

논문 2007-44TC-6-6

# 적응 변조 시스템에서 각 MIMO 기법에 따른 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법

( The Optimal Turbo Coded V-BLAST Technique in the Adaptive Modulation System corresponding to each MIMO Scheme )

이 경 환\*, 류 상 진\*, 최 광 욱\*, 유 철 우\*\*, 홍 대 기\*\*\*, 김 대 진\*, 황 인 태\*, 김 철 성\*

( Kyung-Hwan Lee, Sang-Jin Ryoo, Kwang-Wook Choi, Cheol-Woo You, Dae-Ki Hong, Dae-Jin Kim, In-Tae Hwang, and Cheol-Sung Kim )

## 요 약

본 논문에서는 V-BLAST (Vertical-Bell-lab Layered Space Time) 복호 알고리즘의 ordering과 slicing 과정에 MAP (Maximum A Posteriori) 디코더의 외부 정보 (extrinsic information)를 이용한 최적의 터보 부호화된 (Optimal Turbo Coded) V-BLAST 적응 변조 시스템을 제안 후 성능을 관찰한다. 또한, 적응 변조 시스템에서 간단하게 V-BLAST 시스템과 터보 부호화 (Turbo Coding) 기법이 결합된 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우와 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법에서 V-BLAST 디코딩 알고리즘 대신 ML (Maximum Likelihood) 디코딩 알고리즘을 적용한 경우에 비교하여 전송률 (throughput) 성능과 복잡도를 살펴본다. 게다가, MIMO (Multiput-Input-Multiple-Output) 기법을 적용하여 제안된 시스템의 성능 개선을 확인한다. 모의 실험 결과, 제안된 디코딩 알고리즘은 ML 디코딩 알고리즘에 비해 복잡도가 낮으나, 기존의 시스템에 비해 복잡도가 높다. 하지만, 성능 개선 측면에서 제안된 시스템의 전송률 성능은 기존의 시스템에 비하여 전 신호 대 잡음 비(SNR: Signal to Noise Ratio) 구간에서 우수하고, ML 디코딩 알고리즘을 적용한 기존 시스템의 전송률 성능에 거의 근접함을 보인다. 특히, 실험 결과는 각 MIMO 기법에서 제안된 시스템이 기존의 시스템에 비하여 각각 최대 350 kbps, 460 kbps, 740 kbps의 전송률 성능 개선을 보여주었고, 이것은 제안된 디코딩 알고리즘의 효과가 송·수신 안테나의 수가 증가할수록 커진다는 것을 의미한다.

## Abstract

In this paper, we propose and analyze the Adaptive Modulation System with optimal Turbo Coded V-BLAST (Vertical-Bell-lab Layered Space-Time) technique that adopts the extrinsic information from MAP (Maximum A Posteriori) Decoder with Iterative Decoding as a priori probability in two decoding procedures of V-BLAST; the ordering and the slicing. Also, we consider and compare the Adaptive Modulation System using conventional Turbo Coded V-BLAST technique that is simply combined V-BLAST with Turbo Coding scheme and the Adaptive Modulation System using conventional Turbo Coded V-BLAST technique that is decoded by the ML (Maximum Likelihood) decoding algorithm. We observe a throughput performance and a complexity. As a result of a performance comparison of each system, it has been proved that the complexity of the proposed decoding algorithm is lower than that of the ML decoding algorithm but is higher than that of the conventional V-BLAST decoding algorithm. however, we can see that the proposed system achieves a better throughput performance than the conventional system in the whole SNR (Signal to Noise Ratio) range. And the result shows that the proposed system achieves a throughput performance close to the ML decoded system. Specifically, a simulation shows that the maximum throughput improvement in each MIMO scheme is respectively about 350 kbps, 460 kbps, and 740 kbps compared to the conventional system. It is suggested that the effect of the proposed decoding algorithm accordingly gets higher as the number of system antenna increases.

**Keywords :** AMC, Turbo Code, V-BLAST, MIMO, Iterative Decoding

\* 정희원, 전남대학교 전자컴퓨터공학부(Dept. of Electronics & Computer Eng. Chonnam National University)

\*\* 정희원, 명지대학교 통신공학과(Dept. of Communication Eng. Myongji University)

\*\*\* 정희원, 상명대학교 정보통신공학과(Dept. of I & T Eng. Sangmyoung University)

접수일자: 2007년3월28일, 수정완료일: 2007년6월7일

## I. 서 론

고품질 멀티미디어 서비스의 수요 증대로 인해 차세대 이동통신 시스템에서 데이터의 전송률 향상은 핵심 과제로 떠오를 전망이다. 이를 위한 방안으로서, 다중 송수신 안테나를 이용한 MIMO 기법과 적응 변조 및 부호화 기법 (AMC : Adaptive Modulation and Coding) 의 활발한 연구가 진행 중이다. MIMO 기법은 송수신 양단에 다중안테나를 사용함으로써 한정된 주파수 자원 내에서 채널 용량을 증대시켜 전송률을 향상시킨다. 이는 BER (Bit Error Rate) 성능을 강조한 MIMO 다이버시티 기법과 전송률 향상을 강조한 MIMO 멀티플렉싱 기법으로 분류된다<sup>[1][2]</sup>. 적응 변조 부호화 기법은 채널 상태의 추정을 통해 적절한 변조방법 및 코딩률을 선택하여 데이터 품질을 보장할 뿐만 아니라 데이터 전송률을 향상시킨다<sup>[3][4]</sup>. 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 적응 변조 및 부호화 기법과 결합되는 MIMO 시스템 기법으로는 V-BLAST 기법<sup>[5][6]</sup>과 터보 부호화 기법<sup>[7][8]</sup>을 고려한다. 터보 부호화 기법은 반복 체계의 병렬로 연결된 컨볼루션 코드 (convolutional code) 의 구조를 이루고 사후 확률 (APP : A Posteriori Probability) 알고리즘을 사용하여 구성하는 코드 간에 반복적으로 디코딩 된다<sup>[9][10]</sup>.

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 2개의 송·수신 안테나를 사용하는 2×2 MIMO 기법을 적용하고, 더욱 향상된 전송률 성능을 위하여 4개의 송신 안테나에서 2개의 안테나를 선택하는 선택적 다이버시티 기법이 적용된 4-2×2 MIMO 기법<sup>[11]</sup>, 4개의 송·수신 안테나를 사용하는 4×4 MIMO 기법, 그리고 8개의 송·수신 안테나를 사용하는 8×8 MIMO 기법을 각각 적용하여 최종적인 전송률의 성능 개선을 확인한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 기존과 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 적응 변조 시스템들의 송·수신 단 구조를 보이고 시스템 구현에서 고려해야 할 사항들에 대한 분석을 수행한다. III장에서는 컴퓨터 모의실험을 통하여 터보 부호화된 V-BLAST 기법에 따른 적응 변조 시스템의 각 디코딩 알고리즘 복

잡도와 전송률 성능 비교 및 분석을 수행한다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

## II. 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들

### 1. 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템

그림 1은 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 송수신 단 구조를 나타낸 것이다. 전송할 데이터는 적응 변조 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 ordering, nulling, slicing, 그리고 canceling의 반복 구조로 이루어져 있다<sup>[12][13]</sup>.

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 레이어 마저도 고차의 변조 방식 및 높은 코드율을 갖는 MCS 레벨이 선택되기 때문이다. 이로 인하여 에러가 발생할 확률이 증가되고, 전체적인 전송률 성능의 열화가 일어날 가능성이 있다.

기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템에서 수행되는 동작 과정은 그림 2와 같이 정리될 수 있다. 일반적으로 V-BLAST 기법의 Nulling 과정은 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 SNR이 가장 큰 심볼을 먼저 검파하여 제거하는 법칙을 사용한다. 즉, 좋은 환경을 거친 심볼이 가장 정확히 검출될 가능성이 농후하므로 이를 먼저 검출, 제거하여 다른 심볼에 대한 오차의 영향을 최소화하는 것이다. 또한 기존의 V-BLAST 구조에 변화가 생기게 되는데, 이는 적응 변조 및 부호화와 V-BLAST가 결합되면서 터보 디코딩 과정이 고려되었

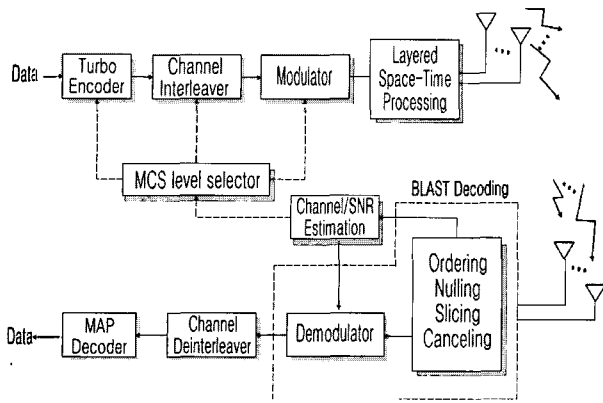


그림 1. 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 송수신 단 구조

Fig. 1. Transmitter-receiver structure of the Adaptive Modulation System with conventional Turbo Coded V-BLAST technique.

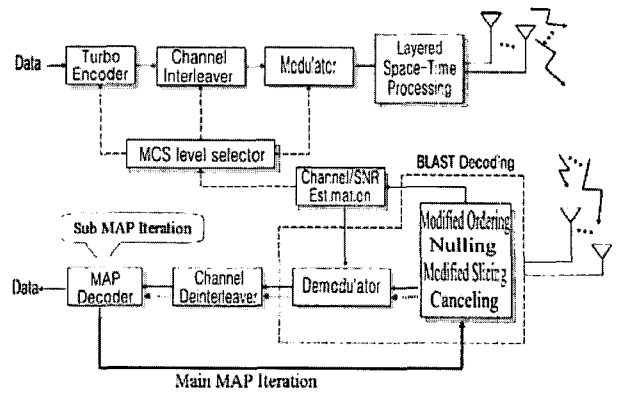


그림 3. 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템

Fig. 3. Transmitter-receiver structure of the Adaptive Modulation System with optimal Turbo Coded V-BLAST technique.

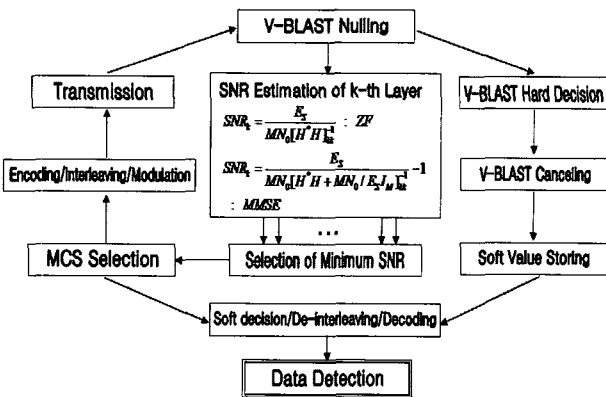


그림 2. 기존의 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 동작 과정

Fig. 2. Operation process of the Adaptive Modulation System with conventional Turbo Coded V-BLAST technique.

기 때문이다. 즉, 터보 디코딩을 위하여 V-BLAST의 경관정된 값 대신 연관정 결과가 디코딩 단계에 입력되는 것이다.

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 3은 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 송수신 단 구조를 보여준다. II.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 이

를 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 Iteration으로 정의하였다.

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

$$X = Hs + n \tag{1}$$

여기서  $X = [x_1, \dots, x_N]^T$  는 수신 심볼 벡터 (received symbol vector),  $s = [s_1, \dots, s_M]^T$  는 송신 심볼 벡터 (transmitted symbol vector), H는 NXM 채널 행렬 (channel matrix)이고,  $n = [n_1, \dots, n_N]^T$  는 잡음 벡터 (noise vector)이다. T는 전치 행렬 (transpose matrix)을 나타낸다. 잡음 벡터는 복소 가우시안 랜덤 잡음 (complex Gaussian random noise)이라 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,  $\{\phi_j\}_{j=1, \dots, 2^Q}$ 는 i 번째 심볼을 나타낸다.

제안된 slicing은 수신된 신호를 경관정하지 않고 MAP 디코더에서 나온 외부 정보를 적용해서 판정한다

다. MAP 디코더에서 나온 외부 정보는 로그 가능성비 함수 (log-likelihood function)이고, 아래와 같이 정의 된다.

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

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 정의 된다.

$$l_k = \arg \min_m \| (H_k^{\dagger})_m \|^2 \quad (3)$$

여기서 k는 디코딩 단계,  $\dagger$ 는 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 대처할 수 있다.

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

$$l_k = \arg \min_m P_m(d|X_k, H_k, L_m^{(i)}) \quad (4)$$

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

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

여기서  $\phi_q$ 는 원래의 송신 심볼,  $\phi_p$ 는 원래의 송신 심볼을 제외한 가능한 심볼,  $P\{\phi_q \rightarrow \phi_p | X_k, H_k, L_m^{(i)}\}$ 는 결레 심볼 에러 확률을 나타낸다. 이 결레 심볼 에러 확률은 아래와 같은 식으로 계산된다.

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

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

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

여기서  $\phi$ 는 원래의 송신 심볼,  $*$ 는 켈레복소수 (complex conjugate)를 나타낸다.

### III. 모의실험 결과

이 장에는 모의실험 결과를 제시하고 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 각 디코딩 알고리즘 복잡도 및 전송률 성능을 논의한다.

#### 1. MCS 레벨과 모의실험 파라미터

MCS 레벨 선택 기준과 실험 환경 파라미터는 표 1 과 2에 각각 나타내었다. 표 1의 상세 파라미터는 1x EV-DO 표준안을 근거로 설정하였다<sup>[4]</sup>.

MCS 레벨 선택 임계치를 정하는 데는 여러 가지 기준이 적용될 수 있다. 예를 들면, 요구되는 BER을 만족 하도록 임계치를 정할 수도 있으며, 요구되는 FER(Frame Error Rate)을 만족하도록 설정할 수 있다. 본 논문에서는 전송률에 중점을 맞추고 있으므로 전송률이 최대가 되도록 하는 임계치 결정기준을 적용하였다. 즉, MCS 레벨 선택 임계치는 각 시스템의 MCS 레벨 별 전송률 성능 교차점으로부터 구해졌다.

또한 본 모의실험에서 한 프레임을 한 전송 슬롯으로 설정하였고, 프레임 길이는 2048 심볼로 설정하였다. 한 프레임 내에서 한 비트라도 에러가 발생하는 경우,

표 1. MCS 레벨  
Table 1. MCS level.

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

Table 2. Simulation parameters.

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, 8
수신안테나 수	2, 4, 8
채널	Flat Rayleigh fading

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

2. 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 각 디코딩 알고리즘 복잡도

II.1절에서는 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템에 관하여 살펴보았고, II.2절에서는 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템을 제안했다.

이 절에서는 ML 디코딩 알고리즘, 기존의 시스템에서 적용된 V-BLAST 디코딩 알고리즘, 제안된 시스템에서 적용된 디코딩 알고리즘의 복잡도를 논의한다.

실제 시스템의 구현에 있어서 곱셈 연산이 복잡도에 크게 작용한다. 표 3은 각 디코딩 알고리즘의 복잡도를 시스템의 구현에 요구되는 곱셈 연산의 수로 비교하고 있다. 여기서 C는 심볼 수, M은 송신 안테나 수, N은 수신 안테나 수, B는 심볼 당 비트 수를 나타낸다. 이 표는 제안된 디코딩 알고리즘은 기존의 V-BLAST 디

표 3. 각 디코딩 알고리즘의 복잡도

Table 3. Complexity of each decoding algorithm.

		ML 디코딩	기존 V-BLAST 디코딩	제안된 디코딩
요구된 곱셈 연산		$C^M(M+1)N$	$(M+1)N^3+(3/2)M^2N-[(7/2)M-1]N-1$	$(M+1)N^3+(1/2)M^2N+(N^2+1)+(1/4)C^M BN^2+(5M-1)N-1$
QPSK	M=N=2	96	47	93
	M=N=4	5120	467	2987
8PSK	M=N=2	384	47	253
	M=N=4	81920	467	50091
16QAM	M=N=2	1536	47	1085
	M=N=4	1310720	467	1049515

코딩 알고리즘에 비하여 복잡도가 더 높지만, ML 디코딩 알고리즘에 비하여 더 낮다는 것을 보여준다. 특히, 제안된 디코딩 알고리즘은 고차의 변조 방식이나 많은 송수신 안테나를 사용할수록 ML 디코딩 알고리즘에 비하여 상대적으로 더 낮은 복잡도를 갖는다.

3. 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 성능

그림 4는 2x2 MIMO 기법에서 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 각 디코딩 알고리즘에 따른 전송률 성능을 나타낸다. 여기서 ‘Optimal’은 적응 변조 시스템에서 V-BLAST의 두 디코딩 과정인 ordering과 slicing에 사전 확률로 사용

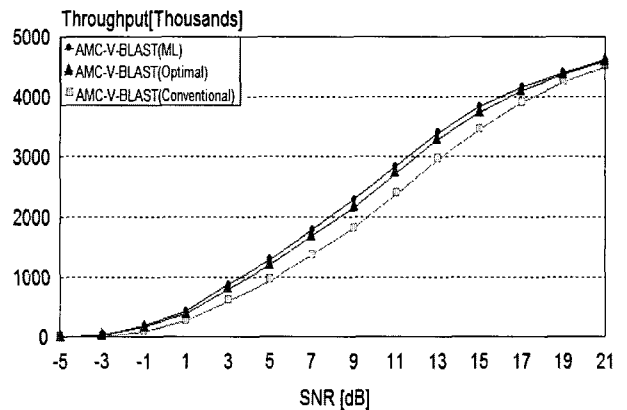


그림 4. 2x2 MIMO 기법에서 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 각 디코딩 알고리즘에 따른 전송률 성능

Fig. 4. Throughputs of each decoding algorithm in the Adaptive Modulation Systems with several Turbo Coded V-BLAST techniques in a 2x2 MIMO scheme.

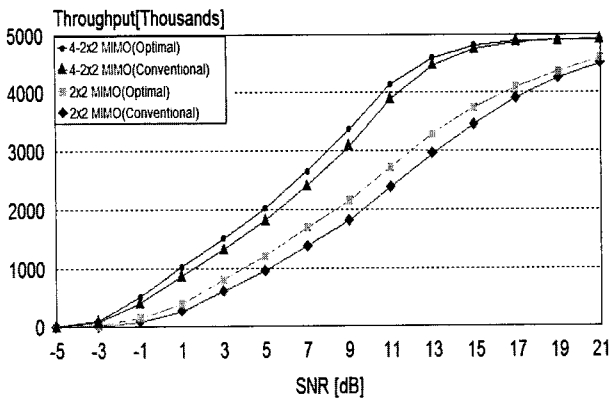


그림 5. 2x2 MIMO, 4-2x2 MIMO 기법에 따른 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 전송률 성능

Fig. 5. Throughputs of the Adaptive Modulation Systems with several Turbo Coded V-BLAST techniques in a 2x2 MIMO scheme and a 4-2x2 MIMO scheme.

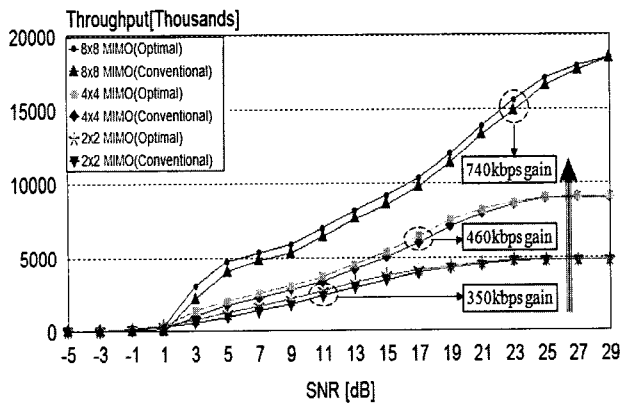


그림 6. 2x2 MIMO, 4x4 MIMO, 8x8 MIMO 기법에 따른 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 전송률 성능

Fig. 6. Throughput of the Adaptive Modulation Systems with several Turbo Coded V-BLAST techniques in a 2x2 MIMO scheme, a 4x4 MIMO scheme, and an 8x8 MIMO scheme.

하기 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. 'ML'은 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템에서 V-BLAST 디코딩 대신 ML 디코딩한 경우이다. 실험 결과, 제안된 시스템의 전송률 성능은 기존의 시스템에 비하여 전 SNR 구간에서 우수하고, ML 디코딩한 시스템의 전송률 성능에 거의 근접하다는 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 2x2 MIMO, 4-2x2 MIMO 기법에 따른 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 전송률 성능을 보여주고 있다. 여기서 'Optimal'은 II.2절에서 제안한 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템을 나타내고, 'Conventional'은 II.1절에서 설명한 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템을 나타낸다. 제안된 시스템은 기존의 시스템과 비교하여 전체 SNR 구간에서 전송률 성능 향상이 나타남을 확인할 수 있다. 또한, 4-2x2 MIMO 기법에 따른 시스템들은 2x2 MIMO 기법에 따른 시스템들보다 더 높은 전송률 성능을 보인다. 4개의 송신 안테나 중에서 2개의 안테나를 선택하는 선택적 다이버시티 기법이 적용된 4-2x2 MIMO 시스템은 다이버시티 이득을 얻기 때문에 SNR이 개선되게 된다. 이는 에러 확률을 감소시켜 상대적으로 높은 데이터율을 갖는 MCS 레벨을 선택할 확률을 증가시키게 되고, 결과적으로 다른 시스템과 비교하여 상대적으로 전송률 성능이 높게 나타난다.

그림 6은 2x2 MIMO, 4x4 MIMO, 8x8 MIMO 기법에 따른 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 각 시스템들의 전송률 성능을 보여주고 있다. 2x2 MIMO, 4x4 MIMO, 8x8 MIMO 기법에 따른 시스템 순으로 상대적으로 더 높은 전송률 성능이 나타남을 확인할 수 있다. MIMO 기법은 다중 송·수신 안테나를 사용하여 정보를 주고받는 기법으로써, 송신 단에서 다중 안테나를 이용하여 더욱 많은 정보를 전송하고 또한 수신 단에서 다중 안테나를 통하여 신호를 재결합하게 되어 현저한 채널 용량 이득을 얻을 수 있으며, 이에 따라 무선 통신의 신뢰성을 보장할 수 있다. 결과적으로 더 많은 송·수신안테나를 사용하는 MIMO 기법에 따른 경우에 더 높은 전송률 성능이 나타난다.

게다가, 그림 6은 각 MIMO 기법에 따른 제안된 시스템들에서 최대 전송률 성능 개선은 각각 350 kbps, 460 kbps, 740 kbps임을 보여준다. 즉, 실험 결과는 8x8 MIMO 기법에 따른 제안된 시스템이 다른 MIMO 기법에 따른 제안된 시스템들에 비해 전송률 성능을 더 많이 개선한다는 것을 보여준다. 이것은 제안된 ordering과 slicing 알고리즘의 효과가 송·수신 안테나의 수가 증가할수록 커진다는 것을 의미한다.

모의실험 결과를 종합해 볼 때, 제안된 시스템은 기존의 시스템에 비하여 각 MIMO 기법을 적용하였을 경우, 그 성능 향상은 더욱 크기 때문에 각 상황에 맞는 MIMO 기법을 적절히 적용한다면 보다 높은 전송률 성

능을 요구하는 차세대 이동 통신 시스템의 한 해결 방안이 될 것이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 순방향 링크에서의 전송률 향상을 위해 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들을 구현하고 각 시스템들의 성능에 관하여 고찰하고 비교·분석 하였다. 모의실험 결과, 적응 변조 및 부호화 기법과 V-BLAST 기법을 적용함으로써 최대 전송률은 증가되지만 SNR이 낮은 환경에서는 전송률 증가량이 매우 적었다. 그러나 SNR이 어느 정도 증가함에 따라 V-BLAST 특성이 정상적으로 나타나면서 전송률의 증가 폭이 커짐을 확인하였다.

반복적 디코딩을 수행하는 MAP 디코더의 외부 정보를 이용하여 V-BLAST의 두 디코딩 과정인 ordering 과 slicing에 사전 확률로 사용하는 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템을 본 논문에서 제안하였고, 이를 단순히 적응 변조 시스템에서 간단하게 V-BLAST 시스템과 터보 부호화 기법을 결합한 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우와 기존의 시스템에서 V-BLAST 디코딩 알고리즘 대신 ML 디코딩 알고리즘을 적용한 경우에 비교하여 전송률 성능과 각 디코딩 알고리즘의 복잡도에 관하여 비교·분석 하였다. 실험 결과, 제안된 시스템은 ML 디코딩 알고리즘을 적용한 시스템에 비하여 복잡도는 더 낮고, 전송률 성능에는 거의 근접한다는 것을 확인하였다. 또한 실험 결과는 제안된 시스템이 기존의 시스템에 비하여 복잡도가 높다는 것을 보였다. 하지만, 성능 개선 측면에서 제안된 시스템의 전송률 성능은 기존의 시스템에 비하여 전 SNR 구간에서 우수하였다. 특히, 모의 실험 결과는 각 MIMO 기법에 따른 제안된 시스템들에서 최대 전송률 성능 개선은 각각 350 kbps, 460 kbps, 740 kbps임을 보여주고, 이것은 제안된 디코딩 알고리즘의 효과가 송·수신 안테나의 수가 증가할수록 커진다는 것을 의미한다. 따라서 더 높은 전송률 성능을 위한 각 MIMO 기법을 적용할 경우, 제안된 시스템은 차세대 이동 통신 시스템에서의 한 해결 방안이 될 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. M. Alamouti, "A Simple Transmit 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] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] S. Benedetto and G. Montorsi, "Unveling Turbo Codes: some results on parallel concatenated coding schemes," *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. 42, pp. 409-429, Mar. 1996.
- [8] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near ShannonLimit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo Codes," in *Proc. of International Conference on Communications*, vol. 3, pp. 1064-1070, May 1993.
- [9] 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.
- [10] J. Hagenauer, E. Offer, and L. Papke, "Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes," *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. 42, pp. 429-445, Mar. 1996.
- [11] M. Sandell, "Analytical analysis of transmit diversity in WCDMA on fading multipath channels," *PIMRC99* September, Vol.2, pp.946-950, 1999
- [12] 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

[1] S. M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity

Antennas," PIMRC'00, Vol.1, pp.698-703, 2000.  
 [13] 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.  
 [14] 3GPP2 C.P9010, "Draft baseline text for the physical layer portion of the 1× EV specification", pp. 9-78, August 2000.

저 자 소 개



이 경 환(정회원)  
 2005년 전남대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2005년~현재 전남대학교 컴퓨터  
 정보통신공학과 석사.  
 <주관심분야 : 디지털통신,  
 MIMO, Turbo Coding, LDPC>



류 상 진(정회원)  
 1991년 전남대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1994년 전남대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 1999년~현재 전남대학교 전자  
 공학과 박사과정.  
 <주관심분야 : MIMO System, OFDM, AMC,  
 WCDMA>



최 광 욱(정회원)  
 2005년 전남대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2005년~현재 전남대학교 컴퓨터  
 정보통신공학과 석사.  
 <주관심분야 : 디지털통신,  
 MIMO, OFDM, 무선랜, Wibro>



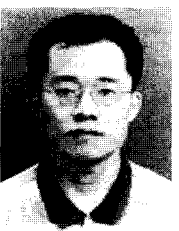
유 철 우(정회원)  
 1999년 연세대학교 전자공학과  
 박사 졸업.  
 1999년~2003년 LG전자  
 책임연구원  
 2004년~2006년 삼성전자  
 책임연구원  
 2006년~현재 명지대학교 통신공학과 교수,  
 MITERI(명지 IT중점 연구소)  
 <주관심분야 : Adaptive Resource Allocation,  
 AMC, MIMO systems, Relay schemes>



홍 대 기(정회원)  
 2003년 연세대학교 전자공학과  
 박사 졸업.  
 2002년~2006년 전자부품연구원  
 선임연구원.  
 2006년~현재 상명대학교 정보통  
 신공학과 교수.  
 <주관심분야 : Digital and Wireless  
 Communication, WPAN>



김 대 진(정회원)  
 1984년 2월 서울대학교  
 전자공학과 학사  
 1986년 2월 한국과학기술원 전기  
 및 전자공학과 석사  
 1991년 8월 한국과학기술원 전기  
 및 전자공학과 박사  
 1991년~1996년 (주)LG전자 멀티미디어(연)  
 책임연구원  
 1997년~현재 전남대학교 전자공학과 조교수  
 <주관심분야 : 디지털 통신, 디지털방송 송수신>



황 인 태(정회원)  
 2003년 연세대학교 전자공학과  
 박사 졸업.  
 1992년~2006년 LG전자 책임  
 연구원.  
 2006년~현재 전남대학교 전자  
 컴퓨터공학부 교수.  
 <주관심분야 : AMC, MIMO, Turbo Coding,  
 OFDM, LDPC>



김 철 성(정회원)  
 1987년 Univ. of Arizona 전자  
 공학 박사 졸업  
 1987년~1989년 한국전자통신  
 연구원  
 1989년~현재 전남대학교 전자  
 컴퓨터공학부 교수.  
 <주관심분야 : 이동통신, 디지털통신, MIMO,  
 OFDM, RFID>