

심층 강화학습을 활용한 고이동성 상황의 5 세대 네트워크 슬라이싱에서 동적 대역폭 할당에 관한 연구

최시현, 박세웅

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신연구소

shchoi@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr

Deep Reinforcement Learning for Dynamic Bandwidth Allocation in High Mobility 5G Radio Access Network Slicing

Sihyun Choi, Saewoong Bahk

Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University

요 약

5 세대 이동 통신은 증가하는 모바일 트래픽 수요와 다양한 서비스 품질 요구 사항에 따라 서비스를 지원하는 솔루션으로 부상하고 있다. 4 세대 이동 통신 환경에서는 서비스 품질 요구 사항을 고려하는 대신 공정성과 우선순위에만 기준을 맞춰 서비스를 지원하고 있는데 5 세대 이동통신에서는 네트워크 기능 가상화 및 소프트웨어 정의 네트워킹 기술을 사용하여 슬라이스 단위로 네트워크의 물리적 및 계산 리소스를 제공하는 네트워크 슬라이싱 기술이 도입되었다. 본 논문에서는 심층 강화학습 기법을 도입하여 각 네트워크 슬라이스에 동적으로 대역폭을 할당하고 이에 대한 사용자 만족도 관점에서의 성능 향상 가능성을 보였다.

I. 서 론

네트워크 슬라이싱은 5 세대 통신 시스템의 핵심 기술 중 하나이다. 네트워크 슬라이싱의 목표는 기존의 물리적 인프라 위에 네트워크 기능 가상화 및 소프트웨어 정의 네트워킹 기술 등을 사용하여 다양한 서비스 품질 요구 사항의 실현을 가능하게 하는 것이다. 그러나 네트워크 슬라이싱에서 자원 할당은 사용자가 높은 이동성을 가질 때 큰 문제에 직면한다. 사용자들의 고이동성은 채널상태의 잦은 변동으로 이어질 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 고속 열차, 고속도로 차량, 일반 도시 차량, 보행자 등 다양한 이동성을 가진 사용자가 존재할 때 하나의 기지국에서 대역폭 및 시간과 같은 물리적 자원을 공유하는 네트워크 슬라이싱 시나리오를 고려한다. 여기에 심층 강화학습을 사용하여 현재 및 미래의 스펙트럼 효율성 정보를 마코프 결정 프로세스 상태의 일부로 고려하여 대역폭 할당 문제를 해결한다 [1]. 그리고 미리 학습된 장단기 기억 네트워크로 사용자의 이동성을 반영하는 미래의 스펙트럼 효율성 정보를 예측한다 [2]. 또한 사용자의 서비스 품질 요구 사항을 고려하는 것 외에도 마코프 결정 프로세스 상태의 일부로 수신된 데이터 양 및 지연 시간을 사용한다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 시뮬레이션의 평가 결과를 통해 주어진 고이동성 5 세대 네트워크 슬라이싱 시나리오에서 사용자의 만족도의 총합을 극대화하도록 위해 각 네트워크 슬라이스에 대역폭 자원을 적절하게 할당할 수 있음을 보여준다.

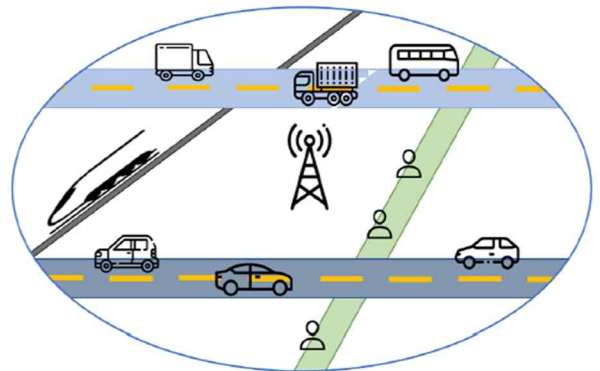


그림 1

II. 본론

1) System Model

본 논문에서는 N 개의 이동성을 가진 노드가 서비스를 받고 있는 셀룰러 네트워크를 고려한다. 모든 송신기와 수신기에는 단일 안테나를 가정하므로 따라서 N 개의 채널 링크가 존재한다. 채널 모델로는 고 이동성 환경에서 주로 사용되는 제이크 페이딩 모델을 채택하였다 [3]. 또한 5 세대 네트워크 슬라이싱 서비스 영역을 통과하는 속도와 초기 위치가 다른 사용자의 다양한 이동성을 그림 1 과 같이 고려한다. 본 논문에서는 사용자의 이동성을 다음 4 가지 유형으로 분류한다.

i) 초고속 노드: 시속 300km 이상
(고속 철도 및 자기 부상 열차)

ii) 고속 노드: 시속 100km 에서 110km 사이
(고속도로에서 운행되는 차량)

iii) 저속 노드: 시속 50km 에서 60km 사이
(일반 도심 도로의 차량)

iv) 보행자: 시속 0km

또한 모든 노드는 일정한 속도로 주어진 경로를 따라 이동한다고 가정한다.

시뮬레이션에서는 EHS(모든 이동성 노드 포함), HS (초고속 노드 제외) 그리고 LS(초고속 노드, 고속 노드 제외)로 3 가지 케이스를 구분하여 실험을 진행하였다.

2) Problem Statement

본 논문에서는 사용자 만족도 요구 사항과 이동성 유형이 다른 여러 유형의 네트워크 슬라이스를 고려한다. 단기적인 관점보다는 장기적인 관점에서 사용자 만족도의 총합을 최대화하는데 중점을 둔다. 구체적으로는 다음과 같이 수식화 된다.

$$max_{\pi} E[\sum_{t=1}^T R(S_t, \pi(S_t))]$$

여기서 T 는 에피소드가 끝나는 시간이고 π 는 가능한 대역폭 할당 정책이며, $R(\cdot)$ 은 사용자의 만족도를 나타내는 보상 함수이다.

3) Proposed Algorithm

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서 기지국은 각 네트워크 슬라이스에 총 대역폭을 적절하게 분배한다. 두 번째 단계에서 각 네트워크 슬라이스는 주파수 자원을 소속 사용자에게 스케줄링한다. 구체적으로 첫 번째 단계에서 DQN 알고리즘을 기반으로 각 네트워크 슬라이스에 대역폭을 동적으로 할당하고, 각 네트워크 슬라이스는 두 번째 단계에서 Maximum Delay Utilization 알고리즘으로 할당된 주파수 자원을 스케줄링하여 장기적 관점에서 사용자 보상의 총합을 극대화한다 [4].

4) Simulation Result

3개의 네트워크 슬라이스에 대하여 각각 15명의 사용자에게 서비스를 제공한다. 그림 2에서 실험 결과 그래프의 x 축은 학습 진행에 따라 반복된 에피소드의 횟수이고 y 축은 step 당 사용자 전체 만족도의 평균이다. 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 일정 에피소드 이상이 반복되면 사용자 만족도의 총합이 일정한 값으로 수렴하는 것을 관찰할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 고이동성 5G 세대 네트워크 슬라이싱 시나리오에서 대역폭 할당 문제에 대한 문제를 풀기위해 심층 강화학습과 장단기 기억 네트워크의 조합을 살펴보았다. 특히 각 네트워크 슬라이스의 현재 채널 효율성과 장단기 기억 네트워크가

예측 한 미래 채널 효율성을 제안한 알고리즘에서

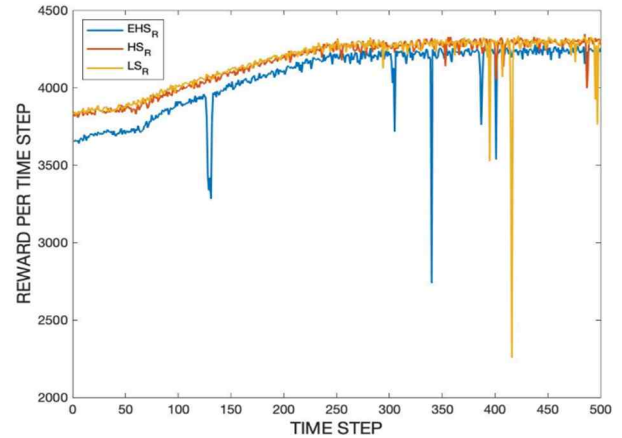


그림 2

마코프 결정 프로세스 입력 상태의 일부로 고려한다. 각 네트워크 슬라이스의 사용자 품질 만족도 요구 사항을 고려하는 것 외에도 수신된 데이터 양 및 지연시간 또한 입력 상태의 일부로 사용되었다. 제안한 알고리즘을 기반으로 시뮬레이션 결과를 통해 다양한 시나리오에서 사용자 기대 효용의 총합을 극대화하도록 각 네트워크 슬라이스에서 대역폭 자원을 적절하게 할당할 수 있음을 보였다.

향후 연구에서는 다중 에이전트와 같은 새로운 심층 강화학습 기반 접근 방식을 통해 제안한 알고리즘을 더욱 개선하고 다중 기지국 시나리오로 확장할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2018-0-00923, 주파수 공유 기반 Beyond 5G 통신 방식 연구)

참 고 문 헌

- [1] Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Graves, A., Antonoglou, I., Wierstra, D., & Riedmiller, M. (2013). Playing atari with deep reinforcement learning. arXiv preprint arXiv:1312.5602.
- [2] P. Malhotra, L. Vig, G. Shroff, and P. Agarwal, "Long short term memory networks for anomaly detection in time series," in Proceedings, vol. 89. Presses universitaires de Louvain, 2
- [3] Dent, Paul, Gregory E. Bottomley, and T. Croft. "Jakes fading model revisited." Electronics letters 29.13 (1993): 1162-1163.
- [4] G. Song and Y. Li, "Utility-based resource allocation and scheduling in ofdm-based wireless broadband networks," IEEE Communications magazine, vol. 43, no. 12, pp. 127-134,