

다중경로 환경을 위한 새로운 송신 안테나 선택 기법

정희원 임 연 주*, 민 범 석**, 박 상 규*

New Transmit Antenna Selection Schemes for Multipath Environment

Yeon Ju Lim*, Beom Suk Min** and Sang Kyu Park* *Regular Members*

요 약

차세대 무선 통신 시스템에서는 높은 주파수 효율을 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 부분 집합(sub-set)의 안테나만을 선택하는 것이 요구된다. 본 논문에서는 다중경로를 가지는 다중 송수신 안테나 시스템에 적합한 송신 안테나 선택 기법을 제안한다. 제안된 송신 안테나 선택 기법을 사용한 MIMO 시스템은 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템과 기존 제안된 송신 안테나 선택 기법을 사용한 시스템보다 더 나은 비트 오류율(BER) 성능을 얻을 수 있다.

Keyword : Antenna Selection, Multipath, MIMO

ABSTRACT

The future wireless communication systems will use spatial multiplexing with Multiple Input Multiple Output(MIMO) system to take advantage of high spectral efficiencies. 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 transmit antenna selection schemes for MIMO systems which is suitable for multipath environment.

The proposed transmit antenna selection schemes offer better BER performance than that of MIMO systems without antenna selection and with traditionally proposed antenna selection schemes.

1. 서론

4세대 무선 통신 시스템에서는 멀티미디어 콘텐츠를 기반으로 하는 고속, 고품질의 다양한 서비스가 제공될 것으로 예상되어 지고 있다. 따라서, 한정된 주파수상에서 신뢰성 있는 고속 데이터 전송이 시급한 과제로 떠오르고 있으며 이 과제를 해결하기 위해서 다중 송수신 안테나(Multiple Input Multiple Output : MIMO) 시스템이 제안되었고, 국내외 적으로 활발한 연구가 이루어지고 있다[1].

다중 송수신 안테나 시스템은 크게 성능에 중점을 둔 공간다이버시티(spatial diversity)기술과 주파수 효율에 중점을 둔 공간다중화(spatial multiplexing)기술로 나눌 수 있다. 요즘 활발히 연구되고 있는 공간 다이버시티 기술로는 최대 가능한 다이버시티 이득을 얻는 시-공간 블록코드(space-time block code)와 최대 가능한 다이버시티 이득을 얻음과 동시에 부호화 이득을 얻을 수 있는 시-공간 트래리스 코드(space-time trellis code)가 있다[2][3]. 이 기술들을 사용해서 채널 상태 정보의

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

** AMTel (rlatcxf@hotmail.com)

논문번호 : 030501-1113, 접수일자 : 2003년 11월 13일

제한없이 데이터 전송이 가능하고 무선 링크의 품질을 향상시킬 수 있지만 주파수 효율은 크게 향상시킬 수 없다.

이런 이유로 주파수 효율을 증가시키기 위해 공간 다중화 기술이 제안되었다.

공간 다중화 기술은 송신기에서 연속적인 입력 데이터 스트림(stream)을 여러 개의 병렬 부스트림(sub-stream)으로 나누고, 각각의 병렬 부스트림을 서로 다른 송신 안테나를 통해서 독립적으로 동시 전송하고 이 부스트림 들은 수신기에서 여러 가지 수신기 알고리즘 방법에 의해서 분리해서 뽑아내는 기술이다. 이상적인 환경 하에서 공간 다중화 기술은 송신 안테나와 수신 안테나 중에서 작은 수의 안테나에 의해 스펙트럼 효율이 비례해서 증가한다.

이와 같이 다중 송수신 안테나 시스템을 사용함으로써 스펙트럼 효율이 증가하고, 무선 링크의 품질이 향상된다. 또한, 안테나 수가 증가함에 따라 채널 용량이 선형적으로 증가하는 효과를 얻을 수 있다[4,5].

그러나, 다중 송수신 안테나 시스템에서 모든 이용 가능한 전송 안테나를 이용하는 것은 사실상 RF 체인과 같은 하드웨어 비용 문제와 시스템이 복잡하게 되는 문제점을 가지고 있다.

위의 문제점들은 데이터 전송을 위한 안테나 부 집합을 선택하는 안테나 선택 기법(antenna selection scheme)[6-8]을 사용함으로써 해결할 수 있다. 공간 다중화 시스템에서의 안테나 선택 기법에는 채널 용량을 최대로 하는 안테나의 부 집합(sub-set)을 선택하는 기법, 최소 유일의 값(minimum singular value)이 최대인 안테나의 부 집합을 선택하는 기법, 최소 유클리디안 거리(minimum euclidean distance)가 최대인 안테나의 부 집합을 선택하는 기법, 그리고 post-processing 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio : SNR)가 최대인 안테나의 부 집합을 선택하는 기법 등이 있다 [7].

그러나, 위의 기존 안테나 선택 기법들은 각 안테나 사이의 경로가 단일경로(single path)인 경우에 적합하게 디자인되었기 때문에 실제 다중경로에 의한 간섭이 존재하는 환경에는 적합하지 못하다. 이런 이유로 본 논문에서는 각 안테나 사이의 경로가 다중경로인 경우에 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)을 고려한 새로운 안테나 선택 기법을 제안한다. 새롭게 제안한 안테나 선택기법을 사용하면 다중경로 환경에서 기존의 안테나 선택

기법보다 더 나은 다이버시티 이득을 얻고, 비트 오류율(Bit Error Rate)을 감소시킬 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 다중 경로를 가지는 다중 송수신 안테나 시스템 모델 및 채널 모델에 대해 정의하고, III장에서는 기존 안테나 선택기법을 소개하고 새로운 안테나 선택 기법을 제안한다. IV장에서는 시뮬레이션 결과를 분석하며 V장에는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델 및 채널 모델

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

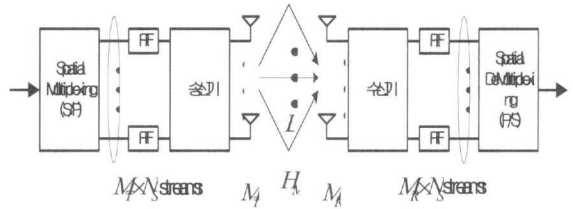


그림 1. 다중 송수신 안테나 시스템 블록도

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 $N_S(N_S > L)$ 의 심벌을 갖는 하나의 블록에서 일정하다고 가정한다.

l 번째 경로에 의한 $M_R \times M_T$ 채널 행렬 H^l 은

식 (2)와 같다.

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

여기서, h_{ij}^l 는 j 번째 송신 안테나와 i 번째 수신 안테나 사이에서 형성된 채널의 임펄스 응답이다. H^l 은 i.i.d(independent identically distributed) 복소값을 가지는 행렬이다. 그리고, H^l 의 각 요소는 평균이 '0'이고 분산이 '1'인 복소 가우시안이라고 가정한다.

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

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

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

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

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

$M_R \times 1$ 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 표현

하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, 전송된 신호 x 는 $x = [x^T(0) x^T(T_S) \cdots x^T((N_S - 1) T_S)]^T$ 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[7]. MRC를 수행한 결과는 식 (7)과 같다.

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

그리고, MMSE 수신기를 사용했을 경우, 검출된 신호는 다음과 같다.

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

여기서, $F_{MMSE} = (H^H H + \frac{1}{SNR} I_{N_S M_T})^{-1}$ 이다.

III. 안테나 선택 기법

이번 장에서는 단일경로를 고려한 기존 안테나 선택기법을 소개한다.

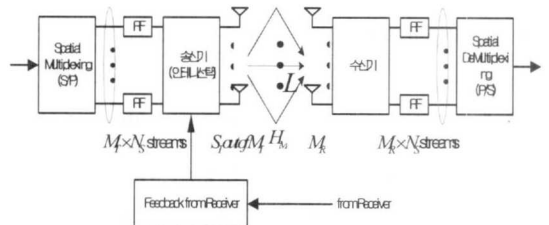


그림 2. 안테나 선택 기법을 사용한 다중경로를 가지는 다중 송수신 안테나 시스템 블록도

그림 2는 안테나 선택 기법을 사용한 다중 경로를 가지는 다중 송수신 안테나 시스템의 블록도이다.

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. 송신단에서는 이 채널 상태 정보를 통해서 각각의 안테나 선택 기법에 사용된다.

3.1 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템

안테나 선택기법을 사용하지 않는 시스템은 2장에서 소개한 채널이 다중경로 환경인 다중 송수신 안테나 시스템과 동일하다.

앞으로 소개할 안테나 선택기법과 성능비교를 위해서 송신 안테나의 수 M_T 를 안테나 기법에 의해서 선택된 송신 안테나의 수 S_T 와 같게 놓는다.

3.2 SM I 안테나 선택 기법

SM I(Selection Method I)는 다중 송수신 안테나 시스템에서 채널의 용량을 최대화 하는 송신 안테나 부집합을 선택하는 기법이다. 다중 송수신 안테나 시스템의 각 안테나 사이의 경로가 다중경로인 다중 송수신 안테나 시스템의 채널 용량은 식 (9)와 같다[7].

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

식(9)에서 채널 용량의 단위는 bps/Hz 이고 SNR (Signal to Noise Ratio)은 각 수신단에서의 평균 신호 대 잡음비로 $SNR = P/N$ 이다. 또한, N_S 은 하나의 블록에 포함되는 심벌의 수이고, $I_{N_s M_r}$ 는 $N_s M_s \times N_s M_s$ 단위행렬이다. 즉, 채널용량을 최대화 하는 안테나 기법을 식으로 표시하면 식(10)과 같다.

$$\max C(\tilde{H}_M) = \max_{S(\tilde{H}_M)} \left(\frac{1}{N_S} \log_2 \det \left(I_{N_s M_r} + \frac{SNR}{N_S S_T} \tilde{H}_M \tilde{H}_M^H \right) \right) \quad (10)$$

여기서, \tilde{H}_M 은 채널 H_M 에서 M_T 의 송신안테나 중에서 S_T 의 송신 안테나를 선택함으로써 얻어진 새로이 생성된 채널이다. $S(\tilde{H}_M)$ 은 모든 가능한 안테나 부 집합의 개수 $\binom{M_T}{S_T} = \frac{M_T!}{(M_T - S_T)! S_T!}$ 를 나타내고, S_T 는 SM I 안테나 선택 기법을 통해서 선택된 송신 안테나의 수를 나타낸다.

3.3 SM II 안테나 선택 기법

SM II(Selection Method II)는 다중 송수신 안테나 시스템에서 후-처리 SNR(post-processing Signal to Noise Ratio)을 최대화 하는 안테나 부 집합을 선택하는 기법이다[5]. 다중 송수신 안테나 시스템에서 후-처리 SNR은 식(11)과 같다.

$$SNR_k = \frac{E_s}{N_s M_T N_0 [H_M^H H_M + N_0 / E_s I_{N_s M_T}]_{kk}^{-1}} - 1 \quad (11)$$

여기서 M_T 는 송신 안테나의 수이고, E_s 는 신호의 에너지, N_0 는 노이즈의 전력 스펙트럼 밀도를 나타낸다. N_s 는 하나의 블록에 포함되는 심벌수를 나타내고, k 는 채널 H_M 의 k 번째 열을 나타낸다. 또한 $I_{N_s M_r}$ 는 $M_T N_s \times M_T N_s$ 단위행렬이다. 후-처리 SNR을 최대화시키는 안테나 선택기법은 각 안테나 부 집합에 의해서 생성된 채널들의 SNR_k 들 중 가장 작은 SNR_{\min} 을 계산하고, SNR_{\min} 을 비교하여 가장 큰 SNR_{\min} 을 갖는 안테나 부 집합을 선택한다.

IV. 새로운 안테나 선택 기법

각 안테나 사이의 경로가 다중경로인 다중 송신 안테나 시스템에서 단일경로를 고려한 기존 안테나 선택 기법 (SM I, SM II)을 사용한다면 다중 경로에 의해 발생하는 채널 간 간섭에 대한 영향을 고려할 수 없다. 따라서 이번 절에서는 채널 간 간섭을 고려한 다중경로 환경에서 적합한 새로운 안테나 선택 기법을 제안한다.

4.1 SM III 안테나 선택 기법

SM III(Selection Method III)은 각 안테나 사이의 경로가 다중경로인 다중 송신 안테나 시스템을 위해 채널 간 간섭을 고려해 넣은 SINR을 최대화시키는 안테나 부 집합을 선택하는 안테나 선택 기법이다. 우선 다중 경로 상에서 SINR은 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$SINR_m = \frac{1}{[(I_{N_s M_T} + \rho H_M^H H_M)^{-1}]_{m,m}} - 1 \quad (12)$$

식(12)에서 ρ 는 수신단에서의 SNR(Signal to Noise Ratio)이고 $I_{N_s M_T}$ 는 $N_s M_T \times N_s M_T$ 인 단위행렬이다. m 은 수신 신호의 m 번째 전송 열을 나타낸다. 즉 m 은 $1, 2, \dots, N_s M_T$ 이다. SINR을 최대화 시키는 안테나 선택 기법은 우선 각 안테나 부 집합에 의해서 생성된 채널들의 $SINR_m$ 들 중 가장 작은 $SINR_{\min}$ 을 계산하고, $SINR_{\min}$ 을 비교하여 가장 큰 $SINR_{\min}$ 을 갖는 안테나 부 집합을 선택하게 된다.

위의 안테나 선택 기법을 식으로 나타내면 식 (13)과 같이 나타내 진다.

$$\max SINR_{\min} = \max_{S(\tilde{H}_M)} \left(\frac{1}{[(I_{N_s S_T} + \rho \tilde{H}^H \tilde{H})^{-1}]_{\min}} - 1 \right) \quad (13)$$

여기서, \tilde{H}_M 은 채널 H_M 에서 M_T 의 송신안테나

중에서 S_T 의 송신 안테나를 선택함으로써 얻어진 새로이 생성된 채널이다. $S(\tilde{H}_M)$ 은 모든 가능한 안테나 부 집합의 개수 $\binom{M_T}{S_T} = \frac{M_T!}{(M_T - S_T)! S_T!}$ 를 나타내고, S_T 는 SM III 안테나 선택 기법을 통해서 선택된 송신 안테나의 수를 나타낸다.

V. 시뮬레이션 결과 및 분석

이번 장에서는 다중경로를 가지는 다중 송신 안테나 시스템 상에서 앞의 3장에서 기술한 기존 안테나 선택 기법들과 4장에서 제안한 새로운 안테나 선택기법의 비트 오류율(Bit Error Rate : BER) 성능을 비교 분석한다.

본 논문에서는 BPSK 변조 방식과, MMSE 수신기를 사용하였다. 시뮬레이션에서는 공통적으로 두 개의 수신 안테나($M_R = 2$)와 안테나 선택 기법(SM I- SM III)을 사용하여 4 개의 송신 안테나($M_T = 4$)중에서 두 개의 송신 안테나($S_T = 2$)를 선택한다.

그림 3은 두 개의 수신 안테나($M_R = 2$)와 네 개의 송신 안테나($M_T = 4$)중에서 두 개의 송신 안테나($S_T = 2$)를 선택하여 전송하는 경우에 기존 안테나 선택 기법들(SM I, SM II)과 새로운 안테나 선택기법(SM III), 그리고 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템의 BER 성능 그래프이다.

먼저 안테나 선택 기법을 사용하는 시스템과 사용하지 않는 시스템의 성능을 분석해 보면 그림 3에서 보듯이 10^{-2} 의 비트 오류율에 도달하기 위해 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템은 약 25dB의 SNR이 요구된다.

반면 SM I. 안테나 선택 기법을 사용한 시스템은 약 20dB의 SNR이 요구되고, SM II 기법은 약 13.4dB의 SNR이 요구되고 SM III 안테나 선택 기법은 약 11.8dB의 SNR이 요구되어진다.

다음으로 기존 안테나 선택 기법들(SM I, SM II)과 새로운 안테나 선택기법(SM III)의 성능을 비교해 보면 낮은 SNR의 경우(약 8dB이하)에서는 안테나 선택기법들의 성능이 거의 비슷하지만, SNR이 증가함에 따라 새로이 제안한 안테나 선택기법의

BER이 기존 안테나 선택기법 보다 낮아지는 것을 볼 수 있다.

따라서, 그림 3의 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 다중경로 환경에서 새로운 안테나 선택 기법을 사용할 경우 기존의 안테나 선택 기법을 사용한 시스템 보다 큰 SNR 이득을 얻을 수 있다.

그림 4는 다중 송수신 안테나 시스템에서 각 안테나 사이에 세 개의 경로($L=3$)을 가질 때 두 개의 수신 안테나($M_R=2$)와 네 개의 송신 안테나($M_T=4$) 중 두 개의 송신 안테나($S_T=2$)를 선택하여 전송하는 경우 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템과 기존의 안테나 선택 기법, 그리고 새로운 안테나 선택 기법을 사용한 시스템의 BER성능 비교를 보여주고 있다.

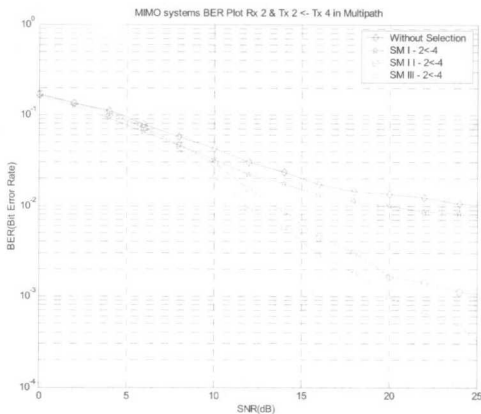


그림 3. 다중경로가 $L=2$ 일 때 BER 성능

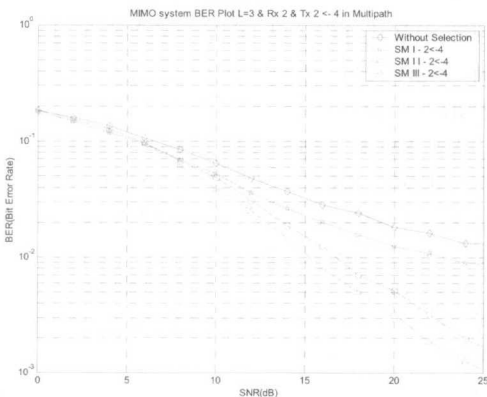


그림 4. 다중경로가 $L=3$ 일 때 BER 성능

그림에서 볼 수 있듯이 경로의 수가 3개일 경우도 경로가 2개인 경우와 마찬가지로 안테나 선택 기법을 사용했을 경우에 사용 하지 않는 시스템 보다 큰 SNR 이득을 얻을 수 있고, 기존의 안테나 선택 기법(SM I, SM II)과 다중 경로를 위한 안테나 기법(SM III)과의 비트 오류율의 성능 차이가 약간 적어졌지만 여전히 SM III의 안테나 선택 기법의 성능이 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 다중경로 환경을 갖는 다중 송수신 안테나 시스템에 적합한 새로운 안테나 선택 기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 안테나 선택 기법을 사용한 시스템이 안테나 선택 기법을 사용하지 않은 시스템보다 비트 오류율(Bit Error Rate : BER) 성능이 매우 향상됨을 보였고, 다중경로 환경에서 제안된 안테나 선택 기법이 기존 안테나 선택 기법보다 더 나은 성능을 가짐을 보였다. 따라서, 실제 다중경로 환경에서 본 논문에서 제안한 안테나 선택 기법을 사용하면 기존의 안테나 선택 기법을 사용한 시스템과 동일한 비용으로 다중 송수신 안테나 시스템에서 더 나은 성능을 얻을 수 있다.

참고 문헌

- [1] A. F. Naguib, N. Seshadri, A. R. Calderbank, "Increasing Data Rate Over Wireless Channels," IEEE Signal Processing Magazine, Vol 17, Issue 3, pp. 76-99, May 2000.
- [2] S. Alamouti, "Space block coding: A simple transmitter diversity technique for wireless communications," IEEE J. Select. Areas. Commun., vol. 16, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [3] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance analysis and code construction," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 44, pp. 744-765, Mar. 1998.
- [4] 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, No. 3, pp.311-335, Mar. 1998.

- [5] I. Emre Telatar, "Capacity of Multi-antenna Gaussian Channels", AT&T-Bell Labs Internal Technical Memorandum, June 1995.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Dhananjay Gore and A. Paulraj, "Space-Time Block Coding with Optimal Antenna Selection", 2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 4, pp.2441-2444, 2001.

박 상 규(Sang-Kyu Park) 정회원



1974년 2월: 서울대학교
전기공학사
1980년 5월: Duke University
통신공학 공학석사
1987년 5월: University of
Michigan 통신공학
공학박사

1976년 7월~1978년 10월: 국방 과학연구소
1990년 8월~1991년 8월: University of Southern
California 객원교수
1987년 3월~현재: 한양대학교 공과대학
전자전기컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 디지털 통신, 확산대역 통신, 부호이론,
변복조, MIMO 시스템

임 연 주(Yeon Ju Lim)

정회원



1998년 2월 : 대구대학교
정보통신공학과 공학사
2000년 2월 : 한양대학교
전파공학과 공학석사
2000년 3월~현재 : 한양대학교
전자통신전파공학과 박사과정
<관심분야> 확산대역 통신,

OFDM 시스템, MIMO, 변복조

민 범 석(Beom Suk Min) 정회원



1999년 2월: 한양대학교
전자통신전파공학과 졸업
2003년 8월: 한양대학교
전자통 신전파공학과
석사 졸업
2003년 8월~현재: AMTel
연구원

<관심분야> MIMO 시스템, MIMO-OFDM, 다이버
시티 기술