

# 사용자 위치를 활용한 행동 청킹 기반의 전력 제어 기법

류재영, 변진석, 정연호†

부경대학교 정보통신공학과

jeyeongryu@naver.com, qus7011@gmail.com, † yhchung@pknu.ac.kr

## Action Chunking Based Transmit Power Control Using User State

Jae Yeong Ryu, Byeon Jin Seok, Yeon Ho Chung†

Dept of Information and Communications Engineering, Pukyong National University

### 요약

본 논문에서는 사용자의 현재 위치 상태를 입력으로 하는 행동 청킹 (Action Chunking) 기반 전력 제어 기법을 제안한다. 제안한 기법은 거리 기반 전력 분배 정책을 모방학습하여, 단일 시점에서의 전력 결정이 아닌 전력 시퀀스를 예측함으로써 전력 제어의 안정성을 확보한다. 시뮬레이션 결과, 제안한 기법은 사용자 이동에 따라 생성된 정답 값에 근사함을 확인하였으며, 이를 통해 기지국과 사용자 간 전력 제어 효율성 향상 가능성을 제시한다.

### I. 서론

이동 통신 환경에서는 제한된 주파수 자원을 다수의 사용자에게 효율적으로 할당해야 하며, 이 과정에서 셀 간 주파수 간섭과 송신 전력 효율성 문제가 지속적으로 제기되어 왔다. 특히 사용자 분포와 이동에 따라 셀 경계 영역에서의 간섭이 증가하고, 이에 따른 전력 소모 및 서비스 품질 저하가 발생할 수 있다. [1] 이러한 문제를 완화하기 위해 Soft Frequency Reuse (SFR)와 같은 셀 주파수 재사용 기법에서는 대역폭 영역별로 서로 다른 전력 마스크를 적용하여 셀 간 간섭을 제어하고 전력 효율을 향상시키는 방법이 널리 활용되어 왔다. [2] 그러나 기존 SFR 기반 전력 제어 방식은 일반적으로 고정된 전력 분배 규칙을 사용하거나, 제한된 상태 정보에 기반하여 전력을 결정함으로써 사용자의 이동에 따라 변화하는 환경을 충분히 반영하지 못하는 한계를 가진다. [3] 이러한 한계를 보완하기 위해 본 논문에서는 사용자의 현재 위치 상태를 입력으로 하여, 전력 제어를 단일 시점 결정이 아닌 시간적 연속성을 고려한 시퀀스 형태로 수행하는 행동 청킹 (Action Chunking) 기반 전력 제어 기법을 제안한다.

### II. 본론

#### 2.1 학습 정책

본 논문에서 제안하는 행동 청킹 기반 전력 제어 기법은 거리 기반의 전력 분배 정책을 모방 학습한다. 사용자가 기지국과 가까운 곳에 위치하였을 때는 낮은 전력을, 멀리 위치하였을 때는 높은 전력을 분배하여 거리에 따른 손실과 간섭 위험성을 방지하기 위함이다. 특히 무선 채널의 비선형적인 손실 특성을 반영하기 위해 직관적인 제곱 형태로 정책을 설계하였다. 따라서 생성된 정책은 그림 1과 같다.

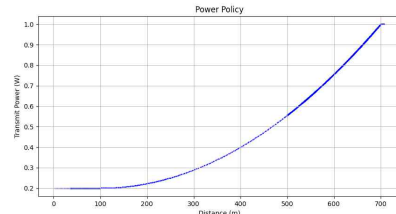


그림 1. 전력 분배 정책

#### 2.2 모델 학습

본 논문에서는 사용자 거리에 따른 전력 제어를 위와 같은 정책을 통해 모방 학습한다. 특히 행동 청킹은 현재 시점의 사용자 상태를 기반으로, 해당 상태에서 시작했을 때 정책에 의해 생성될 다수의 전력 값을 하나의 행동 단위로 묶어 예측하는 방식이다. [4] 이러한 접근은 단일 시점 전력 결정 방식과 달리 전력 제어의 시간적 일관성을 고려할 수 있으며, 결과적으로 보다 안정적인 전력 제어를 가능하게 한다.

입력은  $(X_t, Y_t, D_t)$  형태로 들어가며  $X_t$ 와  $Y_t$ 는 각 시점에서의 위치 좌표이고  $D_t$ 는 중앙으로부터의 직선거리이다. 모델은 선형 변환과 ReLU (Rectified Linear Unit) 활성화 함수를 3번 거치는 다층 레이어 구조이다. 최종 출력단에서는 단일 전력 값이 아닌 길이 50의 전력 시퀀스를 동시에 출력한다. 추론 단계에서는 각 시간 스텝마다 중첩된 전력 시퀀스 예측이 생성되며, 동일 시점에 대해 생성된 다수의 전력 예측값의 평균을 취하는 Temporal Ensemble 기법을 사용하여 보다 안정적인 출력을 얻을 수 있었다.

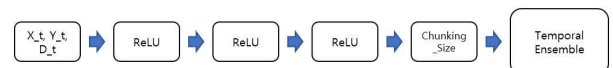


그림 2. 모델 구조

### 2.3 시뮬레이션

본 실험에서는  $1000 \times 1000m^2$  크기의 2차원 단일 셀 환경을 구성하고, 기지국을 중심에 고정하였다. 사용자는 셀 내부에서 시간에 따라 이동하며, 각 시점에서의 사용자 위치와 기지국 간 거리를  $D_t$ 로 사용하였다. 학습을 위해 앞서 정의한 거리 기반 정책을 사용하였으며, 전력 값은 0.1에서 1.0 사이의 연속적인 범위로 제한하였다. 사용자 이동 과정에서 각 시점의 거리 정보에 따라 정책으로부터 전력 정답 값을 생성하였고, 이를 행동 청킹 기반 모방 학습을 위한 학습 데이터로 활용하였다.

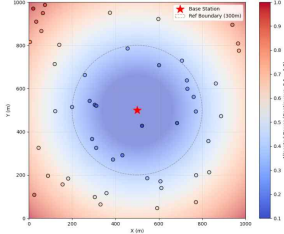


그림 3. 실험 환경

실험 결과는 그림 4와 같이, 사용자의 무작위한 이동에도 불구하고 제한한 모델이 정책 기반으로 정의된 정답 전력 값에 근사하는 출력을 생성함을 보여준다.

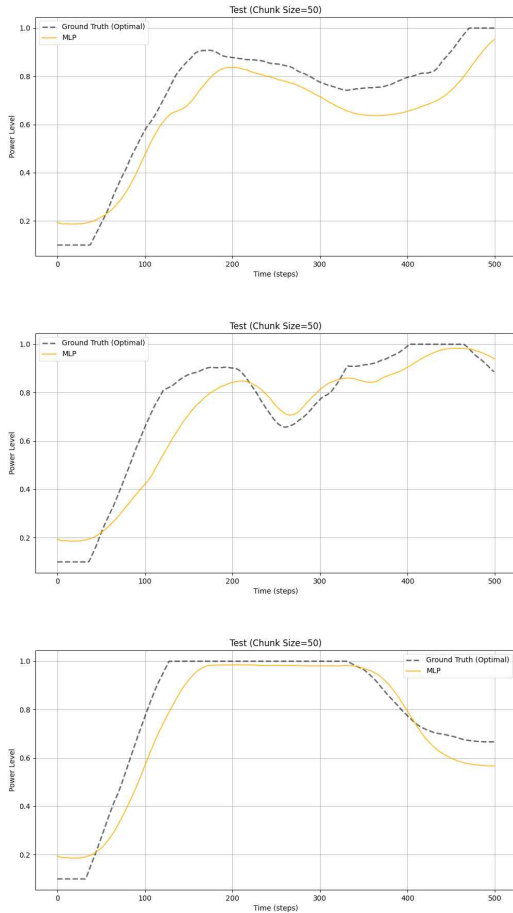


그림 4. 시뮬레이션 결과

### III. 결론

본 논문에서는 행동 청킹 기반 전력 제어 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 사용자와 기지국 간의 거리에 따라 정의된 전력 분배 정책을 정답으로 설정하고, 이를 모방 학습함으로써 단일 시점의 전력 결정이 아닌 전력 시퀀스를 예측하도록 설계되었다. 이를 통해 사용자 이동에 따른 전력 변화에 대해 보다 안정적인 예측이 가능함을 확인하였다.

본 연구에서는 간단한 거리 기반 정책을 대상으로 하여 모델을 비교적 직관적인 구조로 설계하였으나, 보다 복잡한 전력 제어 정책을 대상으로 할 경우 Transformer와 같은 모델을 결합한 방식으로 확장 가능할 것으로 기대된다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2023R1A2C2006860).

### 참 고 문 헌

- [1] Sudhanshu Arya, Yeon Ho Chung, W.Y. Chung, J.J. Kim and N.H. Kim "Transmit power optimization over low-power Poisson channel in multiuser MISO indoor optical communications," ICT Express, 2020
- [2] H. Wang, C. Rosa, and K. I. Pedersen, "Performance analysis of soft frequency reuse for inter-cell interference coordination in LTE," Proc. IEEE VTC-Spring, 2009
- [3] D. González G, J. F. Monserrat, and N. Cardona, "On the need for dynamic downlink intercell interference coordination in realistic LTE deployments," Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 14, no. 2, pp. 157 - 175, 2014.
- [4] ZHAO, Tony Z., et al. Learning fine-grained bimanual manipulation with low-cost hardware. arXiv preprint arXiv:2304.13705, 2023.