

소형셀 환경에서 하이브리드 빔형성 기술을 적용한 소형셀 스마트 기지국의 성능 평가

권중형^o, 황해광, 김진영, 김광순

연세대학교 전기전자공학과

Performance Evaluation of Small Cell Smart Base Station Using Hybrid Beamforming Technology in the Small Cell Environment

Jung Hyoung Kwon^o, Hae Gwang Hwang, Jin Young Kim, Kwang Soon Kim

Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

{goodream, hwang819, sugudori, ks.kim}@yonsei.ac.kr

요 약

소형셀 네트워크는 음영지역을 해소하며 대용량 데이터의 요구를 만족시킬 수 있는 장점을 가지고 있으며, 또한 하이브리드 빔형성 기술은 기존 표준 규격에 제약없이 사용자에게 지향성 빔을 전송함으로써 시스템 용량을 증대시키는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 소형셀 네트워크 환경의 MIMO-OFDM(Multi Input Multi Output-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에서 하이브리드 빔형성 기술을 적용한 소형셀 스마트 기지국의 동작을 제안하였으며, 시뮬레이션을 통하여 기존 시스템과 제안한 시스템의 성능을 비교 검증하였다.

1. 서론

최근 멀티미디어 기기의 보급으로 데이터 위주의 모바일 트래픽 수요가 급증할 것으로 예측된다 [1]. 소형셀 네트워크는 자원의 효율적 사용으로 사용자의 대용량 데이터 요구를 충족시킬 수 있고, 설치 유지 보수 비용을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다 [2]. 이에 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 적은 사용자 수, 낮은 이동성, 채널 다양성 등의 소형셀 특징을 반영한 소형셀 네트워크를 기반으로 한 새로운 해결책을 release 12에서 제시하고자 현재 표준화 연구가 진행되고 있다 [3]. 다중 안테나 하이브리드 빔형성 기술은 신호처리기술을 통하여 사용자별 신호를 구분하는 디지털 빔형성 부분과 사용자별 알맞은 지향성 빔을 형성하는 아날로그 빔형성 부분으로 이루어져 있다 [4]. 이와 같은 구조는 안테나 배열 요소의 수를 조정하여 성능을 얻을 수 있으므로 기존 표준 규격의 변경없이 시스템 성능을 높일 수 있으며, 셀당 사용자 밀도가 크지 않을 경우 사용자 기반의 효율적 빔형성을 통하여 시스템 성능 이득을 얻을 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 소형셀 네트워크의 시스템 모형을 설명하고 기존의 하이브리드 빔형성 구조를 기반으로 사용자 그룹별 빔형성 벡터를 계산하여 저장한 후 스케줄링에 따라 해당 빔형성 벡터를 적용하여

빔형성을 통하여 송수신을 하는 기지국 기법을 제안한다. 마지막으로 이를 시뮬레이션을 통하여 기존 시스템의 방식과 성능을 비교 검증하였다.

2. 시스템 모형

소형셀 셀룰러 네트워크는 $M \times N$ 개의 안테나를 가지고 있는 기지국이 λ_B 의 밀도를 가지는 PPP(Point Poisson Process)의 분포로 존재하고 있으며, 단일 안테나를 가진 사용자가 λ_U 의 밀도를 가지는 PPP로 존재하고 있다.

각 사용자와 기지국 안테나 사이의 채널 특성은 [5]에서와 같이 기지국과 단말이 존재하는 위치의 환경에 영향을 받으며, 이러한 채널 특성은 다중경로에 의한 PDP(Power Delay Profile)와 PAS(Power Angular Spread) 사이에 서로 높은 상관관계를 가지고 채널 이득에 반영이 된다. 이와 같은 다중 경로의 상관관계가 반영된 채널의 u 번째 사용자와 i 번째 안테나간의 채널 주파수 응답은 아래와 같이 나타낼 수 있다 [6].

$$H_{i,u}[n,k] = \sum_{l=0}^{L-1} h_{i,u}[n,k] e^{-j \frac{2\pi n k l}{K}} \quad (1)$$

여기서, $h_{i,u}[n,k] = h_{i,u}(nT_f, kT_s/K)$ 이며, K 는 부반송파의 개수, T_f 는 OFDM 블록 길이, T_s 는 심볼 주기를 나타낸다.

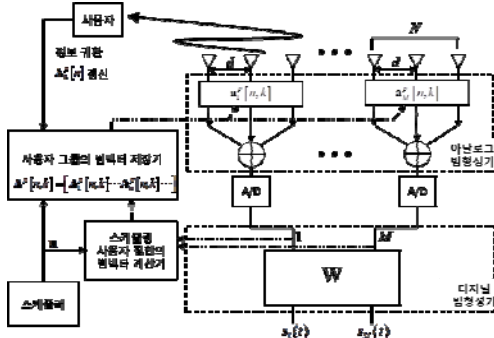


그림 1. 하이브리드 빔형성기 송수신 구조

3. 하이브리드 빔형성 송수신기

아래 그림 1 은 소형셀 스마트 기지국 송수신기 구조를 나타낸 것이다. 기지국 p 는 미리 지정해 놓은 사용자 그룹 \mathbf{u} 에 해당하는 가중치 벡터 $\mathbf{A}_u^p[n, k] \in \mathbb{C}^{MN \times M}$ 를 계산하고 이를 이용하여 모든 사용자 그룹의 가중치 벡터 $\mathbf{A}^p[n, k]$ 를 생성한다.

$$\mathbf{A}^p[n, k] = [\mathbf{A}_1^p[n, k] \cdots \mathbf{A}_u^p[n, k] \cdots] \quad (2)$$

생성된 가중치 벡터를 저장한 후 스케줄러에 의하여 선택된 사용자 그룹에 따라서 빔형성 벡터 저장기에서 해당 사용자 그룹의 빔형성 가중치를 각 아날로그 가중치에 적용하여 사용자별 빔형성을 하여 송수신을 하게 된다.

이때의 사용자별 디지털 채널 용량 $C[n]$ 은 아래와 같이 나타낸다.

$$C[n] = \sum_{k=1}^K \log_2 \det \left(\mathbf{I} + \frac{(\mathbf{A}_u^p[n, k]^T \mathbf{H}_u^p[n, k])(\mathbf{A}_u^p[n, k] \mathbf{H}_u^p[n, k])^H}{\sum_{q \neq p} (\mathbf{A}_q^q[n, k]^T \mathbf{H}_q^q[n, k])(\mathbf{A}_q^q[n, k] \mathbf{H}_q^q[n, k])^H + N[n]/K} \right) \quad (3)$$

여기서 $\mathbf{H}_u^p[n, k] \in \mathbb{C}^{MN \times M}$ 는 $H_{i,u}[n, k]$ 으로 구성된 p 기지국과 사용자 그룹 \mathbf{u} 사이의 채널 벡터이다.

4. 모의 실험

본 논문에서 제안한 하이브리드 빔형성 기술이 적용된 기법과 LTE(Long Term Evolution)의 성능을 비교해 보았다. 시스템 채널 환경은 [5]의 파라미터를 바탕으로 아래 표 1 과 같은 고지향성과 고자유도 환경에 대해서 고지향성 사용자 60%, 고자유도 사용자 40%의 비율로 혼재되어 있다고 가정하였다. 그림 2 는 LTE 시스템과 제안한 시스템의 유효 채널의 SINR(Signal to Interference and Noise Rate)의 성능을 비교한 것으로 성능 이득을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문은 소형셀 네트워크에서 MIMO-OFDM 시스템의 하이브리드 빔형성 기술이 적용된 스마트 기지국 시스템을 제안한다. 기지국은 미리 지정된 사용자 그룹에 알맞은 빔형성 가중치를 계산하여

	고지향성	고자유도	[5]
Cluster Arrival Rate(ns)	10	30	17
Cluster Power Decay(ns)	20	80	32
Subray Arrival Rate(ns)	2	15	5
Subray Power Decay(ns)	15	30	29

표 1. 환경에 따른 채널 특성

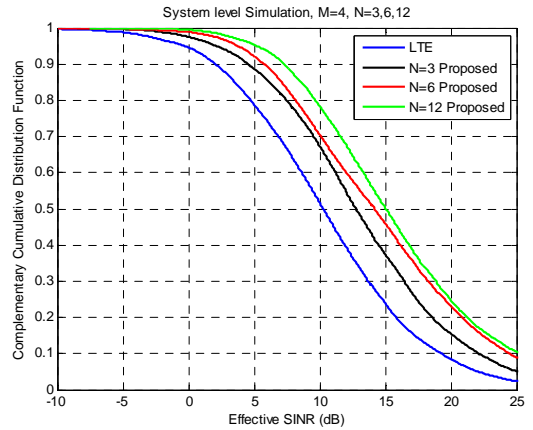


그림 2. 혼재된 상황에서 안테나 숫자에 따른 LTE 시스템과 제안한 시스템간의 성능 비교

저장해두고 스케줄링된 사용자 그룹에 따라 알맞은 빔형성을 통하여 시스템의 성능 향상을 얻을 수 있으며, 이를 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 성능 이득을 높일 수 있음을 확인하였다.

6. 감사의 글

"본 연구는 방송통신위원회의 방송통신인프라원천 기술개발사업의 연구결과로 수행되었음"(KCA-2013-12-911-04-004)

7. 참고 문헌

- [1] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2009-2014," Feb. 2010
- [2] J. Hoydis, M. Kobayashi, and M. Debbah, "Green Small-Cell Networks," *IEEE Vehicular Tech. Mag.*, vol. 6, no. 1, pp. 37-43, Mar. 2011.
- [3] 3GPP TR 36.932: "Scenarios and Requirements of LTE Small Cell Enhancements," <http://3gpp.org>
- [4] 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.
- [5] K. I. Pedersen, P.E. Mogensen, and B. H. Fleury, "A stochastic model of the temporal and azimuthal dispersion seen at the base station in outdoor propagation environments," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. 49, pp. 437-447, Mar. 2000
- [6] K. Yu, M. Bengtsson, B. Ottersten, D. McNamara, P. Karlsson, and M. Beach, "Modeling of wide-band MIMO radio channels based on NLOS indoor measurements," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. 53, no. 3, pp. 655-665, May 2004