

수신 안테나 이격거리에 대한 2x2 MIMO 전파 채널 특성에 관한 연구

박세현¹, 윤병태^{1*}
¹삼성전자 DMC연구소

A Study on 2x2 MIMO Propagation Channel Characteristics for Receiving Antenna Spacings

Se-Hyun Park¹ and Byung-Tae Yoon^{1*}

¹Digital Media & Communication R&D Center, Samsung Electronics

요약 본 논문은 LOS(Line of Sight) 및 NLOS(Non Line of Sight)등 실제 MIMO(Multi Input Multi Output) 환경에서의 수신 안테나의 간격에 따른 전파 채널 특성에 관하여 기술 하였다. 2x2 MIMO 채널 측정 시스템을 구축하여 2.3GHz Wibro 대역에서 측정을 하였다. 수신안테나의 간격에 따른 특성을 분석하기 위해 반파장 표준 다이폴 안테나의 간격을 0.25, 0.5, 0.75 1.0 파장 간격 이격시켜 MIMO 안테나 수신 성능을 측정 하였으며, 측정 위치는 LOS 2곳 NLOS 4곳에 대하여 행하였다. 측정 결과 직접파를 수신 하는 LOS 환경에서는 공간 상관계수가 NLOS 환경에 비해 높은 값을 나타내었다. MIMO 시스템에서는 0.9 이상의 높은 공간 상관계수는 성능의 열화를 가져 오수 있으므로 이를 극복하기 위한 안테나 및 시스템의 설계가 이루어져야 한다.

Abstract In this paper, the MIMO(Multi-Input Multi-Output) channel characteristics for Rx antenna spacing are described in the real environment, which has LOS(Ling of Sight) and NLOS (Non-Line of Sight). We developed 2x2 MIMO channel measurement system at 2.3GHz Wibro Band. MIMO antenna evaluation parameters such as received power, channel capacity and spatial correlation are evaluated for standard dipole antenna with 0.25, 0.5, 0.75 and 1.0 wavelength spacing at 2-position for LOS and 4-position for NLOS. The spatial correlation is distributed more than 0.9 in most LOS case which might be intricate to operate MIMO communication. MIMO antenna design need to be focused on getting spatial diversity and reducing spatial correlation in LOS case.

Key Words : MIMO antenna, MIMO channel model, channel capacity, spatial correlation

1. 서론

4세대 이동통신 시스템에서는 안테나의 수를 증가 시켜 채널 용량을 증가 시키는 MIMO (Multi Input Multi Output)이동통신기술이 필수적으로 사용될 전망이다. 모바일 환경에서 4세대 이동통신에 MIMO 시스템이 구현되기 위해서는 제한된 공간에 다수의 안테나를 실장시킬 수 있는 기술이 선행 되어야 한다. 또한 MIMO 채널의 경우 채널이 Parallel하기 때문에 안테나 수의 증가가 채널 용량의 증가로 이어지지만, 각 채널 사이에는 대부

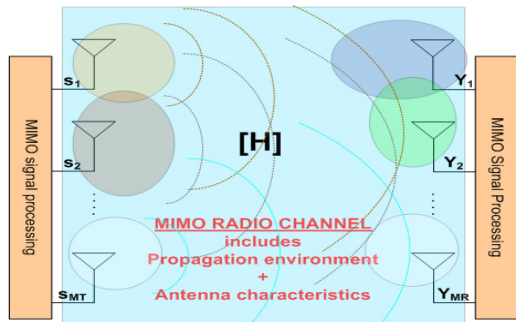
분의 경우 환경에 따른 공간 상관계수가 존재하게 되고, 경로에 따른 간섭이 발생하게 된다. 따라서 다중 경로 환경에 적합한 안테나를 만들기 위해서는 환경에 따른 공간 상관계수에 대한 연구가 선행 되어야 한다[1-4]. 이동통신 환경에서의 실제적인 전파 전파 현상은 반사, 투과, 회절 및 분산 등의 현상에 의하여 매우 복잡한 특성을 나타내며 수학적 모델링을 이용하여 표현하기에는 한계가 따른다. 또한 전파 특성은 반송 주파수, 대역폭, 전파환경에 따라 다르므로 채널 측정 시스템을 이용한 반복적인 실측 데이터를 이용하여 채널 분석을 행하여야 한다[5,6].

*교신저자 : 윤병태(btyoon@gmail.com)

접수일 09년 03월 25일

수정일 09년 04월 21일

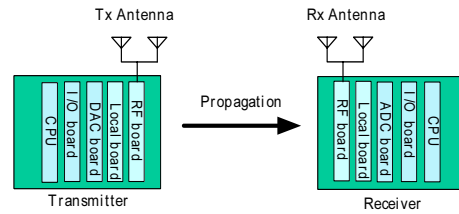
게재확정일 09년 04월 22일



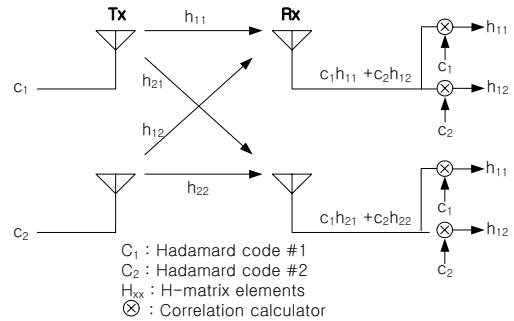
[그림 1] MIMO 전파 전파 채널모델

단일 안테나를 사용하는 SISO (Single Input Single Output) 시스템에서의 채널 모델은 안테나와 전파 환경을 분리하여 모델링이 가능하다. 그러나 다수의 안테나를 사용하는 MIMO 전파 채널 모델에서는 전파전파 특성뿐만 아니라 다중 안테나의 특성까지 포함하여 고려할 필요가 있다. 그림 1은 안테나의 특성 및 전파환경을 고려한 MIMO 채널 모델을 나타내고 있다. 채널 특성 행렬인 채널 행렬은 전파 공간에 존재하는 산란체 뿐만 아니라 안테나간의 결합에 의해서도 영향을 받게 된다. 따라서 MIMO 시스템에서는 안테나 패턴의 형상이 중요한 설계 파라미터가 된다. 그러나 안테나가 실장 되는 소형 단말기의 특성상 안테나 간의 좁은 이격거리는 원하는 성능의 안테나를 설계 하는데 많은 어려움을 준다[7-10].

MIMO 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 공간, 편파 및 패턴 다이버시티 특성을 얻을 수 있도록 안테나를 설계하는 것이 바람직 하지만 좁은 이격거리로 인해 다이버시티 특성을 기대하기 어렵다. 또한 안테나간의 강한 결합이 시스템에 어떠한 영향을 일으키는지에 대해서도 명확히 규명 되지 않고 있는 실정이다. 본 논문은 2.35 GHz Wibro 대역에서 LOS, NLOS 환경에서 수신 다이폴 안테나의 간격에 따른 MIMO 전파 채널 특성을 연구하기 위한 2x2 MIMO 채널 측정 시스템의 측정 결과를 중심으로 기술 하였다. 2 장에서는 본 연구를 위해 개발된 측정 시스템에 관하여 기술 하였으며, 3장에서는 다이폴 안테나의 간격에 따른 수신파워, 채널용량 및 공간 상관 계수 등 시험 결과에 대하여 기술 하였고, 4장의 결론으로 본 논문을 마무리 한다.



[그림 2] MIMO 측정 시스템 구성도



[그림 3] 채널 행렬 측정 원리

2. MIMO 측정 시스템

그림 2는 MIMO 전파 채널 측정 시스템의 송수신 개요도이다. 2.3GHz 대역 측정을 위한 신호처리부와 최대 4개의 송수신 안테나를 지원 하며 2x2, 4x4 MIMO 안테나의 전파 채널을 측정할 수 있도록 설계되었다[11,12]. 송신 프레임은 short preamble, long preamble 과 dummy data로 구성 되어 있다. Short preamble는 송수신 시스템간의 동기를 맞추기 위해 10개의 심볼로 구성 되어 있다. 각 심볼은 개별적인 파형을 가지고 있으며 10번에 걸쳐서 반복된다. 프레임 동기는 각각의 short preamble을 자기상관 연산을 통하여 얻어진다. Short preamble기간 동안 같은 파형이 반복 되어 지기 때문에 시스템은 자기상관계수의 피크값을 찾게 되어 프레임의 시작 위치를 결정 하게 된다. Long preamble은 64개의 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)심볼로 구성 되며 채널 행렬을 추정하기 위해 사용된다. Long preamble은 각각의 안테나에 대해 Hadamard code를 이용하여 직교 코드에 의해 변조되어진다. 64개의 심볼은 32차 hadamard code를 이용하여 2번 반복 하여 구성된다.

채널 추정을 위해 Long preamble을 사용하게 되며 그림 3은 2x2 MIMO 시스템에서의 채널 행렬 측정 원리를 나타내고 있다. 송신단에서는 각각의 안테나에 서로 다른 직교 코드(c_1 , c_2)를 송신한다. 수신단에서는 각각의 안테

나로부터 수신된 long preamble 신호를 송신단과 같은 직교 코드를 이용하여 상관 연산을 수행한다. 상관 연산자의 결과로부터 2x2 채널 행렬을 얻게 된다. 모든 OFDM 서브 캐리어에 대해 같은 직교 코드를 사용 하게 되며 20MHz 대역폭에 대해 총 48개의 서브 캐리어를 가진다. 이는 IEEE 802.11a 표준에 따른 것이다. 채널 용량은 측정된 채널 행렬로부터 수식 (1)에 의해 계산 된다. MIMO에서의 채널용량은 SISO 시스템과 마찬가지로 수신 파워에 의존하게 되며 식으로부터 알 수 있듯이 SISO 시스템에는 존재 하지 않는 공간 상관 계수에 의해서도 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 본 논문에서 측정된 채널 용량은 OFDM 서브 캐리어의 평균값으로 나타낸다.

$$C_{MIMO} = \log_2 \left(\det \left(I + \frac{P_r}{\sigma^2 m_t} HH^H \right) \right) [\text{bit/s/Hz}] \quad (1)$$

H : Measurement channel
 m_t : Number of transmit elements

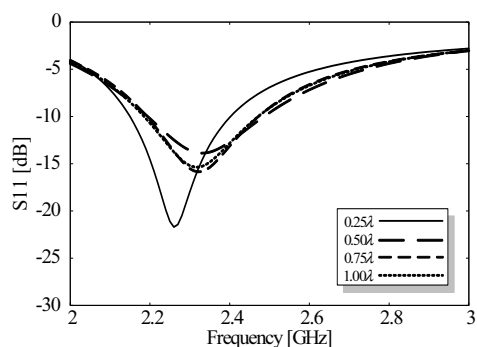
P_r : Received power

σ^2 : Noise Power

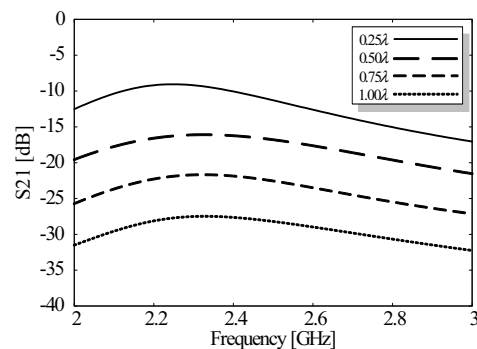
제한된 측정 시스템은 채널 행렬을 이용하여 다음 식 (2)에 의해 Tx 및 Rx 공간 상관 계수를 계산한다.

$$\begin{aligned} R_t &= H^H H \\ R_r &= H H^H \end{aligned} \quad (2)$$

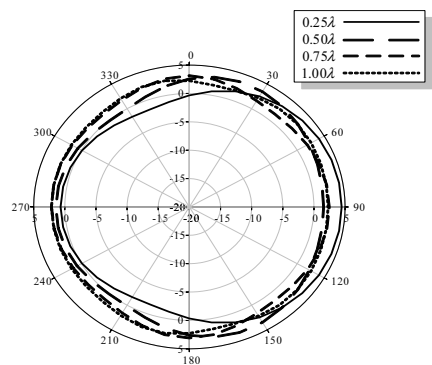
그림 4에 반파장의 길이를 가지는 표준 다이폴 안테나의 이격거리에 따른 반사계수, 격리도 및 방사 패턴에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 안테나의 간격이 0.25 파장인 경우 반사 계수는 안테나간의 강한 커플링에 의해 공진주파수의 이동을 보이고 있으며 격리 특성은 -9 [dB]로 나쁜 특성을 보이고 있다. 간격이 멀어짐에 따라 격리특성은 양호해지는데 1파장의 경우 -27 [dB]의 격리 특성을 가진다. MIMO 안테나에서는 단일 안테나를 사용하는 SISO 시스템과 달리 안테나간의 상호 결합이 중요한 설계 파라미터중 하나이며 격리특성이 나쁜 경우 안테나의 효율 저하 및 방사 패턴에도 영향을 주게 된다[8,9]. 그림 4(c)는 다이폴 안테나의 방사패턴을 나타내고 있는데 0.25파장의 경우 최대 이득은 4.4 dBi로 안테나간의 강한 결합에 의한 영향으로 다이폴 안테나임에도 불구하고 지향성을 가지게 된다.



(a) 반사계수



(b) 격리도



(c) 방사 패턴

[그림 4] 이격거리에 따른 다이폴 안테나의 특성

3. 측정 결과

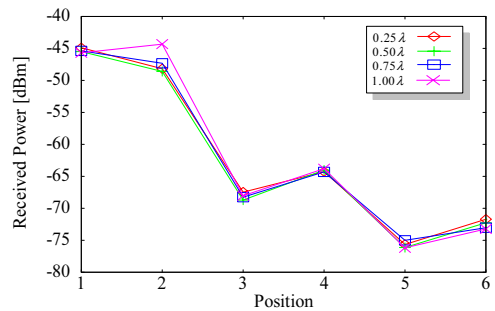
2x2 MIMO 안테나의 성능을 측정하기 위하여 LOS 2 곳, NLOS 4곳 총 6곳에서의 측정이 수행 되었으며, 측정된 주파수는 2.345GHz로 9MHz대역폭에 대하여 측정을 수행 하였다. 그림 5에서는 송신 안테나 및 수신 안테나의 위치를 나타내고 있다. 송신기는 6층 높이 건물의 옥

상에 설치되었으며 지상으로부터 약 20m 높이에 위치한다. Tx 안테나는 10dBi 이득과 105도의 수평 방향 빔 폭을 가지며 송신 파워는 33 dBm이다. 수신단에 사용된 안테나는 안테나의 간격에 따른 MIMO 특성 분석을 위해 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 파장의 표준 다이폴을 사용 하였으며 사용자 환경을 고려한 지상에서 0.8m 높이에 위치한다. 측정 위치 1과 2는 Tx 안테나로부터 약 250m 및 200m 떨어진 곳에 위치하고 있으며 수신 안테나는 송신안테나로부터 직접파를 수신 하는 LOS 환경 이다. 측정 위치 3, 4, 5 및 6은 직접파를 수신 할 수 없는 NLOS 환경이며 측정 위치 6은 Tx로부터 약 300m 떨어진 곳에 위치하고 있다. 그림 6은 각각의 측정 위치에서의 수신 파워, 채널 용량 및 공간 상관 계수를 나타내고 있다. 채널용량은 수신 파워에 비례하여 변화 하는 것을 알 수 있다. 수신 위치에 따라 채널 용량과 공간 상관 계수가 변화 하고 있으며, 같은 측정 위치에서는 수신안테나의 간격에 따른 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 MIMO 환경에서는 안테나의 간격에 따른 특성 보다는 주변 환경에 의한 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

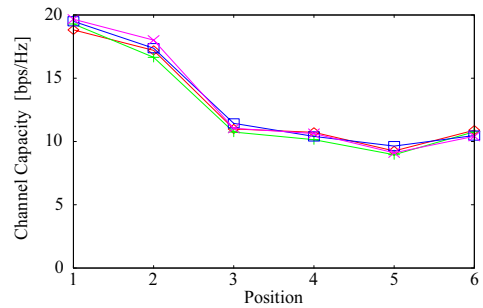
전체적으로 직접파를 수신 할 수 있는 LOS 환경에서 수신파워가 높아서 채널 용량도 비례 하여 높은 특성을 보이고 있다. 이는 MIMO 시스템에서도 SISO 시스템과 마찬가지로 채널용량은 수신 파워에 비례하는 특성을 보인다는 것을 의미 한다. 공간 상관 계수에 의 해서도 수신 위치에 따라 채널 용량에 약간의 변화가 생기는데, 특히 수신 위치 4는 직접파를 수신 할 수 없는 NLOS임에도 불구하고 높은 공간 상관 계수값이 측정 되었다. 이는 직접파의 회절특성에 의한 영향으로 LOS 환경과 유사한 높은 상관 특성을 나타내었다. 상대적으로 수신 위치 3에 비해 높은 수신 파워를 수신 하였지만 높은 상관에 의한 영향으로 채널 용량은 수신 위치 3보다 낮은 특성을 보여 주고 있다. 그림 7에 전체적인 측정 결과를 수신 파워 및 공간 상관 계수의 관계를 그래프로 나타내었다. 직접파를 수신 하는 LOS 환경에서는 안테나의 간격에 의한 영향 보다는 수신 환경에 의한 영향으로 높은 수신 파워 및 대체로 0.9 이상의 높은 공간 상관 계수를 나타내고 있다. 수신 위치 4를 제외한 NLOS 환경에서는 에서는 직접파를 수신 하지 못하고 다중경로에 의한 반사/회절 신호만을 수신하기 때문에 LOS에 비해 상대적으로 낮은 수신 파워와 낮은 공간 상관 계수 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.



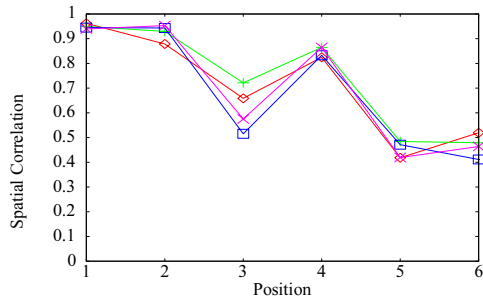
[그림 5] 측정 환경



(a) Received Power

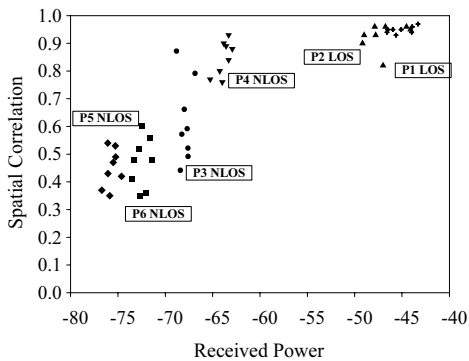


(b) Channel Capacity



(c) 공간 상관 계수

[그림 6] 수신파워, 채널용량, 공간 상관 계수



[그림 7] 수신파위에 따른 공간 상관 계수

4. 결론

본 논문에서는 수신 안테나의 간격에 따른 2x2 MIMO 전파 채널 특성에 대하여 기술 하였다. LOS환경에서는 직접파의 수신에 의해 높은 수신 파워 및 높은 공간 상관 계수 특성을 보였으며 반사/회절파만을 수신 하는 NLOS 환경에서는 상대적으로 낮은 수신 파워 및 낮은 공간 상관 특성을 나타내었다. 각 환경에 따른 수신 안테나의 간격에 따른 특성 변화는 크지 않았으며 환경에 의한 영향이 더 크게 나타남을 알 수 있었다. LOS 환경에서의 높은 상관 계수는 실제 MIMO 시스템에서 문제가 될 수 있으며 직접파를 수신 하는 환경에서 공간 상관 계수를 낮추기 위한 안테나 및 시스템의 설계가 이루어져야 함을 알 수 있다. 향후 실내 환경에서의 MIMO 전파 채널 측정 및 AoA에 따른 MIMO 성능 평가에 대해 수행할 예정이다.

참고문헌

[1] C. Chuah, D. Tse, J. Kahn and R. Valenzuela, "Capacity scaling in MIMO wireless systems under correlated fading," IEEE Trans. Inf. Theory, Vol.48, No.3, pp. 637-650, March, 2002.

[2] D-S Shiu, G.J. Foschini, M.J. Gans and J.M. Kahn, "Fading correlation and its effect on the capacity of multi-element antenna systems", IEEE Trans. On Communications, Vol. 48, No. 3, pp.502-513, March, 2000.

[3] G.J.Foschini and M.J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas", Wireless Personal

Communications, vol.6, pp. 311-335, 1998.

- [4] Herve Ndoumbe Mbonjo, Jan Hansen, and Volkert Hansen, "MIMO Capacity and Antenna Array Design", Global Telecommunications Conf., IEEE, 2004.
- [5] J. P. Kermaol, L. Schumacher, K. I. Pedersen, P. E. Mogensen and F. Frederiksen, "A stochastic MIMO radio channel model with experimental validation", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 20, no. 6, pp.1211-1226, Aug. 2002.
- [6] Andrea Giorgetti, M. Chiani, M Shafi and P.J. Smith, "Characterizing MIMO Capacity Under the Influence of Spatial/Temporal correlation", Australian Communication Theory Workshop Proceedings, 2003.
- [7]. Skycross, Inc, www.skycross.com, "Isolated mode antenna technology", white paper, jan. 2008.
- [8]. A. Diallo, C. Luxey, P. L. Thuc, R. Staraj and G. Kossiavas, "Study and reduction of the mutual coupling between two mobile phone PIFAs operating in the DCS 1800 and UMTS bands", IEEE Trans. Antennas Propaga., vol.54, no.11, pp. 3063-3074, Nov. 2006.
- [9] A. C. K. Mak, C. R. Rowell. And R. D. Murch, "Isolation enhancement between two closely packed antennas", IEEE Trans. Antennas Propaga., vol. 56, no.11, pp. 3411-3419, Nov. 2008.
- [10] J. Thaysen, K.B. Jakobsen, "Envelope Correlation in (N,N) MIMO Antenna Array from Scattering parameters", Microwave and Optical Tech. Letters, vol.48, No. 5, May, 2006.
- [11] K. Sakaguchi, H.Y.E. Chua and K. Araki, "MIMO channel capacity in an indoor Line -Of-Sight (LOS) environment", IEICE Trans. Comm., vol.E88-B, no.7, pp.3010-3019, July 2005.
- [12] K. Sakaguchi and J. Takada, "Measurement, analysis, and modeling of MIMO propagation channel", IEICE Trans. Comm. vol J88-B, no.9, pp. 1624-1640, Sep. 2005.

박 세 현(Se-Hyun Park)

[정회원]



- 2000년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과(석사)
- 2003년 9월 : 일본 동경공업대학 전기전자공학부(박사)
- 2003년 10월 ~ 2004년 8월 : 일본 동경공업대학(Post Doctor)
- 2004년 8월 ~ 2008년 5월 : 삼성종합기술원 전문 연구원

- 2008년 6월 ~ 현재 : 삼성전자 DMC연구소 책임 연구원

<관심분야>

MIMO Antenna, 이동통신 안테나, Radio Propagation, Millimeter wave high gain antenna.

윤 병 태(Byung-Tae Yoon)

[정회원]



- 1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과(학사)
- 1997년 10월 : Polytechnic Univ. 전자공학 (석사)
- 2003년 5월 : New Jersey 공대 전자공학과 (박사)
- 2003년 6월 ~ 2004년 5월 : New Jersey 공대 (post doctoral fellow)

- 2004년 6월 ~ 2008년 5월 : 삼성종합기술원 전문 연구원

- 2008년 6월 ~ 현재 : 삼성전자 DMC연구소 수석 연구원

<관심분야>

전파전파, 이동통신 안테나, Indoor Channel Modeling, MIMO Channel Modeling.