

논문 2007-44TC-2-2

선택적 전송 다이버시티 기법을 적용한 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 적응변조 시스템의 성능 개선

(Improvement of the Adaptive Modulation System with Optimal Turbo Coded V-BLAST Technique using STD Scheme)

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

(Sang-Jin Ryoo, Kwang-Wook Choi, Kyung-Hwan Lee, CheolWoo You, Dae-Ki Hong, Intae 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. 외부정보는 ordering과 slicing에 사전 확률 (a priori probability) 로서 사용되며 시스템 복호 과정은 주 반복 (Main Iteration) 및 부 반복 (Sub Iteration) 과정으로 이루어진다. 채널 상태에 따라 변조 방식을 달리하는 적응 변조 시스템을 기존의 터보 부호화 (Turbo Coding) 된 V-BLAST 시스템과 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 시스템에 각각 적용하고 전송률 (throughput) 을 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 11 dB의 SNR (Signal to Noise Ratio) 영역에서 최대 약 350 kbps의 전송률 향상이 나타났다. 특히, 제안된 시스템에 선택적 전송 다이버시티가 적용된 경우에는 송수신 안테나가 각각 2개인 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 시스템의 경우에 비하여 같은 SNR 영역에서 최대 약 1.77 Mbps의 전송률이 개선됨을 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 (Maximum A Posteriori) Decoder in decoding Algorithm of V-BLAST: ordering and slicing. The extrinsic information is used by a priori probability and the system decoding process is composed of the Main Iteration and the Sub Iteration. 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 has been improved. In addition, we observe the proposed system using STD (Selection Transmit Diversity) scheme. As a result of simulation, Comparing with the conventional Turbo Coded V-BLAST technique with the Adaptive Modulation systems, the optimal Turbo Coded V-BLAST technique with the Adaptive Modulation systems has better throughput gain that is about 350 Kbps in 11 dB SNR range. Especially, comparing with the conventional Turbo Coded V-BLAST technique using 2 transmit and 2 receive antennas, the proposed system with STD (Selection Transmit Diversity) scheme show that the improvement of maximum throughput is about 1.77 Mbps in the same SNR range.

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

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

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

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

※ 이 논문은 2006년도 전남대학교 학술연구비 및 LG전자 이동통신기술연구소 지원에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2006년11월1일, 수정완료일: 2007년2월14일

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 (Multiple Input Multiple Output) 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^{[1][2]}. 적응 변조 부호화 기법은 채널 상태의 추정을 통해 적절한 변조방법 및 코딩률을 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 적응 변조 및 부호화 기법과 결합되는 MIMO 시스템 기법으로는 각각 선택적 전송 다이버시티 (STD : Selection Transmit Diversity)와 V-BLAST^[4]와 터보 부호화 기법^[5]을 고려한다. 선택적 전송 다이버시티 기법은 총 송신안테나 중 양호한 상태의 안테나를 선택하여 정보를 송신하는 기법으로 다이버시티 이득 및 SNR 개선효과를 갖는다. 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^[6].

본 논문에서는 최적 (Optimal) 의 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 선택적 다이버시티 기법을 사용하여 최종적인 전송률의 성능 개선을 확인한다^[7].

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 적응 변조 및 부호화 기법, STD 기법, V-BLAST 기법, 반복 디코딩을 사용한 터보 부호화된 V-BLAST 기법에 대한 시스템 구조와 특성을 살펴본다. III장에서는 기존과 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 적응 변조 시스템

들의 송수신 단 구조를 보이고 시스템 구현에서 고려해야 할 사항들에 대한 분석을 수행한다. IV장에서는 컴퓨터 모의실험을 통하여 각 시스템의 성능을 검증하고, 터보 부호화된 V-BLAST 기법에 따른 적응 변조 시스템의 성능 비교 및 분석을 수행한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 적응 변조 및 부호화 (AMC), STD 기법, V-BLAST 기법, 반복 디코딩을 사용한 터보 부호화된 V-BLAST 시스템의 구조 및 특성

1. 적응 변조 및 부호화의 구조 및 특성

적응 변조 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 잡음 비 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.

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

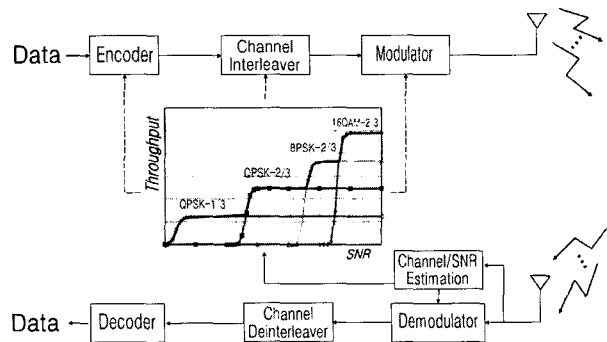


그림 1. AMC 시스템의 구조
Fig. 1. The structure of AMC.

2. 선택적 전송 다이버시티의 구조 및 특성

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

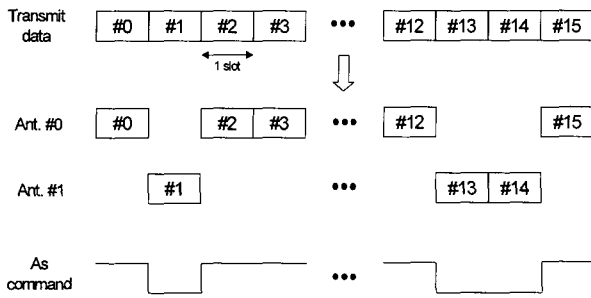


그림 2. 선택적 전송다이버시티 전송 구조
Fig. 2. Transmission structure of STD.

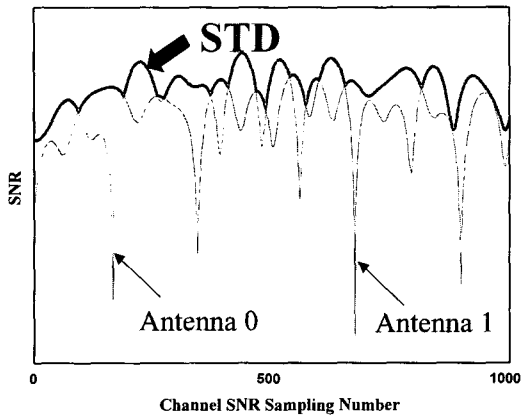


그림 3. 선택적 전송 다이버시티에 의한 다이버시티 이득 개념도
Fig. 3. Diversity gain concept graph by STD schem.

선택적 전송 다이버시티 기법은 수신 단말기에서 각 전송 안테나와 수신 안테나 간의 채널 상태를 측정 한 뒤, 가장 상태가 좋다고 판단되는 채널의 송신 안테나를 선택하는 궤환 정보를 송신 기지국에 전달한다. 이 정보를 받은 기지국은 선택된 안테나만으로 데이터를 전송한다.

선택적 전송 다이버시티 기법을 사용하여 얻어지는 다이버시티 효과는 그림 3에서 보이는 바와 같다. 즉, 각 채널 상태를 추정하여 가장 양호한 환경의 전송 안테나를 선택하게 되는 것이다.

3. V-BLAST의 구조 및 특성

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 4에 V-BLAST 시스템의 송신단 구조를 나타내었다.

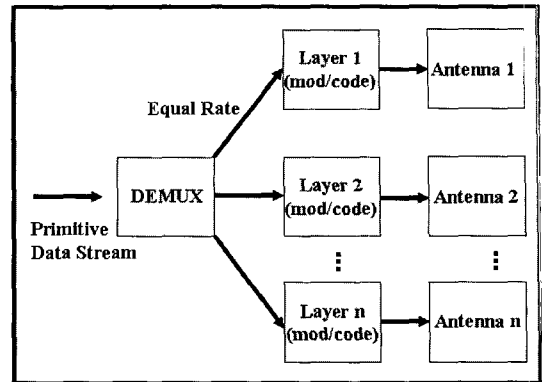


그림 4. V-BLAST의 송신 단 구조도
Fig. 4. The structure of transmitter of V-BLAST.

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.

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

그림 5는 터보 부호화된 V-BLAST 시스템의 디코더 구조를 보여주고 있다. 이 터보 부호화된 V-BLAST 기법은 병렬로 연결된 컨볼루션 코드 (PCCC : Parallel Concatenated Convolutional Code)로 부호화된 V-BLAST 시스템이다. 이 시스템에서, 디코딩 된 결과 값들은 채널 인터리빙 되고 V-BLAST 디코더로 사전 확률로써 귀납적으로 피드백 된다. SISO (Soft Input

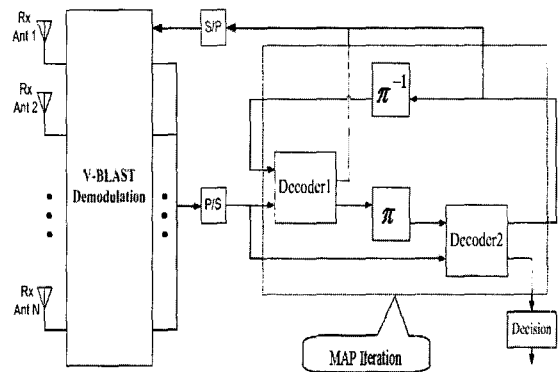


그림 5. 반복 디코딩을 사용한 터보 부호화된 (PCCC) V-BLAST 시스템의 디코더 구조
Fig. 5. Decoder structure of Turbo Coded (PCCC) V-BLAST system with Iterative Decoding.

Soft Output) 모듈이 채널 디코더에 적용될 때, 디코더는 비트 확률 (bit probability=information probability) 과 코드워드 확률 (codeword probability)을 제공한다. 이 코드워드 확률은 V-BLAST 디코딩에서 사전 확률로 사용된다. 이러한 과정은 반복적으로 수행된다.

이 귀납 기법 (recursion scheme)에서, 디코더1과 디코더2에서 나온 코드워드 확률들은 V-BLAST 디코더와 연결된 다른 디코더에서 외부 정보로써 사용된다.

III. 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.

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

그림 6은 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^{[8][9]}.

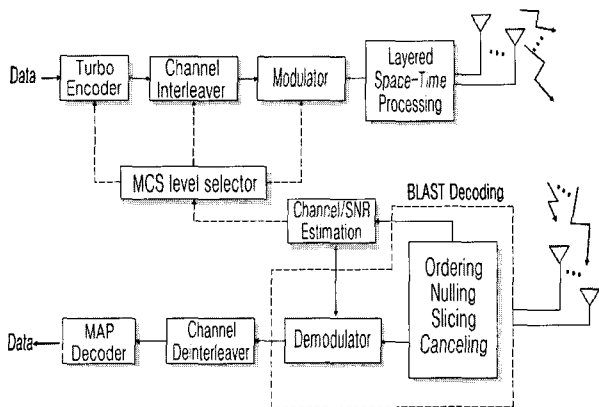


그림 6. 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 송수신 단 구조

Fig. 6. Transmitter and receiver structure of the Adaptive Modulation system with conventional Turbo Coded V-BLAST technique.

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 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 전송률 성능의 열화가 일어날 가능성이 있다.

기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템에서 수행되는 동작 과정은 그림 7과 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.

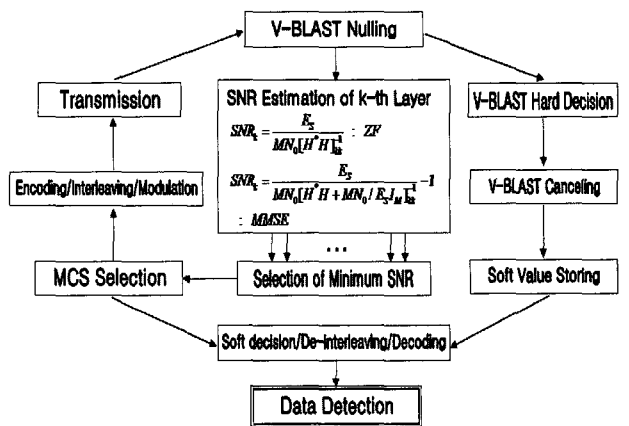


그림 7. 기존의 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 동작 과정

Fig. 7. Operation process of the Adaptive Modulation system with conventional Turbo Coded V-BLAST technique.

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 8은 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응 변조 시스템의 송수신 단 구조를 보여준다. III. 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 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.

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

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 $N \times M$ 채널 행렬 (channel matrix)이고, $n = [n_1, \dots, n_N]^T$ 는 잡음 벡터 (noise vector)이다. T 는 전치 행렬 (transpose matrix)

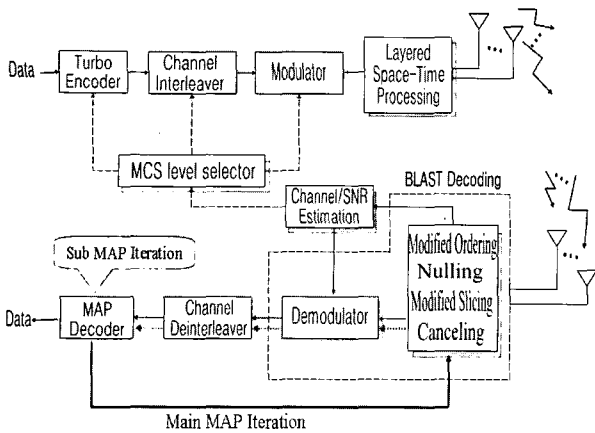


그림 8. 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 적응

Fig. 8. Transmitter and receiver structure of the Adaptive Modulation system with optimal Turbo Coded V-BLAST technique.

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, $\{\phi_i\}_{i=1, \dots, 2^Q}$ 는 i 번째 심볼을 나타낸다.

제안된 slicing 알고리즘 (algorithm)은 수신된 신호를 경관정하지 않고 MAP 디코더에서 나온 외부 정보를 적용해서 판정한다. MAP 디코더에서 나온 외부 정보는 로그 가능성비 함수 (log-likelihood function)이고, 아래와 같이 정의된다.

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

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.

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

여기서 k는 디코딩 단계, m은 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.

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

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

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

여기서 ϕ_q 는 원래의 송신 심볼, ϕ_p 는 원래의 송신 심볼을 제외한 가능한 심볼, $P\{\phi_q \rightarrow \phi_p | X_k, H_k, L_m^{(i)}\}$ 는 결재 심볼 에러 확률을 나타낸다. 이 결재 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 ϕ_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 ϕ 는 원래의 송신 심볼, *는 켈레복소수 (complex conjugate)를 나타낸다.

IV. 모의실험 결과

이 장에는 모의 실험 결과를 제시하고 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 전송률 성능을 논의한다.

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^[10].

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
수신안테나 수	2
채널	Flat Rayleigh fading

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

그림 9은 송수신 안테나가 각각 2 개이고, 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들에서 각 MCS 레벨 별로 전송률 성능을 도시한 것이다. 여기서 'Optimal'은 적응 변조 시스템에서 V-BLAST의 두 디코딩 과정인 ordering과 slicing에 사전 확률로

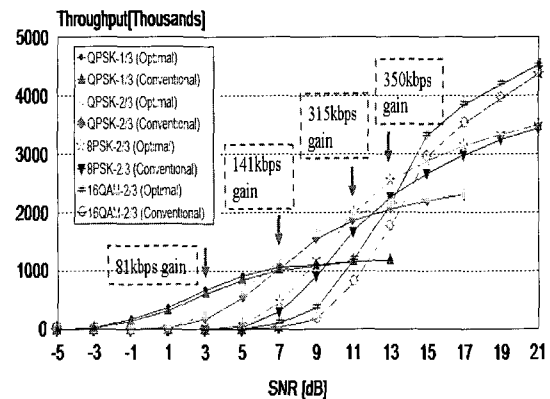


그림 9. 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 각 MCS 레벨 별 전송률 성능
Fig. 9. Throughputs of each MCS level in Adaptive Modulation systems with several Turbo Coded V-BLAST technique.

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 레벨에 대해서 전송률 성능 향상을 볼 수 있다. 여기서 각 MCS 레벨 별로 최대 약 81 kbps, 141 kbps, 315 kbps, 350 kbps의 전송률 성능이 향상되었다.

그림 10은 송수신 안테나가 각각 2 개이고, 터보 부

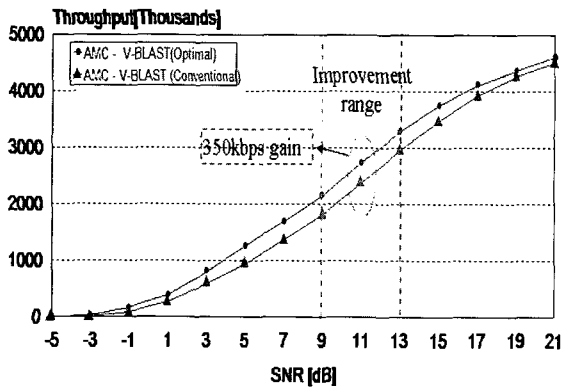


그림 10. 송수신 안테나가 각각 2개인 터보 부호화된 V-BLAST 기법들을 적용한 적응 변조 시스템들의 전송률 성능

Fig. 10. Throughput performance of the Adaptive Modulation system using several Turbo Coded V-BLAST techniques with 2 transmit and 2 receive antennas.

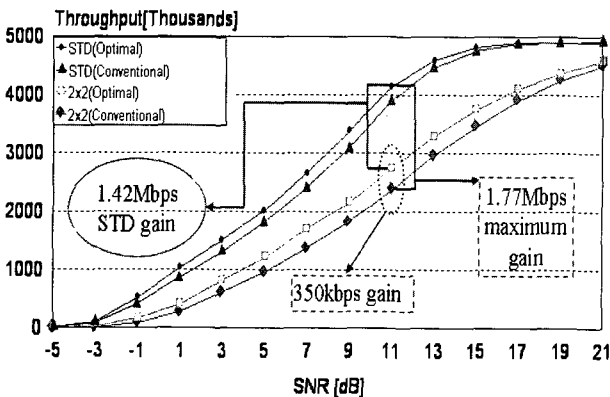


그림 11. 송수신 안테나가 각각 2개인 각 시스템과 선택적 전송 다이버시티를 적용한 각 시스템의 전송률 성능

Fig. 11. The throughput performance of the several systems which 2 transmit and 2 receive antennas used and which STD scheme used.

호화된 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 9dB~13dB의 SNR 구간에서 300 kbps 이상의 전송률 성능 향상을 보인다. 특히, 11dB에서 최대 350 kbps의 전송률 성능이 향상되었다.

선택적 전송 다이버시티를 적용한 시스템은 다이버시티 이득을 얻기 때문에 SNR이 개선된다. 이는 에러 확률을 감소시켜 상대적으로 높은 데이터율을 갖는 MCS 레벨을 선택할 확률을 증가시키고, 궁극적으로 전송률 성능 향상을 가져온다. 제안된 시스템에서 선택적 전송 다이버시티를 적용한 경우가 송수신 안테나가 각각 2개인 경우를 비교할 때, 11 dB SNR에서 약 1.42 Mbps 전송률 향상이 나타남을 확인할 수 있다.

그림 11는 송·수신 안테나가 각각 2개인 각 시스템과 선택적 전송 다이버시티를 적용한 각 시스템의 전송률 성능을 함께 나타내었다. 실험 결과, 선택적 전송 다이버시티를 적용할 경우에 전 SNR 영역에 걸쳐 전송률 성능이 개선됨을 확인할 수 있다.

모의실험 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. 또한, 선택적 다이버시티를 적용한 제안된 시스템이 송수신 안테나가 각각 2인 기존의 시스템에 비하여 전 SNR 영역에서 전송률이 향상되었다. 특히, 11 dB SNR 영역에서 약 1.77 Mbps의 최대 전송률이 향상됨을 확인할 수 있다.

V. 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 잡음비가 낮은 환경에서는 전송률 증가량이 매우 적었다. 그러나 신호 대 잡음비가 어느 정도 증가함에 따라 V-BLAST 특성이 정상적으로 나타났고 이때, 선택적 전송 다이버시티 기법을 적용한 경우 전송률의 증가 폭이 더욱 커

짐을 확인하였다.

적용 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 적용 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, 적용 변조 시스템에서 최적의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우가 기존의 터보 부호화된 V-BLAST 기법을 적용한 경우에 비해 최대 약 350 kbps의 전송률 향상을 보인다. 특히, 선택적 전송 다이버시티가 적용된 제안된 시스템은 송수신 안테나가 각각 2개인 기존의 시스템에 비하여 11dB SNR에서 약 1.77 Mbps의 최대 전송률 향상을 보였다.

참 고 문 헌

- [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, "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] 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," *IMRC'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 2000.

저자 소개



류 상 진(정회원)
 1991년 전남대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1994년 전남대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1994년~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>



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



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>



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>