

시변 다중 경로 페이딩 환경에서 사전 등화기 기반 적응 변조 SFBC-OFDM 시스템에 관한 연구

정회원 고정선*, 김낙명**

Adaptive SFBC-OFDM with Pre-equalizer under Time-varying Multipath Fading Channel

Jung-sun Goh*, Nak-myeng Kim** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 하향 링크의 수신기 복잡도를 증가시키지 않으면서도 하향 링크 시스템 용량을 증가시키기 위해서, OFDM 시스템에서 SFBC(Space-Frequency Block Code) 전송 다이버시티와 사전등화 기법을 적용한 적응 변조 방식을 제안하고 분석하였다. OFDM 시스템에서 SFBC 전송 다이버시티와 결합해서 적응 변조를 사용하면 시스템 용량이 크게 증가하게 된다. 하지만, 심각한 주파수 선택적 페이딩을 겪는 경우 심볼 간 간섭의 발생으로 인해 시스템 성능이 저하되게 된다. 이 경우, 본 논문에서는 부채널 간의 그룹핑을 통하여 인접 부채널 간 그룹별 사전 등화기를 적용함으로써, 적응형 변조방식의 효율을 높일 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 시스템이 시변 다중 경로 환경에서 기존의 기술보다 더 좋은 시스템 성능과 용량을 가짐을 확인하고, 심각한 주파수 선택적 페이딩을 겪는 채널 환경에서도 제안한 사전 등화기를 사용해 시스템 성능을 유지할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : OFDM, SFBC, Adaptive Modulation, Pre-equalizer

ABSTRACT

The adaptive modulation along with SFBC transmit diversity is a very effective method to increase the capacity of an OFDM system. However, severe performance degradation is resulted when inter-symbol interference is applied due to frequency-selective fading in mobile communications. In this paper, we have proposed and analyzed an OFDM system with SFBC transmit diversity and adaptive modulation scheme based on pre-equalization methods, in order to increase the data transmission rate in the downlink without much increase in system complexity. By introducing subchannel grouping and the pre-equalization method among adjacent subchannels, we could enhance the efficiency of the adaptive modulation a lot. By computer simulation, it has been proven that the proposed schemes show a better BER and throughput performance than the conventional schemes under severely time-varying multipath fading channel.

1. 서론

최근 무선 이동 통신에서 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 증폭되면서, 한정된 주파수를 사용하여

서도 고품질의 고속 데이터를 전송할 수 있는 기술들이 큰 관심을 끌고 있다. 고품질의 고속 데이터를 전송하기 위해서는 시스템 용량을 확보해야 된다. 먼저, 고속의 데이터를 전송하기 위한 시스템으로

* 이화여자대학교 정보통신학과 이동통신연구실(mcl@ewha.ac.kr), 논문번호 : 030412-0918, 접수일자 :

** 이화여자대학교 정보통신학과 교수 (nmkim@ewha.ac.kr)

※ This work was supported by grant (No.1999-1-30200-002-5) from the Basic Research Program of the Korea Science & Engineering Foundation.

OFDM이 활발히 연구 중에 있다. OFDM은 광대역 채널을 플랫 페이딩을 겪는 다수의 부채널로 나누어 고속 데이터를 저속의 데이터로 병렬 처리한다. 따라서 OFDM 방식은 주파수 선택적 페이딩 채널, 즉 심볼간 간섭에 강하다[1]. 이와 같은 이유로 OFDM 방식은 하향 링크의 고속 데이터 전송 기법으로 적합하다. 다음으로 시스템 용량을 증가시키기 위한 기술로 최근 관심을 모으고 있는 핵심 무선 전송 기술로는 적응 전송 기술이 있다. 적응 전송 기술로는 전송 전력 제어, 적응 변조, 스마트 안테나 등이 있으며 채널 상황에 따라 전송단을 적응적으로 제어한다. 본 논문에서 사용할 적응 변조 기법은 채널 상태에 따라 변조 수준을 제어하기 때문에 고정 변조 기법에 비해 전송률, 품질 그리고 주파수 효율 측면에서 모두 효과적이다. 따라서 시변하는 무선 이동 환경에 적합하다[2]. 그러나 적응 변조만으로는 멀티미디어 서비스를 전송하기에는 불충분하다. 고속 데이터 전송시 요구되는 높은 link budget은 다이버시티 이득을 이용해 보완할 수 있는데 송수신단 사이에 독립적인 페이딩 채널을 다수 개 형성하도록 다중 안테나를 사용하는 공간 다이버시티가 한 예이다. 따라서 적응 변조와 전송 다이버시티를 함께 사용함으로써 하향 링크의 시스템 용량을 충분히 증가시킬 수 있다.

본 논문에서는 SFBC 전송 다이버시티를 갖는 적응 변조 OFDM 시스템을 제안한다. 이 때, TDD 모드를 사용해 단말기가 채널 정보를 signaling하지 않고 기지국에서 추정된 채널 값을 채널 예측에 이용한다. 또한 사전 등화기의 적용을 제안해서, 제안한 시스템이 심각한 주파수 선택적 페이딩에서도 성능을 유지할 수 있고 적응 변조처럼 일정한 BER 성능을 갖는 고정 변조를 가능하게 할 수 있음을 보이고 모의실험을 통해 이를 확인하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 하향 링크의 시스템 용량을 증가시키기 위한 기술들에 대해 설명하고 3장에서는 사전 등화기를 갖는 SFBC-OFDM 시스템에서 적응 변조 기법을 제안한다. 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 시스템의 성능을 분석하겠다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

1. 적응 변조 기법

OFDM은 각 부채널이 플랫 페이딩을 겪도록 설

계할 수 있으므로, 주파수 선택적 채널에 강하다. 따라서 OFDM은 페이딩이 크지 않은 채널과 심각한 페이딩을 겪는 채널을 분리해서 생각할 수 있다. 비트 오류는 대부분 심각한 페이딩을 겪는 부채널에서 집중적으로 발생하고 그렇지 않은 부채널에서는 거의 발생하지 않는다. 따라서 심각한 페이딩을 겪는 부채널을 전송에서 제외한다면 전체적인 BER 성능이 크게 개선될 것이다[3][4]. 이러한 부채널 제외로 인한 용량의 손실은 수신 SNR이 높은 부채널에 더 높은 변조 수준을 적용함으로써 보상해줄 수 있다.

전송 전력 E_s (또는 평균 SNR, $\bar{\gamma} = E_s/N_0$)가 고정되어 있고 순간 채널 페이딩을 라고 하면, target BER을 유지하기 위해서는 변조 수준을 $\alpha(t)$ 에 따라 조절해야 한다. 이때 $\alpha(t)$ 는 수신기에서 추정된 채널 추정치에 근거해 채널 예측을 통해 이루어진다. 네 가지 변조 수준 ($i= 0,1,2,4$; no transmission, BPSK, QPSK, 16QAM)을 고려하고 순간 수신 SNR, $\gamma = \alpha^2(t)\bar{\gamma}$,에 따라 변조 수준을 선택한다. 즉, $\bar{\gamma} \geq \gamma_i$ 이면 $M_i - QAM$ 을 선택한다. 표 1은 레일리 페이딩 채널에서 적응 변조를 위한 switching thresholds(γ_i)를 음성 통신과 데이터 통신에 대해 각각 나타낸 것이다[5].

표 1. 레일리 페이딩에서 적응변조를 위한 switching threshold.

	γ_0	γ_1	γ_2	γ_4
음성 통신	$-\infty$	3.31	6.48	11.61
데이터 통신	$-\infty$	7.98	10.42	16.76

순간 수신 SNR, $\gamma = \alpha^2(t)\bar{\gamma}$,에 따라 변조 수준을 선택한다. 즉, $\bar{\gamma} \geq \gamma_i$ 이면 $M_i - QAM$ 을 선택한다.

표 1은 레일리 페이딩 채널에서 적응 변조를 위한 switching thresholds(γ_i)를 음성 통신과 데이터 통신에 대해 각각 나타낸 것이다[5].

그림 1은 적응 변조시 순간 SNR에 따라 각 변조

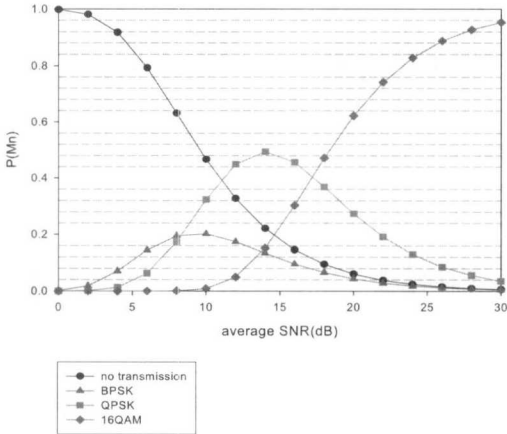


그림 1. 적응 변조에서 각 변조 레벨이 사용된 확률 밀도

수준이 사용된 확률을 보여주고 있다. SNR이 낮을 때에는 대부분의 부채널이 데이터를 전송하지 않고 SNR이 높아지면서 점차 BPSK, QPSK의 비중이 높아지다가 14dB를 기점으로 QPSK의 전송 확률이 점차 줄고 대부분의 부채널이 16QAM을 전송하게 된다.

2. SFBC-OFDM 시스템

채널의 주파수 선택성이 적어 인접 부채널 간의 채널 주파수 응답이 거의 바뀌지 않는 경우, 인접 심볼 간에 인접 부채널 간에 인코딩을 할 수 있다[6]. 이를 SFBC-OFDM이라 한다. 본 논문에서는 두 개의 송신 안테나와 한 개의 수신 안테나를 사용한다. SFBC-OFDM의 부호화 과정은 동일 OFDM 심볼 구간 동안 전송되는 연속된 두 OFDM 부채널 간에 이루어진다. m번째 OFDM s/p(serial-to-parallel) 블록의 짝수 번째 데이터(e)와 홀수 번째 데이터(o)를 SFBC 인코더의 입력 신호로 지정하면 아래와 같다.

$$\mathbf{X}_e(m) = [X(mN), X(mN+2), \dots, X(mN+N-2)]^T$$

$$\mathbf{X}_o(m) = [X(mN+1), X(mN+3), \dots, X(mN+N-1)]^T$$

SFBC 인코더를 거친 이산 시간 n에서의 안테나 1,2의 IFFT 입력은 각각 아래와 같다.

$$\mathbf{X}_1(n) = [X_{e,1}, -X_{o,1}^*, X_{e,2}, \dots, X_{e,N/2}, -X_{o,N/2}^*]^T$$

$$\mathbf{X}_2(n) = [X_{o,1}, X_{e,1}^*, X_{o,2}, \dots, X_{o,N/2}, X_{e,N/2}^*]^T$$

수신 후 FFT를 거친 이산 시간 n에서의 OFDM 수신 신호 $Y(n)$ 과 $Y(n)$ 의 홀수 번째와 짝수 번

째 신호는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{Y}(n) = \Lambda_1 \mathbf{X}_1(n) + \Lambda_2 \mathbf{X}_2(n) + \mathbf{Z}(n)$$

$$\mathbf{Y}_e = \Lambda_{1,e} \mathbf{X}_{1,e} + \Lambda_{2,e} \mathbf{X}_{2,e} + \mathbf{Z}_e = \Lambda_1 \mathbf{X}_e + \Lambda_2 \mathbf{X}_o + \mathbf{Z}_e$$

$$\mathbf{Y}_o = \Lambda_{1,o} \mathbf{X}_{1,o} + \Lambda_{2,o} \mathbf{X}_{2,o} + \mathbf{Z}_o = \Lambda_1 (-\mathbf{X}_o^*) + \Lambda_2 \mathbf{X}_e^* + \mathbf{Z}_o$$

여기서 Λ_1, Λ_2 는 각각 채널 h_1, h_2 의 DFT를 원소를 갖는 $N \times N$ 대각선 행렬이다. 또한 $\Lambda_{1,e}, \Lambda_{1,o}, \Lambda_{2,e}, \Lambda_{2,o}$ 는 짝수 번째 원소와 홀수 번째 원소이다. Z_e, Z_o 는 이산 시간 n에서의 $N \times 1$ AWGN 벡터의 짝수 번째와 홀수 번째 원소로 구성된다. 이 때 연속하는 부채널은 플랫폼 페이딩을 겪는다고 가정하였다. 송신 안테나 두 개를 가정하면, $\Lambda_{1,e} = \Lambda_{1,o} = \Lambda_1$ 이고 $\Lambda_{2,e} = \Lambda_{2,o} = \Lambda_2$ 는 $N/2 \times N/2$ 대각선 행렬이다. 합성 행렬로 나타내면 아래와 같다.

$$\Lambda_matrix = \begin{pmatrix} \Lambda_1^* & \Lambda_2 \\ \Lambda_2^* & -\Lambda_1 \end{pmatrix}$$

$$\text{Re}\{\Lambda_matrix^H \Lambda_matrix\} = P^H I$$

수신 신호 Y_e, Y_o 를 위의 식을 사용해서 같이 선형 합성하면 X_e, X_o 의 추정치 \hat{X}_e, \hat{X}_o 를 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \hat{X}_e \\ \hat{X}_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Lambda_1^* & \Lambda_2 \\ \Lambda_2^* & -\Lambda_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{Y}(n) \\ \mathbf{Y}'(n+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (|\Lambda_1|^2 + |\Lambda_2|^2) \mathbf{X}_e + \Lambda_1^* \mathbf{Z}(n) + \Lambda_2 \mathbf{Z}'(n+1) \\ (|\Lambda_1|^2 + |\Lambda_2|^2) \mathbf{X}_o + \Lambda_2^* \mathbf{Z}(n) - \Lambda_1 \mathbf{Z}'(n+1) \end{pmatrix}$$

위의 식으로부터 SFBC-OFDM에서 \hat{X} 은 $|\Lambda_1|^2 + |\Lambda_2|^2$ 의 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

3. 적응변조 SFBC-OFDM 시스템

F에 $\gamma(t)$ 가 $g(t)$ 라 $\gamma(t) = g^2(t) \bar{\gamma}$ 이다[7]. 두 개의 하변 순간 수신 SNR은 달라지게 된다. 다이버시티 이득이 있는 경우, 순간 채널 페이딩을 의해서만 결정되므로 다이버시티의 영향을 받지 않는다. 다만 순간 수신 SNR $\gamma(t) = g^2(t) \bar{\gamma}$ 이다

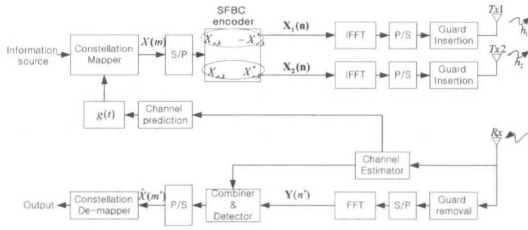


그림 2. 기지국에서의 적응 변조 SFBC-OFDM 송수신 구조

[7]. 두 개의 전송 안테나와 한 개의 수신 안테나를 갖는 SFBC 전송 다이버시티의 경우 $g(t)$ 는 아래와 같다.

$$g(t) = \sqrt{(\alpha_1^2(t) + \alpha_2^2(t)) / 2}$$

그림 2는 기지국에서의 적응 변조 SFBC-OFDM 송수신 구조를 보여주고 있다. 이 경우 변조 레벨이 한 개의 채널의 순간 페이딩 $\alpha(t)$ 가 아니라 다이버시티 이득을 갖는 순간 페이딩 $g(t)$ 의 영향을 받는다는 것이다.

III. 사전 등화기를 적용한 적응 변조 SFBC-OFDM

1. 사전 등화

OFDM은 각 부채널이 플랫 페이딩을 겪도록 설계할 수 있지만, 이것이 인접 부채널 동안의 플랫 페이딩을 보장하지는 않는다. 따라서 OFDM에 SFBC 전송 다이버시티 기법을 적용해 용량을 증대시키기 위해서는, 인접 부채널의 플랫 페이딩을 유지해야 할 필요가 있다. 인접 부채널의 수신 SNR을 사전 등화할 수 있다면, 심각한 주파수 선택적 채널에서도 SFBC-OFDM의 성능을 유지할 수 있다. 적응 변조를 하기 위해서는 채널 예측을 해야 하므로, 사전 등화 기법이 complexity를 추가로 요구하지는 않는다. 그림 3은 사전 등화를 사용하지 않은 경우 OFDM 송수신을 주파수축에서 개념적으로 보여준다. 진한 색으로 표시된 부채널은 심각한 페이딩을 겪는 채널이다. 그림 4는 인접 부채널 간에 사전 등화를 사용하지 않은 경우와 사용한 경우에 적응 변조와 수신 신호 크기를 개념적으로 도시하고 있다. 심각한 페이딩을 겪는 부채널은 시스템 전체

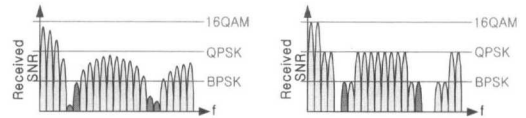


그림 4. 인접 채널 간 사전 등화를 하지 않은 경우와 사용한 경우의 수신 신호

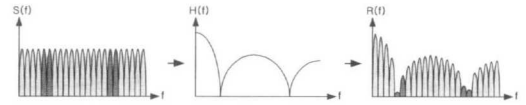


그림 3. 사전 등화를 사용하지 않은 경우 OFDM 신호

의 BER 성능을 저하시키므로 전송에서 제외한다면 성능을 향상시킬 수 있다.

2. 사전 등화기를 사용한 적응 변조 SFBC-OFDM

그림 5는 인접 채널 간에 사전 등화기를 적용한 적응 변조 SFBC-OFDM 시스템의 구조를 보여주고 있다. 예측한 채널의 첫 번째 부채널을 기준으로 변조 레벨을 결정하고, SFBC 인코딩 후 사전 등화기를 거쳐 연속하는 부채널을 등화 시킨 후 IFFT를 거친 후 전송되게 된다.

그림 6은 사전 등화기를 사용한 경우 적응 변조 SFBC-OFDM 시스템에서 각 변조 기법이 사용될 확률을 보여주고 있다. 앞의 그림 1과 비교하면 다이버시티 이득과 사전 등화기의 사용으로 인해 적응 변조에서 더 높은 변조 기법이 선택될 확률이 증가했음을 확인할 수 있다. 따라서, SFBC-OFDM에서 사전 등화기를 사용하면 채널 상황이 충분히 좋은 부채널의 남은 파워를 다른 부채널에게 할당하므로 시스템 용량의 향상이 있음을 알 수 있다.

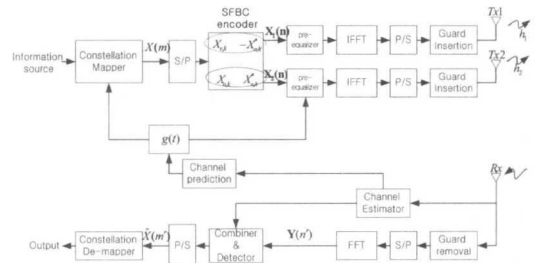


그림 5. 인접 채널 간 사전 등화기를 사용한 경우 적응 변조 SFBC-OFDM

3. 사전 등화를 사용한 고정 변조

앞 절에서 인접 채널 간에 사전 등화를 사용하면, 심각한 주파수 선택적 페이딩을 겪는 환경에서도 SFBC-OFDM이 성능을 보임을 확인하였다. 인접 채널뿐만 아니라, 전체 부채널을 사전 등화한다면, 전체 부채널에 고정 변조를 적용하면서도 일정한 BER 성능을 얻을 수 있다. 정해진 고정 변조를 사용하면, 적응 변조시 수신단에서 필요한 변조 레벨의 blind detection 등의 변조 레벨 signaling의 과정이 필요 없게 된다. 간단한 변조 레벨 signaling을 통하여 제안된 시스템 수신단의 복잡도는 간단해지고 시스템의 고속 동작이 가능하다. 또한 signaling에 의한 시스템 용량 낭비도 줄일 수 있어 전체 시스템의 용량을 증대시킬 수 있다는 장점이 있다. 이때 전송 전력에 제한이 없다면 용량은 적용한 고정 변조와 같겠지만 실제 통신 환경에서는 전송 전력이 제한되어 있으므로 전체 시스템의 용량은 적응 변조만을 행한 시스템에 비해 signaling을 고려하지 않는다면 다소 떨어질 것이다[8].

IV. 시뮬레이션 결과

1. 시뮬레이션 파라미터

표 2는 시뮬레이션 파라미터이다.

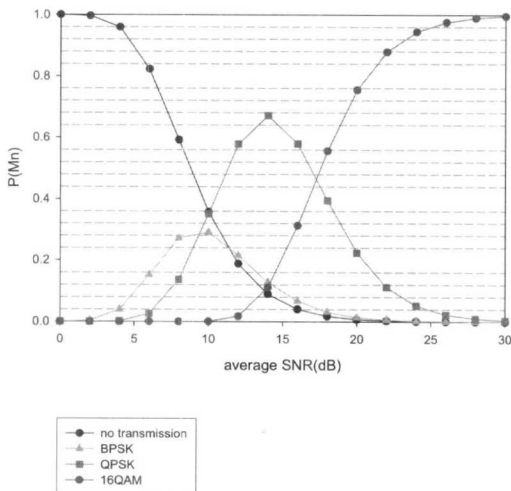


그림 6. 인접 채널 간에 사전 등화기를 적용한 적응 변조 SFBC-OFDM 에서 각 변조 기법에 사용된 확률

표 2. 시뮬레이션 파라미터.

parameter	Value
FFT size	512
total subcarrier	512
cyclic prefix length	64
carrier frequency	5GHz
symbol duration	2.56 us
sampling rate	225 Msamples/s
fdT	0.1
modulation	no transmission, BPSK QPSK,16Qam

2. 적응 변조 SFBC-OFDM 성능

이 번 절에서는 적응 변조 OFDM시스템과 적응 변조 SFBC-OFDM 시스템의 성능을 살펴보고자 한다. 먼저, 그림 7는 적응 변조를 사용한 경우와 고정 변조를 사용한 경우 BER과 BPS 성능을 보여주고 있다. 적응 변조는 target BER(10^{-4})을 유지하면서 SNR이 높아지면 용량도 16QAM에 근접한다. 20dB 이후에는 SNR이 충분히 높기 때문에, 적응 변조의 BER 성능도 더 좋아진다.

그림 8은 주파수 선택적 채널에서 SFBC-OFDM 시스템의 고정 변조와 적응 변조의 BER과BPS 성능을 보여주고 있다. 이 경우 인접 부채널 간에도 채널이 변하는 주파수 선택성이 심각한 채널을 고려하였고, 이 때 fdT=0.0001을 사용하였으며, 채널

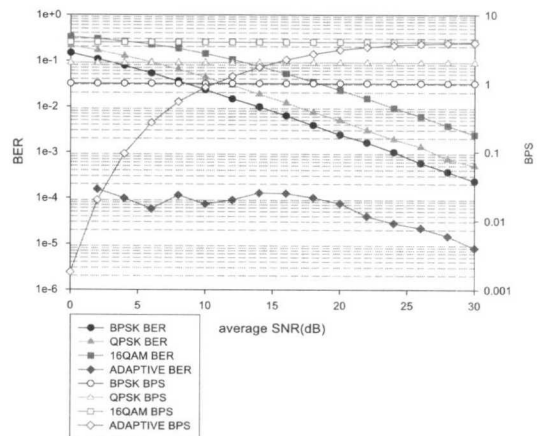


그림 7. 적응 변조와 고정 변조 시스템의 BER과 BPS 성능

예측은 완벽하다고 가정하였다. 앞의 그림 7과 비교하면 다이버시티 이득에도 불구하고 적응 변조 비교 SFBC-OFDM이 심각한 성능 저하를 겪고 있음을 알 수 있다. 이는 인접 부채널 동안 주파수 선택 성으로 인해 SFBC의 직교성이 파괴되어 심볼간 간섭의 영향이 다이버시티 이득보다 커졌기 때문이다.

3. 사전 등화를 적용한 적응 변조 SFBC-OFDM의 성능

본 논문에서 제안한 사전 등화를 사용한 SFBC-OFDM의 성능을 살펴보겠다.

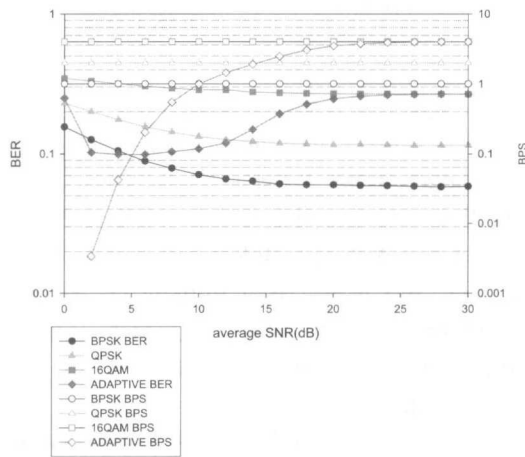


그림 8. SFBC-OFDM에서 적응 변조와 고정 변조의 BER과 BPS 성능

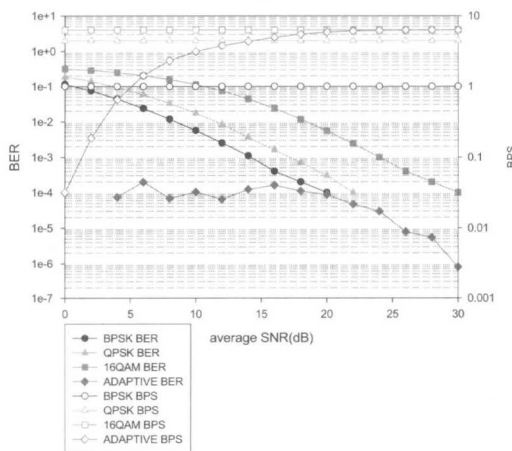


그림 9. 인접 채널 간에 사전 등화를 적용한 SFBC-OFDM에서 적응 변조와 고정 변조를 사용한 BER과 BPS 성능

그림 9은 심각한 주파수 선택적 페이딩을 겪는 SFBC-OFDM 시스템에서 인접 채널간에 사전 등화를 사용한, 고정 변조와 적응 변조의 BER과 BPS 성능을 보여주고 있다. 앞의 4.2절의 결과와 비교할 때, 먼저 그림 8와 비교하면 다이버시티 이득으로 BER과 BPS의 성능이 모두 향상 되었음을 알 수 있다. BER= 10^{-2} 에서 BPSK는 SNR=8.25dB, QPSK는 SNR=11.5dB, 16QAM은 SNR=18.25dB이다. 이를 그림 9와 비교하면 (BPSK : SNR=13.75dB, QPSK : SNR=17dB, 16QAM : SNR=23.25dB) 다이버시티의 사용으로 대략 5dB의 성능 개선이 있음을 확인할 수 있다. 적응 변조의 BPS 역시 SNR=18dB에서 2.6870BPS에서 3.0457BPS로 0.36BPS 향상되었다.

그림 10는 전송 전력이 제한되지 않은 경우, 전체 부채널에 사전 등화를 사용한 고정 변조와 사용하지 않은 다른 변조 방법들의 BER과 BPS 성능이다. 그림 11은 전송 전력이 제한되어 있는 경우, 전체 부채널에 사전 등화를 사용한 고정 변조와 사용하지 않은 다른 변조 방법들의 BER과 BPS 성능이다.

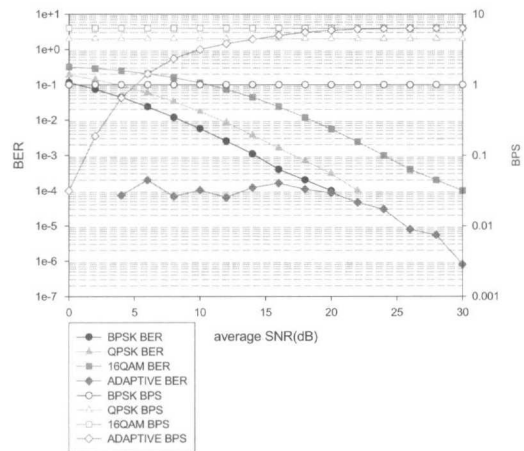


그림 9. 인접 채널 간에 사전 등화를 적용한 SFBC-OFDM에서 적응 변조와 고정 변조를 사용한 BER과 BPS 성능

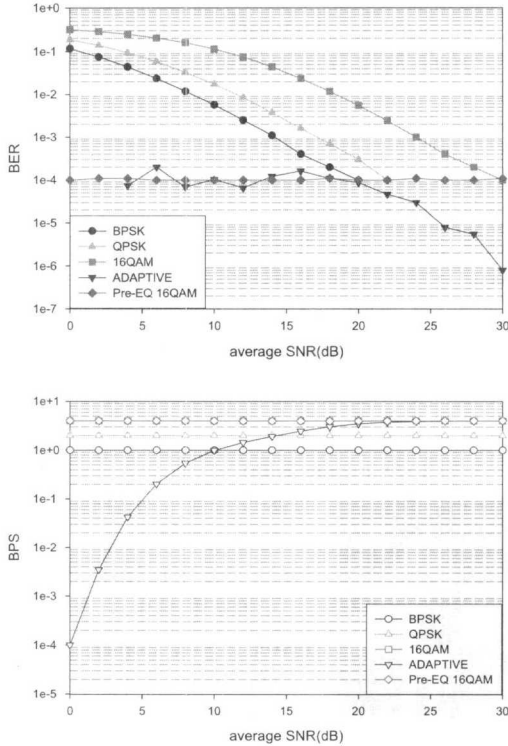


그림 10. 전체 부채널에 사전 등화를 사용한 고정 변조 16QAM과 다른 변조 방법의 BER과 BPS 성능 비교 (전송 전력이 제한되지 않은 경우)

이 때 채널은 인접 채널간 페이딩이 일정한 quasi-flat 채널을 사용하였다. 전송 전력에 제한이 없다면 그림 10에서 보듯 전체 부채널을 등화한 고정 16QAM 변조는 target BER = 10^{-4} 을 만족시키면서 용량도 4BPS로 적응 변조보다 높다는 것을 알 수 있다. 그림 11의 전송 전력이 제한되어 있는 경우를 살펴보면, 인접 부채널 간에 SNR을 사전 등화한 고정 변조 16QAM 변조 방법이 target BER = 10^{-4} 을 유지하면서, 전송 전력이 제한되지 않은 경우보다 떨어지지만 여전히 적응 변조보다 높은 용량을 보임을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 하향 링크의 용량을 증가시키기 위해서, SFBC 전송 다이버시티를 갖는 OFDM 시스템에서의 적응 변조를 제안하였다. SFBC-OFDM이 시변 채널에 강하다고는 하지만, 주파수 선택적 페이딩은 SFBC-OFDM의 성능을 저하시킨다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 인접 부채널 간 사전 등화기를 제안하였다. 인접 부채널 간 사전 등화는 인접 채널에 걸친 주파수 선택적 페이딩을 플랫 페이딩으로 바꾸어 주파수 SFBC의 성능을 유지시켜 제안한 시스템이 심각한 주파수 선택적 페이딩 환경에서도 성능을 갖도록 하였다. 적응 변조를 하기 위해서는 이미 채널 예측을 수행하므로 사전 등화기를 사용하는 것이 별도의 complexity를 요구하지는 않는다. 또한 가용한 전송 전력 내에서, 사전 등화기를 전체 부채널에 적용한다면 고정 변조를 사용하면서도 적응 변조와 마찬가지로 target BER을 유지할 수 있고 수신단의 detection 과정을 간단히 할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 결과적으로 제안한 시스템은 시변 다중 경로 환경에서 BER과 용량 모두 기존 적응 변조 OFDM 시스템보다 좋은 성능을 가짐을 알 수 있었다.

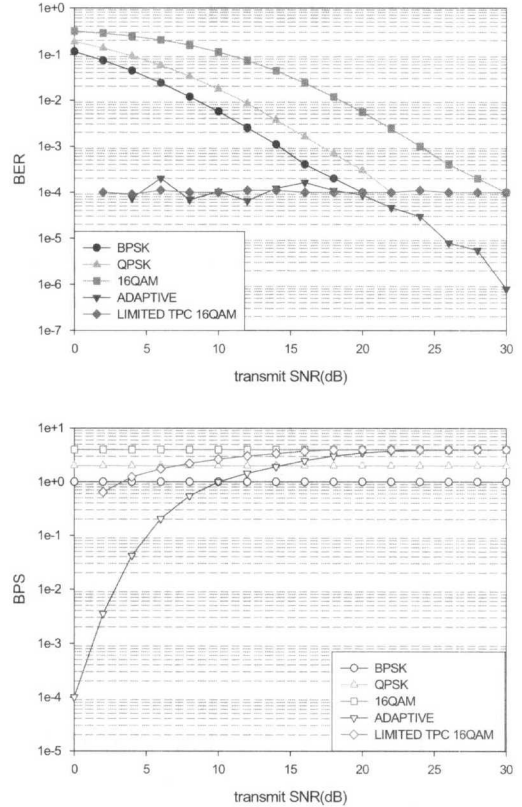


그림 11. 전체 부채널에 사전 등화를 사용한 고정 변조 16QAM과 다른 변조 방법의 BER과 BPS 성능 비교 (전송 전력이 제한된 경우)

이딩은 SFBC-OFDM의 성능을 저하시킨다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 인접 부채널 간 사전 등화기를 제안하였다. 인접 부채널 간 사전 등화는 인접 채널에 걸친 주파수 선택적 페이딩을 플랫 페이딩으로 바꾸어 주파수 SFBC의 성능을 유지시켜 제안한 시스템이 심각한 주파수 선택적 페이딩 환경에서도 성능을 갖도록 하였다. 적응 변조를 하기 위해서는 이미 채널 예측을 수행하므로 사전 등화기를 사용하는 것이 별도의 complexity를 요구하지는 않는다. 또한 가용한 전송 전력 내에서, 사전 등화기를 전체 부채널에 적용한다면 고정 변조를 사용하면서도 적응 변조와 마찬가지로 target BER을 유지할 수 있고 수신단의 detection 과정을 간단히 할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 결과적으로 제안한 시스템은 시변 다중 경로 환경에서 BER과 용량 모두 기존 적응 변조 OFDM 시스템보다 좋은 성능을 가짐을 알 수 있었다.

