

---

# 다중셀 상향링크 네트워크에서 전력제어 기술을 이용한 SGINR기반 분산 사용자 스케줄링에 관한 연구

조문제 · 반태원 · 정방철

경상대학교

## A Study on the Distributed Scheduling based on SGINR with Interference-Aware Power Control for Uplink Multi-cell Networks

Moon-Je Cho · Tae-Won Ban · Bang Chul Jung

Gyeongsang National University

E-mail : mjcho.win@gnu.ac.kr, twban35@gnu.ac.kr, bcjung@gnu.ac.kr

### 요 약

본 논문은 다중 셀 상향링크 네트워크에서 간섭인지 및 전력제어 기술을 이용하여 사용자의 신호 대 발생 간섭 및 잡음비 (SGINR)을 최대화시키는 분산 스케줄링 방식을 제안한다. 시분할 시스템의 상호 호환성 특성을 이용하여 각 사용자는 인접 기지국으로부터 받은 파일럿 신호를 통하여 간섭 채널을 습득하고 데이터 전송 시 인접 셀 기지국들에 미칠 간섭을 각자 계산할 수 있다고 가정한다. 제안한 스케줄링에서 각 사용자는 인접 셀 기지국에 미치는 간섭의 양을 계산하여 미리 결정된 임계값보다 클 경우 자신의 송신 전력을 낮춘다. 각 기지국에서는 사용자들 중 SGINR이 가장 큰 사용자를 선택한다. 제안된 기법의 상향링크 데이터 전송률은 기존의 사용자 스케줄링 알고리즘들에 비하여 월등히 좋은 성능을 보인다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a distributed user scheduling with interference-aware power control (IAPC) to maximize signal to generating interference plus noise ratio (SGINR) in multi-cell uplink network. Assuming that the channel reciprocity time-division duplexing (TDD) system is used, the interference channel from users to other cell BSs is obtained at each user. In the proposed scheduling, each user reduces the transmit power if its generating interference to other BSs is larger than a predetermined threshold. Each BS selects the user with the largest SGINR among users. Simulation results show that the proposed technique significantly outperform the existing user scheduling algorithms.

### 키워드

셀룰러 네트워크, 셀 간 간섭, 신호 대 발생 간섭 및 잡음비 (SGINR), 간섭인지 및 전력제어

### 1. 서 론

매년 모바일 네트워크의 모바일 장치 및 장치의 접속률은 기하급수적으로 증가하여 모바일 데이터 트래픽이 급격히 발생할 것으로 예상된다 [1]. 이러한 네트워크에서 사용자, 기지국, 소형 셀과 같은 수많은 노드간의 간섭 문제는 매우 중요한 이슈로 고려된다.

현재까지 간섭 문제는 해결하기 위해 수많은 연구가 이루어졌다. 최근 Cadambe와 Jafar는 간섭 문제를 효과적으로 해결하기 위해 간섭 정렬 (IA) 기술을 제안하였다 [2]. 간섭 정렬 기술의 기본적인 개념은 다른 사용자의 간섭 공간과 수신 단에서 복호할 신호의 공간을 분리시켜서 정렬하는 것이다. 이 기술을 통해 시변 채널에서  $K$  명의 사용자 간섭 채널의 최적의 자유도 (DoFs)인

$K/2$ 를 얻을 수 있음이 증명되었다. 최근에 셀룰러 네트워크에서 기회적 간섭 정렬 (OIA)이 제안되었다 [3]. 또한 실제 셀룰러 네트워크의 전송률 향상을 위해서 간섭과 자기 신호 세기를 동시에 고려한 사용자 스케줄링 기법이 제안되었다 [4],[5]. [6]에서는 [4],[5]에서 고려하지 않은 사용자들의 전력 제어를 통해 스케줄링 이득을 향상시켰다.

본 논문에서는 다중셀 상향링크에서 사용자들의 송신 전력 제어를 통한 SGINR기반의 분산 사용자 스케줄링 방식을 제안한다.

## II. 시스템 모델

본 장에서는 실제적 셀룰러 네트워크를 비교적 잘 묘사하는 interfering multiple-access channel (IMAC) 모델을 고려한다. 이 모델에서 각 기지국은 해당 셀 내에 존재하는 사용자의 통신만 관여한다. 각 사용자와 기지국은 단일 안테나를 가진다.  $i$ 번째 기지국의 수신 신호  $y_i \in \mathbb{C}$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_i = \sqrt{P^{[i,j]}} h_i^{[i,j]} x^{[i,j]} + \sum_{k=1, k \neq i}^K \sqrt{P^{[k,j]}} h_i^{[k,j]} x^{[k,j]} + z_i, \quad (1)$$

여기서  $P^{[i,j]} (\leq P)$ 와  $x^{[i,j]}$ 는 각각  $i$ 번째 셀에  $j$ 번째 사용자의 전력과 심볼을 나타내고,  $P$ 는 사용자의 최대 송신 전력이다.  $h_k^{[i,j]}$ 는  $i$ 번째 셀의  $j$ 번째 사용자와  $k$ 번째 기지국간의 채널을 나타낸다. 채널 벡터의 각 원소는 평균이 0이고 분산이 1인 복소 가우시안 분포로 서로 다른  $i, j, k$ 간의 독립임을 가정한다. 시분할 상호 호환성 특성으로 각 사용자는 채널  $h_k^{[i,j]}$ 를 정확히 측정할 수 있다.  $z_k \in \mathbb{C}$ 는 복소 백색 가우시안 잡음으로 가정한다.

## III. 전력제어 및 SGINR기반 사용자 스케줄링

제안한 분산 사용자 스케줄링 기법에서 각 사용자는 파일럿 신호를 통해 간섭 채널 정보를 얻는다. 그래서  $i$ 번째 셀의  $j$ 번째 사용자가 인접 셀 기지국으로 미치는 간섭의 총 합  $\eta^{[i,j]}$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\eta^{[i,j]} = \sum_{k=1, k \neq i}^K \|h_k^{[i,j]}\|^2, \quad (2)$$

앞서 계산한  $\eta^{[i,j]}$ 를 이용하여  $i$ 번째 셀의  $j$ 번째 사용자의 송신 전력은 다음과 같이 결정된다.

$$P^{[i,u_i]} = \begin{cases} P, & \text{if } \eta^{[i,j]} \leq \eta_I \\ \frac{\eta_I}{\eta^{[i,j]}} \cdot P, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $\eta_I$ 는 미리 결정된 최대 허용 가능한 간섭

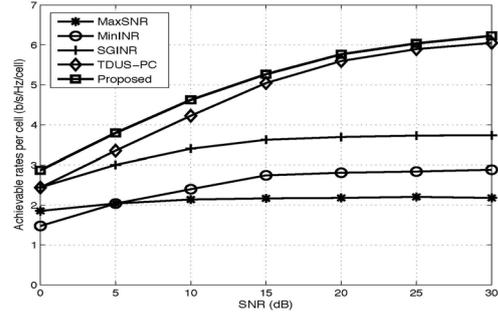


그림 1. 제안한 기술의 SNR에 따른 데이터 전송률

의 임계값을 나타낸다. 이러한 전력 제어 기술은 각 사용자가 인접 셀 기지국으로 발생시키는 간섭의 양에 따라 자기 송신 전력을 조절하게 된다.

이때 사용자는 SGINR 스케줄링 알고리즘을 이용하여 다음과 같이 사용자를 선택한다.

$$S_{SGINR} = \operatorname{argmax}_i \frac{|\sqrt{P^{[i,j]}} \cdot \|h_i^{[i,j]}\|^2|}{1 + \sum_{k=1, k \neq i}^K |\sqrt{P^{[k,j]}} h_k^{[i,j]}|^2}. \quad (4)$$

식 (4)를 통해 계산된 값은 각 사용자가 통신 중인 해당 기지국으로 피드백하여 스케줄링 기준값으로 사용된다.

## IV. 시뮬레이션 결과

그림 1은 제안한 분산 사용자 스케줄링 기법을 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석하여 기존 스케줄링 방식과 비교한다. 먼저 distributed scheduling with interference-aware power control (IAPC) 기법 [6]과 제안한 기법의 임계값  $\eta_I$ 를 최적화하였다. 그림 1은  $K=3, N=100$ 인 환경이고 제안한 기법이 기존의 maximize signal-to-noise ratio (MaxSNR), minimize interference-to-noise ratio (MinINR), signal-to-interference plus noise ratio (SGINR), IAPC 기법에 비해 좋은 성능을 확인할 수 있다.

## ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구원진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1272, 단말 협업형 Giga급 스마트 클라우드릿 핵심기술 개발].

## 참고문헌

- [1] CISCO, "Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2014-2019," white paper, Mar. 2015.
- [2] V. R. Cadambe and S. A. Jafar, "Interference

- alignment and degrees of freedom of the K-user interference channel,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 54, no. 8, pp.3425-3441, Aug. 2008.
- [3] B. C. Jung and W. -Y. Shin, “Opportunistic interference alignment for interference-limited cellular TDD uplink,” *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 15, No. 2, pp.148-150, Feb. 2011.
- [4] W. -Y. Shin, D. Park, and B. C. Jung, “Can one achieve multiuser diversity in uplink multi-cell networks?,” *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 60, no. 12, pp. 3535-3540, Dec. 2012.
- [5] H. J. Yang, W. -Y. Shin, B. C. Jung, and A. Paulraj, “A feasibility study on opportunistic interference alignment: limited feedback and sum-rate enhancement,” *Asiloma Conference on Signals, Systems, and Computers*, Nov. 2012.
- [6] M. -J. Cho, T. -W. Ban, B. C. Jung, and H. J. Yang, “A distributed scheduling with interference-aware power control for ultra-dense networks”, *IEEE ICC 2015*, Jun. 2015 (To Appear).