

# 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크에서 스케줄링을 고려한 합동 사용자 접속 기법

박진배<sup>o</sup>, 황해광, 최경준, 김종현, 이진녕, 김광순

연세대학교 전기전자공학과

## Joint User Association Scheme for Clustered Heterogeneous Cellular Networks

Jin-Bae Park<sup>o</sup>, Hae Gwang Hwang, Kyung Jun Choi, Jong Hyun Kim, Jinnyeong Lee, Kwang Soon Kim

Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

spacey2k@yonsei.ac.kr, hwang819@dcl.yonsei.ac.kr, kjchoi@dcl.yonsei.ac.kr,

jhkim@dcl.yonsei.ac.kr, jnlee@dcl.yonsei.ac.kr, ks.kim@yonsei.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 다중 안테나를 가진 매크로셀들과 함께 소형셀들이 밀집되어 설치된 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크에서 셀간 부하 균형을 통해 사용자간 비례공평을 최대화하기 위해서 사용자 스케줄링을 고려한 합동 사용자 접속 기법을 제안하고, 모의 실험을 통해 기존 방식 대비 제안 방식을 통해 더 향상된 사용자간 비례공평을 얻을 수 있음을 알아본다.

### 1. 서론

최근의 셀룰러 시스템에서는 면적당 전송률을 높이기 위해 다중 안테나를 사용하는 매크로셀들과 함께 소형셀들을 설치하고 있으며, 특히 데이터 요구량이 많을 것으로 예상되는 곳에 집중적으로 설치될 것으로 예상되며, 이러한 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크에서는 셀간 부하 불균형에 의한 성능열화가 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다 [1].

기존 LTE 시스템에서는 매크로셀 사용자를 소형셀로 효율적으로 이동시키기 위해 편향값 (bias) 을 이용한 영역확장기법 (cell range expansion) 과 ABS (almost blank subframe) 를 이용한 e-ICIC (enhanced inter-cell interference coordination) 기법이 채택되었다 [2]. 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크에서 동일한 편향값을 사용하는 위 분산방식을 적용하게 된다면, 클러스터 외곽셀에 사용자들이 몰리는 것에 의해 셀간 부하 불균형이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해서 최근에 합동 사용자 접속 방식이 연구되고 있으며, 본 논문에서는 다중 안테나를 사용하는 매크로셀 기지국과 소형셀 기지국이 설치되는 클러스터 이기종 셀룰러 상황에서 사용자 스케줄링을 고려한 합동 사용자 접속 기법을 소개하고, 제안하는 합동 사용자 접속 기법을 통해 사용자 간의 비례공평이 향상될 수 있음을 모의실험을 통해 알아본다.

### 2. 시스템 모형

본 논문에서는 기존의 매크로셀 및 매크로셀보다 더 낮은 송신 전력을 갖는 소형셀들이 같은 주파수

자원을 사용하는 하향링크 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크를 고려한다.  $\mathbf{C} = \{c_1, c_2, \dots\}$  는 클러스터 중심 위치 집합,  $\mathbf{U} = \{u_1, u_2, \dots\}$  는 사용자 집합,  $\mathbf{B}^m = \{b_1^m, b_2^m, \dots\}$  는 매크로셀 기지국 집합,  $\mathbf{B}^c = \{b_{c,1}^c, b_{c,2}^c, \dots\}$  는 클러스터  $c$  의 소형셀 기지국 집합을 나타낸다. 여기서, 하나의 소형셀  $b_{c,j}^c$  는 가상적으로 ABS 시 동작하는 소형셀  $b_{c,j}^{s,A}$  과 NS (Normal subframe) 시 동작하는 소형셀  $b_{c,j}^{s,N}$  로 나뉜다고 가정한다. 그러면,  $\mathbf{B}_c^{s,A} = \{b_{c,1}^{s,A}, b_{c,2}^{s,A}, \dots\}$  과  $\mathbf{B}_c^{s,N} = \{b_{c,1}^{s,N}, b_{c,2}^{s,N}, \dots\}$  은 ABS 시 동작하는 소형셀 집합과 NS 시 동작하는 소형셀 집합을 나타낸다. 각 클러스터의 소형셀들 및 매크로셀 기지국들은 코어 네트워크 (enhanced packet core, EPC)와 백홀로 연결되고, EPC는 각 매크로셀별로 클러스터들을 나누고, 각 매크로셀과 해당 클러스터의 소형셀들에게 같은 ABS 패턴을 공유시키고, 사용자 정보  $\{\gamma_u | u \in \mathbf{U}\}$  를 기반으로 사용자 접속  $\left\{ \mathbf{U}_d | d \in \mathbf{B}^m \cup \bigcup_{c \in \mathbf{C}} \mathbf{B}_c^{s,A} \cup \bigcup_{c \in \mathbf{C}} \mathbf{B}_c^{s,N} \right\} \in \rho(\mathbf{U})$  및 각 매크로셀 별 ABS 비율  $\{\zeta_d | d \in \mathbf{B}^m\}$  을 최적화한다. 여기서,  $\gamma_u = \{\gamma_{u,b} | b \in \mathbf{B}_u\}$  는 사용자  $u$  가 자신의 인접 기지국 목록인  $\mathbf{B}_u$  에 속해 있는 모든 기지국  $b$  와의 평균 채널 이득값  $\gamma_{u,b}$  들의 집합을 의미하고,  $\rho(\mathbf{A})$

는 주어진 집합  $\mathbf{A}$  의 파티션을 의미한다. 추가로, 매크로셀과 소형셀의 안테나 수는 각각  $N_T^m$ ,  $N_T^s$  개의 안테나를 이용하여 제로포싱(zero forcing beamforming, ZFBF)을 사용하고, 각 셀들은 비례공평스케줄링 이용하여 사용자를 선택한다.

### 3. 제안하는 합동 사용자 접속 기법

네트워크 전체 사용자간의 비례공평성을 최대화하기 위해 메트릭  $\Upsilon = \sum_{\mathbf{u} \in \mathcal{U}} \log R_{\mathbf{u}}$  를 고려한다.  $R_{\mathbf{u}}$  는 사용자  $\mathbf{u}$  의 평균 전송률을 나타낸다. 앞의 비례공평 스케줄링 방식을 고려한  $R_{\mathbf{u}}$  를 근사화하기 위해 제안하는 식은 다음과 같다.

$$\bar{R}_{\mathbf{u}} = \frac{\eta_{\mathbf{d}}}{|\mathbf{U}_{\mathbf{d}}|} \left( \log_2 \left( 1 + \frac{E_s(\mathbf{d})}{E_t(\mathbf{d})} \right) + \left( \frac{E_s^2(\mathbf{d}) + V_t(\mathbf{d})}{(E_s(\mathbf{d}) + E_t(\mathbf{d}))^2} - \frac{V_t(\mathbf{d})}{E_t^2(\mathbf{d})} \right) \log_2 e \right) \quad (1)$$

여기서,  $\mathbf{d} \in \mathbf{B}^m$  일 때,  $\eta_{\mathbf{d}} = 1 - \zeta_{\mathbf{d}}$ ,  $\mathbf{d} \in \bigcup_{c \in \mathcal{C}} \mathbf{B}_c^{s,A}$  일 때,  $\eta_{\mathbf{d}} = \zeta_{\mathbf{b}(\mathbf{d})}$ ,  $\mathbf{d} \in \bigcup_{c \in \mathcal{C}} \mathbf{B}_c^{s,N}$  일 때,  $\eta_{\mathbf{d}} = 1 - \zeta_{\mathbf{b}(\mathbf{d})}$  이고,

$m_{\mathbf{d}} = \ln(|\mathbf{U}_{\mathbf{d}}| + 1)$ ,  $E_s(\mathbf{d}) = m_{\mathbf{d}} \gamma_{\mathbf{u},\mathbf{d}} / N_T^{\beta(\mathbf{d})}$  이다. 여기서,  $\mathbf{b}(\mathbf{d})$  는 소형셀 기지국  $\mathbf{d}$  가 속해있는 매크로셀 기지국을 의미하고,  $\mathbf{d} \in \mathbf{B}^m$  에 대해서  $\beta(\mathbf{d}) = m$ , 이외에는  $\beta(\mathbf{d}) = s$  이다. 또한,  $\mathbf{d} \in \mathbf{B}^m \cup \bigcup_{c \in \mathcal{C}} \mathbf{B}_c^{s,N}$  에 대해

$$E_t(\mathbf{d}) = \sum_{\mathbf{b} \in \mathbf{B}_{\mathbf{u}} - \{\mathbf{d}\}} \gamma_{\mathbf{u},\mathbf{b}}, \quad V_t(\mathbf{d}) = \sum_{\mathbf{b} \in \mathbf{B}_{\mathbf{u}} - \{\mathbf{d}\}} \gamma_{\mathbf{u},\mathbf{b}}^2, \quad \mathbf{d} \in \bigcup_{c \in \mathcal{C}} \mathbf{B}_c^{s,A}$$

$$\text{일 때, } E_t(\mathbf{d}) = \sum_{\mathbf{b} \in \mathbf{B}_{\mathbf{u}} - \{\mathbf{d}\} - \{\mathbf{b}(\mathbf{d})\}} \gamma_{\mathbf{u},\mathbf{b}}, \quad V_t(\mathbf{d}) = \sum_{\mathbf{b} \in \mathbf{B}_{\mathbf{u}} - \{\mathbf{d}\} - \{\mathbf{b}(\mathbf{d})\}} \gamma_{\mathbf{u},\mathbf{b}}^2 \text{ 이다.}$$

위 식은 [3]에서 같이 PFS 로 인한 사용자 스케줄링 이득을 고려하여, [4]에서 같이 감마 분포 근사법을 적용하여 얻은 것이며, (1)식 괄호 안의 첫번째 부분은 평균 신호 대 잡음간섭비로부터 얻을 수 있는 전송률을 의미하고, 두번째 부분은 신호와 간섭의 변동에 의해 발생하는 전송률을 의미한다. 그러면, 사용자 스케줄링을 고려한 제안하는 합동 사용자 기법은 다음과 같이 쓰여질 수 있다.

$$\{ \{\mathbf{U}_{\mathbf{d}}^*\}, \{\zeta_{\mathbf{d}}^*\} \} = \underset{\left\{ \mathbf{U}_{\mathbf{d}} \mid \mathbf{d} \in \mathbf{B}^m \cup \bigcup_{c \in \mathcal{C}} \mathbf{B}_c^{s,A} \cup \bigcup_{c \in \mathcal{C}} \mathbf{B}_c^{s,N} \right\} \subseteq \mathcal{P}(\mathcal{U}), \{\zeta_{\mathbf{d}} \in [0,1]\}_{\mathbf{d} \in \mathbf{B}^m}}{\text{argmax}} \sum_{\mathbf{u} \in \mathcal{U}} \log(\bar{R}_{\mathbf{u}}) \quad (2)$$

위 식의 해를 구하기 위해 [5]에서와 같이 한 기지국에만 접속되어야 하는 제한조건을 완화(relaxation)하고, 사용자 접속 변수와 ABS 비율이 서로에 대해서 컨벡스(convex)인 특성을 이용한 반복적 최적화를 통해 준최적해를 구할 수 있다.

### 4. 모의 실험

그림 1 은 매크로셀과 소형셀 전력비 100 배, 매크로셀당 클러스터 5 개, 클러스터당 소형셀 기지국

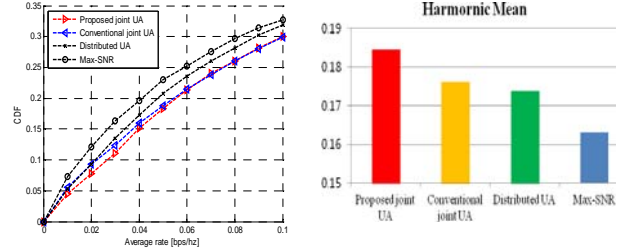


그림 1. 모의실험결과

10 개, 매크로셀당 사용자 200 명, 각 클러스터당 사용자 40 명, 그리고  $N_T^m = 4$ ,  $N_T^s = 2$  인 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크에서 얻은 모의실험결과이다. 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크에서는 현재 LTE의 분산기반 e-ICIC 는 성능개선 효과가 크지 않으므로 합동 사용자 접속 방식이 필요하고, 특히 전송 방식과 스케줄링 특성을 고려한 제안하는 합동 사용자 접속 기법을 통해 성능을 더 개선할 수 있음을 보였다.

### 감사의 글

이 논문은 2014 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2014R1A2A2A01007254).

### 참고 문헌

- [1] J. Ghimire and C. Rosenberg, "Resource allocation, transmission coordination and user association in heterogeneous networks: a flow-based unified approach," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, pp. 248-257, Oct. 2012.
- [2] K. Pedersen, Y. Wang, S. Strzyz, and F. Frederiksen, "Enhanced inter-cell interference coordination in co-channel multi-layer LTE-advanced networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 20, no. 3, pp. 120-127, Jun. 2013.
- [3] M. Kang, Y. J. Sang, H. G. Hwang, H. Y. Lee, and K. S. Kim, "Performance analysis of proportional fair scheduling with partial feedback information for multiuser multicarrier systems," in *Proc. IEEE Veh. Techn. Confer. (VTC 2009)*, pp. 1-5, Apr. 2009.
- [4] R. W. Heath, Jr., T. Wu, Y. H. Kwon, and A. C. K. Soong, "Multiuser MIMO in distributed antenna systems with out-of-cell interference," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 59, no. 10, pp. 4885-4899, Oct. 2011.
- [5] Q. Ye, B. Rong, M. Al-Shalash, C. Caramanis, and J. G. Andrews, "User association for load balancing in heterogeneous cellular networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 6, pp. 2700-2716, Jun. 2013.