

Multi-Block SDM을 이용한 OFDM 시스템에 관한 연구

A Study on the OFDM System Using Multi-Block SDM

이 규 진* 김 지 성** 김 남 일*** 이 계 산****
(Kyu-Jin Lee) (Ji-Sung Kim) (Nam-Il Kim) (Kye-San Lee)

요 약

최근 무선통신의 발달로 인하여 음성 서비스 이외의 동영상, 인터넷 서비스와 같은 보다 큰 전송률을 요구하는 다양한 서비스 요구가 급속도로 높아지고 있다. 고속 전송률 서비스를 낮은 가격으로 많은 사용자에게 제공하기 위해 제한된 통신자원을 이용하여 보다 많은 데이터를 전송할 수 있는 물리계층 기술이 필요하게 되어 직교 주파수 다중 방식인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 다수의 송수신 안테나를 이용하는MIMO(Multiple Input Multiple Output)시스템을 사용하게 되었다. MIMO 기술 중 Spatial Multiplexing은 전송용량 이득은 가질 수 있지만, 다수의 안테나로 인한 상관으로 인해 Diversity gain을 얻지 못하는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 차세대 전송기술로 부각되고 있는 고속의 무선 데이터 전송기술 내에서, MIMO-OFDM 시스템인 SDM방식에서 Diversity gain을 얻고자 제안된 Multi-Block을 이용한 SDM의 성능에 대해 알아보고, 앞으로의 연구 방향에 대해 설명하고자 한다.

Abstract

Improving the transmission rates of multi-media delivery, such as moving pictures and internet services, has become increasingly important in modern society. To satisfy such high data rate requirements, the MIMO technique, which has the capacity to transmit large amounts of data using limited frequency resources, was developed. The Space Division Multiplexing (SDM) system is one of the MIMO techniques to be able to improve the transmission capacity. However, it is unable to achieve diversity gain because of interference due to the use of multiple antennas. In this paper, an SDM system that utilizes a Multi-Block method as an advanced transmission technique in a wireless communication system to obtain diversity gain is proposed and discussed for the performance of the proposed system.

Key words: Space Division Multiplexing(SDM), MIMO-OFDM, multi-block, MLD, MRC, capacity

* 주저자 : 경희대학교 전자·전파공학과 박사과정

** 공저자 : 콘텔라(주) 연구원

*** 공저자 : 경희대학교 전자·전파공학과 석사과정

**** 공저자 : 경희대학교 전자·전파공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 8월 18일

‡ 논문심사일 : 2008년 9월 6일

† 게재확정일 : 2008년 9월 8일

I. 서 론

최근 이동 통신 시스템에서 고속 데이터 전송을 위한 기술로 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 많이 고려하고 있으며, 유선 채널에서도 고속 데이터 전송에 적합한 방식으로 연구가 활발히 진행 중이다 [1]. 무선 통신에 사용되는 채널은 다중경로 페이딩이며 심볼 주기가 짧은 고속 데이터 전송 시 OFDM 방식을 사용하면 간단한 등화기로 다중경로에 의해 발생하는 심각한 주파수 선택적 페이딩 (Frequency Selective Fading)에 대처할 수 있다. 다시 말해, OFDM은 직교하는 여러 개의 부반송파(Subcarrier)에 정보를 나누어 전송함으로써 데이터의 전송 속도는 유지하지만, 각 심볼의 주기는 부반송파의 수만큼 길어지게 되어 주파수 선택적 페이딩 채널이 각각의 부채널에서는 주파수 비선택 채널로 근사화 되어 수신단에서의 구조가 간단해 진다. 또한, OFDM 심볼 사이에 채널의 지연확산 보다 긴 보호구간을 삽입하여 ISI(Inter Symbol Interference)와 ICI (Inter Channel Interference)를 쉽게 제거할 수 있다 [2].

최근 주파수 대역의 확장 없이 사용자의 고속 대용량 데이터 전송요구에 맞추기 위한 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 송·수신 모두에 다중의 안테나를 사용하는 MIMO(Multiple Input Multiple Output)는 추가적인 주파수 할당이나 전력증가 없이도 제한된 통신자원을 이용하여 통신 용량 및 송·수신 성능을 획기적으로 향상 시킬 수 있는 방법으로 현재 큰 주목을 받고 있다.

다중 송·수신 안테나 기술은 송신기와 수신기에 다중의 안테나를 이용하는 방식으로, 서로 다른 데이터를 동시에 전송함으로써 시스템의 대역폭을 더 증가시키지 않고, 보다 고속의 데이터를 전송할 수 있는 Spatial Multiplexing [3, 4]기법과 다중의 송신 안테나로부터 같은 데이터를 전송하여 송신 diversity를 얻고자 하는 Spatial Diversity기술 [5, 6]로 구분된다. Spatial Multiplexing 기법은 각 송신안테나에 서로 다른 데이터를 전송함으로써 데이터

전송률을 향상 시킬 수 있다. 반면에, 전송 품질이 저하되는 단점이 있다. Foschini의 의해 제안된 BLAST(Bell Laboratories Layered Space Time) 방식은 다중의 안테나를 송·수신 안테나를 사용함으로써 독립적인 페이딩 채널을 형성하고 각각의 송신 안테나에 서로 다른 데이터 신호를 전송함으로써 데이터 전송속도를 크게 향상 시킬 수 있다 [7, 8]. 반면에, Spatial Diversity의 기술은 같은 데이터를 전송함으로써 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있는 반면, 데이터 전송률이 낮아지는 단점이 있다. STBC (Space Time Block Code)는 Alamouti에 의하여 제안되어 구현이 간편하고 성능이 우수하여 전송 다이버시티 기법으로 널리 사용되고 있다 [4, 9]. 무선 통신에서, Spatial Multiplexing의 경우에 속하는 SDM(Space Division Multiplexing) 방식은 다중 송신 안테나와 다중 수신 안테나를 채택하여 서로 다른 독립적인 데이터를 전송함으로써, 데이터 전송률을 향상 시켜 전송 용량의 이득을 얻는다.

하지만, 안테나간의 상호 상관으로 간섭이 발생하여 시스템의 성능이 저하되는 단점이 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로, 동일한 입력 신호를 다수의 안테나를 사용하여 전송하는 방법을 제안한다.

이 논문에서는 4개의 송신 안테나를 사용 하였다. 기존의 4개의 송신안테나를 갖는 SDM은 다수의 송신 안테나가 서로 다른 데이터를 전송하게 되는데, 제안시스템에서는 입력된 신호의 원신호와 복제된 신호가 각각의 SDM 송신Block을 통과하게 되는데, 여기서 SDM Block을 통과한 송신 데이터는 1번, 3번 송신 안테나와 2번, 4번 송신 안테나에서 송신 데이터는 같은 값을 갖게 된다.

즉, 같은 데이터를 다른 송신 안테나를 통하여 반복 전송함으로써, 성능을 향상 시킬 수 있다. 반면에, 4개의 송신안테나를 갖는 STBC의 시스템은 4개의 송신 안테나에 4개의 서로 다른 데이터를 전송하지만, 같은 데이터를 4번의 심볼 시간을 통하여 전송함으로써, 전송 용량의 이득을 얻을 수 없다. 즉, 제안시스템은 STBC 보다 2배의 전송 용량의 이득을 얻을 수 있다.

제안 시스템의 수신단에서는 같은 형식의 데이

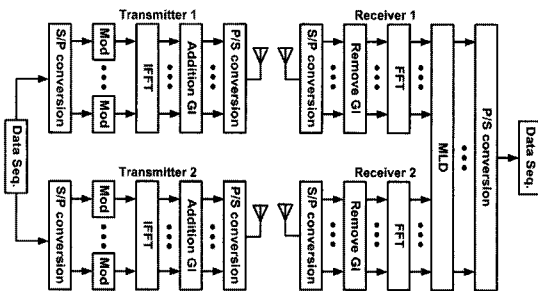
터를 적절한 신호처리를 통해 송신 데이터로 구분해내야 하는데 이때 V-BLAST 방식 중 MLD (Maximum Likelihood Detection)를 사용함으로써 필요한 데이터를 구분해낸다. MLD의 경우 다른 방식과 비교하였을 때 계산량이 많고 복잡한 단점이 있으나, 성능이 가장 좋다는 장점이 있다. 후에, 구분되어진 데이터는 MRC (Maximal Ratio Combining) 기법을 사용하여, 수신 안테나로부터의 신호를 SNR이 최대가 되도록 선형적으로 결합함으로써 기존의 장점이었던 전송 용량 이득에 더불어 높은 전송 품질을 얻게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 시스템 모델에 대하여 알아보고, 3절에서는 모의실험 결과를 비교하고, 4절에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 시스템 모델

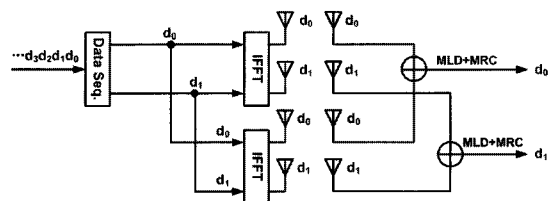
다중경로 페이딩 채널에서 고속 데이터를 전송하고자 할 경우 단일반송파 방식에서는 수신단의 복잡도가 크게 증가하는 반면, 다중 안테나를 갖는 OFDM 방식인 SDM 방식은 보호구간과 협대역으로 인하여 지연과 발생하지 않아 ISI에 강하며, 다수의 송·수신 안테나 사용으로 전송용량의 이득 또한 취할 수 있게 된다.

<그림 1>은 기존의 OFDM/SDM 시스템의 송·수신 단을 나타낸다. 사용자의 데이터 열은 SDM을 통하여 각각의 안테나로 나누어진다. 이러한 데이



<그림 1> 기존의 OFDM/SDM 시스템 송수신단
<Fig. 1> Schematic diagram of the conventional OFDM/SDM transceiver

터는 S/P를 통하여 각 부반송파에 할당된다. 이 데이터는 변조 방식에 따라서 mapping 된다. 이후, IFFT 변환을 거치고 보호구간을 삽입하여 전송한다. 이러한 과정은 각각의 송신 안테나에서 동일하게 진행된다. 즉, 각각의 안테나에서는 기존의 SISO OFDM 시스템과 동일하다. 무선 채널을 거쳐 수신단에 수신된 신호는 전송단과 반대의 과정으로 진행된다. 수신된 신호는 보호구간이 제거되고, FFT 변환을 통하여 주파수 영역으로 신호가 분리된다. 이렇게 분리된 신호는 MLD를 통하여 각각의 안테나로부터 신호를 분리 및 복원한다. 하지만, 이런 OFDM/SDM은 데이터의 전송율을 향상 시키지만, 전송품질 면에서 문제점을 가지고 있다. 송·수신단에서 다수의 송·수신 안테나를 사용하여 데이터를 전송할 때 안테나 간의 상관으로 인하여 간섭이 발생하게 되는 것이다. 즉, 전송품질 저하를 야기할 수밖에 없는 것이다. 본 논문에서 제안하고자 하는 시스템은 이러한 기존 시스템의 문제점을 해결하여 전송품질을 높이고자 하는 것에 있다. 제안 시스템에서 입력된 데이터 신호는 각각의 안테나에 보내진다. 여기서 입력된 신호는 1번째 안테나와 3번째 안테나, 2번째 안테나와 4번째 안테나에 서로 같은 데이터 신호를 보내게 된다. <그림 2>는 제안 시스템을 나타낸다. 각각의 안테나에 입력된 데이터 열은 S/P(Serial to Parallel)를 거치면서 신호는 병렬로 바뀌고 모듈레이션 후에 IFFT(inverse fast fourier transform)로 보내지게 된다. 신호는 다시 GI(Guard Interval)를 삽입한 후 P/S(Parallel to Serial)를 지나 신호를 송신시킨다. 각각의 채널 환경을 겪은 신호는 수신단에서 GI를 제거하고 FFT(fast fourier transform)를 거쳐 ML detection을 하여 송신된 신호



<그림 2> 제안 시스템
<Fig. 2> Schematic diagram of the proposed system

를 찾아낸다. ML detection된 신호는 같은 형태의 신호끼리 최종적으로 MRC를 하게 된다. MRC한 신호는 P/S를 거친 후 원신호로 복원이 된다. 복원된 신호는 같은 데이터를 전송함으로써 전송 다이버시티 이득을 얻게 되어, 기존 SDM시스템에서의 문제점인 낮은 전송품질이 향상된다.

이 논문에서, SDM 채널은 M개의 전송 안테나와 N개의 수신 안테나로 구성되었다. 그리고 그때 수신 신호 $r(t)$ 는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$r(t) = Hs(t) + n(t) \tag{1}$$

여기서 $N \times M$ 채널 H 는 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1M} \\ \dots & h_{ij} & \dots \\ h_{N1} & \dots & h_{NM} \end{bmatrix} \tag{2}$$

식 (2)에서, h_{ij} 는 j 번째 전송 안테나로부터 i 번째 수신 안테나의 채널 임펄스 응답을 나타낸다. 또한, $s(t)$ 는 송신 안테나로부터의 송신 신호를 나타내고, $n(t)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 AWGN을 나타낸다. 그러므로 잡음의 값은 식 (3)과 같다.

$$E[n(t)n(t)^H] = \sigma^2 I_N \tag{3}$$

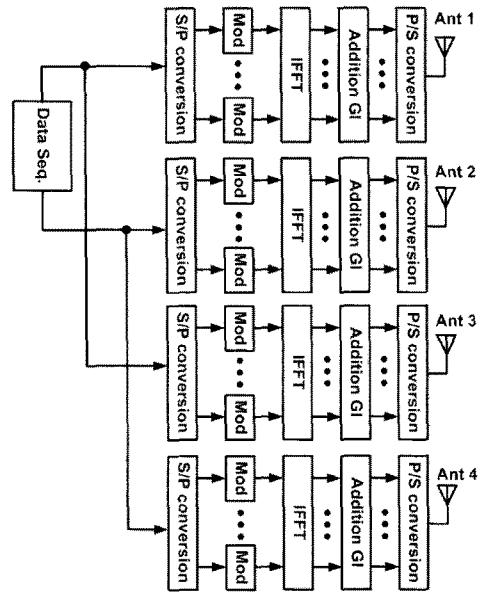
여기서, I_N 은 단위행렬을 나타내고 $\overset{\sim}{\sim}$ 첨자로 쓰여진 H 는 켈레 복소수의 전치행렬을 나타낸다. 식 (1)의 i 번째 수신 안테나의 신호는 식 (4)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} r_1 &= h_{11}s_1 + h_{12}s_2 + \dots + h_{1M}s_M + n_1(t) \\ r_N &= h_{N1}s_1 + h_{N2}s_2 + \dots + h_{NM}s_M + n_N(t) \end{aligned} \tag{4}$$

식 (4)로부터, 식을 일반화 하면 식 (5)와 같다.

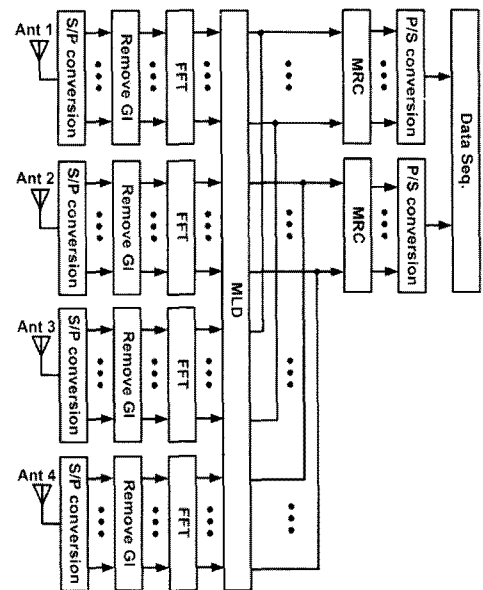
$$r_i = \sum_{j=1}^M h_{ij}s_j(t) + n_i(t) \tag{5}$$

<그림 3의 (a)>는 제안시스템의 전송단을 보여준다. 전송단에서 신호가 발생되었을 때, 입력 신호는 $\text{mod}(m,2)$ 의 패턴으로 동일 신호를 안테나에 보낸다. 여기서, mod 는 나머지를 나타내는 연산자 이



(a) 제안시스템의 전송단

(a) Transmitter of the proposed system



(b) 제안시스템의 수신단

(b) Receiver of the proposed system

<그림 3> 제안시스템의 송수신단

<Fig. 3> Schematic diagram of the proposed system transceiver

고, m 은 전송안테나로써 $m = (1, 2, \dots, M)$ 이다. 이 논문에서는 송신 안테나를 4개 사용하였다. 즉, 1번, 3

번 안테나의 데이터 와 2번, 4번 안테나의 데이터는 같은 값을 가지고 있다. 이러한 값을 갖는 데이터는 각각의 SDM으로 보내지고, S/P 변환 후, QPSK으로 변조 되고 IFFT 변환을 한다. 각 OFDM 심볼의 앞 부분에 보호구간을 삽입하여 전송한다.

<그림 3(b)>는 제안시스템의 수신단을 보여준다. 각각의 안테나에 수신된 데이터는, 보호구간을 제거하고, 각 안테나 별로 FFT변환을 한다. 변환된 데이터는 pilot 심볼에 의하여 채널 추정을 하게 되고, 추정된 데이터는 ML Detection에 의하여, 각각의 수신된 신호와 성상도상에서의 가장 가까운 거리를 갖는 신호를 검출한다. 검출 된 신호는 동일하게 전송된 데이터와 MRC (Maximum Ratio Combining)를 하여 신호의 간섭을 줄이고, 다이버시티 이득을 얻음으로써 성능을 향상 시키게 된다.

1. Maximum Likelihood Detection

Spatial Multiplexing을 위한 최적의 Multi stream 방식은 MLD이다. 본 논문에서 MLD를 사용하는데 다른 Detection 기술[6]과 비교하여 좋은 BER 수행을 보여준다. MLD 기술은 수신된 신호로부터 가장 가까운 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 가지는 신호가 선택되고, 이 신호가 수신신호로 결정된다. X_{ML} 을 수신된 신호 y 와 각 복사신호 사이의 유클리디안 거리라고 가정한다면, X_{ML} 은 다음과 같다.

$$X_{ML} = \underset{x}{\operatorname{argmin}} \|y - Hx\| \tag{6}$$

H 는 추정된 채널 응답이고, x 는 추정된 전송심볼이다. 식(6)을 통해 알 수 있듯이, ML 신호 검출을 위해서는 가능한 조합의 모든 송신 신호 벡터에 대해서 ML 값을 계산하기 때문에, 복잡하지만 성능이 가장 좋다.

2. Maximal Ratio Combining

최대 비율 결합 방식(Maximal Ratio Combining : MRC)[7]는 다중 수신 안테나를 사용하여 수신 다이버시티 이득을 얻는 기법이다. MRC에서는 M 개의

수신 안테나로 부터의 신호는 순간 SNR이 최대가 되도록 선형적으로 합쳐진다. 송신단에서 송신 신호 $s(t)$ 가 전송되었을 경우 M 개의 수신안테나를 통해 수신되는 수신 신호 $r(t)=[r_1, r_2, \dots, r_M]^T$ 는 위에서 언급한 식 (1)과 같다.

MRC 수신기는 각 수신 안테나의 출력 신호에 수신 가중치를 곱한 후 결합한 결과로부터 송신 신호를 검출하게 되고, 수신 가중치 $w=[w_1, w_2, \dots, w_M]^T$ 는 수신 신호의 SNR을 최대화하도록 결정된다. 이때, 신호 성분의 최대 전력은 채널 응답으로부터 얻어진 행렬 HH^H 의 최대 고유값과 같게 되고, 이를 달성하는 가중치 벡터 w 는 최대 고유값에 해당되는 고유 벡터(eigen vector)가 된다. 이를 식으로 정리하면, 최적의 가중치 벡터는 $w=H^H$ 로 주어지고, 이때 송신 신호의 추정치는 다음과 같이 구하여진다.

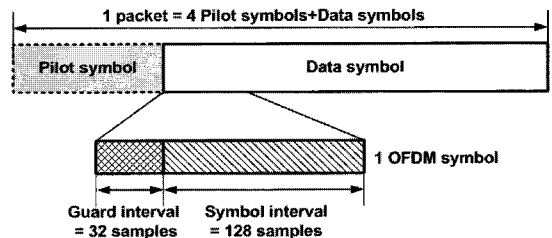
$$\hat{s} = \hat{w}r = wHs + wn = \|H\|^2 s + H^H \tag{7}$$

이때, 수신 신호의 신호 대 잡음비는 $SNR = \frac{\sum_{i=1}^M |h_i|^2}{\sigma_n^2}$ 으로 나타내어지고, 이를 통해 MRC기법이 다이버시티 이득 M 을 얻을음을 알 수 있다.

III. 시스템 모델의 성능 실험 및 분석

1. 모의 실험 환경

<그림 4>는 제안 시스템의 packet 구조를 나타낸다. 심볼 간 간섭의 효과를 제거하기 위하여, 각 심볼에 보호구간을 삽입한다. 각 부반송파에의 앞부분은 파일럿 심볼로 구성되고, 그 뒤에 데이터 심볼



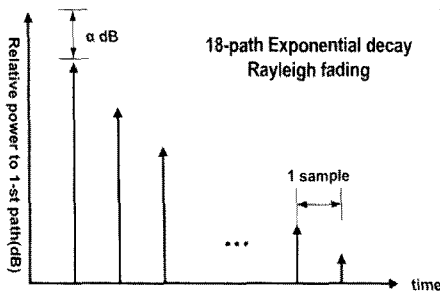
<그림 4> OFDM Packet 구조
<Fig. 4> Packet structure of OFDM

<표 1> 시뮬레이션 파라미터
<Table 1> Simulation Parameters

Parameter name	Value
Number of subcarriers	128
Subcarrier spacing	156.25KHz
System bandwidth	20MHz
Number of data symbol	64
Number of pilot symbol	4
Symbol per sub-carrier	64+4=68
FFT/IFFT size	128
Guard interval	32 (25%)
RMS delay spread	238 μ s
doppler frequency	50Hz

이 구성된다. 이 논문에서는 각 부반송파마다 4개의 파일럿 심볼과 64개의 데이터 심볼을 구성하여 실험하였다. 제안 시스템을 효과적으로 평가하기 위하여, 컴퓨터 시뮬레이션을 수행했다. 이 실험은 단일 셀 내에서의 성능을 평가 하였다.

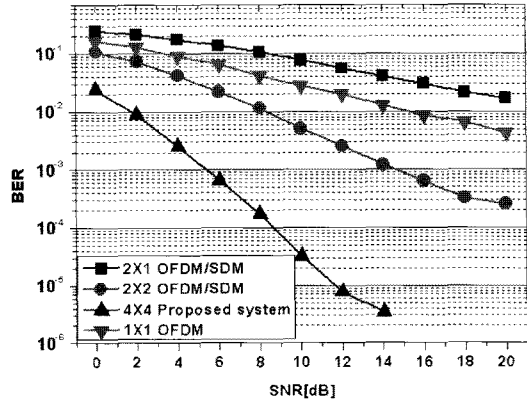
이 실험에서 사용된 파라미터는 <표 1> 에 나타내고 있다. 부반송파의 수는 128개를 사용하였고, 변조방식은 QPSK를 사용하였고, 가드인터벌은 심볼구간의 25%를 사용하였다. 채널은 <그림 5>와 같이 다중 경로인 Rayleigh 페이딩 채널을 사용하였다. 각 경로 샘플의 간격은 1 sample (50 nsec)이고, 18개의 다중 경로이며, 각 경로마다 α dB의 신호 감쇄를 갖는다. 이 논문에서는 각 경로마다 1dB씩 신호 감쇄를 갖는다. 이러한 채널 구조는 심각한 주파수 선택적 (frequency selective) 페이딩 채널을 나타낸다.



<그림 5> 다중 경로 채널 모델
<Fig. 5> Multipath channel Model

<표 1>은 제안시스템의 모의실험 파라미터를 나타낸다.

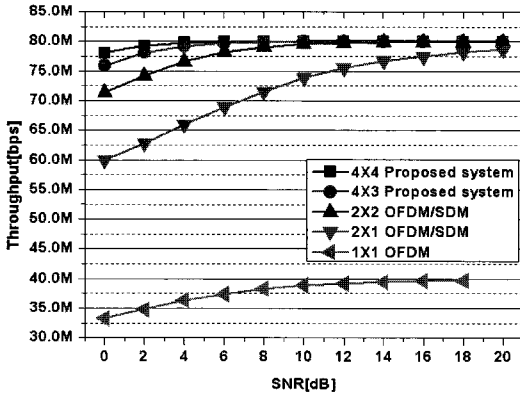
2. 모의 실험 결과



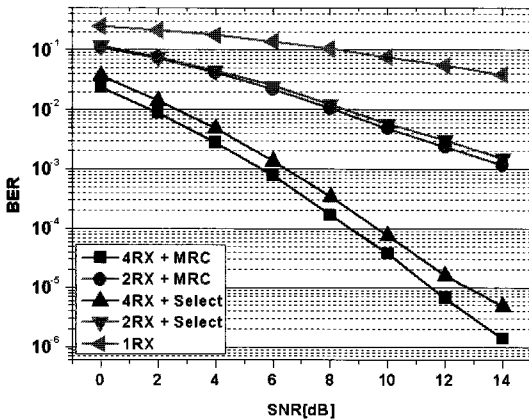
<그림 6> 안테나 수에 따른 BER 성능
<Fig. 6> BER performance according to the antenna

<그림 6>은 동일한 도플러 주파수 환경에서 안테나 수에 따른 BER 대 SNR 그래프를 나타낸 것이다. 제안 시스템은 송신단에서 동일한 데이터를 2개의 안테나를 통하여 전송해 줌으로써 수신측에서 전송 다이버시티 이득을 얻을 수 있으므로 4x4 제안 시스템이 2x2 OFDM/SDM 기존 시스템 보다 BER이 0.01일 경우 약 6 dB 이상 향상됨을 알 수 있다. 여기서 기존의 2x1 OFDM/SDM 시스템보다 1x1 OFDM 시스템의 성능이 더 우수하게 나타나는 이유는 2x1의 경우 2개의 송신 안테나를 통하여 서로 다른 데이터를 사용하므로 데이터율은 높아지지만 안테나간의 간섭으로 인한 성능저하가 일어나기 때문에 1x1 OFDM 시스템의 성능이 더 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 2x2 OFDM/SDM 시스템의 경우 2개의 수신 안테나를 사용함으로써 2x1 OFDM/SDM 시스템의 성능을 개선할 수 있으므로 1x1 OFDM 시스템보다 더 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

<그림 7>은 동일한 도플러 주파수 환경에서 안테나 수에 따른 Throughput 대 SNR 성능을 나타낸 것이다. 이 모의 실험에서 throughput은 전체 전송한



<그림 7> 안테나 수에 따른 시스템의 throughput 성능
<Fig. 7> Throughput of the system according to the antenna



<그림 8> MRC 방식과 안테나 selection 방식과의 BER 성능
<Fig. 8> The BER performance of the MRC scheme and antenna selection scheme

데이터 중 정확하게 수신된 데이터를 의미한다. 2x1 OFDM/SDM 시스템, 2x2 OFDM/SDM 시스템, 4x3 제안 시스템, 4x4 제안 시스템 모두 같은 데이터율로 전송하지만, 수신측에서 정확하게 수신된 throughput은 4x4 제안 시스템이 가장 높게 나타남을 알 수 있다. 그리고 <그림 6>과 비교하여, <그림 7>에서는 1x1 OFDM 신호보다 2x1 OFDM/SDM 신호의 throughput이 더 좋게 나온 이유는 2x1 OFDM/SDM 시스템에서는 2개의 송신 안테나를 통하여 서로 다른 데이터를 송신해 줌으로써 데이터율이 2배

가 되기 때문이다.

<그림 8>은 동일한 도플러 주파수 환경에서 제안 시스템에서 수신측에서 MRC 방식을 사용하였을 때와 최적의 채널 환경을 갖는 안테나를 선택하는 안테나 selection 방식을 사용하였을 때의 성능을 비교한 것이다. 수신측의 안테나 수가 증가함에 따라 좋은 성능을 보이며, 동일한 개수의 수신 안테나를 사용하더라도 수신측에서 안테나 selection 방식을 사용하였을 때보다 MRC 방식을 사용하였을 경우 더 좋은 성능을 보인다는 것을 확인할 수 있다. 특히 2개의 수신 안테나를 사용하였을 경우의 MRC와 안테나 selection 방식의 결과는 거의 차이가 나지 않지만, 4개의 수신 안테나를 사용하였을 경우의 MRC와 안테나 selection 방식과는 같은 BER에서 1 dB 이상의 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 SDM의 장점인 전송용량은 유지하면서, 전송품질을 높이는 Multi-Block 시스템을 제안했다. 제안 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 서로 다른 안테나에 복수의 동일한 데이터를 전송한 후, 수신단에서 MLD를 통하여 검출하고, 검출된 신호를 MRC하여 성능을 향상시키는 방식이다.

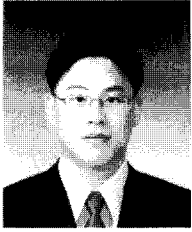
컴퓨터 모의 실험을 통해, 일정한 도플러 주파수에 따른 안테나수의 변화에 따른 BER 성능, Throughput, 수신단에서의 MRC와 안테나 selection 방식과의 BER 성능에 대해서 살펴보았다. 제안 시스템이 기존 시스템보다 BER 수행곡선이 월등히 좋아졌음을 확인했다. Throughput에서도 기존 시스템보다 성능이 우수함을 확인하였다. 그리고, 수신측에서 MRC를 사용하였을 경우, 안테나 selection 방식을 사용하였을 때 보다 더 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] E. Lawrey, "Multiuser OFDM," *Proc. 5th Int. Symp. Signal Processing and It's Applications*,

- vol. 2, pp. 761-764, Aug. 1999.
- [2] R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [3] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas," *Bell Lab. Technical Journal*, vol. 1, no. 2. pp. 41-59, Aug. 1996.
- [4] G. D Golden, C. J. Foschini, R. A. Valenzuela, and P. W. Wolniansky, "Detection algorithm and initial laboratory result using V-BLAST space time communication architecture," *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 1, pp. 14-16, Jan. 1999.
- [5] S. M. Alamouti, "A simple transmitter diversity scheme for wireless communications," *IEEE J. Select. Areas in Commun.*, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [6] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: performance criterion and code construction," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 44, no. 2, pp. 744-765, March 1998.
- [7] A. V. Zelst, R. V. Nee, and G. A. Awater, "Space Division Multiplexing(SDM) for OFDM systems," *Proc. Vehicular Technology Conf.*, vol. 2, pp. 1071-1072, May 2000.
- [8] S. Hori, M. Mizoguchi, T. Sakata, and M. Morikura, "A new branch metric generation method for soft-decision Viterbi decoding in coded OFDM-SDM systems employing MLD over frequency selective MIMO channels," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E85-A, no. 7, pp. 1675-7684, July 2002.
- [9] T. Ohgane, T. Nishimura, and Y. Ogawa, "Applications of space division multiplexing and those performance in a MIMO channel," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E88-B, no. 5 pp. 1843-1851, May 2005.

저자소개

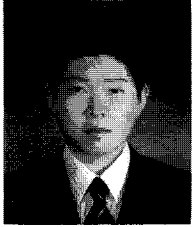


이 규 진 (Lee, Kyu-Jin)

2005년 : 경희대학교 전자공학과 공학사 (전자공학전공)

2007년 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사 (전파통신공학전공)

2007년~ : 경희대학교 전자·전파공학과 공학박사과정 (전자·전파공학전공)

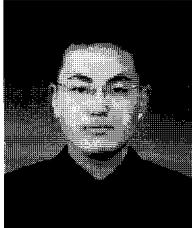


김 지 성 (Kim, Ji-Sung)

2002년 : 관동대학교 전자공학과 공학사 (전자공학전공)

2006년 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사 (전파통신공학전공)

2006년~ : 콘텔라(주) 연구원



김 남 일 (Kim, Nam-II)

2007년 : 경희대학교 전자공학과 공학사 (전자공학전공)

2007년 : 경희대학교 전자·전파공학과 공학석사과정 (전자·전파공학전공)



이 계 산 (Lee, Kye-San)

2002년 : 게이오대학교 전자공학과 공학박사 (정보통신(무선통신)전공)

2002년~2003년 : 일본 KDDI 연구원

2003년~2003년 : 일본 게이오대학 교수

2003년~경희대학교 전파공학과 교수