

논문 2010-47TC-3-5

4G 통신시스템 기반의 Pre-coding과 Antenna Subset Selection, AMC 기법을 적용한 각 MIMO-OFDM 기법의 성능 분석 및 비교

(The Performance Analysis and Comparison of The MIMO-OFDM Scheme Applied to Pre-coding, Antenna Subset Selection and AMC for 4G Communication System)

조 인식*, 서 창우*, 윤 길상*, 이 정환*, 황 인태**

(In-sik Cho, Chang-woo Seo, Gil-sang Yoon, Jeong-hwan Lee, and In-tae Hwang)

요약

본 논문에서는 MIMO-OFDM 시스템에 여러 MIMO 기법을 적용한 후 모의실험을 통하여 성능을 비교 및 분석하였고, 또한 Pre-coding, Antenna Subset Selection, AMC 기법을 적용하여 시스템을 분석하였다. 그리고 최종적으로 제안한 Adaptive-MCM(Adaptive-MIMO-Coding-Modulation) 기법의 성능을 분석하였다. 그 결과 4세대 이동통신 시스템에서 요구되고 있는 최대 전송률과 고품질 서비스의 Trade-off 관계를 개선할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we have analyzed and compared the BER and the throughput performance through the computer simulation, after applying several MIMO schemes on the MIMO-OFDM system. Then, the throughput performance of the proposed system, Adaptive-MCM, is analyzed. As a result, the MIMO-OFDM Adaptive-MCM system proposed has a higher average data rate than Non Adaptive-MCM system through the improvement of Trade-off problem between throughput and SNR.

Keywords : MIMO-OFDM, PRE-CODING, ANTENNA SUBSET SELECTION, AMC, ADAPTIVE-MCM

I. 서 론

최근의 이동통신 시스템은 점차 고품질 및 고속의 멀티미디어 서비스를 제공하는 방향으로 진행되고 있다. 이러한 이동통신 시스템은 무선 전송 환경의 특성에 따라 페이딩(Fading), 심벌간의 간섭(ISI ; InterSymbol

Interference), 그 외의 잡음(Noise)을 겪게 된다. 이와 같은 문제들로 인해 이동통신 시스템은 낮은 전송률과 신뢰도를 나타낸다^[1].

3세대 이동통신 시스템의 기술적 한계를 극복하기 위하여 4세대 이동통신의 기술로써 AMC(Adaptive Modulation and Coding), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiple), MIMO(Multiple Input Multiple Output) 및 H-ARQ(Hybrid Automatic Repeat Request) 등의 여러 가지 기술이 연구 개발 및 도입되고 있다.

위 기술 중, MIMO와 OFDM 기법은 차세대 통신시

* 학생회원, ** 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과
(Chonnam National University)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(NIPA-2010-C1090-1011-0008)

접수일자: 2009년9월3일, 수정완료일: 2010년3월18일

스템에서의 주요 기술이다. MIMO 기법은 송·수신 안테나 양단에 다중 안테나를 사용함으로써 다이버시티 이득을 얻어 전송 신뢰도를 향상시킬 수 있고, 멀티플렉싱 기법을 사용함으로써 높은 데이터 전송률을 제공한다. OFDM 기법은 고속의 데이터 전송 시 심각하게 고려되는 다중경로에 의한 주파수 선택적 폐이딩 채널에 쉽게 대처할 수 있는 장점을 가지고 있다^[1].

본 논문에서는 여러 MIMO 기법을 OFDM 기법과 결합하여 각각의 성능을 분석하고 Pre-coding과 Antenna Subset Selection 기법을 적용하여 비교해 본 후, 마지막으로 채널의 상태변화에 따라 채널 코딩, 변조 방식, MIMO 기법을 변화시키는 Adaptive-MCM 기법을 적용하여 최적의 성능을 보이도록 하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 논문에 사용된 각 기법들의 기본 정의와 특성을 살펴본 후, III장에서는 모의실험을 통해 결과를 분석한다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 각 기법들의 기본 정의 및 특성

이번 장에서는 본 논문에 사용된 각 기법들의 기본 정의와 특성을 설명하도록 한다.

1. MIMO 기법의 개요

MIMO 기법은 송·수신 양단에 다중 안테나를 사용함으로써 한정된 주파수 자원 및 송신전력의 사용 효율을 높이는 기법으로써 획득하고자 하는 이득이 전송 신뢰도 향상인지 전송률 향상인지에 따라 MIMO 다이버시티와 MIMO 멀티플렉싱으로 분류된다. 이 중 논문에 사용된 MIMO 기법들을 살펴본다.

가. MIMO 다이버시티 기법

다이버시티 기법은 여러 안테나에 같은 데이터를 전송하는 경우, 다양한 채널 경로를 통과한 심벌들을 이용하여 송·수신 안테나 수의 곱에 해당하는 다이버시티 이득을 얻어 전송 신뢰도를 높일 수 있는 기법이다. 본 논문에서는 여러 기술 중 Alamouti에 의해 제안된 STTD(Space Time Transmit Diversity)와 Tarokh에 의해 제안된 OSTBC(Orthogonal Space Time Block Code)가 사용되었다. STTD는 STBC(Space Time Block Code)라 언급되기도 한다^[2~4].

나. MIMO 멀티플렉싱 기법

멀티플렉싱 기법은 여러 안테나에 다른 데이터를 전송하는 경우, 추가적인 주파수 할당이나 송신 전력의 증가 없이도 전송률을 획기적으로 향상시킬 수 있는 기법이다. 본 논문에 사용된 기술은 Layered MIMO 기법으로써 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Layered Space Time) 기법을 사용한다. 이 기법은 D-BLAST(Diagonal- Bell Laboratories Layered Space Time) 기법의 구현상 복잡성을 해결하고자 제안된 기법으로 각 데이터들이 각 레이어 별로 고유의 송신 안테나를 통해 시공간 축 상에서 수직 형태로 전송된다. 수신단의 경우 ZF 또는 MMSE 검출기법을 이용한다.

Layered MIMO 기법은 MIMO 멀티플렉싱에 해당하는 기법으로 송신 안테나 수의 증가에 비례하여 데이터 전송률이 향상되는 것을 알 수 있다^[5~6].

다. 하이브리드 MIMO 기법

하이브리드 기법은 MIMO 다이버시티와 멀티플렉싱 기법을 동시에 만족시키는 기법이다. D-STTD 기법은 STTD 인코더 2개를 병렬로 연결한 방식으로, 기본구조는 그림 1과 같다. D-STTD 기법은 기본적으로 STTD 기법을 사용하여 각 전송 신호들은 2차의 다이버시티 이득을 보장받는다. 비록 데이터 전송률은 위 항에서 설명된 동일한 4개의 송신 안테나를 사용하는 V-BLAST 시스템에 비해 반으로 줄어들지만, V-BLAST 기법은 4개의 송신 안테나에 대해서 반드시 4개 이상의 수신 안테나가 필요한 반면 D-STTD 기법은 2개의 수신 안테나가 존재하는 시스템에 대해서도 적용 가능하다는 장점을 가지고 있다^[7~8].

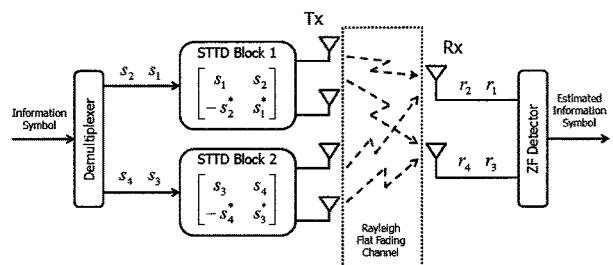


그림 1. D-STTD 기법의 구조

Fig. 1. The structure of D-STTD scheme.

2. OFDM 기법의 개요

OFDM 기법은 고속 데이터 전송에 가장 적합한 변조 방식으로써 무선 채널에서 고속으로 데이터를 전송

할 경우, 다중 경로에 의해 발생하는 심각한 주파수 선택적 페이딩 채널에 쉽게 대처할 수 있는 장점을 가지고 있는 기법이다. OFDM 기법의 기본적인 원리는 이용할 수 있는 주파수 대역을 여러 개의 서로 직교하는 부 반송파로 나눈 후, 각 부 반송파를 협대역으로 만들어 다중경로 채널을 통과하게 하는 것이다. 입력 데이터 열을 N 개의 부 반송파로 나누어 심벌구간을 N 배 증가시킴으로써 심벌 구간에 대한 상대적인 다중경로 확산을 N 배 감소시킬 수 있다. 통과된 신호는 심각한 주파수 선택적 페이딩 채널에서도 각 부 반송파는 마치 평탄 페이딩 채널을 통과하는 것과 같은 영향을 받게 되며, 이로 인해 단일 반송파 시스템에 비해 월등한 성능을 나타낸다. 또한, OFDM 기법에서 각 부 반송파의 전력 스펙트럼이 중첩되는 상황에서도 각 부 반송파 간의 직교성이 유지되기 때문에 ICI를 피할 수 있다. OFDM 기법의 변·복조 과정은 IDFT/DFT를 이용하여 구현할 수 있으며, 실제적으로는 IFFT/FFT를 사용하여 효율적인 구현이 가능하다^[9].

3. Precoding 기법의 개요

Precoding 기법은 추정된 채널 정보를 송신단에서 활용하여 성능의 향상을 가져오는 기법으로써 송신단에서 채널 간섭을 제거할 수 있는 가중치 벡터에 대한 연산을 미리 수행한 후 신호를 전송하게 되는데, 이렇게 하여 수신된 신호는 복잡한 검출 기법을 사용할 필요 없이 간단한 가중치 벡터에 관한 연산만으로 신호를 검출해 낼 수 있다.

가. Pre-ZF, Pre-MMSE 검출 기법

Pre-ZF, Pre-MMSE 검출 기법은 사전등화(Pre-Equalization)에 해당하는 기법으로 기존의 시스템에서 수신단의 검출 기법으로 쓰였던 ZF, MMSE 기법을 송신단으로 옮겨 놓은 것으로 기존의 ZF, MMSE 기법이 그대로 사용된다. 이로 인해 수신단의 복잡도를 감소시킬 수 있다^[10].

나. SVD 기법

SVD(Singular Value Decomposition) 기법은 특이값 분해를 이용하여 채널이 미치는 영향을 찾아내고 이를 제거하는 기법이다. SVD 기법은 송·수신단에 직교(Orthogonal) 행렬을 곱하기 때문에 Pre-ZF 기법이나 Pre-MMSE 기법처럼 송신 전력을 고려할 필요는 없다.

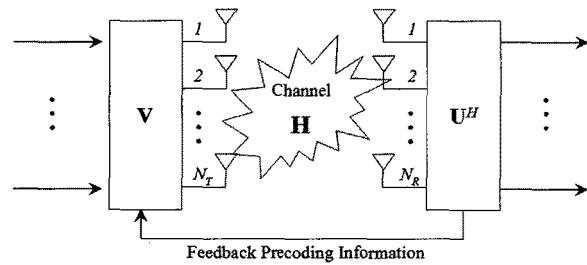


그림 2. SVD 기법의 개념도
Fig. 2. The basic structure of SVD.

그림 2는 SVD 기법의 개념도이다. 여기서 V 는 Feedback 정보를 이용하여 만들어낸 가중치 벡터이며, U 는 원래의 신호를 복원하기 위한 벡터이다. 신호 복원을 위한 과정은 다음 식 1과 같다^[11].

$$\begin{aligned} H &= U \Sigma V^H \\ U^H Y &= U^H H(VX) = U^H(U \Sigma V^H)(VX) \\ &= (U^H U) \Sigma (V^H V) X \\ &= \Sigma X \end{aligned} \quad (1)$$

4. Antenna Subset Selection 기법의 개요

Antenna Subset Selection 기법은 송신 안테나의 개수를 늘려서 다수의 잉여 채널들을 확보하고, 그 중에서 가장 좋은 상태에 있는 채널들을 추정해낸 후 선택하여 기존의 MIMO 기법을 적용시키는 기법이다. 이를 통해 시스템은 기존에 비해 훨씬 양호한 상태에 있는 채널들을 이용하게 되고, 결과적으로 최적의 에러율과 전송률의 향상을 얻을 수 있다. Antenna Subset Selection 기법에서 채널 상태를 추정하는 방식은 여러 가지로 나누어지는데, 보통의 경우에는 SNR_{min} 값을 이용하여 추정하며, 이 방식이 가장 좋은 성능을 보이는 것으로 알려져 있다^[12].

5. Adaptive MCM 기법의 개요

Adaptive-MCM은 AMC 기법과 비슷한 맥락으로 이해할 수 있다. AMC 기법의 경우 채널의 상태에 따라 채널 코딩과 변조 방식을 변화시키면서 적용한 것인데, Adaptive-MCM 기법은 여기에 MIMO 기법까지 변화시키면서 적용할 수 있도록 한 것이다.

6. MIMO-OFDM 기법의 개요

그림 3은 MIMO-OFDM 시스템의 블록도를 나타낸

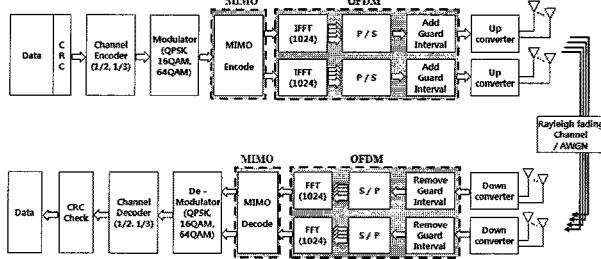


그림 3. MIMO-OFDM 시스템의 블록도

Fig. 3. The block diagram of the MIMO-OFDM system.

다. 송신단에서는 각 채널 코딩과 변조 기법을 적용한 후, 다양한 MIMO 기법에 OFDM 기법을 사용함으로써 신호를 여러 사용자들이 이용할 수 있도록 만든다. 채널 통과후, 수신단에서는 송신단에서의 절차를 역으로 수행한다. 이러한 시스템을 사용함으로써 MIMO 다이버시티로 인한 이득을 얻고 멀티플렉싱으로 인한 전송률을 향상시킬 뿐만 아니라 동시에 OFDM 기법의 장점인 무선 채널환경에서 가장 큰 문제가 되고 있는 주파수 선택적 폐이딩에 대한 강인함을 가지게 된다.

7. AMC-MIMO-OFDM 기법의 개요

그림 4는 AMC-MIMO-OFDM 시스템 블록도를 나타낸다. 6절에서 언급된 MIMO-OFDM 시스템을 기반으로 5절에서 설명된 Adaptive-MCM 기법을 적용시킨 시스템으로써 채널의 상태변화에 따라 채널 코딩, 변조 방식, MIMO 기법을 변화시키면서 적용한 것이다. 또한 AMC-MIMO-OFDM 시스템은 Precoding 기법과 Antenna Subset Selection 기법을 적용함으로써 가장 최적의 성능을 낼 수 있도록 하였다.

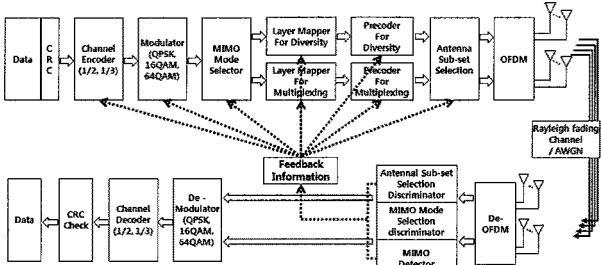


그림 4. AMC-MIMO-OFDM 시스템의 블록도

Fig. 4. The block diagram of the AMC-MIMO-OFDM system.

III. 모의실험 결과

이번 장에서는 표 1에 나타낸 채널 환경에서 각 시스

표 1. MIMO-OFDM 시스템 시뮬레이션 환경

Table 1. The simulation parameters of the MIMO-OFDM system.

파라미터	값
MIMO 기법	STBC 2x2 OSTBC 4x2 D-STTD 4x2 Layered MIMO 2x2
채널 코딩 기법	No coding Turbo Coding 1/2 Turbo Coding 1/3
변조 기법	QPSK
채널 환경	Rayleigh Flat Fading
잡음	AWGN
시스템 대역폭(BW)	9MHz
샘플링 주파수(f_s)	10MHz
샘플링 간격($T_s = 1/f_s$)	100nsec
FFT 크기(N_{FFT})	1024
부 반송파 간격(ΔF)	9.765625kHz
유효 심블 시간(T_b)	102.4us
다중경로채널 TAB	12
최대 지연 시간	5us
보호구간(CP) 시간	12.8us
신호 검출 기법	Linear ZF, Linear MMSE, Pre-ZF, Pre-MMSE, SVD
Antenna Subset Selection 기법	SNR _{min} 기준

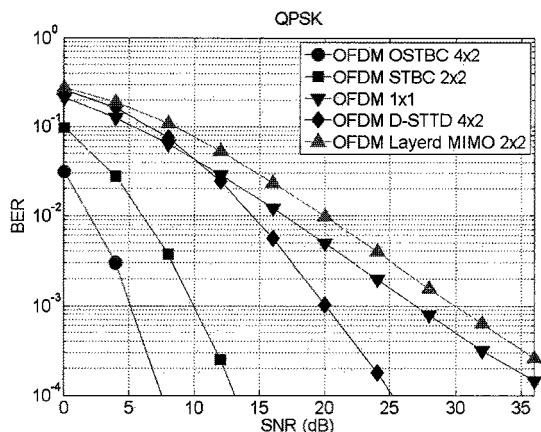


그림 5. 각 MIMO-OFDM 시스템의 비트오류율

Fig. 5. The BER of each MIMO-OFDM system.

템을 적용하여 모의 실험 결과를 통해 분석한다. 주요 파라미터는 표 1과 같다.

그림 5는 각 MIMO-OFDM 기법의 비트 오류율을 나타낸다. 가장 성능이 좋은 OFDM OSTBC 4x2 기법의 경우 약 5dB에서 10^{-3} 의 비트 오류율을 나타내고 있으며 다이버시티 이득을 가장 크게 얻을 수 있음을 확

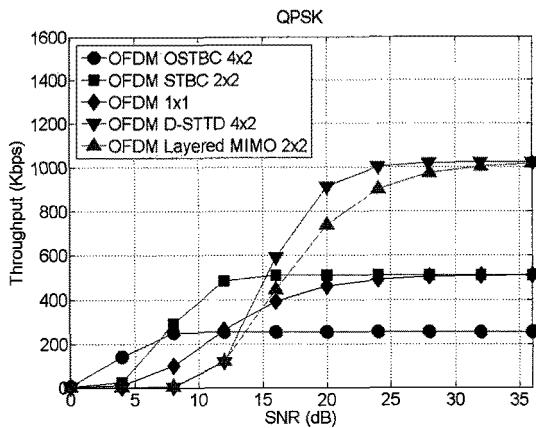


그림 6. 각 MIMO-OFDM 시스템의 전송률
Fig. 6. The throughput of each MIMO-OFDM system.

인할 수 있다. 반면에 순수한 멀티플렉싱 기법에 해당하는 Layered MIMO 2×2 기법은 SNR 측면에서 약 30dB로 가장 좋지 않은 성능을 보이고 있다. 마지막 두 시스템의 경우, MIMO 기법으로 인한 다이버시티 이득을 얻지 못하여 Flat fading channel의 영향이 미치는 것을 확인할 수 있다.

그림 6에서는 각 MIMO-OFDM 기법의 전송률을 Kbps 단위로 나타낸 것이다. 가장 높은 전송률을 나타낸 기법은 D-STTD 4×2 기법과 Layered MIMO 2×2 기법으로 약 960Kbps의 전송률을 보여주고 있다. 이는 기존의 MIMO 기법을 적용하지 않은 1×1보다 약 2배가 높은 것으로 전송률의 이득을 얻고자 하는 멀티플렉싱 기법의 특징이 잘 나타나 있다. 또한, D-STTD 4×2 기법이 Layered MIMO 2×2 기법에 비해 낮은 SNR 지점에서 최대의 전송률을 보인다. 이는 Layered MIMO 2×2 기법이 순수한 멀티플렉싱 기법인 것에 비해 D-STTD 4×2 기법은 다이버시티 기법과 멀티플렉싱 기법이 혼합된 것이어서 다이버시티 이득도 함께 얻기 때문이다. 다음으로 STBC 2×2 기법은 최대 전송률은 기존의 1×1과 동일하지만 다이버시티 이득으로 인해 최대 전송률을 나타내는 SNR 지점이 약 15dB 정도 낮아진 것을 볼 수 있다. 그리고 OSTBC 4×2 기법은 가장 높은 다이버시티 이득으로 인해 최대 전송률을 보이는 SNR 지점은 가장 낮지만, 최대 전송률 자체는 기존 1×1의 약 1/2을 나타내고 있다.

그림 7은 OFDM Layered MIMO 2×2 시스템에 적용된 각 Precoding 기법의 비트 오류율을 나타낸 것으로 Pre-ZF 기법은 기존의 Linear ZF 기법과 비슷한 성능을 갖는 반면에 Pre-MMSE 기법은 기존의 Linear

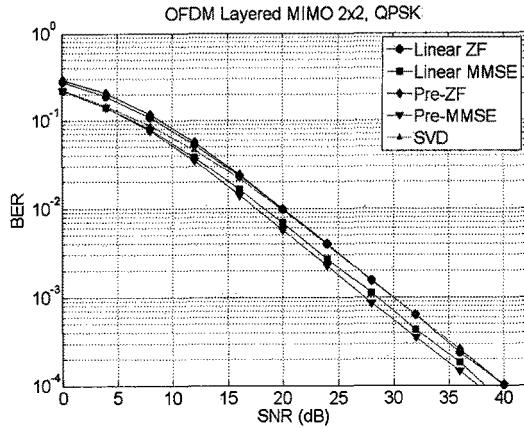


그림 7. 각 Pre-coding 기법의 비트 오류율
Fig. 7. The BER of each Pre-coding scheme.

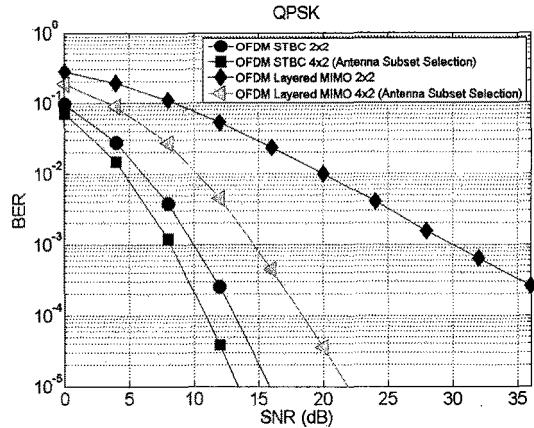


그림 8. Antenna Subset Selection 기법이 적용된 STBC 4×2 기법과 Layered MIMO 4×2의 비트오류율
Fig. 8. The BER of STBC 4×2 and Layered MIMO 4×2 applied to Antenna Subset Selection.

MMSE 기법보다 나은 성능을 보임으로써 Precoding에 의한 이득이 있음을 확인하였다. SVD 기법을 살펴보면 약 20dB 이후로 Linear ZF와 Pre-ZF와 같은 성능을 보이며 SNR 전 구간에서 Linear MMSE와 Pre-MMSE보다 열악한 성능을 나타낸다. 그림에서 확인할 수는 없으나 SVD 기법은 일반적으로 낮은 SNR 구간에서만 이득을 가지는 것으로 알려져 있다.

그림 8은 Antenna Subset Selection 기법이 적용된 STBC 4×2 기법과 Layered MIMO 4×2 기법을 기존 기법의 비트 오류율과 비교한 것이다. Antenna Subset Selection 기법이 적용된 STBC 4×2 기법은 기존의 STBC 2×2 기법에 비해 양호한 채널들을 거치게 되므로 비트 오류율의 향상을 가져오는 것을 볼 수 있다. Layered MIMO 4×2의 경우 성능 향상의 폭이 훨씬 큰 것을 확인할 수 있는데 이것은 STBC 4×2 기법의 경우

표 2. MIMO-OFDM MCM-Scheme 레벨

Table 2. The levels of the MIMO-OFDM MCM-Scheme.

	MIMO 기법	코드율	변조방식	데이터율
1	STBC 4x2	1/3	QPSK	160 Kbps
2	Layered 4x2	1/3	QPSK	320 Kbps
3	Layered 4x2	1/2	QPSK	480 Kbps
4	Layered 4x2	1/3	16QAM	640 Kbps
5	Layered 4x2	1/2	16QAM	960 Kbps
6	Layered 4x2	1/2	64QAM	1440 Kbps

다이버시티 기법에 속하므로 자체적으로 에러 성능을 보정하고 있어서 Antenna Subset Selection 기법의 효과가 그렇게 크지 않은 반면, Layered MIMO 4x2 기법은 전송률의 향상만을 고려하므로 Antenna Subset Selection 기법이 주는 에러 성능 향상의 효과가 크게 나타나기 때문이다.

그림 9는 표 2에 정리된 Adaptive-MCM 결합 시스템에 적용될 각 조합들의 데이터율을 나타낸 것이다. 다음의 표 2는 Adaptive-MCM 기법이 적용된 MIMO-OFDM 시스템에 적용되는 MCM-Scheme의 레벨 조합을 정리한 것이다. 각 레벨 조합의 결정은 전송율이 최대가 되도록 임계치 결정 기준을 적용하였다.

그림 9는 표 2에 정리된 Adaptive-MCM 결합 시스템에 적용될 각 조합들의 데이터율을 나타낸 것이다.

MCM-Scheme 레벨 1의 데이터율을 살펴보면, 최대 데이터율은 160Kbps를 나타내고 있으며, 최대 데이터율이 나타나기 시작하는 SNR은 약 0dB 임을 알 수 있다. 이는 MCM-Scheme 레벨 1에 해당하는 조합을 고정적으로 사용하는 시스템이라면 비교적 낮은 SNR에서도 최대 데이터율을 낼 수 있지만 그 최대 데이터율은 160Kbps밖에 되지 못한다는 것을 알 수 있다. 한편,

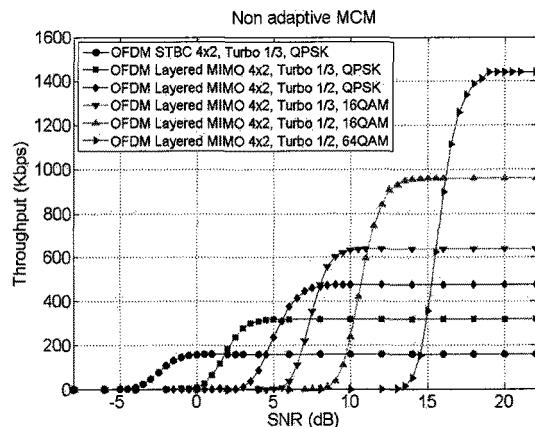


그림 9. Adaptive-MCM 기법이 적용되지 않은 시스템에서 MIMO-OFDM 각 조합의 데이터율

Fig. 9. The throughput of each combined MIMO-OFDM on the Non Adaptive-MCM scheme.

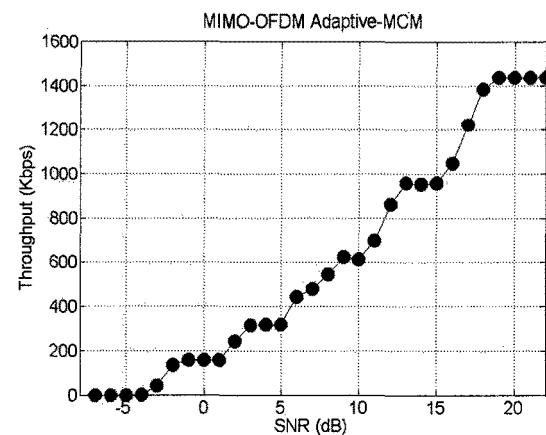


그림 10. MIMO-OFDM Adaptive-MCM 결합 시스템의 데이터율

Fig. 10. The throughput of combined MIMO-OFDM on the Adaptive-MCM scheme.

MCM-Scheme 레벨 6에 해당하는 OFDM Layered MIMO 4x2, Turbo Code 1/2, 64QAM 조합은 최대 데이터율이 1440Kbps로 가장 높은 것을 알 수 있다. 하지만 이러한 최대 데이터율을 보장하기 위한 SNR은 약 18dB정도로 매우 높은 편이며, 이는 MCM-Scheme 레벨 6에 해당하는 조합을 고정적으로 사용하는 시스템의 경우 충분한 SNR이 보장되어야만 시스템이 동작 가능해진다는 것을 의미한다.

그림 10은 MIMO-OFDM Adaptive-MCM 결합 시스템의 데이터 전송률을 나타낸다. 이는 그림 9의 결과에 근거하여 각 레벨의 성능곡선 교차점에 해당하는 SNR을 이용하여 Adaptive-MCM을 적용하였다. SNR이 증가함에 따라 전송률이 높은 MIMO-OFDM 기법, 고차의 채널 코딩 및 변조 방식이 적용되므로 점차적으로 높은 데이터율을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 설명한 MIMO-OFDM Adaptive-MCM 기법을 적용하지 않은 통신 시스템에서 나타났던 SNR 확보와 데이터율 증가 사이의 Trade-Off 관계를 크게 개선한 것임을 알 수 있다.

결론적으로 MIMO-OFDM Adaptive-MCM 결합 시스템은 이러한 SNR 확보와 데이터율 증가 사이의 Trade-Off 관계 개선을 통해 평균 데이터율의 향상을 가져오고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 MIMO-OFDM 시스템에 여러 MIMO

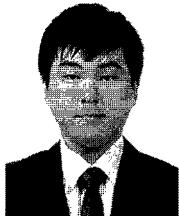
기법을 적용한 후 모의실험을 통하여 성능을 비교하고 분석하였다. 또한 Pre-coding과 Antenna Subset Selection 기법을 MIMO-OFDM 시스템에 적용하여 분석하였다. 마지막으로 위 기법들을 적절히 조합 후, Adaptive-MCM 기법을 구성하여 4세대 이동통신 시스템에서 요구되고 있는 최대 전송률과 고품질의 서비스의 Trade-off 문제를 개선할 수 있음을 확인하였다.

향후 제안된 MIMO-OFDM 기법을 여러 통신시스템에 대해 적용 및 분석한 후, 더 나은 전송률과 품질을 향상시키는 방안을 연구해야 할 것이다.

참 고 문 현

- [1] YE LI, Gordon Stuber, "Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Communications" Springer, 2006.
- [2] S.M. Alamouti, "A simple transmit diversity scheme for wireless communications," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [3] V. Tarokh, H. Jafrakhan, and A.R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 45, no. 5, pp. 1456-1467, July 1999.
- [4] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communications : performance criterion and code construction," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 44, pp. 744-765, Mar. 1998.
- [5] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas," Bell Labs Tech. J., vol. 1, pp. 41-59, Autumn 1996.
- [6] E. Biglieri, G. Taricco, and A. Tulino, "Decoding space-time codes with BLAST architectures," IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 50, pp. 2547-2552, Oct. 2002.
- [7] E.N. Onggosanusi, A. G. Dabak, and T. A. Schmidl, "High rate space-time block coded scheme : performance and improvement in correlated fading channels," in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, vol. 1, pp. 194-199, Mar. 2002.
- [8] Texas Instruments, "Double-STTD scheme for HSDPA systems with four transmit antennas : Link Level Simulation Results," TSG-R WG1 document, TSGR1#20(01)0458, Busan, Korea, May, 2001.
- [9] S.B. Weinstein, "Data transmission by frequency division multiplexing using the discrete fourier transform," IEEE Trans. Commun. Technol., Vol. COM-19, no. 5, pp. 628-634, Oct. 1971.
- [10] Michael Joham, "Linear Transmit Processing in MIMO Communications Systems" IEEE Trans. on signal processing., Vol. 53, No. 8, August 2005.
- [11] I. Emre Telatar, "Capacity of Multi-antenna Gaussian Channels"
- [12] Robert W. Heath, "Antenna Selection for Spatial Multiplexing Systems with Linear Receivers", IEEE Commu. Letters, Vol. 5, No. 4, April 2001.

저자 소개



조 인 식(학생회원)
2009년 전남대학교
전자컴퓨터공학부 학사
2009년 3월~현재 전남대학교
전자컴퓨터공학과
硕사과정

<주관심분야 : OFDM, MIMO 시스템>



서 창 우(학생회원)
2009년 상명대학교
정보통신공학과 학사
2009년 3월~현재 전남대학교
전자컴퓨터공학과
硕사과정

<주관심분야 : OFDM, MIMO 시스템>



윤 길 상(학생회원)
2008년 2월 전남대학교
전자컴퓨터공학부 학사
2008년 3월~현재 전남대학교
전자컴퓨터공학과
硕사과정

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신시스템>



이 정 환(학생회원)
2008년 전남대학교
전자컴퓨터공학부 학사
2010년 전남대학교
전자컴퓨터공학과 석사
2010년 3월~현재 전남대학교
전자컴퓨터공학과
박사과정

<주관심분야 : 이동통신, MIMO, AMC>



황 인 태(정회원)
1990년 2월 전남대학교
전자공학과 학사
1992년 8월 연세대학교
전자공학과 석사
1999년 9월~2004년 2월
연세대학교
전기전자공학과 박사
1992년 8월~2006년 2월 LG전자 책임 연구원
2006년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부
교수

<주관심분야 : Mobile Terminal System for Next Generation, Physical Layer Software for Mobile Terminal, Efficient Algorithms for AMC, MIMO-OFDM, Relaying Scheme for Wireless Communication>