

Multi-Cell Multi-UE 환경에서 전력 제어를 통한 UL 간섭 완화 알고리즘

차홍설, 박준영, 김수홍, 고영채

고려대학교

<chahongseol, megaduke7, integral98, kyoc>@korea.ac.kr

UL Interference Mitigation Algorithm through Power Control in Multi-Cell Multi-UE systems

Hong-Seol Cha, Joon-Young Park, Su Hong Kim, Young-Chai Ko

Korea Univ.

요약

본 논문은 multi-Cell multi-UE high-congestion 환경에서 발생하는 UL 간섭 문제를 해결하기 위해 UE 송신전력 제약을 통한 간섭 크기 완화 및 RB 할당 제약을 통한 간섭 발생 완화를 사용한 UL 간섭 제어 알고리즘을 제시하고 기존 알고리즘과의 성능 비교를 통해 제안한 알고리즘의 성능을 확인하였다.

I. 서론

Multi-cell multi-UE 환경에서 동일한 주파수의 resource block(RB)을 할당받은 UE 간 간섭이 발생한다 [1]. 기지국은 UE의 수신 SINR을 기반으로 해당 UE의 목표 성능을 만족하기 위해 송신전력 및 RB 할당을 결정하며, UE의 수신 SINR이 작을 경우 성능 보장을 위해 해당 UE의 송신전력 향상을 시도한다 [2]. High-congestion 상황에서, 모든 cell에 속한 UE들이 목표 성능을 만족하지 못하고 송신전력을 반복적으로 향상하는 문제를 일으킨다. 이는 인접 cell에 미치는 간섭을 제어하지 못하고 cell 내부의 전체 sum-throughput 하락 및 edge UE의 outage 발생을 초래한다. 따라서 본 논문은 multi-cell multi-UE high-congestion 상황에서 UE의 송신전력에 대한 제약을 통한 간섭 크기 완화 및 RB 할당 제약을 통한 간섭 발생 완화를 통한 UL 간섭 제어 알고리즘을 제안한다.

II. 본론

Multi-cell multi-UE 환경에서 i 번째 cell에 속한 j 번째 UE인 $UE_{i,j}$ 의 spectral efficiency는 아래와 같이 표현할 수 있으며

$$SE_{i,j} = \sum_t se_{i,j}^{(t)}, \quad (1)$$

$se_{i,j}^{(t)}$ 는 t 번째 slot에서 해당 UE가 얻은 spectral efficiency로 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$se_{i,j}^{(t)} = \sum_{a \in RB_{i,j}^{(t)}} \log_2(1 + SINR_{i,a}^{(t)})/t_s, \quad (2)$$

$SINR_{i,a}^{(t)}$ 는 t 번째 slot에서 i 번째 cell이 사용하는 RB a 의 SINR을 의미하고, $RB_{i,j}^{(t)}$ 는 해당 slot에서 $UE_{i,j}$ 가 할당받은 RB index set을 의미한다. 이때 $SINR_{i,a}^{(t)}$ 은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$SINR_{i,a}^{(t)} = \left(\frac{P_{i,k}^{(t)}}{|RB_{i,k}^{(t)}|} \right) \frac{(h_{i,k}^i)^{(t)}}{N + I_{i,a}^{(t)}}, a \in RB_{i,k}^{(t)}, \quad (3)$$

$P_{i,k}^{(t)}$ 는 t 번째 slot에서 $UE_{i,k}$ 가 사용하는 송신전력을 의미하고, $(h_{i,k}^i)^{(t)}$ 는 $UE_{i,k}$ 의 channel gain, N 은 RB에 가해지는 noise, $I_{i,a}^{(t)}$ 는 동일한 주파수의 RB를 사용하는 타 cell에 위치한 UE가 가하는 간섭 크기를 의미한다.

1) PF-based scheduling

Multi-slot 환경에서 fairness 보장을 위한 방안으로 PF-based scheduling을 통한 UE 선별 및 RB 할당을 기본 전제 조건으로 설정하였다. t 번째 slot에 대한 scheduling indicator는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$m_{i,j}^{(t)} = \frac{\log_2(1 + P(h_{i,j}^i)^{(t)}/N)}{(R_{i,j}^{(t-1)})}, \quad (4)$$

P 는 RB 당 할당 power를 의미하고, $R_{i,j}^{(t-1)}$ 는 $UE_{i,j}$ 가 이전 slot까지의 평균 rate를 의미한다.

2) UE 송신전력 제약을 통한 간섭 크기 완화

High-congestion 발생으로 인해 모든 UE가 최대 송신전력을 사용하면 인접 cell에 미치는 간섭의 크기가 증가한다. 이를 제어하기 위해, UE의 송신전력을 제약을 통한 간섭 크기 완화 방안을 제안하였다.

우선 최대 송신전력을 가정하여 UE의 outage를 판단한다. 이후 outage가 발생한 UE에 할당된 RB들의 SINR을 조사하여, 최소 SINR을 보이는 RB를 확인하고, 해당 RB에 가장 큰 간섭을 미치는 인접 cell에 속한 UE의 송신전력을 감소시킨다. 이후 update된

송신전력을 바탕으로 SINR 계산을 진행하여 다시 outage가 발생한 UE를 선별하고 위와 같은 방법을 반복한다. 이때, 모든 UE의 outage가 발생하지 않거나, 선별된 모든 UE가 최소 송신전력을 사용 중이라면 해당 송신전력 제약 과정을 중단한다.

3) RB 할당 제약을 통한 간섭 발생 완화

Multi-cell high congestion 환경에서, channel gain이 약한 UE가 주로 outage가 발생하는 경향을 나타낸다. 이를 개선하기 위해 UE 간 분리를 통한 간섭 발생 완화를 통한 간섭 제어 방안을 아래와 같이 제안하였다.

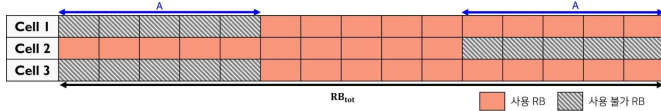


그림 1 Cell 간 할당 RB 주파수 제한

그림 1과 같이 각 cell이 사용 가능한 RB의 주파수 영역을 제한한다. 이를 통해 A 영역에 속한 RB에 간섭을 미치는 cell의 수를 감소하여 간섭 크기를 완화한다. 이에 더불어 channel gain이 약한 UE의 성능을 향상시키기 위해, channel gain 크기순으로 나열하여 RB를 할당함으로써 channel gain이 약한 UE에 A 영역의 주파수를 할당하도록 한다.

III. 결론

Throughput	Total [Gbps]	Min [Mbps]
Conventional [3]	17.25	16.85
Proposed	17.32	46.50

알고리즘의 성능을 확인하기 위해, 기존의 PF-based scheduling이 적용된 방법 [3] 과 본 알고리즘이 제안한 방법을 비교하였으며, 총 5개의 cell 및 cell 당 20 UE, slot duration은 1ms, 1000 slots를 사용하였으며, 각 cell의 중심각은 5°로 가정하였다. Channel model로는 free-space path-loss, small-scale fading이 사용되었으며 Rx gain으로는 main-lobe가 인 beamforming이 적용되었고 사용된 각 RB의 bandwidth는 15 kHz로 가정되었다. Cell당 할당 가능한 총 RB 수는 100개이며, 제안한 알고리즘에서는 각 sector당 60개의 RB를 사용하였으며 power 조절 알고리즘의 종료 조건은 1[dBm]이 사용되었다.

표 1은 본 논문에서 제안한 알고리즘과 모든 RB 및 모든 UE가 최대 송신전력 (23 [dBm])을 사용하는 기존 알고리즘 간의 sum-rate 및 min-rate에 대한 비교 결과를 나타낸다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 통해 sum-rate 관점에서 0.43%의 향상을 보였으며, min-rate는 175.95%의 성능 향상을 보임을 알 수 있다.

그림 2는 path-loss에 대한 평균 송신전력을 나타내는 그래프이다. 이를 통해 channel gain이 큰 UE가 주로 강한 간섭을 유발하고 이들이 더 낮은 송신전력을 사용하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 3은 path-loss에 대한 spectral efficiency를 나타내는 그래프이다. 이를 통해 최대 송신전력을 사용하는 기존

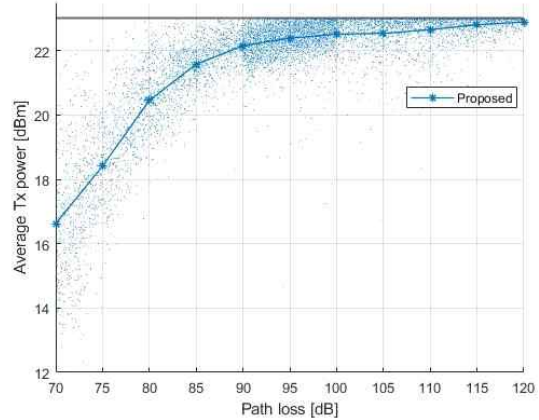


그림 2 Path-loss 별 평균 송신전력

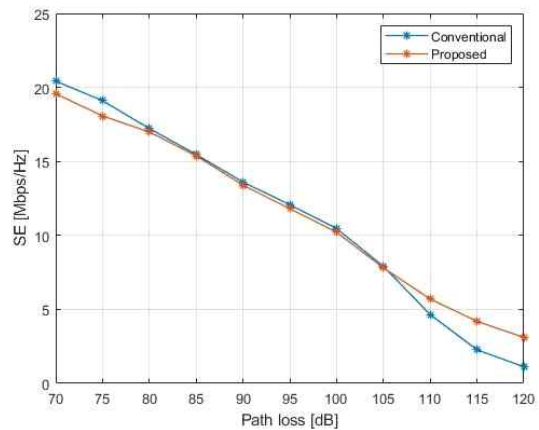


그림 3 Path-loss 별 spectral efficiency

기법과 비교하였을 때, path-loss가 작은 UE가 겪는 성능 하락이 크지 않음을 확인할 수 있다. 이는 PF-based scheduling이 적용되는 환경에서 path-loss가 큰 UE의 성능을 보장함으로써 path-loss가 작은 UE의 scheduling chance를 증가시켜 UE들의 성능을 보장하기 때문이다. 위 결과들을 통해, 모든 주파수 영역의 RB를 사용하거나 모든 UE가 최대 송신전력을 사용하지 않더라도 fairness를 보장함과 동시에 전체적인 성능을 보장할 수 있음을 확인할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2022-0-00704, 초고속 이동체 지원을 위한 3D-NET 핵심 기술 개발)

참고 문헌

- [1] F. Z. Kaddour, et al. "Green opportunistic and efficient resource block allocation algorithm for LTE uplink networks." *IEEE transactions on vehicular technology* 64.10 (2014): 4537-4550.
- [2] 3GPP, "NR; Physical layer procedures for control," 3GPP TS 38.213, v 17.6.0.
- [3] N. Xu, V. Guillaume, Z. Wen and Y. Oiang. "A Dynamic PF Scheduler to Improve the Cell Edge Performance," *2008 IEEE 68th Vehicular Technology Conference*, Calgary, AB, Canada, 2008, pp. 1-5