

레이리 페이딩 채널에서 파일럿 기법과 LDPC 코딩이 적용된 COFDM-CDMA의 성능 분석

정희원 안 영 신*, 최 재 호**

Performance of pilot-assisted coded-OFDM-CDMA using low-density parity-check coding in Rayleigh fading channels

Young-Shin Ahn*, Jae-Ho Choi** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 다중 경로 이동통신 환경에서 LDPC 코드를 COFDM-CDMA에 적용하는 기법을 제안한다. LDPC 코드는 부호화율이 증가함에 따라 AWGN 채널이나 플랫 페이딩 채널에서는 우수한 복호화 성능을 나타내지만 수신 신호의 품질이 상대적으로 열악한 다중 경로 페이딩 채널의 경우에서는 LDPC 코딩의 성능 또한 상대적으로 저하된다. SNR이 16 dB 이하인 다중 경로 이동통신 환경에서 부호화율이 1:3 이하인 LDPC 코드의 복호 기능을 반분의 일 이하의 BER로 낮추기 위해서는 LDPC 코드의 패리티 정보와 함께 COFDM-CDMA 수신기의 등화기 탭 값 갱신을 위한 채널 추정 파일럿 정보를 전송 심벌에 포함시켜야 한다. 예를 들어, 일반적인 1:3 LDPC 코드로 부호화된 전송 심벌의 데이터와 패리티의 비율이 1:3이라면 제안한 방식의 LDPC 채널 부호화기는 데이터, 패리티 및 파일럿의 비율이 1:2:1이 된다. 전송 심벌에 포함되는 파일럿 정보는 채널 추정 및 등화기 탭 값 갱신에 사용될 뿐 만 아니라 이 정보를 패리티 정보와 함께 LDPC 코드의 복호화에도 사용함으로써 동일한 데이터 전송율에서 1:3 LDPC 코드보다 더 우수한 성능을 얻을 수 있다. 다중 경로 레이리 페이딩 채널 환경에서 제안한 기법을 COFDM-CDMA 시스템에 적용하여 그 성능을 분석한 결과, 제안한 방식의 성능이 순수한 LDPC 코드를 적용한 시스템에 비하여 SRN 대 BER 측면에서 더 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

Key Words : LDPC Coding; COFDM-CDMA; Pilot; Rayleigh Fading Channels.

ABSTRACT

In this paper we have investigated a novel approach applying low-density parity-check coding to a COFDM-CDMA system, which operates in a multi-path fading mobile channel. Developed as a linear-block channel coder, the LDPC code is known for a superior signal reception capability in AWGN and/or flat fading channels with respect to increased encoding rates, however, its performance degrades when the communication channel becomes multi-path fading. For a typical multi-path fading mobile channel with a SNR of 16 dB or lower, in order to obtain a BER lower than 1 out of 10000, the LDPC code with encoding rates below 1:3 requires not only the inherent parity check information but also the piloting information for refreshing front-end equalizer taps of COFDM-CDMA, periodically. For instance, while the 1:3-rate LDPC coded transmission symbol is consisted of data bits and parity-check bits in 1 to 3 proportion, on the other hand, in the proposed method the same rate LDPC transmission symbol contains data bits, parity check bits, and pilot bits in 1 to 2 to 1 proportion, respectively.

The included pilot bits are effective not only for channel estimation and channel equalization but for symbol decoding by assisting the parity-check bits, hence, improving SNR vs BER performance over the conventional 1:3-rate LDPC code. The proposed system performance has been verified using computer simulations in multi-path, Rayleigh fading channels, and the results show us that the proposed method out-performs the general LDPC channel coding methods in terms of SNR vs BER measurements.

* 전북대학교 전자정보공학부 미디어통신연구실(jwysahn@netian.com), ** 전북대학교 전자정보공학부(wave@moak.chonbuk.ac.kr)
논문번호 : 030013-0107, 접수일자 : 2003년 1월 7일 전북대학교부설공학연구원 공업기술연구센터

I. 서론

일반적인 통신 채널은 잡음과 채널의 임펄스 응답의 효과로 전송 신호에 왜곡을 발생시킨다. 특히, 통신 채널의 시간 및 주파수 특성이 시변하는 이동통신의 경우에는 채널의 페이딩 효과가 전송 신호의 진폭 및 위상에 영향을 미쳐 수신 신호의 품질을 크게 저하시킨다[1].

CDMA 방식은 IMT-2000 및 차세대 이동통신의 표준 기술로 활용되고 있으며 음성의 전달 뿐만 아니라 고속의 멀티미디어 통신에 대한 관심이 높아지면서 CDMA의 단점으로 지적되고 있는 칩 간의 간섭과 심벌 간의 간섭 잡음의 문제 해결에 관한 연구가 활발하다[2,3].

고속 데이터 전송 환경에서 페이딩 채널에 의한 간섭 잡음을 효과적으로 제한 할 수 있는 CDMA 기법들 연구되고 있고 그 대표적인 기술로서 MC-CDMA 방식이 있다. MC-CDMA는 확산 코드의 할당을 부채널 별로 처리하므로 칩의 주기가 부채널의 개수에 따라 증가하여 채널의 전송 지연에 의한 칩 간의 간섭 영향을 감소시킬 수 있는 전송 시스템이다. 그러나 역방향 링크에서는 사용자별로 부채널에서의 페이딩이 상이하여 확산코드간의 직교성이 손상되는 단점이 있다. 그 대안으로 DS-SS-CDMA 기법과 다중 직교 주파수 분할 접속 방식을 결합한 MC-DS/SS-CDMA 시스템이 제안되었다. 이 시스템은 각 부채널 별로 DS-SS-CDMA 기법을 적용할 수 있으며 IDFT/DFT 필터 뱅크를 다중 채널 변복조기로 활용함으로써 MC-CDMA에 비하여 부채널간의 직교성이 효과적으로 유지될 수 있는 장점이 있으나 여전히 심벌 간의 간섭은 존재한다[4]. 최근에 발표된 논문 [5]는 잔존하는 심벌 간의 간섭을 특정한 통신환경에서 순환 접두부를 적용하여 효과적으로 제거하는 방법이 제시하였다.

본 논문에서는 다중 경로 페이딩을 포함하여 SNR 측면에서 더욱 열악한 통신 환경에도 고속의 데이터 송수신을 가능하게 할 수 있는 COFDM-CDMA (coded orthogonal frequency division multiplexed CDMA) 시스템을 구현하고 이 시스템이 성능을 향상시키기 위한 목적으로 파일럿 삽입 기법 및 LDPC (low density parity check code) 부호화 기법을 동시에 적용하는 데이터 전송 방식을 제안한다.

LDPC 코드는 AWGN과 플랫 페이딩 채널에서

좋은 성능을 나타내는 선형 블록 부호화 방식이면서, 실제로 적절한 복잡도를 가지는 코딩 방식이다. 특히, LDPC 코드는 희소 행렬 의해 생성되기 때문에, 간단하면서도 구현이 용이한 복호 알고리즘이 가능하고 구조적으로 비교적 간단한 코드임에도 불구하고 이진 대칭 채널에서 Shannon의 한계까지 근접할 수 있는 코드이다[6,7].

하지만 AWGN 채널이나 플랫 페이딩 채널과는 달리 다중 경로 페이딩 채널의 경우에는 수신 신호의 품질이 크게 저하되고 수신 신호의 품질은 LDPC 코드 복호에 큰 영향을 준다. 이러한 채널 환경에서 COFDM-CDMA 시스템의 성능을 높이기 위해서는 LDPC 코드의 장점을 살릴 수 있는 새로운 방식의 송신기와 수신기가 구현되어야 한다.

본 논문에서는 COFDM-CDMA 시스템에 LDPC 코드를 적용함에 있어서 발생하는 다음과 같은 문제의 해결에 초점을 맞추었다. 첫째, 데이터 비트 열을 LDPC 코드로 부호화할 때, 전송 데이터 비트 열에 파일럿 정보를 삽입하여 채널 추정 및 채널 등화의 문제에 접근하였다. 둘째, 동일한 부호화율에서 이와 같이 파일럿 정보를 삽입하게 되면 상대적으로 패리티 정보가 감소함으로 LDPC 부호화 성능이 저하되는 문제가 발생한다. 본 논문에서 LDPC 심벌 복호시에 패리티 정보와 함께 파일럿 정보를 추가로 활용하여 LDPC 부호화 알고리즘을 개선하는 방식을 제안하여 이 문제에 접근하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 II절에서 LDPC 코드와 파일럿 정보를 동시에 적용하는 COFDM-CDMA 시스템의 송신기와 수신기의 구조에 대하여 설명하였다. 제 III절에서는 새로운 방식의 LDPC 부호 알고리즘을 제안하고 파일럿 정보를 패리티 정보와 함께 활용하여 LDPC 부호의 복호 성능을 높일 수 있는 방법을 제안하였다. 제 IV절에서는 제안한 방식의 성능을 평가하기 위하여 다중 경로 레일리 페이딩 채널에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하고 마지막 절에서 결론을 맺었다.

II. 제안된 시스템

1. 송신기

본 논문에서 구현된 COFDM-CDMA 시스템의 송신기는 파일럿 정보 삽입기, LDPC 부호화기, PN 칩 곱셈기, IDFT 다중 채널 변조기, CP (cyclic prefix) 삽입기 등의 주요 요소로 구성된다. 그림 1에서 파일럿 정보 삽입기와 결합된 LDPC

부호화기는 부호화 율과 파일럿 삽입 정보에 따라 부호 생성 행렬을 변형하고 데이터와 파일럿이 실려야 할 부채널을 결정한다.

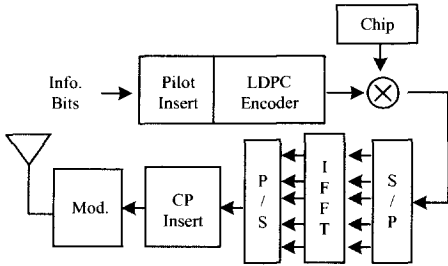


그림 1. COFDM-CDMA 시스템의 송신기

2. 수신기

COFDM-CDMA 수신기는 CP 제거기, DFT 다중 채널 복조기, 칩 곱셈기, 1-탭 DFE 등화기, LDPC 복호기로 구성되어 있다.

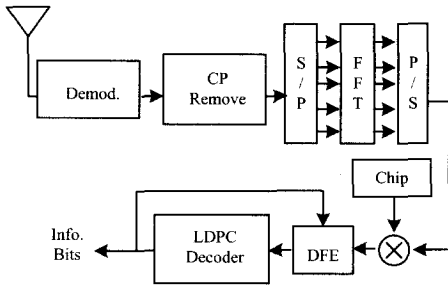


그림 2. COFDM-CDMA 시스템의 수신기

채널의 왜곡을 감소시키기 위하여 각 부채널 마다 1-탭 DFE (decision-feedback equalizer)가 적용되고 등화기의 탭 값은 파일럿에 의한 채널 추정 값으로 매 심벌마다 갱신하여 사용한다. 이 때, DFE의 귀환 값으로는 LDPC 복호화기에서 출력된 연관정 값을 적용하여 등화기의 오류 전달 특성을 향상 시켰다.

3. LDPC 코드

LDPC 코드는 선형 블록 코드의 한 종류이다. 선형 블록 코드의 패리티-생성 행렬을 G 라하고, 패리티-검사 행렬을 H 라 할 때, $H \cdot G^T = 0$ 을 만족한다. 만약, 계산 결과가 0이 아닌 값이 나올 경우 신드롬이 발생한다. 일반적인 블록 코드는 심벌의 오류 검출 능력이 우수한 반면에 오류 정정 능력은 만족스럽지 못하다[1]. 하지만 특수한 패리티 생성/검사 행렬의 구조와 확률적 반복 복호 알고리즘이 개발된 LDPC 코드는 여러 정정 능력까지 매우 우수하다.

먼저 LDPC 코드의 패리티-검사 행렬 H 의 구조를 살펴보자. Gallager는 아래와 같은 구조의 비체계적인 패리티-검사 행렬을 제안하였다[8].

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

전송된 코드의 길이가 N 이고 부호화되기 전의 메시지의 길이가 K 라 하면, $M \times N$ 크기인 행렬 H 의 패리티 검사 비트 수는 $M = N - K$ 이 된다. H 의 각 열에 속한 1의 개수는 N 에 비하여 상당히 작으며 3보다 큰 정수이며 행당 1의 개수는 일정하다. 가우스 소거법과 열 교환으로 비체계적인 행렬인 H 를 체계적인 형태의 패리티-검사 행렬 ($H_{sys} = [P|I]$)로 만들 수 있다. $H_{sys} = [P|I]$ 의 짝인 생성행렬 $G = [I|P]^T$ 이 된다.

한편 Gallager의 H 행렬 구현기법을 발전시킨 MacKay는 인수 그래프에서 작은 사이클이 발생하지 않도록 하는데 효과적이며 반복 복호 과정에서 코드 간의 의존성을 낮출 수 있는 행렬을 제안하였다[7].

4. 파일럿 정보

송신 신호는 전송 채널을 통과하면서 왜곡을 겪기 때문에 수신기는 신호의 직교성을 복구할 수 있어야 한다. 채널의 상태를 추정하기 위한 기법 중에서 다중 반송파 시스템의 경우에는 파일럿 전송 기법이 자주 사용된다. 송신 신호와 함께 규칙적이며 균등한 분포의 파일럿 정보를 전송함으로써 다중 채널 추정이 가능하고 추정된 채널 정보를 이용하여 손상된 송신 신호를 복원할 수 있다[10].

파일럿 기법과 LDPC 채널 부호화 기법을 적용하는 제한한 COFDM-CDMA 시스템에서는 LDPC 부호화기의 선형성을 활용하여 LDPC 부호화된 송신 비트에 파일럿 비트를 삽입하는 방식으로 LDPC 심벌이 생성될 수 있도록 하였다. LDPC 심벌에 부여된 파일럿 정보는 송수신 단에서 약정된 신호로써 다중 채널의 추정을 위한 용도로서 뿐만 아니라 LDPC 심벌 복호화 과정에도 효과적으로 활용될 수 있도록 하였다.

송신 정보 비트와 파일럿 정보 비트가 LDPC 부호기를 통과하면서 부채널 수와 LDPC 심벌의 길이에 따라 파일럿 정보의 시간-주파수 상의 위치가 여러 형태로 결정될 수 있다. 본 논문에서는 크게

두 가지 형태를 살펴보았다. 먼저, 그림 3에서와 같은 형태로써 심벌의 길이가 부채널 개수의 배수가 되는 경우이다. 부채널의 개수가 30이고 길이가 $N=120$ 인 LDPC 심벌이므로 이 심벌은 4개의 블록으로 나뉘어져 전송된다. 화살표는 LDPC 심벌의 시작 시점을 나타내며 3번째 블록은 파일럿 정보를 싣고 있다.

LDPC 심벌의 길이가 부채널의 개수와 같은 경우에는 그림 4와 같은 파일럿 정보의 시간-주파수 위치 할당이 가능하다. 그림에서 화살표는 각 LDPC 심벌의 시작점을 나타내고 있으며 파일럿 정보는 굵은 빗금으로 표시된 부분에 위치하고 있다. 규칙적이며 균등한 부채널 추정을 위하여 매 LDPC 심벌마다 그 위치를 반복적으로 순환한다.

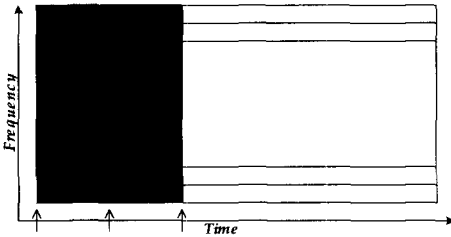


그림 3. 파일럿 할당(부채널의 수= 30, $N=120$)

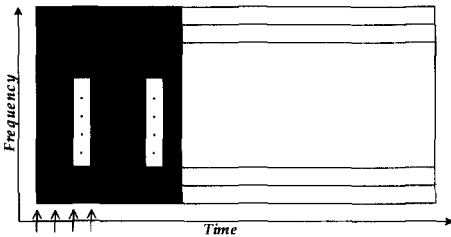


그림 4. 파일럿 할당(부채널의 수=120, $N=120$)

본 논문에서는 부채널 개수에 관계없이 부호화율이 모두 1/4 (120,30)인 LDPC 코드를 사용하였다. 하지만, 파일럿 기법과 LDPC 코딩 기법을 함께 적용한 COFDM-CDMA 시스템의 경우에는 LDPC 부호화기로 입력되는 입력 데이터의 구조가 일반적인 개념의 LDPC 부호화기 입력과는 다르다. 부호화율이 1/4 인 (120, 30) LDPC 예를 들면, LDPC 부호화기의 출력은 총 120 비트가 되어 같지만 제안한 방법의 입력은 총 60 비트로써 30 비트의 송신 데이터 비트와 함께 30개의 파일럿 비트가 따로 포함되어 있다. 일반적인 LDPC 부호화기의 경우와 마찬가지로 최종 부호화율은 1/4이 된다. 이처럼 송신 데이터와 함께 파일럿 비트를 할당하

게 되면 그만큼 정보 전송율은 낮아지게 된다.

5. 1-탭 DFE 채널 등화

다중 경로 페이딩 채널의 시변하는 임펄스 응답에 의하여 발생하는 신호의 왜곡 성분을 제거하기 위하여 제안한 시스템에서는 그림 5과 같이 부채널 별로 1-탭 DFE를 적용하였다. 심벌과 심벌 사이의 상관관계를 가정하고, 현 심벌과 이전 수신 심벌을 활용하여 등화기 탭 값을 갱신하는 구조이다.

사용자 v , 부채널 r , 심벌 시간 I 에서, 수신 신호가 등화기를 거친 후의 출력은 다음과 같다.

$$\hat{s}_{v,r}(I) = \tilde{s}_{v,r}(I)q_{v,r}(I) \quad (2)$$

여기에서 $\tilde{s}_{v,r}(I)$ 는 수신 신호 값, $q_{v,r}(I)$ 는 등화기의 탭 값, $\hat{s}_{v,r}(I)$ 는 등화기의 출력 값이다.

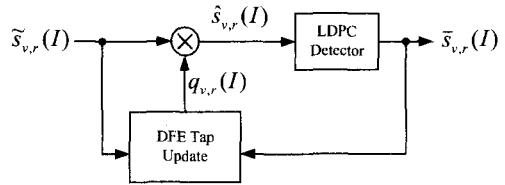


그림 5. DFE의 구조

각 부채널 DFE의 출력은 LDPC 복호화기로 입력되고 송신 데이터 비트 열은 다음과 같이 복호된다.

$$\bar{s}_v(I) = LDPC[\hat{s}_{v,r}, \forall r] \quad (3)$$

III. LDPC 복호화 기능의 개선

AWGN 채널이나 균일 페이딩 채널 환경에서 LDPC 코드의 복호 성능은 패리티의 개수와 연관성이 크다. 제안한 시스템에서는 다중 경로 페이딩을 고려하여 LDPC 심벌에 파일럿 정보를 삽입하게 되는데, 동일한 부호화율에서 파일럿을 삽입하게 되면 패리티 비트의 개수가 파일럿의 개수만큼 줄어들게 되어 LDPC 코드의 복호 성능을 저하시키는 요인이 된다.

파일럿 정보 삽입과 함께 LDPC 부호화기를 COFDM-CDMA에 적용하고 채널 부호화기의 성능을 보완하여 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 기존의 LDPC 복호 알고리즘[7-9]을 개선하였다. 제안한 시스템의 LDPC 복호기는 각 부채널의 출력 값

을 이용하여 계산을 수행하는데, 각 부채널로 수신된 신호의 값 중에서 이미 송수신기에서 약정된 파일럿 비트의 위치에 대한 확률 값을 크게 준다. 이렇게 함으로써, LDPC 복호기의 복호기능을 높일 수 있다. 다음은 개선된 LDPC 복호 알고리즘이다.

1. 초기화

각 부채널로 수신된 신호에 대한 조건부 확률을 아래와 같이 정의 한다.

$$p_l^1 = P(y_l | x_l = 1) = \frac{1}{1 + \exp(2y_l / \sigma^2)} \quad (4)$$

$$p_l^0 = P(y_l | x_l = 0) = 1 - p_l^1 \quad (5)$$

여기에서 y_l 는 l 번째 부채널로 수신된 신호의 값, x_l 는 송신 데이터 비트, σ^2 은 채널 잡음 분산 값이다. 파일럿 정보를 사용하는 제안된 시스템의 경우에는 파일럿 정보를 DFE의 탭 갱신 뿐 아니라, LDPC 복호시 파일럿 비트가 사용된 부채널 l 에서의 p_l^1, p_l^0 값을 확정지어 줄 수 있으며 이렇게 확정된 확률 값들은 LDPC 복호화기의 성능을 향상시킨다.

초기화 단계에서는 연관성 복호화에 필요한 행렬 Q 와 R 의 성분인

$q_{kl}^0(0), q_{kl}^1(0), r_{kl}^0(0), r_{kl}^1(0)$ 은 $h_{kl}=1$ 일 경우 1로, 그렇지 않을 경우는 0으로 초기화 한다. h_{kl} 은 패리티 체크 행렬 H 의 요소이다.

2. 반복

반복의 처음 단계에서는 부채널의 수신 값인 행렬 $r_{kl}^0(i), r_{kl}^1(i)$ 을 이용해 패리티값 $q_{kl}^0(i), q_{kl}^1(i)$ 을 계산한다. $s(l)$ 을 행렬 H 의 l 번째 열 중 행의 값이 1인 인덱스의 집합이라 할 때, 행렬 Q 의 성분은 아래와 같이 갱신된다.

$$q_{kl}^0(i+1) = \gamma_{kl} p_l^0 \prod_{k' \in s(l) \setminus k} r_{k'l}^0(i) \quad (6)$$

$$q_{kl}^1(i+1) = \gamma_{kl} p_l^1 \prod_{k' \in s(l) \setminus k} r_{k'l}^1(i) \quad (7)$$

$s(l) \setminus k$ 는 집합 $s(l)$ 에서 $\{k\}$ 를 제외한 모든 원소를 뜻하며, γ_{kl} 은 $q_{kl}^0(i+1) + q_{kl}^1(i+1) = 1$ 이 되도록 하는 조정 계수이다.

$\delta q_{kl} = q_{kl}^0 - q_{kl}^1$ 이라고 정의하면,

$$\delta r_{kl} = \prod_{k' \in E(k) \setminus l} \delta q_{k'l} \quad (8)$$

여기에서 $E(k) \setminus l$ 은 집합 E (행렬 H 의 k 번째 행 중 0이 아닌 열의 인덱스의 집합)에서 $\{l\}$ 을 제외한 모든 원소를 의미한다. $r_{kl}^0 + r_{kl}^1 = 1$ 이며, $r_{kl}^0 = (1 + \delta r_{kl})/2, r_{kl}^1 = (1 - \delta r_{kl})/2$ 을 이용하여 찾을 수 있다.

3. 종료

사후 확률 q_l^0 과 q_l^1 은 다음과 같다.

$$q_l^0 = p_l^0 \prod_{k \in s(l)} r_{kl}^0(i) \quad (9)$$

$$q_l^1 = p_l^1 \prod_{k \in s(l)} r_{kl}^1(i) \quad (10)$$

만약 $q_l^0 > q_l^1$ 이면 1이 송신된 것을 의미하고 그렇지 않다면 0이 송신된 것을 의미한다. 제안한 시스템에서는 파일럿 비트가 전송된 부채널의 q_l^0, q_l^1 값을 이미 알고 있으므로 부채널 l 에 대한 위와 같은 계산 과정은 필요하지 않다.

복호된 심벌 벡터를 \hat{y} 라고 하였을 때, 패리티 검사 행렬 H 의 내적 $H \cdot \hat{y}$ 를 계산하여 0이 나오면 복호를 중지한다. 최대 반복 회수는 심벌 복호 과정을 중지하는 문턱 값으로써 E_b/N 에 반비례한다. 본 논문의 경우에는 최대 반복 횟수를 실험적으로 결정하여 30으로 정의하였다[11].

IV. 컴퓨터 시뮬레이션

제안한 COFDM-CDMA 시스템의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 실험에 사용된 시스템 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. COFDM-CDMA 시스템 파라미터

부반송파 개수	30, 120
LDPC 코드	(120,30), (120,60)
정보율	1/4
데이터 율	1.56 Mbps
심벌 주기	19.2 μ s
칩의 개수	16
칩 주기	1.2 μ s
샘플링 주기	0.0067 μ s
CP의 길이	0.4 μ s

부채널의 수와 파일럿 할당 방식의 관계를 분석하기 위하여 부반송파의 개수를 30과 120개로 설정하였고 부호화율이 각각 (120,30), (120,60)인 LDPC 코드를 사용하여 코드 길이 변화에 대한 시스템 성능을 비교 분석하였다. (120,30) LDPC 코드의 경우에는 파일럿 정보를 사용하지 않았으며 파일럿 정보를 삽입하는 경우에는 정보 메시지의 절반을 파일럿이 차지하기 때문에 (120,60) LDPC 코드의 정보율도 1/4이 된다.

1. AWGN 채널 환경

그림 6에서 참고논문에서 확인되었듯이 AWGN 채널에서는 파일럿을 안 사용한 (120,30) LDPC 코드가 30 비트의 파일럿을 사용하는 (120,60) LDPC 코드보다 더 좋은 성능을 가지고 있는 것으로 나타났다.

2. 플랫 페이딩 채널 환경

그림 7의 플랫 페이딩 채널 환경에서는 순수한 (120,30) LDPC 코드의 성능이 가장 좋게 나타난다. 이러한 환경에서는 LDPC 코드의 복호 성능이 파일럿 비트의 기여도보다는 패리티 비트에 코드의 복호 기능에 더 많이 의존하고 있음을 알 수 있다.

3. 다중 경로 페이딩 채널 환경

송신 신호를 $x(t)$, AWGN 잡음을 $n(t)$, 다중 경로의 개수를 d , 각 경로의 시변 채널 감쇠 계수를 $\alpha_i(t)$, 각 경로의 지연 시간을 τ_i 라고 할 때, 수신 신호는 다음과 같다.

$$y(t) = \sum_{i=1}^d \alpha_i(t)x(t-\tau_i) + n(t) \quad (11)$$

실험은 시스템의 클럭 동기를 가정하고 수행하였다. 그림 8에서 1:4와 1:1의 의미는 부채널의 개수와 LDPC 심벌의 길이 사이의 비율을 뜻하는 것으로서 1:4는 그림 3의 방식을 적용한 것이며, 1:1은 그림 4의 방식을 적용한 것이다.

그림 8은 다중 경로 페이딩 환경에서 제안한 시스템의 성능을 잘 나타내고 있다. 파일럿 정보 삽입 기법을 적용하여 채널 추정에 의한 DFE의 탭 값 갱신 및 LDPC 복호화 개선이 이루어진 (120,60) LDPC 코드의 성능이 순수한 (120,30)코드보다 낮은 SNR일 때 더 좋게 나타나는 것을 볼 수 있다.

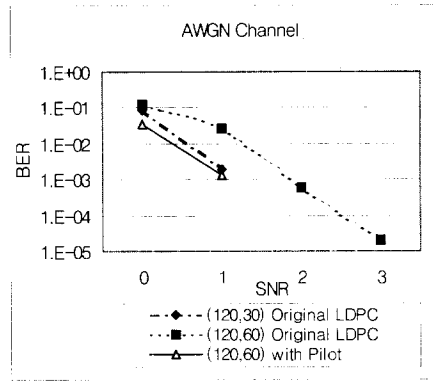


그림 6. AWGN 채널 환경

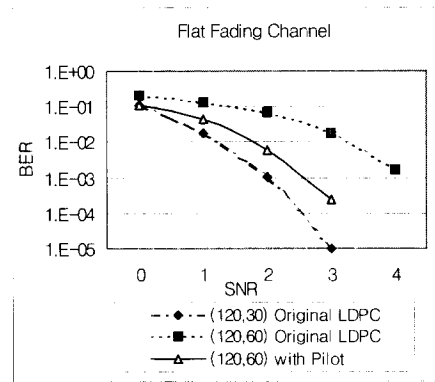


그림 7. 플랫 페이딩 채널 환경

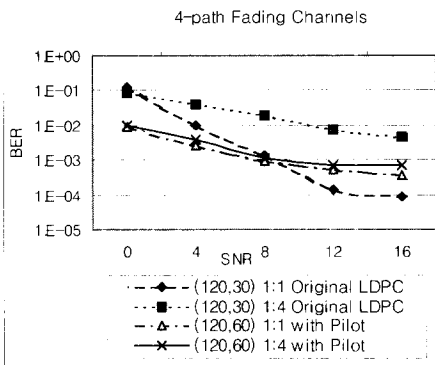


그림 8. 다중 경로 페이딩 채널 환경

또한, (120,60)코드 중에서도 1:1 방식이 1:4 방식보다 우수한 성능을 나타내고 있는데, 이는 동일 유효 대역에서 더 많은 부채널을 사용함으로써 더욱 세밀한 채널 추정과 채널 등화가 가능했기 때문으로 해석할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 다중 경로 페이딩 채널 환경에 놓인 COFDM-CDMA 시스템의 성능을 향상시키기 위한 목적으로 파일럿 정보 삽입 기법과 LDPC 채널 부호화 기법을 동시에 적용하는 방법에 대하여 설명하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 실험 결과로부터 살펴보았듯이 AWGN 채널이나 플랫 페이딩 채널의 경우에는 시스템의 성능이 패리티 비트의 기능에 의한 LDPC 코드의 복호 기능에 의존하는 반면, 다중 경로 페이딩 채널 환경의 경우에는 파일럿 비트에 의한 채널 추정 기능 및 LDPC 부호화 개선 기능에 많이 의존하는 것을 볼 수 있으며 특히, 파일럿 정보의 적절한 삽입은 채널의 SNR이 낮을수록 LDPC 복호 성능에 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] Bernard Sklar, *Digital Communications, 2nd Ed.*, Prectice-Hall, NJ, 1988.
- [2] G. Fettweis, K. Anvari, and A. S. Bahai, "On multi-carrier code division multiple access modem design," Proc. of the IEEE VTC '94, Stockholm, Sweden, pp. 1670-1674, June 1994.
- [3] L. J. Cimini, Jr., "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing," IEEE Trans. of Comm., vol. 33, no. 7, pp. 665-675, July 1985.
- [4] V. M. Dasilva and E. S. Sousa, "Multicarrier orthogonal CDMA signals for quasi-synchronous communication systems," IEEE J. Select. Areas Comm., vol. 12, no. 5, pp. 842-852, June 1994.
- [5] Taeyoon Park, Jaechul Lee, Youngshin Ahn, and Jaeho Choi, "Multi-User Interference Cancellation Method for Multi-Carrier DS-CDMA System," Proc. of ICT'2002, Beijing, Jun. 2002.
- [6] R. G. Gallager, "Low density parity check codes," IRE Trans. Inform. Theory, vol. IT-8, pp.21-28, Jan. 1962.
- [7] D. J. C. MacKay, "Good Error-Correcting Codes Based on Very Sparse Matrix," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 45, pp.399-431, Mar. 1999.
- [8] Vladislav Sorokine, Frank R. Kschischang, and Subbarayan Pasupathy, "Gallager Codes for

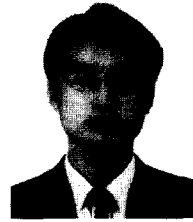
CDMA Applications - Part II: Implementations, Complexity, and System Capacity," IEEE Trans. Comm. vol. 48, no. 11, Nov. 2000.

- [9] Frank R. Kschischang, Brendan J. Frey, and Hans-Andrea Loeliger, "Factor Graphs and Sum-product Algorithm," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 47, no. 2, Feb. 2001.
- [10] Che-Shen Yeh, Yinyi Lin, "Channel Estimation Using Pilot Tones in OFDM Systems," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 45, Dec. 1999.
- [11] H. Futaki and T. Ohtsuki, "Performance of Low-Density Parity-Check (LDPC) coded OFDM systems," 2002 IEEE pp.1696-1700.

※본 논문은 2003년 정보통신부 대학기초연구지원에 의한 연구 결과입니다.

안 영 신(Young-Shin Ahn)

정회원



2001년 2월 : 전북대학교
컴퓨터공학과 졸업
2003년 2월 : 전북대학교
컴퓨터공학과 석사

<주관심분야> 통신신호처리, 멀티미디어 통신

최 재 호(Jae-Ho Choi)

정회원



1985년 : 노스캐롤라이나 주립
대학교 전자공학과 졸업
1988년 : 노스캐롤라이나 주립
대학교 전자공학과 공학석사
1993년 : 노스캐롤라이나 주립
대학교 컴퓨터공학 공학박사
1990~1993년 : 미국 리서치트

라이앵글 연구소 시스템공학 연구센터 연구원
1999~2001년 : 전북대학교 컴퓨터공학 대학원 주
임교수
1994년~현재 : 전북대학교 전자정보공학부 부교수

<주관심분야> 통신신호처리, 멀티웨이브렛 응용