

다중경로 환경에서 새로운 안테나 선택 기법의 사고확률

정희원 임연주*, 오창국**, 박상규*

Outage Probability of a Novel Antenna Selection Schemes in Multipath Environment

Yeon-Ju Lim*, Chang-Kuk Oh**, Sang-Kyu Park* *Regular Members*

요 약

차세대 무선 통신 시스템에서는 큰 채널 용량 이득을 얻기 위해 다중 송수신 안테나(Multiple Input Multiple Output : MIMO) 시스템을 갖는 공간 다중화(spatial multiplexing) 기술이 사용될 것이다. 다중 송수신 안테나 시스템은 비용과 복잡성을 줄이기 위해 송신 안테나 혹은 수신 안테나 중에서 이용 가능한 부분집합(subset)의 안테나만을 선택하는 것이 요구될 것이다. 본 논문에서는 다중경로를 가지는 다중 송수신 안테나 시스템에 적합한 안테나 선택 기법을 제안한다. 그리고, 제안된 안테나 선택 기법을 사용한 다중 송수신 안테나 시스템의 채널 용량과 사고(事故) 확률(outage probability)을 구한다.

Key Words : MIMO, Antenna Selection, Multipath, Outage Probability

ABSTRACT

The future wireless communication systems will use spatial multiplexing with Multiple Input Multiple Output(MIMO) system to take advantage of large channel capacity gains. In such systems it will be desirable to select a sub-set of available transmit or receive antennas to reduce cost and complexity. In this paper we propose a novel antenna selection schemes for MIMO systems be suitable for multipath environment. Also, we analyze the capacity and define the outage probability for a novel antenna selection schemes for MIMO systems in multipath environment.

* 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부(skpark@hanyang.ac.kr),

** LG전자 UMTS 단말 연구소(jangkuk@empal.com)

논문번호 : 030187-0430, 접수일자 : 2003년 4월 30일

I. 서론

기존의 무선 통신 시스템은 음성 위주의 서비스를 제공하였으나, 2000년대에 들어서는 멀티미디어 서비스가 속이 뚝에 따라 고속의 데이터 전송이 요구되고 있으며, 통화 품질(quality)과 채널 용량(capacity)의 손실 없는 무선 통신 기술이 필요하게 되었다^[1].

그러나, 차세대 무선 통신 시스템에는 몇 가지 문제점들이 존재한다. 그 첫 번째 문제점은 바로 스펙트럼이 부족하다는 것이다. 인증이 필요 없는 스펙트럼(예를 들어, ISM bands와 U-NII bands)은 간섭의 양이 매우 많고, 인증된 스펙트럼은 매우 제한되어 있고 비싸다. 그러므로 제한된 스펙트럼의 활용을 최대화 하는 것이 필요하다.

스펙트럼 활용의 측정은 스펙트럼 효율(spectrum efficiency)을 계산함으로써 얻을 수 있다. 스펙트럼 효율은 데이터 율과 대역폭의 비이고, 단위는 bps/Hz 이다. 높은 스펙트럼 효율은 더 높은 데이터 율을 제공하고, 사용자의 수를 추가적으로 지원하거나, 요구되는 스펙트럼의 양을 줄일 수 있다.

두 번째 문제점은 페이딩(fading)과 간섭(interference)에 의해 무선 링크의 품질이 영향을 받는다는 것이다.

그러므로 차세대 무선 통신 시스템은 위의 두 가지 문제를 해결할 수 있는 기술을 필요로 하게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다중 송수신 안테나 시스템이 제안되었고, 다중 송수신 안테나 시스템 사용함으로써 스펙트럼 효율과 무선 링크의 품질을 향상시킬 수 있다^[2].

본 논문에서는 스펙트럼 효율을 증가시키기 위한 공간 다중화 기술을 사용한다. 공간 다중화 기술은 송신기에서 입력 데이터 스트림(stream)을 여러 개의 부스트림(sub-stream)으로 나누고, 각각의 부스트림을 서로 다른 송신 안테나를 통해서 독립적인 데이터를 동시에 전송하게 된다. 이상적인 환경에서 공간 다중화 기술은 송신 안테나와 수신 안테나 중에서 작은 수의 안테나에 의해 스펙트럼 효율이 비례해서 증가한다. 그러나, 다중 송수신 안테나 시스템은 여러 개의 RF chain을 사용하게 됨으로 비용이 증가하고, 하드웨어가 복잡하게 되는 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제는 안테나 선택 기법(antenna

selection scheme)을 사용함으로써 해결할 수 있다. 공간 다중화 시스템에서의 안테나 선택 기법에는 채널 용량을 최대로 하는 안테나의 부집합을 선택하는 기법^[3], 최소 유일의 값(minimum singular value)이 최대인 안테나의 부집합을 선택하는 기법^[4], 그리고 최소 유클리디안 거리(minimum Euclidean distance)가 최대인 안테나의 부집합을 선택하는 기법^[4] 등이 있다. 그러나, 기존의 안테나 선택 기법은 각 안테나 사이의 경로가 단일 경로인 경우에 대한 기법이므로 다중 경로 환경일 때에는 그대로 적용하기 어렵다.

본 논문에서는 각 안테나 사이의 경로가 다중 경로 환경일 때 공간 다중화 기술과 결합된 새로운 안테나 선택 기법을 제안한다. 제안된 안테나 선택 기법을 사용함으로써 추가적으로 채널 용량을 증가시킬 수 있고 사고확률 또한 감소시킬 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 다중 경로를 가지는 다중 송수신 안테나 시스템 모델에 대해 정의하고, III장에서는 새로운 안테나 선택 기법을 제안하고, 채널 용량과 사고 확률에 대해서 정의한다. IV장에서는 시뮬레이션 결과를 분석하며 V장에는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2.1 채널 모델

그림 1은 M_T 개의 송신 안테나와 M_R 개의 수신 안테나를 갖는 다중 송수신 안테나 시스템의 블록도를 나타낸 것이다.

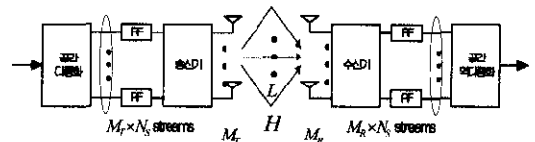


그림 1. 다중 송수신 안테나 시스템 블록도

다중 경로 환경에서 $M_R \times M_T$ 채널 임펄스 응답은 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$H(\tau) = \sum_{l=1}^L H^l \delta(\tau - \tau_l) \quad (1)$$

여기서, H^l 은 l 번째 경로에 대한 $M_R \times M_T$ 채널 행렬이다. L 은 경로의 수이고, τ_l 은 l 번째 경로 지연을 나타낸다. 하나의 심벌 구간을 T_S 로 표현한다. 그리고 분석을 간단히 하기 위해 $\tau_l = lT_S$, $l = 1, 2, \dots, L$ 로 가정한다. 즉, 경로 지연이 하나의 심벌 구간에 의해서 지연된다고 가정한다. 또한 채널은 $N_S (N_S > L)$ 개의 심벌들로 이뤄진 하나의 블록 구간동안 일정하다고 가정한다.

l 번째 경로에 의한 $M_R \times M_T$ 채널 행렬 H^l 은 식 (2)와 같다.

$$H^l = \begin{bmatrix} h'_{11} & h'_{12} & \dots & h'_{1M_T} \\ h'_{21} & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ h'_{M_R 1} & \dots & \dots & h'_{M_R M_T} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, h'_{ij} 는 j 번째 송신 안테나와 i 번째 수신 안테나 사이에서 형성된 l 번째 경로에 대한 채널의 임펄스 응답으로써, 평균이 0, 분산이 1인 i.i.d(independent identically distributed) 복소 가우시안이다.

따라서, 식 (3)과 같이 다중 경로에 의한 채널 H 는 $N_S M_R \times N_S M_T$ 블록 토에플리츠(Toeplitz) 행렬로 나타낼 수 있다.

$$H = \begin{bmatrix} H^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H^2 & H^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ H^L & \ddots & \ddots & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & H^L & \dots & H^2 & H^1 & 0 \\ 0 & 0 & H^L & \dots & H^2 & H^1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.2 공간 다중화

공간 다중화 기술은 각 송신기에서 입력 데이터를 여러 개의 부스트림으로 나누고, 각각의 부스트림을 서로 다른 송신 안테나를 통해 서로 독립적인 데이터를 전송함으로써 스펙트럼 효율을 향상시킬 수 있다.

m 번째 송신 안테나를 통해서 전송된 신호를 $x_m(t)$ 라고 정의하면, 모든 송신 안테나를 통해서 전송된 신호는 식 (4)와 같다.

$$x(t) = [x_1(t) \dots x_m(t) \dots x_{M_T}(t)]^T \quad (4)$$

여기서, $(\cdot)^T$ 는 전치 행렬(transpose)을 나타낸다.

따라서, $M_R \times 1$ 수신된 신호 벡터는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$y(t) = \sum_{l=1}^L H^l x(t - \tau_l) + w(t), \quad 0 \leq t < (N_S - 1)T_S \quad (5)$$

여기서, $w(t)$ 는 평균이 '0'이고, 분산이 '1'인 백색 가우시안 잡음이다. 수신된 신호를 행렬로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = Hx + w \quad (6)$$

여기서, 전송된 신호 x 는 $x = [x^T(0) x^T(T_S) \dots x^T((N_S - 1)T_S)]^T$ 인 $N_S M_T \times 1$ 벡터이고, 수신된 신호 y 는 $N_S M_R \times 1$ 벡터이다.

전송된 심벌 벡터를 검출하기 위해 본 논문에서는 선형 MMSE(Minimum Mean Square Error) 수신기를 고려한다. 선형 수신기는 부스트림을 결정하기 위해 채널 행렬의 곱만이 필요하기 때문에 실제 시스템에 적용하기가 쉽다. 또한 전송된 신호 벡터 x 를 검출하기 전에 MRC(Maximum Ratio Combining)를 수행한다^[5]. MRC를 수행한 결과는 식 (7)과 같다.

$$\hat{y} = H^H y = H^H H x + H^H w \quad (7)$$

여기서, $(\cdot)^H$ 은 허미시안(Hermitian)으로 전치 쥬레 복소수(complex conjugate transpose)를 나타낸다. 이 때, MMSE 수신기를 사용했으므로, 검출된 신호는 다음과 같다.

$$\hat{x} = F_{MMSE} \cdot \hat{y} \quad (8)$$

여기서, $F_{MMSE} = (H^H H + \frac{1}{SNR} I_{N_S M_T})^{-1}$ 이고, SNR(Signal-to-Noise Ratio)은 각 수신단에서

의 평균 신호대 잡음비로 $SNR = P/N$ 이다. 이 때, N 은 잡음 전력을 나타내고, P 는 송신기에서의 전체 전력을 말하며, $E[X^H X] = P$ 가 된다. 마지막으로, $I_{N_S M_T}$ 은 $N_S M_T \times N_S M_T$ 크기의 단위(identity) 행렬이다.

III. 안테나 선택 기법

이번 장에서는 다중 경로를 가지는 다중 송수신 안테나 시스템을 위한 새로운 안테나 선택 기법을 제안하고, 채널 용량과 사고 확률을 정의한다.

그림 2는 다중 경로 환경하에서 안테나 선택 기법을 사용한 다중 송수신 안테나 시스템의 블록도를 나타내고 있다.

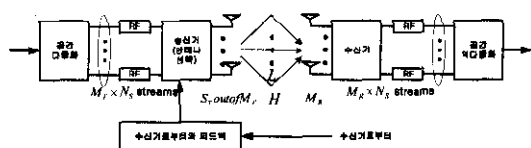


그림 2. 안테나 선택 기법을 사용한 다중 송수신 안테나 시스템 블록도

본 논문은 수신단에서 채널 상태 정보(channel state information)를 완벽하게 알고 있다고 가정한다. 그림 2에서 보듯이 수신단에서 송신단으로의 피드백(feedback)을 통해서 채널 상태 정보를 송신단으로 보내준다. 송신단에서의 채널 상태 정보는 각각의 안테나 선택 기법에 사용된다.

3.1 일반적인 다중 송수신 안테나 시스템

안테나 선택 기법을 사용하지 않은 다중 송수신 안테나 시스템의 채널 용량은 식 (9)과 같다^{[2][5]}.

$$C(H) = \frac{1}{N_S} \log_2 \det \left(I_{N_S M_T} + \frac{SNR}{N_S M_T} H H^H \right) \quad (9)$$

여기서, 채널 용량의 단위는 bps/Hz 이고, I_{N_S} 은 $N_S \times N_S$ 인 단위 행렬이다. 또한, $\det(\cdot)$ 는 행렬의 행렬식(determinant)을 나타낸다.

비에르고딕(non-ergodic) 채널에서는 새로운 채널 용량이 '0'이 된다^[2]. 이러한 경우에는 새로운 채널 용량보다 사고 확률이 더 큰 의미가 있다. 여기서, 사고 확률은 채널의 순간적인 상호 정보가 특정 채널 용량보다 작은 확률로 정의된다. 그러므로, 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 다중 송수신 안테나 시스템의 사고 확률은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{out} = \Pr(C(H) < R) \quad (10)$$

여기서, $R(bps/Hz)$ 은 특정 채널 용량을 나타낸다.

3.2 안테나 선택 기법 I.

MASS I(Antenna Selection Scheme I. for Multipath) 기법은 채널 용량이 최대가 되도록 송신 안테나의 부집합을 선택하는 방식이다. 식 (9)에서 정의했던 다중 경로에서의 채널 용량을 MASS I. 기법에 적용하면 식 (11)과 같이 표현할 수 있다.

$$C(H) = \max_{S(H)} \left(\frac{1}{N_S} \log_2 \det \left(I_{N_S M_T} + \frac{SNR}{N_S S_T} \tilde{H} \tilde{H}^H \right) \right) \quad (11)$$

여기서, S_T 는 MASS I. 기법을 통해서 선택된 송신 안테나의 수를 나타내고, $S(H)$ 은 모든 가능한 안테나의 부집합의 개수인 $\binom{M_T}{S_T}$ 가 된다. 또한, \tilde{H} 는 채널 H 에서 $M_T - S_T$ 열을 제거함으로써 생성된 새로운 채널이다.

예를 들어, 송신 안테나의 수가 $M_T = 4$ 개이고 선택된 송신 안테나의 수가 $S_T = 2$ 개이면 총 $\binom{4}{2} = \frac{4!}{(4-2)!2!} = 6$ 개의 송신 안테나 부집합이 있고, 그 중에서 채널 용량이 최대가 되는 안테나의 부집합을 선택한다.

각 안테나 사이의 경로가 다중 경로인 다중 송수신 안테나 시스템에서 채널 용량이 최대가 되는 송신 안테나의 부집합을 선택하는 MASS I. 기법을

사용했을 경우의 사고 확률은 MASS I. 채널 용량 식을 식 (10)에 적용함으로써 구할 수 있다.

$$P_{out(MASS I)} = \Pr\left\{ \max_{S(\tilde{H})} (C(\tilde{H}) < R) \right\} \quad (12)$$

$$H = \begin{bmatrix} H^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H^2 & H^1 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & H^2 & \ddots & 0 & 0 \\ H^L & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & H^L & \dots & H^2 & H^1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

3.3 안테나 선택 기법 II.

MASS II.(Antenna Selection Scheme II. for Multipath) 기법은 다음과 같은 방법으로 송신 안테나를 선택한다.

1) 우선 식 (13)과 같이 첫 번째 경로에 의해 형성된 채널 H^1 만을 고려한다.

$$H^1 = \begin{bmatrix} h_{11}^1 & \dots & h_{1M_T}^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M_R}^1 & \dots & h_{M_R M_T}^1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

2) 다음으로 첫 번째 경로에 의해 형성된 채널 행렬 H^1 의 열의 놈(norm) 제곱값들의 합이 큰 것을 찾아서 선택한다. 즉,

$$Z_k^1 = \sum_{i=1}^{M_R} |h_{ik}^1|^2, \quad k=1, 2, \dots, M_T \quad (14)$$

여기서, Z_k^1 는 첫 번째 경로에 의한 채널 H^1 의 k 번째 열의 놈 제곱값들의 합을 나타낸다. 그러므로, $Z_1^1, Z_2^1, \dots, Z_{M_T}^1$ 중에서 가장 큰 값과 두 번째로 큰 값을 갖는 Z_m^1 과 Z_n^1 을 찾는다.

MASS II 기법을 사용해서 새롭게 생성된 첫 번째 경로에 의한 채널 행렬 \tilde{H} 은 다음과 같다.

$$\tilde{H}^1 = \begin{bmatrix} h_{1m}^1 & h_{1n}^1 \\ \vdots & \vdots \\ h_{M_R m}^1 & h_{M_R n}^1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

3) 마지막으로, 첫 번째 이외의 경로 ($l=2, 3, \dots$)에 대해서는 첫 번째 경로에 의해 생성된 채널에서 선택된 안테나 (m^u 와 n^u 안테나)를 통해 데이터를 전송한다. 그러므로, MASS II 기법을 사용한 다중 경로를 가지는 다중 송수신 안테나 시스템에서 생성된 채널 \tilde{H} 은 식 (16)과 같다.

MASS II 기법을 사용했을 때, 다중 경로를 갖는 다중 송수신 안테나 시스템의 채널 용량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C(\tilde{H}) = \frac{1}{N_S} \log_2 \det(I_{N_S M_R} + \frac{SNR}{N_S S_T} \tilde{H} \tilde{H}^H) \quad (17)$$

여기서, S_T 는 채널 행렬에서 가장 큰 열의 놈의 제곱 합과 두 번째로 큰 열의 놈의 제곱 합에 의해 선택된 송신 안테나를 나타내므로, $S_T=2$ 가 된다. 만약, 세 번째로 큰 열의 놈의 제곱의 합까지 선택하게 되면 $S_T=3$ 이다.

MASS II 기법을 사용했을 경우의 사고 확률은 MASS II. 채널 용량식을 식 (10)에 적용함으로써 다음과 식과 표현할 수 있다.

$$P_{out(MASS II)} = \Pr(C(\tilde{H}) < R) \quad (18)$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

이번 장에서는 본 논문의 III장에서 보인 각 안테나 사이의 경로가 다중 경로인 다중 송수신 안테나 시스템에 대해 MASS I.과 MASS II. 기법을 사용한 경우와 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 경우에 대한 시스템 성능을 비교 분석하였다. 본 논문에서는 BPSK 변조 방식을 사용하였으며, MMSE 수신기를 사용하였다. 또한, 시뮬레이션 환경은 두 개의 수신 안테나 ($M_R=2$)와 안테나 선택 기법(MASS I.과 MASS II.)을 사용하여 세 개의 송신 안테나 ($M_T=3$)중에서 두 개의 송신 안테나 ($S_T=2$)를 선택하는 경우를 고려한다.

그림 3은 채널 용량을 4.5bps/Hz 로 고정했을 때, 단일 경로와 다중 경로($L=2$)를 가지는 다중 송수신 안테나 시스템의 SNR값의 변화에 따른 사고 확률을 비교한 그래프이다. 실질적인 다중 송수신 안테나 시스템이 다중 경로 환경하에서 동작한다고 할 때, 안테나 선택 기법을 사용한 시스템이 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 다중 송수신 시스템보다 훨씬 낮은 사고 확률을 가짐을 알 수 있다.

그림 4는 다중 경로의 수가 $L=2$ 와 $L=6$ 인 경우, 다중 송수신 안테나 시스템에서 채널 용량을 4.5bps/Hz 로 고정했을 때, SNR값의 변화에 따른 사고 확률을 비교한 결과이다. 그림 4로부터 안테나 선택 기법을 사용함으로써 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템보다 사고 확률이 감소함을 알 수 있다. 또한 낮은 SNR($7\sim 8\text{dB}$ 이하)에서는 다중 경로의 수가 $L=2$ 일 때의 사고 확률이 낮지만, 높은 SNR(8dB 이상)에서는 다중 경로의 수가 $L=6$ 일 때가 $L=2$ 일 때보다 사고 확률이 낮음을 확인할 수 있다.

그림 5는 다중 경로의 수가 $L=2$ 일 때, 비트 오류율에 대한 성능을 시뮬레이션한 결과이다. 그림 5에서 보듯이 2×10^{-2} 의 비트 오류율에 도달하기 위해 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템은 약 15dB 의 SNR이 요구된다. 그러나, MASS I. 기법을 사용한 시스템은 약 14dB 의 SNR이 요구되고, MASS II. 기법을 사용한 시스템은 약 13dB 의 SNR이 요구된다. 그러므로, 제안된 MASS I.과 MASS II. 기법을 사용함으로써 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템보다 각각 약 1dB 와 2dB 의 SNR 이득을 얻을 수 있다.

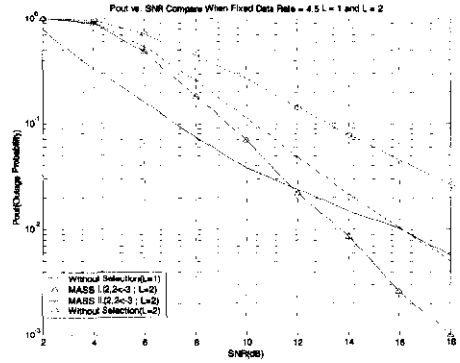


그림 3. $R=4.5\text{bps/Hz}$ 일 때, 단일 경로와 다중 경로($L=2$)의 P_{out} 비교

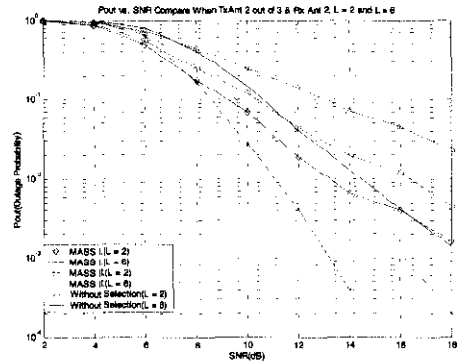


그림 4. $R=4.5\text{bps/Hz}$ 일 때, 다중 경로 $L=2$ 와 $L=6$ 의 P_{out} 비교

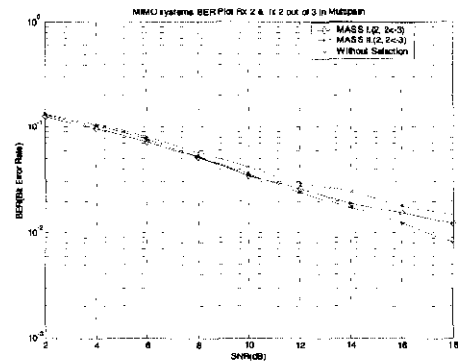


그림 5. 다중 경로 $L=2$ 일 때, BER 성능

V. 결론

본 논문에서는 다중 경로 환경을 가지는 다중 송수신 안테나 시스템에 쉽게 적용할 수 있는 안테나 선택 기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해서 다중 경로를 갖는 다중 송수신 안테나 시스템에서 제안된 안테나 선택 기법을 사용한 시스템이 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템보다 비트 오류율 성능이 매우 향상되었으며, 안테나 선택 기법을 사용한 다중 송수신 안테나 시스템의 사고 확률이 감소함을 볼 수 있었다. 즉, 같은 경로 수를 갖는 경우에 대해서 그림 3과 4, 및 5를 분석해 보면, 안테나 선택 기법을 갖는 시스템이 그렇지 않은 시스템보다 사고 확률이나 BER 성능 측면에서 더 좋은 결과를 얻는다는 것을 알 수 있다.

따라서, 본 논문에서 제안한 안테나 선택 기법은 다중 경로 환경에서 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템과 동일한 비용으로 다중 송수신 안테나 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

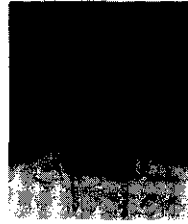
참고 문헌

- [1] 김성진, 이용석, 김호진, 이현우, "3GPP 다중 안테나 기술 동향 : Part II. MIMO를 중심으로", *Telecommunications Review*, 제12권 2호, pp.152-168, 2002 3~4월
- [2] I. Emre Telatar, "Capacity of Multi-antenna Gaussian Channels", *AT&T-Bell Labs Internal Technical Memorandum*, Jun. 1995
- [3] Andreas F. Molisch, Moe Z. Win and Jack H. Winters, "Capacity of MIMO systems with antenna selection", *ICC 2001*, Vol. 2, pp.570-574, 2001
- [4] Robert W. Heath Jr. and A. Paulraj, "Antenna Selection for Spatial Multiplexing Systems Based on Minimum Error Rate", *ICC 2001*, Vol. 7, pp.2276-2280, 2001
- [5] Eko N. Onggosanusi, Anand G. Dabak, Timothy Schmidl & Tarik Muharemovic, "Capacity Analysis of Frequency Selective MIMO Channel with Sub-Optimal Detectors", *2002 IEEE International*

Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 3, pp.2369-2372, 2002

임 연 주(Yeon-Ju Lim)

정회원



1998년 2월 : 대구대학교 정보통신공학과 공학사
 2000년 2월 : 한양대학교 전자공학과 공학석사
 2000년 3월~현재 : 한양대학교 전자통신전파공학과 박사과정

<주관심분야> 확산대역 통신, OFDM 시스템, MIMO, 변복조

오 창 국(Chang-Kuk Oh)

정회원



2000년 2월 : 경원대학교 전자공학과 공학사
 2003년 2월 : 한양대학교 전자통신전파공학과 공학석사
 2003년 2월~현재 : LG 전자 UMTS 단말 연구원

<주관심분야> MIMO, WCDMA, OFDM 시스템

박 상 규(Sang-Kyu Park)

정회원



1974년 2월 : 서울대학교 전기공학 공학사
 1980년 5월 : Duke University 통신공학 공학석사
 1987년 5월 : University of Michigan 통신공학 공학박사
 1976년 7월 ~ 1978년 10월 : 국방과학연구소
 1990년 8월 ~ 1991년 8월 : University of Southern California 객원교수
 1987년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 공과대학 전자전기컴퓨터공학부 교수

<주관심분야> 디지털통신, 확산대역 통신, 부호이론, PCS, IMT-2000