

전송률 향상 및 SNR 개선을 위한 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 AMC-MIMO 결합시스템

The Combined AMC-MIMO System with Optimal Turbo Coded V-BLAST Technique to Improve Throughput and SNR

류상진* 이경환** 최광욱*** 이근홍**** 황인태***** 김철성*****
Sang-Jin Ryoo Kyung-Hwan Lee Kwang-Wook Choi Keun-Hong Lee In-Tae Hwang Cheol-Sung Kim

요약

본 논문에서는 V-BLAST (Vertical-Bell-Lab Layered Space Time) 복호 알고리즘의 ordering과 slicing 과정에 사전 확률로서 사용되는 MAP 디코더의 외부 정보를 이용한 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 적응 변조 시스템을 제안 후 성능을 관찰한다. 채널 상태에 따라 변조 방식을 달리하는 적응 변조 시스템을 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 시스템과 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 시스템에 각각 적용하고 전송률 및 SNR을 비교하여 제안된 시스템을 적용할 경우 어느 정도의 성능 개선이 있는가를 살펴본다. 또한, 제안된 시스템에 선택적 전송 다이버시티 (STD : Selection Transmit Diversity) 기법을 적용한 후 성능의 향상을 관찰한다. 모의 실험결과, 적응 변조 시스템에서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우가 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비하여 전체적인 SNR 영역에서 SNR 이득이 나타났고 11dB의 SNR에서 최대 약 350Kbps의 전송률 향상이 나타났다. 또한 제안된 시스템에 선택적 전송 다이버시티가 적용된 경우에는 기존 시스템과 비교하여 같은 SNR 영역에서 최대 약 1.77Mbps의 전송률이 개선되었으며, 특히 4Mbps의 전송률 성능을 만족시키기 위한 SNR 성능에서는 약 5.88dB의 이득을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose and observe the Adaptive Modulation system with optimal Turbo Coded V-BLAST (Vertical-Bell-Lab Layered Space-Time) technique that is applied the extrinsic information from MAP Decoder in decoding Algorithm of V-BLAST: ordering and slicing. And comparing the proposed system with the Adaptive Modulation system using conventional Turbo Coded V-BLAST technique that is simply combined V-BLAST with Turbo Coding scheme, we observe how much throughput performance and SNR has been improved. In addition, we show that the proposed system using STD (Selection Transmit Diversity) scheme results in an improved result. By using simulation and comparing to conventional Turbo Coded V-BLAST technique with the Adaptive Modulation systems, the optimal Turbo Coded V-BLAST technique with the Adaptive Modulation systems has SNR gain over all SNR range and better throughput gain that is about 350Kbps in 11dB SNR range. Also, comparing with the conventional Turbo Coded V-BLAST technique using 2 transmit and 2 receive antennas, the proposed system with STD scheme show that the improvement of maximum throughput is about 1.77Mbps in the same SNR range and the SNR gain is about 5.88dB to satisfy 4Mbps throughput performance.

Keyword : AMC, Turbo Code, V-BLAST, MAP Decoder, Iterative Decoding

1. 서론

고품질 멀티미디어 서비스의 수요 증대로 인해

* 정 회 원 : 전남대학교 전자공학과 박사과정
signal-ds@nate.com

** 준 회 원 : 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과
석사과정, signal-ds@nate.com

*** 준 회 원 : 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과
석사과정, kwangwooke@hanmail.net

**** 정 회 원 : 한영대학 컴퓨터미디어학과 교수
khlee@hanyeong.ac.kr

***** 정 회 원 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
hit@chonnam.ac.kr

***** 정 회 원 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
chskim@chonnam.ac.kr

[2007/03/05 투고 - 2007/03/30 심사 - 2007/06/11 심사완료]

차세대 이동통신 시스템에서 데이터의 전송률 향상은 핵심과제로 떠오를 전망이다. 이를 위한 방안으로서, 다중 송·수신 안테나를 이용한 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 기법과 적응 변조 및 부호화 기법 (AMC : Adaptive Modulation and Coding)의 활발한 연구가 진행 중이다.

MIMO 기법은 송·수신 양단에 다중안테나를 사용함으로써 한정된 주파수 자원 내에서 채널 용량을 증대시켜 전송률을 향상시킨다. 이는 BER 성능을 강조한 MIMO 다이버시티 기법과 전송률 향상을 강조한 MIMO 멀티플렉싱 기법으로 분류된다[1][2]. AMC 기법은 채널 상태의 추정을 통해 적절한 변조방법 및 코딩율을 선택하여 데이터 품질을 보장할 뿐만 아니라 데이터 전송률을 향상시킨다[3]. 따라서 이러한 기법들을 연구하고 최적의 결합 시스템을 설계 및 적용함으로써 차세대 이동통신 시스템의 구현을 위한 고품질 및 고속의 데이터 전송을 지원할 수 있다. 최적의 시스템 결합을 위해 AMC 기법과 결합되는 MIMO 시스템 기법으로는 각각 STD 기법과 V-BLAST 기법[4] 및 터보 부호화 기법[5]을 고려한다. STD 기법은 총 송신 안테나 중 양호한 상태의 안테나를 선택하여 정보를 송신하는 기법으로 다이버시티 이득 및 SNR 개선효과를 갖는다. 터보 부호화 기법은 반복 체계의 병렬로 연결된 길쌈 코드의 구조를 이루고 APP (A Posteriori Probability) 알고리즘을 사용하여 구성하는 코드 간에 반복적으로 디코딩 된다[6].

본 논문에서는 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 적응 변조 시스템을 제안하고 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 적응 변조 시스템과 전송률 성능을 비교 및 분석한다. 그리고 제안된 시스템에 4개의 송신 안테나에서 2개의 안테나를 선택하는 STD 기법을 사용하여 최종적인 전송률의 성능 개선을 확인한다[7].

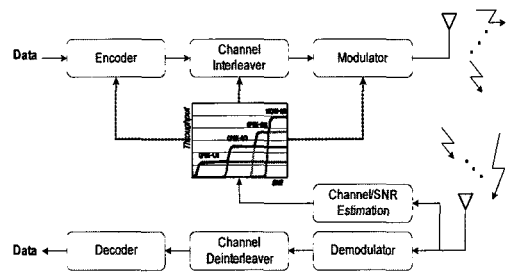
2. AMC 기법과 STD 기법, V-BLAST

기법 및 터보 부호화된 V-BLAST 반복 디코딩을 사용한 시스템의 구조 및 특성

2.1. AMC 기법의 구조 및 특성

AMC 기법의 구조는 그림 1과 같고 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 SNR 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.

AMC 기법은 채널 상태에 따라 전송률과 에러율 성능의 절충 관계를 감안하여 적절한 MCS 레벨을 선택함으로써 전체적인 시스템 전송률과 전송 품질의 향상을 도모한다.



(그림 1) AMC 시스템의 구조

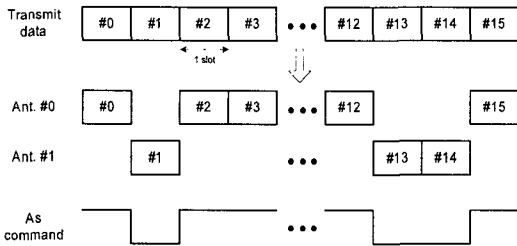
2.2 선택적 전송 다이버시티의 구조 및 특성

2개의 전송 안테나 중에서 채널 상태가 더 양호한 안테나로 선택적 전송을 수행하는 STD 기법은 그림 2와 같은 패턴으로 전송된다.

STD 기법은 수신 단말기에서 각 전송 안테나와 수신 안테나 간의 채널 상태를 측정된 뒤, 가장 상태가 좋다고 판단되는 채널의 송신 안테나

를 선택하는 궤환 정보를 송신 기지국에 전달한다. 이 정보를 받은 기지국은 선택된 안테나만으로 데이터를 전송한다.

STD 기법을 사용하여 얻어지는 다이버시티 효과는 각 채널 상태를 추정하여 가장 양호한 환경의 전송 안테나를 선택하게 되는 것이다.

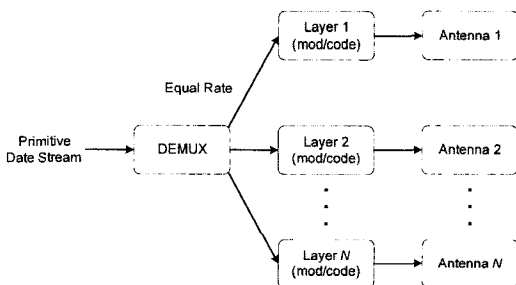


(그림 2) 선택적 전송 다이버시티 전송 구조

2.3 V-BLAST의 구조 및 특성

MIMO 멀티플렉싱 범주에 속하는 BLAST 기법은 D-BLAST 기법과 V-BLAST 기법의 두 형태로 분류된다. 먼저 제안된 구조는 D-BLAST 기법이지만 실제 구현이 어렵고 복잡도가 큰 단점이 있다. 이를 보다 단순화하기 위한 방안으로 V-BLAST 기법이 제안되었다. 그림 3에 V-BLAST 기법의 송신 단 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 안테



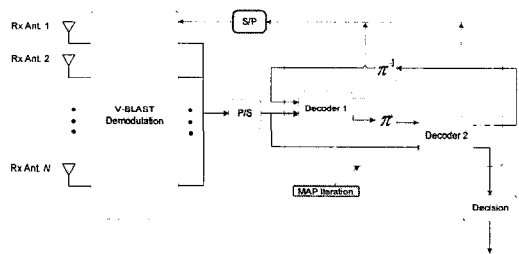
(그림 3) V-BLAST의 송신 단 구조도

나로 수신된 레이어 신호들은 서로에게 간섭으로 작용하여 시스템 성능의 열화를 유발한다. 따라서 수신 단은 nulling과 canceling을 수행하여 다른 레이어에서 전송된 심볼에 의한 간섭을 제거한다.

2.4 반복 디코딩을 사용한 터보 부호화된 V-BLAST 시스템의 구조 및 특성

그림 4는 터보 부호화된 V-BLAST 시스템의 디코더 구조를 보여주고 있다. 이 터보 부호화된 V-BLAST 기법은 병렬로 연결된 컨볼루션 코드로 부호화된 V-BLAST 시스템이다. 이 시스템에서, 디코딩 된 결과 값들은 채널 인터리빙 되고 V-BLAST 디코더로 사전 확률로써 귀납적으로 피드백 된다. SISO (Soft Input Soft Output) 모듈이 채널 디코더에 적용될 때, 디코더는 비트 확률과 코드워드 확률을 제공한다. 이 코드워드 확률은 V-BLAST 디코딩에서 사전 확률로 사용된다. 이러한 과정은 반복적으로 수행된다.

이 귀납 기법에서, 디코더 1과 디코더 2에서 나온 코드워드 확률들은 V-BLAST 디코더와 연결된 다른 디코더에서 외부 정보로써 사용된다.



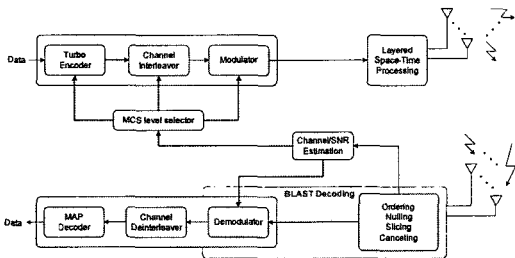
(그림 4) 반복 디코딩을 사용한 터보 부호화된 V-BLAST 시스템의 디코더 구조

3. 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들

3.1 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템

그림 5은 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 송·수신 단 구조를 나타낸 것이다. 전송할 데이터는 AMC 기법의 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 ordering, nulling, slicing, 그리고 canceling의 반복 구조로 이루어져 있다[8][9]. 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템에서, 각 송신 안테나는 다른 SNR을 갖는다. 따라서 각 안테나의 SNR에 따라 MCS 레벨을 고려해야 한다.

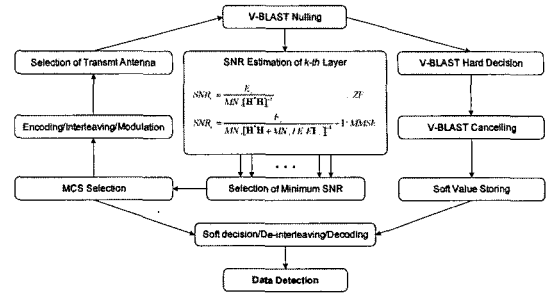
본 논문에서 구현된 시스템은 최소 SNR 기준을 적용하였다. 이는 다른 기준을 적용하는 경우, SNR이 상대적으로 채널 환경이 열악한 레이어마저도 고차의 변조 방식 및 높은 코드율을 갖는 MCS 레벨이 선택되기 때문이다. 이로 인하여 에러가 발생할 확률이 증가되고, 전체적인 전송률 성능의 열화가 일어날 가능성이 있다.



(그림 5) 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 송·수신 단 구조

기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템에서 수행되는 동작 과정은 그림 6과 같이 정리될 수 있다.

일반적으로 V-BLAST 기법의 Nulling 과정은 MMSE 기법 또는 ZF 기법의 두 가지 방식이 사용된다. 검파 과정에서 어떠한 순서로 여러 송신 안테나의 심볼을 검출할 것인가는 매우 중요한



(그림 6) 기존의 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 동작 과정

고려 대상이다. 일반적으로 SNR이 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. 또한 기존의 V-BLAST 구조에 변화가 생기게 되는데, 이는 AMC 기법과 V-BLAST 기법이 결합되면서 터보 디코딩 과정이 고려되었기 때문이다. 즉, 터보 디코딩을 위하여 V-BLAST의 경평정된 값 대신 연판정 결과가 디코딩 단계에 입력되는 것이다[11].

3.2 최적의 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템

이 절에서는 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 구조를 제안한다. 그림 7은 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 송·수신 단 구조를 보여준다. 3.1절의 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템과 비교하여 다른 점은 MAP 디코더로부터의 외부 정보를 V-BLAST의 두 디코딩 과정인 ordering과 slicing에 사전 확률로 이용하고 이를 반복적으로 수행한다는 것이다. 이 과정을 본 논문에서 Main MAP Iteration으로 정의한다. 또한 이 과정이 수행될 때 마다, MAP 디코더의 내부적인 반복 디코딩은 두 번 수행되는데 이 과정을 본 논문에서

Sub MAP Iteration 으로 정의하였다.

제안된 시스템은 M 개의 송신 안테나와 N 개의 수신 안테나를 고려하고, 각 송신 채널은 플랫 레일리 페이딩 채널 환경을 가정한다. V-BLAST 수신기에 수신된 신호는 아래와 같이 정의한다.

$$X=Hs + n \quad (1)$$

여기서 $X=[x_1, \dots, x_N]^T$ 는 수신 심볼 벡터, $s=[s_1, \dots, s_M]^T$ 는 송신 심볼 벡터, H는 NXM 채널 행렬이고, $n=[n_1, \dots, n_N]^T$ 는 잡음 벡터이다. T는 전치 행렬(transpose matrix)을 나타낸다. 잡음 벡터는 복소 가우시안 랜덤 잡음이라 가정한다. Q는 심볼 당 비트 수로 정의할 때, s_m 은 m 번째 2^Q 진 변조된 심볼이다.

즉, $s_m = f(d_1^m, \dots, d_Q^m) \in \Phi = \{\phi_1, \dots, \phi_{2^Q}\}$ 이다. 여기서 $\{d_q^m\}_{q=1, \dots, Q}$ 는 s_m 에 대응하는 q 번째 정보비트 (information bit), $f(\cdot)$ 는 심볼 변조 함수이고, $\{\phi_i\}_{i=1, \dots, 2^Q}$ 는 i 번째 심볼을 나타낸다.

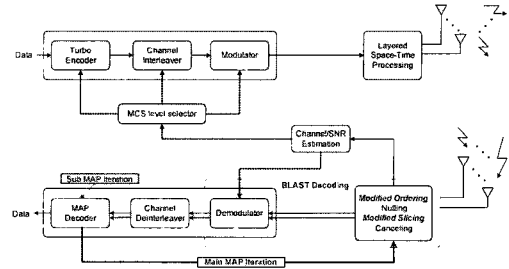
제안된 slicing 알고리즘은 수신된 신호를 평균 정하지 않고 MAP 디코더에서 나온 신뢰도가 높은 외부 정보를 적용해서 판정함으로써 더 정확한 판정이 이루어지도록 한다. MAP 디코더에서 나온 외부 정보는 로그 가능성비 함수이고, 아래와 같이 정의된다.

$$L_{m,q} = \log \frac{P(d_q^m=1)}{P(d_q^m=0)} \quad (2)$$

여기서 $L_{m,q}$ 는 d_q^m 에 대응하는 외부 정보이다.

기존의 ordering은 각 레이어에 대응하는 SNR 값에 의존해서 디코딩 순서를 결정하고, 아래와 같이 정의된다.

$$l_k = \arg \min_m \| (H_k^+) \|_m^2 \quad (3)$$



(그림 7) 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템

여기서 k는 디코딩 단계, n는 유사-역원 행렬을 나타낸다. SNR 값은 채널 전력의 함수이고, 가장 큰 채널 전력을 갖는 레이어가 가장 먼저 디코딩 된다. 높은 SNR 값은 심볼 에러 확률이 낮다는 것을 의미한다. 여기서 높은 SNR 값을 찾는 이론 대신에, 최소 심볼 에러 확률을 찾는 이론으로 대체할 수 있다.

제안된 ordering 알고리즘은 심볼 에러 확률이 SNR 값 뿐 만 아니라 외부 정보의 함수이다. 따라서 수식 (3)은 아래와 같이 수정된다.

$$l_k = \arg \min_m P_m(dX_k, H_k, L_m^{(j)}) \quad (4)$$

여기서 $L_m^{(j)} = [L_{m,1}^{(j)}, \dots, L_{m,Q}^{(j)}]^T$ 이고, 이는 Main MAP Iteration이 (i)인 m 번째 레이어의 외부 정보 벡터를 뜻한다. $P_m(dX_k, H_k, L_m^{(j)})$ 는 m번째 레이어의 심볼 에러 확률이다. 이 심볼 에러 확률은 아래와 같이 계산된다.

$$P_m(dX_k, H_k, L_m^{(j)}) = \frac{1}{2^Q} \sum_{q=1}^{2^Q} \sum_{p=1, p \neq q}^{2^Q} P(\phi_q | L_m^{(j)}) P(\phi_p | X_k, H_k, L_m^{(j)}) \quad (5)$$

여기서 $P(\phi_q | \phi_p | X_k, H_k, L_m^{(j)})$ 는 결재 심볼 에러 확률, ϕ_q 는 원래의 송신 심볼, ϕ_p 는 원래의 송신 심볼을 제외한 가능한 심볼을 나타내고, 아

래와 같은 식으로 계산된다.

$$\begin{aligned}
 & P\{\phi_q - \phi_p | X_k, H_k, L_m^{(i)}\} \\
 &= P\{f(\phi_q | y_m) < f(\phi_p | y_m)\} \\
 &= P\{\log f(\phi_q | y_m) < \log f(\phi_p | y_m)\}
 \end{aligned} \tag{6}$$

여기서 y_m 은 m 번째 레이어로부터 수신한 심볼이다. 수식 (6)에서 로그 사후 확률 함수 (log posteriori function)는 심볼이 ϕ_j 이고, m 번째 레이어에 대응하는 잡음의 분산이 $\sigma_m^2/2$ 일 때, 아래와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 \log f(\phi_j | y_m) &= \log \frac{f(\phi_j | L_m^{(i)}) f(y_m | \phi_j)}{f(y_m)} \\
 &= \log f(\phi_j | L_m^{(i)}) + \frac{\text{Re}\{(\phi_j - \phi)(2y_m - (\phi_j + \phi))^*\}}{2\sigma_m^2}
 \end{aligned} \tag{7}$$

여기서 ϕ 는 원래의 송신 심볼, * 는 켈레복소수 (complex conjugate)를 나타낸다.

순차적 간섭 제거 방식을 사용하는 기존의 ordering 알고리즘은 첫 단계에 에러가 발생할 경우에 오류 전파로 인한 시스템 성능이 저하되는 단점이 있으나, 제안된 ordering 알고리즘은 첫 단계에 에러를 최소로 하는 이론으로 대처함으로써 오류 전파를 막고, 궁극적으로 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

4. 모의 실험 결과

4.1 MCS 레벨과 모의 실험 파라미터

MCS 레벨 선택 기준과 실험 환경 파라미터는 표 1과 2에 각각 나타내었다. 표 1의 상세 파라미터는 1X EV-DO 표준안을 근거로 설정하였다[10].

본 모의 실험에서 한 프레임을 한 전송 슬롯으로 설정하였고, 프레임 길이는 2048 심볼로 설정하였다. 한 프레임 내에서 한 비트라도 에러가 발생하는 경우, 프레임 에러가 발생하는 것으로 간

(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

주한다. 전송률은 프레임 에러가 발생하지 않았을 경우, V-BLAST 기법이 적용됐기 때문에 “비트 수 * 데이터율 * 송신 안테나 수”로 계산되었다. 전송률 성능은 FER 성능과 밀접한 관련이 있다고 볼 수 있다. 따라서 전송률 측면에서 성능 분석은 에러 확률 측면에서 성능 분석을 내포한다.

또한 본 모의 실험은 “Visual C”를 이용하여 이루어 졌고, 성능 그래프는 “Harvard Graphics”를 이용하여 나타내었다.

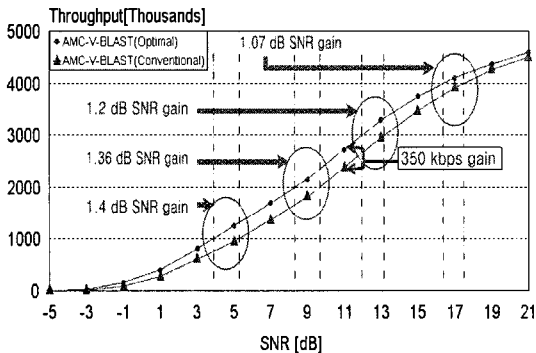
(표 2) 실험 파라미터

Parameter	Value
변조 방식	QPSK, 8PSK, 16QAM
코드율	1/2, 2/3
터보코딩기법	PCCC (Parallel Concatenated Convolution Code)
기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 MAP Iteration	4
최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 Main MAP Iteration	4
최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 Sub MAP Iteration	2
송신안테나 수	2, 4
수신안테나 수	2
채널	Flat Rayleigh fading

4.2 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 성능

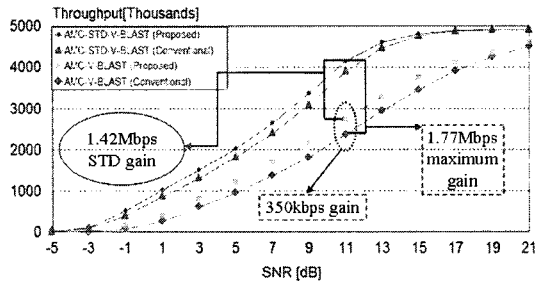
송·수신 안테나가 각각 2 개이고, 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들을 살펴보면 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비하여 각 MCS 레벨에 대해서 전송률 성능 향상이 나타난다. 여기서 'Optimal'은 적응 변조 시스템에서 V-BLAST의 두 디코딩 과정인 ordering과 slicing에 사전 확률로 사용하기 위해서 반복 디코딩을 사용한 MAP 디코더의 외부 정보를 이용한 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우이고, 'Conventional'은 간단하게 V-BLAST 기법과 터보 부호화 기법이 결합된 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우이다.

그림 8은 송·수신 안테나가 각각 2 개이고, 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 SNR 이득 및 전송률 성능을 나타낸다. 여기서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에는 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비하여 전체적으로 약 1.07dB ~ 1.4dB의 SNR 이득을 보이고 있다. 또한 약 9dB ~ 13dB의 SNR 구간에서 300Kbps 이상의 전송률 성능 향상을 보이며 특히, 11dB에서 최대 약 350Kbps의 전송률 성능이 나타났다.



(그림 8) 송·수신 안테나가 각각 2개인 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 SNR 이득 및 전송률 성능

그림 9는 2x2 MIMO, 4-2x2 MIMO 기법에 따른 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템들의 전송률 성능을 보여주고 있다. 선택적 전송 다이버시티를 적용한 시스템은 다이버시티 이득을 얻기 때문에 SNR이 개선된다. 이로 인해 에러 확률이 감소되어 상대적으로 높은 데이터율을 갖는 MCS 레벨을 선택할 확률이 증가하고, 궁극적으로 전송률 성능 향상이 나타난다.



(그림 9) 2x2 MIMO, 4-2x2 MIMO 기법에 따른 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템들의 전송률 성능

(표 3) 제안된 시스템의 SNR 이득

데이터율 (Kbps)	2x2/Optimal (dB)	STD/Optimal (dB)	SNR gain
1000	4	0.88	3.12
2000	9.04	4.84	4.2
3000	11.92	7.96	3.96
4000	16.48	10.6	5.88

따라서 제안된 시스템에서 선택적 전송 다이버시티를 적용한 경우와 송·수신 안테나가 각각 2 개인 경우를 비교할 때, 표 3과 같은 SNR 이득과 함께 전송률 성능의 개선이 나타남을 알 수 있다. 4Mbps의 전송률 성능을 만족시키기 위한 SNR은 약 5.88dB의 이득을 보였고, 특히 11dB SNR에서는 약 1.42Mbps 전송률 향상이 나타남을 확인할

수 있다. 실험 결과, 선택적 전송 다이버시티를 적용할 경우에 전 SNR 영역에 걸쳐 전송률 성능이 개선됨을 확인할 수 있고 이것은 최근 연구 결과를 고려해 볼 때 주목할 만한 성능 개선이다 [12].

모의 실험 결과를 종합해 볼 때, 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들에서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우가 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비해 더 높은 전송률 성능을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 선택적 다이버시티를 적용한 제안된 시스템이 송·수신 안테나가 각각 2인 기존의 시스템에 비하여 전 SNR 영역에서 전송률이 향상되었다. 특히, 11dB SNR 에서 약 1.77Mbps의 최대 전송률이 향상됨을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 순방향 링크에서의 SNR 이득 및 전송률 향상을 위해 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템을 구현하였다. 그리고 구현된 시스템의 성능에 관하여 고찰하고 비교 분석 하였다. 모의 실험 결과, 적응 변조 및 부호화 기법과 V-BLAST 기법을 적용함으로써 최대 전송률은 증가되지만 신호 대 잡음 비가 낮은 환경에서는 전송률 증가량이 매우 적었다. 그러나 신호 대 잡음 비가 어느 정도 증가함에 따라 V-BLAST 특성이 정상적으로 나타났고 이때, 선택적 전송 다이버시티 기법을 적용한 경우 전송률의 증가 폭이 더욱 커짐을 확인하였다.

적응 변조 시스템에서 V-BLAST의 두 디코딩 과정인 ordering과 slicing에 사전 확률로 사용하기 위하여 반복적인 디코딩을 이용하는 MAP 디코더의 외부 정보가 적용된 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우와 간단하게 V-BLAST 기법과 터보 부호화 기법이 결합된 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경

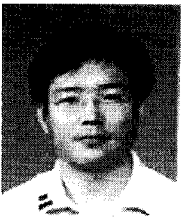
우를 비교해 볼 때, 실험 결과는 적응 변조 시스템에서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우 전송률 성능 향상을 확인할 수 있었다. 또한 제안된 시스템에 선택적 전송 다이버시티 기법이 적용된 경우 더욱 성능이 향상됨을 볼 수 있었다. 모의 실험 결과, 적응 변조 시스템에서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우가 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비해 전체적인 SNR 영역에서 SNR 이득이 나타났고, 11dB SNR 에서는 최대 약 350Kbps의 전송률 향상을 보였다. 특히, 선택적 전송 다이버시티가 적용된 제안된 시스템은 송·수신 안테나가 각각 2개인 기존의 시스템에 비하여 11dB SNR에서 약 1.77Mbps의 최대 전송률 향상을 보였으며 4Mbps의 전송률 성능을 만족시키기 위한 SNR 측면에서는 약 5.88dB의 이득을 보였다.

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] S. Benedetto and G. Montorsi, "Unveiling

- Turbo Codes: some results on parallel concatenated coding schemes," IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. 42, pp. 409-429, Mar. 1996.
- [6] S. Benedetto, D. Divsalar, G. Montorsi and F. Pollara, "A soft-input soft-output maximum a posteriori(MAP) module to decode parallel and serial concatenated codes," JPL, TDA Progress Rep. 42-126, Aug 1996.
- [7] M. Sandell, "Analytical analysis of transmit diversity in WCDMA on fading multipath channels," PIMRC99 September, Vol.2, pp.946-950, 1999.
- [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] 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.
- [10] 3GPP2 C.P9010, "Draft baseline text for the physical layer portion of the 1X EV specification," pp. 9-78, August
- [11] Hozun SUNG, Jee Woong KANG, Kwang Bok Lee, "A Simplified Maximum Likelihood Detection for MIMO Systems," IEICE TRANS. COMMUN., VOL. E89-B, NO.8, pp2241-2244. AUGUST 2006
- [12] Ikko Alattosava, Antti Tolli and Juha Ylitalo, "Performance Evaluation of Multi-Antenna Communications with Adaptive Modulation in Cellular Environments," Proceedings of the 2005 Finnish Signal Processing Symposium - FINSIG'05, August 25, 2005, Kuopio, Finland, pp66-70

○ 저 자 소 개 ○



류 상 진(Sang-Jin Ryoo)

1991년 2월 : 전남대학교 전자공학과 학사
 1994년 2월 : 전남대학교 전자공학과 석사
 1999년 3월~현재 : 전남대학교 전자공학과 박사과정
 관심분야 : MIMO System, OFDM, AMC, WCDMA
 E-mail: sjryoo@hanyeong.ac.kr



이 경 환(Kyung-Hwan Lee)

2005년 8월 : 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 학사
 2005년~현재 : 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정
 관심분야 : MIMO, Turbo Coding, LDPC
 E-mail : signal-ds@nate.com



최 광 옥 (Kwang-Wook Choi)

2005년 8월 : 전남대학교 정보통신공학부 학사
2005년~현재 : 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정
관심분야 : 디지털통신, MIMO, OFDM, 무선랜, Wibro
E-mail : kwangwooke@hanmail.net



이 근 흥 (Keun-Hong Lee)

1986년 조선대학교 전산기공학과 학사
1999년 순천대학교 대학원 컴퓨터교육학과 석사
2007년 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사과정
2000년~현재 한영대학 컴퓨터미디어학과 교수
관심분야 : 컴퓨터그래픽, 컴퓨터 통신, 무선랜
E-mail : khlee@hanyeong.ac.kr



황 인 태 (In-Tae Hwang)

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
관심분야 : AMC, MIMO, Turbo Coding, OFDM, LDPC
E-mail : hit@chonnam.ac.kr



김 철 성 (Cheol-Sung Kim)

1977년 2월 : 서울대학교 전자공학 학사
1979년 2월 : 서울대학교 전자공학 석사
1987년 Univ. of Arizona 전자공학 박사
1973년 3월~1977년 2월 : 국방 과학 연구소 연구원
1977년 3월~1979년 2월 : 대우 중공업 기술연구소 대리
1987년 11월~1989년 3월 : 한국전자통신연구원
1989년 3월~현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 이동통신, 디지털통신, MIMO, OFDM, RFID
E-mail : chskim@chonnam.ac.kr