

# 장단기메모리 기반 에너지 효율적 다중 기지국 대용량 안테나 시스템

손준원\*, 김승년\*, 심병호°

## Energy Efficient Massive MIMO System Using Long Short-Term Memory

Junwon Son\*, Seungnyun Kim\*,  
Byonghyo Shim°

### 요약

본 논문에서는 장단기메모리를 이용하여 다중 기지국 대용량 안테나 시스템의 에너지 효율을 높이는 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 기법은 긴 시간 동안의 전력 소모를 크게 절약하였고 이를 실험 결과를 통해 확인하였다.

**Key Words** : Massive MIMO, Multiple basestations, Machine learning, Long Short-Term Memory, Energy efficiency

### ABSTRACT

In this paper, we propose a long short-term memory-based framework to improve the energy efficiency of massive MIMO systems. By determining the on/off mode of basestations in a long-term perspective, the proposed method can reduce the energy consumption in a long operational period.

## I. 서론

최근, 대용량 안테나 시스템의 에너지 소모가 큰 문제가 되고 있다<sup>[1]</sup>. 대용량 안테나 시스템의 에너지 소모를 줄이기 위해 통신량이 작은 기지국을 끄는 기술이 제안되었다. 그러나 어떤 기지국을 켜고 끌 것인가 결정하는 문제는 최적화 문제 중 혼합 정수 선형 계획법에 해당하여 최적의 해를 찾는 것에 어려움이 있다. 또한, 기지국을 켜고 끄는데 전력이 소모됨에 따라 근시안적으로 즉각적인 전력을 최소화하는 것은 미래의 큰 전력 소모로 이어질 수 있다. 기존 연구들은 발견적 방법들을 통해 계산복잡도를 낮추었으나 즉각적인 전력에 초점을 맞춰왔다는 한계가 있다<sup>[2]</sup>. 따라서 에너지 효율을 더욱 높이기 위해서는 장기적인 관점에서 문제를 해결하는 새로운 기법이 필요하다.

본 논문에서는 장단기메모리 (long short-term memory) 기반의 에너지 효율적 다중 기지국 대용량 안테나 시스템을 제안하고자 한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 서론에 이어 II장에서 시스템 모형을 설명한다. 또한, III장에서 제안하는 장단기메모리 기반의 에너지 효율 향상 기법을 소개한다. IV장에서는 모의실험 결과를 설명한다. V장에서 결론을 지으며 논문을 마무리한다.

## II. 시스템 모형

본 논문에서는 N개의 안테나를 가지는 기지국 M개와 단일 안테나를 가지는 K개의 단말로 이루어진 다중 기지국 대용량 안테나 시스템을 가정하였다. 기지국 m과 단말 k 사이의 채널을  $h_{mk}$ 라 할 때, 단말 k의 수신 신호는

$$y_k = \sum_{m=1}^M h_{mk}^H w_{mk} + \sum_{j \neq k}^K \sum_{m=1}^M h_{mj}^H w_{mj} + n_k \quad (1)$$

이다. 이때,  $n_k$ 는 분산이  $\sigma_n^2$ 인 가우스 잡음이며,  $w_{mk}$ 는 결합 빔형성 벡터이다. 즉,

\* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.(UD1160070BD)

• First Author : (ORCID:0000-0001-9643-795X)Seoul National University, INMC, jwson@islab.snu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-5051-1763)Seoul National University, INMC, bshim@snu.ac.kr, 중신회원

\* (ORCID:0000-0001-6435-9029)Seoul National University, INMC, snkim@islab.snu.ac.kr

논문번호 : 201908-160-A-LU, Received August 19, 2019; Revised September 4, 2019; Accepted September 22, 2019

$$\mathbf{w}_{mk} = \sqrt{\gamma_{mk}} \frac{\mathbf{h}_{mk}}{\|\mathbf{h}_{mk}\|} \quad (2)$$

이다. 이때,  $\gamma_{mk}$ 는 송신 신호의 세기이다. 단말  $k$ 의 신호 대 간섭 잡음 비를  $\text{SINR}_k$ 라 할 때, 달성 가능한 전송률은 다음과 같이 표현된다.

$$R_k = \log_2(1 + \text{SINR}_k) = \log_2 \left( 1 + \frac{\sum_{m=1}^M |\mathbf{h}_{mk}^H \mathbf{w}_{mk}|^2}{\sum_{j \neq k, m=1}^K \sum_{m=1}^M |\mathbf{h}_{mk}^H \mathbf{w}_{mj}|^2 + \sigma_n^2} \right) \quad (3)$$

기지국의 전력 소모는 크게 송신 전력  $P_m^{\text{tx}}$ , 유지 전력  $P_m^{\text{mode}}$ , 전이 전력  $P_m^{\text{trans}}$  세 부분으로 나누어 볼 수 있다<sup>[2]</sup>.  $P_m^{\text{tx}}$ 는 단말에 신호를 보내기 위해 사용하며,  $P_m^{\text{mode}}$ 는 켜져 있는 기지국의 냉각 등에 사용하고,  $P_m^{\text{trans}}$ 는 기지국을 켜고 끄기 위해 사용한다. 먼저,  $\epsilon_m$ 을 기지국  $m$ 의 증폭기 효율이라 하고 변수  $\alpha_m$ 이 기지국  $m$ 이 켜지면 1, 꺼지면 0이라 하면  $P_m^{\text{tx}} = \sum_{k=1}^K \alpha_m \gamma_{mk} / \epsilon_m$ 이다. 또한  $\rho_m^{\text{on}}$ 을 켜져 있는 기지국에서 고정적으로 소모되는 전력이라 하면  $P_m^{\text{mode}} = \alpha_m \rho_m^{\text{on}}$ 이다. 마지막으로,  $\alpha_m^{\text{prev}}$ 를 과거의 기지국 상태라 하고,  $\rho_m^{\text{trans}}$ 를 기지국 상태를 전이할 때 소모되는 전력이라 하면  $P_m^{\text{trans}} = |\alpha_m - \alpha_m^{\text{prev}}| \rho_m^{\text{trans}}$ 이다. 기지국  $m$ 의 전체 소모 전력  $P_m^{\text{tot}}$ 는 위 세 항의 합이다.

본 논문의 목적은 단말이 요구하는 전송률을 만족시키는 선에서  $L$  시간 동안의 전체 기지국 전력 소모를 최소화하는 것이다. 즉,  $P_{m, \max}$ 를 기지국  $m$ 의 최대 송신 전력이라 하고,  $R_{k, \min}^{(l)}$ 를 단말  $k$ 가 시간  $l$ 에서 요구하는 전송률이라 하면

$$\min_{\{\alpha_m^{(l)}\}, \{\gamma_{mk}^{(l)}\}} \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M P_m^{\text{tot}, (l)} \quad (4)$$

$$R_k^{(l)} \geq R_{k, \min}^{(l)},$$

$$\sum_{k=1}^K \gamma_{m, k}^{(l)} \geq P_{m, \max},$$

이다. 본 문제의 최적 해를 찾기 위해서는 모든 경우의 수를 탐색해야 하며, 기지국의 개수가 늘어날수록 경우의 수가 기하급수적으로 늘어난다. 그뿐만 아니라, 최적의 해를 찾기 위해서는  $L$  시간 동안의 전체 채널 정보가 필요한 것에 반해 각 순간의 기지국 상태는 그 순간까지의 채널 정보만 알고 있을 때 정해야만 한다. 따라서 변하는 환경에 맞춰 효율적으로 어떤 기지국을 켜고 끌지 정하는 기법이 필요하다.

### III. 장단기메모리 기반 전력 제어 기법

장단기메모리는 심층신경망의 한 종류로서 순차적 데이터 처리에 특화되어있다<sup>[3]</sup>. 장단기메모리를 이용하여 기지국 온/오프를 결정함으로써 통신 환경 변화에 따른 변이 간섭비까지 고려하여 전체 전력 소모를 최소화할 수 있다. 제안하는 기법은 순간마다 채널 정보를 입력으로 받아 각 기지국의 상태와 송신 신호의 세기를 결정한다. 구체적으로, 모든 기지국에 대한  $\alpha_m^{(l)}$ 와  $\gamma_{m, k}^{(l)}$ 을 출력으로 한다.  $\alpha_m^{(l)}$ 은 0에서 1 사이의 값을 가지며,  $\alpha_m^{(l)} > 0.5$ 인 경우 해당 기지국이 켜지고 반대의 경우 꺼진다.

장단기메모리를 비롯한 심층신경망 기법들은 원하는 출력을 얻기 위한 훈련 과정이 필요하다. 지도 학습을 이용하기 위해서는 최적의 해를 알고 있어야 한다. 그러나 (4)의 최적화 문제를 해결하는 것이 어려우므로 본 논문에서는 비지도 학습을 이용한다. 학습을 위한 손실함수  $J$ 를 다음과 같이 설계한다.

$$J = C^{\text{tx}} + C^{\text{mode}} + C^{\text{trans}} + \lambda_{\text{rate}} C^{\text{rate}} + \lambda_{\text{power}} C^{\text{power}} \quad (5)$$

$C^{\text{tx}}$ 는 송신 전력에 대한 손실이며

$$C^{\text{tx}} = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \alpha_m^{(l)} \sum_{k=1}^K \gamma_{m, k}^{(l)} \quad (6)$$

이다.  $C^{\text{mode}}$ 는 유지 전력에 대한 손실이며

$$C^{\text{mode}} = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \left[ \alpha_m^{(l)} \rho_m^{\text{on}} + (1 - \alpha_m^{(l)}) \rho_m^{\text{off}} \right] \quad (7)$$

이다.  $C^{\text{trans}}$ 는 전이 전력에 대한 손실이며

$$C^{\text{trans}} = \sum_{l=2}^L \sum_{m=1}^M [(1 - \alpha_m^{(l-1)})\alpha_m^{(l)} + \alpha_m^{(l-1)}(1 - \alpha_m^{(l)})]\rho_m^{\text{trans}} \quad (8)$$

이다.  $C^{\text{rate}}$ 는 요구 전송률 위반에 대한 손실이며

$$C^{\text{rate}} = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K f_{\text{ReLU}} [R_{k,\text{min}}^{(l)} - R_k^{(l)}] \quad (9)$$

이다. 이때,  $f_{\text{ReLU}}(x) = \max(0, x)$ 이다.  $C^{\text{power}}$ 는 최대 송신 전력 위반에 대한 손실이며

$$C^{\text{power}} = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M f_{\text{ReLU}} [\sum_{k=1}^K \gamma'_{m,k} - P_{m,\text{max}}] \quad (10)$$

이다.  $\lambda_{\text{rate}}$ 와  $\lambda_{\text{power}}$ 는 각각  $C^{\text{rate}}$ 와  $C^{\text{power}}$  앞에 곱해져 항들 사이의 비율을 정한다. 학습 시 훈련 데이터에 대해 경사 하강법을 반복 사용하여 손실함수를 최소화하는 매개변수 값을 찾아 장단기메모리가 원하는 출력을 낼 수 있도록 만든다.

#### IV. 실험 결과

본 절에서는 제안하는 장단기메모리 기법의 성능을 모의실험을 통해 기존 기법과 비교해본다. 각 4개의 안테나를 가진 9개의 소형 기지국과 한 개의 대형 기지국이  $1 \times 1 \text{ km}^2$ 안에 배치되어 있다. 또한, 같은 공간에서 4개의 단말이 일정한 속도  $v$ 로 움직인다. 기지국과 단말 사이의 채널은 3-경사 모형에 따라 설정하였다<sup>4)</sup>. 구체적인 시스템 매개변수로는 반송 주파수는 1.9 GHz, 기지국과 단말의 높이는 각각 15, 1.65 m, 잡음의 크기는 -84 dBm, 증폭기 효율은 40 %로 설정하였다. 또한, 소형 기지국의  $\rho_m^{\text{on}}$ ,  $P_{m,\text{max}}$ ,  $\rho_m^{\text{trans}}$ 는 각각 2, 2, 1 W로 설정하였으며 대형 기지국의  $\rho_m^{\text{on}}$ ,  $P_{m,\text{max}}$ ,  $\rho_m^{\text{trans}}$ 는 각각 20, 20, 10 W로 설정하였다.

그림 1은 요구 전송률에 따른 평균 소모 전력을 나타낸 것이다. 모든 전송률에 걸쳐 제안하는 기법이 뛰어난 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 구체적으로 요구 전송률이 0.2 bps/Hz일 때, 제안하는 기법은 기존 기법 대비 57%의 전력을 절약하였다.

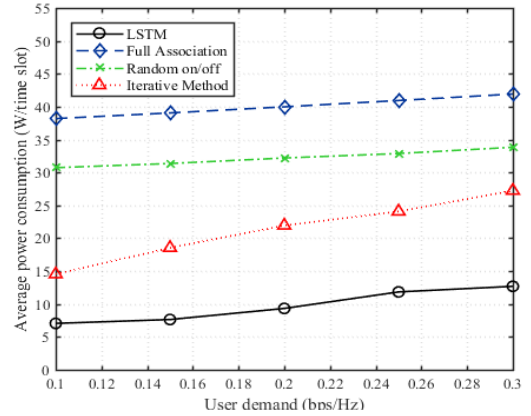


그림 1. 단말의 요구 전송률에 따른 평균 소모 전력  
Fig. 1. Average power consumption vs. user demand

#### V. 결론

본 논문에서는 에너지 효율을 높이기 위한 장단기 메모리 기반의 전력제어기법을 소개하였다. 제안하는 기법은 채널의 변화에 맞게 전력을 제어함으로써 전체 전력 소모를 효율적으로 감소시킬 수 있음을 실험 결과를 통해 확인하였다.

#### References

- [1] B. Shim and B. Lee, "Evolution of MIMO technology," *J. KICS*, vol. 38, no. 8, pp. 712-723, Aug. 2013.
- [2] J. Wu, Y. Zhang, M. Zukerman, and E. K.-N. Yung, "Energy-efficient base-stations sleep-mode techniques in green cellular networks: A survey," *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 17, no. 2, pp. 803-826, 2nd Quart. 2015.
- [3] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long short-term memory," *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp. 1735-1780, Nov. 1997.
- [4] A. Tang, J. Sun, and K. Gong, "Mobile propagation loss with a low base station antenna for nlos street microcells in urban area," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 333-336, Greece, May 2001.