로써 선택된 안테나 정보 만큼의 추가적인 스펙트럼 효율을 얻을 수 있는 기법이다. 하지만, 여러 개의 전송 안테나 중에서 단 하나의 안테나만을 사용하므로 전송 다이버시티 이득을 얻을 수 없다. 이에, 여러 개의 안테나중 하나가 아닌 다수를 선택하여 보내는 다양한 SM 기법들이 제안되었다 [2, 3, 4]. 본 논문에서는 기존의 SM 기법들보다 더 높은 스펙트럼 효율을 향상 시키기 위해, 두 개의 MSSTC [3]를

이용한 SM기법을 제안하였다. 제안된 기법의 성능 향상을 위해 각 MSSTC 내부의 계층에 전력과 위상 그리고 코드북 회전각을 할당하였으며, D-MSSTC-SM 기법의 코딩 이득 거리가 최대화 되도록 최적화 하였다. 모의실험 결과, 제안된 D-MSSTC-SM 기법이 다른 기법에 비해 높은 스펙트럼 효율과 더 좋은 오류 성능을 얻음을 확인하였다.

II. 본론

1. 시스템 모델

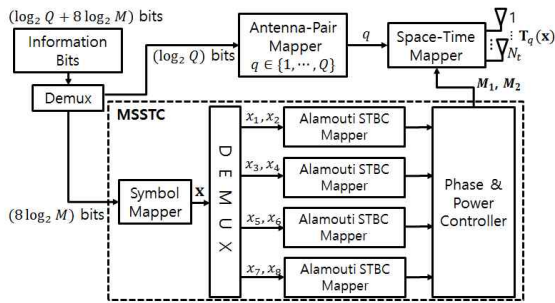


Fig. 1. The transmitter of the proposed D-MSSTC-SM scheme.

그림 1. 제안된 D-MSSTC-SM 기법의 송신단 모델

본 논문에서는 $4 \times N_r$ MIMO 시스템 환경을 가정한다. 그림 1은 제안된 D-MSSTC-SM 기법의 송신단을 나타내며, $\log_2 Q$ 개의 정보 비트는 두 개의 MSSTC가 각각 전송 하게 될, 두 쌍의 안테라 선택하는데 사용되고, 나머지 $8 \log_2 M$ 개의 정보 비트는 두 개의 MSSTC 코드워드를 구성하여 두 시간 슬롯 동안 전송되는데 사용된다. 여기서 Q 는 D-MSSTC-SM 코드북의 개수, M 은 두 개의 MSSTC를 형성시 사용되는 8개의 심볼의 변조차수를 의미한다. 이를 이용하여, 송신단에서는 $\log_2 Q + 8 \log_2 M$ 정보 비트를 D-MSSTC-SM 코드북에 맵핑하여 신호를 전송하게 되며, 이 때의 D-MSSTC-SM 코드북은 다음과 같다.

$$T_1(x) = [M_{11} M_{12} M_{21} M_{22}]^T \quad T_2(x) = [M_{21} M_{11} M_{12} M_{22}]^T e^{j\alpha_2}$$

$$T_3(x) = [M_{21} M_{22} M_{11} M_{12}]^T e^{j2\alpha_3} \quad T_4(x) = [M_{12} M_{22} M_{21} M_{11}]^T e^{j3\alpha_4}$$

(1)

여기서 α_q 는 q 번째 코드북에 할당된 회전각을 의미하며, M_{li} 는 l 번째 MSSTC 행렬 M_l 의 i 번째 열을 의미하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_1 = [M_{11} M_{12}] = \begin{bmatrix} \sqrt{p}x_1 + \sqrt{1-p}e^{j\theta}x_3 & \sqrt{p}x_2 + \sqrt{1-p}e^{j\theta}x_4 \\ -\sqrt{p}x_2^* + \sqrt{1-p}e^{j\theta}x_4^* & \sqrt{p}x_1^* - \sqrt{1-p}e^{j\theta}x_3^* \end{bmatrix}$$

$$M_2 = [M_{21} M_{22}] = \begin{bmatrix} \sqrt{p}x_5 + \sqrt{1-p}e^{j\theta}x_7 & \sqrt{p}x_6 + \sqrt{1-p}e^{j\theta}x_8 \\ -\sqrt{p}x_6^* + \sqrt{1-p}e^{j\theta}x_8^* & \sqrt{p}x_5^* - \sqrt{1-p}e^{j\theta}x_7^* \end{bmatrix}$$

(2)

식 (2)에서 p 와 θ 는 각 MSSTC 내부의 심볼에 할당된 전력과 위상을 나타낸다.

이를 이용하여, 송수신 관계식을 나타내면

$$Y = HT_q(x) + N \tag{3}$$

과 같다. 여기서, H 는 $N_r \times 4$ 채널 이득 행렬을 나타내며, N 은 각 원소의 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 $N_r \times 2$ 복소 가우시안 잡음 행렬을 의미한다. 수신된 신호는 Maximum Likelihood (ML) 검출 기법 [5]에 따라 코드북 인덱스와 송신 신호를 검출한다. 이를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$(\hat{q}, \hat{x}) = \min_{q, x} \|Y - HT_q(x)\|_F^2 \tag{4}$$

여기서 \hat{q} 와 \hat{x} 는 각각 검출된 코드북 인덱스와 송신 신호 벡터를 의미한다.

제안된 H-MSSTC-SM의 스펙트럼 효율은 $\frac{1}{2} \log_2 Q + 4 \log_2 M$ 과 같이 표현 가능하며, 이는 SM [1], Space Time Block Coded Spatial Modulation (STBC-SM) [2], MSSTC-SM [3] 그리고 Double space-time transmit diversity with spatial modulation (DSTTD-SM) [4] 보다 더 높은 스펙트럼 효율을 갖는 장점을 가진다. 또한, ML 검출 기법을 위한 비교 복잡도 측면에서도 $2^{2\eta}$ 으로 SM과 STBC-SM기법에 비해서는 높은 편이지만 MSSTC-SM, DSTTD-SM 기법에 비해선 높지 않다. 이에 따라, 상대적으로 제안된 기법이 스펙트럼 효율 뿐만 아니라 복잡도 측면에서도 다른 기법들에 비해 우수함을 알 수 있다.

제안된 기법의 전력과 위상 그리고 회전각을 최적화 하기 위해, 제안된 기법의 최소 코딩 이득 거리 (CGD) [5]를 최대화 하도록 설계 하였다. 우선, 제안된 D-MSSTC-SM 기법의 최소 코딩 이득 거리를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$CGD_{\min} = \min_{\mathbf{q}^{(a)}, \mathbf{q}^{(b)}} \det((T_q(x) - T_q(\hat{x}))^H (T_q(x) - T_q(\hat{x}))) \tag{5}$$

따라서 제안된 D-MSSTC-SM 기법의 최소 코딩 이득 거리를 최대화 하는 최적화 목적함수 식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$(p^{opt}, \theta^{opt}, \alpha_{2,\dots,4}^{opt}) = \max_{p, \theta, \alpha_{2,\dots,4}} CGD_{\min}$$

$$0.5 \leq p < 1, 0 \leq \theta, \alpha_{2,\dots,4} < \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

식 (6)을 이용하여 최적화를 수행하여, 표 1과 같은 D-MSSTC-SM 기법의 최적 파라미터를 구해 낼 수 있다.

Table 1. Optimal parameters of D-MSSTC-SM scheme.

표 1. D-MSSTC-SM 기법의 최적화 파라미터

Modulation	p^{opt}	θ^{opt}	α_2^{opt}	α_3^{opt}	α_4^{opt}	$\max CGD_{\min}$
BPSK	0.509	0.621	1.172	1.570	0.586	3.257
QPSK	0.767	0.350	0.177	1.172	0.597	0.030

2. 모의 실험

모의실험에서는 제안된 기법들의 비트 오류율 성능을 다양한 전송 기법들과 스펙트럼 효율이 5, 9 [bits/s/Hz]인 경우에 대하여 비교하여 보았다. 제안된 기법의 전력 및 위상 그리고 코드북의 회전각은 표 1을 이용하였으며, 동등한 오류율 성능 비교를 위해 각 기법들의 검출 방식은 ML 검출

방식을 사용하였다. 그림 2의 (a)와 (b)는 각각 스펙트럼 효율이 5 [bits/s/Hz] 그리고 9 [bits/s/Hz] 일 때의 bit error rate (BER) 성능을 나타낸다. 보이는 바와 같이, 제안된 기법이 거의 모든 SNR 영역에서 다른 전송 기법들에 비해 뛰어난 성능을 보이며, 높은 스펙트럼 효율일수록 성능이 뛰어난 것을 확인할 수 있다.

III 결론

본 논문에서는 두 개의 다중 시공간 블록 부호 기반의 공간 변조 기법을 이용하여 MIMO 시스템의 스펙트럼 효율 향상 시키고 오류율 성능을 향상 시키도록 하였다. 각 MSSTC 내부의 계층에 전력과 위상을 할당하고, 공간변조 코드북에 회전각을 할당하였으며, D-MSSTC-SM 기법의 최소 코딩 이득 거리를 최대화할 수 있도록 각 D-MSSTC-SM 기법의 파라미터를 최적화하였다. 모의 실험 결과, 제안된 D-MSSTC-SM 기법이 다른 전송 기법들에 비해 우수한 오류율 성능과 높은 스펙트럼 효율을 가짐을 확인하였다.

References

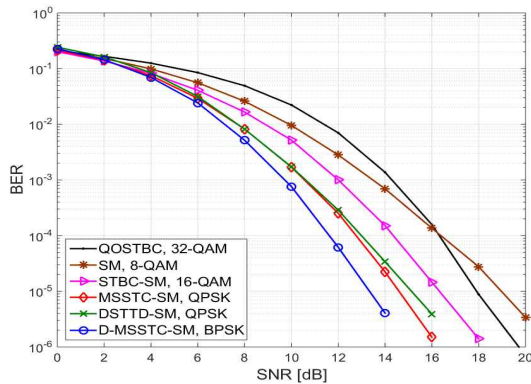
[1] R. Mesleh, H. Haas, S. Sinanovic, et al., "Spatial modulation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vo. 57, no. 4, pp. 2228-2241, July 2008. DOI : 10.1109/TVT.2007.912136

[2] E. Basar, Ü. Aygölü E. Panayirci, and H. V. Poor, "Space-time block coded spatial modulation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 3, pp.823-832, Mar. 2011. DOI : 10.1109/TCOMM.2011.121410.100149

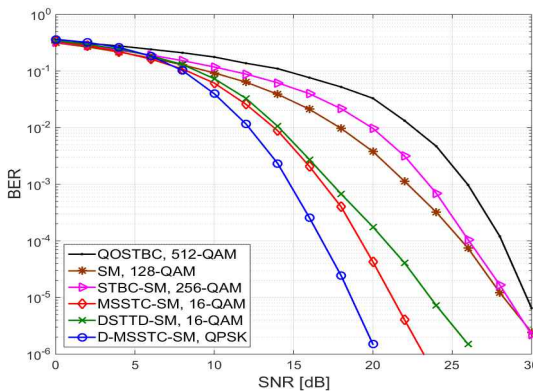
[3] C. Jeon and J. W. Lee "Multi-Strata Space-Time coded Spatial Modulation," *IEEE Commun. letters*, vo. 19, no. 11, pp. 1945-1948, Nov. 2015. DOI: 10.1109/LCOMM.2015.2472397

[4] M. C. Park, B. G. Joo and D. S. Han, "Double space-time transmit diversity with spatial modulation" *IEEE Electron. Lett.*, vol. 51, no. 25, pp. 2155-2156, 2015. DOI: 10.1049/el.2015.2240

[5] H. Jafarkhani, *Space-Time Coding, Theory and Practice.*, NY, USA: Cambridge Univ. Press, 2005.



(a) $\eta = 5$ [bits/s/Hz]



(b) $\eta = 9$ [bits/s/Hz]

Fig. 2. BER performances of various transmission schemes. 그림 2. 다양한 전송 기법들의 BER 성능