

# 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크를 위한 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속 기법

박진배\*, 이형열\*, 최우리\*, 김광순°

## Joint Cell Grouping and User Association Scheme for Clustered Heterogeneous Cellular Networks

Jin-Bae Park\*, Hyung Yeol Lee\*, Uri Choi\*, Kwang Soon Kim°

### 요 약

본 논문에서는 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크에서 반동적 셀 그룹핑을 위한 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속 기법을 제안한다. 최근에는 핫스팟에서의 폭발적인 데이터 요구량을 지원하기 위해서, 소형 셀들이 기존의 매크로 기지국들과 함께 설치되고 있다. 이러한 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크에서는 간섭과 부하 불균형으로 인하여 성능 열화가 발생할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 기법은 사용자들의 비례공평이 최대화되도록 두 가지 문제를 합동적으로 다룬다. 모의실험을 통하여, 기존의 기법들보다 제안하는 기법을 통해 훨씬 더 향상된 사용자 평균 전송률 및 사용자간의 비례공평을 얻을 수 있음을 알아본다.

**Key Words** : Cell grouping, User association, Network-MIMO, Proportional fairness

### ABSTRACT

In this paper, a joint cell grouping and user association technique proposed for a semi-dynamic grouped network MIMO in a clustered heterogeneous cellular network (HCN). With the conventional macro BSs, small cells are being overlaid to increase a spectral efficiency per area and these small cells are expected to be concentrated to support exponentially increasing data traffic in hot spot areas. The main culprits of performance degradation in the clustered HCN are interference and load imbalance. The proposed scheme jointly handles them to maximize a proportional-fair metric. It is shown that the proposed technique can largely improve user average rate and proportional fairness among users than any other conventional schemes in the clustered HCN.

### I. 서 론

최근의 셀룰러 시스템에서는 면적당 전송 효율을 증가시키기 위한 방법 중의 하나로 기존의 매크로 셀들 위에 펨토셀과 같은 소형 셀들이 설치되고 있다<sup>[1]</sup>. 특히 이러한 펨토셀 기지국들은 핫스팟

(hotspot)과 같이 데이터 요구량이 폭증하고 있는 밀집된 지역 안에 몰려서 설치될 것으로 예상되고 있으며, 이러한 경우에 대한 수학적 모델링을 위하여, 다수의 펨토셀 기지국들이 특정 밀집된 지역 안에 포이송 포인트 프로세스 (Poisson point process, PPP)를 따라 무작위로 분포되는 포이송 클러스터

※ 이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2012-0001571).

♦ 주저자 : 연세대학교 전기전자공학과 디지털통신 연구실, spacey2k@yonsei.ac.kr, 학생회원

° 교신저자 : 연세대학교 전기전자공학과 디지털통신 연구실, ks.kim@yonsei.ac.kr, 중신회원

\* 연세대학교 전기전자공학과 디지털통신 연구실, neolee@dcl.yonsei.ac.kr, urichoi86@dcl.yonsei.ac.kr

논문번호 : KICS2013-03-117, 접수일자 : 2013년 3월 5일, 최종논문접수일자 : 2013년 5월 6일

프로세스 (Poisson clustered process, PCP) 모델이 연구되어져 왔다<sup>[2]</sup>. 이러한 클러스터 이기종 네트워크에서는 서로 다른 계층 간 간섭<sup>[3]</sup> 뿐만 아니라, 같은 계층 간 간섭<sup>[2]</sup>과 부하 불균형<sup>[4]</sup>에 의하여 성능이 크게 나빠질 수 있다.

같은 계층 간 간섭을 다루는 좋은 후보 기술로써, 협력 전송 기법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>[5-7]</sup>. 모든 기지국들이 다 같이 협력하여 가장 좋은 성능을 얻을 수 있으나, 과도한 양의 데이터와 채널 정보가 백홀(backhaul)을 통해 셀 간에 공유되어야 하므로 실제로 사용하기는 쉽지 않으므로, 적당한 오버헤드로 협력 전송 기법을 사용하기 위해서는 협력하는 기지국들의 개수가 제한되어야 한다<sup>[8,9]</sup>. 주어진 셀들을 제한 개수 이내의 여러 그룹들로 묶는 기법을 셀 그룹핑 기법이라 하며, 기존의 셀 그룹핑 기법은 크게 정적 셀 그룹핑 기법<sup>[10]</sup>과 동적 셀 그룹핑 기법<sup>[11,12]</sup>으로 분류될 수 있다. 정적 셀 그룹핑 기법은 셀간 정보 교환이 거의 필요없지만, 그룹간 경계에 위치한 사용자는 계속해서 인접 그룹의 기지국들로부터 간섭을 받게 되어 성능이 열화된다. 이와는 대조적으로, 동적 셀 그룹핑 기법은 스케줄된 사용자를 고려하여, 그룹을 동적으로 맺어줌으로써, 그룹 간 간섭문제를 해결할 수 있다. 그러나, 제한된 백홀 용량 및 백홀 지연으로 인하여 실제로 동적 셀 그룹핑 방식을 사용하는 것은 어렵다<sup>[13]</sup>. 최근에는, 이러한 두 가지 방식의 중간 방식인 반동적 셀 그룹핑 기법에 대한 연구가 제안되었다<sup>[14,15]</sup>. 이 방식에서는 다수의 부채널들을 복수 개의 레이어(layer)로 나누고, 기본 셀 그룹핑 형태를 규칙적으로 이동시키면서, 레이어마다 서로 다른 정적 셀 그룹핑을 갖게 함으로써, 임의의 사용자가 최소한 적어도 하나의 레이어에서는 그룹 내 사용자가 될 수 있도록 하였다. 많은 사용자가 있는 기존 매크로 셀과 같은 환경에서는 이러한 방식이 잘 동작할 수 있지만, 일반적으로 불규칙적인 기지국 배치와 적은 수의 사용자를 같은 소형 셀에서는 이러한 방식이 잘 작동이 되지 않을 수 있다. 따라서, 소형셀 환경에서는 불규칙적인 기지국과 사용자의 위치를 고려해야 성능 이득을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 셀간 간섭과 셀간 부하 불균형을 효율적으로 해결하기 위해, 전송 링크(link) 품질과 트래픽(traffic)을 고려하여 사용자들을 한 셀 혹은 셀 그룹에 접속시켜 주는 사용자 접속 기법인 부하 균형 기법이 사용되어져 왔다<sup>[16-18]</sup>. 최대 수신 신호의 세기로 사용자 접속을 수행하는 기법<sup>[16,17]</sup>이

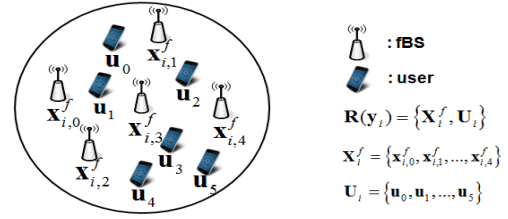


Fig. 1. An example of joint cell grouping and user association with 5 fBSs, 6 users, and 3 layers.

널리 사용되어져 왔으며, 이러한 부하 균형 기법을 통해 충분히 많은 사용자가 있는 매크로 셀에서는 셀간 부하 균형이 잘 맞추어진다. 하지만, 사용자의 수가 적고, 사용자의 위치 분포가 굉장히 비대칭적인 분포를 이루는 소형셀에서는 이러한 방식이 적당하지 않다. 그러므로, [18]로부터 알 수 있듯이, 사용자들의 위치를 고려하여 반동적 셀 그룹핑 기법과 사용자 접속이 합동하여 수행된다면, 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크의 성능은 더욱 더 향상되어 질 수 있다.

본 논문에서는 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크에서 클러스터별로 분산적으로 사용자 간의 비례공평을 최대화하기 위해서, 사용자의 위치를 고려한 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속을 위해 자기 구성 및 최적화 문제를 만들고, 이를 해결하기 위해 사용자 위치를 고려한 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속 기법이 제안된다. 모의실험을 통하여, 기존의 기법들보다 제안하는 기법을 통해 훨씬 더 향상된 사용자 평균 전송률 및 사용자간의 비례공평을 얻을 수 있음을 알아본다.

## II. 시스템 모형 및 문제 정의

본 논문에서는 기존의 매크로셀 및 매크로셀보다 더 낮은 송신 전력을 갖는 클러스터 펌토셀들이 같은 주파수 자원을 사용하는 이기종 셀룰러 네트워크를 고려한다. 매크로셀 기지국(mBS)의 위치 집합  $\mathbf{X}^m = \{x_0^m, x_1^m, \dots\}$ 은 밀도  $\lambda_m$ 을 가지는 PPP  $\phi_m$ 로 발생되며<sup>[19]</sup>, 여기서  $x_i^m$ 은  $i$ 번째 mBS의 위치를 나타낸다. 클러스터 펌토셀 기지국(fBS)들은 PCP [2]에 의해 모델링되며, 각각의 클러스터는 반지름  $R_c$

인 원 모양으로, 그리고  $i$ 번째 클러스터의 중심은  $y_i$ 로 나타내기로 한다. 클러스터 중심들의 위치 집합  $Y = \{y_0, y_1, \dots\}$ 는 밀도  $\lambda_c$ 를 가지는 PPP  $\Phi_c$ 로 발생된다.  $i$ 번째 클러스터의 펜토셀 기지국들의 위치 집합  $X_i^f = \{x_{i,0}^f, x_{i,1}^f, \dots\}$ 은 중심이  $y_i$ 이고 반지름  $R_c$ 인 원 내에서 밀도  $\lambda_f$ 를 가지는 PPP  $\Phi_f$ 로 발생되며,  $x_{i,j}^f$ 는  $i$ 번째 클러스터의  $j$ 번째 fBS의 위치를 나타낸다. 그러면, 기지국 위치의 전체 집합은  $X = X^m \cup X^f$ 로 주어지며, 여기서  $X^f = \cup_i X_i^f$ 이다. 사용자들의 위치 집합  $U = \{u_0, u_1, \dots\}$ 은 주어진  $Y$ 에 대해 포인트 프로세스들의 중첩의 결과로 모델링한다. 즉,  $U = U^m \cup U^f$ 로 주어지고, 여기서  $U^m = \{u_0^m, u_1^m, \dots\}$ 은 밀도  $\mu_m$ 을 가지는 PPP  $\Theta_m$ 로 발생되고,  $i$ 번째 클러스터 주변 사용자들의 위치 집합  $U_i^f = \{u_{i,0}^f, u_{i,1}^f, \dots\}$ 를 중심이  $y_i$ 이고 반지름  $R_c$ 인 원 내에서 밀도  $\mu_f$ 를 가지는 PPP  $\Theta_f$ 로 발생되는 집합이라 했을 때,  $U^f = \cup_i U_i^f$ 로 주어진다. 이 중,  $i$ 번째 클러스터 주변에 위치한 사용자 중 클러스터로 접속을 원하는 이웃 사용자들의 위치 집합을  $U_i \subset U$ 라고 나타내기로 하자.  $i$ 번째 클러스터를 위한 실현 집합(realization set)은  $R(y_i) = \{X_i^f, U_i\}$ 로 나타내어진다.

각 클러스터별로 펜토셀 기지국들은 사전에 인접 펜토셀과의 신호 교환을 통해 주 펜토셀 기지국을 선정한다고 가정하며, 선정된 펜토셀 기지국은 해당 클러스터를 위한 정보를 수집하고, 제어함으로써 최적화를 수행한다고 가정한다. 클러스터 구성단계에서 각 사용자들은 각 기지국들과의 평균 채널 이득을 측정하고, 주 펜토셀 기지국으로 측정된 평균 채널 이득값들을 보고한다. 여기서, 평균 채널값에 대한 피드백(feedback)은 기존 셀룰러 시스템에서도 핸드오버(handover)시 단말이 복수개의 기지국과의 평균 채널 정보를 측정하여, 피드백하게 되어 있으므로<sup>[20]</sup>, 이를 이용하게 되면, 제안하는 알고리즘을 위한 별도의 시그널링(signaling)에 대한 부담없이, 주 펜토셀 기지국은 단말과 기지국 사이의 평균 채널값들을 획득할 수 있다.

각 클러스터별로, 전체  $N_s$ 개의 부채널이 균등하게  $K$ 개의 레이어로 나뉘고, 이들 레이어들을 위해 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속이 수행된다. 집합  $\mathcal{A}$ 의 모든 가능한 파티션(partition)들의 집합을  $p(\mathcal{A})$ 로 나타내고, 이 중  $N$ 개의 원소로 이루어지는

모든 파티션 집합을  $p_N(\mathcal{A})$ 로 나타내기로 하자. 그러면,  $k$ 번째 레이어의 셀 그룹핑과 사용자 접속을 위한 파티션을 각각  $G_k \in p(X_i^f)$ 과  $P_k \in p_{G_k}(U_i)$ 로 나타낼 수 있다.  $1 \leq j \leq |G_k|$ 에 대하여,  $G_k$ 와  $P_k$ 의  $j$ 번째 원소는 각각  $j$ 번째 셀 그룹의 펜토셀 기지국 위치 집합과 이 그룹에 상응하는 접속된 사용자의 위치 집합을 나타낸다. 그러면,  $i$ 번째 클러스터를 위한 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속 벡터(vector)를  $\vec{V} = (\vec{V}_1, \vec{V}_2, \dots, \vec{V}_K) \in \Psi(R(y_i))$ 로 나타내도록 하자. 여기서,  $\vec{V}_k = (G_k, P_k)$ 이며,  $\Psi(R(y_i))$ 는 주어진 실현 집합  $R(y_i)$ 에 대한 모든 가능한 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속 벡터들의 집합이다. 그림 1은,  $i$ 번째 클러스터를 위한 실현 집합  $R(y_i)$ 와 이를 위한 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속 벡터의 실시 예이다. 총 3개의 레이어가 있고, 5개의 fBS들과 6명의 이웃 사용자가 각 레이어별로 파티션되어져있다. 첫 번째 레이어를 예로 들면, 셀 그룹핑에 의해 5개의 fBS들은  $x_{i,0}^f, x_{i,2}^f, x_{i,3}^f$ 으로 이루어진 그룹과  $x_{i,1}^f, x_{i,4}^f$ 로 이루어진 그룹을 구성하게 되고, 각각 사용자  $u_0, u_1, u_3, u_4$ 와 사용자  $u_2, u_5$ 를 서비스한다. 이 때, 사용자  $u_0$ 는 첫 번째 레이어에서 기지국  $x_{i,0}^f, x_{i,2}^f, x_{i,3}^f$ 으로부터 서비스를 받지만, 바로 인접한  $x_{i,1}^f$ 으로부터 간섭을 받게 되어 그룹 경계 사용자가 되지만, 세 번째 레이어에서 사용자  $u_0$ 는 기지국  $x_{i,0}^f, x_{i,1}^f, x_{i,3}^f$ 의 중심에 위치하게 되어, 높은 신호 품질을 얻을 수 있는 그룹 내부 사용자임을 주목하도록 하자.

각 클러스터별 분산적인 자기 구성을 위해, 셀 그룹핑 및 사용자 접속을 수행함으로써 사용자간 비례공평을 최대화하는 문제를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\vec{V}^* = \underset{\vec{V} \in \Psi(R(y_i))}{\operatorname{argmax}} \sum_{u \in U_i} \log(r_u(\vec{V})), \tag{1}$$

여기에서,  $r_u(\vec{V})$ 는 주어진 셀 그룹핑 및 사용자 접속 벡터  $\vec{V}$ 에 대한 사용자  $u \in U_i$ 의 기대 전송률을 나타낸다. 비록 클러스터별 최적화가 (1)의 결과에 의해 잘 될 수 있다고 하더라도, 임의의 협력 전송 기법과 스케줄링(scheduling) 방식 모두에 대하여 사용자들의 기대 전송률을 위한 정확한 단힌

수식을 얻는 것은 수학적으로 쉽지 않다. 그러므로, 본 논문에서는 사용자들의 기대 전송률을 쉽게 구하기 위해, 제로포싱(zero-forcing beamforming, ZFBF)<sup>[21]</sup>을 셀 그룹 내에서의 협력 전송 기법으로 정하고, 레이어 별로 독립적으로 임의의 사용자들 선택하는 스케줄링 방식을 가정하도록 한다.

협력 셀간에 제로포싱을 수행했을 때, 임의의 사용자의 기대 전송률은 [22]의 근사화된 기대 전송률을 위한 닫힌 수식을 참고하여 쉽게 구할 수 있다. [22]의 근사화된 수식을 이용하여 구한 사용자  $u$ 가 선택되어졌을 때의 기대 전송률을  $\overline{I_{u,k}}(\vec{V})$ 라고 나타내자. 그리고, 기지국  $x$ 와 사용자  $u$ 사이의 평균 신호 대 잡음비 (signal-to-noise power ratio, SNR)을  $\gamma_x(u)$ 라고 나타냈을 때,  $\overline{I_{u,k}}(\vec{V})$ 는 클러스터 내의 기지국들과 사용자들 사이의 평균 SNR 값들을 이용하여 닫힌 수식으로 구해지며, 이에 대한 자세한 사항은 [22]을 참고하도록 한다.  $s(u, k)$ 를 사용자  $u$ 가  $k$  레이어에서 속한 셀그룹 인덱스라고 할 때, 사용자  $u$ 를 위한 근사화된 기대 전송률  $\overline{r_u}(\vec{V})$ 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\overline{r_u}(\vec{V}) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{|G_k(s(u, k))|}{|P_k(s(u, k))|} \overline{I_{u,k}}(\vec{V}). \quad (4)$$

그러면, (1)에서의  $r_u(\vec{V})$  대신에  $\overline{r_u}(\vec{V})$ 를 사용하여, 다음과 같이 준 최적화 문제를 얻을 수 있다.

$$\vec{V}^+ = \operatorname{argmax}_{\vec{V} \in \Psi(R(y_i))} \sum_{u \in U_i} \log(\overline{r_u}(\vec{V})), \quad (5)$$

### III. 제안하는 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속 기법

모든 가능한 파티션들 중에서 이전 장의 준 최적화 문제 (5)의 비례공평 변량을 최대화하는 파티션을 찾는 것은 복잡도가 높은 비결정 다항문제 (nondeterministic Polynomial, NP)문제이므로, 이를 위해 탐욕 알고리즘(greedy algorithm) 방법을 사용하여 (5)의 준 최적해를 구하도록 하자.

이를 위한 제안하는 방식은 셀간 부하의 불균형을 해결하고, 동시에 최대한 모든 사용자가 셀 그룹 내 사용자가 될 수 있도록, 사용자 위치를 고려하지 않는 동적 그룹핑이나 반동적 그룹핑과 같은 기준

방식과 달리, 사용자들의 위치를 고려하여 일정한 주기로 사용자의 위치를 고려하여, 주 펠토셀 기지국이 각 레이어 별 서로 다른 셀 그룹핑 및 사용자 접속을 구성한다. 여기서, 제안 알고리즘을 수행하는 주기는 사용자 스케줄링 주기보다 크게 되도록 한다. 그러면, 제안하는 알고리즘으로 인해 발생하는 오버헤드(overhead)는 주 펠토셀 기지국이 평균 채널 정보를 획득하고, 이를 이용하여 얻은 셀 그룹핑과 사용자 접속결과를 각 기지국으로 알려주는 시그널링이라 할 수 있고, 제안하는 알고리즘이 사용자 스케줄링보다 큰 주기로 실행되기 때문에, 백홀에 크게 부담을 주지 않으며 제안하는 알고리즘을 사용할 수 있다. 셀그룹 크기에 제한을 두기 위해, 모든 셀그룹에 대해서 최대 셀그룹 크기를  $N^G$  개라고 가정하도록 한다. 그러면, (5)의 변량을 최대화시키기 위해 제안하는 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속 알고리즘은 아래와 같다.

- **단계 1.** 각 사용자 별로 신호 대 간섭 및 잡음 전력비 (signal to interference plus noise power ratio, SINR)를 최대화하는 최대  $N^G$ 개의 크기를 갖는 인접 기지국 집합을 구한다.
- **단계 2.** 단계 1에서 구한 각 사용자별 인접 기지국 집합들 중에서, 새로운 셀 그룹으로 선택되고, 해당 사용자가 해당 셀그룹으로 할당되었을 때, (5)의 비례공평 변량을 가장 최대화하는 셀그룹을 선택하고, 해당 사용자를 해당 셀 그룹에 할당한다.
- **단계 3.** 나머지 기지국들을 대상으로 단계 1과 2를 반복하고, 남은 기지국이 더 이상 없으면, 단계 4로 넘어간다.
- **단계 4.** 선택되지 않은 사용자들에 대하여, 생성된 각 펠토셀 그룹으로의 접속을 고려했을 때, 비례공평 변량값이 가장 최대가 되는 사용자 및 해당 펠토셀 그룹을 선택하고, 해당 사용자를 해당 펠토셀 그룹으로 접속시킨다.
- **단계 5.** 남은 펠토셀 사용자들이 모두 펠토셀 그룹에 할당될 때까지 단계4를 반복한다. 그리고 나서, 다음 레이어의 셀 그룹핑과 사용자 접속을 위해 단계 1로 돌아가 앞의 과정들을 다시 수행한다. 만약, 현재 레이어가 마지막 레이어일 경우에는 알고리즘을 종료한다.

IV. 실험 결과

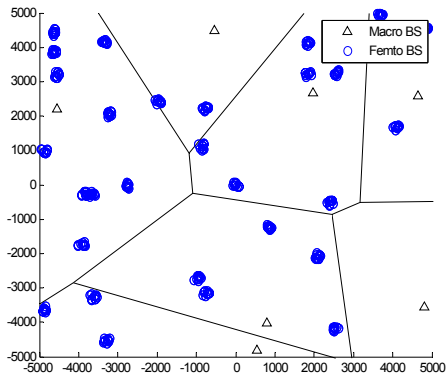


Fig. 2. Simulation environment (Macro BS, Femto BS)

그림 2는 모의실험에서 사용된 매크로셀과 펌토셀의 위치 분포 예이다. 사용된 전체 네트워크는 가로와 세로의 길이 모두 10km로 동일한 정사각형 모형이며, 매크로셀 기지국 전력은 43dBm, 펌토셀 기지국 전력은 23dBm, 간섭 전력 밀도는 -174dBm/Hz, 경로감쇄지수  $\eta=4$ , 그리고 대역폭은 10MHz로 하였다. 펌토셀 클러스터 밀도는  $\lambda_c = 2.8 \times 10^{-7}$ , 각 클러스터의 펌토셀 기지국들은 반지름  $R_c = 100m$ 인 원 내부에 위치하며, 각 클러스터 평균 펌토셀 기지국의 개수  $N^F$ 는  $N^F = \lambda_f * (\pi * R_c^2)$ 로 주어진다. 관찰하고자 하는 펌토셀 클러스터를 원점에 위치시켜 놓고, 클러스터의 이웃 사용자는 밀도  $\mu_f = 60 / (\pi * (R_c)^2) \approx 0.0019$ 로 하였다. 그러면, 클러스터 내의 펌토셀 별 평균 사용자 수  $N^U$ 는  $N^U = \mu_f / \lambda_f$ 로 주어진다. 나머지 매크로셀 기지국과 펌토셀 기지국들은 간섭을 미치는 역할을 한다. 그리고, 사용자 스케줄링을 위해 비례 공평을 최대화하는 스케줄링<sup>[23]</sup>을 실시하였으며, 사용자간 비례공평변량은 (5)식의 변량으로 정의하였고, 이 때 사용된 사용자들의 평균 전송률 단위는 Mbps/Hz이다. 본 논문에서 제안한 방식의 성능을 알아보기 위하여 그룹핑을 위한 오버헤드가 거의 없는 정적 셀 그룹핑 방식(static), 반동적 셀 그룹핑 방식(semi-dynamic), 그리고 각 셀별로 독립적으로 동작하는 방식(single-cell processing)과 비교하여 보았다.

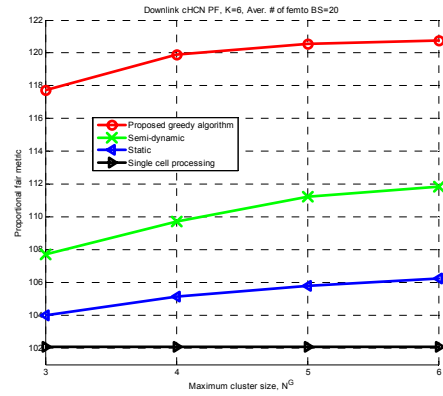


Fig. 3. Proportional fair metric for  $N^G=3,4,5$  when  $N^F=20, K=6$ .

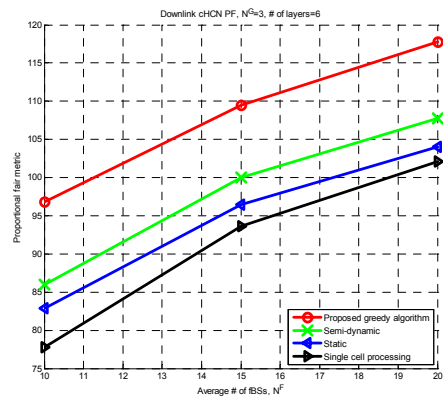


Fig. 4. Proportional fair metric for  $N^F=10,15,20$  when  $N^G=3, K=6$ .

그림 3은 클러스터 내 평균 사용자수  $N^F=20$ , 레이어 수  $K=6$ 일 때, 최대 셀그룹 크기에 따른 사용자간의 비례공평성을 도기한 것이다. 기존 방식들보다 제안하는 방식이 모든 경우에 대하여 가장 좋은 성능을 나타내고 있으며, 특히 최대 셀그룹 크기가 커질수록 제안 알고리즘을 이용해, 사용자의 위치를 고려한 셀 그룹핑과 사용자 접속을 함으로써, 사용자들간의 비례공평성 측면에서 제안한 방식의 성능 이득 폭이 기존의 방식들의 성능 이득 폭보다 큰 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 최대 셀 그룹 크기  $N^G=3$ , 레이어 수  $K=6$ 일 때, 각 클러스터 별 평균 펌토셀 기지국의 개수  $N^F$ 에 따른 사용자간의 비례공평성을 도기한 것이다. 펌토셀 기지국의 개수가 많아짐에 따라, 셀 그룹 당 사용자 수가 줄어들게 되어 모든 방식의 비례공평 변량값이 증가하고 있으며, 제안한 방식이 기존 방식들보다 더 우수한 것을 확인할 수 있다.

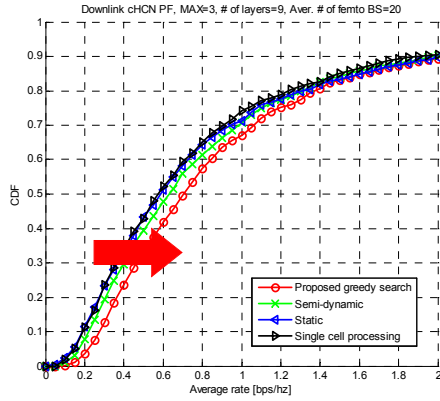


Fig. 5. Cumulative distribution function for user average rate when  $N^F = 20, N^G = 3, K = 9$ .

그림 5은  $N^F = 20, N^G = 3, K = 9$ 일 때, 사용자들의 평균 전송률의 누적분포를 도시한 것이다. 이를 통해, 사용자들의 위치를 고려한 제안 방식을 통하여 사용자간의 비례공평 뿐만 아니라 기존의 방식들보다 사용자들의 평균 전송률도 전체적으로 훨씬 향상될 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 클러스터 이기종 셀룰러 네트워크에서 사용자 간의 비례공평성을 최대화하기 위한 셀 그룹핑 및 사용자 접속 기법에 대하여 알아보았다. 이를 위해 각 클러스터를 위한 자기 구성 및 최적화 문제를 만들었고, 이를 효과적으로 해결하기 위해 사용자 위치를 고려한 합동 셀 그룹핑 및 사용자 접속 기법을 제안하였다. 모의실험을 통하여, 기존의 기법들보다 제안하는 기법을 통해 훨씬 더 향상된 사용자 평균 전송률 및 사용자간의 비례공평을 얻을 수 있음을 확인하였다.

### References

[1] H. Y. Lee, Y. J. Sang, J.-B. Park, J. H. Kwon, and K. S. Kim, "Survey on heterogeneous networks for B4G systems," *Inform. Commun. Mag.*, vol. 28, no. 8, pp. 17-25, Aug. 2012.  
 [2] R. K. Ganti and M. Haenggi, "Interference and outage in clustered wireless ad hoc networks," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 55, no. 9, pp. 4067-4086, Sep. 2009.  
 [3] M.-S. Kim, H. W. Je, and F. A. Tobagi,

"Cross-tier interference mitigation for two-tier OFDMA femtocell networks with limited macrocell information," in *Proc. IEEE Global Telecommun. Conf. (GLOBECOM 2010)*, pp. 1-5, Miami, U.S.A., Dec. 2010.  
 [4] H.-S. Jo, Y. J. Sang, P. Xia, and J. G. Andrews, "Heterogeneous cellular networks with flexible cell association: a comprehensive downlink SINR analysis," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Submitted, July 2011, available at <http://arxiv.org/abs/1107.3602>.  
 [5] F. Boccardi and H. Huang, "Limited downlink network coordination in cellular networks," in *Proc. IEEE 18th Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC 2007)*, pp. 1-5, Athens, Greece, Sep. 2007.  
 [6] S. Shamai and B. M. Zaidel, "Enhancing the cellular downlink capacity via co-processing at the transmitting end," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC 2001)*, vol. 3, pp. 1745-1749, Rhodes, Greece, Apr. 2001.  
 [7] M. Kemal Karakayali, G. J. Foschini, and R. A. Valenzuela, "Network coordination for spectrally efficient communications in cellular systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, no. 4, pp. 56-61, Aug. 2006.  
 [8] M. Kamoun and L. Mazet, "Base-station selection in cooperative single frequency cellular network," in *Proc. 8th IEEE Workshop on Signal Process. Advances in Wireless Commun. (SPAWC 2007)*, pp. 1-5, Helsinki, Finland, June 2007.  
 [9] P. Marsch and G. Fettweis, "A framework for optimizing the downlink of distributed antenna systems under a constraint backhaul," in *Proc. 13th European Wireless Conf. (EW 2007)*, pp. 1-5, Paris, France, Apr. 2007.  
 [10] S. Venkatesan, "Coordinating base stations for greater uplink spectral efficiency in a cellular network," in *Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC 2007)*, pp. 1-5, Athens, Greece, Sep. 2007.  
 [11] A. Papadogiannis, D. Gesbert, and E. Hardouin, "A dynamic clustering approach in wireless networks with multi-cell cooperative

- processing,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC 2008)*, pp. 4033-4037, Beijing, China, May 2008.
- [12] F. Boccardi, H. Huang, and A. Alexiou, “Network MIMO with reduced backhaul requirements by MAC coordination,” in *Proc. Asilomar Conf. Signals, Syst. Comput. (ACSSC 2008)*, pp. 1125-1129, Pacific Grove, U.S.A., Oct. 2008.
- [13] 3GPP TSG-RAN1 #54, “Network MIMO for downlink transmission in LTE-Advanced,” 3GPP R1-083192, Aug. 2008.
- [14] S. A. Ramprasad, G. Caire, and H. C. Papadopoulos, “A joint scheduling and cell clustering scheme for MU-MIMO downlink with limited coordination,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC 2010)*, pp. 1-6, Cape Town, South Africa, May 2010.
- [15] F. Huang, Y. Wang, J. Geng, M. Wu, and D. Yang, “Clustering approach in coordinated multi-point transmission/reception system,” in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. Fall (VTC 2010-Fall)*, pp. 1-5, Ottawa, Canada, Sep. 2010.
- [16] S. V. Hanly, “An algorithm for combined cell-site selection and power control to maximize cellular spread spectrum capacity,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 13, no. 7, pp. 1332-1340, Sep. 1995.
- [17] S. Das, H. Viswanathan, and G. Rittenhouse, “Dynamic load balancing through coordinated scheduling in packet data systems,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Commun. (INFOCOM 2003)*, vol. 1, pp. 786-796, San Francisco, U.S.A., Mar. 2003.
- [18] K. Son, S. Chong, and G. D. Veciana, “Dynamic association for load balancing and interference avoidance in multi-cell networks,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 7, pp. 3566-3576, July 2009.
- [19] J. G. Andrews, F. Baccelli, and R. K. Ganti, “A tractable approach to coverage and rate in cellular networks,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Submitted, Sep. 2010, available at <http://arxiv.org/abs/1009.0516>.
- [20] K. Dimou, M. Wang, Y. Yang, M. Kazmi, A. Larmo, J. Pettersson, W. Muller, and Y. Timmer, “Handover within 3GPP LTE: Design principles and performance,” in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. Fall (VTC 2009-Fall)*, pp. 1-5, Anchorage, U.S.A., Sep. 2009.
- [21] P. Lu and H. Yang, “Sum-rate analysis of multiuser MIMO system with zero-forcing transmit beamforming,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 57, no. 9, pp. 2585-2589, Sep. 2009.
- [22] 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 Process.*, vol. 59, no. 10 pp. 4885-4899, Oct. 2011.
- [23] A. Jalali, R. Padovani, and R. Pankai, “Data throughput of CDMA HDR a high efficiency-high data rate personal communication wireless system,” in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC 2000)*, vol. 3, pp. 1854-1858, Tokyo, Japan, May 2000.

**박진배 (Jin-Bae Park)**



2006년 2월 연세대학교 전기  
전자공학과 졸업  
2008년 2월 연세대학교 전기  
전자공학과 석사  
2008년 3월~현재 연세대학교  
전기전자공학과 박사과정  
<관심분야> 이기종 셀룰러 네  
트워크, 협력통신, 무선 자원 관리

**이형열 (Hyung Yeol Lee)**



2007년 2월 연세대학교 전기  
전자공학과 졸업  
2007년 3월~현재 연세대학교  
전기전자공학과 석박사통합  
과정  
<관심분야> 셀 접속, 무선 자  
원 관리

최 우 리 (Uri Choi)



2012년 2월 이화여자대학교  
전자정보통신공학과 졸업  
2012년 3월~현재 연세대학교  
전기전자공학과 석사과정  
<관심분야> 이기종 셀룰러 네  
트워크

김 광 순 (Kwang Soon Kim)



1994년 2월 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과 졸업  
1996년 2월 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과 석사  
1999년 2월 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과 박사  
1999년 3월~2000년 3월

Dept. ECE, UC San Diego, 박사후연구원

2000년 4월~2004년 2월 한국 전자 통신 연구소  
선임연구원

2004년 3월~2009년 2월 연세대학교 전기전자공  
학부 조교수

2009년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학부 부교  
수

<관심분야> 통신이론, 신호 검출 이론, 이기종 셀룰  
러 네트워크, D2D/모바일 애드혹 네트워크, 자원  
및 간섭 관리