

다중 사용자 거대 다중 안테나 네트워크에서 안테나 선택 기법의 에너지 효율 분석

정무웅 · 반태원 · 정방철

경상대학교

Energy Efficiency Analysis of Antenna Selection Scheme in a Multi-User Massive MIMO Network

Moo-woong Jeong · Tae-Won Ban · Bang Chul Jung

Gyeongsang National University

E-mail : {mwjeong.win, twban35, bcjung}@gnu.ac.kr

요 약

최근, 폭발적으로 증가하고 있는 모바일 데이터 트래픽을 효과적으로 서비스하기 위한 기술 중 하나로 다중 사용자 거대 다중 안테나 네트워크가 많은 관심을 받고 있다. 다중 사용자 거대 다중 안테나 네트워크는 기지국에 거대한 수의 안테나를 탑재하여 여러 사용자들에게 고속의 데이터를 동시에 전송함으로써 네트워크 용량을 획기적으로 개선할 수 있다. 이러한 거대 다중 안테나 시스템에서는 기지국에서의 계산 복잡도와 비용을 낮추기 위하여 전송 안테나 선택 기법이 활용된다. 본 논문에서는 다중 사용자 거대 다중안테나 네트워크에서 안테나 선택 기법의 에너지 효율성을 분석하고, 에너지 효율성을 최대화할 수 있는 안테나 선택 개수를 분석한다.

ABSTRACT

Recently, a multi-user massive MIMO (MU-Massive MIMO) network has been attracting tremendous interest as one of technologies to accommodate explosively increasing mobile data traffic. The MU-Massive MIMO network can significantly enhance the network capacity because a base station (BS) equipped with large-scale transmit antennas can transmit high-rate data to multiple users simultaneously. In the MU-Massive MIMO network, transmit antenna selection schemes are generally used to decrease the computational complexity and cost of the BS. In this paper, we investigate the energy efficiency of the transmit antenna selection scheme in the MU-Massive MIMO network and the optimal number of selected transmit antennas for maximizing the energy efficiency.

키워드

MU-Massive MIMO, 다중 사용자 다중 안테나 네트워크, 에너지 효율, 안테나 선택

I. 서 론

최근 대용량 멀티미디어 서비스의 확산으로 무선 데이터 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있으며 이러한 증가 추세는 앞으로 더욱 가속화될 것으로 예상된다. 따라서, 이동통신 네트워크 전송 용량을 획기적으로 개선시킬 필요가 있다 [1]. 차세대 이동통신 네트워크의 전송 용량을 획기적으로 개선시키기 위하여 소형 셀 기반 이종 네트워크 기술, 주파수 대역폭의 확장, 그리고 다중 안테나 (Multiple Input Multiple Output: MIMO) 기술 등이

핵심 요소 기술로 고려되고 있다 [2-3]. 특히, 무선 랜과 셀룰러 네트워크에서 이미 상용화된 다중 사용자 다중 안테나 기술에 대한 관심이 높다. 차세대 이동통신 네트워크에서는 기지국에 수백 또는 수천 개의 거대한 수의 안테나를 이용하여 단말과 데이터를 주고받을 수 있는 거대(Massive) MIMO 기술을 요소 기술로 고려하고 있다 [4-5]. 이런 Massive MIMO 네트워크에서는 기지국에서 기하급수적으로 증가하는 하드웨어와 알고리즘 계산 복잡도를 줄이기 위해서 안테나의 수 보다

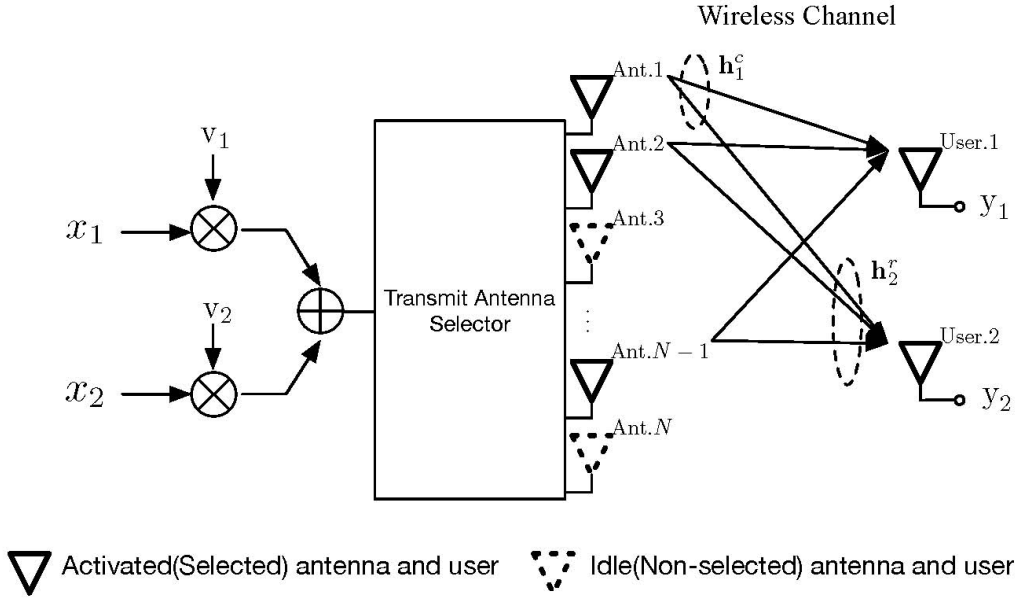


그림 1. 다중 사용자 거대 다중 안테나 네트워크 ($S=3, K=2$)
 Fig. 1 Multi-user massive MIMO Network ($S=3, K=2$)

적은 신호 처리부를 기지국에 구현하고 신호 처리부의 개수만큼의 안테나를 적응적으로 선택하여 활용하는 안테나 선택 기술을 활용할 필요가 있다 [6-7]. 기존의 안테나 선택 기술에 관한 연구들은 데이터 전송 속도의 개선에 집중해서 이루어진 반면, 본 논문에서는 안테나 선택 기술의 에너지 효율성을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 거대 다중 안테나 네트워크를 위한 시스템 모델과 채널 모델에 대해서 설명한다. III장에서는 안테나 선택 기술의 에너지 효율성을 Monte-Carlo 기반 시뮬레이션을 통해서 분석하고 IV장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 및 채널 모델

본 논문에서는 N 개의 송신 안테나를 가지는 기지국이 단일 안테나를 가지는 K 명의 사용자들에게 데이터를 전송할 수 있는 다중 안테나 네트워크 환경을 고려한다. 특히, $N \gg K$ 인 거대 다중 안테나 환경을 고려한다. 기지국은 N 개의 안테나 중에서 S ($K \leq S \leq N$)개의 안테나를 선택하여 데이터를 전송하여야 한다. 그림 1은 $K=2, S=3$ 일 때의 다중 사용자 다중 안테나 네트워크를 예시적으로 나타낸다. 기지국이 i 번째 사용자에게 전송하는 신호를 나타내는 x_i 는 다음 조건을 만족한다.

$$\|x_i\|^2 = p_i, \quad \sum_{i=1}^K p_i = P_A, \quad p_i \times S = P_A \quad (1)$$

여기서 p_i, p_i , 그리고 P_A 는 각각 i 번째 사용자

에게 할당되는 전송 전력과 기지국의 각 전송 안테나의 전송 전력 그리고 기지국의 전체 전송 전력을 각각 나타낸다. 그리고 i 번째 사용자가 수신하는 신호 y_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$y_i = \mathbf{h}_i^r \sum_{k=1}^K \mathbf{v}_k x_k + n_i \quad (2)$$

$$= \mathbf{h}_i^r \mathbf{v}_i x_i + \mathbf{h}_i^r \sum_{k=1, k \neq i}^K \mathbf{v}_k x_k + n_i$$

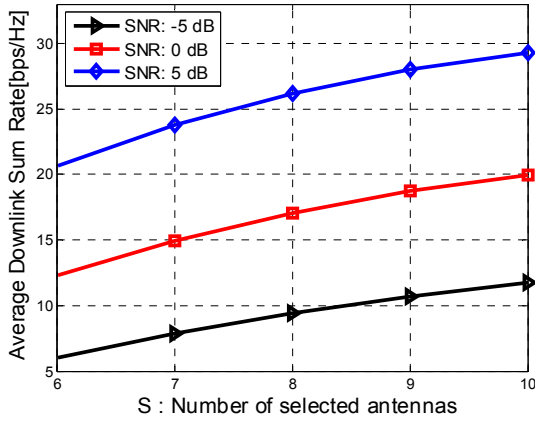
여기서 \mathbf{v}_i 는 i 번째 사용자에게 전송하는 신호 x_i 에 곱해지는 $S \times 1$ 크기의 빔포밍 벡터를 나타내며, $\|\mathbf{v}_i\|^2 = 1 \quad \forall i$ 를 만족한다. 그리고 \mathbf{h}_i^r 는 S 개의 선택된 전송 안테나로부터 i 번째 사용자 사이의 채널정보를 나타내는 $1 \times S$ 크기의 행 벡터이고, n_i 는 평균이 0이고 분산이 1인 부가 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise:AWGN)를 나타낸다. 모든 채널 정보는 평균이 0이고 분산이 1인 복소 정규 분포를 따르고 있고, independent and identically distributed (i.i.d)와 quasi-static block fading을 가정한다.

i 번째 사용자의 수신 Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (SINR)은 다음과 같이 계산되며

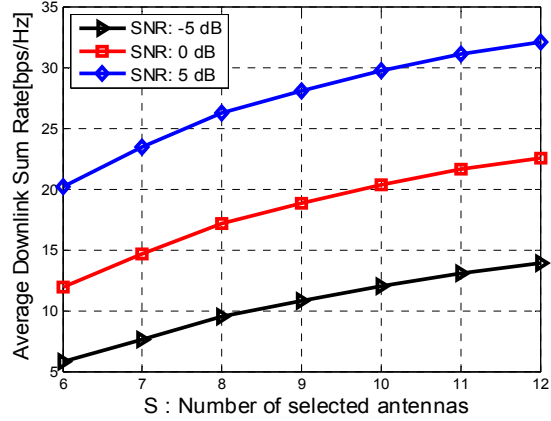
$$\text{SINR}_i = \frac{p_i \|\mathbf{h}_i^r \mathbf{v}_i\|^2}{1 + \sum_{k=1, k \neq i}^K p_k \|\mathbf{h}_i^r \mathbf{v}_k\|^2} \quad (3)$$

그에 따른 전송율은 $\log_2(1 + \text{SINR}_i)$ 로 주어진다. 따라서 전송된 안테나 당 총 전송율의 합은

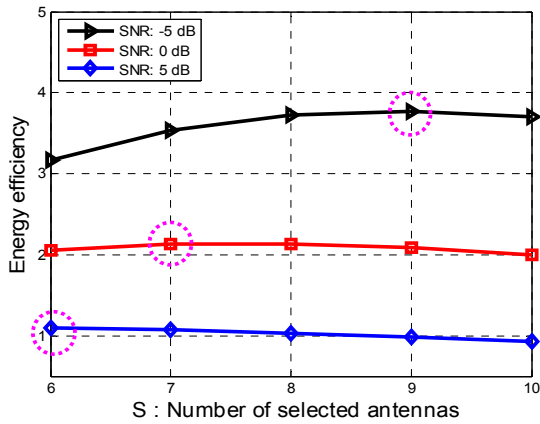
$$C = \sum_{i=1}^K \log_2(1 + \text{SINR}_i). \quad (4)$$



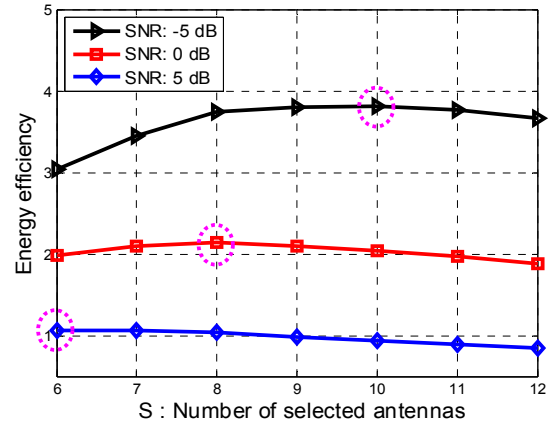
(a) 전송률의 합



(a) 전송률의 합



(b) 에너지 효율



(b) 에너지 효율

그림 2. 선택된 송신 안테나 수(S)에 따른 전송률의 합과 에너지 효율 ($N=10, K=6$)

Fig. 2 Average sum rate and energy efficiency vs. the number of selected antennas(S) ($N=10, K=6$)

그림 3. 선택된 송신 안테나 수(S)에 따른 전송률의 합과 에너지 효율 ($N=12, K=6$)

Fig. 3 Average sum rate and energy efficiency vs. the number of selected antennas(S) ($N=12, K=6$)

마지막으로, 에너지 효율은 $E=C/P_A$ 로 구해진다.

III. 에너지 효율 분석

MIMO 네트워크 환경은 전송 안테나 수가 증가할수록 전송률이 증가하지만 [5], 소모하는 에너지 또한 증가한다. 따라서 에너지 효율 측면에서 전송 안테나를 적절히 선택할 필요가 있다.

그림 2는 $N=10, K=6$ 일 때 평균 전송률의 합과 에너지 효율을 나타낸다. 그림 2-(a)에서, 선택된 전송 안테나 개수와 SNR이 증가할수록 평균 전송률의 합은 증가하는 것을 알 수 있다. 여기서 주어진 S 값에 따라서 Brute-Force 탐색 기반으로 전송률의 합을 최대화하는 방식으로 안테나를 선택하였다. 반면에, 그림 2-(b)에서는 에너지 효율

을 최대화시킬 수 있는 선택 안테나의 개수가 SNR에 따라서 달라짐을 확인할 수 있다. 구체적으로, SNR이 -5, 0, 5dB일 때 선택 안테나의 개수가 각각 9, 7, 6개 일 때 에너지 효율을 최대화시킬 수 있음을 확인하였다. SNR이 낮을 경우에는 많은 안테나를 선택하고, SNR이 높을 경우에는 상대적으로 적은 안테나를 선택하는 것이 에너지 효율성을 향상시킬 수 있음을 나타낸다.

그림 3은 $N=12, K=6$ 일 때 평균 전송률의 합과 에너지 효율을 나타낸다. 그림 2와 마찬가지로 선택된 전송 안테나 개수와 SNR이 증가할수록 네트워크의 전송률의 합은 증가한다. 반면, 에너지 효율성을 최대화시킬 수 있는 선택 안테나의 개수는 SNR에 따라서 다르며, SNR이 -5, 0, 5dB 일 때 각각 10, 8, 6개의 안테나를 선택하는 것이 에너지 효율성을 최대화시킨다.

IV. 결 론

본 논문에서는 MU-Massive MIMO 네트워크에서 안테나 선택 기술을 에너지 효율 측면에서 연구하였다. Brute-Force 탐색 기반의 최적 방식의 평균 전송율의 합은 선택된 전송 안테나 개수에 비례한다. 그러나, 에너지 효율성을 극대화시키기 위해서는 전송 안테나 수를 채널 환경에 따라서 적절히 선택하는 것이 중요하다. 일례로, $K=6, N=12$ 인 경우 SNR이 -5, 0, 5dB일 때 최적의 전송 안테나 선택 개수는 각각 10, 8, 6개이다.

참고문헌

- [1] Cisco White Paper, *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013-2018*, Feb. 2014.
- [2] Small Cell Forum, <http://smallcellforum.org>
- [3] 3GPP TS 36.300 v11.5.0, *E-UTRA and E-UTRAN Overall description: Stage 2 (Release 11)*
- [4] 임연근, 채찬병, “Massive MIMO 기술 이해”, *대한전자공학회지*, 39권 11호, p63~70, Nov. 2012.
- [5] Erik G. Larsson, Ove Edfors, Fredrik Tufvesson, and Thomas L. Marzetta, “Massive MIMO for Next Generation Wireless Systems,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 186-195, Feb. 2014.
- [6] Inaki Berenguer, Xiaodong Wang, and Vikram Krishnamurthy, “Adaptive MIMO Antenna Selection,” *Proc. of IEEE Conference Record Thirty-Eighth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, pp. 21-26, Nov. 2003.
- [7] Andreas F. Molisch and Moe Z. Win, “MIMO Systems with Antenna Selection - an overview,” *Proc. of IEEE RAWCON*, pp.167-170, Aug. 2003.