

## 5GHz 대역 MIMO 시스템에 대한 실내 전파 채널용량 특성

°유 성 현, 김 정 하, 권 세 웅, 윤 영 중  
연세대학교 전기·전자공학과

\*ryuspic@yonsei.ac.kr, yjyoon@yonsei.ac.kr

### Capacity Characteristics of the Indoor Propagation Channel for MIMO System at 5 GHz

°Seong-Hyun Ryu, Jung-Ha Kim, Se-Woong Kwon, Young-Joong Yoon  
Microwave & Antenna Lab., Dept. of Electrical & Electronic Eng., Yonsei Univ

#### Abstract

This paper presents capacity characteristics of the indoor LOS(Line-Of-Sight) propagation channel for MIMO system at 5GHz. The distance between antenna elements, their moving path, and number of transmitting and receiving antennas can be determined by wanted eigen-value, and channel capacity of the MIMO communication channel using only reliable simulation without measurements. The simulation uses 3D Ray tracing and patch scattering model to which electromagnetic material constants are applied. As distance between antenna elements increases, distribution of the eigen-value show a tendency to decrease, but channel capacity increases in LOS environment. However, despite of short distance between antenna elements, large value of channel capacity is obtained in positions which have high AS. When the position of receiver antennas are shifted, channel capacity hardly changed, and as number of antenna elements increases, channel capacity also increases regularly.

#### I. 서론

무선통신 서비스의 대중화와 기술의 발달에 힘입어 고속의 대용량 멀티미디어 데이터 서비스가 요구되어지고 있다. 따라서 가용대역과 대역폭 확장을 위해 5 GHz 대역 시스템에 역점을 둘 것으로 사료되며, 대역폭의 확장없이 채널용량을 늘릴 수 있는 MIMO 시스템에 대한 관심이 고조 될 것으로 보인다. 따라서 본 논문에서는 5 GHz에서 실내 LOS 환경하의 MIMO 시스템 통신에 대한 채널 용량 특성을 살펴본다[1]. 패치 산란 모델에 매질의 전기적 특성을 도입하고, 3차원 광선 추적법을 이용해 정확성을 높인 시뮬레이터를 측정된 채널 파라미터와 비교 검증한다. 이를 통해 실내 LOS 환경에서 MIMO 시스템 채널을 구현하고, 송

수신 안테나의 위치와 소자간의 간격, 이동경로, 개수에 따른 채널의 고유값과 채널 용량의 분석을 통해 채널용량 특성을 고찰한다.

#### II. 이론

MIMO 시스템 기법은 공간상의 다중화 분배를 사용하여 통신시스템의 대역폭을 증가시키지 않고 채널용량을 증대시키는 방법이다[2]. MIMO 시스템 채널은 다중 송수신 안테나로 이루어져 있다. 송수신 안테나의 개수에 따라 채널은 행렬 형태로 구성된다. 이상적인 통신환경에는 채널 행렬의 대각 성분만 존재하며 송수신 신호가 일대일로 대응되어 독립적인 정보의 송수신이 가능해진다. 그러나 실제 채널 환경에서는 채널간에 상관성이 생겨서 데이터를

완벽하게 분리해 낼 수 없게 된다. 이러한 경우 SVD(Singular Value Decomposition)기법을 사용하여 채널을 분리해 낼 수 있으며, 이 과정에서 채널로부터 구해지는 고유값은 채널의 독립성을 나타내는 척도가 된다.

MIMO시스템에서 송수신단의 신호처리 과정과 채널을 통해 얻어지는 최종적인 출력신호는 식 (1)과 같다.

$$\vec{y}(t) = \frac{1}{2} \underbrace{U^T H V}_{D} \vec{x}(t) + \vec{n}(t) \quad (1)$$

여기서  $\vec{x}(t)$ 는 송신 안테나에 공급되는 신호 벡터이고,  $V$ 는 송신단의 신호처리행렬,  $U^T$ 는 수신단 신호처리행렬의 복소전치행렬,  $H$ 는 다중 채널행렬, 그리고  $\vec{n}(t)$ 은 신호  $\vec{x}(t)$ 에 잡음과 간섭이 합쳐진  $N$  개의 벡터 신호이다. 무선통신 시스템의 채널을 인위적으로 조절할 수는 없지만,  $U$ 와  $V$ 의 송수신단 행렬연산을 제어하여 행렬  $D$ 가 대각성분만 남는 MIMO 링크가 될 수 있도록 알고리즘을 부여함으로써 일대일 신호전송 연산이 되도록 한다[1].

식 (1)의  $H$ 를 사용하여 이론적인 전체 채널용량은 각 분리되어진 채널에 대한 Shannon 용량을 더함으로서 계산되어질 수 있다. 각각 채널의 SINR이 같고, 각각 분리된 채널로 같은 전력의 심볼들이 전송되고, 평균 잡음과 간섭전력이 같다면, 채널용량은 식 (2)와 같다[2].

$$C = \sum_{i=1}^{\min(M, N)} \log_2(1 + \lambda_i \text{SINR}) \quad (2)$$

여기서  $\lambda_i$ 는 정규화된 채널 매트릭스  $H$ 의 고유값이다. 채널 행렬은 각 전파 경로 상의 여러 지점에서 PDP(Power Delay Profile)를 통해 얻어낸 신호강도들의 평균값으로부터 얻을 수 있다[1]. 식 (2)에서 보는바와 같이 고유값을 통하여 분리되어진 채널을 통해 서로 다른 전력으로 전송함으로써 채널용량을 증가시킬 수 있다.

### III. 측정 및 시뮬레이션 고찰

그림 1의 환경은 실내 데이터 통신 서비스의 사용이 빈번할 것으로 보이는 강당과 같은 넓은 공간의 LOS 환경 평면도이다. 이 환경은 바닥이 타일형 바닥재로 이루어져 있고 여러개의 금속판과 커튼이 있는 유리창으로 구성되어 있다. 또한 천장에는 산란현상이 클 것으로 예상되는 조명이 위치하고 있고, 20.22 m×13.52 m×3.3 m의 크기로 구성되어 있다. Tx와 Rx1,2는 각각 송신 안테나와 수신 안테나의 위치를 직각좌표계를 통해 나타내었고, 송신 안테나는 2.4 m이고, 수신 안테나는 1.2 m로 두었다.

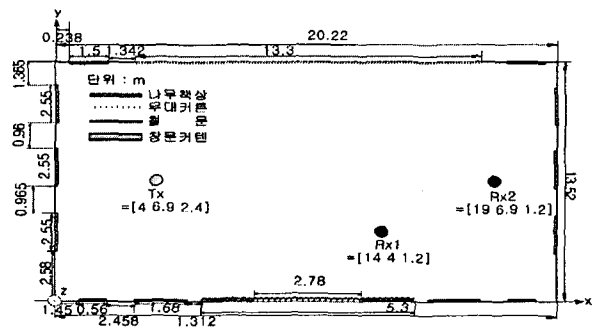


그림 1. 측정 환경

건물 내부 매질들의 전자기적 특성인 유전율과 도전율은 실내 측정으로부터 투과계수와 반사계수를 구한 뒤 계산을 통해 얻었고, 시뮬레이션에 반영하여 정확도를 증가시킨다[3][4]. 주파수 영역 변환방식을 사용하여 다중경로 특성을 나타내는 PDP와 AOA를 측정하였으며, 페이딩을 통한 공간 상관 특성을 알아보기 위해 수신 안테나 소자들을 일정 간격으로 위치시키고 20 파장 길이를 이동시켜서 신호강도의 평균값을 얻는다.

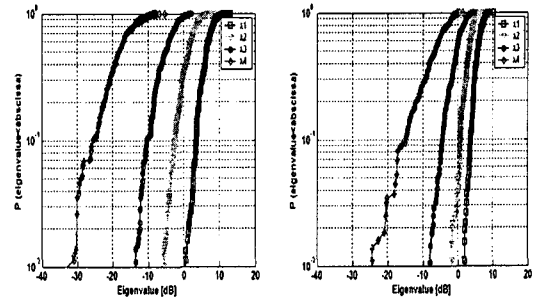
이러한 방법을 통해 실내 환경을 중심으로 다중채널 파라미터를 고려하여 측정한 결과값과 3차원 광선 추적법과 패치 산란 모델을 이용한 시뮬레이션 결과를 비교 분석한 결과 ±5%이내에서 만족되는 결과 값을 도출함으로써 본 모델의 정확성을 검증하였다[5][6].

### IV. 채널의 고유값 및 용량 분석

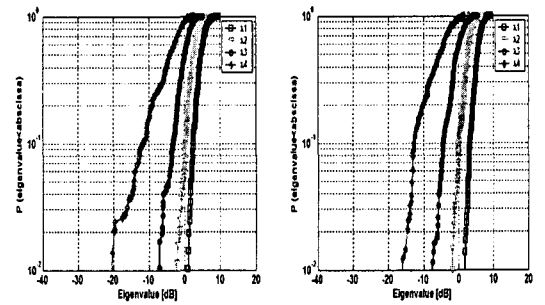
검증된 MIMO 채널 시뮬레이션을 갖고 채널 행렬의 고유값을 구하고, 이를 토대로 채널용량을 분석한다. 시뮬레이션은 중심주파수 5.25 GHz에서 4x4 MIMO 시스템을 적용하고, 각각 다른 송수신 안테나 위치에 따라 안테나 소자간의 거리, 송수신 안테나의 이동경로, 송수신 안테나 개수에 따른 채널용량 변화를 분석한다.

#### IV-1. 안테나 소자간의 거리에 따른 채널 용량 분석

그림 2는 PDP, AOA 그리고 페이딩에 대한 시뮬레이션 결과로부터 Rx1 위치에서의  $D=H H^H$ 에 대한 4개의 고유값을 안테나 소자간의 거리에 따라 포락선과 누적분포로 나타낸 것으로서 안테나 소자들을 0.1, 0.2, 0.5, 1, 3 파장 이격시킨 상태에서 그림 1(b)의 -x방향으로 20 파장 움직일 때의 시뮬레이션 결과이다. 최저 고유값과 최대 고유값의 차이는 채널을 통과한 수신 신호의 복원 가능성을 가늠하는 기준이 될 수 있기에 최저 고유값은 중요하다[6]. 0.1 파장, 0.2 파장 이격 시켰을 때 최저 고유값 레벨이 각각 -30 dB, -20 dB 이하에서 형성되어 최대 고유값과의 차이가 큰데 비해 그 이상의 안테나 이격 거리에서는 고유값의 차이가 작은 것을 볼 수 있기에 소자간의 간격이 멀어질수록 채널간의 상관도가 작다는 것을 알 수 있다.

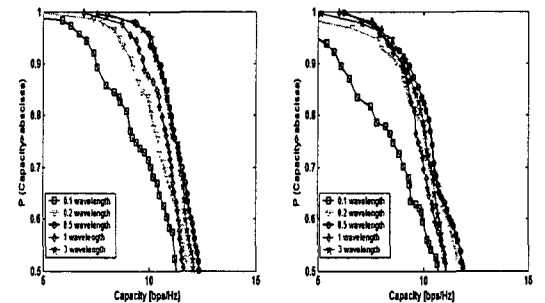


(c) 0.2 파장 누적분포 (d) 0.5 파장 누적분포



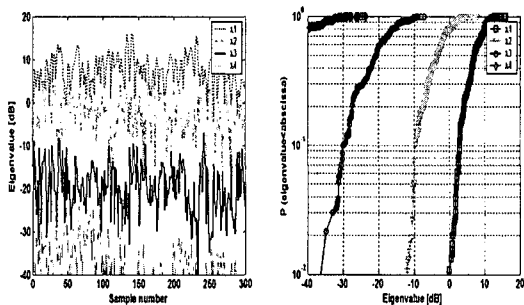
(e) 1 파장 누적분포 (f) 3 파장 누적분포

그림 2. Rx1 안테나 소자간 거리에 따른 고유치 특성



(a) Rx1 (b) Rx2

그림 3. 안테나 소자간 거리에 따른 채널용량

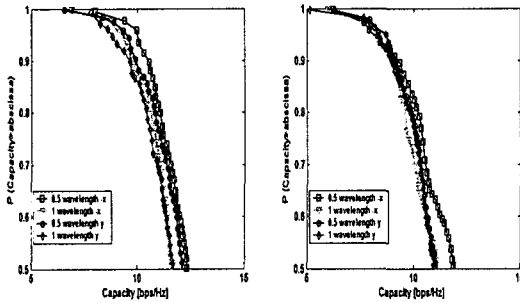


(a) 0.1 파장 고유치 포락선 (b) 0.1 파장 누적분포

그림 3은 채널의 이득을 비교하기 위해 SINR이 10 dB 일 때의 채널용량을 나타낸다. 채널용량은 안테나 이격 간격이 커질수록 채널용량이 증가하는 것을 볼 수 있는데, Rx1의 경우에 0.5 파장, 3 파장 이격 되었을 때, 가장 큰 채널용량을 갖는다. 그러나 안테나 크기와 커플링 문제를 고려 하였을 때 실제로 최대 채널 용량을 얻기 위해서는 3 파장 이상 이격 되어야 한다. Rx2의 경우에도 Rx1과 유사하지만 Rx1에 비해 AS가 작은 환경이기에 이격간격이 3파장 이상 되어야 상관관계는 낮게 된다.

IV-2. 안테나의 이동 경로에 따른 채널용량 분석

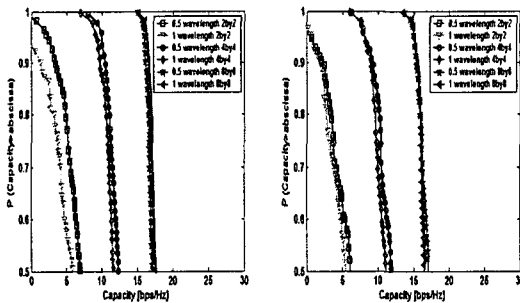
그림 4는 Rx1과 Rx2 위치에서 안테나의 이동 경로에 따른 채널용량을 나타낸다. 수신 안테나는 각각 -x, y 방향으로 이동하고 각각 0.5, 1 파장 이격 한다. LOS 환경은 다중반사의 영향이 작고, 이동에 따른 AOA의 변화량이 작기 때문에 이동경로에 관계없이 채널 용량은 일정한 값을 알 수 있다. 또한 안테나 소자간의 이격 거리에 따른 채널용량은 IV-1에서 도출한 특성과 유사하다.



(a) Rx1 (b) Rx2  
그림 4. 이동경로에 따른 채널 용량

IV-3. 안테나 소자 개수에 따른 채널특성

그림 5는 Rx1과 Rx2 위치에서 안테나의 개수에 따른 채널용량을 나타낸다. 송수신 안테나를 각각 2 개, 4 개, 8 개를 사용하여 -x방향으로 이동 시키고, 각각에 대해 0.5 파장, 1 파장 이격하여 시뮬레이션 한다.



(a) Rx1 (b) Rx2  
그림 5. 송수신 안테나 개수에 따른 채널용량

송수신 안테나의 개수가 2 배 증가 할 때마다 채널 용량은 약 5 bps/Hz 증가함을 볼 수 있다. 따라서 대용량의 데이터통신 서비스 시스템에서 안테나의 개수를 증가시켜야 하지만 이동통신 기기의 크기를 고려

할 때 적절한 안테나 개수에 대한 절충이 필요하다.

V. 결론

본 논문에서는 4세대 이동통신을 위하여 5 GHz 대역에서의 MIMO 시스템을 통한 실내 LOS 전파 채널용량 특성을 고찰해 보았다. 신뢰할 수 있는 시뮬레이션을 이용하여 MIMO 통신 채널상의 고유값과 채널용량을 제시함으로써 원하는 채널용량을 만족시키는 안테나 소자간의 거리, 송수신 안테나의 위치, 이동경로와 송수신 안테나의 개수를 시뮬레이션 만으로서 결정 할 수 있다. 따라서 분석된 결과를 통해 최적의 안테나 구성을 만들어 낼 수 있으며, 이러한 결과는 MIMO 시스템뿐만 아니라 향후 5 GHz 대역을 사용하는 무선랜과 공간 상관 특성을 이용하는 스마트 안테나와 같은 시스템에 적용이 가능할 것으로 예상된다. 향후 보다 정확한 채널용량을 예측하기 위하여 많은 실내 재질들의 전기적 특성 파라미터와 안테나 소자간의 커플링에 대한 연구가 필요할 것으로 본다.

참고문헌

- [1] D. D. Gregory, *Space-Time Wireless Channels*, Prentice Hall PTR, 2003
- [2] F. R. P. Cavalcanti, A. L. F. de Almeida, C. E. R. Fernandes, W.C Freitas Jr. "BLAST/MIMO performance with space-time processing receivers", *IEEE International Symposium*, Vol. 2, pp. 859-863 Sep. 2002.
- [3] I. Cuiñas, M. Sánchez, "Measurement of transmission coefficients of radiowaves through building materials in the 5.8 GHz frequency band," in *Proc. IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, pp. 1474-1477, Jul. 1999.
- [4] I. Cuiñas, M. G. Sánchez, and A. M. Pellicer, "Integrated automated system for microwave reflection coefficient measurement," in *Proc. 3rd ALAI Int. Conf. Industrial Automation*, pp. 12.23-12.26, Jun. 1999.
- [5] 김정하, "차세대 무선 접속망 구축을 위한 실외 전파 채널에 관한 연구", *통신학회*, p155, 2002. 11
- [6] M. Stoytchev, H. Safar, "Statistics of the MIMO radio channel in indoor environments" *Vehicular Technology Conference*, Vol. 3, pp. 1804-1808, Oct. 2001.