

다중 셀 하향링크 셀룰라 네트워크용 이중 Rank 빔행렬 선택기반 의사-무작위 빔포밍 기법

손 웅(충남대학교), 김철영(충남대학교), 정방철(충남대학교)

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

A Pseudo-Random Beamforming Technique with Multiple Beam Matrices of Heterogeneous Rank for Multi-Cell Downlink Cellular Networks

Woong Son (CNU), Choul-Young Kim (CNU), and Bang Chul Jung(CNU)

요약

본 논문은 하향링크 셀룰라 네트워크에서의 기존 다중 빔행렬 선택 기반의 의사-무작위 빔포밍 기법에서 빔 벡터의 수가 다양한 빔행렬 후보를 구성하는 기법을 제안하였다. 컴퓨터 모의실험을 통해 기존 단일 빔수 기반의 의사-무작위 빔포밍 기법과 제안한 기법의 전송률을 비교 분석하였고 제안한 기법의 전송률이 기존 기법에 비하여 더 좋은 전송률을 달성하는 것을 확인하였다.

I. 서론

무선 네트워크에서의 통신기기간의 간섭 문제는 성능 열화의 큰 요인이다. 이러한 간섭 문제를 해결하기 위해 간섭 관리 (interference management) 기법들이 많이 연구되고 있다 [1]. 최근 하향링크 다중셀 네트워크에서의 전송률 (sum-rate)을 극대화하기 위해 다중안테나 기지국에서 의사-무작위 빔행렬 후보들을 생성하고, 그 최적의 빔 행렬을 선택하여 사용하는 의사-무작위 빔포밍 기법 [2]이 제안되었다. 본 논문에서는 기존 기법 [2]에서 빔행렬 후보들을 생성 시 다양한 수의 빔벡터들로 구성하는 기법을 제안한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 기존 기법 [2]과 그 성능을 달성 가능한 네트워크 전송률 (achievable sum-rate) 측면에서 비교 분석하였다.

II. 제안하는 이중 Rank 빔행렬 선택기반 의사-무작위 빔포밍 기법

본 논문은 K -셀 하향링크 셀룰라 네트워크를 고려한다. 각 셀은 N_t 개 안테나를 장착한 기지국과 단일안테나를 장착한 N_{MS} 개의 단말들로 이루어져 있다. 모든 기지국에서는 M 개의 의사-무작위 빔행렬 후보를 생성하여 단말들과 공유한다. $k \in \{1, \dots, K\}$ 번째 기지국에서의 빔행렬 후보들을 $\mathbf{V}_k^{[1]}, \dots, \mathbf{V}_k^{[m]}, \dots, \mathbf{V}_k^{[M]}$ 로 나타낼 수 있으며, $m \in \{1, \dots, M\}$ 은 빔행렬 참조번호이다. 기존 기법 [2]에서는 모든 빔행렬 후보가 N_t 개의 빔벡터들로 구성되지만 본 논문에서 제안하는 기법은 $M/2$ 개의 빔행렬 후보들은 $\mathbf{V}_i^{[m]} = [\mathbf{v}_i^{[m,1]}, \dots, \mathbf{v}_i^{[m,b]}, \dots, \mathbf{v}_i^{[m,N_t]}] \in \mathbb{C}^{N_t \times N_t}$ 이며, $M/2$ 개의 빔행렬 후보들은 $\mathbf{V}_i^{[m]} = [\mathbf{v}_i^{[m,1]}, \dots, \mathbf{v}_i^{[m,b]}, \dots, \mathbf{v}_i^{[m,(N_t/2)}] \in \mathbb{C}^{N_t \times (N_t/2)}$ 이다. 이때, $b \in \{1, \dots, B\}$ 번째 빔벡터는 $\mathbf{v}_i^{[m,b]} \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$ 이다. k 번째 기지국으로부터 $i \in \{1, \dots, K\}$ 번째 셀의 $j \in \{1, \dots, N_{MS}\}$ 번째 단말까지의 무선채널 벡터는 $\mathbf{h}_{i,j}^{[k]} \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$ 이다. 채널들은 서로 독립적이고 균등 분포 (i.i.d.)이기 때문에 단위 프레임동안 변하지 않는다고 가정한다. 또한 거리에 따른 감쇠는 고려하지 않는다고 가정한다. 각 셀의 기지국은 최대 $B \subset \{(N_t/2), (N_t)\}$ 개의 단말에게 동시 전송이 가능하며, k 번째 기지국의 데이터신호 벡터는 $\mathbf{x}_k = [x_k^{[1]}, \dots, x_k^{[b]}, \dots, x_k^{[B]}]^T \in \mathbb{C}^{B \times 1}$ 으로 나타낼 수 있다. 이때, 데이터신호에 대한 전력제한을 $\mathbb{E}[\|\mathbf{x}_k\|^2] = P$ 로 가정한다.

위의 시스템 모델에서 k 번째 기지국이 m 번째 빔행렬 후보를 사용하여 데이터신호 벡터 $\mathbf{x}_k$ 를 전송한다면, i 번째 셀의 j 번째 단말에서의 수신신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y_{i,j}^{[m]} = \sum_{b=1}^B (\mathbf{h}_{i,j}^{[i]})^T \mathbf{v}_i^{[m,b]} x_k^{[b]} + \sum_{k \neq i} \sum_{l=1}^K (\mathbf{h}_{i,j}^{[k]})^T \mathbf{v}_k^{[m,l]} x_k^{[l]} + z_{i,j}, \quad (1)$$

이때 우변의 첫 번째 항은 셀내의 빔에 대한 신호들, 두 번째 항은 셀간 간섭 신호들이며 세 번째 항 $z_{i,j}$ 는 단말에서 발생하는 복소가우시안분포의 열잡음으로 $CN(0, N_0)$ 를 따른다고 가정한다.

m 번째 빔행렬 후보의 b 번째 빔벡터를 통해 i 번째 셀의 j 번째 단말로 수신되는 신호의 유효 SINR을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\gamma_{i,j}^{[m,b]} = \frac{|\left(\mathbf{h}_{i,j}^{[i]}\right)^T \mathbf{v}_i^{[m,b]}|^2}{\sum_{l \neq b} \left| \left(\mathbf{h}_{i,j}^{[i]}\right)^T \mathbf{v}_i^{[m,l]} \right|^2 + \sum_{k \neq i} \sum_{l=1}^B \left| \left(\mathbf{h}_{i,j}^{[k]}\right)^T \mathbf{v}_k^{[m,l]} \right|^2 + N_0/P}. \quad (2)$$

단말들은 모든 빔행렬과 빔벡터에 대해 유효 SINR값을 계산하여 대응하는 빔 참조번호와 함께 동일셀 기지국으로 피드백한다. 기지국에서는 단말들의 피드백 정보를 기반으로 모든 빔행렬 후보에 대한 달성가능한 전송률을 다음과 같이 계산하여 망관리기지국으로 피드백한다.

$$R_k^{[m]} = \sum_{b=1}^B \log_2 \left(1 + \max_{1 \leq j \leq N_{MS}} \gamma_{k,j}^{[m,b]} \right), \quad \forall m. \quad (3)$$

기지국들로부터 모든 빔행렬 후보에 대한 달성가능한 전송률을 피드백 받은 망관리기지국에서는 전체 셀에 대한 달성가능한 전송률을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$R_{SUM}^{[m]} = \sum_{k=1}^K R_k^{[m]}, \quad \forall m. \quad (4)$$

이후에 망관리기지국은 모든 빔행렬 후보 M 개 중, 전송률을 극대화할 수 있는 빔행렬 참조번호 $\hat{m}$ 를 결정하여 기지국들에게 피드백한다.

$$\hat{m} = \underset{1 \leq m \leq M}{\operatorname{argmax}} R_{SUM}^{[m]}. \quad (5)$$

최종적으로 얻을 수 있는 극대화된 전체 셀의 전송률은 $R_{SUM}^{[\hat{m}]}$ 이다.

III. 시뮬레이션 결과

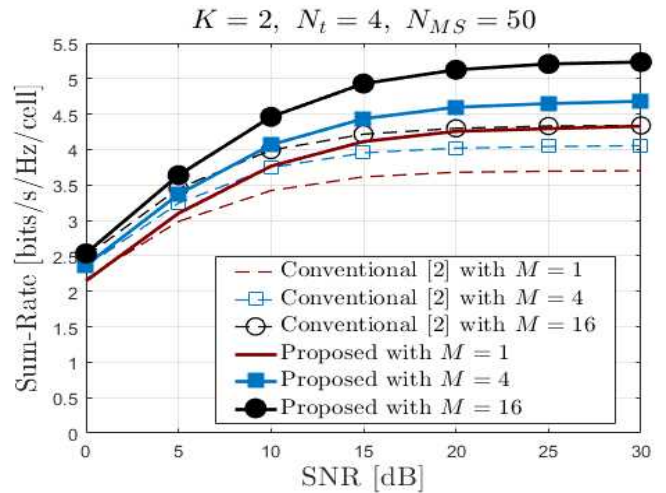


그림 1 제안하는 의사 빔포밍 기법의 네트워크 전송률 성능

그림 1은 기존 기법 [2]과 제안하는 기법의 단위 셀당 달성가능한 전송률을 input SNR이 증가함에 따라 보여준다. SNR이 낮은 경우에는 기존 기법 [2]과 거의 동일하지만, SNR이 높은 경우에는 빔벡터를 더 적게 사용하는 제안하는 기법이 기존의 성능보다 향상됨을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2016년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.NRF-2016R1A2B4014834).

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. on Wireless Commun.*, vol. 16, no. 3, pp. 1533-1548, Mar. 2017.
- [2] 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.