

# OFDMA 펌토셀에서의 셀 선택 기법

박상규, 윤성국, 박세웅  
서울대학교 전기컴퓨터공학부 뉴미디어통신공동연구소  
{skpark, sgyoon}@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr

## Cell-site selection for OFDMA Femtocells

Sangkyu Park, Sung-Guk Yoon, Saewoong Bahk  
INMC, School of EECS, Seoul National University

### 요약

본 논문에서는 매크로셀과 다수의 펌토셀이 배치된 환경에서 전체 네트워크의 효율성을 향상시킬 수 있는 단말의 셀 선택 온라인 알고리즘을 제시하였다. 셀 선택 시에는 단말과 셀(매크로, 펌토)의 신호세기, 셀이 사용하는 대역폭, 셀과 연결되어 있는 사용자의 수가 동시에 고려된다. 모의실험을 통해 제안하는 기법이 네트워크 용량, 사용자들간의 공평성을 향상시키고, 펌토셀 간의 부하분산 효과가 있음을 보였다.

## I. 서론

펌토셀은 증가하는 데이터 서비스 수요와 실내에서의 신호품질 저하에 대한 대안으로 각광받고 있다. 펌토셀은 사용자에 의해 실내에 배치될 수 있기 때문에 실내 사용자는 보다 좋은 채널에서 서비스를 받을 수 있다. 뿐만 아니라 펌토셀은 작은 커버리지를 가지기 때문에 주파수의 공간적 재사용률이 증가하여 네트워크의 용량이 증가된다. 펌토셀을 구현하는데 있어 인접 셀과의 간섭(매크로/펌토, 펌토/펌토) 문제, 동기화 문제, 펌토셀의 QoS 보장, 매크로 사용자의 펌토셀 접근제어 등 여러 가지 해결해야 할 문제들이 있다 [1].

하지만 펌토셀의 이점을 극대화시키기 위해서는 이런 기술적인 문제뿐만 아니라 전체 네트워크의 효율성을 향상시키기 위한 단말(사용자)과 셀(기지국 또는 펌토 access point (AP)) 간의 연결제어방식이 필요하다. 단말이 기지국으로부터의 신호세기를 기준으로 단순히 가장 근접한 셀에 연결되는 것보다, 각 기지국으로부터의 신호세기와 기지국에 연결되어 있는 사용자의 숫자를 고려하여, 기지국으로부터 서비스 받을 수 있는 전송률을 예측하고 전체 네트워크의 연결상태를 동시에 고려했을 때 네트워크의 효율이 극대화될 수 있다 [2]. 본 논문에서는 기존 연구에서 [2] 소개된 개념을 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) 펌토셀 환경에 적용하기 위한 동적 연결제어 온라인 알고리즘 및 셀 선택 기준을 제시한다.

## II. OFDMA 펌토셀 환경

셀간의 간섭이 성능열화의 주원인이 되는 OFDMA 통신 시스템에서는 셀간의 간섭(매크로/펌토, 펌토/펌토)을 피하기 위한 여러 종류의 채널자원할당 방법이 있다. 매크로/펌토 간섭을 피하기 위해 직교 채널 할당과 동시 채널 할당이 있고, 펌토/펌토 간섭을 피하기 위해 중앙집중형 또는 분산적 방식으로 스스로 부채널을 할당하는 방법 등이 있다 [3].

결국, 어떤 방식으로 자원을 할당하더라도 매크로셀과 각각의 펌토셀이 가지는 채널 자원은 채널할당방식과 펌토셀이 얼마나 조밀하게 분포되어있느냐에 따라 달라지게 되고 이를 고려한 셀 선택 방법이 필요하다.

## III. 네트워크 효율 극대화 셀 선택 기법

본 장에서는 새로운 단말이 네트워크에 진입하거나, 핸드오버를 시도할 때 어떤 셀을 선택해야 하는지에 대한 기법을 제시한다. 단말은 셀을 선택할 때, 데이터를 송수신 가능한 모든 후보 셀들 중 단말이 연결되었을 때 네트워크 효율의 증가량이 가장 많은 셀을 고른다. 즉, 셀 선택 시 다음과 같이 주어진 목적함수를 최대화하기 위한 셀을 선택한다.

$$\begin{aligned} U_{tot} &= \sum_{a \in M} U_a + \sum_{a \in F} U_a \\ &= \sum_{a \in M} \sum_{u \in Q_a} \log(\bar{R}_{ua}) + \sum_{a \in F} \sum_{u \in Q_a} \log(\bar{R}_{ua}) \\ &= \sum_{a \in M} \sum_{u \in Q_a} \log(r_{ua} \frac{P_a}{y_a}) + \sum_{a \in F} \sum_{u \in Q_a} \log(r_{ua} \frac{P_a}{y_a}) \end{aligned}$$

위 식에서  $M$ 은 매크로셀,  $F$ 는 펌토셀 집합이고,  $Q_a$ 는 셀  $a$ 에 연결되어 있는 단말의 집합이다.  $r_{ua}$ 는 사용자  $u$ 와 셀  $a$ 간의 채널이득에 따른 가능한 평균전송률이다.  $\bar{R}_{ua}$ 는 사용자  $u$ 가 셀  $a$ 가 사용할 수 있는 채널 자원  $P_a$ 을 셀에 있는 사용자  $y_a$ 명이 비례 공평하게 나눠가졌을 때 실제로 얻게 되는 평균전송률이다. 여기서 셀  $a$ 가 사용할 수 있는 채널 자원은 매크로셀/펌토셀간의 자원분배, 펌토셀 간의 간섭회피 기법에 따라 달라지지만 기지국(또는 AP)에 의해 측정될 수 있다. 사용자  $u$ 가 셀  $a$ 에서 얻게 되는 효율은 평균전송률에 로그를 취한 것으로 가정한다. 위 식에서 볼 수 있듯이 각 셀의 효율은 그 셀에서 서비스를 받고 있는 사용자의 효율의 합과 같고, 새로운 사용자가 셀에 연결되었을 때, 또는 셀에 있던 사용자가 셀을 떠날 때만 변하게 된다. 그리고 전체 네트워크의 효율은 새로운 사용자가 연결되거나 기존의 사용자가 떠나는 셀들에 의해서만 변한다. 우선, 사용자  $k$ 가 셀  $a$ 에 연결될 때 셀  $a$ 가 가지는 효율의 변화량은 다음과 같고, 이는 전체 네트워크 효율의 변화량과 같다.

$$\Delta U_a^A(k) = \begin{cases} y_a \log \frac{y_a}{y_a+1} + \log(r_{ka} \frac{P_a}{y_a+1}), & \text{if } y_a \neq 0 \\ \log(r_{ka} P_a), & \text{if } y_a = 0 \end{cases}$$

셀  $a$  에 있던 사용자  $k$  가 셀을 떠남으로써 셀  $a$  가 가지는 효용의 변화량은 다음과 같다.

$$\Delta U_a^D(k) = \begin{cases} y_a \log \frac{y_a}{y_a - 1} - \log(r_{ka} \frac{P_a}{y_a - 1}), & \text{if } y_a \neq 0 \\ -\log(r_{ka} P_a), & \text{if } y_a = 0 \end{cases}$$

따라서 사용자  $k$  가 셀  $m$  에서 셀  $n$  으로 핸드오버 시 전체 네트워크 효용의 변화량은 위의 두 식을 이용하여 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$\Delta U_{m,n}^H(k) = \begin{cases} \Delta U_m^D(k) + \Delta U_n^A(k), & \text{if } m \neq n \\ 0, & \text{if } m = n \end{cases}$$

제안하는 셀 선택기준은 아래의 두 가지 경우에 필요하다.

1) 새로운 사용자의 네트워크 진입

$$a^* = \arg \max_a \{ \Delta U_a^A(k) \}, \quad a \in M \cup F$$

새로운 사용자가 네트워크에 진입 시 위의 기준을 만족하는 셀에 연결된다.

2) 주기적 핸드오버 시도

$$n^* = \arg \max_n \{ \Delta U_{m,n}^H(k) \}, \quad m \in M \cup F, n \in M \cup F$$

사용자가 이미 특정 셀에 연결되어 있더라도 주기적으로 전체 네트워크의 효용을 증가시키기 위해 핸드오버를 시도하고, 위의 기준에 따라 셀을 선택한다.

#### IV. 모의실험결과

제안하는 셀 선택 기법의 성능을 평가하기 위해 한 매크로셀에 120 개의 펌토셀, 500 명 사용자가 있는 토폴로지를 고려하였고, 모든 셀은 비례공평성 스케줄러를 사용한다. 모든 펌토 AP 는 모든 사용자에게 개방된 타입을 가정하였다. 비교 대상으로, 가장 좋은 신호를 전송하는 셀을 선택하면서 펌토셀을 우선적으로 선택하는 기법을 사용하였다.

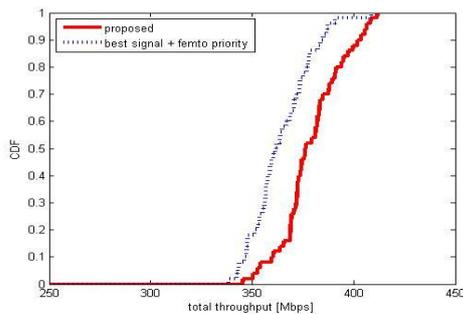


그림 1. 전체 네트워크용량의 비교

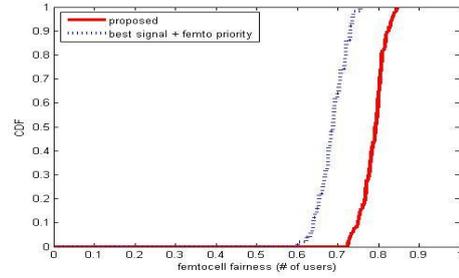


그림 2. 펌토셀 간의 사용자 수 공평성(부하분산) 비교

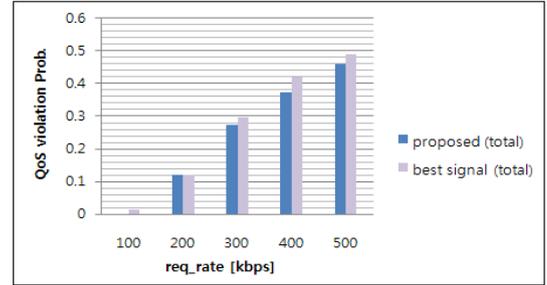


그림 3. QoS 불만족 확률

그림 1 은 제안한 방법을 사용하였을 때 전체 네트워크의 용량이 증가함을 보여준다. 또한, 그림 2 는 제안한 방법을 사용하였을 때 펌토셀의 사용자 수가 보다 고르게 분포함을 보이고 있다. 이는 제안한 셀 선택 기준에 따라 보다 적은 수의 사용자를 가지는 셀을 선택하게 될 가능성이 크기 때문이다. 셀 사용자의 고른 분포는 펌토셀간의 부하분산효과를 의미하고, 이에 따라 QoS 가 만족되지 못하는 사용자의 수가 감소하는 것을 그림 3 을 통해 확인할 수 있다.

#### V. 결론

본 논문에서는 매크로셀과 다수의 펌토셀이 혼재하는 상황에서 네트워크 전체의 효용을 개선하기 위해 수신신호의 세기, 셀에게 가용한 채널자원, 셀의 사용자 수를 고려한 셀 선택 기법을 제시하고, 모의실험을 통해 그 성능을 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2009-C1090-0902-0006 )

#### 참고 문헌

- [1] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Femtocell Networks: A Survey," *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, pp. 59-67, Sep. 2008.
- [2] T. Bu, L. Li, and R. Ramjee, "Generalized Proportional Fair Scheduling in Third Generation Wireless Data Networks," in Proc. *IEEE INFOCOM 2006*.
- [3] D.Lopez-Perez, A.Valcarce, G. de la Roche, and J. Zhang, "OFDMA femtocells: a roadmap on interference avoidance," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, pp. 41-48, Sept. 2009.