

신재생 에너지 기반 6G 스몰셀 네트워크 에너지 효율 최적화를 위한 심층 강화학습 기법

조혜빈, 김형섭*, 나지현*, 임승찬, 이호원*
한경국립대학교, 한국전자통신연구원, 아주대학교*

{hbd1228, sclim}@hknua.ac.kr, {mobman, jhna}@etri.re.kr, howon@ajou.ac.kr*

Energy Efficiency Optimization for 6G Small-Cell Networks Powered by Renewable Energy

Hyebin Cho, Hyung Sub Kim*, Jee Hyeon Na*, Seung-Chan Lim, Howon Lee*

Hankyong National Univ., Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)*, Ajou Univ.*

요약

본 연구에서는 6G 스몰셀 네트워크의 심각한 간섭 문제를 해결하고 에너지 효율을 향상시키기 위해, 리뉴어블 에너지 하베스팅을 기반으로 전력을 공급받는 스몰셀 기지국을 위한 심층 강화학습 기반 전송 전력 제어 기법을 제안한다. 제안하는 강화학습 기법을 위한 Markov decision process (MDP)를 정의하고, 시뮬레이션 결과를 통해 에너지 하베스팅을 사용하는 제안방안이 전송 전력만을 제어하는 기존 방안 대비 높은 에너지 효율을 달성함을 보인다.

I. 서론

최근 무선 통신 시스템에서는 기하급수적으로 증가하는 트래픽을 수용하기 위해 네트워크 밀집화가 급속도로 진행되고 있다 [1]. 스몰셀 네트워크 기술은 에너지 소모량 감소 및 구축 비용의 절감 효과와 함께, 폭증하는 트래픽을 수용할 수 있는 유망 차세대 네트워크 기술 중 하나이다 [2-3]. 그러나, 네트워크 밀집화가 가속화됨에 따라 발생하는 기지국간 간섭 문제는 스몰셀 네트워크에서 반드시 해결되어야 하는 문제이다 [4]. 더불어, 최근 환경 친화적인 기술에 대한 관심이 높아지면서 모바일 네트워크의 에너지 소비 감소와 에너지 효율 향상에 대한 연구의 필요성이 더욱 부각되고 있다 [5]. 따라서 본 연구에서는 스몰셀 네트워크의 심각한 간섭 문제를 해결하고 네트워크 에너지 효율을 향상시키기 위해, 리뉴어블 에너지를 하베스팅하여 전력을 공급받는 스몰셀 네트워크를 위한 심층 강화학습 기반 전송 전력 제어 기법을 제안한다.

II. 시스템 모델 및 제안 방안

기존 전력망을 통해 전력을 공급받는 N_M 개의 macro base station (MBS)와 태양광 에너지를 하베스팅하여 전력을 공급받는 N_S 개의 small base station (SBS)로 구성된 이기종 스몰셀 네트워크를 고려한다. N_U 명의 사용자는 랜덤 배치되며 사용자는 가장 높은 신호 대 잡음 및 간섭 비율(signal-to-interference-plus-noise ratio, SINR)을 갖는 기지국에 연결을 요청한다. 기지국은 N_C 개의 채널을 통해 사용자에게 서비스를 제공하며 각 채널은 한 명의 사용자와 연결된다. 만약 기지국에 연결 시도된 사용자가 할당 가능한 채널 수 보다 많은 경우, 기지국은 연결 시도된 사용자들 SINR이 높은 순서대로 할당 가능한 채널 수만큼 할당한다. 기지국 b 과 사용자 u 간의 SINR은 다음과 같이 표현된다:

$$\Gamma(b, u)(t) = \frac{P_{rx}^b(b, u)(t)}{\sum_{m \in M, m \neq b} P_{rx}^m(m, u)(t) + \sum_{s \in S, s \neq b} P_{rx}^s(s, u)(t) + \sigma^2}. \quad (1)$$

여기서, $P_{rx}^i(i, j)$ 과 σ^2 은 각각 기지국 i 로부터 사용자 j 로의 수신 전력과 노이즈 전력을 의미하며, 다른 기지국으로부터 수신되는 전력을 간섭으로 고려한다.

제안 기법의 수학적 모델링을 위해 Markov decision process (MDP)를 다음과 같이 정의한다. 에이전트는 태양광 에너지를 하베스팅하는 N_S 개의 스몰셀 기지국으로 정의된다. 이때, 각 에이전트가 매 타임 스텝 t 에서 획득 가능한 상태 정보는 자신의 전송 전력, 배터리량, 시간 정보로 정의된다. 매 타임 스텝에서 각 기지국은 자신의 전송 전력을 제어하는 행동을 선택한다. 이때, 선택 가능한 행동 집합은 $A_n = \{\pm \Delta P_s, 0\}$ 로 정의되며, $\Delta P_s = 0.1$ 로 설정된다. 선택된 행동에 대한 보상은 네트워크의 에너지 효율로 정의되며, 다음과 같이 표현된다:

$$\zeta(t) = \frac{\sum_{b \in (SUM)} \sum_{u \in U_b} \frac{W}{N_C} \log_2(1 + \Gamma(b, u)(t))}{\sum_{m \in M} P_C^m(t)}. \quad (2)$$

여기서, W 는 각 기지국에 할당된 대역폭을 의미하며, P_C^m 은 MBS의 총 소비전력을 의미한다. 이때, 태양광 에너지를 하베스팅하는 SBS의 소비전력은 식 (2)의 네트워크 에너지 효율 계산에서 제외된다.

III. 시뮬레이션 결과 및 분석

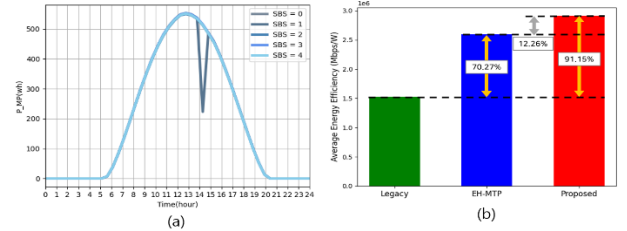


그림 1. (a) 서로 다른 위치에서 하루 동안 태양광 하베스팅 된 전력량 (b) 에너지 효율 성능 결과.

그림 1-(a)는 하루 동안 서로 다른 위치에 배치된 다섯 개의 SBS에서 태양광 에너지를 하베스팅하여 충전한 전력량을 보여준다. 이는 태양광 에너지가 간헐적이고 시변적인 특성을 갖는 사실을 보여준다. 그림 1-(b)은 $N_M = 1$, $N_S = 5$, $N_U = 60$ 인 이기종 스몰셀 네트워크에서 에너지 하베스팅을 통해 전력을 공급받아 심층 강화학습 기반 전송 전력을 제어하는 제안 기법, 하베스팅 에너지를 사용하지만 전송 전력을 제어하지 않고 항상 최대 전송 전력으로 서비스하는 EH-MTP 기법과 기존 전력망을 사용하여 전송 전력을 제어하는 Legacy 기법 간의 에너지 효율 성능을 나타낸다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안 방안이 비교 방안 대비 각각 91.2%, 12.26%의 성능 향상을 보임을 확인하였다. 따라서, 제안 방안이 태양광 에너지의 간헐성과 변동성을 극복함으로써 EH-MTP 기법과 Legacy 기법 대비 우수한 에너지 효율 성능을 달성 가능성을 검증하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(2018-0-01659, 5G Open Intelligence-Defined RAN (ID-RAN) Technique based on 5G New Radio)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] H. Lee, et al. "Towards 6G hyper-connectivity: Vision, challenges, and key enabling technologies," *Journal of Communications and Networks*, vol. 25, no. 3, pp. 344-354, Jun. 2023.
- [2] J. Moon, et al. "Trend of 5G NR Based Open Small Cell Technologies," *ETRI Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 33, no. 5, pp. 33-41, Oct. 2018.
- [3] E. Kim, et al. "Optimal Resource Allocation Considering Non-Uniform Spatial Traffic Distribution in Ultra-Dense Networks: Multi-Agent Reinforcement Learning Approach," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 20455-20464, Feb. 2022.
- [4] I. Hwang, et al. "A holistic view on hyper-dense heterogeneous and small cell networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 6, pp. 20-27, Jun. 2013.
- [5] E. Oh, et al. "Dynamic Base Station Switching-On/Off Strategies for Green Cellular Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 5, pp. 2126-2136, May 2013.