

# 클라우드 무선 접속 네트워크용 이중 Rank 빔행렬 선택기반 의사-무작위 빔포밍 기법

손 웅\*, 정 방 철°, 김 철 영\*

## A Pseudo-Random Beamforming Technique with Heterogeneous Rank Beamforming Matrices for Cloud Radio Access Networks

Woong Son\*, Bang Chul Jung°,  
 Chul-Young Kim\*

### 요 약

본 논문에서는 다중셀 하향링크 셀룰라 네트워크에서 기존 빔행렬(beamforming matrix) 선택기반 의사-무작위 빔포밍(pseudo-random beamforming, PRBF) 기법에서의 빔벡터(beamforming vector)의 수를 변화시켜 이중 랭크(rank)의 빔행렬 후보 수로 구성하는 기법을 제안한다. 각 기지국에서는 서로 다른 랭크를 가지는 다중 의사-무작위 빔행렬 후보들을 생성하고 셀에 존재하는 단말들은 이 행렬 후보들에 대한 정보를 데이터 전송 전 미리 공유한다. 각 기지국은 단말 기로부터 신호 대 간섭 및 잡음비(signal to interference plus noise ratio, SINR) 및 빔 참조번호(index)에 대한 정보를 수신하고 이를 클라우드 기지국으로 전달한다. 클라우드 기지국은 전체 셀의 전송률(sum-rate)을 극대화할 수 있는 최적의 의사-무작위 빔행렬을 선택하고 각 기지국에 전달한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 높은 SNR 영역에서 제안한 기법이 기존의 기법보다 우수한 전송률을 달성함을 확인하였다.

**Key Words** : Random beamforming (RBF),  
 Beam Selection, Sum-rate,

Cloud Radio Access Networks (C-RAN)

### ABSTRACT

In this letter, we propose a pseudo-random beamforming (PRBF) technique with multiple beam matrices of heterogeneous rank for cloud radio access networks. Before data transmission, each base station (BS) generates pseudo-random beam matrix candidates and each mobile stations (MSs) in the cell is assumed to know the beam matrix candidates. After receiving the reference signal from BSs, MSs calculate effective signal to interference plus noise ratio (SINR) values for each beam, and feedback them and their corresponding beam indices to the BS. Then, each BS hands over the information to the BS coordinator, and the BS coordinator selects the optimal beam matrix which maximizing the achievable sum-rate among beam matrix candidates. Through computer simulations, the proposed technique outperforms the conventional technique in terms of the sum-rate especially for high SNR region.

### I. 서 론

최근 무선 통신에서의 채널용량(channel capacity)을 증가시키기 위한 기법들이 많이 연구되고 있다. 전문가들은 5G 기술에서 셀룰라 네트워크의 기지국 안테나 수가 대폭 증가할 것으로 예상하고 있으며, 다중 안테나를 이용한 빔포밍 기법을 적용할 경우, 발생하는 빔간 간섭 신호의 영향을 줄이기 위한 기법들이 개발되고 있다<sup>1)</sup>. 특히, 하향링크 셀룰라 네트워크에서의 빔포밍 기법과 사용자 스케줄링 기법이 결합된 형태의 다양한 기법들이 개발되고 있는데<sup>2-4)</sup>, 기지국으로부터 방송(broadcast)되는 참조신호(reference signal)를 수신한 단말들에서 피드백(feedback)된 유효 수신 신호 대 간섭 및 잡음비 (signal to interference plus noise ration, SINR) 값을 기반으로

\* 본 논문은 충남대학교 CNU학술연구비의 지원을 받아 작성되었습니다.

• First Author : (ORCID:0000-0001-9332-2102)Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, woongson@cnu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-4485-9592)Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, bcjung@cnu.ac.kr, 종신회원

\* (ORCID:0000-0002-5532-7399)Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, cykim@cnu.ac.kr  
 논문번호 : 201810-295-A-RE, Received September 13, 2018; Revised December 26, 2018; Accepted February 12, 2019

비협력 구조로 동작하는 기지국에서 전송률을 극대화할 수 있는 사용자를 적절한 빔에 할당하여 전송하는 기법들을 제안하였다.

본 논문에서는 기존 다중셀 하향링크 빔행렬 선택 기반 의사-무작위 빔포밍 기법<sup>[5]</sup>에서 빔벡터의 수가 다양한 이종 랭크의 빔행렬 후보를 구성하고, 클라우드 무선접속 네트워크에 적용할 수 있는 기법을 제안한다. 2장은 고려된 클라우드 무선 접속 네트워크의 시스템 모델, 3장은 제안한 기법의 동작절차를 다룬다. 4장은 컴퓨터 모의실험 분석을 다루고, 5장에서 논문의 결론을 다룬다.

## II. 시스템 모델

$N_i$ 개의 다중 안테나 기지국과 단일 안테나 단말  $N_{MS}$ 개가 존재하는  $K$ -셀 하향링크 셀룰라 네트워크를 다룬다. 특히, 각 기지국은 클라우드 기지국에 우선으로 연결되어 있는 클라우드 무선 접속 네트워크를 가정한다. 모든 기지국들은  $M$ 개의 의사-무작위 빔행렬 후보들을 생성하고, 동일 셀 단말들과 빔 정보를 공유한다.  $k \in \{1, \dots, K\}$  셀의 기지국이 사용하는  $M$ 개의 빔행렬 후보들은  $\mathbf{V}_k^{[1]}, \dots, \mathbf{V}_k^{[m]}, \dots, \mathbf{V}_k^{[M]}$ 으로 나타낼 수 있으며,  $m \in \{1, \dots, M\}$ 은 빔행렬 후보의 참조번호를 의미한다. 기존 기법<sup>[5]</sup>은  $M$ 개의 모든 빔행렬 후보들을 구성하는 빔벡터 수는  $N_i$ 개이며,  $m$ 번째 빔행렬은  $\mathbf{V}_i^{[m]} = [\mathbf{v}_i^{[m,1]}, \dots, \mathbf{v}_i^{[m,b]}, \dots, \mathbf{v}_i^{[m,N_i]}] \in \mathbb{C}^{N_i \times N_i}$ 으로 나타낸다. 그러나 본 논문에서 제안하는 이종 랭크의 빔행렬 선택기반 의사-무작위 빔포밍 기법은  $M$ 개의 빔행렬 후보 중,  $M/2$ 개의 빔행렬 후보들은  $N_i/2$ 개의 빔벡터 수로 구성되고, 나머지  $M/2$ 개의 빔행렬 후보들은  $N_i$ 개의 빔벡터 수로 구성된다.  $N_i/2$ 개의 빔벡터들로 구성된 빔행렬 후보 중에서  $m$ 번째 빔행렬은  $\mathbf{V}_i^{[m]} = [\mathbf{v}_i^{[m,1]}, \dots, \mathbf{v}_i^{[m,b]}, \dots, \mathbf{v}_i^{[m,(N_i/2)]}] \in \mathbb{C}^{N_i \times (N_i/2)}$ 로 나타낼 수 있고, 나머지  $M/2$ 개의 빔행렬 후보들은 기존과 동일하게 빔행렬 후보들을 나타낼 수 있다.  $m$ 번째 빔행렬 후보를 이루는  $b \in \{1, \dots, B\}$ 번째 빔벡터는  $\mathbf{v}_i^{[m,b]} \in \mathbb{C}^{N_i \times 1}$ 으로 나타낸다. 기지국은 사용하는 빔행렬의 랭크에 따라 최대  $B \in \{(N_i/2), (N_i)\}$ 개의 단말에게 동시 전송이 가능하다.  $k$ 셀의 기지국의 송신 데이터 신호 벡터는  $\mathbf{x}_k = [x_k^{[1]}, \dots, x_k^{[b]}, \dots, x_k^{[B]}]^T \in \mathbb{C}^{B \times 1}$ ,  $\mathbb{E}[\|\mathbf{x}_k\|^2] = P$ 의 전력 제한을 가정한다.  $k$ 셀의 기지국과  $i \in \{1, \dots, K\}$  셀의  $j \in \{1, \dots, N_{MS}\}$ 번째 단말 사

이의 무선채널 벡터는  $\mathbf{h}_{i,j}^{[k]} \in \mathbb{C}^{N_i \times 1}$ 으로 나타낼 수 있고, 각 성분들은 서로 독립적이고 균등한 분포를 따르며, 거리에 따른 감쇠는 고려하지 않는다.  $k$ 셀의 기지국이  $m$ 번째 빔행렬 후보로 송신 데이터 신호 벡터  $\mathbf{x}_k$ 를 전송할 때,  $i$ 번째 셀의  $j$ 번째 단말에서의 수신 신호를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

이때  $z_{i,j}$ 는  $i$ 셀의  $j$ 번째 단말에서 발생하는 열잡음이며, 복소 가우시안 분포  $(0, N_0)$ 를 따른다고 가정한다.

## III. 이종 랭크 빔행렬 선택기반 의사-무작위 빔포밍

제안한 이종 랭크의 빔행렬 선택기반 의사-무작위 빔포밍 기법의 동작 절차는 다음과 같다.

### 3.1 기지국들로부터의 참조신호 방송

모든 기지국들은  $M$ 개의 의사-무작위 빔행렬 후보들을 생성하여, 동일 셀의 단말들과 공유한다. 이후 기지국으로부터 단말까지의 무선채널 벡터를 얻을 수 있도록 참조신호를 방송한다.

### 3.2 단말에서의 유효 SINR 계산 및 피드백

참조신호를 수신한 각 단말들은  $M$ 개의 빔행렬 후보들을 이루는 빔벡터들에 대한 유효 SINR 값을 계산하여 동일 셀 기지국으로 피드백한다.

$i$ 셀의  $j$ 번째 단말에서  $m$ 번째 빔행렬의  $b$ 번째 빔벡터를 통해 수신되는 신호의 유효 SINR 값을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

### 3.3 기지국에서의 달성가능한 전송률 계산 및 피드백

기지국들은 수신한 유효 SINR 값과 빔 참조번호를 기반으로 빔행렬 후보에 대한 달성가능한 전송률을

다음과 같이 계산하여 망관리기지국으로 피드백한다.

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

### 3.4 클라우드 기지국에서의 최적의 의사-무작위 빔 행렬 선택

클라우드 기지국은 모든 기지국들로부터 수신한 피드백 정보를 기반으로 전체 셀의 대한 달성 가능한 전송률을 다음과 같이 계산할 수 있다.

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

클라우드 기지국은 빔행렬 후보들 중 전체 셀의 전송률을 극대화할 수 있는 최적의 후보  $\hat{m}$ 을 다음과 같이 계산하여 모든 기지국으로 피드백하여 알린다.

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

최종적으로 전체 셀의 전송률은  $R_{SUM}^{[\hat{m}]}$ 이 된다.

## IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 기존 기법<sup>[5]</sup>과 제안하는 기법에 대한 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 그림 1는 셀 수  $K$ 는 2개, 기지국 안테나의 수  $N_t$ 는 4개, 단위 셀에 존재하는 단말 수  $N_{MS}$ 는 50개일 경우, SNR이 증

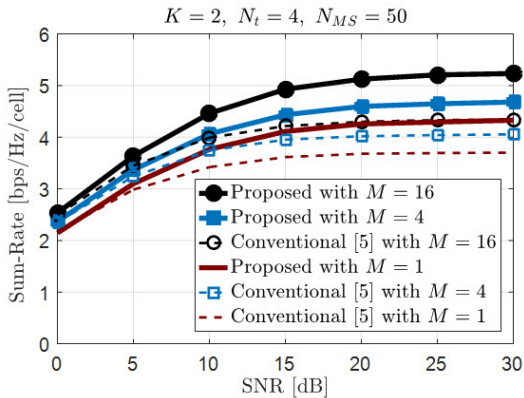


그림 1. SNR에 따른 제안한 기법의 데이터 전송률 성능  
Fig. 1. Sum-rate performance of the proposed technique according to the input SNR.

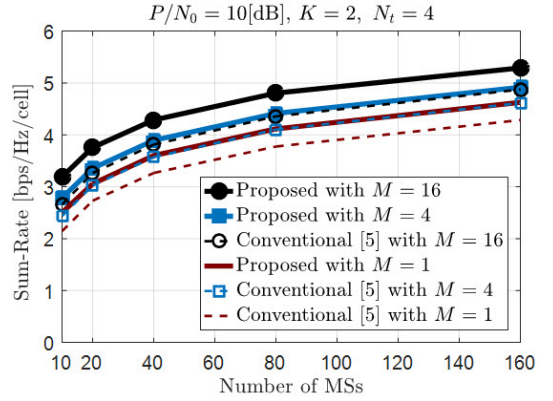


그림 2. 단말 수에 따른 제안한 기법의 데이터 전송률  
Fig. 2. Sum-rate performance of the proposed technique according to the number of MSs in each cell.

가함에 따라, 그림 2는 셀 수  $K$ 는 2개, 기지국 안테나의 수  $N_t$ 는 4개, SNR이 10[dB]일 경우, 단말 수가 증가함에 따라 단위 셀당 전송률을 비교하였다. 빔행렬 후보 수  $M$ 이 증가할수록 전송률이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 낮은 SNR 영역에서는 기존의 기법과 제안한 기법은 전송에서 빔벡터를 기지국 안테나 개수만큼 사용하는 경우가 대부분이기 때문에 전송률이 거의 동일하다. 그러나 높은 SNR 영역에서는 제안한 기법에서는 기존의 기법보다 적은 수의 빔벡터 수를 사용하는 경우가 대부분이기 때문에 평균 빔간 간섭양이 감소하여 기존보다 제안한 기법이 우수함을 확인할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 다중셀 하향링크 클라우드 무선 접속 네트워크에서 기존 제안된 빔행렬 선택기반 의사-무작위 빔포밍 기법에서 빔벡터의 수가 다양한 이중랭크의 빔행렬 후보 선택기반 의사-무작위 빔포밍 기법을 제안하였고, 성능을 비교분석하였다. 기존 기법 [5]과 제안된 기법 모두 빔행렬 후보 수가 증가할수록 전체 셀의 전송률이 향상된다. 그러나 높은 SNR 영역에서는 적은 수의 빔 벡터 수를 사용하는 제안한 기법이 기존 기법보다 전송률이 우수한 것을 확인하였다.

## 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] 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.
- [3] 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. 12, no. 5, pp. 2735-2748, May 2013.
- [4] 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.
- [5] 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.