

# 차세대 MIMO 이동통신에서 적응변조시스템의 성능분석

## Adaptive Modulation and Coding of MIMO in Next Generation Mobile Systems

강 성 진\*    장 태 원\*\*    유 영 환\*\*\*    황 인 태\*\*\*\*    강 민 구\*\*\*\*\*    강 창 언\*\*\*\*\*  
Sung-Jin Kang    Tae-Won Jang    Young-Whan You    In-Tae Whang    Min-Goo Kang    Chang-Eon Kang

### 요 약

본 논문에서는 CDMA 시스템에서 적응 변조 및 부호화 (AMC) 기법의 성능을 향상시키기 위한 방안으로서 기지국과 단말기 간에 개루프 및 페루프 전송 다이버시티를 적용하였다. 이는 전송 다이버시티를 적용하여 수신 단의 신호 대 잡음비 (SNR)를 개선함으로써, 보다 높은 전송률을 지원하는 변조 및 부호화 레벨이 선택될 확률을 증가시키고 이에 따른 평균 전송률의 이득을 얻고자 하는 것이다. 개루프 전송 다이버시티로는 시공간 블록 부호화 기반 전송 다이버시티 (STTD) 기법을, 페루프 전송 다이버시티로는 선택적 전송 다이버시티 (STD) 기법을 적용하였다. 모의 실험 결과, AMC 기법과 전송 다이버시티를 결합함으로써 기존 시스템에 비하여 향상된 전송률을 얻을 수 있었다. 단일 경로 레일리 페이딩 채널 환경에서 두 개의 전송 안테나를 사용한 AMC-STTD는 9dB 신호 대 잡음비에 대하여 기존의 AMC 기법보다 약 250kbps의 전송률 이득을 보였다. 또한 두 개의 전송 안테나를 사용한 AMC-STD의 경우는 역시 9dB 신호 대 잡음비에서 약 420kbps의 전송률 이득이 얻어짐을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we combine AMC (Adaptive Modulation and Coding) with MIMO (Multiple Input Multiple Output) multiplexing to improve the throughput performance of AMC in Next Generation Communication Mobile Systems.

In addition, we propose a system that adopts STD (Selection Transmit Diversity) in the combined system. The received SNR (Signal to Noise Ratio) is improved by adopting STD techniques and an improved SNR increases a probability of selecting MCS (Modulation and Coding Scheme) level that supports higher data rate. The computer simulation is performed in flat Rayleigh fading channel.

The results show that higher throughput is achieved by AMC-TD schemes. AMC-STTD scheme shows about 250kbps increase in throughput. And AMC-STD with 2 transmit antennas achieves about 420 kbps throughput improvement over the conventional AMC at 9dB SNR .

Keyword : Adaptive Modulation and Coding, MIMO (Multiple Input Multiple Output), MCS (Modulation and Coding Scheme) level, AMC-TD, AMC-STTD

## 1. 서 론

차세대 이동 통신 시스템에서는 데이터의 전송

률의 향상이 중요한 과제로 떠오를 것으로 예상된다. 이러한 초고속 서비스를 실현하기 위한 방안으로써, 다중 송수신 안테나를 사용한 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 다중 송수신 안테나 시스템을 MIMO (Multiple Input-Multiple Output) 시스템이라 한다.

MIMO 시스템은 크게 두 가지로 분류된다. 그 첫번째는 STC (Space-Time Coding) 기법으로 대표되는 MIMO 다이버시티 기법이다. 이는 다중 송수신 안테나를 이용, 시-공간 다이버시티 이득을 통하여 수신 단의 SNR을 개선하는 것이다. 따라

- \*    준 회 원 : 전자부품연구원 무선PAN기술사업단  
          sjkang@keti.re.kr(제1저자)
- \*\*   준 회 원 : 연세대학교 전자공학과(박사과정수료)  
          tecdong@hitel.net(공동저자)
- \*\*\*   비 회 원 : 세종대학교 인터넷학과 조교수  
          yhyou@sejong.ac.kr(공동저자)
- \*\*\*\*   비 회 원 : LG전자 책임 연구원  
          hit3558@lge.com(공동저자)
- \*\*\*\*\*    중신회원 : 한신대학교 정보통신학과부교수  
          kangmg@hanshin.ac.kr(공동저자)
- \*\*\*\*\*    비 회 원 : 연세대학교 전기전자공학과 교수  
          cekang@yonsei.ac.kr(공동저자)

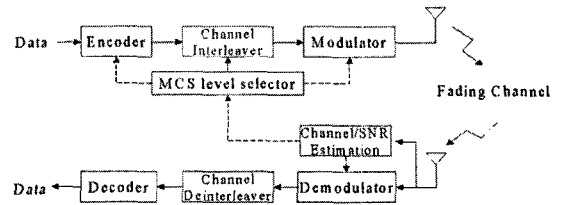
서 요구되는 서비스 품질을 만족시키는 동시에 보다 높은 전송률을 지원하는 변조 방식의 사용이 가능하게 된다. 두번째는 MIMO 멀티플렉싱 기법으로 BLAST(Bell-lap LAYered Space-Time)를 대표적인 기법으로 들 수 있다. 이는 각 송신 안테나에 다른 데이터를 전송하는 방식으로, 다이버시티 이득이 아닌 전송률의 이득을 얻기 위한 것이다. 이와 같은 장점으로 인하여 MIMO 시스템은 차세대 이동 통신 시스템에서 고속의 데이터 전송을 실현하기 위한 핵심 기법으로 주목을 받고 있다.

본 논문에서는 AMC에 MIMO 다이버시티 기법에 속하는 STD와 MIMO 멀티플렉싱 기법에 속하는 VBLAST를 결합하여 시스템 성능을 분석하여 AMC-STD-VBLAST 시스템이 기존 AMC에 비하여 향상된 throughput을 제공한다는 것을 확인하였다. 그리고 결합 과정에서 고려해야 할 요인들에 대하여 고찰한다. 또한, 결합된 시스템의 특성을 분석하여 문제점을 제기하고, 이에 대한 해결 방안을 제시한다[1]-[3].

채널 상태 변화에 맞추어 송신단의 변조 및 채널 코딩 형태를 변화시키는 방식으로 Link Adaptation을 수행한다. 적응변조 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 기지국에서 전송되는 데이터는 채널 코딩과 인터리빙 및 변조 과정을 거쳐 전송된다.

단말기에서는 채널을 거쳐 수신된 신호로부터 채널 상태에 대한 추정을 수행하고 이에 대한 정보를 송신단에 전송한다. 채널 상태의 추정은 수신된 신호의 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 기준으로 이루어진다. 송신단은 이 정보를 기반으로 MCS (Modulation and Coding Scheme) 레벨을 결정하여 채널 코딩, 인터리빙 및 변조 방식을 채널 상태에 적합하도록 변화시켜 전송을 수행한다. 일반적으로 AMC 기법에서 변조 방식으로는 QPSK 외에 8PSK, 16QAM, 64QAM을 적용하며, 채널 코딩 방식으로는 컨벌루션 및 터보 코드를 사용한다.

채널 상태 변화에 맞추어 송신단의 변조 및 채널 코딩 형태를 변화시키는 방식으로 Link Adaptation



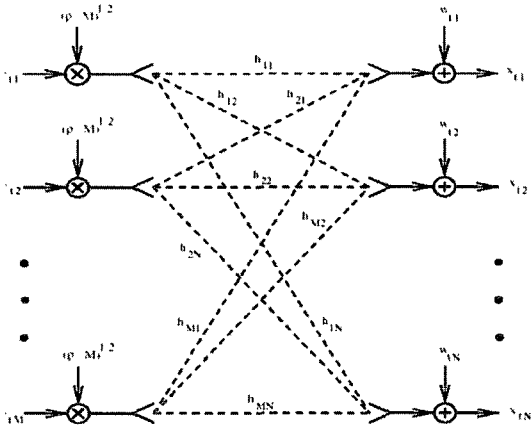
(그림 1) 적응변조 시스템의 구조

을 수행한다. 적응변조 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 기지국에서 전송되는 데이터는 채널 코딩과 인터리빙 및 변조 과정을 거쳐 전송된다. 단말기에서는 채널을 거쳐 수신된 신호로부터 채널 상태에 대한 추정을 수행하고 이에 대한 정보를 송신단에 전송한다. 채널 상태의 추정은 수신된 신호의 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 기준으로 이루어진다. 송신단은 이 정보를 기반으로 MCS (Modulation and Coding Scheme) 레벨을 결정하여 채널 코딩, 인터리빙 및 변조 방식을 채널 상태에 적합하도록 변화시켜 전송을 수행한다. 일반적으로 AMC 기법에서 변조 방식으로는 QPSK 외에 8PSK, 16QAM, 64QAM을 적용하며, 채널 코딩 방식으로는 컨벌루션 및 터보 코드를 사용한다.

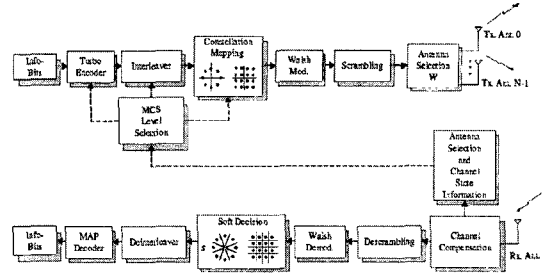
이 때의 변조 차수와 코드율이 Link Adaptation을 목적으로 MCS 레벨 선택에 따라서 지정되는 파라미터에 해당된다. 고차 변조 방식과 코드율은 저차 변조 방식과 코드율에 비하여 데이터의 전송률 측면에서는 우수하지만, 동일 환경에서의 에러율은 비교적 높다는 단점이 있다. 반면, 저차 변조 방식과 코드율은 에러에 대한 성능면에서는 우수하지만 전송률 향상에는 한계가 있다. 즉, AMC는 채널 상태에 따라 전송률과 에러율 관련 성능의 Trade-Off 관계를 감안하여 적절한 MCS 레벨을 선택함으로써 전체적인 시스템 전송률의 향상을 도모한다.

## 2. 전송 다이버시티 기법

송수신단에 다중 안테나를 사용할 경우, MIMO 멀티플렉싱 기법을 사용하여 각 송신 안테나별로

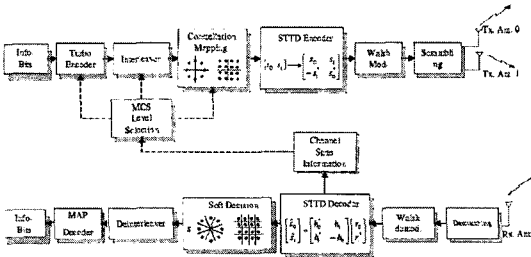


(그림 2) MIMO 채널구조



(그림 4) AMC-STD 구조

### 3. 전송다이버시티를 결합한 적응변조시스템 제안



(그림 3) AMC-STTD 구조

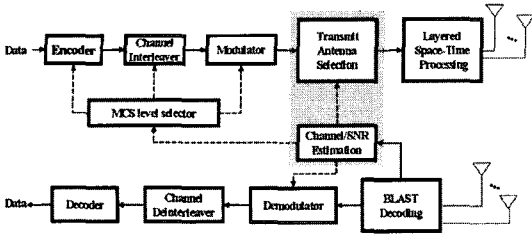
다른 데이터가 전송된다면 시스템의 **peak throughput** 을 증가시킬 수 있다. 만약 송신 단에서  $M$ 개의 안테나를 사용한다면, **throughput**은 단일 송신 안테나를 사용한 경우 보다  $M$ 배 증가된다. 한편으로 STBC와 달리 안테나 당 전송되는 데이터가 모두 다르므로  $M$ 개의 전송 신호를 수신 단에서 구분하기 위해서는 적어도  $M$ 개의 안테나가 필요하며, 신호의 구분은 그것의 공간적 특성에 의해 이루어진 MIMO 채널구조를 그림 2에 나타내었다.

본 논문에서는 AMC-VBLAST에 STD 기법을 적용한 시스템 구조를 그림 3과 4에서 AMC-TD-VBLAST 시스템의 송수신 단 구조를 설명하고 있다. 기본적인 데이터 흐름은 AMC-VBLAST 시스템과 동일하지만, 차이점은 VBLAST 송신 단 이전에 송신 안테나 선택과정이 존재한다는 것이다. 이 안테나 선택과 복조 알고리즘은 그림 6에 설명되어 있다.

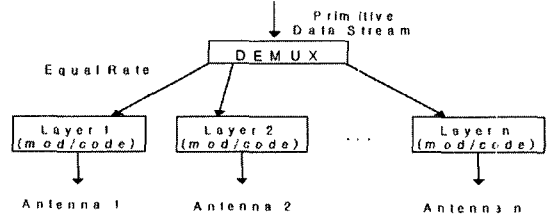
MIMO 멀티플렉싱과 적응변조 및 부호화 구조의 결합에서 고려해야 할 첫 번째 사항은 수신 단의 신호 대 잡음 비 추정을 어떤 기준에 근거하여 수행하느냐는 것이다. 이 문제는 적응변조 및 부호화의 MCS 레벨을 결정하는데 중대한 영향을 미친다. MIMO 멀티플렉싱에 해당하는 V-BLAST에서의 수신 신호 대 잡음 비는 각 수신 안테나 단의 신호 대 잡음 비를 통하여 결정할 수 없다. 이 때의 수신 신호에는 다른 송신 안테나의 신호가 간섭으로써 포함되어있기 때문이다.

따라서, 수신 단의 신호 대 잡음 비는 NULLING을 수행한 뒤에 얻어진다. 또한, 송신 안테나마다 다른 신호가 전송되므로 수신 단에서의 신호 대 잡음 비 또한 각 송신 안테나 별로 결정된다. 두 번째 문제점은 각 송신 안테나 별로 별도의 MCS 레벨을 선택하여 전송할 것인지의 여부이다. 각 안테나 별로 MCS 레벨을 다르게 적용한다면, 위에서 언급한 방식으로 구한 각 송신 안테나 별 신호 대 잡음 비를 기준으로 하여 각 레이어의 MCS 레벨을 선택하는 기준으로 삼을 수 있다.

이러한 경우, THROUGHPUT의 향상 측면에는 적합하지만, 채널 인코딩과 디코딩, 인터리빙과 디인터리빙, 그리고 변조 및 복조 방식이 레이어마다 다르게 되므로 수신 단의 복잡도가 증가할 것이다. 만일 각 송신 안테나에 동일한 MCS 레벨을 적용한다면, 상대적으로 복잡도가 낮아질 것



(그림 5) 제안된 STD (Selection Transmit Diversity) 시스템



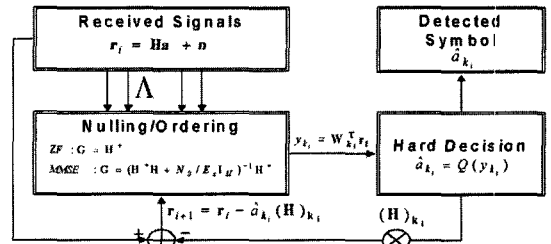
(그림 6) VBLAST (Vertical BLAST) 송신기

이다. 이러한 경우는 NULLING 이후에 얻어진 각 송신 안테나의 신호 대 잡음 비 중 어느 것을 MCS 레벨 선택에 사용할 것인지 고려할 필요성이 있다.

본 논문에서는 복잡도를 감안하여 각 송신 안테나에 동일한 MCS 레벨을 적용하는 방식으로 실험하였다. 적응변조 및 부호화와 MIMO 멀티플렉싱 결합을 제안한 본 시스템의 송수신단 구조를 그림 5에 나타낸 것이다. 전송할 데이터는 적응변조 및 부호화의 기본적인 채널 인코딩, 인터리빙, 그리고 변조 과정을 거친 뒤 V-BLAST의 LST (Layered Space-Time) 전송 과정을 통하여 송신된다. 수신된 신호는 V-BLAST 복조과정을 거치게 된다. 이 과정은 nulling, ordering, 그리고 canceling의 반복 구조로 이루어져 있다

MIMO 멀티플렉싱 범주에 속하는 BLAST는 대표적으로 D-BLAST (DIAGONAL VLAST)와 V-BLAST (VERTICAL BLAST)의 두 형태로 분류된다. 먼저 제안된 구조는 D-BLAST이지만 실제 구현이 어렵고 복잡도가 큰 단점이 있다. 이를 보다 단순화하기 위한 방안으로 V-BLAST가 제안되었다. 그림 6에 V-BLAST 시스템의 송신단 구조를 나타내었다.

순차 입력되는 전송 데이터를 송신 안테나 개수만큼 병렬화 시켜 변조 및 코딩을 수행한다. 따라서 데이터가 입력됨에 따라 송신 안테나 개수만큼의 비트열, 즉 레이어가 형성된다. 다중 안테나로 수신된 레이어 신호들은 서로에게 간섭으로 작용하여 시스템 성능의 열화를 유발한다. 따라서



(그림 7) VBLAST 복조 알고리즘

수신 단은 NULLING과 CANCELING을 수행하여 다른 레이어에서 전송된 심볼에 의한 간섭을 제거한다.

V-BLAST를 사용한 경우 수신 단의 데이터 검출은 다음과 같이 수행된다. 송신 안테나 M개, 수신안테나 N개로 구성된 MIMO 시스템과 FLAT-FADING 채널을 가정하면 채널 응답 행렬  $H^{N \times M}$ 은 각 원소  $h_{ji}$ 를 갖는다.  $h_{ji}$ 는 송신 안테나 I로부터 수신안테나 J로의 채널 응답을 의미한다. 먼저, 전송 심볼들의 전력은 송신 안테나 개수로 정규화 된다고 가정한다.

이때, 공통적으로 변조 및 채널 코딩 방식이 적용될 때, 각 송신 안테나 별 SNR 중 어느 것을 선택하는가의 문제는 다음과 같이 크게 세가지로 분류될 수 있다.

- 1) 최소 SNR 기준 : 각 송신 안테나에 대하여 구해진 SNR 중에서 최소 값을 갖는 송신 안테나를 기준으로 MCS 레벨을 적용한다.
- 2) 평균 SNR 기준 : 각 송신 안테나에 대하여 구해진 SNR의 평균값을 기준으로 MCS 레벨을 적용한다.

3) 최대 SNR 기준 : 각 송신 안테나에 대하여 구해진 SNR 중에서 최대 값을 갖는 송신 안테나를 기준으로 MCS 레벨을 적용한다.

### 4. 시뮬레이션 결과

표 1에 나타난 MCS 레벨의 데이터율은 MIMO 멀티플렉싱 기법이 적용되지 않은 경우에 대한 것이다. 실제 MIMO 멀티플렉싱-적응변조 및 부호화 시스템에서는 각 MCS 레벨의 전송률이 V-BLAST의 송신 안테나 개수, 즉 레이어의 개수에 비례하여 증가하게 된다. 예를 들면, 송신 안테나가 2개인 V-BLAST를 적용한 경우, MCS 레벨 4의 데이터율  $2457.6 \times 2 = 4915.2(kbps)$ 은 가 된다.

MCS 레벨 선택 임계치를 정하는 데는 여러 가지 기준이 적용될 수 있다. 예를 들면, 요구되는 BER을 만족하도록 임계치를 정할 수도 있으며, 요구되는 FER을 만족하도록 설정할 수 있다. 본 논문에서는 전송률에 중점을 맞추고 있으므로

(표 1) MCS 레벨

MCS level	데이터율 (kbps)	비트 수	코드율	변조 방식
1	614.4	1024	1/3	QPSK
2	1228.8	2048	2/3	QPSK
3	1843.2	3072	2/3	8PSK
4	2457.6	4096	2/3	16QAM

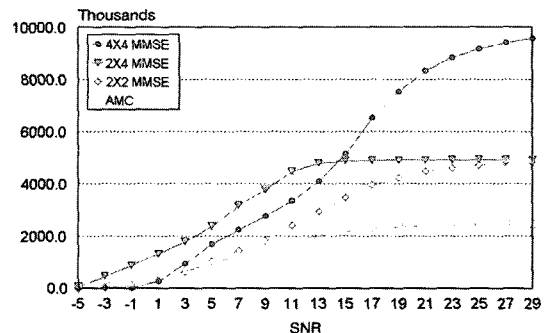
(표 2) 실험 파라미터

Parameter	Value
대역폭	1.2288MHz
슬롯 길이	1.67msec
변조 방식	QPSK, 8PSK, 16QAM
코드율	1/2, 2/3
채널 코딩	터보 코딩 (반복 복호 : 4)
전송 안테나 수	1, 2, 4
경로 수	1
확산 인자	16
도플러 주파수	50Hz

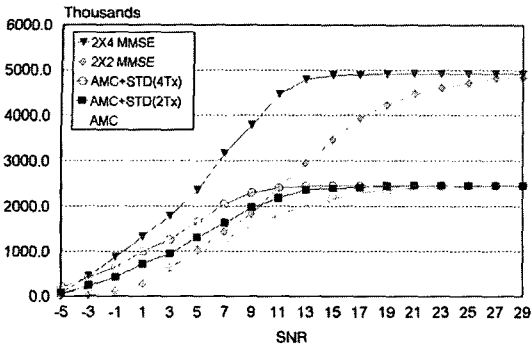
THROUGHPUT이 최대가 되도록 하는 임계치 결정 기준을 적용하였다. 그림 3, 4는 AMC-VBLAST 시스템에서 NULLING 과정에 MMSE 기법을 적용하였을 때의 THROUGHPUT 성능을 도시한 것이다. 송신 안테나 개수에 따라 최대한 얻을 수 있는 THROUGHPUT이 기존의 AMC 시스템 보다 높음을 확인할 수 있다. 그러나 약 1DB 이하의 열악한 SNR 환경에서는 비교적 낮은 THROUGHPUT 성능을 보인다. 2개의 송신 안테나와 4개의 수신안테나를 적용하여 수신 다이버시티를 얻은 경우를 제외하면, 열악한 SNR 환경에서의 AMC-VBLAST 시스템은 거의 THROUGHPUT이 증가하지 않는 현상을 보이고 있다.

그림 8은 AMC-TD 시스템과 AMC-VBLAST의 THROUGHPUT 성능을 나타낸 것으로 실험 결과, 2개의 송신 안테나와 4개의 수신안테나를 적용한 2X4 MMSE VBLAST를 AMC와 결합한 시스템은 전체적인 SNR에 대하여 우수한 성능을 보였다. 이는 수신 다이버시티 효과에 의하여 VBLAST의 전송률 이득이 제대로 얻어질 수 있었기 때문이다. 반면, 2X2 MMSE VBLAST를 적용하였을 경우, SNR이 낮은 구간에서는 THROUGHPUT의 증가량이 미미하였다. 즉, SNR이 비교적 높지 않은 환경에서는 AMC-VBLAST의 THROUGHPUT 향상 효과가 여러 발생에 의하여 억제되는 것이다.

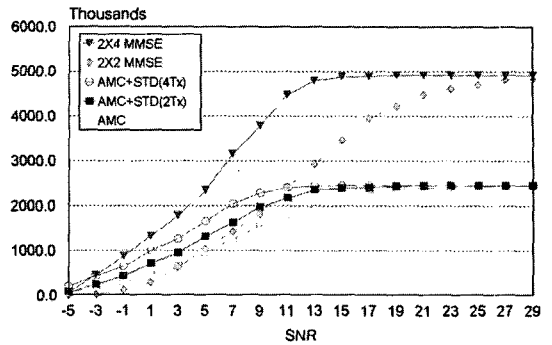
또한, MIMO 멀티플렉싱-적응변조 및 부호화 시스템의 성능 개선을 위하여 제안된 시스템의



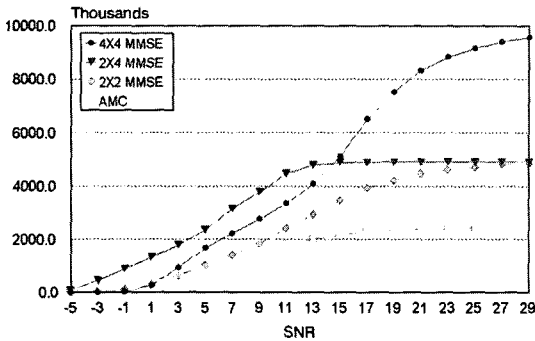
(그림 8) Flat Rayleigh 페이딩 채널 : AMC-VBLAST 시스템 throughput 성능



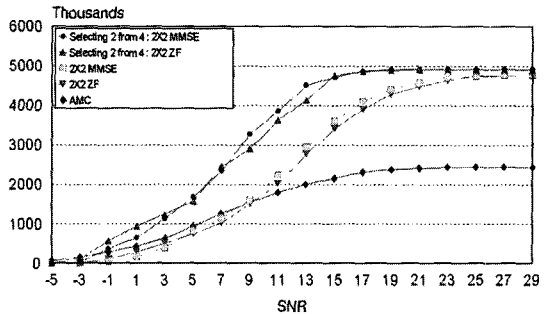
(그림 9) FLAT RAYLEIGH 페이딩 채널 : AMC-VBLAST와 AMC-TD의 THROUGHPUT 성능



(그림 11) MIMO 멀티플렉싱-적응변조시스템과 적응변조-선택적 전송 다이버시티 시스템의 throughput 성능분석



(그림 10) MIMO 멀티플렉싱-적응변조 및 부호화 시스템의 throughput 성능분석



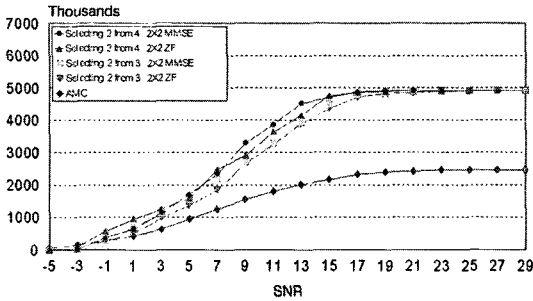
(그림 12) 적응변조 MIMO 멀티플렉싱 결합 시스템에 선택적 전송 다이버시티를 적용한 throughput 성능(1)

성능을 실험적으로 고찰하기 위해 그림10에서 성능분석을 실시한다.

그림 10은 단일 송수신 안테나를 사용한 적응변조 및 부호화 시스템과 MIMO 멀티플렉싱-적응변조 및 부호화 시스템, 그리고 제안된 시스템의 THROUGHPUT 성능을 함께 나타낸 것이다. 실험 결과, 제안된 시스템은 전체적인 신호 대 잡음 비 구간에서 MIMO 멀티플렉싱-적응변조 및 부호화 시스템 보다 향상된 THROUGHPUT 성능을 보였다. 열악한 SNR에 대해서는 3DB 이상의 신호 대 잡음 비 구간에서는 THROUGHPUT 증가 이득이 뚜렷이 나타나고 있다. MMSE NULLING 기법을 적용하였을 경우, 15DB 신호 대 잡음 비에 대하여 제안된 시스템이 동일한 NULLING 방식을 사용한 MIMO 멀티플렉싱-적응변조 및 부호화 시스템에 비하여 약 1MBPS의 전송률 이득을 보였다.

제안된 시스템은 다이버시티 이득에 의한 여러 성능 향상을 얻음으로써, MIMO 멀티플렉싱-적응변조 시스템에서 나타났던 THROUGHPUT 성능 열화를 완화시킨다. 따라서 MIMO 멀티플렉싱-적응변조시스템에 비하여 큰 THROUGHPUT 성능 개선을 얻을 수 있다.

그림 12와 13은 선택적 전송 다이버시티의 안테나 개수 변화에 따른 THROUGHPUT 성능을 보이고 있다. 4개의 안테나 중 2개를 선택하는 경우와 3개의 안테나 중 2개를 선택할 경우의 성능을 비교해 볼 때, 신호 대 잡음 비가 매우 열악한 구간과 매우 양호한 구간에서는 다이버시티 이득 변화에 따른 THROUGHPUT 차이가 적었으며 약 9~15DB의 신호 대 잡음 비 구간에 대하여 약간의 성능 차이를 보였다.



(그림 13) 적응변조MIMO 멀티플렉싱 결합 시스템에 선택적 전송 다이버시티를 적용한 throughput 성능(2)

### 5. 결론

본 논문에서는 VBLAST의 신호 처리 과정 및 성능에 관한 검증을 수행하였으며, AMC 시스템의 전송률을 향상시키려는 목적으로 AMC와 VBLAST 기법을 결합한 AMC-VBLAST 시스템을 구축하였으며, 결합 시 고려해야 할 사항들을 제기 하였다. 또한, 모의 실험을 통하여 AMC-VBLAST의 성능을 확인하였고 개선해야 할 문제점에 대하여 살펴보았다. 또한, AMC-VBLAST 시스템의 단점 보완 및 성능 향상을 위하여 STD를 적용한 AMC-STD-VBLAST 시스템을 제시하고 이 시스템의 THROUGHPUT 이득을 실험적으로 확인하였다.

시뮬레이션 결과, AMC-VBLAST 시스템은 최대 THROUGHPUT을 증가시키지만, SNR이 낮은 환경에서는 전송률 증가량이 매우 적었다. 그러나, SNR이 어느 정도 증가함에 따라 VBLAST의 특성이 정상적으로 나타나면서 전송률의 증가 폭이 커짐을 확인하였다. 이러한 AMC-VBLAST 기법의 특성을 보완하기 위하여 중간 보고서에서 AMC와 결합했던 STD 기법을 AMC-VBLAST 시스템에 적용하였다. 이는 STD의 수신단 SNR 개선 효과를 통하여 비교적 낮은 SNR에서의 에러 발생 확률을 감소시키고 궁극적으로는 시스템의 THROUGHPUT을 향상시키고자 함이다.

실험 결과, 전체적인 SNR 영역에서 AMC-STD-VBLAST 시스템은 AMC-VBLAST에 비하여 상당히 향상된 성능을 보였다. 낮은 SNR에 대한 성능

향상 폭은 예상보다 적었으나, SELECTION 다이버시티를 증가시키는 방법으로 이에 대한 문제를 해결할 수 있을 것이다. 4개의 안테나 중 2개를 선택한 경우와 3개의 안테나 중 2개를 선택한 경우의 THROUGHPUT 성능은 큰 차이가 없었던 점을 고려해보면, SELECTION 다이버시티를 통하여 성능 향상 폭을 크게 증가시키기 위해서는 기저국 전송 단에 보다 많은 수의 안테나가 추가되어야 할 것으로 예상되며, 향후 독립적인 MCS 레벨 적용 등에 관한 연구를 수행할 것이다.

### 참고문헌

- [1] Paul Bender, Peter Black, Matthew Grob, Roberto Padovani, Nagabhushana Sindhusayana, and Andrew Viterbi, "CDMA/HDR : A Bandwidth-Efficient High-speed Wireless Data Service for Nomadic Users," IEEE Comm. Magazine, pp. 70~77, July 2000.
- [2] Andrea J. Goldsmith, Soon-Ghee Chua, "Variable-Rate Variable-Power MQAM for Fading Channels," IEEE Trans. Comm., Vol. 45, pp. 1218~1230, October 1997.
- [3] Andrea J. Goldsmith, Soon-Ghee Chua, "Adaptive Coded Modulation for Fading Channels," IEEE Trans. Comm., Vol. 46, pp. 595~602, May 1998.
- [4] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE J. Sel. Areas in Comm., Vol. 16, pp. 1451~1458, October 1998.
- [5] Naguib, A.F, Seshadri, N., Calderbank, A.R., "Increasing data rate over wireless channels," IEEE Sig. Proc. Magazine, Vol. 17, pp. 76~92, May 2000.
- [6] Intae Hwang\*, Taewon Jang\*, Mingoo Kang\*\*, Sung-chan Hong\*\*, Dae-sik Hong\*, Changeon Kang,\*\* "Adaptive Modulation and Coding combined with Transmit Diversity in MIMO Systems," International Conference on Multimedia Technology and Its Applications, Jan., 2003, India.

◎ 저자 소개 ◎



**강 성 진**

1992년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1994년 9월 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1998년 9월 연세대학교 전자공학과(공학박사)  
1998년 12월~2000년 1월 ETRI 무선방송기술연구소  
2000년 2월~2002년 8월 (주)이노텔리텍  
2002년 9월~현재 : 전자부품연구원 무선PAN기술사업단  
관심분야 : 무선 PAN 통신 시스템, Wireless digital communications  
E-mail : sjkang@keti.re.kr



**장 태 원**

1986년 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1989년 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1995년~현재 : 연세대학교 전자공학과(박사과정수료)  
관심분야 : 통신시스템, 이동통신  
E-mail : tecdong@hitel.net



**유 영 환**

1993년 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1995년 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1999년 연세대학교 전자공학과(공학박사)  
1999년~2002년 전자부품연구원 선임연구원  
2002년~현재 : 세종대학교 인터넷학과 조교수  
관심분야 : 이동통신시스템  
E-mail : yhyou@sejong.ac.kr



**황 인 태**

1990년 전남대학교 전자공학과 (공학사)  
1992년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1999년~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 (박사과정수료)  
1992년~현재 : LG전자 책임 연구원  
관심분야 : 이동통신시스템  
E-mail : hit3558@lge.com

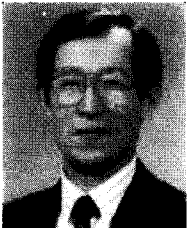


● 제 자 소개 ●



**강 민 구**

1986년 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1989년 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1994년 연세대학교 전자공학과(공학박사)  
2000년~현재 : 한신대학교 정보통신학과부교수  
관심분야 : 이동통신시스템, 무선인터넷 응용  
E-mail : kangmg@hanshin.ac.kr



**강 창 언**

1960년 2월 연세대학교 전기공학과 학사  
1965년 2월 연세대학교 전기공학과 석사  
1969년 2월 미시간 주립대학교 전자공학과 석사  
1973년 2월 미시간 주립대학교 전자공학과 박사  
1981년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수  
관심분야 : 통신공학, 디지털 통신, 위성 통신  
E-mail : cckang@yonsei.ac.kr