

## 비례공평 사용자 스케줄링을 사용하는 셀간 협력 전송 기법 분석

박진배(연세대학교), 이광훈(연세대학교), 김종현(연세대학교) 김광순(연세대학교)

spacey2k@dcl.yonsei.ac.kr, ghl1016@dcl.yonsei.ac.kr, jhkim@dcl.yonsei.ac.kr, \*ks.kim@yonsei.ac.kr

## Analysis on coordinated multi-cell processing (CoMP) schemes with proportional fair scheduling

Park Jin Bae(Yonsei Univ.), Lee Kwang Hoon(Yonsei Univ.), Kim Jong Hyun(Yonsei Univ.), Kim Kwang

Soon(Yonsei Univ.)

## 요약

본 논문은 비례공평 사용자 스케줄링을 사용하여 셀간 협력 전송 기법을 수행하는 셀룰러 시스템에서, 각 사용자의 평균 전송률에 대한 분석 기법을 제안한다. 모의 실험을 통해 제안하는 분석 기법을 사용하여 실제 사용자 스케줄링을 수행해서 얻는 사용자 평균 전송률을 잘 예측할 수 있음을 확인한다.

## I. 서론

셀 경계에 놓인 사용자는 인접 셀 간섭에 의해 성능 열화가 발생한다. LTE-A에서는 이러한 셀간 간섭 문제를 해결하기 위해 셀간 협력 전송 기법을 채택하였다[1]. 셀간 로드 균형 방식을 위해 스케줄링 방식에 따라 사용자가 얻을 수 있는 평균 전송률을 예측하는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서는 비례공평 사용자 스케줄링[2]을 사용하여 셀간 협력 전송을 수행하는 셀룰러 시스템에서, 사용자 평균 전송률에 대한 분석 기법을 제안한다. 모의 실험을 통해 제안하는 분석 기법을 사용하여 실제 사용자 스케줄링으로 얻는 사용자 평균 전송률이 잘 예측될 수 있음을 확인한다.

## II. 본론

기지국 집합을  $\mathcal{B}$ , 사용자 집합을  $\mathcal{U}$ , 그리고 셀간 협력 전송을 수행하는 기지국 집합을  $\hat{\mathcal{B}} \subset \mathcal{B}$ 라고 하자. 각 사용자  $\mathbf{u} \in \mathcal{U}$ 은 자신에게 가장 가까운 기지국을 통하여, 평균 채널값  $\gamma_{\mathbf{u}, \mathbf{b}} = \{\gamma_{\mathbf{u}, \mathbf{b}} | \mathbf{b} \in \mathcal{B}\}$ 을 측정하여 보고한다고 가정하자. [3]의 내용을 확장하여, 셀간 협력 전송을 수행하는 기지국들을 대표하는 기지국이 다음과 같이 평균 사용자 전송률을 계산한다.

$$I_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}}) = \min(|\hat{\mathcal{B}}|, |\mathcal{U}|) \left[ \log_2 \left( 1 + \frac{S_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}})}{W_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}})} \right) + \left( \frac{T_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}}) + V_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}})}{(S_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}}) + W_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}}))^2} - \frac{V_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}})}{(W_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}}))^2} \right) \log_2 e \right] \quad (1)$$

$$S_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}}) = k\theta, \quad W_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}}) = \sum_{\mathbf{b} \in \hat{\mathcal{B}}} \gamma_{\mathbf{u}, \mathbf{b}}, \quad T_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}}) = k\theta^2,$$

$$V_{\mathbf{u}}(\hat{\mathcal{B}}) = \sum_{\mathbf{b} \in \hat{\mathcal{B}}} \gamma_{\mathbf{u}, \mathbf{b}}^2, \quad \theta = m(\hat{\mathcal{B}}) \sum_{\mathbf{b} \in \hat{\mathcal{B}}} \gamma_{\mathbf{u}, \mathbf{b}} / |\hat{\mathcal{B}}|,$$

$$m(\hat{\mathcal{B}}) = \left( c_2^d F^{-1}(\mu / (\mu + 1); \epsilon; \epsilon^{-1}) \right)^{d_2}, \quad d_1 = \mathbf{1}_{\{|\hat{\mathcal{B}}| > 1\}},$$

$$d_2 = \mathbf{1}_{\{|\mathcal{U}| > |\hat{\mathcal{B}}|\}}, \epsilon = |\mathcal{U}|^{-1} \sum_{\mathbf{u} \in \mathcal{U}} \left( \sum_{\mathbf{b} \in \hat{\mathcal{B}}} \gamma_{\mathbf{u}, \mathbf{b}} / \max_{\mathbf{b} \in \hat{\mathcal{B}}} \gamma_{\mathbf{u}, \mathbf{b}} \right),$$

$$k = \begin{cases} c_1 |\hat{\mathcal{B}}| \left( 1 - (1 + \mu)^{d_1} \right), & \text{if } d_1 \cdot d_2 = 1, \\ |\hat{\mathcal{B}}| - \min(|\hat{\mathcal{B}}|, |\mathcal{U}|) + 1, & \text{o.w.,} \end{cases} \quad (2)$$

$$d_3 = -1 / (|\hat{\mathcal{B}}| - 1),$$

$$\mu = \begin{cases} \left( 2 - |\hat{\mathcal{B}}|^{-1} \right) (|\mathcal{U}| - |\hat{\mathcal{B}}|) + 1, & \text{if } |\mathcal{U}| < 2|\hat{\mathcal{B}}|, \\ |\mathcal{U}|, & \text{o.w.,} \end{cases} \quad (3)$$

$c_1 = E[A_{\langle 1 \rangle}^n] / E[A_{(1)}^n]$ ,  $c_2 = E[B_{\langle 1 \rangle}^n] / E[B_{(1)}^n]$ . 여기서,  $A_{(1)}^n$ 와  $B_{(1)}^n$ 는 확률변수 A와 B로부터 발생된 n개의 값들 중 가장 큰 값을 의미하고,  $A_{\langle 1 \rangle}^n$ 과  $B_{\langle 1 \rangle}^n$ 은 확률변수 AB로부터 발생된 n개의 값들 중 가장 큰 값의 A와 B에 해당하는 값을 나타낸다. 확률변수 A는  $F_A(x) = 1 - (1 - x)^{|\hat{\mathcal{B}}| - 1}$ 를 확률누적분포함수로 갖고, 확률변수

$B \sim I(|\hat{\mathcal{B}}|, |\hat{\mathcal{B}}|^{-1})$ 이다.

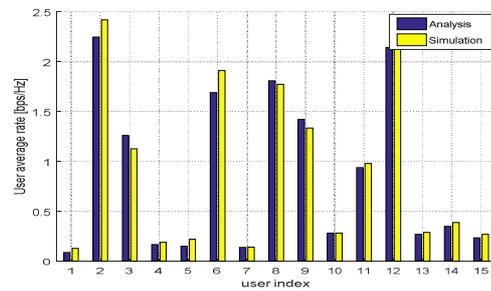


그림 1. 사용자별 평균 전송률 성능 비교

모의 실험을 위해 총 3개의 기지국이 ZFBF를 사용하여 협력 전송을 수행하고, 이들 협력 전송에 의해 기지국들 주변에 고르게 분포한 총 15명의 사용자에 대해 비례공평스케줄링을 수행해 얻은 평균 전송률 값을 그림 1에 도시하였다. 실험 결과로부터 제안하는 평균 전송률 예측 매트릭스가 실제 평균 전송률을 잘 예측하는 것을 확인할 수 있다.

## III. 결론

본 논문에서는 비례공평을 사용하는 셀간 협력 전송 기법에 대해 사용자 전송률에 대한 분석 기법을 제안하였다. 모의 실험을 통하여 제안하는 분석 기법이 실제 스케줄링을 통해 얻은 사용자 평균 전송률을 잘 예측할 수 있음을 확인하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송연구개발사업[B0101-16-1367, 고성능, 고효율의 차세대 무선랜 무선전송 원천기술 개발]과 2014년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (NRF-2014R1A2A2A01007254)의 일환으로 수행하였음.

## 참고 문헌

- [1] 3GPP R1-083192, "Network MIMO for downlink transmission in LTE-Advanced," in TSG-RAN1 \#54, August 2008, retrieved from <http://www.3gpp.org/>.
- [2] L. Liu, Y.-H. Nam, and J. Zhang, "Proportional fair scheduling for multi-cell multi-user MIMO systems," in Proc. the 44th Annual Confer. Info. Sci. and Sys. (CISS 2010), vol., no., pp. 1-6, May 2010.
- [3] R. W. Heath, Jr., T. Wu, Y. H. Kwon, and A. C. K. Soong,

2017

“Multiuser MIMO in distributed antenna systems with out-of-cell interference,” in Proc. IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 59, no. 10 pp. 4885–4899, October 2011.