

# D-MSSTC를 이용한 MIMO-ARQ에 관한 연구

## A Study on MIMO-ARQ Scheme Using D-MSSTC

전찬용\*, 이정우\*

Chanyong Jeon\*, Jeong Woo Lee\*

### Abstract

We proposed a multi-input multi-output automatic repeat request (MIMO-ARQ) scheme using double multi-strata space-time code (D-MSSTC) for high spectral efficiency in  $4 \times N_r$  MIMO systems. To improve error performance of the proposed scheme, we allocate power and phase to each layer of MSSTC over every transmission. Additionally, we suboptimally optimize power allocation to maximize the minimum coding gain distance of D-MSSTC and phase allocation to efficiently minimize inter-layer interference in MSSTC. In simulation results, it is observed that the proposed MIMO-ARQ scheme based on D-MSSTC shows better block error rate (BLER) performance than conventional schemes.

### 요약

본 논문에서는  $4 \times N_r$  MIMO 시스템에서 높은 스펙트럼 효율을 갖기 위해 D-MSSTC를 이용한 MIMO-ARQ 기법을 제안하였다. 제안된 기법의 오류 성능 향상을 위해, 매 전송 시 마다 MSSTC의 각 계층에 전력과 위상을 할당하였다. 추가로, 할당된 전력은 D-MSSTC의 최소 코딩 이득 거리가 최대화가 되도록 그리고 할당된 위상은 계층 간의 간섭이 효율적으로 최소화 되도록 최적화를 수행하였다. 모의 실험 결과, 제안된 D-MSSTC 기반의 MIMO-ARQ 기법이 다른 기법들에 비해 우수한 성능을 얻음을 확인하였다.

*Key words* : MSSTC, MIMO, ARQ, OSTBC, CRC

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

★ Corresponding author jwlee2@cau.ac.kr, 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

최근 들어 통신 시스템 환경의 스펙트럼 효율뿐만 아니라 시스템의 신뢰도 향상에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 그의 일환으로 수신단에서 전송 신호에 오류가 검출될 시, 데이터를 재전송함으로써 통신 시스템의 신뢰도를 향상 시키는 ARQ 기법에 관한 연구가 진행 중에 있다 [1][2]. 본 논문에서는 기존의 MIMO-ARQ 환경에서 통신 스펙트럼 효율을 높이고 아울러 낮은 오류율을 동시에 만족함으로써 높은 신뢰도를 갖게 하는 D-MSSTC 기반의 MIMO-ARQ 기법을 제안하였다. 제안된 기법의

성능 향상을 위해 MSSTC [3]의 각 계층에 전력과 위상을 할당하였으며, 이를 최적화 하였다.

모의 실험 결과, 제안된 D-MSSTC 기반의 MIMO-ARQ 기법이 다른 기법에 비해 우수한 BLER 성능을 얻음을 확인하였다.

## II. 본론

### 1. 시스템 모델

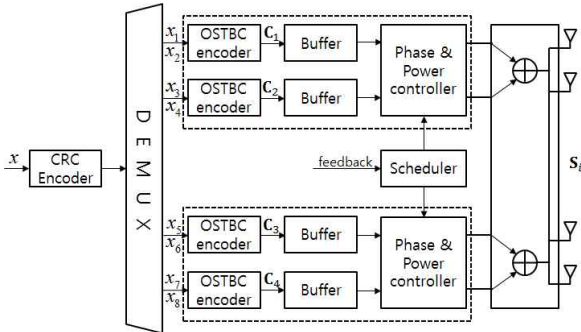


Fig. 1. The transmitter of the proposed D-MSSTC MIMO-ARQ scheme.

그림 1. 제안된 D-MSSTC MIMO-ARQ 기법의 송신단 모델

본 논문에서는  $4 \times N_r$  MIMO-ARQ 시스템을 가정하며, 그림 1은 제안된 D-MSSTC MIMO-ARQ의 시스템의 송신단 모델을 나타낸다. 정보 비트는 Cyclic Redundancy Check (CRC) 인코딩을 한 후, 여덟 개의 심볼로 분리된다. 분리된 여덟 개의 심볼은 두 개씩 묶여 총 네 개의 Orthogonal Space Time Block Code (OSTBC),  $C_l$  ( $l = 1, \dots, 4$ )을 구성한다. 네 개의 OSTBC는 두 개씩 묶여 MSSTC [3]를 구성하고, 구성된 두 개의 MSSTC는 다시 D-MSSTC를 구성하여 안테나에 할당되어 전송된다. 이를 통해 전송되는  $i$ 번째 전송 시의 D-MSSTC를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$\mathbf{S}_i = \begin{bmatrix} \sqrt{p_{1,i}} C_1 + \sqrt{p_{2,i}} e^{j\theta_{2,i}} C_2 \\ \sqrt{p_{3,i}} C_3 + \sqrt{p_{4,i}} e^{j\theta_{4,i}} C_4 \end{bmatrix}, \quad i = 1, \dots, 4 \quad (1)$$

여기서  $\sqrt{p_{1,i}} C_1$ ,  $\sqrt{p_{2,i}} e^{j\theta_{2,i}} C_2$ ,  $\sqrt{p_{3,i}} C_3$ ,  $\sqrt{p_{4,i}} e^{j\theta_{4,i}} C_4$ 는 MSSTC의 각 계층을 의미하며,  $p_{l,i}$ 와  $\theta_{l,i}$  ( $l = 1, \dots, 4$ )는  $i$ 번째 전송 시 MSSTC 내부의 각 계층에 할당된 전력과 위상을 나타낸다. 본 논문에서는 위상의 경우, 초기전송 시에는  $\theta_2 = \theta_4 = \pi/2$ 를 할당하며, 이후 전송 시에는

MSSTC 내부의 계층 간의 간섭의 영향을 효율적으로 최소화 하기 위해 피드백 받은 간섭의 신호의 부호에 따라 적응적으로 간섭의 신호가 음수일 경우엔  $\pi/2$ , 양수일 경우엔  $-\pi/2$ 를 할당한다 [4]. 전력 할당의 경우 초기 전송 시에 D-MSSTC의 최소 코딩 이득 거리를 최대화 할 수 있도록 하며, 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$(p_{1,1}^{opt}, p_{2,1}^{opt}) = \underset{p_{1,1}, p_{2,1}}{\operatorname{argmax}} \min_{S_1(x) \neq S_1(\hat{x})} \det(\Delta^H \Delta) \quad (2)$$

$$0.5 \leq p_{1,1}, p_{2,1} < 1$$

여기서 D-MSSTC의 코드워드 사이의 거리를 의미하는  $\Delta = S_1(x) - S_1(\hat{x})$ 이다. 이를 통해 표 1과 같이 초기 전송 시의 최적 전력할당 비율을 얻어 낼 수 있다.

Table 1. The transmit power allocation ratio of D-MSSTC MIMO-ARQ at first transmission round.

표 1. D-MSSTC MIMO-ARQ 기법의 최적 초기 전력 할당 비율

Modulation	$p_{1,1}^{opt}$	$p_{2,1}^{opt}$	$\max CGD_{\min}$
BPSK	0.5	0.5	4.00
QPSK	0.8	0.8	0.16

두 번째 전송 부터는 MSSTC의 각 계층의 전력이 1:1이 될 수 있도록  $p_{1,2} = 1 - p_{1,1}^{opt}$ ,  $p_{2,2} = 1 - p_{2,1}^{opt}$ 로 할당하며, 이후 전송 부터는  $p_{1,i} : p_{2,i} : p_{3,i} : p_{4,i} = 1 : 1 : 1 : 1$ 로 전력할당을 수행한다. 이를 바탕으로 구성된 D-MSSTC는 송신 안테나를 통하여 전송되며, 수신단에서  $i$ 번째 수신된 신호  $\mathbf{Y}_i$ 는 다음과 같다.

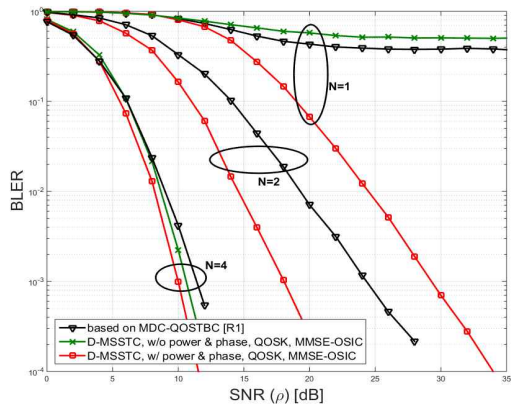
$$\mathbf{Y}_i = \mathbf{H}_i \mathbf{S}_i + \mathbf{N}_i, \quad (3)$$

여기서  $\mathbf{H}_i$ 는  $i$ 번째 전송 시의 채널 이득 행렬을 나타내며 매 전송마다 채널 이득은 독립적으로 변한다고 가정한다.  $\mathbf{N}_i$ 은  $i$ 번째 전송 시, 각 원소의 평균이 0이고 분산이  $\sigma^2$ 인 복소 가우시안 잡음 행렬을 의미한다. 수신된 신호는 [4]에서와 같이, real-valued representation를 수행한 후, MIMO-MRC를 통하여 이전에 수신된 신호와 결합한다. 그리고 각 계층의 수신 SNR 크기에 따라 계층별로 선형복호를 통해 검출을 한다. 이 때 본 논문에서는 선형복호를 위해 minimum mean squared error-ordered successive interference cancelation (MMSE-OSIC) 기법을 이용하여 검출한다. 모든 계층의 검출이 끝난 이후에는 CRC

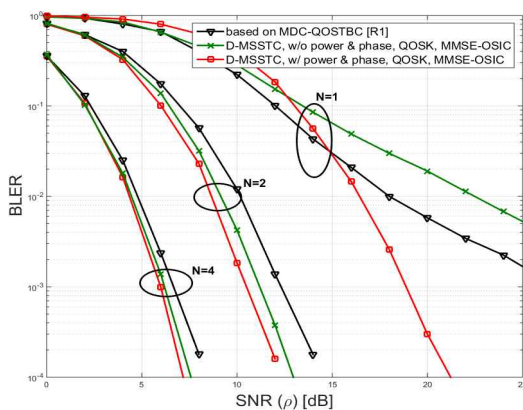
체크를 통하여 오류가 발생 시 재전송을 요청하여 송신단에서 재전송 될 수 있도록 한다.

### 2. 모의 실험

모의실험에서는 수신단의 안테나 개수가 2개, 4개인 MIMO 시스템을 가정하여 수행하였다. 정보비트를 통해 생성된 심볼의 변조 차수로는 QPSK를 사용하였으며, CRC 생성다항식은 ANSI CRC  $g(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ 를 사용하였다. 비교 대상으로는 Minimum-Decoding-Complexity Quasi Orthogonal Space-Time Block Code (MDC-QOSTBC) [5]와 제안된 기법에서 전력과 위상을 할당하지 않았을 때의 BLER을 함께 비교하였다.



(a)  $N_r = 2$



(b)  $N_r = 4$

Fig. 2. BLER performance of various forms of MIMO-ARQ schemes

그림 2. 다양한 MIMO-ARQ 기법의 BLER 성능

그림 2의 (a)와 (b)는 각각 수신 안테나의 개수가 2개, 4개 일 때의 재전송 시의 BLER 성능 그래프를 보여주며, 재전송함에 따라 제안된 기법의

성능이 큰 폭으로 향상됨을 볼 수 있다.

또한, 다른 기법들에 비해서도 BLER 성능이 뛰어난 것을 확인할 수 있다.

### III 결론

본 논문에서는 D-MSSTC를 이용하여 높은 스펙트럼 효율과 우수한 BLER 성능을 갖는 MIMO-ARQ 기법을 제안하였다. 제안된 기법의 성능 향상을 위하여 전력과 위상을 할당하고 이를 최적화하였다. 모의 실험 결과, 다른 기존의 기법에 비해 우수한 BLER 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다.

### References

[1] S. Lin, D. Costello, and M. Miller, "Automatic-repeat-request error-control schemes," *IEEE Commun. Mag.*, vo. 22, no. 12, pp.5-17, 1984.  
DOI: 10.1109/MCOM.1984.1091865

[2] B. Makki and T. Eriksson, "On the performance of MIMO-ARQ systems with channel state information at the receiver," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 62, no. 5, pp.1588-1603, May 2014.  
DOI : 10.1109/TCOMM.2014.033014.130223

[3] M. Samuel and M. P. Fitz, "Multi-strata codes: space-time block codes with low detection complexity," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 58, no. 4, pp. 1080-1089, Apr. 2010.  
DOI : 10.1109/TCOMM.2010.04.080413

[4] Dongju Ko, Jeong Woo Lee, "Design of MSSTC for MIMO Retransmissions," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Volume 36, Issue 5C, pp.265-275. 2011  
DOI : 10.7840/KICS.2011.36C.5.265

[5] C. Yuen, Y. Wu and S. Sun, "Comparative Study of Open-loop Transmit Diversity Schemes for Four Transmit Antennas in Coded OFDM Systems," *Journal of Communications*, Academy Publisher, Volume. 3, Issue: 4, Sept 2008.  
DOI : 10.1109/VETECF.2007.112