

# 이종 셀룰러 네트워크 환경에서의 반송파 묶음을 이용한 효율적인 사용자 접속 기법

최우리, 이형열, 박진배, 상영진, 김광순\*  
연세대학교 전기전자공학부

{urichoi, neolee, spacey2k, yjmich \*ks.kim}@yonsei.ac.kr

## User Association with Carrier Aggregation for Heterogeneous Cellular Networks

Woori Choi, Hyung Yeol Lee, Jin Bae Park, Young Jin Sang and Kim Kwang Soon\*  
Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University,  
50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea

### 요 약

본 논문에서는 반송파 묶음을 사용하는 이종 셀룰러 네트워크 환경에서의 효율적인 사용자 접속 기법을 제안한다. 최근 폭발적으로 증가하고 있는 데이터 요구량을 지원하기 위하여 소형 셀들이 매크로(Macro) 기지국들과 함께 설치되고 있으며, LTE-Advanced (LTE-A)의 핵심기술인 반송파 묶음을 통해 복수의 주파수와 기지국을 동시에 접속함으로써 높은 데이터 요구량 지원을 기대 할 수 있다. 하지만, 이를 위해선 매크로와 소형 셀 기지국 사이의 트래픽이 균형을 이루어야 한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 반송파 묶음을 통하여 각 사용자들의 높은 데이터 전송속도를 만족하면서 기지국들 간의 트래픽이 균형을 이루도록 두 가지 문제를 동시에 다룬다. 모의실험을 통하여, 단일 반송파를 사용하는 기법보다 제안하는 기법이 향상된 사용자 평균 전송률을 얻을 수 있음을 알아본다.

### I. 서 론

지난 몇 년간, 새로운 멀티미디어 기기들의 출현으로 모바일 트래픽의 수요가 증가하였다. 이렇게 기하급수적으로 증가하는 데이터 요구량은 앞으로도 계속될 전망이다. 대용량의 데이터를 요구하는 핫스팟 내부의 사용자들을 충족시키기 위하여 단일 계층의 셀룰러 네트워크에 적은 파워와 유지 보수 비용의 장점을 갖고 있는 소형 셀을 설치하는 이종 셀룰러 네트워크(Heterogeneous Cellular Networks)가 형성되었다 [1]. 이러한 기술적 트렌드에 맞추어 기지국의 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 트래픽의 균형에 대한 연구가 많이 있어왔다 [2][3]. 하지만, 이러한 노력에도 불구하고 여전히 단일 반송파를 통하여 LTE-A 에서 목표로 하는 1Gbps 를 만족하기에는 역부족이다 [2]. 따라서, LTE-A 에서 유망한 핵심기술로 화두가 되고 있는 것이 반송파 묶음(Carrier Aggregation)으로 반송파 묶음은 두 개 이상의 반송파로 확장된 대역폭을 통하여 데이터 전송률을 높이는 기법이다 [4][5]. 다중 반송파에 대한 연결이 가능해지면서 사용자 접속 시 각각의 반송파들의 밴드 특성에 따른 대역폭 및 신호 감쇄의 특성을 고려 해야 한다. 이에 대해 기존의 단일 반송파를 기반으로 한 시스템에서의 트래픽 균형 방식이 다중 반송파를 고려한 새로운 트래픽 균형으로 전환되어야 한다.

따라서, 본 논문에서는 반송파 묶음과 같은 다중 연결이 가능한 시스템 모형을 설명하고 효율 극대화식을 통해 기지국의 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 사용자 접속 기법을 제안하고자 한다. 마지막으로

시뮬레이션을 통하여 기존 시스템의 방식과 성능을 비교 검증 하였다.

### II. 시스템 모형

본 논문에서는 높은 데이터 전송율을 요구하는 핫스팟이 공존하는 시스템 모형을 가정한다. 또한 이러한 지역을 지원하기 위하여 전방향 1x1 개의 안테나를 가지고 있는 매크로, 펌토 (Femto) 그리고 피코 (Pico) 총 3 가지 종류의 기지국을 정의한다. 매크로 기지국과 핫스팟 지역이 각각  $\lambda_M$  와  $\lambda_H$  의 밀도를 가지는 PPP (Poisson Point Process)의 분포로 위치하고 있다. 모바일 사용자들은  $\lambda_1$  밀도를 가지고 시스템 전체 지역을 대상으로 PPP 분포를 따르며 위치하게 되며 핫스팟 지역을 중심으로 반경  $R$  이내 지역에  $\lambda_2$  의 밀도를 갖고 마찬가지로 PPP 분포를 따라 위치한다. 피코와 같은 소형 셀들은 핫스팟 이내에 밀집된 사용자들을 지원하기 위하여 같은 방법으로 핫스팟 지역을 중심으로 반경  $R$  이내에  $\lambda_F$  와  $\lambda_P$  의 밀도를 가지고 PPP 분포로 존재한다. 이에 생성된 사용자들과 기지국의 집합을  $U \in \{u, u_2, \dots, u_x, \dots\}$  와  $J \in \{j_1, j_2, \dots, j_k, \dots\}$  로 각각 나타낸다. 본 논문에서 정의된 3 가지 종류의 기지국은 각각  $P_M, P_F$  그리고  $P_P$  의 전송 전력을 갖고 각 기지국이 사용할 수 있는 3 개의 밴드를 가정한다. 따라서 이용 가능한 밴드의 집합은  $M \in \{m_1, m_2, m_3\}$  ( $m_1 = 800\text{MHz}$ ,  $m_2 = 2.6\text{GHz}$  and  $m_3 = 60\text{GHz}$ )

이며 각각의 밴드에 따라 대역폭과 신호 감쇄 계수의 집합은  $B \in \{b_1, b_2, b_3\}$  ( $b_1 = 9\text{MHz}$ ,  $b_2 = 9\text{MHz}$  and  $b_3 = 2\text{GHz}$ ) 과  $A \in \{a_1, a_2, a_3\}$  ( $a_1 = 3$ ,  $a_2 = 4$  and  $a_3 = 5$ ) 로 정의된다. 본 논문에서는 매크로가 하위 두 개의 밴드 펠토가 중간 밴드 그리고 피코가 최상위 밴드를 사용한다고 가정하였다. 위 시스템 모형을 아래의 그림 1 에서 확인할 수 있다.

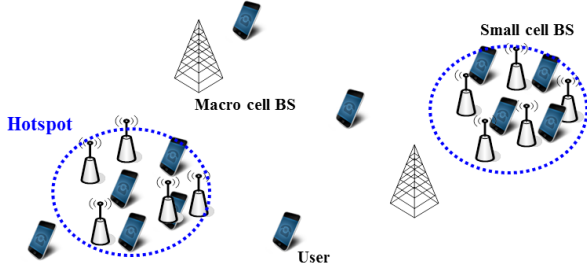


그림 1 시스템 모형

### III. 문제정의 및 제안하는 사용자 접속 기법

본 논문은 반송파 묶음을 기반으로 한 시스템에서 기지국을 효율적으로 사용하기 위하여 사용자의 트래픽이 소형 셀 기지국과 매크로 기지국에 균형을 이루며 접속 되도록 하는 것을 목표로 한다. 기존의 단일 캐리어를 사용하는 경우 흔히 최대 RSRP (Reference Signal Received Power)를 기준으로 사용자 접속방법을 행하게 되는데 이러한 경우 상대적으로 높은 전송 전력을 갖는 매크로 기지국에 트래픽이 몰리게 되어 소형 셀의 자원은 낭비하는 것은 물론 사용자의 서비스 질 또한 떨어지게 된다. 따라서 본 논문에서는 단일 대역, 단일 반송파를 사용하는 이기종 셀룰러 네트워크 환경에서 부하균형을 위해 제안되었던 효율 극대화 식을 다중 대역, 다중 반송파가 적용된 환경에 맞게 새로 정의하였다. 이는 단순히 사용자 처리율을 극대화 하는 것이 아닌 사용자 접속 방법과 자원 관리를 동시에 고려한 것이다. 따라서, 이를 통해 사용자간의 부하균형 및 공평성을 기대 할 수 있다. 본 논문의 효율 극대화식은  $m$  밴드에서 작동하는 기지국  $j$  와 사용자  $i$  의 연결 지표 요소를  $x_{i,j,m}$  라 할 때 지표 매트릭스  $X$  에 대해 다음과 같이 정의 된다. (이때, 기지국과 사용자간의 연결이 성립되면  $x_{i,j,m} = 1$ , 접속 되지 않으면  $x_{i,j,m} = 0$ 이다.)

$$X^* = \arg \max_{x_{i,j,m}} \sum_{i \in U} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} x_{i,j,m} \log \left( \frac{c_{i,j,m}}{\sum_k x_{k,j,m}} \right)$$

$$\text{s.t. } x_{i,j,m} \in \{0,1\}, \forall i \in U, \forall j \in J \text{ and } \forall m \in M,$$

$$1 \leq \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} x_{i,j,m} \leq 3, \forall i \in U$$

여기서  $c_{i,j,m}$  은  $m$  밴드에서 작동하는 기지국  $j$  와 사용자  $i$  간의 달성 가능한 데이터 전송률이며  $\sum_k x_{k,j,m}$  은 사용자  $i$  를 제외한  $m$  밴드에서 작동하는 기지국  $j$  를 사용하는 이용자들의 수를 의미한다. 위의 정의된 문제를 비교적 낮은 복잡도로 풀기 위하여 지표 요소를  $0 \leq x_{i,j,m} \leq 1$  로 완화시키도록 한다. 이에 대해 기존의

단일 캐리어 효율 극대화 사용자 접속 기법 [2]과 비교하면 다음과 같은 결과를 나타낼 수 있다.

### IV. 모의 실험 결과

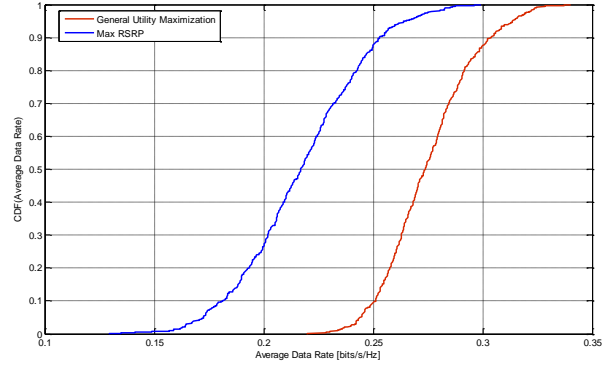


그림 2 사용자 평균 전송률 (CDF)

위의 그림 2 는 사용자의 평균 전송률을 CDF 로 나타낸 것이다. 본 논문의 모의 실험에서는 최대 수신파워를 이용한 사용자 접속기법 방법이 제안된 방법과 비교되었다. 이를 통하여 평균적인 전송률(약 30%)은 물론 하위 10 퍼센트 사용자(약 37%)에 대해서도 반송파 묶음을 이용한 트래픽이 효율적으로 분산된 다중연결을 통해 성능 향상이 있음을 확인하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2013 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2013-024473).

### 참 고 문 헌

- [1] Yeh, S. P., Talwar, S., Wu, G., Himayat, N., and Johnsson, K., " Capacity and coverage enhancement in heterogeneous networks," *Wireless Commun. IEEE*, vol. 18, no. 3, pp. 32-38.
- [2] Ye, Q., Rong, B., Chen, Y., Al-Shalash, M., Caramanis, C., and Andrews, J., " User association for load balancing in heterogeneous cellular networks," *IEEE Trans, Wireless.*, <http://arxiv.org/abs/1205.2833>, to appear.
- [3] Wang, J., Liu, J., Wang, D., Pang, J., and Shen, G., " Optimized fairness cell selection for 3GPP LTE-A macro-pico HetNets," *VTC Fall, IEEE*, pp.1-5.
- [4] Shen, Z., Papasakellariou, A., Montojo, J., Gerstenberger, D., and Xu, F., " Overview of 3GPP LTE-Advanced Carrier Aggregation for 4G Wireless Communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no.2, pp.122-130.
- [5] G Yuan et al., " Carrier Aggregation for LTE-Advanced Mobile Communication Systems," *IEEE Commun. Mag.*, Feb. 2010, pp. 88-93.