수신 신호 상관을 고려한 OFDM 다중 안테나 시스템의 채널 용량 : 2×2 안테나의 경우

Channel Capacity of OFDM-Based Multiple Antenna Systems with Correlated Signals : 2×2 Antenna Case

최재하 · 장주혁 · 신희영 · 김남수

Jae-Ha Choi · Ju-Hyuk Jang · Heui-young Shin · Nam-Soo Kim

요 약

본 논문은 주파수 선택적 레일레이 페이딩(Frequency selective Rayleigh fading) 환경 하에서 수신 신호들 간에 상관이 존재할 때, OFDM(Othogonal Frequency Division Multiplexing) 다중 안테나 시스템의 채널 용량을 연구하였다. 송, 수신 안테나를 각각 두 개 사용하였을 때, 채널 용량을 상관 계수의 함수로 closed-form 형태로 유도하였고, 각 안테나 당 평균수신 신호 전력이 동일할 때와 동일하지 않을 때 채널 용량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과 수신 신호의 상관 계수가 증가할수록 채널 용량이 감소하였고, 수신 신호 상관 계수가 약 0.7보다 클 때 채널 용량은 급격히 감소하였다. 그리고 각 안테나 당 평균 수신 신호 전력이 동일할 때 채널 용량은 최대가 됨을 알 수 있었다.

Abstract

This study examines the channel capacity of a multiple antenna system based on OFDM(Othogonal Frequency Division Multiplexing) when there are correlations among received signals in the frequency selective Rayleigh fading. As for a case that two transmitting and two receiving antennas are used, the channel capacity is derived as a function of correlation in a closed-form and the effect on channel capacity is analyzed when the mean value of the of received signal power is identical/ non-identical between the two receiving antennas. Analytical results show that the channel capacity decreases with the correlation coefficient of the received signals, and the decreasing rate is accelerated when the correlation coefficient of the received signals is greater than 0.7. In addition, the channel capacity reaches its peak when the received mean signal power of each branch is identical.

Key words : MIMO, OFDM, Capacity, Receive Correlation

Ⅰ. 서 론

현재, 기존의 무선 이동 통신 시스템이 음성 위주의 서비스였던 것에 반해, 고품질의 멀티미디어 서비스에 대한 요구의 증대로 고속의 데이터 서비스 위주로 변모해 가고 있다. 그러나 이동 통신 환경은 페이딩, 음영효과, 전파 감쇠, 잡음 및 간섭 등에 의해 데이터를 효과적으로 전송하는데 있어서 심각한 손실을 줄 수 있다. 이러한 손실은 신호를 왜곡시키고 왜곡된 신호는 사용자가 원하는 서비스를 제공받는데 방해가 되기 때문에 무선 채널 특성을 극복하거나 그 특성을 이용하기 위한 연구가 많이 수행되

「본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.」

청주대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Cheongju University)

· 논 문 번 호 : 20040511-065
· 수정완료일자 : 2004년 8월 24일

고 있다.

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술은 기존의 음성 위주의 서비스에서 고속의 멀티미디어 통신 시스템으로 효과적으로 전환하기 위해 사용된 기법으로 많은 연구가 수행되고 있다[1],[2]. 또한 다중 안테나 시스템은 송, 수신기에 여러 개의 안테나를 사용하여 전송의 신뢰성을 높이고 대역폭 효율을 증가시킬 수 있어 많은 연구가 활발히 진행되고 있는 상태이다[3]~[7]. OFDM 다중 안테나를 채택한 시스템은 OFDM 전송 방식과 다중 안테나 시스템의 장점을 이용하여 고속의 데이터 전송과 매우 큰 채널 용량을 얻기 위한 기법으로 사용된다. 특히 참고문헌 [8]은 전송 경로들 간의 무상관을 가정하고 시스템의 채널 용량을 분석하였다. 그리고 참고문헌 [9], [10]은 지연확산(Delay Spread), 다발 각 확산(Cluster Angle Spread), 총 각 확산(Total Angle Spread)과 같은 물리적 파라미터, 그리고 안테나의 수와 안테나 거리와 같은 시스템 파라미터가 채널용량에 미치는 영향을 분석하였다. 그러나 지금까지 연구된 대부분의 분석은 수신 안테나로 수신되는 각 신호들 간의 상관관계에 대해서는 무상관을 가정하였다.

따라서 본 논문에서는 두 개의 송, 수신 안테나를 사용한 OFDM 다중 안테나 시스템의 특별한 경우로서 수신 신호 상관에 많은 영향을 받는 채널 용량을 closed-form 형태로 표현하여 채널 용량과 수신 신호 상관의 의존성을 명확히 분석하고, 각 안테나에 수신되는 전력이 동일할 때와 동일하지 않은 수신 전력을 수신할 때의 채널 용량이 수신 신호 상관에 어떻게 영향을 받는지를 분석했다.

본 논문의 구성은 Ⅱ장에서 OFDM 다중 안테나 시스템에서 수신 신호 상관이 채널 용량에 미치는 영향을 분석하고, Ⅲ장에서는 Ⅱ장에서 이끌어낸 수식으로 수치적인 예를 보았다. 그리고 Ⅳ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. OFDM 다중 안테나 시스템의 채널 용량

2-1 OFDM 다중 안테나 시스템 모델

그림 1은 OFDM 다중 안테나 시스템의 구조이다. 송신기에서 데이터는 OFDM 변조기를 통해 각 안테나를 통해 동시에 송신된다. 채널을 통과한 데이터는 수신기에서 각 신호들이 OFDM 복조기를 통과해 분리된 후 디코딩된다. 다중 안테나를 사용하면서 OFDM 복조기를 통과해 분리된 후 디코딩된다. 다중 안테나를 사용하면서 OFDM 변조 기법을 사용하는 가장 중요한 이유는 주파수 선택적 페이딩을 겪는 채널을 각 부 채널(Sub-channel)에서 주파수 플랫 페이딩(Frequency Flat Fading)으로 변환해 주는 효과가 있다.

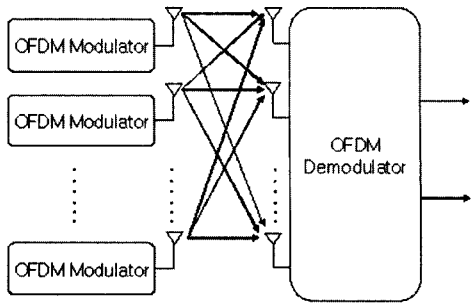


그림 1. OFDM 다중 안테나 시스템 모델
Fig. 1. OFDM multiple antenna system model.

2-2 OFDM 다중 안테나 시스템의 페이딩 채널 모델

OFDM 다중 안테나 시스템에서 p번째 송신 안테나에서 q번째 수신 안테나까지의 채널에 대한 k번째 OFDM 부 채널 주파수 응답은 다음과 같이 주어진다[8].

$$H_k^{qp} = \sum_{l=0}^{L-1} h_l^{qp} W_K^{kl} \tag{1}$$

여기서 h_l^{qp}는 p번째 송신 안테나로부터 q번째 수신안테나까지의 채널 임펄스(Impulse) 응답인 $h^{qp} = [h_0^{qp}, \ldots\ldots, h_{L-1}^{qp}]^H$의 l번째 채널 임펄스 응답이다. 여기서 l, $l=0, \ldots, L-1$은 다중 경로의 수이고, 첨자 $[\cdot]^H$는 전치 행렬과 복소 켤레를 의미한다. 그리고 $W_K = e^{-j(2\pi/K)}$이고, K는 OFDM 시스템 부 채널의 총 수이다. T_s는 시스템의 샘플링 간격이라면, $1/T_s$는 OFDM 시스템에서의 총 채널 대역폭이다. 프레임 길이 T_f는 $T_f = (K+\nu)T_s$로 주어지고 여기서 ν는 보호 대역을 의미한다. 대역폭의 효율을 증대시키기 위해 $K \gg \nu$라 가정하고,

IBI(Interblock Interference)를 피하기 위해 $\nu \geq L-1$ 이라 가정하자. 그러면 $T_f \gg LT_s$가 되고 OFDM 시스템의 각 부 채널에서는 플랫 페이딩을 겪는다. 따라서 각 부 채널은 플랫 페이딩을 고려하고, 송, 수신안테나를 각각 n로 가정하면, q번째 수신안테나의 k번째 부 채널에서 수신된 신호 y_k는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_k^q = \sum_{p=1}^{n} H_x^{qp} x_k^p + \xi_k^q \tag{2}$$

여기서 $q=1,\ldots,n$, $k=0,\ldots,K-1$, x_k^p는 p번째 송신 안테나의 k번째 부 채널에서 송신된 신호이다. 그리고 ξ_k^q는 q번째 수신안테나의 k번째 부 채널의 잡음을 나타낸다. 따라서 식 (2)에 대해 k번째 부 채널에서 수신된 신호는 다음과 같이 간결하게 표현할 수 있다.

$$y_k = H_k x_k + \xi_k \tag{3}$$

여기서 $k=0,\ldots,K-1$, $y_k=[y_k^1,\ldots,y_k^n]^T$이고, 송신된 신호와 각 수신기 안테나에서의 잡음은 각각 $x_k=[x_k^1,\ldots,x_k^n]^T$, $\xi_k=[\xi_k^1,\ldots,\xi_k^n]^T$이다. 그리고 첨자 $[\cdot]^T$는 전치 행렬을 의미하며, H_k는 $n\times n$ 행렬로 p 및 $q(p=1,\ldots,n,\ q=1,\ldots,n)$번째 요소는 H_k^{qp}이다.

2-3 수신 신호 상관을 고려한 채널 용량

안테나 수가 n개인 $n\times n$ 채널의 경우 송신된 신호 벡터가 통계적으로 독립인 같은 전력의 요소인 가우시안 분포로 구성될 때, OFDM 다중 안테나 시스템의 채널 용량은 다음과 같다[8]~[11].

$$C_k = \log_2 det\left(I+\frac{\rho}{nK} H_k H_k^H\right) \tag{4}$$

여기서 ρ는 신호 대 잡음비, 그리고 I는 $n\times n$ 단위 행렬이다. H_k는 정규화 된 채널 행렬이다(본 논문에서는 정규화 되지 않은 채널은 고려하지 않는다). 그리고 각 부 채널에 할당되는 전력은 일정하다고 가정한다. 즉, $D_k=\langle x_k x_k^H\rangle = P/(Kn)$이다. 여기서 $\langle\ \rangle$는 평균을 의미하고, P는 송신 신호의 총 전력을 의미한다. 가우시안 잡음은 서로 다른 수신안테나에 동일한 전력으로 분포한다고 가정한다. n개의 채널이 서로 독립인 이상적인 채널을 고려하면 $H_k=I$가 되고, 식 (4)는 다음과 같이 간단해진다.

$$C_k = n\log_2(1+\tilde{\rho}) \tag{5}$$

여기서 $\tilde{\rho}=\frac{\rho}{nK}$이다. 식 (5)에서 알 수 있듯이 n 값이 증가하면 채널 용량은 증가한다. 그러나 실제적으로 OFDM 다중 안테나 시스템의 채널 용량은 각 수신 신호의 상관에 의해서 영향을 받기 때문에 수신 신호들 간의 독립과 무상관을 가질 수 있도록 해야 한다. 그러나 실제 시스템에서 이와 같이 하기는 매우 어려운 일이다. 따라서 실제 시스템에서 적용될 때, 수신 신호의 상관 관계에 따른 영향을 명확히 분석해야 할 필요가 있다.

각각 두 개의 안테나를 사용한 H_k는 정규화 되어 있다고 한다면 평균값에 대해서는 다음과 같다[12].

$$\langle \sum_{p,q=1}^{2} |H_k^{qp}|^2 \rangle = 2 \tag{6}$$

x_k와 y_k도 정규화되어 있다고 가정한다.

송신된 신호가 무상관이라는 가정을 하면 수신된 신호의 상관계수 r는 다음과 같다[13].

$$r = \frac{\langle y_k^1 y_k^{2*}\rangle}{\sqrt{\langle y_k^1 y_k^{1*}\rangle\langle y_k^2 y_k^{2*}\rangle}} = \frac{H_k^{11}H_k^{21*}+H_k^{12}H_k^{22*}}{\sqrt{(|H_k^{11}|^2+|H_k^{12}|^2)(|H_k^{22}|^2+|H_k^{21}|^2)}} \tag{7}$$

여기서 첨자 $[\cdot]^*$는 복소 켤레로 정의한다. 전송된 신호들은 채널을 거쳐 수신기에 들어오고, 수신 신호는 채널의 임펄스 응답의 함수가 되므로 상관 계수 r은 또한 각 채널들의 상관 계수이기도 하다.

또한 각 수신안테나에서 정규화된 신호의 전력 β_1, β_2는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\beta_1 = \frac{\langle y_k^1 y_k^{1*}\rangle}{\langle y_k^1 y_k^{1*}\rangle+\langle y_k^2 y_k^{2*}\rangle} = \frac{1}{2}(|H_k^{11}|^2+|H_k^{12}|^2) \tag{8}$$

$$\beta_2 = \frac{\langle y_k^2 y_k^{2*}\rangle}{\langle y_k^1 y_k^{1*}\rangle+\langle y_k^2 y_k^{2*}\rangle} = \frac{1}{2}(|H_k^{21}|^2+|H_k^{22}|^2) \tag{9}$$

첫 번째로, 수신된 신호 전력이 동일한 경우의 채널 용량을 고려해 본다. 그러면 식 (8)과 식 (9)에서 정의된 수신안테나에서 수신된 신호 전력의 정규화된 값인 β_1과 β_2는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta_1 = \beta_2 = 0.5 \tag{10}$$

그러면, 식 (7)은 다음과 같이 간략하게 된다.

$$r = \frac{H_k^{11}H_k^{21*} + H_k^{12}H_k^{22*}}{\sqrt{2\beta_1 2\beta_2}} = H_k^{11}H_k^{21*} + H_k^{12}H_k^{22*} \tag{11}$$

다음으로 식 (4)를 정리하기 위해 det 부분을 계산한다. H_k를 채널 행렬로 표현하면,

$$H_k = \begin{vmatrix} H_k^{11} & H_k^{12} \\ H_k^{21} & H_k^{22} \end{vmatrix} \tag{12}$$

이다.

따라서 식 (4)의 $H_kH_k^H$은 다음과 같이 전개된다.

$$H_kH_k^H = \begin{vmatrix} H_k^{11}H_k^{11*} + H_k^{12}H_k^{12*} & H_k^{11}H_k^{21*} + H_k^{12}H_k^{22*} \\ H_k^{21}H_k^{11*} + H_k^{22}H_k^{12*} & H_k^{21}H_k^{21*} + H_k^{22}H_k^{22*} \end{vmatrix} \tag{13}$$

식 (13)을 이용해 식 (4)의 det 부분을 풀면

$$\begin{aligned} &det(I + \tilde{\rho}H_kH_k^H) \\ &= \begin{vmatrix} 1+\tilde{\rho}(H_k^{11}H_k^{11*} + H_k^{12}H_k^{12*}) & \tilde{\rho}(H_k^{11}H_k^{21*} + H_k^{12}H_k^{22*}) \\ \tilde{\rho}(H_k^{21}H_k^{11*} + H_k^{22}H_k^{12*}) & 1+\tilde{\rho}(H_k^{21}H_k^{21*} + H_k^{22}H_k^{22*}) \end{vmatrix} \\ &= 1 + (\tilde{\rho})^2(H_k^{11}H_k^{11*} + H_k^{12}H_k^{12*})(H_k^{21}H_k^{21*} + H_k^{22}H_k^{22*}) \\ &\quad + \tilde{\rho}(H_k^{11}H_k^{11*} + H_k^{12}H_k^{12*} + H_k^{21}H_k^{21*} + H_k^{22}H_k^{22*}) \\ &\quad - (\tilde{\rho})^2(H_k^{11}H_k^{21*} + H_k^{12}H_k^{22*})(H_k^{21}H_k^{11*} + H_k^{22}H_k^{12*}) \end{aligned} \tag{14}$$

식 (14)의 두 번째 항의 수식은 동일 수신 신호 전력을 가정하였기 때문에 $(\tilde{\rho})^2$의 항만 남게 되고, 세 번째 항은 식 (6)에 의해 $2\tilde{\rho}$의 항만 남는다. 또한 네 번째 항은 식 (11)을 이용하면 $-(\tilde{\rho})^2 rr^* = -(\tilde{\rho})^2|r|^2$ 항이 되므로 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$C_k = \log_2[1 + 2\tilde{\rho} + (\tilde{\rho})^2(1 - |r|^2)] \tag{15}$$

식 (15)는 k번째 부 채널의 용량을 계산하는데 채널 상관을 고려한 식이다. 그러므로 각 부 채널의 채널 상관으로부터 전체 시스템의 용량이 영향을 받게 되는 것을 알 수 있다. 특별한 예로 각 채널이 독립이면, 식 (15)의 $r=0$이 되므로 식 (5)와 동일한 결과를 얻는다.

이때, n=4로 확장해서 고려해 보면, 식 (13)을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_kH_k^H = \begin{vmatrix} \delta_{11} + 2\rho\sqrt{\beta_1\beta_2}r_{11} & \delta_{12} + 2\rho\sqrt{\beta_1\beta_2}r_{12} \\ \delta_{21} + 2\rho\sqrt{\beta_2\beta_1}r_{21} & \delta_{22} + 2\rho\sqrt{\beta_2\beta_2}r_{22} \end{vmatrix} \tag{16}$$

또한 식 (6)은 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$\left\langle \sum_{p,q=1}^{4} |H_k^{qp}|^2 \right\rangle = 4 \tag{17}$$

그리고 인접한 수신 신호들간의 상관을 가정할 경우 위와 동일한 과정을 거쳐 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$C = 4\log_2(1 + \tilde{\rho}(1-r)) + \log_2(1 + 4\tilde{\rho}r(1 + \tilde{\rho}(1-r))^{-1}) \tag{18}$$

두 번째로 수신된 신호가 다른 전력을 가질 때, $\beta_1 \neq \beta_2$이고 식 (14)를 정리하기 위해 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} det &= 1 + (\tilde{\rho})^2(H_k^{11}H_k^{11*} + H_k^{12}H_k^{12*})(H_k^{21}H_k^{21*} + H_k^{22}H_k^{22*}) \\ &\quad + \tilde{\rho}(H_k^{11}H_k^{11*} + H_k^{12}H_k^{12*} + H_k^{21}H_k^{21*} + H_k^{22}H_k^{22*}) \\ &\quad - (\tilde{\rho})^2 \frac{(H_k^{11}H_k^{21*} + H_k^{12}H_k^{22*})(H_k^{21}H_k^{11*} + H_k^{22}H_k^{12*})}{\sqrt{(H_k^{11}H_k^{12*} + H_k^{22}H_k^{21*})}\sqrt{(H_k^{11}H_k^{12*} + H_k^{22}H_k^{21*})}} \cdot \\ &\quad \sqrt{(H_k^{11}H_k^{12*} + H_k^{22}H_k^{21*})(H_k^{11}H_k^{12*} + H_k^{22}H_k^{21})} \end{aligned} \tag{19}$$

식 (19)의 두 번째 항과 네 번째 항을 식 (8), (9), (11)을 이용해 풀면 각각 $(\tilde{\rho})^2 2\beta_1 2\beta_2$, $-4\beta_1\beta_2(\tilde{\rho})^2|r|^2$가 되고, 세 번째 항은 동일 신호 전력의 식을 구할 때와 마찬가지로 식 (6)에 의해 $2\tilde{\rho}$의 항만 남는다. 이것을 정리하면 다음과 같이 식 (15)의 일반화된 식을 얻을 수 있다.

$$C_k = \log_2[1 + 2\tilde{\rho} + 4(\tilde{\rho})^2\beta_1\beta_2(1 - |r|^2)] \tag{20}$$

Ⅲ. 수치적인 예

이번 장에서는 Ⅱ장에서 구한 채널 용량을 수치적으로 알아본 결과를 보여준다.

본 논문은 OFDM 다중 안테나 시스템에서 송, 수신기에 동일하게 두 개의 안테나를 가정하고 수신된 신호의 상관이 채널 용량에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 수치적인 예를 보이기 위해서, 수신 SNR

은 40 dB, 30 dB, 20 dB일 때를, 부 채널의 개수(K)는 64, 128, 256으로 가정하고 각각 수치적 결과를 보았다. 또한 정규화된 각 수신 신호의 전력은 0.1~0.5까지 분석하였고, 수신 신호 상관 계수는 0.1~1.0까지 분석하였다. 또한 수신 신호 전력이 동일할 때 안테나의 수를 4개로 확장하여 비교 분석하였다.

그림 2는 식 (15)와 식 (18)을 사용하여 K=1로 고정하고, 수신 SNR을 20 dB와 30 dB일 때, 안테나의 수가 두 개일 때와 네 개일 때의 수신 신호 상관에 의한 채널 용량의 상태를 보여주는 그림이다. 이것은 MIMO 시스템에서 수신 신호의 상관을 고려한 채널 용량을 분석한 참고문헌 [12]에 있는 것과 동일한 조건으로 동일한 결과를 보임으로써 본 논문의 수치적 해석 결과가 타당함을 증명할 수 있다.

그림 3은 그림 2와 동일한 환경에서 K=128로 고정하고 수신 SNR을 차례대로 변화시켜 살펴본 형태의 그림이다. 그림에서 확인할 수 있는 것처럼 채널 용량은 SNR 값이 커짐에 따라 증가하지만, 수신 신호의 상관에 대해서 감소하는 정도가 훨씬 컸다. 이는 SNR 값이 커짐에 따라 수신된 신호들의 상관이 더 커진다는 것을 보여준다.

그림 4는 SNR 값을 40 dB로 고정시키고 K 값을 차례대로 변화시키면서 채널 용량에 미치는 수신 신호 상관의 영향을 분석한 그림이다. 여기서도 수신 상관이 커짐에 따라 채널 용량은 급격히 감소하는 것

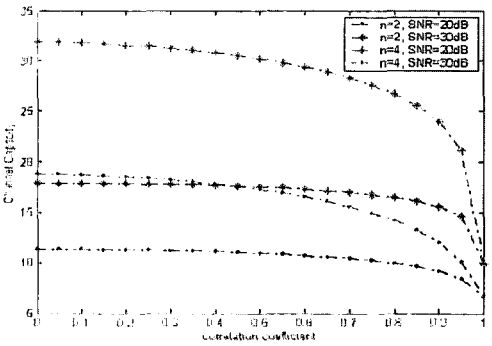


그림 2. 동일한 수신 신호 전력을 가진 OFDM 다중 안테나 시스템의 채널 용량(K=1)

Fig. 2. Channel capacity of a OFDM multiple antenna system when the mean value of the received signal power is identical between the two receiving antennas(K=1).

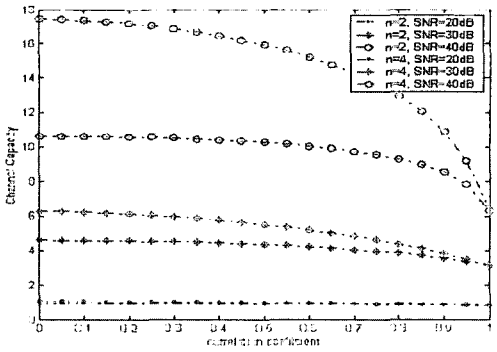


그림 3. 동일한 수신 신호 전력을 가진 OFDM 다중 안테나 시스템의 채널 용량(K=128)

Fig. 3. Channel capacity of a OFDM multiple antenna system when the mean value of the received signal power is identical between the two receiving antennas(K=128).

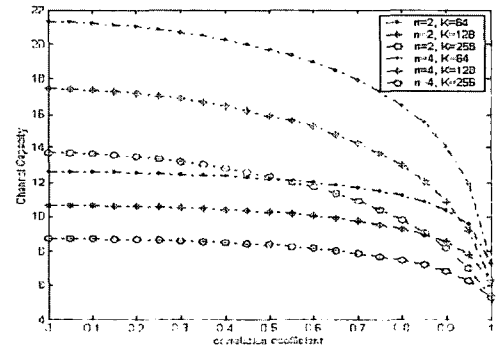


그림 4. 동일한 수신 신호 전력을 가진 OFDM 다중 안테나 시스템의 채널 용량(SNR=40 dB)

Fig. 4. Channel capacity of a OFDM multiple antenna system when the mean value of the received signal power is identical between the two receiving antennas(SNR=40 dB).

을 알 수 있었고, 부 채널에서의 채널 용량은 K 값이 작아질수록 더 큰 값을 갖는다. 그러나 K 값이 64, 128, 256으로 두 배씩 증가하는 것에 비해 채널 용량의 감소는 크지 않다는 것으로 미루어 시스템 전체의 총 채널 용량은 증가한다는 것을 알았다.

그림 2~4를 볼 때 n=2에서 n=4로 확장하였을 경우 채널용량은 훨씬 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만, n=4일 경우 수신 신호 상관 계수가 커짐에 따라 받는 영향이 n=2일 경우보다 매우 커진다는 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 K 값과 SNR 값을 모두 변화시켜 그림 3과 그림 4의 그림을 동시에 분석할 수 있도록 나타낸 그림이다. 이때는 안테나의 수를 두 개로 고정하고 살펴 보았다. 그림 5에서 확인할 수 있듯이 채널 용량은 수신 신호 상관이 약 0.7보다 클 때 채널 용량은 급격히 감소하였다.

그림 6은 각 안테나에 수신되는 평균 전력이 동일하지 않을 때 식 (20)을 사용하여 채널의 상관과 부채널의 채널 용량을 나타낸 것이다. 각 안테나에 수신된 신호의 전력이 다를 때도 수신 신호 상관 계수가 클수록 채널 용량은 감소하였고, 각 안테나에 수신된 평균 전력이 동일할 때(β_1=0.5), 채널 용량은 최대가 되는 것을 확인할 수 있었다.

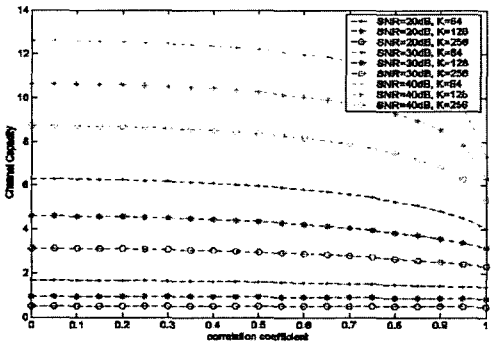


그림 5. 동일한 수신 신호 전력을 가진 OFDM 다중 안테나 시스템의 채널 용량

Fig. 5. Channel capacity of a OFDM multiple antenna system when the mean value of the received signal power is identical between the two receiving antennas.

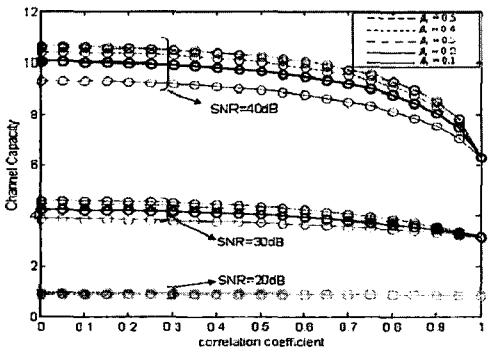


그림 6. 동일하지 않은 수신 신호 전력을 가진 OFDM 다중 안테나 시스템의 채널 용량

Fig. 6. Channel capacity of a OFDM multiple antenna system when the mean value of the received signal power is not identical between the two receiving antennas.

Ⅳ. 결 론

OFDM 다중 안테나 시스템은 고속의 데이터 전송이 가능하기 때문에 차세대 무선 통신 시스템에 적용될 것으로 생각된다. 본 논문은 OFDM 다중 안테나 시스템의 문제점이 되고 있는 수신 신호의 상관에 따른 채널 용량의 감소를 closed-form으로 분석하고, 각 수신안테나에 들어오는 수신 전력이 동일할 때와 동일하지 않을 때를 비교 분석하였다.

분석 결과, 수신 신호 상관 값이 커질수록, 채널 용량은 감소하였고, SNR이 높을 때 시스템의 채널 용량은 증가하였다. 그리고 수신 신호 상관이 약 0.7보다 크고, SNR이 높으면 감소 정도가 급격히 커졌고, 또한 각 안테나에 수신되는 수신 전력이 동일할 때 채널 용량은 최대가 된다는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 2×2 채널에서 연구하였지만, 향후 일반적인 N×N 채널로 확장된 연구가 이루어질 것이다.

참 고 문 헌

[1] R. Van Nee, R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.

[2] L. Hanzo, M. Munster, B. J. Choi and T. Keller, *OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting*, John Wiley & Sons, Inc., 2003.

[3] Ozgur Oyman, Rohit U. Nabar, Helmut Bolcskei and Arogyaswami J. Paulraj, "Characterizing the statistical properties of mutual information in MIMO channels", *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 51, no. 11, pp. 2784-2795, Nov. 2003.

[4] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element when using multi-element antennas", *Bell Labs Tech. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 41-59, Aug. 1996.

[5] G. J. Foschini, M. J. Gans, "On limits of wireless

communications in a fading environment when using multiple antennas", *Wireless Personal Communications*, vol. 6, no. 3, pp. 311-335, Mar. 1998.

[6] R. B. Ertel, Paulo Cardieri, Kevin W. Sowerby, Theodore S. Rappaport and Jeffrey H. Reed, "Overview of spatial channel models for antenna array communication systems", *IEEE Personal Communications*, vol. 5, Issue : 1, pp. 10-22, Feb. 1998.

[7] Arogyaswami Paulraj, Rohit Nabar and Dhananjay Gore, *Introduction to Space-Time Wireless Communications*, Cambridge, 2003.

[8] Tai-Lai Tung, Kung Yao, "Channel estimation and optimal power allocation for a multiple-antenna OFDM system", *Eurasip Journal on Applied Signal Processing*, vol. 2002, Issue : 3, pp. 330-339, Mar. 2002.

[9] Helmut Bolcskei, David Gesbert and Arogyaswami J. Paulraj, "On the capacity of OFDM-based spatial multiplexing systems", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 50, no. 2, pp. 225-234, Feb. 2002.

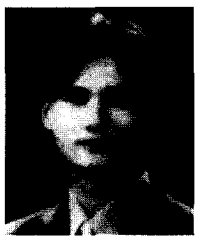
[10] Jibing Wang, Kung Yao, "Capacity scaling in OFDM based spatial multiplexing systems", *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 28-32, Sep. 2002.

[11] J. Choi, J. Yuan, P. Rapajic and M. Patwary, "A study on MIMO-OFDM based space-time technology for high speed packet transmission", *Technical Report*, The University of New South Wales Sydney Australia, Jan. 2003.

[12] S. L. Loyka, "Channel capacity of two-antenna BLAST architecture", *IEE Electronics Letters*, vol. 35, no. 17, pp. 1421-1422, Aug. 1999.

[13] Steven M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume II Detection Theory*, Prentice-Hall PTR Prentice-Hall, Inc., 1998.

최 재 하



2003년 2월: 청주대학교 정보통신공학부 (공학사)
2003년 3월~현재: 청주대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] OFDM, DMB 이중대역 안테나 등

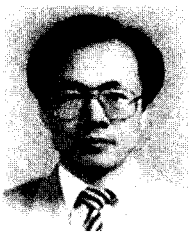
신 희 영

1999년 2월: 청주대학교 정보통신공학부 (공학사)
1999년 3월~2001년 2월: 청주대학교 전자공학과 (공학석사)
2001년 3월~현재: 청주대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] MIMO, DMB 이중대역 안테나 등

장 주 혁

2004년 2월: 청주대학교 정보통신공학부 (공학사)
2004년 3월~현재: 청주대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 송신 다이버시티, DMB 이중대역 안테나 등

김 남 수



1981년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1991년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1994년 3월~현재: 청주대학교 정보통신공학부 교수
[주 관심분야] MIMO 통신 시스템, Transmit Diversity 통신 시스템 등