
적응 변조 시스템에서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법의 성능 분석

이경환* · 최광욱* · 류상진** · 강민구*** · 홍대기**** · 유철우*****
황인태***** · 김철성*****

Performance Analysis of the Optimal Turbo Coded V-BLAST technique in Adaptive Modulation System

Kyunghwan Lee* · Kwangwook Choi* · Sangjin Ryoo** · Mingoo Kang*** · Daeki Hong****
Cheolwoo You***** · Intae Hwang***** · Cheolsung Kim*****

이 논문은 2006년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 V-BLAST (Vertical-Bell-lab Layered Space Time)의 두 디코딩 과정인 ordering과 slicing에 사전 확률 (a priori probability)로 사용하기 위해서 반복 디코딩 (iterative decoding)을 사용한 MAP (Maximum A Posteriori) 디코더의 외부 정보 (extrinsic information)를 이용한 최적의 터보 부호화된 (Turbo Coded) V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템 (adaptive modulation system)을 제시 후 성능을 관찰한다. 또한 적응 변조 시스템에서 간단하게 V-BLAST 시스템과 터보 부호화 (Turbo Coding) 기법이 결합된 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비하여 어느 정도 전송률 (throughput) 향상이 있는가를 살펴본다. 실험결과, 적응 변조 시스템에서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우가 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비하여 전송률 성능이 우수함을 보였다. 특히, 실험 결과는 2.5 Mbps의 전송률에서 1.5 dB의 SNR 이득을 보인다.

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 (Maximum A Posteriori) Decoder with Iterative Decoding to use as a priori probability in two decoding procedures of V-BLAST: ordering and slicing. Also, comparing 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 has been improved. As a result of simulation, in the Adaptive Modulation systems with several Turbo Coded V-BLAST techniques, the optimal Turbo Coded V-BLAST technique has higher throughput gain than the conventional Turbo Coded V-BLAST technique. Especially, the results show that the proposed scheme achieves the gain of 1.5 dB SNR compared to the conventional system at 2.5 Mbps throughput.

키워드

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

* 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과
** 전남대학교 전자공학과
*** 한신대학교 정보통신공학과
**** 상명대학교 정보통신공학과

**** 명지대학교 통신공학과
***** 전남대학교 전자컴퓨터공학과

I. 서론

고품질 멀티미디어 서비스의 수요 증대로 인해 차세대 이동통신 시스템에서 데이터의 전송률 향상은 핵심 과제로 떠오를 전망이다. 이를 위한 방안으로서, 다중 송수신 안테나를 이용한 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 기법과 적응 변조 및 부호화 기법 (AMC : Adaptive Modulation and Coding)의 활발한 연구가 진행 중이다[1]. MIMO 기법은 BER (Bit Error Rate) 성능을 강조한 MIMO 다이버시티 기법과 전송률 향상을 강조한 MIMO 멀티플렉싱 기법으로 분류된다[2][3]. 적응 변조 부호화 기법은 채널 상태의 추정을 통해 적절한 변조방법 및 코딩률을 선택하여 데이터 품질을 보장할 뿐만 아니라 데이터 전송률을 향상시킨다. 이러한 기법들을 적용함으로써 차세대 이동통신 시스템의 구현을 위한 데이터 전송률 향상을 유도할 수 있다.

본 논문에서 적응 변조 및 부호화 기법과 결합되는 MIMO 시스템 기법으로는 각각 V-BLAST와 터보 부호화 기법을 고려한다[4][5]. 반복 디코딩을 사용한 터보 부호화 기법은 반복 체계의 병렬로 연결된 컨볼루션 코드 (convolutional code)이고 사후 확률 (APP : A Posteriori Probability) 알고리즘을 사용하여 구성하는 코드 간에 반복적으로 디코딩 된다[6][7]. 기존과 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 각각 적용한 적응 변조 시스템들의 성능을 실험적으로 보이고, 이들 시스템들을 적용하는 과정에서 고려해야 하는 요인들에 대해서 고찰한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 기존과 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템들의 송수신 단 구조를 보이고 시스템 구현에서 고려해야 할 사항들에 대한 분석을 수행한다. III장에서는 컴퓨터 모의 실험을 통하여 각 시스템의 성능을 검증하고, 터보 부호화된 V-BLAST 기법에 따른 적응 변조 시스템의 성능 비교 및 분석을 수행한다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

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

이 장에서는 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 구조들을 보인다. 또한, 이들

시스템들을 적용하는 과정에서 고려해야 하는 요인들에 대해서 고찰한다.

2.1. 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 V-BLAST 디코딩 과정을 거치게 된다. 이 과정은 ordering, nulling, slicing, 그리고 canceling의 반복 구조로 이루어져 있다[8].

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.

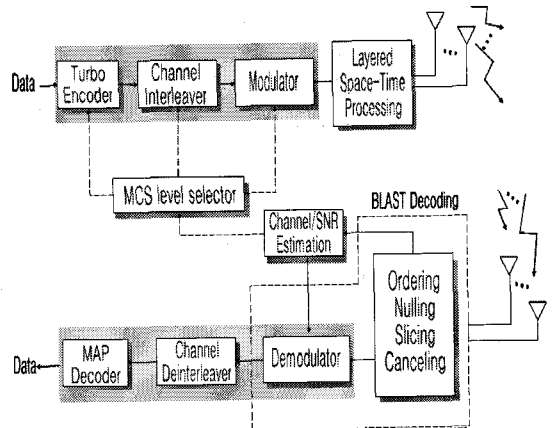


그림 1. 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 송수신 단 구조
Fig. 1 Transmitter and receiver structure of the Adaptive Modulation system with conventional Turbo Coded V-BLAST technique

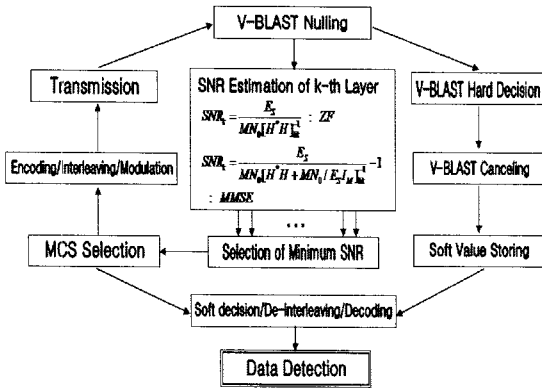


그림 2. 기존의 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 동작 과정

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

본 논문에서 구현된 시스템은 최소 신호 대 잡음 비 기준을 적용하였다. 이는 다른 기준을 적용하는 경우, 신호 대 잡음 비가 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.

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 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. 또한 기존의 V-BLAST 구조에 변화가 생기게 되는데, 이는 적응 변조 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.

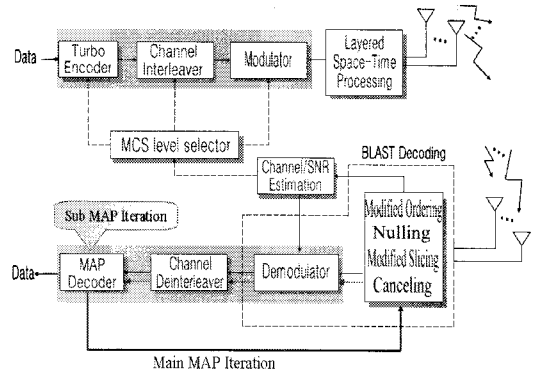


그림 3. 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 송수신 단 구조

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

2.2. 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 사용된다는 것이다. 이 과정은 반복적으로 수행되고, 본 논문에서 Main MAP Iteration으로 정의한다. 또한 이 과정이 수행될 때 마다, 내부적으로 MAP 디코더의 반복 디코딩은 수행되고, 이것을 본 논문에서 Sub MAP Iteration으로 정의한다.

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.

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

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. T 는 전치 행렬 (transpose matrix)을 나타낸다. 잡음 벡터는 복소 가우시안 랜덤 잡음 (complex Gaussian random noise)이라 가정한다. Q 는 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 알고리즘 (algorithm)은 수신된 신호를 정판정하지 않고 MAP 디코더에서 나온 외부 정보를 적용해서 판정한다. MAP 디코더에서 나온 외부 정보는 로그 가능성비 함수 (log-likelihood function)이고, 아래와 같이 정의된다.

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

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.

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

여기서 k 는 디코딩 단계, \dagger 는 유사-역행렬을 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.

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

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. $P_m(dX_k, H_k, L_m^{(i)})$ 는 m 번째 레이어의 심볼 에러 확률이다. 이 심볼 에러 확률은 아래와 같이 계산된다.

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

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

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

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.

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

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

III. 모의실험 결과

이 장에서는 모의 실험 결과를 제시하고 터보 부호화 된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 전송 성능을 논의한다.

3.1. MCS 레벨과 모의 실험 파라미터

MCS 레벨 선택 기준과 실험 환경 파라미터는 표 1과 2에 각각 나타내었다. 표 1의 파라미터는 1X EV-DO 표준안을 근거로 설정하였다[9].

MCS 레벨 선택 임계치를 정하는 데는 여러 가지 기준이 적용될 수 있다. 예를 들면, 요구되는 BER을 만족하도록 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.

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
수신안테나 수	2
채널	Flat Rayleigh fading

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

그림 4은 송수신 안테나가 각각 2 개이고, 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응변조 시스템들에

서 각 MCS 레벨 별로 전송률 성능을 도시한 것이다. 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. 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비하여 각 MCS 레벨

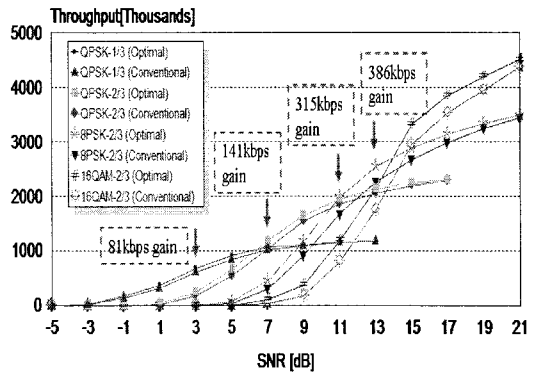


그림 4. 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 각 MCS 레벨 별 전송률 성능
Fig. 4 Throughputs performance of each MCS level in Adaptive Modulation systems with several Turbo Coded V-BLAST techniques

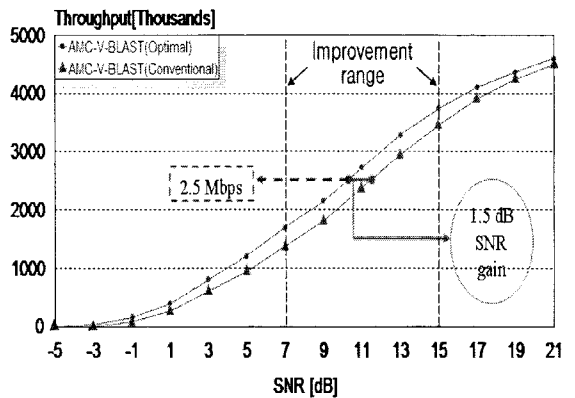


그림 5. 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 전송률 성능
Fig. 5 Throughput performance of the Adaptive Modulation system with several Turbo Coded V-BLAST techniques

에 대해서 전송률 성능 향상을 볼 수 있다. 여기서 각 MCS 레벨 별로 최대 약 81 kbps, 141 kbps, 315 kbps, 386 kbps의 전송률 성능이 향상되었다.

그림 5은 송수신 안테나가 각각 2 개이고, 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 전송률 성능을 나타낸다. 여기서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비하여 약 7dB~15dB의 SNR 구간에서 300 kbps 이상의 전송률 성능 향상을 보인다. 즉, 이것은 원하는 전송률을 만족하기 위해 요구되어지는 SNR 값이 적음을 의미한다. 특히, 2.5 Mbps의 전송률에서 약 1.5 dB의 SNR 이득을 보인다.

모의 실험 결과를 종합해 볼 때, 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들에서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비해 더 높은 전송률 성능을 갖는다는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 순방향 링크에서의 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 나타나면서 전송률의 증가 폭이 커짐을 확인 하였다.

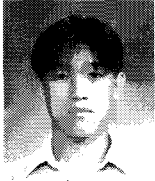
적응 변조 시스템에서 V-BLAST의 두 디코딩 과정인 ordering과 slicing에 사전 확률로 사용하기 위해서 반복 디코딩을 사용한 MAP 디코더의 외부 정보를 이용한 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우와 간단하게 V-BLAST 기법과 터보 부호화 기법이 결합된 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우를 비교해 볼 때, 실험 결과는 적응 변조 시스템에서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우 더 높은 전송률 성능 향상을 확인할 수 있었다. 특히, 모의 실험 결과, 적응 변조 시스템에서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST

기법을 적용한 경우가 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비해 2.5 Mbps의 전송률에서 1.5 dB의 SNR 이득을 보인다.

참고문헌

- [1] 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.
- [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] 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, "Unveling 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] 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.
- [8] 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.
- [9] 3GPP2 C.P9010, "Draft baseline text for the physical layer portion of the 1X EV specification," pp. 9-78, August 2000.

저자소개



이 경 환(Kyung-Hwan Lee)

2005년 8월 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 졸업(학사)
2005~현재 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정

※관심분야: MIMO, Turbo Coding, LDPC



최 광 옥(Kwang-Wook Choi)

2005년 8월 전남대학교 정보통신공학부 졸업(학사)
2005~현재: 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정

※관심분야: 디지털통신, MIMO, OFDM, 무선랜, Wibro



류 상 진(Sang-Jin Ryoo)

1991년 2월 전남대학교 전자공학과 학사
1994년 2월 전남대학교 전자공학과 석사
1999년 3월~현재: 전남대학교 전자공학과 박사과정

※관심분야: MIMO, OFDM, AMC, WCDMA



강 민 구(Mingoo Kang)

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
※관심분야: AMC, MIMO System, OFDM



홍 대 기(Dae-Ki Hong)

1997년 2월 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
1999년 2월 연세대학교 전자공학과 석사

2003년 2월 연세대학교 전자공학과 박사
2002년 1월~2006년 8월 전자부품연구원 선임연구원
2006년 9월~현재 상명대학교 정보통신공학과 교수
※관심분야: 디지털통신, WPAN



유 철 우(CheolWoo You)

1993년 2월 연세대학교 전자공학과 학사
1995년 2월 연세대학교 전자공학과 석사

1995년 3월~1999년 2월 연세대학교 전자공학과 박사
1999년 1월~2003년 4월 LG전자 책임 연구원
2003년 9월~2004년 6월 EoNex 책임 연구원
2004년 7월~2006년 8월 삼성전자 책임 연구원
2006년 9월~현재 명지대학교 통신공학과 교수, MITERI (명지 IT중점 연구소)
※관심분야: Adaptive Resource Allocation, AMC, MIMO, Relay schemes



황 인 태(Intae 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



김 철 성(Cheol-Sung Kim)

1977년 2월 서울대학교 전자공학(학사)
1979년 2월 서울대학교 전자공학(석사)
1987 Univ. of Arizona 전자공학(박사)

1973년 3월~1977년 2월 국방과학 연구소 연구원
1977년 3월~1979년 2월 대우중공업 기술연구소 대리
1987년 11월~1989년 3월 한국전자통신연구원
1989년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
※관심분야: 이동통신, 디지털통신, MIMO, OFDM, RFID