

# 소형셀 환경에서 하이브리드 빔포밍을 고려한 효율적인 기지국 할당 기법에 대한 연구

황해광<sup>o</sup>, 권중형, 박진배, 김광순

연세대학교 전기전자공학과

## Cell association techniques using hybrid beamforming in small cell networks

Hae Gwang Hwang<sup>o</sup>, Jung Hyoung Kwon, Jin-Bae Park, Kwang Soon Kim

Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

hwang819@dcl.yonsei.ac.kr, goodream@dcl.yonsei.ac.kr,

spacey2k@dcl.yonsei.ac.kr, ks.kim@yonsei.ac.kr

### 요 약

소형셀 네트워크는 트래픽의 균형적인 분산 및 음역지역을 해소함으로써 보다 높은 서비스를 제공할 수 있으나 좁은 지역에 소형셀이 밀집될 경우 소형셀 간의 간섭으로 인하여 eICIC를 이용한 간섭 제어는 한계가 있다. 본 논문에서는 각 소형셀이 하이브리드 빔형성 안테나를 통한 사용자에 대한 방향성을 고려함으로써 소형셀의 서비스 영역이 사용자를 중심으로 형성되는 결합 셀 접속 방법을 제안하였으며 모의 실험을 통해 기존의 소형셀 네트워크와의 성능을 비교 검증하였다.

#### 1. 서론

최근 이동 통신 기기의 급격한 보급과 고품질 서비스에 대한 요구의 증가로 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project)에서는 트래픽 포화 지역이나 음영 지역에 소형셀을 설치하는 이기종 그 대안 중 하나로 고려하고 있다 [1]. 소형셀은 송신전력 차이로 인하여 매크로셀과의 간섭 및 비효율적인 자원 배분 문제가 발생하며 이에 대한 대안으로 셀간 간섭 제어 (enhanced ICIC, eICIC) 및 셀영역 확장 (Cell Range Expansion)이 많은 관심을 받고 있다. 그러나 소형셀이 밀집된 환경에서는 eICIC에 의한 간섭 감소보다 소형셀 간의 간섭 문제가 발생하게 된다. 기지국간 협력 (CoMP) 기술은 기지국간 협력을 통해 적극적으로 소형셀 간의 간섭을 줄일 수 있으나 백홀의 제한으로 밀집된 소형셀 환경에서는 활용이 제한적일 수 밖에 없다. 그러므로 사용자의 위치에 따라 방향성을 제공하고 이를 고려한 접속을 통해 간섭을 줄이는 것이 바람직하다. 하이브리드 빔형성 안테나는 기존 다중 안테나에 비해 표준 규격의 제약없이 저복잡도로 사용자에 대한 방향성을 줄 수 있기 때문에 방향성을 고려한 접속에 적합하다 [2].

본 논문에서는 하이브리드 빔형성 안테나를 사용하는 이기종 네트워크 모형을 설명하고 소형셀 기지국이 각 사용자의 평균 수신 전력을 최대화하는 방향성을 결정된 후 이를 백홀을 통해 중앙 제어부에 전달하여 결합 셀 접속을 수행하는 접속 방법을

제안한다. 마지막으로 모의 실험을 통해 제안한 방식과 기존 기법과의 성능을 비교 검증하였다.

#### 2. 시스템 모형

본 논문에서는 하나의 중앙 제어부가 단일 안테나를 가지는 매크로셀과  $N$  개의 subarray로 구성된  $M$  개의 안테나를 가지는 소형셀을 제어하는 이기종 네트워크 하향 전송 환경을 고려한다. 매크로셀은  $\lambda_B$ 의 밀도를 가지는 PPP (Point Poisson Process)의 분포로 존재하고 소형셀은  $\lambda_s$ 의 밀도를 가지는 PPP (Point Poisson Process)의 분포로 존재하며, 단일 안테나를 가진 사용자가  $\lambda_U$ 의 밀도를 가지는 PPP로 존재한다고 가정한다. 이 때 각 매크로셀 (소형셀) 기지국은  $P_{m(s)}$ 의 평균 송신 전력을 사용하며  $\mathbf{B}_{m(s)}$ 를 매크로셀 (소형셀) 기지국들의 집합으로 정의한다.  $j$  번째 소형셀 기지국에 속한 사용자 집합을  $\mathbf{U}_j$ 으로 정의하며 각 사용자는 하나 이상의 기지국에 대해 접속할 수 있다고 가정하고 그 값을  $I_{j,k}$ 로 정의한다.  $j$  소형셀에서  $k$  번째 사용자에 대하여  $\mathbf{a}_{j,k}$ 의 빔형성 벡터를 이용하여 송신할 때  $j$  번째 매크로셀 (소형셀) 기지국의  $k$  번째 사용자의 수신 신호 대 간섭 및 잡음 비 (SINR),

$\gamma_{j,k}^{m(s)}$ , 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_{j,k}^{m(s)} = \frac{P_{s(m)} d_{j,k}^{-\eta} H_{j,k}^{m(s)}}{N_0 + \sum_{l \in \mathbf{B}_m} P_m d_{l,k}^{-\eta} H_{l,k}^m + \sum_{v \neq j, v \in \mathbf{B}_m} \frac{1}{|U_v|} \sum_{q \in U_v} P_s d_{v,k}^{-\eta} H_{v(q),k}^s} \quad (1)$$

이 때  $H_{j,k}^{s(m)}$ 와  $d_{j,k}^{-\eta}$ 는  $j$ 번째 매크로셀 (소형셀) 기지국과  $k$ 번째 사용자 사이의 채널 이득 및 거리에 따른 경로 감쇄를 나타내고  $H_{v(q),k}^s$ 는  $v$ 번째 소형셀 기지국이  $q$ 번째 사용자를 대상으로 빔형성 벡터  $\mathbf{a}_{v,q}$ 를 사용 하였을 때  $k$ 번째 사용자에 대한 간섭 성분의 채널 이득이다. 중앙 제어부는  $\gamma_{j,k}^{m(s)}$ 을 각 소형셀 기지국과 매크로셀 기지국으로부터 전달 받아 접속을 수행한다.

### 3. 결합 셀 접속

중앙 제어부는 수집한 수신 SINR로부터 네트워크 전송률  $R_{net}$ 를 최대화하기 위해 다음의 최적화 문제로부터  $I_{j,k}$ 를 결정한다.

$$\begin{aligned} \max_{\forall I_{j,k}} \quad & R_{net} = \sum_j \sum_k \log \left( I_{j,k} \log_2 \left( 1 + \gamma_{j,k}^{m(s)} \right) \right) \\ \text{s.t} \quad & \sum_j I_{j,k} = 1, \quad \forall k \\ & 0 \leq I_{j,k} \leq 1 \quad \forall j, \forall k \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)에서 소형셀로부터 송신된 신호의 채널 이득은 소형셀 기지국에서 사용하는 빔형성 벡터  $\mathbf{a}_{j,k}$ 에 따라 가변적이다. 따라서 식 (2)의 최적화에 따라  $I_{j,k}$  값 역시  $\mathbf{a}_{j,k}$ 에 따라 가변적이게 된다. 채널의 변화에 따라 모든 송,수신 링크에 대한  $\mathbf{a}_{j,k}$ 를 찾고 식 (2)의 최적화 문제를 푸는 것은 높은 복잡도로인하여 불가능하기 때문에 각 소형셀 기지국에서는 각 사용자가 추정된  $E[\gamma_{j,k}^s]$  피드백 받아서 이를 최대화하는  $\mathbf{a}_{j,k}$ 를 결정한다.

$\mathbf{a}_{j,k}$ 는  $k$ 번째 사용자의 방향성을 고려하였기 때문에  $H_{j,k}^s$ 을 평균적으로 최대화할 뿐만 아니라 방향성에 따라 간섭 성분인  $H_{v(q),k}^s$ 의 감소 효과를 기대할 수 있다. 따라서  $\mathbf{a}_{j,k}$ 에 의해 각 소형셀의 서비스 영역은 사용자의 방향성에 따른 비규칙적 모양을 가지게 된다.

### 4. 모의 실험

본 논문에서 제안한 하이브리드 빔형성을 고려한 소형셀 기지국과 기존의 소형셀을 고려하였을 때 식 (2)의 최적화에 의한 접속에 따른 평균 전송률을 모의 실험을 통해 확인하였다. 그림 1은 표 1의

송신전력	46dBm (매크로셀) 30dBm (소형셀)
소형셀 클러스터 수	3
클러스터 내 소형셀 수	10
전체 사용자 수	80
한 subarray의 안테나 수	4

표 1 모의실험 네트워크 파라미터

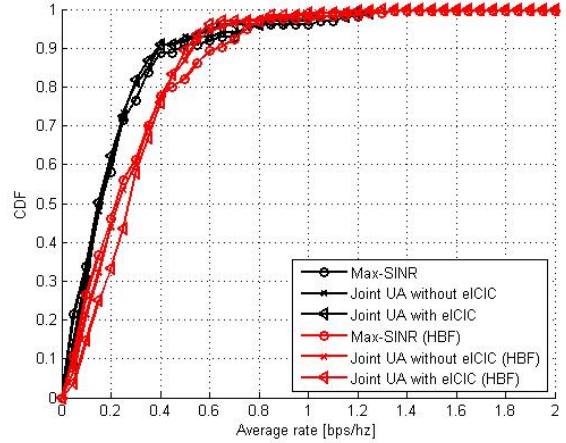


그림 1 접속 결과에 따른 평균 전송률 비교

네트워크 환경에서 이기종 네트워크 상의 사용자의 평균 전송률의 분포를 나타낸 것이다. 소형셀이 밀집된 환경에서는 소형셀간의 간섭으로 인하여 eICIC에 의한 성능 향상을 기대하기 어려우며 하이브리드 빔형성을 고려한 접속을 통해 인접 소형셀로부터의 간섭을 줄임으로써 전체적으로 평균 전송률이 올라가는 것을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 하이브리드 다중 안테나를 사용한 소형셀들이 밀집되어 분포된 이기종 네트워크 환경에서 하이브리드 빔형성을 통해 각 사용자의 채널의 방향성을 고려하는 결합 셀 접속 방식을 제안한다. 모의 실험을 통해 사용자의 방향성을 고려하여 접속 함으로써 추가적인 성능 향상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

### 6. 참고 문헌

- [1] 3GPP TR 36.932: "Scenarios and Requirements of LTE Small Cell Enhancements," <http://3gpp.org>.
- [2] X. Huang, Y. J. Guo, and J. Bunton, "A Hybrid Adaptive Antenna Array," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 9, no. 5, pp. 1770-1779, May 2010
- [3] Q. Ye, B. Rong, Y. Chen, M. Al-Shalash, C. Caramanis, and J. G. Andrews, "User association for load balancing in heterogeneous cellular networks," IEEE Trans. Wireless Commun., arxiv.org/abs/1205.2833 2012