

논문 2006-43IE-2-13

페이딩 채널에서 적응 LDPC 부호화 MIMO-OFDM의 성능 분석

(On Adaptive LDPC Coded MIMO-OFDM with MQAM on Fading Channels)

김진우*, 조경현*, 나극환**

(Jin-Woo Kim, Kyung-Hyun Joh, and Keuk-Hwan Ra)

요약

제4세대 무선 통신은 송신기와 수신기양단에 다중 안테나와 순시 채널의 상태 정보를 이용함으로써 LDPC와 OFDM 무선 전송에 있어서 MQAM(M-ary Quadrature Amplitude Modulation)을 사용하는 적응 공간 부반송파 부호화 변조 방식에 기반으로 하고 있다. 적응 부호화 변조는 시변 협대역 무선 채널에 대해서 대역 효율이 좋은 전송방식으로 인식되어 가고 있다. 전력이 제한된 AWGN 채널에 대해서, LDPC 부호들은 오류 제어 부호의 한 부류이며 이는 어떤 조건하에서는 터보부호보다 오류 정정 능력이 더 좋은 것으로 알려져 왔다. 본 논문에서는 MIMO 시스템에 적용된 LDPC 부호를 갖는 OFDM 방식과 적응 변조방식에 대해서 서술한다. 채널의 순시 정보를 알고 있다고 가정함으로써 각 부반송파에 대해서 비트와 전력 할당을 얻기 위한 최적화 알고리즘이 사용되었다. 시뮬레이션 결과는 제안한 시스템이 가능성을 가짐을 보여준다.

Abstract

The wireless communication based on LDPC and adaptive spatial-subcarrier coded modulation using MQAM for orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) wireless transmission by using instantaneous channel state information and employing multiple antennas at both the transmitter and the receiver. Adaptive coded modulation is a promising idea for bandwidth-efficient transmission on time-varying, narrowband wireless channels. On power limited Additive White Gaussian Noise (AWGN) channels, low density parity check (LDPC) codes are a class of error control codes which have demonstrated impressive error correcting qualities, under some conditions performing even better than turbo codes. The paper demonstrates OFDM with LDPC and adaptive modulation applied to Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) system. An optimization algorithm to obtain a bit and power allocation for each subcarrier assuming instantaneous channel knowledge is used. The experimental results are shown the potential of our proposed system.

Keywords : OFDM, MIMO, Fading Channel, LDPC, MQAM

I. 서론

무선 이동통신 시스템의 급격한 성장으로 인해서, 무선 멀티미디어에 대한 요구가 증가함에 따라 한정된 무선 자원을 효율적으로 사용하기 위해서 전송 채널을 각 사용자에게 동적으로 할당해야 한다. 무선 화상 및 동영상 전송 등은 무선 멀티미디어의 기본적인 요소로서 자리를 잡아가고 있다. 이러한 멀티미디어 서비스는 음성 기반의 정보 소스보다 훨씬 넓은 전송 대역을 필요

* 정회원, 동양공업전문대학 전기전자통신공학부
(School of Electrical Engineering, Dongyang Technical College)

** 정회원, 광운대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon University)

※ 본 논문은 2006년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다. (IITA-2005-(C1090-0502-0034))

접수일자: 2006년1월19일, 수정완료일: 2006년6월7일

로 한다. 게다가 복잡해진 부호화 알고리즘으로 인해서, 프로세싱 전력이 매우 중요한 인자로 인식되고 있다. 그 이유는 이동성 단말에 대해서 배터리의 수명과 통화 시 오랜 시간동안 전력을 공급해 주어야 하기 때문이다. 이러한 무선 이동통신의 가장 심각한 제한 사항들은 시변 특성을 갖는 무선 채널에 의해서 영향을 받는다. 제한된 스펙트럼과 다중경로 페이딩 환경에 의한 intersymbol interference(ISI)에 대해서 높은 데이터 전송률과 효율적인 전력 사용을 어떻게 제공할 것인지는 중요한 연구 대상이 된다.

ISI는 수신기에서 오류 확률을 개선할 수 없게 하거나 또는 오류가 발생할 확률을 증가시킨다. 이런 문제를 해결하기 위해서, OFDM과 다중 반송과 변조방식이 연구되고 있으며 높은 전송률을 제공할 수 있는 기술로써 검증되어 오고 있다.

최근에, LDPC 부호는 채널 부호화 분야에서 연구가 많이 진행된 주제이다. 본 논문의 목적은 일정한 비트 오류율과 데이터 전송률은 유지하면서 각 공간 반송파 채널에서 전력 할당과 전송률 및 변조 방식을 수행함으로써 각 OFDM 전송에 있어서 요구되는 총 전송 전력을 최소화하는 것이다^{[1]-[4]}.

II. SYSTEM MODEL

그림 1은 LDPC 부호화된 MIMO-OFDM 시스템의 블록도를 나타낸다.

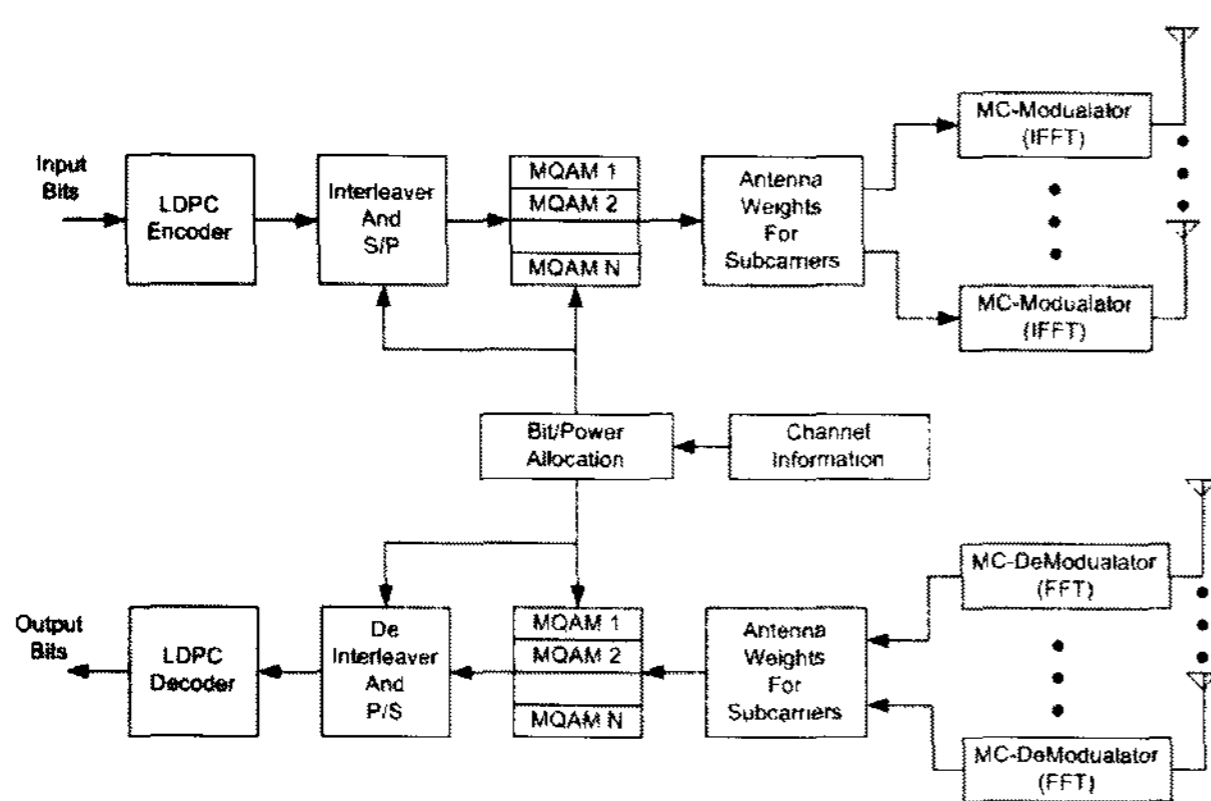


그림 1. LDPC Coded MIMO-OFDM 시스템 블록도
Fig. 1. Block diagram of LDPC Coded MIMO-OFDM system.

1. LDPC Code

LDPC(Low-density parity-check) 부호들은 대부분 0과 작은 수의 1로 구성된 패리티-체크 행렬을 갖는 선

형블록 부호군으로 Gallager에 의해서 소개되었다^[5]. 이들 부호를 정의하는 패리티-체크 행렬의 Sparsity는 sum-product 알고리즘으로 알려진 message-passing 과정에 의해서 효율적으로 복호하는데 중요하다. Berrou가 터보부호를 소개하고 실제적인 시스템에서 채널 용량에 접근하는 반복 복호가 제안된 후에, LDPC 부호들과 복호화는 1990년 중반에 MacKay와 Neal에 의해서 재조명되었다^{[6][7]}. 결과적으로, LDPC 부호들은 이론적으로 많은 관심을 유도하였으며 구현 관점과 새로운 연구가 많이 진행되고 있다.

선형 블록 부호는 패리티-체크 행렬 H 의 항으로 표현이 가능하며 이는 부호워드 x 에 대해서 $Hx = 0$ 을 만족한다. $M \times N$ 패리티 체크 행렬의 각 열은 패리티-체크 식을 정의하는데 이 식은 각각의 부호워드 x 에 의해서 만족되어야 한다. 패리티-체크 행렬은 일반적으로 Shannon의 용량 한계를 성취하기 위해서 긴 블록 길이 N 를 갖는다. LDPC 부호들은 일정한 행의 가중치와 열의 가중치를 갖는 sparse 패리티-체크 행렬을 사용하는 부호들로서 정의되는 이들 모두 블록 길이에 비해서 매우 작은 값이다. LDPC 부호를 (N, K) LDPC로 $M \times N$ 패리티-체크 행렬에 의해서 정의되며 여기서 $K = N - M$ 이다. 부호율은 $R = K/N$ 이다.

소스 비트들이 LDPC 부호기에 전달되고 부호화는 원칙적으로 LDPC 부호의 생성 행렬 G 에 의해서 정보 블록 U 를 $GF(2)$ 로 곱함으로써 수행된다.

$$x = uG \tag{1}$$

생성기와 패리티-체크 행렬은 관계 $GH^T = 0$ 를 만족한다. LDPC 부호들은 sum-product 알고리즘이나 belief propagation으로 알려진 확률 전송 알고리즘(probability propagation algorithm)을 사용하여 복호될 수 있다. 복호 과정은 $xH^T = 0$ 인 가장 확률이 큰 부호워드 x 를 찾는 것을 목적으로 한다. 기본적으로 알고리즘은 두 부분으로 구성되어 있다. 첫 번째 부분은 체크 노드들에서 시작하고 체크 노드들과 연관된 r_{nm} 의 양들은 체크 노드 m 에 의해서 체크된 심볼 노드들에 메시지로써 갱신되고 전달된다.

이 동작은 모든 체크 노드들에 대해서 수행된다. 두 번째 부분에서 심볼 노드 n 과 연관된 q_{nm} 의 양들은 가변 노드 n 를 포함하는 체크 노드들에 메시지로써 갱신되고 전달된다.

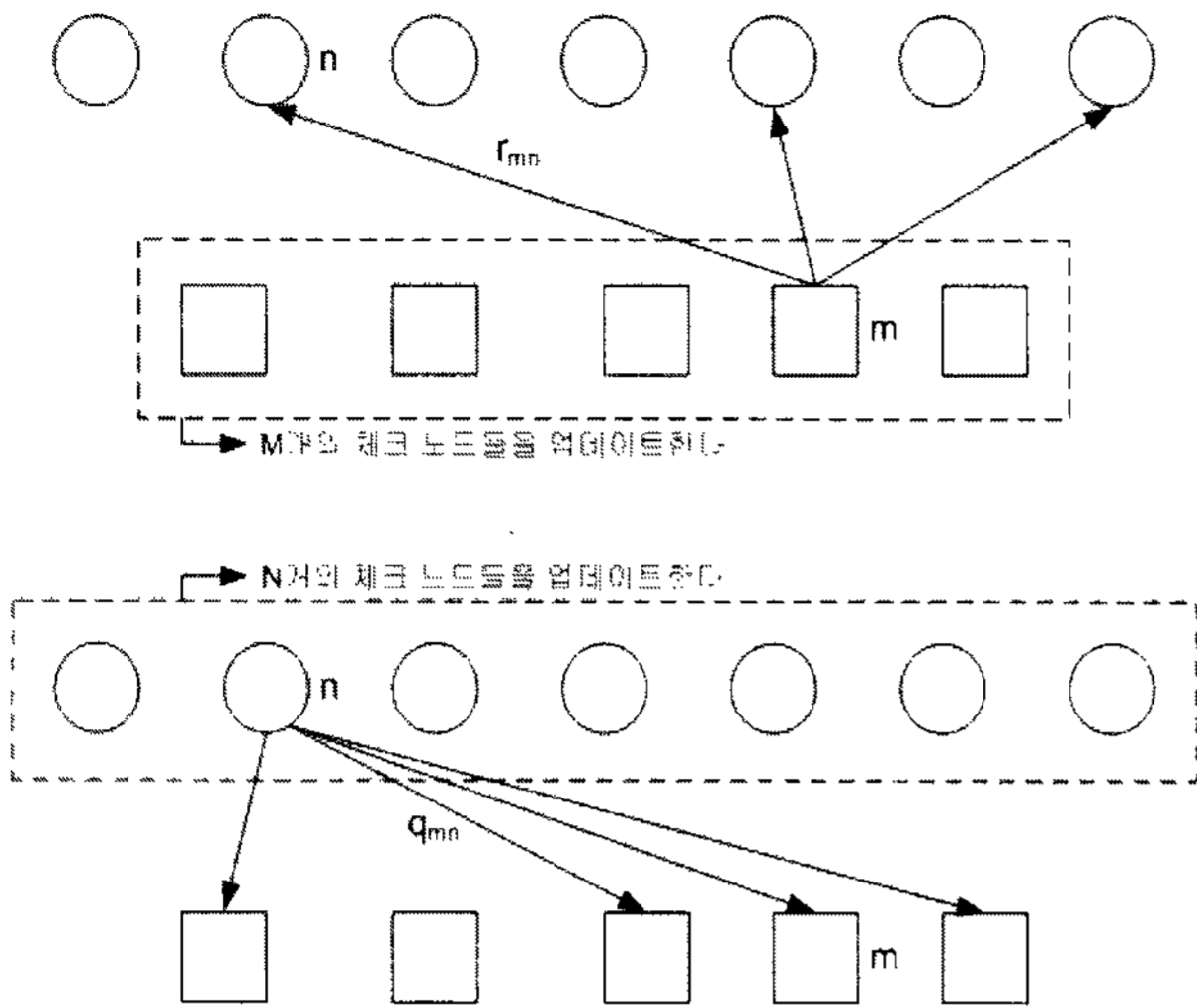


그림 2. Message-passing 알고리즘
Fig. 2. Message-passing algorithm.

이러한 동작은 모든 심볼 노드들에 대해서 실행된다. 이들 두 가지 부분들은 그림 2에 나타내었고 복호 알고리즘의 한번 반복을 구성한다, 각 반복은 산출된 부호워드 \hat{x} 를 계산할 수 있다. 만약, $\hat{x}H^T=0$ 이거나 다른 정지 조건에 부합한다면 복호 과정을 정지된다.

심볼 n 이 고정되었을 때 즉 0에서 그리고 체크 m 에 유입하는 각각의 다른 심볼에 대해서 확률이 주어질때 양 r_{nm} 은 체크 m 이 만족하는 확률을 나타낸다.

양 q_{nm} 은 체크 m 이 아닌 다른 체크들을 경유하여 정보가 얻어진다면 비트 n 이 0이거나 1인 확률을 나타낸다. 노드들 사이에 전달된 메시지들은 posterior 확률일 필요는 없지만 likelihood나 log-likelihood 비율이 될 수 있다. 실제로, 복호 알고리즘의 다양한 간소화 방식이 제안되어 왔으며 실제 구현에 적용되고 있다^[9].

2. MIMO and OFDM

MIMO 시스템은 송신기와 수신기 사이에 다중 안테나를 갖는 점대점 통신 링크들으로써 정의된다. 송신기와 수신기 양쪽에서 다중 안테나의 사용은 송신기나 수신기에 사용하는 다이버시티 시스템들에 대해서 개선된 성능을 제공하지만 양 쪽 모두 다중 안테나를 가지지는 않는다. 이 기술은 송신 전력과 대역의 증가시키지 않고 무선 시스템의 데이터 전송률을 상당히 증가시킨다. 데이터 전송률이 증가함으로써 다중 안테나를 사용함으로써 부가된 여분의 안테나의 공간 요구조건과 다차원 신호 처리에 요구되는 추가된 복잡성이 증가한다. 이에 대해서 많은 연구가 진행되어 OFDM 시스템과 공

간 다이버시티를 조합하는데 기여를 하였다. 이렇게 조합된 시스템은 데이터 전송률을 증가하고 지연확산을 제거하는 장점을 제공한다. MIMO-OFDM 시스템에 대한 부채널에 대한 전력 제어는 스펙트럼 효율과 전력 스펙트럼 효율을 개선하는데 중요하다. 어떠한 간섭 없이, 전송을 최적화하기 위한 최상의 전력 제어는 waterfilling 솔루션이다^{[11][12]}. 여기서, 채널은 레일리 블록 페이딩 채널이라고 가정하는데 이는 페이드 시간에 의해서 특징지어지는 시간 변화를 가지는 산란이 많은 환경이다.

MIMO의 경우, 채널은 식(2)과 같은 행렬 채널이 된다.

$$y_k = \sum_{k=0}^{L-1} H_k x_{k-1} + n_k \quad (2)$$

여기서 일반적으로 y_k , x_k , n_k 는 벡터일 수 있고 H_k 는 행렬이다.

이와 같이 채널의 지연 확산은 L 심볼 기간들이다. 채널 탭의 지수함수적인 쇠퇴 프로파일은 상수 E_i 에 각 랜덤 행렬 H_k 내 모든 원소들의 전력을 고정함으로써 모델링된다. 이들 계수 E_i 는 변수 I 에서 쇠퇴 기하학적 수열(decaying geometric progression)을 형성한다. 동기 시간 간격 동안, 모든 행렬들 H 는 상수이고 채널이 서로 상관관계가 없어질 때 그들 각각의 p, d, f 들에 따라 새로이 형성된다. 더 나아가, 간소화를 위해서, 채널이 OFDM 심볼 전송의 끝단에서 서로 상관관계가 없어진다고 가정한다. 채널 추정값은 각 부채널에 대한 비 선택적 페이딩의 효과를 변환한다. 일반적으로, OFDM 시스템들은 채널 추정값에 대한 파일럿 신호들을 제공한다. 시변 채널의 경우에서, 파일럿 신호들은 주기적으로 반복 전송된다.

시간과 주파수내 파일럿 신호들 사이의 공간은 동기(Coherence) 시간과 대역에 의존한다. 본 논문에서, 채널 추정값은 이상적이라고 가정하고 송신기와 수신기 사이에서 사용 가능하다고 하자. 채널에 대한 정보가 완전하다고 하면, 송신기와 수신기는 OFDM 심볼의 각 톤에서 채널 이득과 채널의 주파수 응답을 결정할 수 있다. 이들 이득이 주어진다면, 적응 알고리즘은 최적화된 비트와 전력 할당을 산출한다. 주기적인 Prefix가 다중 경로의 영향을 극복하기 위해서 OFDM 심볼에 추가된다.

가. Analysis of MIMO-OFDM systems

t 개의 전송 안테나와 r 개의 수신 안테나를 가진 MIMO 시스템을 고려한다. 각 톤에 대해서, MIMO 채널은 $m \times n$ 행렬에 의해서 표현될 수 있는데 여기서 h_{jk} 는 송신 안테나 k 로부터 수신 안테나 j 로의 채널 이득을 나타낸다. 만약 송신기와 수신기에서 채널의 상태 정보가 이상적이라고 가정한다면, 각 톤에 있어서 MIMO 채널은 Singular Value Decomposition(SVD)을 사용하여 서로 간섭이 없는 병렬화된 SISO 채널로 분리될 수 있다. i 번째 톤에 대한 순시 채널 행렬이 SVD를 갖는다고 하자. 식(3)과 같이 채널의 주파수 응답을 나타낼 수 있다.

$$H_i = U_i S_i V_i^* \quad (3)$$

여기서 U_i 와 V_i 는 단일의 행렬들이고 S_i 는 H_i 의 Singular 값들의 직교 행렬이다. * 연산자는 복소켄이 연산자이다. 만약, V_i 의 전송 프리코딩 필터를 사용하고 U_i 의 수신기 성형 필터를 사용한다면 IFFT와 FFT 사이의 MIMO채널은 등가적으로 병렬의 부채널로 분리된다. 이와 같은 부채널의 수는 H_i 의 singular 값들과 같다. OFDM 시스템의 각 부채널에 적용된다. $c(i)$ 로 이 수를 표기한다. 이와 동일한 병렬 분리된 채널은 OFDM 시스템의 각각의 부채널에 적용된다. 일반적으로 각 프리코더와 성형 행렬은 각 부채널에 대해서 각각 다르다.

나. Adaptive modulation for MIMO-OFDM

적응적으로 변조되는 MIMO-OFDM 시스템은 시스템에 적용된 각 부채널이 부합하는 프리코더와 성형 행렬을 가지는 것을 요구한다. 이와 같이, M 개의 효과적인 부채널들을 얻을 수 있다. 이들 부채널은 식(4)에 나타내었다.

$$M = \sum_{i=1}^N c(i) \quad (4)$$

즉, MIMO-OFDM 적응 변조의 문제는 모든 톤들의 0이 아닌 모든 singular 값들에 대해서 비트 로딩으로 분리하는 것이다. 이와 같이 이 문제는 SISO 경우보다 훨씬 클 것이지만 분리하는 최적화 알고리즘을 변화시키지 않고 이를 처리하도록 허용한다.

다. Adaptive loading

고정 전송 전력에 대해서 샤논(Shannon)의 채널 용량을 얻기 위한 최적화된 적응 전송 방식은 주파수 선택적 채널에 대해서 전력의 waterfilling 분배이다. 그러므로 waterfilling 분배가 최적의 솔루션을 생성하지만 이는 계산이 어렵다. 그리고 신호 격자도가 무한히 크다고 가정하는데 이는 실제적으로 구현이 불가능하다.

본 논문에서 사용한 적응 로딩 방식은 부채널 이득 정보에 기초한 전력과 전송률 최적화를 얻기 위해서 효과적인 방법으로 [9][10]에서 제안되었다.

본 논문에서는 6개의 다른 MQAM 신호 격자를 사용한다. 이 방식은 제한되지 않는 격자들을 사용하는 것에 매우 근접하는 효율을 나타낼 것으로 기대된다. 일정한 부호 방식을 사용하는 오류에 대해서 요구된 확률에서 부채널에 b 비트들을 전송하기 위해서 필요한 에너지양을 나타내는 N 개의 증가하는 볼록(Convex) 함수 $e_n(b)$ 의 집합이 주어진다. 여기서는 $e_n(b) = 0$ 라고 가정한다. 사용되어질 할당 문제는 식(5)로서 공식화될 수 있다.

에너지 최소화 문제(Energy Minimization Problem)

$$\text{Minimize } \sum_{n=1}^N e_n(b_n) \quad (5)$$

$$\sum_{n=1}^N b_n = B \quad (6)$$

식(5)는 식(6)에 종속된다. 여기서 $b_n \in Z$ 이고 $b_n \geq 0, n = 1, 2, \dots, N$ 이다.

비트 할당을 초기화하기 위해서 [9]의 방식을 사용한다. 비트 할당 초기화 방식을 요약하여 다음과 같이 나타내었다.

알고리즘 초기화(Initialize Algorithm)

1. 부채널 신호대 잡음비를 계산한다
2. 식(7)에 기초하여 i 번째 부채널에 대한 비트수를 계산한다.

$$\hat{b}(i) = \log_2(1 + SNR(i)/GAP) \quad (7)$$

3. $\hat{b}(i)$ 의 값을 $b(i)$ 아래로 버린다.
4. 각 변조 방식 0, 1, 2, 4, 6 또는 8에 부합하게 $b(i)$ 를 제한한다.

5. 식(8)을 사용하여 할당된 비트들의 수를 기초하여 i 번째 부채널에 대해서 에너지를 계산한다.

$$e_i(b(i)) = (2^{b(i)} - 1) / GNR(i) \quad (8)$$

여기서 $GNR(i) = SNR(i) / GAP$ 이다.

6. 각 부채널에 대해서 에너지 증가 표를 구성한다.
 i 번째 부채널에 대해서 식(9)과 같다.

$$\Delta e_i(b) = e_i(b) - e_i(b-1) = \frac{2^{b-1}}{GNR} \quad (9)$$

k 번째 채널을 고려한다. 주어진 채널 이득과 잡음 전력 스펙트럼 분포에 대해서, 부채널에 대해서 에너지 증가 표는 0비트에서 1비트, 1비트에서 2비트, 2비트에서 3비트,....로의 천이에 요구되는 증가 에너지를 제공한다. 최대 8비트를 가지는 시스템을 사용하였기에, 8에서 9비트로 이동하는데 요구되는 에너지 증가는 매우 높은 값으로 설정된다. 또한 0, 1, 2, 4, 6, 8비트에 대한 부채널만을 사용한다.

이와 같이, 기수 비트들은 지원하지 않는다, 이 경우에 대해서 에너지 증가 표는 평균값 기술을 사용하여 변경되어야 한다.

n 번째 부채널내에 2비트에서 부가적인 비트를 제공하기 위해서 요구되는 에너지 증가가 30 유닛이고 3비트에서 부가적인 비트를 지원하기 위해서는 40 유닛이 요구된다고 가정한다. 그 후 동일한 값에 대해서 에너지 증가값을 재할당한다. 즉, 두개의 평균값을 할당한다. 이 경우 그 값은 35 유닛이다. 만약 부채널이 2비트에서 3비트로 이동하기 위해서 단일 비트가 할당된다면 다음 반복에서 다른 비트를 제공하기 위해서 요구되는 부가적인 에너지의 최소량은 동일 부채널이 다음 비트에 할당되어질 것이라는 것을 의미한다.

GAP이라는 새로운 단어를 사용하였다. 이 파라미터는 실제로 조정 파라미터이다. GAP에 대한 다른 값들은 전송되어질 B 비트들에 대해서 각각 다른 E_b/N_0 비를 생성한다. 이는 GAP이 에너지 표 값 계산에 직접적으로 영향을 주기 때문이다. 주어진 초기 비트 할당에 대해서, 다음의 알고리즘은 비트 할당을 최적화한다^[1].

Algorithm B-Tighten

Input :

b , 초기 비트 할당

B , 할당되어질 총 비트수

Output :

b , 최적화된 비트 할당

Algorithm :

```

B' ← 0
for n = 1 to N
    B' ← B' + b(n)
while (B' ≠ B)
    if (B' > B)
        n = arg max1 ≤ j ≤ N Δej(bj)
        B ← B - 1
        b(n) ← b(n) - 1
    else
        m = arg min1 ≤ i ≤ N Δei(bi + 1)
        B ← B + 1
        b(n) ← b(n) + 1

```

라. Cyclic Prefix

다중경로의 영향을 극복하기 위해서 주기적인 prefix는 OFDM 심볼에 추가된다. 보호 구간을 사용함으로써 인접한 OFDM 심볼사이의 심볼간 간섭의 발생을 피하는데 이는 요구되는 신호의 다중 경로 성분들을 제거한 후에 다음 OFDM 심볼들이 전송된다.

수신기의 복잡도를 줄이기 위해서 유용한 기술은 보호 구간에 보호 심볼을 사용한다.

특히, 이 보호 심볼은 각 블록에 prefix 확장이 되도록 선택된다. 이렇게 하는 이유는 신호와 채널의 선형 컨벌루션이 원형 컨벌루션으로 변화하는 것이고 신호와 채널의 원형 컨벌루션된 FFT가 각각의 FFT의 곱으로 간단하게 표현되게 한다. 그러므로 이를 위해서, 보호 구간은 채널의 지연 확산보다 훨씬 크게 해야 한다. 주기적인 prefix의 상대적인 길이는 OFDM 심볼 구간에 대한 채널 지연 확산의 비에 의존한다.

마. 변조와 복조

변조기는 일련의 비트들을 신호 격자의 성분에 부합하는 복소수로 변환한다. 본 논문에서는, 적응 알고리즘에 대해서, 변조기는 입력으로서 일련의 비트들과 에너지 값을 가지며 변조기의 출력은 입력의 비트들에 부합하는 격자 심볼로써 이는 요구되는 에너지를 가지도록 적절하게 스케일된다.

변조기는 사용가능한 전송율의 유한 수를 가지게 되는데 이는 신호 격자의 유한 수가 변조방식에서 사용된다. 특히, 이들 격자들은 2의 급수와 동일한 심볼 수를 가지는 신호 격자의 집합으로부터 선택된다.

더 나아가, 비트오류에 대해서 강건함을 제공하기 위해서 그레이 부호화된 신호 격자가 각 변조 단에서 사용되었다. 이 그레이 부호는 만약 복호기가 인접한 심볼을 선택하여 심볼 오류가 발생한다면 비트 오류의 결과는 단지 1비트만에 발생하게 하는 부호 배열이다.

최대 가능성(MMSE) 제곱 오류와 Zero-Forcing을 포함하는 많은 복조 방식이 사용될 수 있다.

본 논문에서는 각 부채널에 대해서 페이딩 채널 이득에서 각 채널의 정보가 주어진 경우, 복조기의 간소화를 위해서 Zero-Forcing 접근 방식을 사용하였다.

III. 시뮬레이션 결과

비교를 위해서 SISO와 MIMO 시뮬레이션이 수행되었다. 다음 파라미터들이 시뮬레이션을 위해서 사용되었다. 반송파 수는 64개, OFDM 심볼 시간은 64 심볼 구간, 보호 시간은 16 심볼 구간, 사용한 MQAM 심볼 수는 [0, 1, 2, 4, 6, 8], 전력 지연 프로파일은 [1 1/e 1/e²], 잡음 분산은 1×10⁻³, 동기 시간은 50 심볼 구간이다. 적응 SISO와 적응 MIMO(송수신 안테나 2개씩), 적응 MIMO(송수신 안테나 3개)의 BER 성능을 그림3, 4에 나타내었다.

그림 3에 나타난 결과에서 MIMO시스템이 SISO 시스템에 비해서 BER이 10⁻³기준으로 송수신기의 안테나가 2개인 경우는 대략 10[dB]의 전력이득을 발생하였다. 이 결과로부터 동일전력에서 적응 MIMO가 적응 SISO보다 좋은 BER 성능을 나타내었고 LDPC로 부호화된 MIMO 시스템이 더 나은 성능을 나타낼 수 있다. 그림4도 유사한 전력이득을 발생함을 볼수 있다. 제안된 방식은 제한된 배터리 전력과 마찬가지로 고속 전송율과 제한된 대역에 기인하여 무선 멀티미디어 통신 시스템이 가능한 모든 방식과 기술을 사용하여 최적화되어야 한다. 제안한 방식은 LDPC 시스템을 갖는 적응 MIMO / OFDM은 통신 시스템의 성능을 개선하기 위해서 실용적인 적응 전송 데이터율과 전력 최적화 알고리즘으로 전도 유망한 기술임을 시뮬레이션을 통해서 증명하였다.

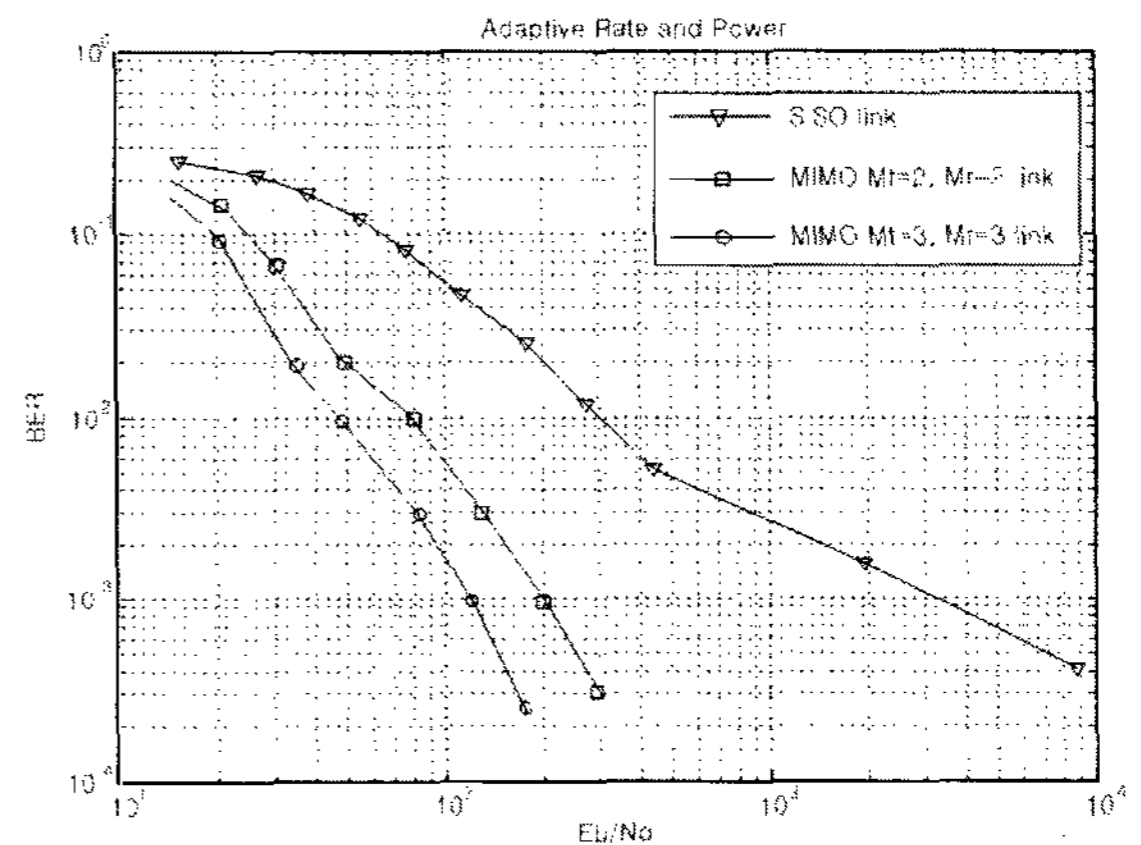


그림 3. 레일리 채널에 대한 LDPC를 가지지 않는 적응 MIMO-OFDM 시스템의 BER 성능
Fig. 3. BER performance of adaptive MIMO-OFDM system that do not have LDPC for Rayleigh channel.

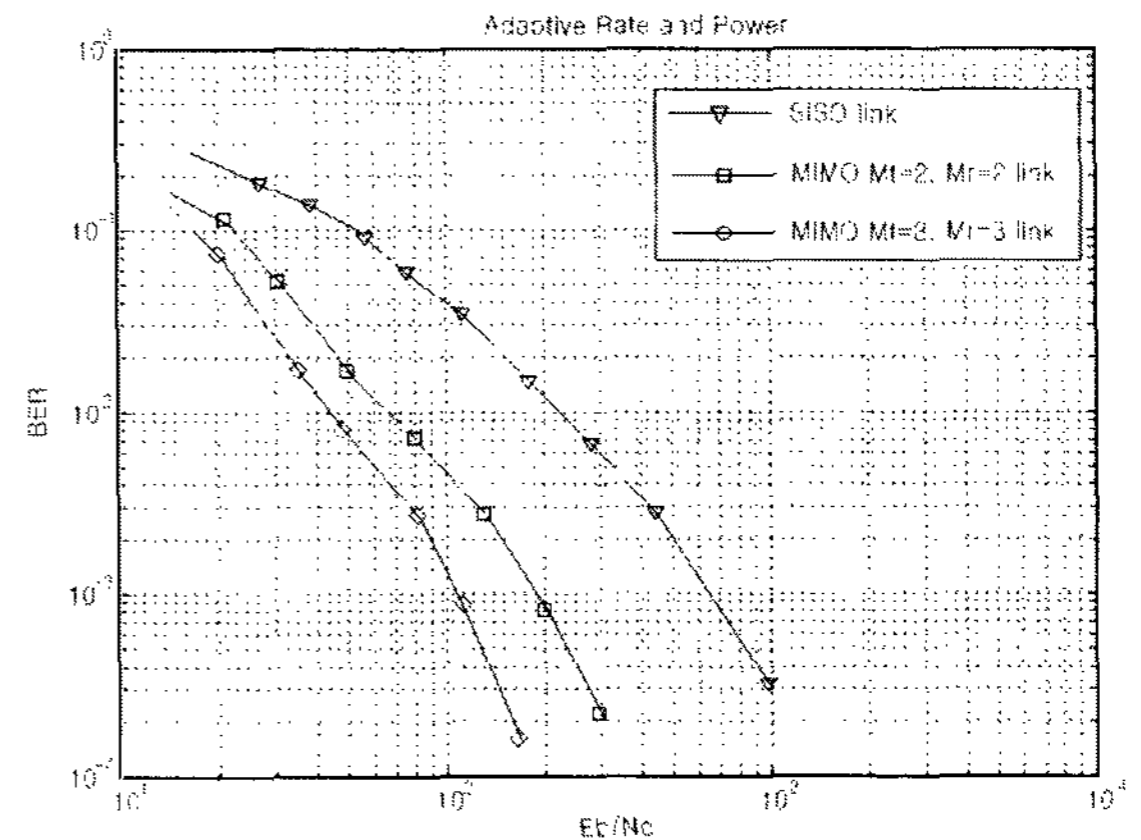


그림 4. 레일리 채널에 대한 LDPC를 갖는 적응 MIMO-OFDM 시스템의 BER 성능
Fig. 4. BER performance for MIMO-OFDM system that have LDPC for Rayleigh channel.

IV. 결 론

LDPC 부호들은 터보부호보다 훨씬 좋은 성능을 나타낸다. 그 이유는 LDPC 부호의 최소거리가 높은 확률을 가지는 부호 길이에 비례하여 증가하기 때문이다. 이와 같은 특성은 오류 확률이 매우 낮은 고속 전송을 요하는 통신시스템에 대해서 바람직하다. LDPC 부호들은 반복적인 SISO 복호 알고리즘에 의해서 복호될 수 있는 2진 선형 오류 정정 부호이다. LDPC와 적응 변조 방식이 적용된 MIMO 시스템의 OFDM 성능을 본 논문에서 나타내었다. 순시 채널 정보를 알고 있다는 가정하에 각 부채널에 대한 비트와 전력 할당을 얻기 위한 최적화된 알고리즘이 사용되었다. 시뮬레이션 결과가 제안한 시스템의 장점을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] S. Nanda, K. Balachandran, and S. Kumar, "Adaptation techniques in wireless packet data services," IEEE Commun. Mag., pp.54~64, Jan. 2000.
- [2] L. hanzo, T. H. liew, b.L.Yeap: Turbo Coding, Equalisation and Space-Time Coding for Transmission over Fading Channels, John Wiley, to appear in 2001
- [3] K. Skrelling, I. H. Husay, S.O. Aase "Improved Huffman Coding Using Recursive Splitting" NORISK SYMPOSIUM I SIGNALBEHANDLING, 9~11 September, 1999.
- [4] Jorge Campello de Souza, "Discrete Bit Loading for Multicarrier Modulation Systems", PhD Thesis. May, 1999.
- [5] R.G.Gallager, "Low-density parity-check codes", IRE Trans. Info. Theory, vol.IT-8, pp.21~28, Jan, 1962
- [6] D. J. C. MacKay and R. M. Neal, "Near Shannon limit performance of low density parity check codes", Electron. Lett. Vol.32,no. 8, pp. 1645~1646, Aug. 1996.
- [7] D.J.C.MacKay, "Good error-correcting coding and decoding: Turbo-codes", IEEE Trans. On Inform. Theory, Vol. 45 No.2, pp.399~431, Mar. 1999.
- [8] M. P. C. Fosson, M. Mihaljevic, and H. Imai, "Reduced complexity iterative decoding of low-density parity check codes based on belief propagation", IEEE Trans.Comm., Vol.47. No.5, pp.673~680, May 1999.
- [9] L. Hanzo, P. Cherriman, J. Streit: Wireless Video Communications: Second to Third Generation and Beyond, IEEE Press, 2001.
- [10] Wong, K.-K.; Lai, S.-K.; Cheng, R.S.-K.; Letaief, K. B.; Murch, R. D. , "Adaptive spatial-subcarrier trellis coded MQAM and power optimization for OFDM transmissions," Vehicular Technolow Conference Proceedings, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo 100 IEEE 5151 , Volume: 3 , 2000, pp. 2049~2053
- [11] Cheong Yui Wong; Cheng, R.S.; Lataief, K.B.; Murch, R.D. , "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on , Volume: 17 Issue: 10 , Oct. 1999, pp. 1747~1758
- [12] Joonsuk Kim; Ciofi, J.M., "Spatial multiuser access OFDM with antenna diversity and power control," Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE-VTS Fall VTC 2000. 52nd, Volume: I, 2000, pp. 213~279

저자 소개



김진우(정회원)

1990년 광운대학교 전자공학과
학사 졸업.

1993년 광운대학교 전자공학과
석사 졸업.

2001년 광운대학교 전자공학과
박사 수료.

2006년 현재 동양공업전문대학 전임교원
<주관심분야 : 채널 코딩, 변/복조, 적응 필터>



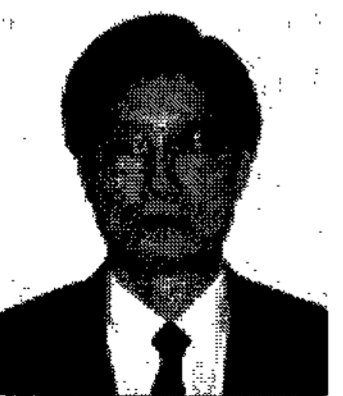
조경현(정회원)

1993년 호서대학교 제어계측
공학과 학사 졸업.

1999년 광운대학교 전자공학과
석사 졸업.

2003년 광운대학교 전자공학과
박사 수료.

2005년~현재 동양공업전문대학 전임교원
<주관심분야 : 변/복조, 채널 코딩, RF 전송기
술>



나극환(정회원)

1973년 연세대학교 전자공학과
학사 졸업.

1977년 연세대학교 전자공학과
석사 졸업.

1987년 프랑스 ENSEEIHT 국립
종합공과대학 박사 졸업.

1988년~현재 광운대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 초고주파 모듈, 위성통신 시스템>