공간 이득을 높이기 위한 전자기 편파 안테나 구현과 성능 분석

김승배, 여병철, 장용업, 차성용*, 이주용
한국과학기술원 IT 융합연구소
*한국과학기술원 전기전자공학과 초고주파 시스템 연구실

{sbkim, bcyeo, yujang}@itc.kaist.ac.kr
*creamysky@kaist.ac.kr, jylee@itc.kaist.ac.kr

Performance Evaluation of Electromagnetic Polarized Antenna System for Spatial Gain

Seung Bae Kim, Byoung Chul Yeo, Yong Up Jang, Sung Yong Cha*, Ju Yong Lee
KAIST Institute for Information Technology Convergence
*Radio Frequency System Solution Laboratory, KAIST

요 약

본 논문에서는 제한된 공간에서 안테나의 개수를 늘려서 통신 용량을 개선할 수 있는 전자기 편파 안테나에 대해 소개하고, 실제 전자기 편파 안테나 제작과 실험을 통해 얻을 수 있는 이득을 분석한다. 분석 결과 하나의 점(point)에 여러 개의 안테나를 사용해서 공간적 이득을 얻을 수 있는 전자기 편파 안테나는 안테나의 개수에 비례해서 Spectral efficiency 가 증가하는 것을 확인했다.

Ⅰ. 서론

무선 통신의 용량을 증대시키기 위한 방안으로 다중 입출력 기술(MIMO: Multiple Input Multiple Output)에 대한 수많은 연구가 진행되어 왔으며, 이미 상용화가 시작된 LTE 서비스에도 MIMO 기술은 포함되어 있다. 하지만 MIMO 를 이용하여 이득을 얻기 위해서는 안테나 간 이격거리가 충분히 떨어져 있어야 하기 때문에 공간적인 제약에 의해 안테나 개수와 최대 용량이 정해지는 문제가 발생한다. 이는 하나의 점(point)에 하나의 안테나를 사용하기 때문인데, 편파 안테나는 하나의 점에 두 개 이상의 안테나를 사용함으로써 용량 이득을 얻음과 동시에 공간적인 한계점을 극복할 수 있다. 기존 연구 [1]에서는 전 방향 분산 환경에서 3 개의 직교 전기장 다이폴 안테나와 3 개의 직교 자기장 루프 안테나를 사용한 전자기 편파 안테나로 여섯 개의 다른 편파 이득을 얻을 수 있음을 이론적으로 밝혔으며, [2][3]에서는 전자기 편파 안테나를 사용했을 때의 채널 모델링과 성능 평가를 보여주고 있다. [4][5]에서는 3 개의 전기장 안테나로 3 차원 편파 안테나를 제작했지만 실제 통신을 통한 성능 측정이 아닌 안테나 특성 분석과 이론적으로 용량 증대가 있음을 확인했다. 본 논문에서는 이론적으로 밝혀진 전자기 편파 안테나를 사용한 용량 증대를 실제 안테나 제작과 실험을 통해 증명하고자 한다.

Ⅱ. 전자기 편파 안테나 제작 및 실험 방법

본 연구에서는 편파 이득 측정 실험을 위해서 전자기 편파 안테나를 제작하고, Software Defined Radio 인 USRP 보드와 오픈소스 소프트웨어인 GNU Radio 를 기반으로 테스트베드를 구축했다.

[1]에서 이론적으로 증명한 3 개의 직교 전기장 다이폴 안테나와 3 개의 직교 자기장 루프 안테나를 이용한 전자기 편파 안테나를 그림 1 과 같이 실제로 제작했다. 6 개의 안테나를 겹쳐서 제작할 경우 안테나 간 상호 간섭으로 인해 안테나 특성이 변하는 문제가 있어서 육면체 형태로 전자기 편파 안테나를 설계했다. 중심주파수 1GHz 에 맞추어 제작되었으며, 전기장 다이폴의 경우 반파장 안테나로 15cm 의 길이를 갖고, 자기장 루프 안테나의 경우 안테나의 특성이 더 잘 나타나는 구조인 Kandoian Loop 형태로 설계했다.

실험은 1GHz 대역에서 송신단과 수신단 USRP 보드가 약 6m (20λ) 떨어진 거리에서 중간에 아무런 차폐물이 없는 환경에서 진행했다. 채널 추정을 통해 채널 행렬을 얻고, SNR 값의 변화에 따른 Spectral efficiency 를 구했다. 1 개의 전기장 다이폴 안테나를 사용해서 실험한 후 전자기 편파 안테나를 사용했을 때와의 결과와 비교하여 얻을 수 있는 이득을 알아 보았다. 또한 각각 2 개의 전기장과 자기장 안테나로 구성된 전자기 편파

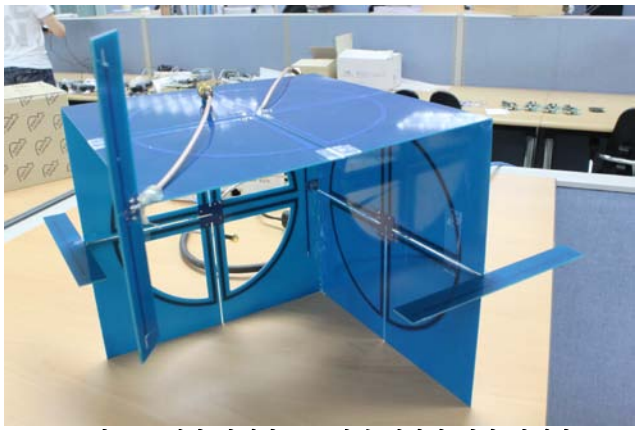

그림 1. 6 개의 안테나로 구성된 전자기 편파 안테나

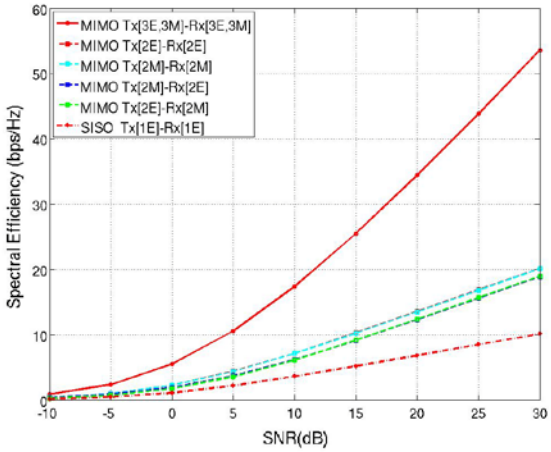

그림 2. SNR 에 대한 Spectral Efficiency

안테나를 따로 제작하여 안테나 개수에 따른 용량 증대도 확인했다.

Ⅲ. 성능 분석

그림 2 는 -10dB 부터 30dB 까지의 SNR 변화에 따른 Spectral Efficiency 를 보여준다. 그래프에서 각 선은 송수신단에서 각각 하나의 전기장 다이폴 안테나를 사용해서 얻은 결과와 2 개의 안테나로 구성된 전기장, 자기장 편파 안테나를 송신단과 수신단의 네 가지 조합으로 얻은 결과, 그리고 6 개의 전자기장 안테나로 구성된 편파 안테나의 결과를 의미한다. 모든 경우에 SNR 이 증가함에 따라서 spectral efficiency 가 높아지는 경향을 보인다. 하지만 안테나의 개수에 의해서 그래프의 기울기가 다른 것을 알 수 있다. 이론적으로 아무런 간섭이 없다면 6 개의 안테나를 이용하는 전자기 편파 안테나의 경우 단일 안테나 대비 6 배의 spectral efficiency 를 보여야 한다. 하지만 2 개의 안테나로 구성된 전자기 편파 안테나의 spectral efficiency 는 단일 안테나를 사용했을 때와 비교해 2 배에 약간 미치지 못하는 결과를 보여주고, 6 개의 안테나로 구성된 전자기 편파 안테나의 spectral efficiency 도 단일 안테나의 결과 대비 6 배가 아닌 약 5 배 정도의 이득이 있음을 보여준다. 한 점에 하나의 안테나만을 둔 기존 MIMO 시스템이 갖고 있는 공간적 제약을 전자기 편파 안테나를 사용함으로써 해결하면서 동시에 용량 개선도 할 수 있음을 확인했다.

Ⅳ. 향후 연구 계획 및 결론

본 연구에서는 하나의 점에 여러 개의 안테나를 넣은 전자기 편파 안테나를 제작하고 기존의 단일 안테나와 비교하여 어느 정도의 용량 증대가 있는지 실험을 통해 알아보았다. 실험 결과 안테나의 개수에 비례하여 spectral efficiency 가 높아지는 것을 알 수 있었다. 즉, 하나의 점에 MIMO 통신에 사용한 동일한 개수의 안테나를 넣어서 공간적인 제약을 극복함과 동시에 성능 저하가 크지 않기 때문에 소형화 되어가는 단말과 기지국 등에 전자기 편파 안테나 기반 통신을 이용함으로써 용량 개선과 공간적 이득을 동시에 얻을 수 있다.

본 연구에서 사용한 테스트베드는 현재 2 개의 포트를 갖는 안테나만을 지원 가능하기 때문에, 6 개의 안테나로 구성된 전자기 편파 안테나의 경우 하나의 포트에 하나의 안테나를 연결해서 각각의 채널을 추정한 후 채널 행렬을 완성하는 방식으로 실험을 진행했다. 그렇기 때문에 모든 채널을 동시에 추정한 결과 값과 오차가 있을 것으로 예측되며, 이는 향후 연구에서 6 개의 포트를 동시에 지원할 수 있도록 테스트베드를 확장 한 후에 실험할 예정이다. 또한 6 개의 안테나를 한 점에 넣을 경우 안테나 간 상호 영향이 커지는 문제점이 있기 때문에 육면체 형태의 구조로 안테나를 제작했지만 안테나 간 상호 간섭을 최소화 하면서 개수를 최대한 많이 가져갈 수 있는 안테나 구조에 대한 설계도 향후 필요할 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크원천기술 개발사업의 연구결과로 수행되었음 (KCA-2011-11913-04001)

References

[1] R. A. Andrews, " Tripling the capacity of wireless communications using electromagnetic polarization," Nature, vol. 409, pp. 316-318, Jan. 2001.

[2] C. Oestges, " Dual-polarized wireless communications from propagation models to system performance evaluation," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 7, no. 10, Oct. 2008.

[3] T. Svantesson, " Analysis of electromagnetic field polarizations in multiantenna systems," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 3, no. 2, Mar. 2004.

[4] L. Dong, " Simulation of MIMO Channel Capacity With Antenna Polarization Diversity," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 4, no. 4, Jul. 2005.

[5] C. Chiu, " Compact Three-Port Orthogonally Polarized MIMO Antennas," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 6, 2007.