

나의 빔 패턴으로, 1x3 배열 안테나의 빔 패턴 측정 결과에 Arrayfactor(N=4, d=1.8λ)를 곱하여 구하였으며, 7.2°의 반전력 빔폭을 가진다.

III. 시뮬레이션 성능 평가 및 테스트베드 구현

1. 3D ray tracing tool 기반 시스템 레벨 시뮬레이션

본 장에서는 벨연구소에서 개발한 3D-ray tracing tool인 Wireless System Engineering을 사용하여 시스템 레벨 시뮬레이션을 실시하였다. 3D ray tracing tool을 이용한 성능 분석은 기존의 2차원 기반 셀 모델에 비해 소형셀 환경을 평가하기에 적합한 것으로 알려져 있다[6]. 성능평가는 균일 분포(uniform distribution)사용자를 가정하여 outdoor-to-indoor 환경에서 시뮬레이션을 하였다. 유저는 가장 수신감도가 좋은 기지국으로부터 서비스 받는다. 그림 5-(좌)는 성능 평가를 실시한 지형과 셀 배치 환경을 나타낸 그림이다. 지형은 도넛형태의 5~7층 높이의 불규칙적인 모형의 건물들이 밀집해 있는 도심 지형을 모델링하였다. 매크로 기지국의 높이는 28m에 위치하였으며 안테나 패턴은 미국의 Kathrein사에서 제공하는 패턴을 사용하여 3섹터 빔을 가정하였고 5도의 tilt를 주었다. 소형셀은 인접 셀 간 거리가 100m ~130m에 위치하도록 규칙적으로 배치하였으며, 녹색 동그라미에는 건물의 중간 높이인 12m(4층)에 기지국이 설치되었고, 붉은색 엑스에는 3m(1층)와 17m(7층)에 2개의 기지국이 다른 높이에 설치되었다. 셀 배치는 LTE 표준에 근거해 매크로셀과 소형셀 모두 전방향 안테나를 사용할 때 셀 커버리지의 outage가 -6dB에서 12.5~13%가 나오도록 배치하였다. 이 기준에 따르면 그림 6의 지형에서는 한 개의 매크로셀 커버리지에 총 16.5개의 소형셀이 필요하다. 시스템 파라미터는 중심주파수 = 2.6GHz, FFT size = 1024(대역폭: 8.4MHz), 최대 변조 차수 = 64QAM(5/6 code rates), bounce (전파의 최대 반사 횟수) = 4, noise floor

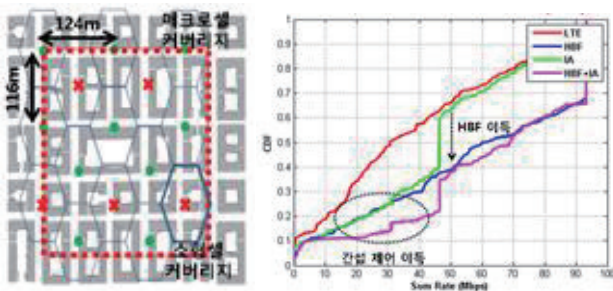


그림 5. 시뮬레이션 셀 배치 환경(좌) 및 실험 결과(우)

표 1. LTE 매크로 셀과 스마트 소형셀의 셀 당 평균 용량

	1층 평균 용량	4층 평균 용량
매크로 셀	8.26 Mbps	57.03 Mbps
스마트 소형셀	60.09 Mbps	64.6 Mbps

= -174dBm/Hz, TX RF chain 수 = 4, RX RF chain 수 = 2, CDI 궤환 비트수 = 6, MIMO transmission mode = LTE TM4를 사용하였다.

<그림 5(우)>는 소형셀 환경에서 HBF과 IA의 시뮬레이션의 결과이다. LTE 소형셀은 셀 간 간섭 제어를 사용하지 않고, 전방향 안테나를 사용하는 것을 가정한다. HBF을 사용할 경우 BF 이득으로 인해 전체적인 성능이 향상됨을 알 수 있으며, IA를 사용하면 낮은 SINR을 가지는 사용자의 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

<표 1>은 위와 같은 방식으로 LTE 매크로셀과 스마트 소형셀의 평균 용량을 비교하였다. 성능 평가는 매크로셀 기준에서 잡음 제약 환경인 3m 위치(1층 높이)와 간섭 제약 환경인 12m 위치(4층 높이)에서 실시하였다. 스마트 소형셀의 경우 3차원 셀 배치로 인해 건물 내 층 별 평균 용량이 고르게 나타남을 알 수 있다. 이를 매크로 커버리지 면적당 스마트 소형셀의 용량으로 환산할 경우 (매크로 커버리지 내 16.5개 스마트 소형셀), 매크로셀 대비 평균 70.26배 용량이 증대됨을 확인하였다. 특히 총 송신전력은 매크로셀이 40W임에 반해 스마트 소형셀은 2.15W로 총 송신전력이 감소하였음에도 불구하고 용량이 증대됨을 확인하였다.

2. 상용 SDR 플랫폼을 이용한 실시간 테스트베드 구현

본 장에서는 실제 채널에서 BIA와 HBF를 각각 검증하기 위해 상용 SDR 플랫폼을 이용한 실시간(real-time) 테스트베드 구현에 관해 설명한다.

테스트베드에 사용된 SDR 플랫폼은 실시간 알고리즘 제어를 위한 임베디드 컨트롤러와 FPGA 모듈, 그리고 송수신기로 구

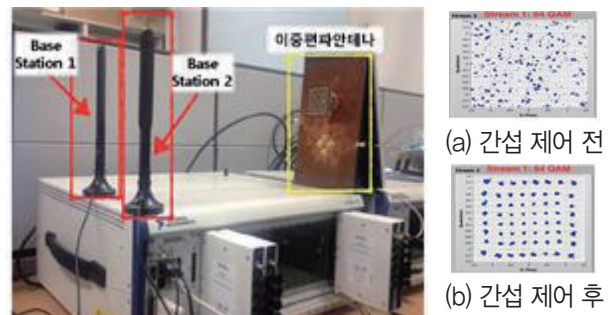


그림 6. 간섭 제어 테스트베드(좌)와 실험 결과(우)

성된다. 테스트베드는 LTE release 8의 하향 링크 규격에 기반한 orthogonal frequency division multiplexing 송수신을 사용하였다[7].

BIA 테스트베드에서는 두 개의 셀이 BIA로 셀 간 간섭을 제어한다. 수신기는 <그림 6(좌)>와 같이 이중 편파 안테나의 편파를 선택적으로 수신하는 방식으로 실험한다. 송신 신호 및 수신 편파의 패턴은 제안 기법을 따른다[2][3]. <그림 6(우)>는 간섭제어 전과 후의 신호 성상도로써, 위쪽은 원래 신호에 간섭 신호가 잡음으로 작용된 성상도를, 아래쪽은 실시간 BIA에 의한 성상도를 나타낸다.

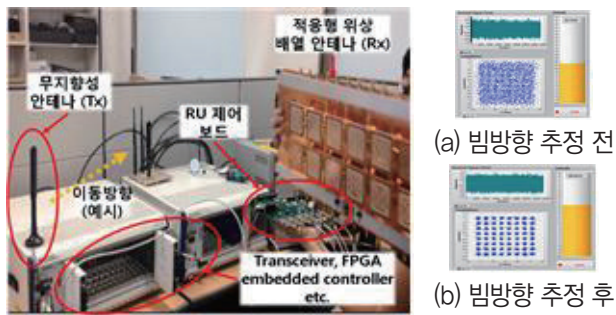


그림 7. HBF 테스트베드(좌)와 실험 결과(우)

다음은 (1)의 하이브리드 빔방향 조절을 적용한 HBF 테스트베드의 구성과 결과에 대해 설명한다. <그림 7(좌)>는 HBF 테스트베드의 구성이며 실험 방법은 다음과 같다[8]. 송신기는 하나의 무지향성 안테나로 실제 무선 주파수 채널을 통해 신호를 전송하고, 수신기는 HBF이 가능한 2x6 크기의 적응형 위상 배열 안테나를 사용하여 BF된 신호를 수신한다. 수신기는 BF된 채널을 기저 대역에서 추정하며, 이를 이용해 현재 채널 상태에 보다 적합한 BF 계수를 계산한다. 새로운 BF 계수는 RU 제어 보드에 의해 배열 안테나의 위상과 크기에 반영된다. <그림 7(우)>는 실험 결과이며, 실시간 빔 추적에 의한 신호의 성상도 변화 및 수신 SNR 증가를 통해 원하는 빔방향으로 수렴됨을 확인한다.

IV. 결론

스마트 소형셀의 요소 기술과 연구 결과를 요약한다. 본 논문에서는 도심형 실험 지형에서 3D ray tracing tool 기반 시뮬레이션으로 매크로셀 대비 단위 면적당 용량을 비교하고, 실시간 테스트베드를 통해 요소 기술의 타당성을 확인하였다.

Acknowledgement

본 연구는 미래부가 지원한 2014년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] T. Gou, C. Wang, and S. A. Jafar, "Aiming perfectly in the dark—blind interference alignment through staggered antenna switching," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 59, pp. 2734–2744, Jun. 2011.
- [3] M. Yang, S.-W. Jeon, and D. K. Kim, "Linear degrees of freedom of MIMO broadcast channels with reconfigurable antennas in the absence of CSIT," in *arXiv:cs.IT/1409.5532*, Sep. 2014.
- [4] H. Chae, J. Jang, and D. K. Kim, "Pre-coder design over two-symbol extension for K-user cyclic interference channels," *The Journal of Engineering*, 2014.
- [5] T. K. Oh, Y.-G. Lim, C.-B. Chae, and Y. Lee, "Dual-Polarization Slot Antenna With High Cross-Polarization Discrimination for Indoor Small-Cell MIMO Systems," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, Vol. 14, pp. 374–377, 2015.
- [6] 임연근, 채찬병. "소형셀 성능 분석을 위한 새로운 평가 방법", *한국통신학회논문지*, vol. 39A, no. 12, pp. 1110–1116, 2013.
- [7] M. K. Chung, M.S. Sim, J. Kim, D. K. Kim, and C.-B. Chae, "Prototyping Real-Time Full Duplex Radios," in *arXiv:cs.IT/1503.03013*, Mar. 2015.
- [8] 김동구, 채찬병, 김광순, 이용식, 민병욱, 장진영, 정민근, 황해광, 오택근, 윤홍집, "실시간 하이브리드 빔포밍 프로토타이핑," 제 25 회 통신정보 합동학술 대회, 2015년 4월.