

다중 빔 선택을 이용하는 다중 셀 협력 Random Beamforming 기법

손웅, 정방철

충남대학교 전자공학과

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

1. 서론

셀룰러 네트워크에서 셀간 간섭은 주파수 효율성을 증가시키기 위한 가장 큰 과제 중 하나이다. 최근 효과적인 간섭 관리를 위해 사용자 스케줄링 기술과 빔포밍을 결합하는 기술들이 제안되고 있다 [1]. 한편, 다중 셀 하향링크에서 제안된 network-coordinated random beamforming (NC-RBF) 기술은 하향 링크 다중 셀 네트워크에서 사용자의 피드백 오버헤드를 줄이는 효과적인 알고리즘으로 알려져 있다 [2]. 본 논문에서는 기존 단일 셀 RBF 시스템에서 제안되었던 다중 빔 선택 알고리즘 [3]을 NC-RBF 기술에 적용하고 그 성능을 분석한다.

2. 제안하는 다중 빔 선택적 NC-RBF 기술

본 논문에서는 두 개의 셀로 구성된 하향링크 네트워크를 고려한다. 각 셀은 동일한 주파수를 사용하고, 각 셀에는 N_t 개의 안테나를 갖는 기지국과 단일 안테나를 갖는 N 명의 사용자가 존재한다고 가정한다. [3]과 같이 각 기지국에서는 N_t 개의 직교 빔으로 구성된 precoding 행렬을 무작위적으로 M 개 생성한다. 각 사용자에서는 두개 셀에서 생성되는 M 개의 precoding 행렬을 모두 알고 있다고 가정하고, 두 셀에서 자신까지의 무선 채널 벡터도 알고 있다고 가정한다. 따라서, $i(i \in \{1,2\})$ 번째 셀에 있는 $j(j \in \{1, \dots, N\})$ 번째 사용자의 수신신호 y_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$y_{1,j} = (\mathbf{h}_{1,j}^1)^T \mathbf{V}_{1,m} \mathbf{x}_1 + (\mathbf{h}_{1,j}^2)^T \mathbf{V}_{2,m} \mathbf{x}_2 + n_{1,j}, \quad (1)$$

$$y_{2,j} = (\mathbf{h}_{2,j}^2)^T \mathbf{V}_{2,m} \mathbf{x}_2 + (\mathbf{h}_{2,j}^1)^T \mathbf{V}_{1,m} \mathbf{x}_1 + n_{2,j}, \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{h}_{i,j}^k \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$, $\mathbf{V}_{i,m} = [\mathbf{v}_{i,m,1}, \mathbf{v}_{i,m,2}, \dots, \mathbf{v}_{i,m,N_t}] \in \mathbb{C}^{N_t \times N_t}$, $\mathbf{x}_i \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$ 는 각각 k 번째 셀의 기지국에서 i 번째 셀에 있는 j 번째 사용자에게 도달하는 무선 채널벡터, i 번째 셀에서 생성된 m 번째 precoding 행렬, i 번째 셀에서 생성된 송신신호 벡터를 의미한다. 각 셀에서 전송되는 신호벡터의 전력은 P 라 가정한다 ($\|\mathbf{x}_i\|^2 = P$). $n_{i,j}$ 는 i 번째 셀의 j 번째 사용자의 단말기에서 발생한 잡음을 나타낸다 ($n_{i,j} \sim \mathcal{CN}(0, N_0)$). (1), (2)에서는 M 개의 Precoding 행렬 중 m 번째 precoding 행렬이 사용되었다고 가정하였다. 각 사용자에서는 자신이 속한 셀의 기지국으로 $N_t \cdot M$ 개의 SINR 값을 다음 식으로 계산하여 피드백한다.

$$SINR_{i,j}^{b,m} = \frac{|\mathbf{h}_{i,j}^i|^T \mathbf{v}_{i,m,b}|^2}{\sum_{l \neq b} |\mathbf{h}_{i,j}^i|^T \mathbf{v}_{i,m,l}|^2 + \sum_{l=1}^{N_t} |\mathbf{h}_{i,j}^i|^T \mathbf{v}_{k,m,l}|^2 + 1/\rho} \quad (3)$$

여기서 $\rho = P/(N_t \cdot N_0)$ 이다. 기지국에서는 각 사용자의 SINR을 기반으로 m 번째 precoding 행렬에 대한 데이터 전송률은 다음과 같다.

$$R_{i,m} = \sum_{b=1}^{N_t} \log_2 \left(1 + \max_{1 \leq j \leq N} SINR_{i,j}^{b,m} \right) \quad (4)$$

각 셀에서 계산된 전송률은 셀간 정보교환을 통하여 최종적으로 각 셀에서 실제 데이터 전송에 사용할 precoding 행렬을 결정하는데 사용되고 최종적으로 전체 셀의 데이터 전송률은 아래와 같이 주어진다.

$$R_{sum} = \max_{1 \leq m \leq M} \sum_{i=1}^2 R_{i,m} \quad (5)$$

3. 시뮬레이션 결과 및 결론

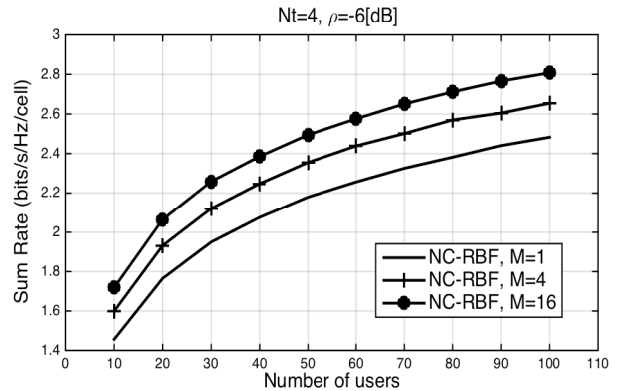


그림 1. 다중빔 기반 NC-RBF 기술의 데이터 전송률

그림 1은 제안한 다중 빔 선택을 이용하는 NC-RBF 기술의 셀 당 데이터 전송률을 셀 내 사용자의 수가 증가함에 따라 보여준다. 기존 기술에 비하여 선택할 수 있는 빔의 개수가 늘어나면서 성능이 증가되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 빔의 개수가 증가하면 사용자들의 피드백 오버헤드가 선형적으로 증가하며 셀간 협력을 위해 필요한 백 홀의 용량도 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. J. Yang, W. -Y. Shin, B. C. Jung, C. Suh, and A. Paulraj, "Opportunistic downlink interference alignment for multi-cell MIMO networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 16, no. 3, pp. 1533-1548, Mar. 2017.
- [2] W. -Y. Shin and B. C. Jung, "Network coordinated opportunistic beamforming in downlink cellular networks," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E95-B, no. 4, pp. 1393-1396, Apr. 2012.
- [3] W. Choi, A. Forenza, J. G. Andrews, and R. W. Heath, Jr., "Opportunistic space division multiple access with beam selection," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 6, no. 12, pp. 2371-2380, Dec. 2007.