

다중 빔포밍 행렬 선택기반 다중셀 의사-무작위 빔포밍 기법

손 웅*, 정 방 철°, 장 우 혁*

Multi-Cell Pseudo-Random Beamforming Based on Multiple Beamforming Matrix Selection

Woong Son*, Bang Chul Jung°,
Woohyuk Chang*

요 약

본 논문에서는 다중 셀 하향링크에서 다중 빔포밍 행렬 선택 기반 다중 셀 의사-무작위 빔포밍 기법을 제안한다. 각 기지국은 시간 동기화되어 있다고 가정하고 각 셀의 사용자는 자신이 속한 셀을 포함하여 인접한 기지국들에서 의사-무작위적으로 발생하는 빔포밍 행렬을 알고 있다고 가정한다. 각 사용자는 M 개의 빔포밍 행렬에 대응하는 신호 대 간섭 및 잡음 비를 기지국으로 피드백하고 각 기지국은 각 의사-무작위 빔포밍 행렬에 대하여 최대 전송률을 달성하는 사용자를 선택하고 해당하는 전송률을 기지국 제어기에 전달한다. 기지국 제어기는 M 개의 의사-무작위 빔포밍 행렬 중 전체 네트워크의 전송률 합을 최대화하는 빔포밍 행렬의 인덱스를 각 기지국에 전달한다. 각 기지국은 수신한 인덱스에 해당하는 빔포밍 행렬을 이용하여 데이터를 전송한다. 제안한 다중 빔포밍 행렬 선택기반 의사-무작위 빔포밍 기법은 기존의 기법에 비하여 월등한 전송률을 달성한다.

Key Words : Random beamforming (RBF),
User Scheduling, Backhaul,
Sum-rate, Cellular networks.

ABSTRACT

In this letter, we propose a multi-cell pseudo-

random beamforming (PRBF) technique based on multiple beamforming matrix selection for multi-cell downlink networks. We assume that each base station (BS) is synchronized in time and each user is assumed to know multiple pseudo-random beamforming matrices of BSs. Each user feeds back the SINR of M beamforming matrices and the corresponding BS the optimal users who result in the maximum sum-rate for each beamforming matrix. Then, each BS sends the achievable sum-rates for M beamforming matrices to BS coordinator via wired backhaul link. The BS coordinator sends back the index of the beamforming matrix maximizing the total sum-rate of the total network to BSs. The proposed PRBF technique outperforms the conventional technique in terms of sum-rate.

I. 서 론

셀룰라 네트워크에서 통신 용량 증가를 위하여 셀 간 간섭 및 셀 내 사용자간 간섭을 효과적으로 관리하는 것이 매우 중요하다^[1]. 최근 이런 간섭을 제어하기 위한 송수신 빔포밍 기법과 효과적인 사용자 스케줄링이 함께 연구되고 있다^[2-6]. 이 기술들은 각 셀에서 사용자를 선택할 때, 간섭의 영향을 고려하여 전체 네트워크의 전송률을 증가시키면서도 셀간 협력 또는 정보 교환을 요구하지 않아 복잡도가 낮은 것으로 알려져 있다. 한편, 비교적 적은 사용자가 셀 내에 존재할 경우 사용자 다이버시티의 효과를 증가시키기 위하여 다중 빔포밍 벡터를 사용자에게 알리고 전송률을 최대화 하는 빔포밍 벡터를 선택하는 기법이 제안되었다^[7]. 그러나 이 방법은 다중 빔포밍 벡터를 무작위적으로 만들고 사용자에게 알리기 위하여 training 구간이 필요하여 하향링크 전송률을 줄이는 오버헤드가 생기는 단점이 있다.

본 논문에서는 다중 셀 하향링크에서 의사-무작위(pseudo-random)적으로 생성된 다중 빔포밍 행렬 중 하나를 선택하는 기법을 제안한다. 제안한 기법은 각 셀에서 사용할 빔포밍 행렬에 대한 정보를

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

◆ First Author: Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, woongson@cnu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author: Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, bcjung@cnu.ac.kr, 중신회원

* Agency for Defense Development, whchang@add.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2017-06-170, Received June 11, 2017; Revised July 5, 2017; Accepted July 10, 2017

사용자가 이미 알고 있다고 가정하고 사용자로부터 피드백된 정보를 기반으로 다중 셀 제어가 최종적으로 사용할 빔포밍 행렬을 결정한다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 기법이 기존 기법들에 비하여 더 좋은 성능을 보임을 확인하였다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 셀이 $K(=2)$ 개 존재하고 각 셀은 동일한 주파수를 사용하며, 각 셀에 존재하는 기지국의 송신 안테나의 수는 N_i 개, 사용자는 단일 안테나를 갖는다고 가정한다. N 은 각 셀에 존재하는 사용자 수이며, 각 기지국에서 $B(\leq N_i)$ 명의 사용자에게 동시에 데이터를 전송한다고 가정한다. 각 기지국은 데이터 전송을 위하여 M 개의 의사-무작위 빔포밍 행렬중 하나를 이용하여 데이터를 사용자에게 전송한다.

$\Phi_{i,m} = [\phi_{i,m,1}, \dots, \phi_{i,m,B}] \in \mathcal{C}^{N_i \times B}$ 은 $i \in \{1,2\}$ 번째 기지국의 m ($1 \leq m \leq M$)번째 의사-무작위 빔포밍 행렬을 나타내고 $\phi_{i,m,b} \in \mathcal{C}^{N_i \times 1}$ 은 이 행렬의 b 번째 열, 즉, b 번째 송신 빔포밍 벡터를 의미하고 각 열은 서로 직교하고 정규화되어 있다고 가정한다. 서로 직교하는 빔포밍 벡터의 집합은 무작위적으로 생성된 정방행렬을 singular value decomposition (SVD)한 후 left matrix를 사용하여 생성가능하다. $i \in \{1,2\}$ 번째 셀 내의 $j \in \{1, \dots, N\}$ 번째 사용자의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_{i,j} = \mathbf{h}_{i,j}^i \Phi_{i,m} \mathbf{x}_i + \mathbf{h}_{i,j}^k \Phi_{k,m} \mathbf{x}_k + n_{i,j}, \quad k \neq i \quad (1)$$

(1)에서 $k \in \{1,2\}$ 이고 신호 벡터 $\mathbf{x}_i \in \mathcal{C}^{B \times 1}$ 의 전력은 $P(= \|\mathbf{x}_i\|^2)$ 이다. $\mathbf{h}_{i,j}^l \in \mathcal{C}^{1 \times N_i}$ 은 l 번째 기지국에서 i 번째 셀에 속한 j 번째 사용자로부터의 무선통신 채널 벡터를 나타낸다. $n_{i,j} \sim CN(0, N_0)$ 은 사용자의 잡음을 나타낸다.

III. 제안한 의사-무작위 빔포밍 기법

제안한 의사-무작위 빔포밍 기법은 셀 협력 기반으로 동작하며, 동작 순서는 다음과 같다.

3.1 Reference Signal Broadcast from BSs

각 기지국은 M 개의 precoding 행렬 $\Phi_{i,m}$ 를 의사 무작위로 생성하고 사용자들에게 참조신호를 방송한다.

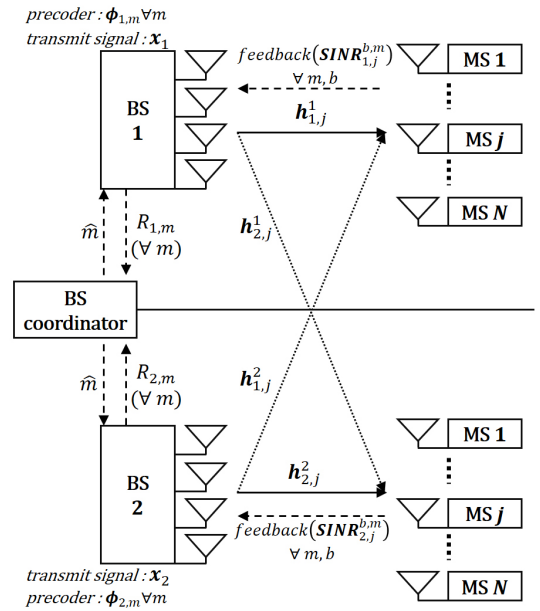


그림 1. 다중셀 하향링크 셀룰라 네트워크의 시스템 모델
Fig. 1. System model in downlink multi-cell cellular network.

3.2 SINR Feedback from Users

각 사용자는 모든 기지국으로부터 수신한 참조 신호와 의사-무작위 빔포밍 행렬 정보를 바탕으로 모든 m 과 b 에 대한 SINR값을 다음 식을 이용하여 계산하고, 모든 m 과 b 에 대한 SINR값을 자신이 속한 기지국으로 피드백한다.

$$SINR_{i,j}^{b,m} = \frac{|\mathbf{h}_{i,j}^i \phi_{i,m,b}|^2}{\sum_{n \neq b} |\mathbf{h}_{i,j}^i \phi_{i,m,n}|^2 + \sum_{n=1}^B |\mathbf{h}_{i,j}^k \phi_{k,m,n}|^2 + 1/\rho}$$

이때 $\rho = P/N_0$ 이다. 각 기지국은 사용자들로부터 피드백 받은 SINR값을 이용하여 모든 m 과 b 에 대하여 최대 SINR값을 갖는 사용자를 선택했을 때 예상되는 데이터 전송률을 계산하고 모든 b 에 대한 데이터 전송률을 더하여 각 m 번째 빔포밍 행렬에 대한 데이터 전송률을 아래와 같이 계산한다.

$$R_{i,m} = \sum_{b=1}^B \log_2 \left(1 + \max_{1 \leq j \leq N} SINR_{i,j}^{b,m} \right) \quad (2)$$

3.3 Transmit Beamforming matrix Selection

각 기지국은 (2)에서 계산한 M 개의 데이터 전송률을 기지국 제어기로 전달하고 기지국 제어기에

서는 각 기지국으로부터 수신한 이 전송물을 이용하여 M 개의 의사-무작위 빔포밍 행렬 중 전체 네트워크의 데이터 전송률을 최대화하는 빔포밍 행렬을 아래 수식을 이용하여 결정한다.

$$\hat{m} = \underset{1 \leq m \leq M}{\operatorname{arg\,max}} \left[\sum_{i=1}^K R_{i,m} \right] \quad (3)$$

결과적으로 (3)에서 결정된 빔포밍 행렬을 이용하여 데이터를 송신하면 전체 네트워크의 데이터 전송률은 아래 식으로 결정된다.

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^K R_{i,\hat{m}} \quad (4)$$

한편, 본 논문은 단일 안테나를 갖는 사용자만을 고려하였으나 추후 사용자에 다중 안테나가 존재하는 환경으로 확장이 가능하다. 이 경우, 송수신단 빔포밍을 협조하여 설계하는 것이 적합할 것으로 판단된다^[6,8].

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 제안한 다중 빔포밍 행렬 선택기반 의사-무작위 빔포밍 기법에 대한 데이터 전송률 성능을 시뮬레이션을 통하여 검증한다. 그림 2는 각 셀의 사용자의 수가 증가함에 따른 제안한 기법의 데이터 전송률을 나타낸다. 그림 2에서 SNR은 10dB이다. 모든 B 에 대해서 M 이 증가함에 따라 데이터 전송률이 높다. 사용자 수가 적을 경우 B 가 1일때의 성능이 가장 높다. 그러나, 사용자의 수가 많아짐에 따라 B 가 2보다 클 때 성능이 B 가 1일때의 성능에 근접한다. B 는 각 셀에서 동시에 전송되는 공간영역에서 다중화 이득을 의미한다. B 가 커지면 공간 다중화 이득은 높아지지만 간 빔간의 간섭이 커지므로 최적의 B 값이 사용자, 다중 셀, 송신안테나의 수에 따라 결정된다.

그림 3은 SNR 증가에 따른 제안한 기법의 데이터 전송률의 성능을 나타낸다. 그림 3에서 공간 다중화 이득을 나타내는 B 는 4이고 송신 안테나의 수도 4이다. 예상했듯이, 사용자의 수가 많을수록, M 이 클수록 성능은 향상된다.

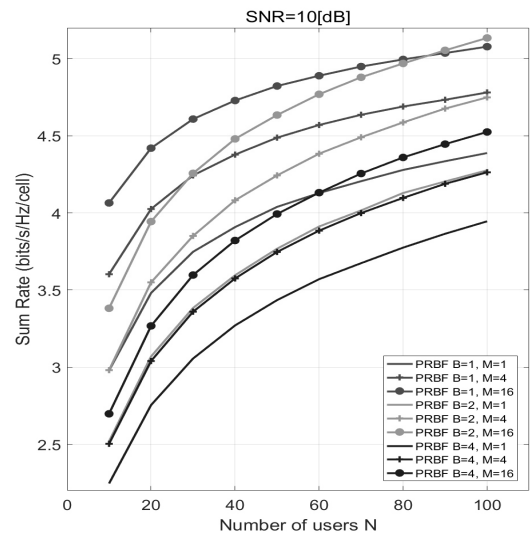


그림 2. 셀 내 사용자 증가에 따른 제안한 기법의 데이터 전송률 성능 ($\rho = 10$ [dB])
Fig. 2. Sum-rate performance of the proposed technique according to the number of users in a cell when $\rho = 10$ [dB].

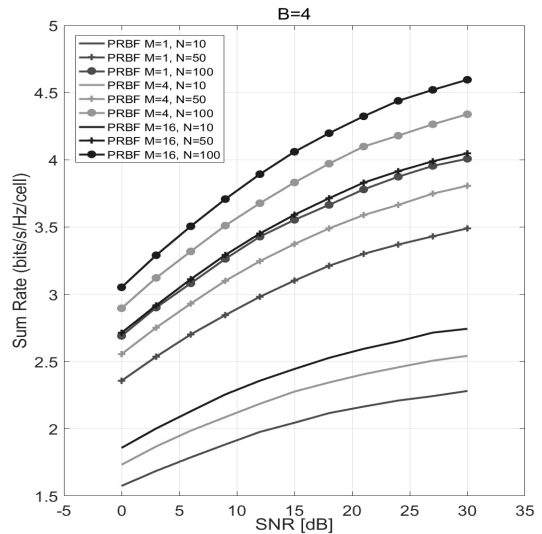


그림 3. SNR 증가에 따른 제안한 기법의 데이터 전송률 성능 ($B = 4$)
Fig. 3. Sum-rate performance of the proposed technique according to SNR when $B = 4$.

V. 결론

본 논문에서는 다중 셀 하향링크용 다중 빔포밍 행렬 선택기반 의사-무작위 빔포밍 기법을 제안했다. 제안하는 기법에서 다중 빔포밍 행렬의 수 M 이 증가함에 따라 데이터 전송률은 향상된다. 그러

나, M 이 증가하면 사용자로부터 피드백되는 신호 채널의 오버헤드와 기지국으로부터 기지국 제어기로 전달되는 백홀의 신호채널의 오버헤드가 증가한다. 향후 M 이 증가하더라도 오버헤드를 효과적으로 줄일 수 있는 기회적 피드백 기법의 연구를 진행할 예정이며 수신단 안테나가 다수 존재하는 상황도 고려할 예정이다.

[8] C. -B. Chae, I. Hwang, R. W. Heath Jr., and V. Tarokh, "Interference aware-coordinated beamforming in a multi-cell system," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 11, no. 10, pp. 3692-3703, Oct. 2012.

References

[1] W. S. Nam, D. W. Bai, J. W. Lee, and I. Y. Kang, "Advanced interference management for 5G cellular networks," *IEEE Commun.*, vol. 52, no. 5, pp. 52-60, May 2014.

[2] B. C. Jung and W. -Y. Shin, "Opportunistic interference alignment for interference-limited cellular TDD uplink," *IEEE Commun.*, vol. 15, no. 2, pp. 148-150, Feb. 2011.

[3] W. -Y. Shin and B. C. Jung, "Network coordinated opportunistic beamforming in downlink cellular networks," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E95-B, no. 4, pp. 1393-1396, Apr. 2012.

[4] H. J. Yang, W. -Y. Shin, B. C. Jung, C. Suh, and A. Paulraj, "Opportunistic interference alignment for MIMO interfering multiple-access channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 5, pp. 2180-2192, May 2013.

[5] 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.

[6] C. -B. Chae, D. Mazzares, N. Jindal, and R. W. Heath Jr., "Coordinated beamforming with limited feedback in the MIMO broadcast channel," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 26, no. 8, pp. 1505-1515, Oct. 2008.

[7] W. Choi, A. Frenza, J. G. Andrews, and R. W. Heath Jr., "Opportunistic space-division multiple access with beam selection," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 55, no. 12, pp. 2371-2380, Dec. 2007.