

하향링크 물리계층보안 향상을 위한 의사-무작위 빔포밍 기법

손웅, 정방철

충남대학교 전자공학과

woongson@cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr

1. 서론

최근 무선 통신에서의 물리계층 보안이 중요한 성능 지표가 되었고, 이를 향상시키기 위한 다중 사용자 스케줄링 기법이 셀룰라 상향링크에서 제안되었다 [1][2]. 한편, 하향링크 셀룰라 네트워크에서 무작위 빔포밍과 기회적 스케줄링 방식을 결합하여 보안전송률을 향상시키는 기법이 제안되었다 [3]. 본 논문에서는 하향링크 셀룰라 네트워크에서 다중 빔행렬 선택 기법[4]을 이용하여 셀룰라 하향링크에서 물리계층보안 성능이 향상될 수 있음을 모의실험을 통해 검증한다.

2. 다중 빔 행렬기반 의사-무작위 빔포밍 기법

본 논문은 N_t 개 안테나를 장착한 기지국과 N_{MS} 개의 단일안테나를 장착한 공인단말들과 N_E 개의 도청단말들이 존재하는 하향링크 네트워크를 고려한다. 기지국에서는 M 개의 빔행렬 후보들 $\mathbf{v}^{[1]}, \dots, \mathbf{v}^{[M]}$ 를 미리 생성하고 공인단말들과 공유한다고 가정한다. $m \in \{1, \dots, M\}$ 번째 빔행렬은 $\mathbf{v}^{[m]} = [\mathbf{v}^{[m,1]}, \dots, \mathbf{v}^{[m,B]}] \in \mathbb{C}^{N_t \times B}$ 이며 $B (\leq N_t)$ 개의 직교빔들로 구성된다. 이때 $b \in \{1, \dots, B\}$ 번째 직교빔은 $\mathbf{v}^{[m,b]} \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$ 이다. 따라서 $i \in \{1, \dots, N_{MS}\}$ 번째 공인단말과 $j \in \{1, \dots, N_E\}$ 번째 도청단말에서의 수신신호는 다음과 같다.

$$y_{MS,i}^{[m,b]} = (\mathbf{h}_{MS,i})^T \mathbf{v}^{[m,b]} x_b + \sum_{l=1, l \neq b}^B (\mathbf{h}_{MS,i})^T \mathbf{v}^{[m,l]} x_l + n_{MS,i}, \quad (1)$$

$$y_{E,j}^{[m,b]} = (\mathbf{h}_{E,j})^T \mathbf{v}^{[m,b]} x_b + \sum_{l=1, l \neq b}^B (\mathbf{h}_{E,j})^T \mathbf{v}^{[m,l]} x_l + n_{E,j}, \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{h}_{MS,i}, \mathbf{h}_{E,j} \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$ 는 기지국으로부터 i 번째 공인단말과 j 번째 도청단말까지의 무선채널 벡터이며 기지국이 알고 있다고 가정한다. 또한 B 개의 공인단말로 동시에 데이터 $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_B]^T \in \mathbb{C}^{B \times 1}$ 를 전송하며, $\mathbb{E}[\|\mathbf{x}\|_2^2] = P$ 의 전력 제한이 존재한다고 가정한다. 또한 $n_{MS,i}, n_{E,j} \in \mathbb{C}$ 는 각각 i 번째 공인단말과 j 번째 도청단말에서의 열잡음으로 평균 0, 분산 N_0 인 복소 가우시안 분포를 따른다고 가정한다.

기지국은 알고 있는 무선채널 벡터를 이용하여 공인단말과 도청단말에서의 MB 개의 빔벡터들에 대한 유효 SINR 값들을 다음과 같이 계산한다.

$$\text{SINR}_{MS,i}^{[m,b]} = \frac{|(\mathbf{h}_{MS,i})^T \mathbf{v}^{[m,b]}|^2}{\sum_{l=1, l \neq b}^B |(\mathbf{h}_{MS,i})^T \mathbf{v}^{[m,l]}|^2 + 1/\rho}, \quad \forall m, \forall b, \quad (3)$$

$$\text{SINR}_{E,j}^{[m,b]} = \frac{|(\mathbf{h}_{E,j})^T \mathbf{v}^{[m,b]}|^2}{\sum_{l=1, l \neq b}^B |(\mathbf{h}_{E,j})^T \mathbf{v}^{[m,l]}|^2 + 1/\rho}, \quad \forall m, \forall b, \quad (4)$$

여기서 $\rho = P/(N_t N_0)$ 이다. 따라서, MB 개의 빔벡터들 중 유효 SINR 값 기반으로 보안전송률을 극대

화하는 최적의 빔행렬을 선택하여 전송한다면 다음과 같은 보안전송률을 달성할 수 있다.

$$R_S = \max_{1 \leq m \leq M} \left[\sum_{b=1}^B \log_2 \left(1 + \max_{1 \leq i \leq N_{MS}} \text{SINR}_{MS,i}^{[m,b]} \right) - \sum_{b=1}^B \log_2 \left(1 + \max_{1 \leq j \leq N_E} \text{SINR}_{E,j}^{[m,b]} \right) \right]^+. \quad (5)$$

3. 시뮬레이션 결과 및 결론

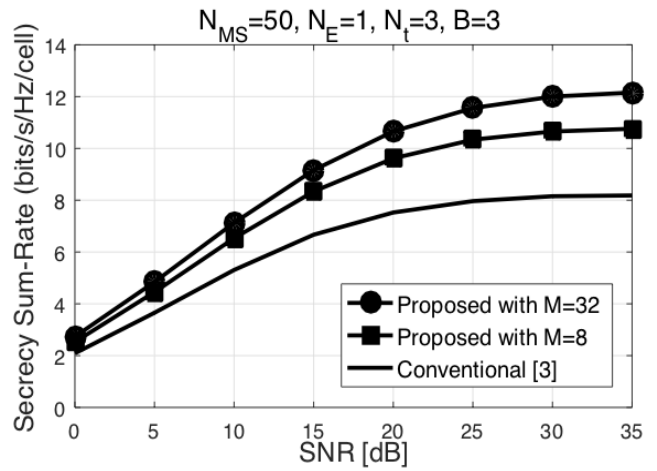


그림 1. SNR 증가에 따른 보안전송률 비교

그림 1은 제안하는 기법의 셀 당 보안전송률을 송신 SNR이 증가함에 따라 보여준다. 송신 빔행렬 후보 수가 증가하면 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 후보 빔포밍 행렬의 수가 증가하면 공인단말에서 기지국으로 전송해야 하는 피드백 오버헤드가 증가한다.

4. ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (MSIP) (NRF-2016R1A2B40148 34).

5. 참고 문헌

- [1] H. Jin, W.-Y. Shin, and B. C. Jung, "On the multi-user diversity with secrecy in uplink wiretap networks," in *Proc. IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 9, pp.1778-1781, Sep. 2013.
- [2] H. Jin, B. C. Jung, and W.-Y. Shin, "On the secrecy capacity of multi-cell uplink networks with opportunistic scheduling," *IEEE ICC*, May 2016.
- [3] I. Krikidis and B. Ottersten, "Secrecy sum-rate for orthogonal random beamforming with opportunistic scheduling," *IEEE Signal Process Lett.*, vol. 20, no. 2, pp. 141-144, Feb. 2013.
- [4] W. Son, B. C. Jung, W.-Y. Shin, and Y. Shin, "Multi-cell pseudo-random beamforming: opportunistic feedback and beam selection," in *Proc. ICTC*, pp. 447-449, Oct. 2017.