의사-무작위 빔포밍 시스템에서 Receiver Diversity가 Sum-Rate에 미치는 영향

손 웅(충남대학교), 정방철(충남대학교)

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

Effect of Receiver Diversity on Sum-Rate of Pseudo-Random Beamforming Systems

Woong Son(Chungnam National Univ.) and Bang Chul Jung(Chungnam National Univ.)

요 약

본 논문은 MIMO 하향링크 셀룰라 네트워크에서 의사-무작위(pseudo-random) 다중 송신 빔에 대해 사용자들이 minimum mean square error(MMSE) 기반 수신 빔포밍 기법을 사용하였을 때 Sum-rate 성능을 분석한다. 본 논문에서는 특히 기지국들이 다중 빔포밍 행렬을 구성하고 각 빔포밍 행렬 당 Sum-rate을 최대화 하는 사용자를 고른다고 가정했을 때, 가장 높은 다중 셀 Sum-rate을 갖는 빔포밍 행렬을 사용하는 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 수신단 다중 안테나가 Sum-rate 성능을 향상시킴을 보인다.

Ⅰ. 서 론

최근 하향링크 셀룰라 네트워크에서 다중 빔을 이용한 통신 기법이 연구되고 있다. 그 중에서 직교 정규화 무작위 다중 빔과 그에 대한 사용자의 피드백 정보를 기반으로 기지국은 실제 데이터를 수신할 사용자를 선택하여 전송하는 기술이 제안되었다 [1]. 하지만 무작위 빔 생성으로 인해 사용자가 기지국과 각 사용자간 SINR 계산을 위하여 별도의 학습 구간이 필요하여 하향링크 구간에서 실제 데이터 전송 구간의 비율이 줄어드는 단점이 존재한다. 본 논문은 기지국에서 의사-무작위로 생성된 다중 송신 빔을 사용하고 사용자들은 각 빔당 SINR를 최대화하는 수신 빔포밍을 사용하는 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 수신단 안테나가 증가할 때, 각 셀의 Sum-rate이 향상됨을 보인다.

Ⅱ. 수신단 다중안테나 기반 Multi-Cell Random Beamforming 기법

본 논문에서는 다중 셀 하향링크 네트워크를 고려하며, 기지국들은 동일한 주파수 채널을 사용한다고 가정한다. 각 기지국은 N_t개의 송신 안테나를 가지며 N_r개의 수신 안테나를 갖는 U명의 사용자가 존재한다. 기지국에서 사용하는 빔의 수는 $B(B \leq N_t)$이며, 사용자는 기지국과 자신 사이의 무선 채널 행렬을 이미 알고 있다고 가정한다. 기지국이 M개의 의사-무작위 precoding 행렬 중 m번째 precoder를 이용하여 데이터를 전송한다고 가정한다면, $i(i \in (1,2,...,N))$번째 사용자에서의 수신 신호는 다음과 같다.

$$\boldsymbol{y}_{i,m} = (\boldsymbol{H}_i)^T \boldsymbol{V}_m \boldsymbol{x} + \boldsymbol{n}_i \quad (1)$$

여기서 $\boldsymbol{H}_i \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t}$는 기지국에서 i번째 사용자에게 도달하는 무선 채널 행렬, $\boldsymbol{V}_m = [\boldsymbol{v}_{1,m}, \boldsymbol{v}_{2,m}, \cdots, \boldsymbol{v}_{B,m}] \in \mathbb{C}^{N_t \times B}$는 기지국의 의사-무작위 빔으로 구성된 M개의 다중 precoder 중에 $m(m \leq M)$번째 precoder를 의미하며, 각 사용자들은 모든 precoder를 알고 있다고 가정한다. 기지국의 송신 신호 벡터는 $\boldsymbol{x} \in \mathbb{C}^{B \times 1}$이고, 전력은 $P = \|\boldsymbol{x}\|_2^2$라고 가정한다. i번째 사용자 통신 단말 내부의 열잡음은 $\boldsymbol{n}_i \sim CN(0, N_0 \boldsymbol{I}_{N_r})$으로 가정한다. i번째 사용자가 원하는 신호가 m번째 precoder의 b번째 빔을 통하여 전송된다면 i번째 사용자의 등가 무선 채널 벡터는 $\boldsymbol{h}_{i,b,m} = \boldsymbol{H}_i v_{b,m}$라고 할 수 있고, i번째 사용자의 m번째 precoder의 b번째 빔에 대한 간섭 covariance 행렬을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\boldsymbol{R}_{i,b,m} = \mathbb{E}\left[\boldsymbol{y}_{i,m} \boldsymbol{y}_{i,m}^H\right] - \boldsymbol{h}_{i,b,m} \boldsymbol{h}_{i,b,m}^H - N_0 \boldsymbol{I}_{N_r} \quad (2)$$

또한 동일한 빔에 대한 MMSE 기반 수신 빔포밍 벡터는 아래와 같다.

$$\boldsymbol{u}_{i,b,m} = \frac{(N_0 \boldsymbol{I}_{N_r} + \boldsymbol{R}_{i,b,m})^{-1} \boldsymbol{h}_{i,b,m}}{\|(N_0 \boldsymbol{I}_{N_r} + \boldsymbol{R}_{i,b,m})^{-1} \boldsymbol{h}_{i,b,m}\|} \quad (3)$$

여기서 m은 m번째 precoder를 의미하며, $b(b \leq B)$는 b번째 빔을 의미한다. 각 사용자들은 MMSE 기반 수신 빔을 사용하였을 경우의 SINR을 다음과 같이 계산하여 기지국으로 피드백한다.

$$SINR_{i,b,m} = \frac{|(\boldsymbol{u}_{i,b,m})^H \boldsymbol{h}_{i,b,m}|^2}{(\boldsymbol{u}_{i,b,m})^H (N_0 \boldsymbol{I}_{N_r} + \boldsymbol{R}_{i,b,m}) \boldsymbol{u}_{i,b,m}} \quad (4)$$

M개의 precoder 중 예상되는 데이터 전송률이 가장 큰 precoder 행렬을 선택하여 사용할 때, 데이터 전송률을 계산하면 다음과 같다.

$$R_{\sum} = \max_{1 \leq m \leq M} \left[\sum_{b=1}^{B} \log_2 \left(1 + \max_{1 \leq i \leq N} SINR_{i,b,m} \right) \right] \quad (5)$$

Ⅲ. 시뮬레이션 결과 및 분석 결론

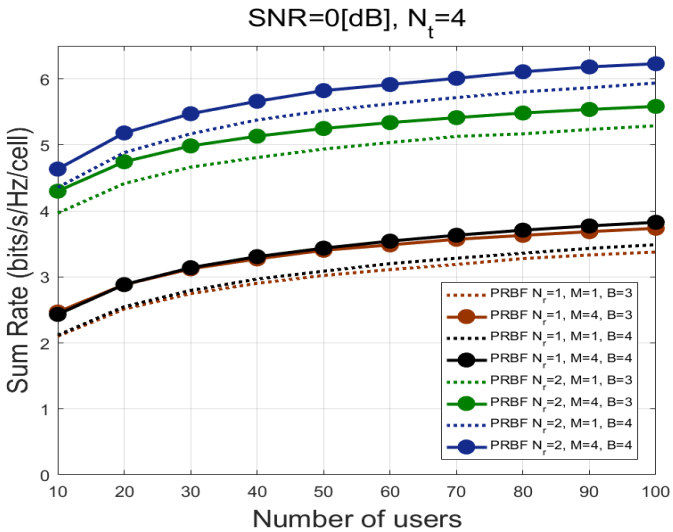

그림 1. 수신 빔포밍 기반 의사-무작위 빔포밍 기법의 데이터 전송률

그림 1은 하향링크 셀룰라 네트워크에서 의사-무작위 다중 송신 빔에 대해 사용자들이 MMSE 기반 수신 빔포밍 기법을 사용하는 제안한 기법의 데이터 전송률을 보여준다. 그림에서 SNR은 P/N_0로 정의된다. 기존 단일 수신 안테나 기반의 의사 무작위 빔포밍 기법에 비하여 다중 수신 안테나를 활용하는 제안한 기법의 데이터 전송률이 훨씬 높다는 것을 확인할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

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-2016R1A2B4014834).

참 고 문 헌

[1] 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.