

준직교 사용자 선택기반 다중 사용자 시공간 선 부호 시스템

전성혁, 염정선*, 이재문, 정방철*, 정진곤†,
국방과학연구소, *충남대학교, †중앙대학교

wjstjdgurjun@gmail.com, jsyeom@cnu.ac.kr, xhxhfh@add.re.kr, bcjung@cnu.ac.kr, jgjong@cau.ac.kr

A Multi-User Space-Time Line Code System based on Semi-Orthogonal User Selection

Seong Hyeok Jeon, Jeong Seon Yeom, Jae Moon Lee, Bang Chul Jung, Jjong Jjong

Agency for Defense Development, *Chungnam National University, †Chung-Ang University

요약

본 논문은 준직교 사용자 선택 (Semi-orthogonal User Selection, SUS) 알고리즘을 기반으로 한 다중 사용자 시공간 선 부호(Space-Time Line Codes, STLC) 시스템을 제안한다. 구체적으로 $2M$ 개의 안테나를 갖는 기지국이 두 개의 안테나를 갖는 K 개의 사용자 중 M 개의 사용자를 SUS 알고리즘을 기반으로 선택하고 선택된 사용자들에게 신호의 전송을 위하여 STLC 기술을 적용한다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과는 본 논문에서 제안하는 다중 사용자 STLC 기술의 Sum-Rate 성능이 기존 스케줄링 없는 다중 사용자 STLC의 성능보다 월등히 향상됨을 보인다.

I. 서론

시공간 선 부호 (Space-Time Line Codes, STLC) 기법은 하나의 안테나를 갖는 송신단에서 채널 정보를 이용하여 부호화한 심볼을 두 시간 슬롯 동안 수신단에게 전송한다. 그리고 두 개의 안테나를 갖는 수신단에서 간단한 선형결합을 통해 신호를 복호화를 하여 최적 시공간 다이버시티 이득을 달성할 수 있는 부호화 기법이다 [1]. 최근에는 다중 송신 안테나를 사용하여 zero-forcing (ZF) 빔포밍을 기반으로 다중 사용자 환경에서의 STLC가 연구되었다 [2]. 하지만 기존 논문에서는 다중 사용자 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 사용자 선택 기법을 고려하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 SUS 알고리즘 기반의 사용자 선택 기법을 적용한 다중 사용자 STLC 기술을 제안한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 다중 사용자 STLC가 동일한 개수의 수신단에게 신호를 전송하는 경우 sum rate 측면에서 기존 다중 사용자 STLC보다 향상된 성능을 보임을 확인할 수 있다.

II. SUS 알고리즘 기반 다중 사용자 시공간 선 부호

본 논문에서는 $2M$ 개의 안테나를 가지는 송신단과 K 개의 수신단이 존재하며, 모든 수신단은 두 개의 수신 안테나를 갖는 시스템을 고려한다. 송신단은 모든 수신단까지의 채널 정보를 파일럿 신호를 통해 알고 있다고 가정한다. 송신단은 ZF 빔포밍을 위해 K 개의 수신단 중 M 개를 SUS 알고리즘을 기반으로 선택한다. SUS 알고리즘은 수신단의 채널 간의 직교성을 반복적으로 확인하여 수신단을 선택한다 [3]. 구체적으로 i 번째 선택 수신단을 얻기 위해 현재까지 선택된 $i-1$ 개의 수신단들과 준직교성 (semi-orthogonal)을 이루는 선택 수신단 후보 집합 C_i 를 구한다.

$$C_i = \left\{ c \in C_{i-1} \mid \frac{|\mathbf{h}_{j,c} \mathbf{g}_{k,(i-1)}^*|}{\|\mathbf{h}_{j,c}\| \|\mathbf{g}_{k,(i-1)}\|} < \alpha, \frac{|\mathbf{h}_{1,c} \mathbf{h}_{2,c}^*|}{\|\mathbf{h}_{1,c}\| \|\mathbf{h}_{2,c}\|} < \alpha, \forall j, \forall k \right\}, \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{h}_{j,c}$ ($j \in \{1,2\}$)는 송신단으로부터 선택 후보 집합 C_{i-1} 의 c 번째 수신단의 j 번째 안테나까지의 채널이며 $\mathcal{CN}(0,1)$ 의 분포를 따른다고 가정한다. $\mathbf{g}_{k,(i-1)}$ ($k \in \{1,2\}$)은 $\{\mathbf{g}_{1,(i-1)}, \mathbf{g}_{2,(i-1)}, \dots, \mathbf{g}_{i,(i-2)}, \mathbf{g}_{2,(i-2)}\}$ 에 직교하는 $\mathbf{h}_{k,(i-1)}$ 의 성분이다. α 는 준직교 임계치를 의미한다. 그리고 선택 수신단 후보 집합 C_i 에서 가장 큰 채널 이득을 갖는 수신단을 i 번째 선택 수신단으로 선택한다.

$$S_i = \arg \max_{c \in C_i} (\|\mathbf{g}_{1,(i)}\|^2 + \|\mathbf{g}_{2,(i)}\|^2), \quad (2)$$

$$S_i = S_{i-1} \cup S_i, \quad (3)$$

여기서 S_i 는 i 번 반복을 통해서 구한 모든 선택 수신단의 집합을 의미한다.

송신단은 ZF 빔포밍을 위해서 선택된 모든 수신단의 채널로부터 크기 $2M \times 2$ 의 송신 빔포밍 행렬 \mathbf{W}_m ($m \in \{1,2, \dots, M\}$)을 구한다. 그러므로 STLC 부호화를 위한 유효 채널 행렬 \mathbf{G}_m 는 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{G}_m = \mathbf{H}_m \mathbf{W}_m \in \mathbb{C}^{2 \times 2}, \quad (4)$$

여기서 배열 \mathbf{W}_m 의 요소 $g_{j,l,m}$ 은 m 번째 수신단의 l 번째 ($l \in \{1,2\}$) 빔포밍 벡터에 대한 j 번째 안테나의 유효 채널이다. 유효 채널을 기반으로 m 번째 수신단의 l 번째 빔포밍 벡터에 대한 STLC 신호는 다음과 같이 부호화된다.

$$\begin{aligned} s_{1,l,m} &= g_{1,l,m} x_{1,m} + g_{2,l,m} x_{2,m}, \\ s_{2,l,m} &= g_{2,l,m} x_{1,m} - g_{1,l,m} x_{2,m}, \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $s_{i,l,m}$ 은 t 번째 시간 슬롯에 전송되는 STLC 신호이다. 그러므로 m 번째 수신단이 수신하는 신호는 다음과 같다.

$$\mathbf{y}_m = \begin{bmatrix} y_{1,1,m} & y_{1,2,m} \\ y_{2,1,m} & y_{2,2,m} \end{bmatrix} = \mathbf{H}_m \sum_{m \in S_M} \eta_m \mathbf{W}_m \begin{bmatrix} s_{1,1,m} & s_{1,2,m} \\ s_{2,1,m} & s_{2,2,m} \end{bmatrix} + \mathbf{z}_m, \quad (6)$$

여기서 η_m 은 전력할당 계수로써 water-filling 전력할당 알고리즘으로 최적화된다 [2]. \mathbf{z}_m 은 가우시안 잡음으로 각 요소는 $\mathcal{CN}(0, N_0)$ 의 분포를 따른다. 수신단은 복호화를 위해 수신된 신호를 다음과 같이 선형결합한 후 신호를 검파한다.

$$\begin{aligned} y_{1,1,m} + y_{2,2,m}^* &= \eta_m \gamma_m x_{1,m} + \tilde{z}_{1,m}, \\ y_{2,1,m} - y_{1,2,m} &= \eta_m \gamma_m x_{2,m} + \tilde{z}_{2,m}, \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $\gamma_m = \sum_{l \in \{1,2\}} (|g_{1,l,m}|^2 + |g_{2,l,m}|^2)$ 이고 $\tilde{z}_{1,m}$ 과 $\tilde{z}_{2,m}$ 은 $\mathcal{CN}(0, 2N_0)$ 의 분포를 따른다.

III. 모의실험 결과 및 결론

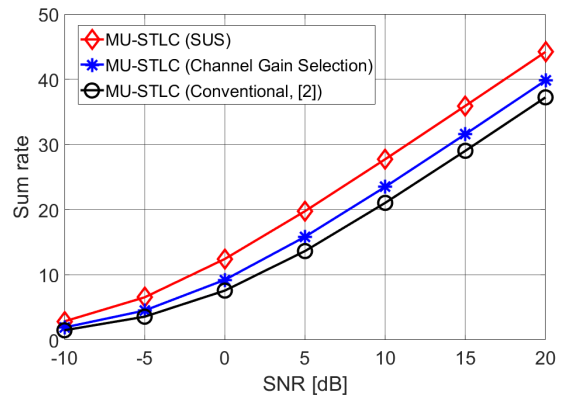


그림 1 제안하는 다중 사용자 STLC의 시스템 총 전송률

그림 1은 $M=5$ 일 때, $K=40$ 인 경우에 대한 제안하는 MU(multi-user)-STLC와 최대 채널 이득 기반 사용자 선택 MU-STLC 및 $K=5$ 인 경우에 기존 MU-STLC [2]의 시스템 총 전송률의 시뮬레이션 결과이다. 준직교 임계치 α 는 0.7로 설정하였다. 스케줄링 이득으로 인해 사용자 선택 MU-STLC는 기존 MU-STLC보다 더 좋은 성능을 보인다. 또한, SUS는 준직교한 채널을 갖는 사용자들을 선택하였으므로 ZF 빔포밍을 사용하는 경우에 최대 채널 이득 기반 사용자 선택 기법의 결과보다 더 좋은 성능을 보인다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2019R1F1A1061023).

참고문헌

- [1] J. Jjong, "Space-time line code," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 1023-1041, Feb. 2018.
- [2] J. Jjong and E.-R. Jeong, "Multiuser space-time line code with optimal and suboptimal power allocation methods," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 51766-51775, Oct. 2018.
- [3] T. Yoo and A. Goldsmith, "On the optimality of multiantenna broadcast scheduling using zero-forcing beamforming," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 528-541, Mar. 2006.