

# MCS 레벨 선택 방식에 따른 AMC-MIMO 결합 시스템의 성능 비교

정회원 황인태\*, 강민구\*\*

## Performance Analysis of the Combined AMC-MIMO Systems with MCS Level Selection Method

Intae Hwang\*, Mingoo Kang\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 AMC-V-BLAST(Adaptive Modulation and Coding-Vertical-Bell-lab Layered Space-Time) 결합 시스템에 각 레이어 별로 독립적인 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨을 적용한 경우의 시스템 구조를 제시후 성능을 관찰한다. 그리고 공통적인 MCS 레벨이 적용된 결합 시스템의 성능에 비하여 어느정도의 전송률 향상이 있는가를 살펴본다. 실험결과, 독립적인 MCS 레벨이 적용된 경우가 레이어 별로 각 채널상태에 따라 최대의 전송률을 얻기 위한 변조 및 코딩 방식이 선택되므로 공통 MCS 레벨을 적용한 경우에 비하여 전송률 성능이 우수함을 보였다. 특히 독립적인 MCS 레벨을 적용한 AMC-V-BLAST 결합 시스템의 약 7dB ~ 9dB SNR 구간에서 700kbps 개선을 확인하였다.

**Key Words** : AMC, V-BLAST, MIMO, MCS

### ABSTRACT

In this paper, we propose and observe a system that adopts Independent-MCS (Modulation and Coding Scheme) level for each layer in the combined AMC-V-BLAST (Adaptive Modulation and Coding-Vertical-Bell-lab Layered Space-Time) system. Also, comparing with the combined system using Common-MCS level, we observe throughput performance improvement. As a result of simulation, Independent-MCS level case adapts modulation and coding scheme for maximum throughput to each channel condition in separate layer, resulting in improved throughput compared to Common-MCS level case. Especially, the results show that the combined AMC-V-BLAST system with Independent-MCS level achieves a gain of 700kbps in 7~9dB SNR (Signal-to-Noise Ratio) range.

### I. 서 론

차세대 이동 통신 시스템에서는 데이터의 전송률의 향상이 중요한 과제로 떠오를 것으로 예상된다. 이러한 초고속 서비스를 실현하기 위한 방안으로서, 다중 송수신 안테나를 사용한 MIMO(Multiple Input-Multiple Output) 시스템에 대하여 연구가 활발히

진행되고 있다. MIMO 시스템에서 주로 고려되는 기법은 크게 MIMO 다이버시티 기법과 MIMO 멀티플렉싱 기법으로 분류된다<sup>1-3)</sup>.

다중 송수신 안테나와 함께 전송률 향상을 위하여 차세대 이동 통신에서 고려되는 기법으로 적응 변조 및 부호화 기법(AMC : Adaptive Modulation and Coding)을 들 수 있다<sup>4, 5)</sup>. 적응변조 및 부호화

\* 전남대학교 전자컴퓨터공학부 (hit@chonnam.ac.kr), \*\* 한신대학교 정보통신학과 (kangmg@hanshin.ac.kr)  
논문번호 : KICS2006-05-210, 접수일자 : 2006년 5월 12일, 최종논문접수일자 : 2006년 7월 10일

기법은 채널 상태에 따라 변조 방식 및 코딩률을 변화시켜 전송 품질을 보장하고 전송률의 향상을 얻고자 하는 방식이다. 따라서 MIMO 시스템과 적응변조 및 부호화 기법의 결합은 전송률 향상 목적에 부합되는 해결 방안이라 할 수 있다.

본 논문에서 MIMO 시스템에서 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨 선택 방식에 따른 적응변조 및 부호화 기법이 적용된 경우의 성능을 실험적으로 보이고, 이들 시스템을 적용하는 과정에서 고려해야 하는 요인들에 대하여 고찰한다. 적응변조 및 부호화 기법과 결합되는 MIMO 시스템 기법으로는 복잡도를 고려하여 V-BLAST(Vertical BLAST: Vertical-Bell-lab Layered Space-Time)를 선택한다<sup>[6][7]</sup>.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 적응변조 및 부호화 기법과 V-BLAST 기법에 대한 시스템 구조와 특성을 살펴본다. III장에서는 공통적인 MCS를 적용한 AMC-MIMO 결합 시스템과 독립적인 MCS를 적용한 AMC-MIMO 결합 시스템의 송수신 단 구조를 보이고 시스템 구현에서 고려해야 할 사항들에 대한 분석을 수행한다. IV장에서는 컴퓨터 모의 실험을 통하여 각 시스템의 성능을 검증하고, MCS 레벨 선택 방식에 따른 AMC-MIMO 결합 시스템의 성능 비교 및 분석을 수행한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 적응변조 및 부호화(AMC)와 V-BLAST 기법의 구조 및 특성

### 2.1 적응변조 및 부호화의 구조 및 특성

적응변조 및 부호화 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 기지국에서 송신되는 데이터는 채널 코딩과 인터리빙 및 변조 과정을 거쳐 전송된다. 단말기에서는 채널을 거쳐 수신된 신호로부터 채널 상태에 대한 추정을 수행하고 이에 대한 정보를 송신 단에 전송한다. 채널 상태의 추정은 수신 신호 대 잡음비 기준으로 이루어진다. 송신 단은 이 정보를 기반으로 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨을 결정하여 채널 코딩, 인터리빙 및 변조 방식을 채널 상태에 적합하도록 변화시켜 전송한다.

적응변조 및 부호화는 채널 환경이 양호한 상태의 사용자에게는 고차 변조 방식과 코드율(예: 16QAM과 코드율 2/3인 터보 코드)을 적용한다. 반면, 채널 환경이 좋지 않은 사용자에게는 저차 변조 방식과 코드율(예: QPSK와 코드율 1/3인 터보코드)을 이용

하여 데이터를 전송한다. 적응변조 및 부호화는 채널 상태에 따라 전송률과 에러율 성능의 trade-off 관계를 감안하여 적절한 MCS 레벨을 선택함으로써 전체적인 시스템 전송률과 전송 품질의 향상을 도모한다.

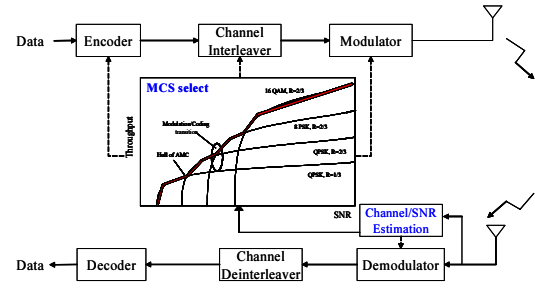


그림 1. 적응변조 및 부호화 시스템 구조(IV장: 표1. MCS레벨 참조)

### 2.2 V-BLAST의 구조 및 특성

MIMO 멀티플렉싱 범주에 속하는 BLAST는 대표적으로 D-BLAST(Diagonal-VLST)와 V-BLAST(Vertical-BLAST)의 두 형태로 분류된다<sup>[8-10]</sup>. 먼저 제안된 구조는 D-BLAST이지만 실제 구현이 어렵고 복잡도가 큰 단점이 있다. 이를 보다 단순화하기 위한 방안으로 V-BLAST가 제안되었다. 그림 2에 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 수신 단은 nulling과 canceling을 수행하여 다른 레이어에서 전송된 심볼에 의한 간섭을 제거한다.

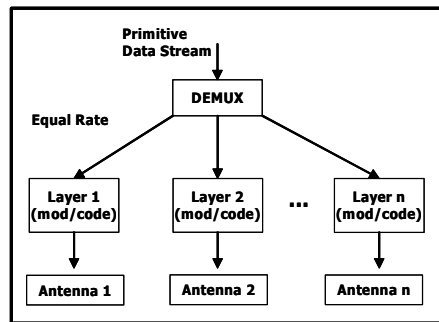


그림 2. V-BLAST의 송신 단 구조도

Nulling 과정은 일반적으로 MMSE(Minimum Mean-Squared Error) 또는 ZF(Zero Forcing) 기법의 두 가지 방식이 사용된다. 검파 과정에서 어떠한 순서로 여러 송신 안테나의 심볼을 검출할 것인가는 매우 중요한 고려 대상이다. 일반적으로 신호 대 잡음 비가 가장 큰 심볼을 먼저 검파하여 제거하는 법칙을 사용한다. 즉, 좋은 환경을 거친 심볼이 가장 정확히 검출될 가능성이 높으므로 이를 먼저 검출, 제거하여 다른 심볼에 대한 오차의 영향을 최소화하는 것이다.

### III. MCS레벨 선택 방식에 따른 AMC-MIMO 결합 시스템

AMC-MIMO 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 안테나 마다 다른 신호가 전송되므로 수신 단에서의 신호 대 잡음 비 또한 각 송신 안테나 별로 결정된다.

두 번째 고려사항은 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 레이어 마다 다르게 되므로 수신 단의 복잡도가 증가할 것이다. 만일 각 송신 안테나에 동일한 MCS 레벨을 적용한다면, 상대적으로 복잡도가 낮아질 것이다. 이러한 경우는 nulling 이후에 얻어진 각 송신 안테나의 신호 대 잡음 비 중 어느 것을 MCS 레벨 선택에 사용할 것인지 고려할 필요성이 있다.

#### 3.1 공통적인 MCS 레벨이 적용된 AMC-MIMO 결합 시스템

그림 3은 AMC-V-BLAST 결합시스템의 송수신 단 구조

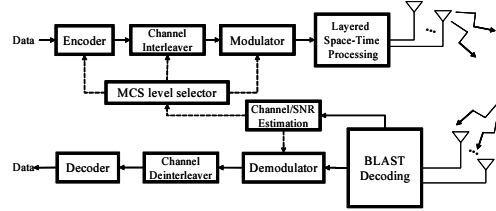


그림 3. AMC-V-BLAST 결합시스템의 송수신 단 구조

단 구조를 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 앞 장에서 언급한 V-BLAST 디코딩 과정을 거치게 된다. 이 과정은 nulling, ordering, 그리고 canceling의 반복 구조로 이루어져 있다.

공통적으로 변조 및 채널 코딩 방식, 즉 MCS 레벨이 적용될 때, 각 송신 안테나는 서로 다른 신호 대 잡음 비를 갖게 된다. 따라서 이들 중 어떠한 안테나의 신호 대 잡음 비를 기준으로 MCS 레벨을 적용할 것인가를 고려할 필요가 있다.

본 논문에서 구현된 시스템은 최소 신호 대 잡음 비 기준을 적용하였다. 이는 다른 기준을 적용하는 경우, 신호 대 잡음 비가 상대적으로 채널 환경이 열악한 레이어 마저도 고차의 변조 방식 및 높은 코드율을 갖는 MCS 레벨이 선택되기 때문이다. 이로 인하여 에러가 발생할 확률이 증가되고, 전체적인 throughput 성능의 열화가 일어날 가능성이 있다.

AMC-V-BLAST 결합 시스템에서 수행되는 동작 과정은 그림 4와 같이 정리될 수 있다. 여기서 기존의 V-BLAST 구조에 변화가 생기게 되는데, 이는 적응변조 및 부호화와 V-BLAST가 결합되면서 터보 디코딩 과정이 고려되었기 때문이다. 즉, 터보 디코딩을 위하여 V-BLAST의 경관정된 값 대신 연관정 결과가 디코딩 단계에 입력되는 것이다.

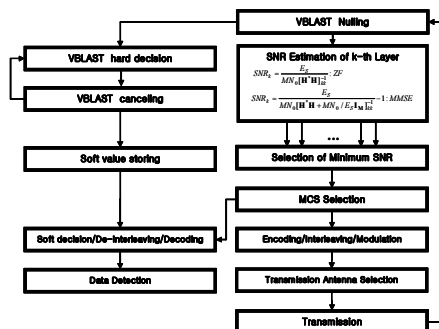


그림 4. AMC-V-BLAST 결합시스템 동작 구성도

### 3.2 독립적인 MCS 레벨이 적용된 AMC-MIMO 결합 시스템

3.1절의 AMC-MIMO결합 시스템은 복잡도를 감안하여 모든 레이어, 즉 송신 안테나에 공통적인 MCS 레벨을 적용하였다. 본 절에서는 각 레이어 별로 독립적인 MCS 레벨을 적용한 경우의 시스템 구조를 제시하고 성능을 관찰한다. 또한, 공통적인 MCS 레벨이 적용되었을 때의 성능에 비하여 어느 정도의 전송률 향상이 있는가를 살펴본다. 그리고 다이버시티가 두 MCS 레벨 선택 방식의 성능 차이에 대하여 어떠한 영향을 미치는가에 관하여 확인한다.

2X2 AMC-V-BLAST결합 시스템의 구조를 예로 들어 그림 5에 나타내었다. 3.1절의 AMC-V-BLAST 결합 시스템과 차이점은 송신 및 수신 단의 코딩, 인터리빙, 변조 및 이에 대응되는 복호 과정이 각 레이어 별로 존재한다는 것이다. 즉, 레이어 1과 2의 변조 및 코딩 방식은 각 레이어의 채널 상태에 따라 달라질 수 있다.

이 구조에서는 각 송신 안테나에 대하여 추정된 SNR을 해당 레이어의 MCS 레벨 선택에 각각 적용하므로 앞 절의 공통 MCS 레벨을 적용한 사례와 달리 최소 SNR을 구할 필요가 없다.

또한 각 채널 상태에 적합한 한도 내에서 최대한의 전송률을 얻기 위한 변조 및 코딩 방식이 선택되므로 공통 MCS 레벨을 적용한 경우에 비하여 전송률 성능이 우수할 것임을 예상할 수 있다.

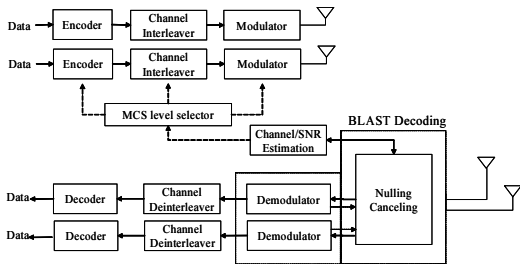


그림 5. 독립적인 MCS 레벨을 적용한 AMC-V-BLAST 결합 시스템 구조

## IV. 모의실험 결과

### 4.1 공통적인 MCS 레벨이 적용된 AMC-MIMO 결합 시스템의 성능분석 및 비교

본 절에서는 AMC-V-BLAST 결합 시스템의 throughput 성능에 관한 실험 결과를 제시하고, 이에 대한 분석을 수행한다. MCS 레벨 선택 기준과 실험 환경 파라미터는 표 1과 2에 나타내었다. 표 1

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
채널	Flat Rayleigh fading

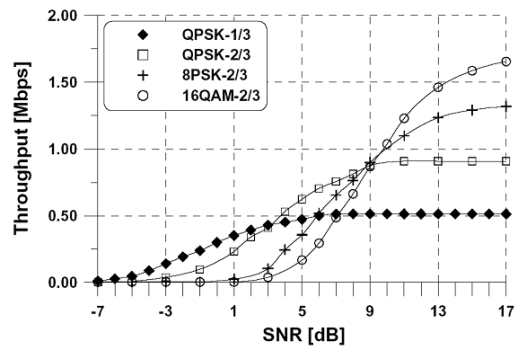


그림 8. Rayleigh fading 채널 환경에서의 각 MCS별 throughput

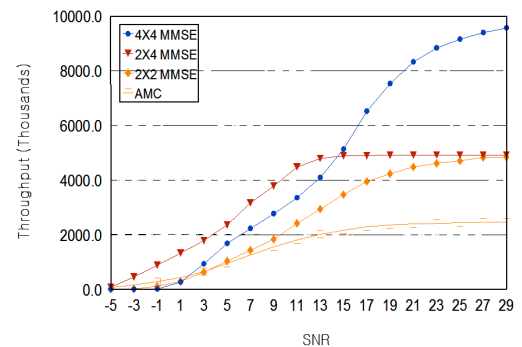


그림 9. AMC-V-BLAST 결합 시스템의 throughput 성능

의 파라미터는 1X EV-DO 표준안을 근거로 설정하였다<sup>[11]</sup>.

MCS 레벨 선택 임계치를 정하는 데는 여러 가지 기준이 적용될 수 있다. 예를 들면, 요구되는 BER(Bit Error Rate)을 만족하도록 임계치를 정할

수도 있으며, 요구되는 FER(Frame Error Rate)을 만족하도록 설정할 수 있다. 본 논문에서는 전송률에 증점을 맞추고 있으므로 throughput이 최대가 되도록 하는 임계치 결정 기준을 적용하였다. 따라서 각 MCS 레벨 선택의 임계치는 그림 6의 throughput 성능 교차점으로부터 구해졌다. 이 기준에 의하여 결정된 MCS 레벨 임계치는 3.25dB, 8.70dB, 9.55dB 이다<sup>[12]</sup>.

그림 7은 AMC-V-BLAST 결합 시스템에서 MMSE nulling 기법을 적용하였을 때의 throughput 성능을 도시한 것이다. 송신 안테나 개수에 따라 최대한 얻을 수 있는 throughput이 단일 송수신 안테나를 사용하는 적응변조 및 부호화 시스템 보다 높음을 확인할 수 있다. 실험 결과, 2개의 송신 안테나와 4개의 수신 안테나를 사용하여 수신 다이버시티를 얻은 경우를 제외하면, 약 1dB 이하의 열악한 신호대 잡음 비 환경에서 throughput이 거의 증가하지 않는 현상을 보인다. 그러나 수신 단말기의 복잡도를 고려할 때, 수신 다이버시티를 이용하는 것은 적합하지 않다.

4.2 독립적인 MCS 레벨이 적용된 AMC-MIMO 결합 시스템의 성능분석 및 비교

모의 실험은 앞 절과 동일한 주파수 비 선택적 레일리 페이딩 채널 환경에서 수행되었으며, 실험 환경 변수 역시 동일하게 적용되었다. 그림 8은 송수신 안테나가 각각 2개인 AMC-V-BLAST결합 시스템의 전송률 성능을 나타낸 것이다. 여기서 ‘Independent MCS’는 레이어 별로 독립적인 변조 및 코딩 방식을 채택한 경우의 전송률이며, ‘Common MCS’는 모든 레이어에 동일한 변조 및 코딩 방식을 적용한 것이다. 약 7dB~13dB의 SNR 구간에서 독립적인 MCS 레벨을 적용한 AMC-V-BLAST결합 시스템이 보다 향상된 전송률 성능을

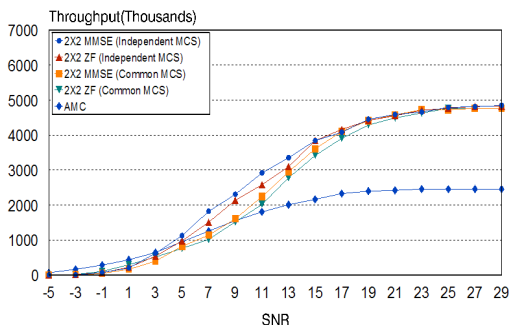


그림 10. 2X2 AMC-V-BLAST 결합 시스템 전송률 성능

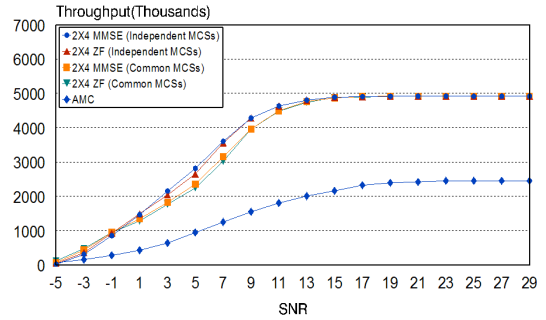


그림 11. 수신 다이버시티를 적용한 AMC-V-BLAST 결합 시스템의 전송률 성능

표 3. 공통적인 MCS레벨과 독립적인 MCS 레벨에 대한 각 시스템의 성능 비교표

	MCS 레벨 선택	AMC-V-BLAST (2x2)	AMC-V-BLAST (2x4)
Low SNR (1dB)	공통 MCS	300kbps	1.4Mbps
	독립 MCS	300kbps	1.5Mbps
High SNR (11dB)	공통 MCS	2.1Mbps	4.4Mbps
	독립 MCS	3Mbps	4.5Mbps

보임을 확인할 수 있다. 특히, 7~9dB SNR 구간에 대해 2X2 MMSE AMC-V-BLAST결합 시스템은 MCS 레벨 선택 방식에 따라 약 700kbps의 전송률 차이를 보이고 있다.

그림 9는 수신 다이버시티를 적용한 경우의 MMSE 무효화 기법을 사용한 AMC-V-BLAST결합 시스템 전송률 성능을 도시한 것이다. 7~9dB SNR 구간에 대하여 독립적인 MCS 레벨을 적용한 시스템과 공통적인 MCS 레벨을 선택한 시스템 간의 전송률 차이가 약 350kbps 내외로 나타남을 확인할 수 있다.

모의 실험 결과를 종합해 볼 때, AMC-V-BLAST 결합 시스템에서 다이버시티 기법을 적용하지 않은 경우에는 독립적인 MCS 레벨 선택 방식이 공통적인 MCS 레벨 선택 방식에 비하여 전송률 이득이 큰 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 다이버시티가 적용되었을 경우, 수신 SNR의 개선으로 인하여 두 MCS 레벨 선택 방식에 따른 전송률 성능 차이가 감소하는 경향을 나타내었다. 공통적인 MCS 레벨과 독립적인 MCS 레벨에 대한 시스템의 성능비교를 표 3에 요약 하였다.

V. 결론

차세대 무선 통신 시스템에서는 큰 전송률이 요구되는 순방향 링크에 다중 송수신 안테나를 적용

할 것으로 전망된다. 따라서, 적응변조 및 부호화 기법과 MIMO 기법이 결합된 시스템에 관한 연구는 중요한 고려 사항이라 할 수 있다. 특히, 두 기법의 주 목적이 전송률의 향상에 있으므로 이들을 결합하는 것은 순방향 링크에서의 고속 전송률에 대한 요구를 만족시키는 하나의 해결 방안이 될 수 있다.

본 논문에서는 순방향 링크에서의 전송률 향상을 위해 MCS 레벨 선택 방식을 고려한 AMC-MIMO 결합 시스템을 구현하였다. 또한, 결합된 시스템의 성능에 관하여 고찰하고 비교 분석 하였다.

모의 실험 결과, 적응변조 및 부호화 기법과 V-BLAST기법을 적용함으로써 최대 throughput은 증가되지만 신호 대 잡음 비가 낮은 환경에서는 전송률 증가량이 매우 적었다. 그러나, 신호 대 잡음 비가 어느 정도 증가함에 따라 V-BLAST특성이 정상적으로 나타나면서 전송률의 증가 폭이 커짐을 확인하였다. 또한 적응변조 및 부호화 기법과 MIMO 기법을 접목시키는데 있어서 송신 단의 레이어 별로 다른 MCS 레벨을 적용하는 방법과 모든 레이어에 동일한 MCS 레벨을 적용하는 경우를 모두 고려하였다. MCS 레벨을 레이어 별로 독립적으로 할당하는 방법과 공통적으로 적용하는 방법에 대한 AMC-V-BLAST 결합 시스템의 성능 비교를 수행한 결과, 다이버시티 기법이 적용되지 않은 AMC-V-BLAST결합 시스템에서는 독립적인 MCS 레벨을 선택하는 방법이 보다 우수한 성능을 보였다. 그러나 다이버시티가 적용됨에 따라 성능 차이는 감소하는 경향을 보였다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. H. Winters, "The Diversity Gain of Transmit Diversity in Wireless Systems with Rayleigh Fading," IEEE Trans. on Veh. Tech. Vol.47, No.1, pp.119-123, February 1998.
- [2] S. M. Alamouti, "A Simple Diversity Technique for Wireless Communications," IEEE Journal on select areas in communications, Vol.16, No.8, pp.1451-1458, October 1998.
- [3] G..J. Foschini, "Layered Space-Time Architecture for Wireless Communication in a Fading Environment When Using Multi- Element Antennas," Bell Labs Technical Journal, Autumn 1996.
- [4] P. Bender, P. Black, M. Grob, R. Padovani, N. Sindhushayana, and A. Viterbi, Qualcomm, Incorporated, "CDMA/HDR : A Bandwidth-Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users," IEEE Comm. Magazine, pp.70-77, July 2000.
- [5] A. J. Goldsmith, and S.G. Chua, "Adaptive Coded Modulation for Fading Channels," IEEE Trans. on Comm., Vol.46, No.5, pp.595-602, May 1998.
- [6] F.R. Farrokhi, G..J. Foschini, A. Lozano, and R. A. Valenzuela, "Link-Optimal BLAST Processing with Multiple-Access Interference," VTC2000 Fall, Vol.1, pp.87-91, September 2000.
- [7] A. Bhargave; R.J.P. de Figueiredo, T. Eltoft, "A Detection Algorithm for the V-BLAST System," GLOBECOM '01. IEEE, Vol.1 , pp. 494 - 498, November 2001.
- [8] Z. W. Catherine, H. Sweatman, J. S. Thompson, B. Mulgrew, and P. M. Grant, "Comparison of Detection Algorithm including BLAST for Wireless Communication using Multiple Antennas," PIMRC'00, Vol.1, pp.698-703, 2000.
- [9] M. A. Beach, D. P. McNamara, P. N. Fletcher, and Karisson, "MIMO-A solution for advanced wireless access?," 11<sup>th</sup> international conference on Antennas and Propagation, No.480, pp.231-235, April 2001.
- [10] P. W. Wolniansky, G. J. Foschini, G. D. Golden, and R. A. Valenzuela, "V-BLAST : An Architecture for Realizing Very High Data Rates Over the Rich-Scattering Wireless Channel," ISSSE'98, pp.295-300, 1998.
- [11] 3GPP2 C.P9010, "Draft baseline text for the physical layer portion of the 1X EV specification," pp. 9-78, August 2000.
- [12] I. T. Hwang, J. Y. Son, S. K. Hahn, M. G. Kang, Y. H. You, and C. E. Kang, "Improvement of AMC-MIMO multiplexing systems with selection transmit diversity techniques," IEICE Trans. on Commun., vol.E87-B, no.6, pp.1684-1687, June 2004.

황 인 태 (Intae Hwang)

정회원



1990년 2월 전남대학교 전자공학과 학사  
1992년 8월 연세대학교 전자공학과 석사  
1999년 9월~2004년 2월 연세대학교 전기전자공학과 박사  
1992년 8월~2006년 2월 LG전자

책임연구원  
2006년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

강 민 구 (Mingoo Kang)

정회원



1986년 2월 연세대학교 전자공학과 학사  
1989년 2월 연세대학교 전자공학과 석사  
1994년 2월 연세대학교 전기전자공학과 박사  
1994년 3월~2000년 8월 호남대학교

정보통신공학과 교수  
1985년 12월~1987년 2월 삼성전자 통신연구소 연구원  
1997년 8월~1998년 2월 (일)오사카대학 통신공학과 Post Doc.  
2000년 9월~현재 한신대학교 정보통신학과 교수