

# 통합 액세스 백홀 네트워크에서 에너지 효율 최대화 및 사용자 아웃티지 최소화를 고려한 사전 자원 할당 기반 심층 큐-네트워크 기법

이준승, 이호원

한경대학교 전자전기공학부  
{2016265102, hwlee}@hknu.ac.kr

## Pre-Resource Allocation-Based Deep-Q Network Considering Energy Efficiency Maximization and User Outage Minimization in Integrated Access and Backhaul Networks

Junseung Lee, Howon Lee  
Hankyong National University

### 요약

최근 IoT기기들의 확산 및 개인 소유의 모바일 기기수의 증가로 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있다. 이에, 본 논문은 통합 액세스 백홀 이기종 네트워크의 기지국이 네트워크에 배치된 사용자들에게 할당하는 주파수 자원과 기지국의 전송 전력 제어를 통해, 네트워크의 에너지 효율을 최대화하며 아웃티지 사용자를 최소화하는 것을 목적으로 사전 자원 할당 고려 심층 큐-네트워크를 제안한다.

### I. 서론

본 논문에서는 최근 증가하고 있는 개인 소유의 모바일 기기와 IoT 기기들로 인해 급격히 증가하는 트래픽을 해결하기 위한 방안으로 integrated access and backhaul (IAB) 네트워크를 고려한다 [1]. IAB 네트워크는 액세스 링크와 백홀 링크의 주파수를 통합하여 주파수 자원의 효율적 사용면에 큰 장점을 가진다. 하지만, 다수의 IAB 네트워크의 기지국들의 전력 소모와 함께 IAB 네트워크의 기지국들이 사용자에게 최적의 주파수 자원을 할당하는 것에는 높은 계산 복잡도가 발생한다. 이러한 IAB 네트워크의 단점을 해결하기 위해 본 논문은 사전 자원 할당 고려 심층 큐-네트워크를 제안한다. 제안한 방안은 주파수 자원 할당과 기지국의 전송 전력 제어를 통해 아웃티지 유저의 최소화과 에너지 효율 최대화를 달성할 목표로 한다. 또한, 시뮬레이션을 통해 제안 방안의 성능을 분석한다.

### II. 본론

본 논문의 IAB 네트워크는 macro cell base station (MBS)와 small cell base station (SBS)로 구성된 2계층 다중 링크 채널을 고려한다. 네트워크의 주파수 자원은 분할되어 주파수 채널을 형성하며, 같은 주파수 채널 간에만 간섭이 발생한다. 또한, 주파수 채널은 하나의 SBS나 사용자에게 할당 가능하며, 본 논문에서 제안한 사전 자원 할당을 통해 MBS의 각 주파수 채널은 할당 가능한 SBS가 정해져 있으며, SBS의 채널은 활성화가 가능한 채널이 정해진다. 주파수 자원인 사전 할당된 네트워크의 에너지 효율 최대화 및 아웃티지 사용자 최소화를 위해 심층 큐-네트워크를 적용하여 학습을 진행한다. 제안 방안의 에이전트로 MBS와 SBS가 고려되며, 에이전트의 상태는 MBS와 SBS의 채널 정보 및 전송 전력에 대한 정보로 이루어지며, 다음과 같이 상태 테이블  $S$ 를 표현할 수 있다.

$$S = [C_M^1, \dots, C_M^N, P_{t,M}, C_{S1}^1, \dots, C_{S1}^N, P_{t,S}, C_{Si}^1, \dots, C_{Si}^N, P_{t,S}^i] \quad (1)$$

상태 테이블  $S$ 는 채널이  $N$ 개 존재하며,  $i$ 개의 SBS가 존재하는 네트워크의 상태 테이블이다.  $C_M^N$ 은 MBS의 채널 정보이며,  $C_{Si}^N$ 은 SBS  $i$ 의 채널 활성화 정보이다.  $P_{t,M}$ 은 MBS의 전송 전력 정보,  $P_{t,S}^i$ 는 SBS  $i$ 의 전송 전력을 나타낸다. 이때, 에이전트의 행동은 MBS는 채널을 사용하는 기지국 제어에 대한 행동과 전송 전력 제어에 대한 행동을 가지며, SBS는 채널의 활성화 유무에 대한 제어와 전송 전력 제어에 대한 행동을 가진다. 에이전트는 에너지 효율과 아웃티지 사용자의 최소화를 목적으로 하는 보상을 위한 행동을 취하며, 보상  $R$ 은 다음과 같이 나타낸다.

$$R = \left[ \left( \sum_{m=1}^M \xi(m) + \sum_{s=1}^S \xi(s) \right) / (P_{t,M} + \sum_{s=1}^S P_{t,S}) \right] \times e^{-\frac{|U_{out}|}{|U|}} \quad (2)$$

식 (2)의  $\xi$ 는 데이터 율을 나타내며,  $M$ 과  $S$ 는 MBS와 SBS의 집합을 의미한다.  $U_{out}$ 은 아웃티지 사용자의 집합,  $U$ 는 전체 사용자의 집합을 의미한다. 에이전트의 상태, 행동, 보상 등으로 2개의 히든 레이어를 가지는 신경망을 통해 학습을 진행한다.

### III. 시뮬레이션 결과 및 결론

본 논문에서는 사용자가 동적인 통합 액세스 백홀 이기종 네트워크에서

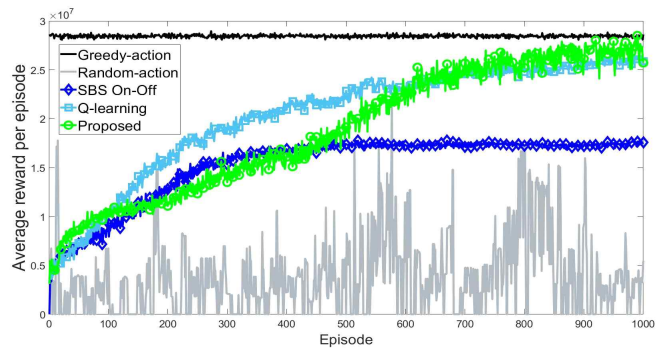


그림 1. 제안 방안과 비교 방안의 학습 그래프

에너지 효율 최대화 및 아웃티지 사용자 수를 최소화하기 위한 사전 자원 할당 고려 심층 큐-네트워크를 제안하였다. 제안 방안의 유용성을 검증하기 위한 시뮬레이션을 진행하였으며, 시뮬레이션의 IAB 네트워크 환경은 MBS 1개, SBS 2개, 채널 6개, 사용자 6개로 구성되어 있다. 현재 상태에서 최적의 보상을 주는 행동을 취하는 'Greedy-action' 알고리즘, 매 행동마다 무작위한 행동을 취하는 'Random-action' 알고리즘, SBS의 전력 조절을 on과 off로만 조절하는 'SBS on-off' 알고리즘, 분산 큐 러닝을 통해 학습하는 'Q-learning' 알고리즘을 비교 방안으로 선택하였으며, 제안 방안과 비교 방안의 에피소드 마다 평균 보상에 대한 학습 그래프는 그림 1과 같이 나타난다. 그림 1에서 'Greedy-action' 알고리즘은 매 상태에서 최적의 행동을 취하므로 네트워크의 최적의 보상에 근사한 결과 값을 가지는 것을 기대할 수 있다. 'Random-action' 알고리즘은 학습이 진행되지 않는 모습을 보이며, 'SBS On-Off' 알고리즘은 세부적인 전력 조절이 불가능하므로, 제안 방안에 비해 낮은 평균 보상을 가지는 모습을 보인다. 'Q-learning' 알고리즘은 테이블을 통해 학습을 진행하므로 동적인 사용자에 의해 학습에 어려움을 가지므로 보상 값이 낮은 것이 확인된다. 결과적으로 제안 방안이 'Greedy-action' 알고리즘에 가장 근접하게 수렴하며, 이는 제안 방안이 비교 방안에 비해 에너지 효율 최대화 및 아웃티지 사용자 최소화에 장점을 가지는 것을 확인할 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지원(IITP-2020-0-01741, 지역지능화혁신인재양성(Grand ICT연구센터), 50%)과 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1A2C1010602, 50%).

### 참고 문헌

- [1] 3GPP, "NR: Study on integrated access and backhaul: Release 16," 3GPP, TR 38.874 2018.
- [2] W. Lei, Y. Ye and M. Xiao, "Deep Reinforcement Learning-Based Spectrum Allocation in Integrated Access and Backhaul Networks," in IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, vol. 6, no. 3, pp. 970-979, Sept. 2020.