

論文2003-40TC-11-3

Clipped multilevel-PSK를 이용한 OFCDM 순방향 링크에서 비선형 왜곡에 대한 성능 분석

(Performance analysis on the nonlinear distortion in
OFCDM downlink system using clipped multilevel-PSK)

安致勳*, 崔榮寬*, 蔣承勳*, 金東九*

(Chi-Hun Ahn, Young-Kwan Choi, Seung-Hun Jang, and Dong-Ku Kim)

요약

시간영역 확산을 하는 순방향 링크 OFCDM 시스템에서 고출력 증폭기의 비선형 왜곡을 경감시키고자 IFFT단 부반송파의 다중레벨 입력신호를 clipping을 한 후 MPSK(Multilevel-PSK) 신호로 전송하는 기술을 적용한다. AWGN 채널에서 고출력 증폭기의 비선형 왜곡이 고려된 경우 extended m 부호열을 사용한 clipping OFCDM 시스템이 extended m 부호열을 사용한 OFCDM 시스템에 비해 N 이 8, 16명인 경우 2.2dB 이상 성능이 우수하였다. Quasi-static 채널에서 고출력 증폭기의 비선형 왜곡이 고려된 경우 extended m 부호열을 사용한 clipping OFCDM 시스템이 extended m 부호열을 사용한 OFCDM 시스템에 비해 N 이 8, 16명인 경우는 2dB 이상 우수하였다.

Abstract

To reduce the nonlinear distortion of high power amplifier(HPA) in down link OFCDM system to employ time domain spreading, we apply technology which transmits MPSK(Multilevel-PSK) signal after clipping on multilevel input signal of IFFT subcarrier. In case that the nonlinear distortion of HPA is considered in AWGN channel, performance of clipping OFCDM system using extended m sequence is over 2.2dB better than that of OFCDM system using extended m sequence when the number of user is 8 and 16. In case that the nonlinear distortion of HPA is considered in quasi-static channel, performance of clipping OFCDM system using extended m code is over 2dB better than that of OFCDM system using extended m sequence when the number of user is 8 and 16.

Keywords : OFDM, OFCDM, clipping, MPSK symbol, nonlinear distortion

I. 서론

제한된 무선 자원을 효율적으로 사용하고 고속 데이터 전송이 가능한 다중화 기술들에 대한 관심이 급속도

로 높아지는 추세에 있다. 특히, 보호구간을 삽입해 채널의 지연 확산보다 심볼구간이 길어져서 flat 페이딩을 겪게 되어 ISI(Inter Symbol Interference) 및 ICI(Inter Carrier Interference)를 경감시킬 수 있는 OFDM 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. OFDM 방식은 각각의 부반송파에 AMC와 bit loading 알고리즘을 적

* 正會員, 延世大學校 電氣電子工學科
(Yonsei Univ. Dept. of Electric & Electrical Eng.)
接受日: 2003年4月2日, 수정완료일: 2003年11月1日

용시킴으로써 전송율을 최적화시킬 수 있고 변/복조과정이 FFT 알고리즘을 통해 효율적으로 구현될 수 있다. 이러한 OFDM 방식에 CDMA 기술을 적용하여 순방향 링크에서 수용용량을 증가시키고 고속 데이터 전송을 위한 시간영역 확산과 주파수영역 확산 OFCDM 기술이 제안되고 있다^[1-3].

그러나 OFDM과 OFCDM 방식은 많은 수의 부반송파 때문에 IFFT단을 통과하면서 다중레벨 신호형태가 되므로 PAPR(Peak to Average Power Ratio)이 높아져 고출력 증폭기 비선형성에 의한 왜곡을 겪게 된다. PAPR을 감소시키는 방법들에는 clipping을 이용하는 방법, 코딩을 이용하는 방법, 그리고 peak windowing 등이 있다^[4-7]. Clipping은 가장 간단한 PAPR 감소 방법으로써 일정레벨 이상의 신호를 잘라버리는 방법인데 in band 왜곡과 out of band radiation 문제를 야기시키게 된다. 코딩을 이용한 방법은 clipping의 문제를 해결해주지만 스펙트럴 효율을 떨어뜨리며, 수신단에서 코드에 대한 decoding 과정이 별도로 필요하므로 시스템의 복잡도가 증가하게 된다. Peak windowing 방법은 OFDM 심볼에 window를 곱해줌으로써 peak 값들을 감소시키는 방법이다.

최근들어 단일 반송파 다중 코드 CDMA 방식에서 증폭기의 비선형 왜곡을 최소화 시키기 위해 다중레벨 신호를 일정레벨에서 clipping을 하고 clipping 범위내의 각 다중레벨 신호들을 다시 MPSK(Multilevel-PSK) 심볼에 하나씩 할당하는 기법이 연구되고 있다^[8-10]. 전송률이 높아질 경우 사용 채널 수의 증가로 신호의 레벨이 증가하게 되며 이때 채널 수에 따른 적정 clipping 레벨과 MPSK 심볼 할당 방식에 관한 연구가 수행되었다^[8].

본 논문은 순방향 링크에서의 시간영역 확산 OFCDM 방식을 고려한다. 시간영역 확산 방식에서는 직교 부호열에 의해서 사용자를 구분하기 때문에 IFFT단 각 부반송파의 입력 신호는 다중 사용자에 의한 다중레벨 형태를 갖게 된다. 이로 인한 증폭기의 비선형 왜곡을 경감시키고자 clipping과 MPSK 심볼 할당 방식을 적용하고자 한다. OFCDM 방식은 다중 반송파에 의한 에러가 증가하기 때문에 단일 반송파 다중 코드 CDMA 시스템에 비해서 clipping 레벨을 높여 clipping 에러를 줄여야 한다. 그러므로 많은 수의 MPSK 심볼 개수를 필요로 하게 된다. 따라서 AWGN 환경과 quasi-static 환경에서 부반송파의 수와 clipping 레벨 그리고 증폭기의 입

력 backoff(BO)의 변화에 따른 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 clipping-OFCDM 시스템과 MPSK 심볼 할당, clipping-OFCDM 신호 모델에 대해서 설명하고, III장에서는 clipping-OFCDM 시스템의 구성과 채널 모델 그리고 이용된 고출력 비선형 증폭기 모델에 대해서 소개한다. IV장에서는 모의실험 결과를 분석하고 V장에서는 결론을 논의한다.

II. Clipping-OFCDM 시스템 구성

순방향 링크 시간영역 확산 방식 OFCDM 시스템은 직교 부호열을 이용해 사용자를 구별하기 때문에 각 사용자들은 IFFT단 M 개의 부반송파를 동일하게 사용하게 된다. 따라서 IFFT단 각 부반송파의 입력신호는 다중 사용자에 의한 다중레벨 신호가 된다. 그러므로 PAPR 특성이 높아져서 고출력 증폭기에 의해서 비선형 왜곡을 겪게 된다. 이때 비선형 왜곡을 경감시키기 위한 방법으로 IFFT 입력단 다중레벨 신호들을 정포락선 신호 형태로 변환하기 위해 clipping을 수행하고 MPSK신호로 변환하여 전송하는 기법을 적용한다. 본 논문에서는 이러한 시스템을 clipping-OFCDM 시스템이라고 정의한다.

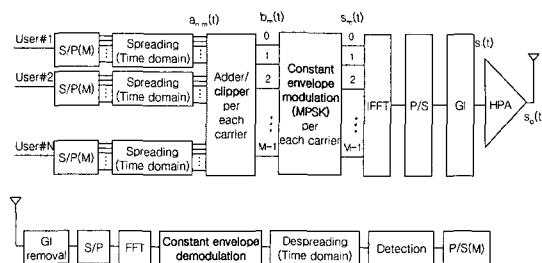


그림 2-1. 순방향 링크 clipping-OFCDM 시스템 블록도
Fig. 2-1. Block diagram of forward link clipping-OFCDM system.

<그림 2-1>은 순방향 링크 clipping-OFCDM 시스템의 송수신기 구조이다. 직렬화과정(S/P)을 통한 각 사용자의 데이터 비트는 시간영역에서 확산된다. 그리고 IFFT단의 각 부반송파 입력신호인 다중레벨 신호들을 일정한 신호레벨에서 clipping하게 되고, 이때 clipping된 신호들은 다시 정포락선 MPSK신호로 변환하게 되며, IFFT단과 병/직렬(P/S)과정을 지나게 되고 보호구간이

삽입된 후 고출력 증폭기에 의한 비선형 왜곡을 겪고 채널을 통해서 전송하게 된다. 수신된 신호는 보호구간이 제거되고 S/P과정과 FFT단을 지나 MPSK 신호 역변환을 수행하고 시간영역에서 역확산을 한 후 검출된다.

1. Clipping level에 따른 MPSK 심볼 할당^[8]

<그림 2-2>는 직교 부호열로 확산된 신호가 선형적으로 합쳐졌을 때 발생할 수 있는 다중레벨 신호를 일정 레벨(L_c)로 clipping하는 과정이며 <그림 2-3>은 clipping된 다중레벨 신호가 MPSK 심볼에 할당되는 방식을 보여준다. 사용자 4명 이상에서 clipping 레벨(L_c)을 4로 가정할 때 발생할 수 있는 레벨의 종류는 [4, 2, 0, -2, -4]이다. 이때 수신 오류를 적게 하기 위해서 레벨 4와 레벨 -4를 가장 할당 거리를 멀리하고 해석의 편의상 다른 레벨 값들은 8-PSK 심볼중 우반구에 있는 심볼에 각각 할당한다^[8].

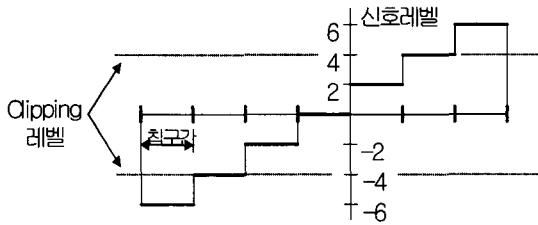


그림 2-2. 다중레벨 신호의 clipping
Fig. 2-2. Clipping of multilevel signal.

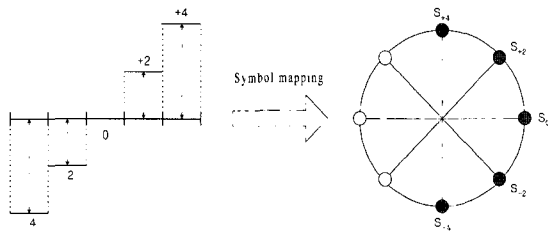


그림 2-3. Clipping된 신호와 MPSK 심볼 할당
Fig. 2-3. Clipping signal and MPSK symbol mapping.

2. 채널 모델

OFDM방식은 주파수 선택적 페이딩 채널을 flat 페이딩 채널을 겪는 다수의 병렬 부반송파를 고려한다. 따라서 본 논문에서는 주파수 비선택적이고 시간에 따라 천천히 변화하는 quasi-static 채널을 가정한다. 이때 채널의 임펄스 응답 $h(t)$ 는 식 (2-1)과 같다.

$$h(t) = a e^{-j\phi}, 0 \leq t \leq T \tag{2-1}$$

페이딩 채널은 복소 가우시안 랜덤 프로세스로 구성되었다.

3. Clipping-OFCDM 신호 모델

n 번째 사용자의 m 번째 병렬 스트림에서 시간영역 확산신호 $a_{n,m}(t)$ 는 식 (2-2)와 같다.

$$a_{n,m}(t) = \sqrt{\frac{1}{M}} d_{n,m}(t) c_n(t) \tag{2-2}$$

M 은 병렬 스트림의 수이고, n 번째 사용자의 m 번째 병렬 스트림의 데이터 비트 $d_{n,m}(t)$ 는 식 (2-3)과 같이 표현할 수 있다. 또한, 길이가 확산이득(SF)인 n 번째 사용자 구분 직교 부호열 $c_n(t)$ 는 식 (2-4)와 같다.

$$d_{n,m}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k p_T(t - kT),$$

$$p_T(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \tag{2-3}$$

$$c_n(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k p_{T_c}(t - kT_c),$$

$$p_{T_c}(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_c \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \tag{2-4}$$

위의 식에서 d_k 와 c_k 는 1 또는 -1의 값을 갖는다. 데이터 구간 T 는 S/P변환을 겪은 데이터 비트의 한 구간이고, T_c 는 칩의 한 구간이다. 이때 병렬 스트림의 데이터 구간은 $SF \cdot T_c$ 와 같다($T = SF \cdot T_c$). $p_T(t)$ 와 $p_{T_c}(t)$ 는 구형과 펄스를 나타낸다. 식 (2-4)의 n 번째 사용자 구분 직교 부호열 $c_n(t)$ 는 n 번째 사용자의 각 병렬 데이터 스트림에서 동일하게 사용되는 부호열이다. 시간영역 확산과 N 명의 사용자로 인한 IFFT단 m 번째 부반송파의 다중레벨 입력신호 $b_m(t)$ 는 식 (2-5)와 같다. IFFT단의 부반송파의 수(M)는 확산이득과 동일하다고 가정한다.

$$b_m(t) = \sum_{n=0}^{N-1} d_{n,m}(t) c_n(t) \tag{2-5}$$

m 번째 부반송파의 다중레벨 입력신호 $b_m(t)$ 를 일정 신호레벨에서 clipping하면 식 (2-6)과 같이 $g_m(t)$ 로 표현된다.

$$g_m(t) = b_m(t) - \eta(t) \quad (2-6)$$

이때 $\eta(t)$ 는 clipping후 잘려져 나간 신호레벨이다.

$$\eta(t) = \begin{cases} b_m(t) - L_c & b_m(t) > L_c \\ 0 & -L_c \leq b_m(t) \leq L_c \\ b_m(t) + L_c & b_m(t) < -L_c \end{cases} \quad (2-7)$$

이때 L_c 는 clipping 레벨이다. 따라서 $g_m(t)$ 를 MPSK신호로 변환하게 되면 식 (2-8)과 같다.

$$s_m(t) = \sqrt{\frac{N}{M}} e^{j \frac{\pi}{2g_m(t)}} \quad (2-8)$$

MPSK 신호들을 이용해서 IFFT를 수행하고 P/S를 한 후 보호구간을 삽입한 증폭기 입력신호 $s_i(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$s_i(t) = \sum_{m=0}^{M-1} s_m(t) e^{-\frac{j2\pi m}{T_c} t} \quad (2-9)$$

증폭기 입력신호 $s_i(t)$ 의 진폭을 식 (2-10)이라 할 때, AM-AM(Amplitude Modulation to Amplitude Modulation)과 AM-PM(Amplitude Modulation to Phase Modulation) 왜곡을 겪는 고풍력 증폭기 출력신호 $s_o(t)$ 는 식 (2-11)과 같다.

$$\rho(t) = \sqrt{\text{real}^2\{s_i(t)\} + \text{imag}^2\{s_i(t)\}} \quad (2-10)$$

$$s_o(t) = A[\rho(t)] \exp\{j(\phi_i(t) + \Phi[\rho(t)])\} \quad (2-11)$$

$\text{real}(\cdot)$ 과 $\text{imag}(\cdot)$ 는 각각 실수부와 허수부의 신호를 표현한 것이다. $A[\cdot]$ 와 $\Phi[\cdot]$ 는 각각 AM-AM, AM-PM왜곡이고 $\phi_i(t)$ 는 증폭기 입력신호 $s_i(t)$ 의 위상을 의미한다. 따라서 채널을 통과한 수신 신호 $r(t)$ 는 식 (2-12)와 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = a e^{-j\theta} s_o(t) + n(t) \quad (2-12)$$

$h(t)$ 는 채널의 임펄스 응답이고 $n(t)$ 는 평균이 0, 양측전력밀도가 $N_o/2$ 인 AWGN 잡음이다.

수신된 신호는 먼저 보호구간을 제거하고 S/P 변환을 한 후 FFT를 수행하고 MPSK 심볼 역할당을 수행한다. 식 (2-13)의 $\hat{c}_n(\cdot)$ 는 MPSK 역할당된 심볼을 의미한다.

MPSK 역할당된 신호는 사용자 구분 부호열로 시간영역에서 역확산된 후 각 병렬 스트림의 데이터 비트들로 검출된다.

채널을 통해 수신된 신호로부터 n 번째 사용자의 m 번째 부반송파로 전송된 신호를 검출하면 식 (2-13)과 같다.

$$\hat{c}_{n,m}(t) = \{ a e^{j\theta} r(t) e^{-\frac{j2\pi m}{T_c} t} \} c_n(t) \quad (2-13)$$

III. Clipping-OFCDM 시스템 구성

본 논문에서 순방향 링크 clipping-OFCDM 시스템을 구성한 사양은 <표 3-1>과 같다. 사용자 구분 직교 부호열로는 extended m과 walsh 부호열을 사용했고 확산이득과 IFFT 부반송파의 수는 32로 하였다. 데이터 율은 4Mbps, 칩 율은 4.096Mcps라 하였다. OFCDM 심볼 구간은 보호구간(T_g)을 삽입하여 9.75μsec라 하였다. 이때 $T_g = T/4$ 로 계산하였다. 그리고 채널 추정 에러와 동기 에러는 없다고 가정한다.

표 3-1. Clipping-OFCDM 시스템 사양
Table 3-1. System configuration of clipping-OFCDM.

변조 방식	BPSK/MPSK
직교 부호열	extended m, walsh
channel	AWGN, quasi-static
Clipping level(L_c)	2, 6
사용자 수(N)	8, 16, 20, 24
확산이득(SF)	32
IFFT 부반송파 수	32
증폭기 입력 backoff(BO)	3, 7dB
칩 율	4.096Mcps
데이터 전송율	4Mbps
OFCDM 심볼 구간($T + T_g$)	9.75μsec

1. 고풍력 비선형 증폭기 모델(Saleh 모델)

고출력 증폭기의 비선형 왜곡 현상은 일반적으로 크게 신호의 크기 왜곡(AM-AM)과 위상 왜곡(AM-PM)으로 나눌 수 있다. AM-AM 왜곡은 증폭기 입력신호의 포락선에 따른 출력 신호의 포락선이 선형적이지 않고 비선형적으로 나타나면서 생기는 출력 신호의 크기 왜

곡을 의미한다. 그리고, AM-PM 왜곡은 증폭기 출력 신호의 위상이 일정하지 못하고, 입력신호의 포락선에 따라 변하기 때문에 생기는 출력 신호의 위상 왜곡을 나타낸다. 증폭기 입력신호를 $s_i(t)$ 라 하면, $s_i(t)$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$s_i(t) = \rho(t) \cos[\omega_0 t + \phi(t)] \quad (3-1)$$

여기서, ω_0 는 반송파 주파수이고, $\rho(t)$ 는 신호의 포락선을, $\phi(t)$ 는 신호의 위상을 의미한다. 증폭기 출력 신호를 $s_o(t)$ 라고 하면, 식 (3-2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$s_o(t) = A[\rho(t)] \cos\{\omega_0 t + \phi(t) + \Phi[\rho(t)]\} \quad (3-2)$$

여기서, $A[\rho(t)]$ 가 AM-AM 왜곡을, $\Phi[\rho(t)]$ 는 AM-PM 왜곡을 의미한다. 아래 식 (3-3)과 (3-4)는 비선형 증폭기의 AM-AM 왜곡과 AM-PM 왜곡 특성이 다^[11].

$$A[\rho(t)] = \frac{2\rho(t)}{1 + \rho^2(t)} \quad (3-3)$$

$$\Phi[\rho(t)] = \Phi_0 \frac{2\rho^2(t)}{1 + \rho^2(t)}, \quad \Phi_0 = \frac{\pi}{6} \quad (3-4)$$

<그림 3-1>은 정규화된 증폭기의 입력신호에 대한 출력신호의 왜곡 특성을 보여준다.

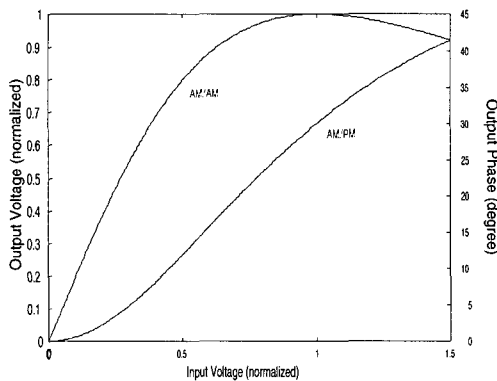


그림 3-1. 증폭기의 AM/AM, AM/PM 특성
Fig. 3-1. AM/AM, AM/PM characteristics of amplifier.

IV. 모의실험 및 결과분석

<그림 4-1>은 사용자 수 (N)가 8, 16명인 경우 고출

력 증폭기를 통과하지 않은 AWGN 채널에서의 성능이다. N 이 8명, extended m 부호열을 이용하고 clipping 레벨(L_c)이 2인 경우는 단일 사용자의 성능과 비교하여 BER 10⁻³에서 0.8dB 성능이 우수하였다. Clipping을 한후 MPSK 신호로 변환시 clipping 에러는 적고 잘려진 신호 레벨에 비례하여 송신 신호 전력이 증가하였기 때문이다. Walsh 부호열을 이용하고 L_c 가 2인 경우는 0.9dB 성능이 저하되었다. N 이 16, L_c 가 6, extended m 부호열을 사용한 경우는 단일 사용자의 성능과 거의 유사하였으며 walsh 부호열을 사용했을 때는 0.3dB 성능이 저하되었다.

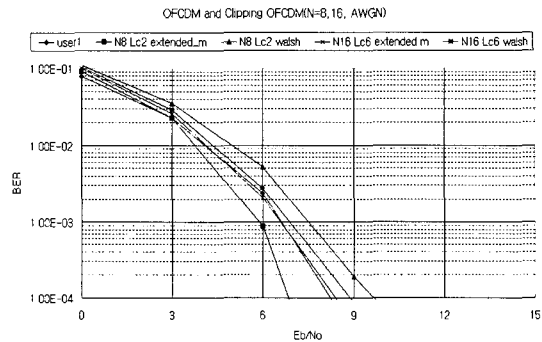


그림 4-1. AWGN 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교($N=8, 16, SF=32, L_c=2, 6$, without HPA)

Fig. 4-1. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in AWGN($N=8, 16, SF=32, L_c=2, 6$, without HPA).

<그림 4-2>는 N 이 20, 24명인 경우 AWGN 채널에서의 성능이다. N 이 20명, extended m 부호열을 이용하고 L_c 가 6인 경우는 단일 사용자의 성능과 비교하여 BER 10⁻³에서 동일한 성능을 보이고 있다. Walsh 부호열을 이용하고 L_c 가 6인 경우는 0.2dB 성능이 저하되었다. N 이 24, L_c 가 6인 경우는 extended m 부호열과 walsh 부호열을 사용했을때 각각 0.5, 0.7dB 성능이 저하되었다.

<그림 4-1>과 <그림 4-2>에서 볼 수 있듯이 AWGN 채널에서는 사용자 구분 직교 부호열로 extended m 부호열을 사용한 경우가 walsh 부호열을 사용한 경우에 비해서 0.2dB 이상 성능이 우수함을 알 수 있다. Extended m 부호열을 사용한 경우가 walsh

부호열을 이용한 경우에 비해서 clipping시 잘려져 나가는 신호 성분을 적게 해주기 때문에 성능이 우수하였다¹⁸⁾. 따라서 clipping을 L_c 가 6이하로 하고 extended m 부호열을 사용하면 OFCDM 시스템에 비해서 성능이 크게 저하되지 않음을 확인할 수 있다.

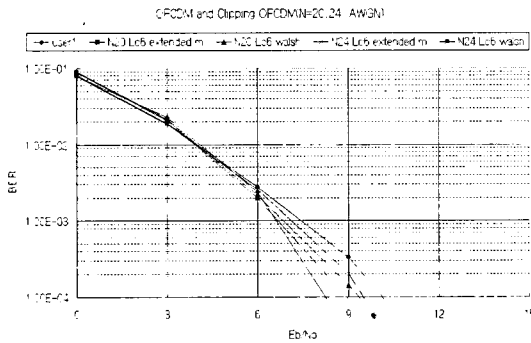


그림 4-2. AWGN 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=20,24, SF=32, $L_c=6$, without HPA)
 Fig. 4-2. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in AWGN(N=20,24, SF=32, $L_c=6$, without HPA).

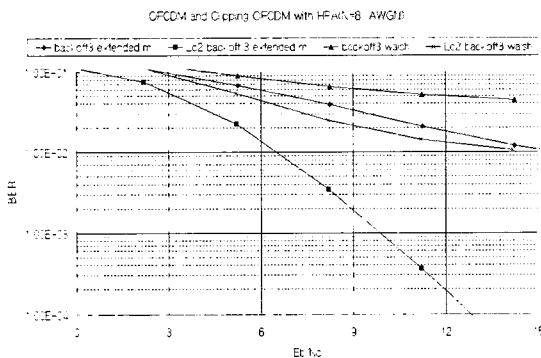


그림 4-3. AWGN 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=8, SF=32, $L_c=2$, IBO 3dB)
 Fig. 4-3. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in AWGN(N=8, SF=32, $L_c=2$, IBO 3dB).

<그림 4-3>은 N 이 8명, L_c 가 2, 증폭기 입력 backoff(BO)가 3dB일 때 AWGN 채널에서의 성능이다. Extended m 부호열과 walsh 부호열을 이용한 OFCDM 시스템과 walsh 부호열을 사용한 clipping OFCDM 시스템에서는 PAPR이 높아 에러 floor가 발생하였다. 그

러나 extended m 부호열을 사용한 clipping OFCDM 시스템은 E_b/N_0 9.8dB에서 BER 10^{-3} 을 만족하였다.

<그림 4-4>는 N 이 16, L_c 가 6, IBO가 7dB일 때 AWGN 채널에서의 성능이다. L_c 가 6, extended m 부호열을 사용한 경우가 성능이 가장 우수하였는데 extended m 부호열을 사용한 OFCDM 시스템의 경우보다 BER 10^{-3} 에서 2.2dB 성능이 우수하였다. Walsh 부호열을 사용했을 경우는 OFCDM과 clipping OFCDM 시스템 모두 에러 floor가 발생하였다.

<그림 4-5>와 <그림 4-6>은 L_c 가 6, IBO가 7dB, N 은 각각 20, 24명일 때 AWGN 채널에서의 성능이다.

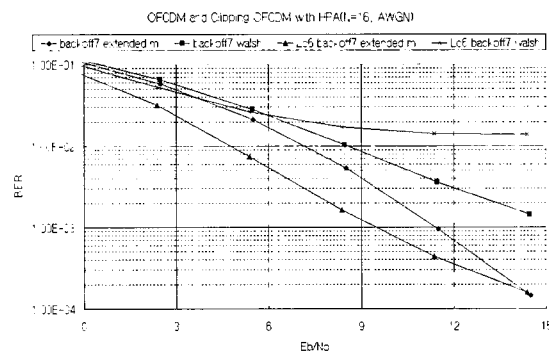


그림 4-4. AWGN 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=16, SF=32, $L_c=6$, IBO 7dB)
 Fig. 4-4. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in AWGN(N=16, SF=32, $L_c=6$, IBO 7dB).

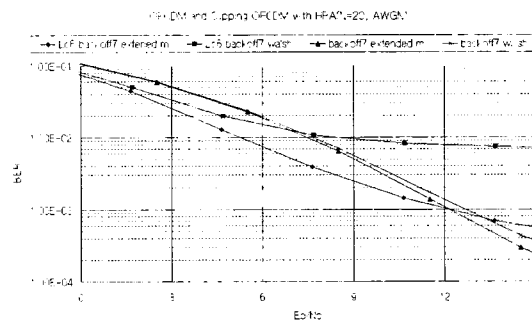


그림 4-5. AWGN 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=20, SF=32, $L_c=6$, IBO 7dB)
 Fig. 4-5. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in AWGN(N=20, SF=32, $L_c=6$, IBO 7dB).

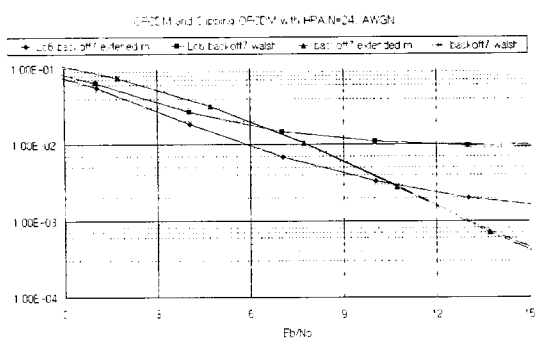


그림 4-6. AWGN 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=24, SF=32, Lc=6, IBO 7dB)

Fig. 4-6. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in AWGN(N=24, SF=32, Lc=6, IBO 7dB).

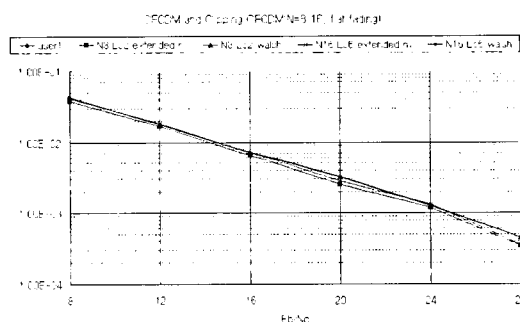


그림 4-7. Quasi-static 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=8,16, SF=32, Lc=2, 6, without HPA)

Fig. 4-7. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in quasi-static(N=8,16, SF=32, Lc=2, 6, without HPA).

N이 20명인 경우는 extended m 부호열을 이용한 clipping OFCDM 시스템과 extended m 부호열을 이용한 OFCDM 시스템의 성능이 BER 10⁻³에서는 동일하였다. 그러나 배경잡음이 많은 경우에는 extended m 부호열을 이용한 clipping OFCDM 시스템의 성능이 우수하였고 배경잡음이 적은 곳에서는 clipping 에러가 성능에 영향을 주게 되어 BER 5×10⁻⁴에서 에러 floor 발생하였다. N이 24명일 때 extended m 부호열을 이용한 clipping OFCDM 시스템의 경우 clipping된 에러 성분이 많아져 에러 floor가 발생하게 되는데 L_c를 높여 clipping을 수행하면 성능은 개선될 것으로 기대된다. 그러나 증가되는 MPSK 심볼들의 변환과 역변환 과정에

서 시스템의 복잡도를 야기할 수 있을 것이다.

<그림 4-3~4-6>의 결과에서 볼 수 있듯이 extended m 부호열을 사용한 clipping OFCDM 시스템은 다중레벨 신호를 clipping을 수행하여 MPSK 정포락신 신호로 심볼할당 후 전송되기 때문에 PAPR이 낮아져서 N이 8, 16명인 경우는 OFCDM 시스템에 비해 2.2dB 이상 성능이 우수하였다. 그러나 walsh 부호열을 이용한 clipping OFCDM 시스템은 clipping시 잘려져 나가는 신호성분이 많아서 고출력 증폭기를 통과한 성능에서는 여러 floor가 발생됨을 알 수 있다.

<그림 4-7>은 N이 8, 16명인 경우, <그림 4-8>은 N이 20, 24명인 경우 고출력 증폭기를 통과하지 않은

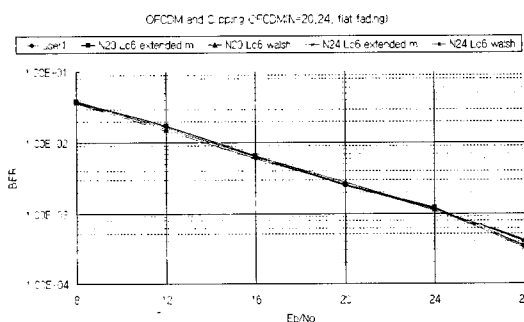


그림 4-8. Quasi-static 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=20,24, SF=32, Lc=6, without HPA)

Fig. 4-8. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in quasi-static(N=20,24, SF=32, Lc=6, without HPA).

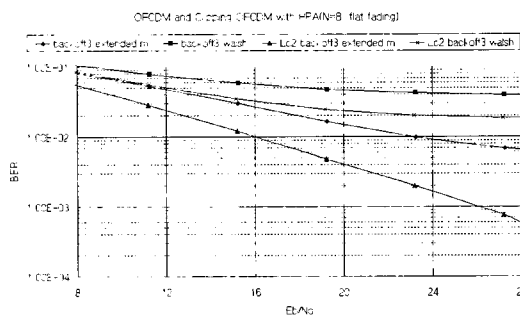


그림 4-9. Quasi-static 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=8, SF=32, Lc=2, IBO 3dB)

Fig. 4-9. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in quasi-static(N=8, SF=32, Lc=2, IBO 3dB).

quasi-static 채널에서의 성능이다. BER 10⁻³에서 OFCDM과 clipping OFCDM 시스템의 성능이 유사함을 알 수 있다.

<그림 4-9>는 N 이 8명, L_c 가 2, IBO가 3dB일 때 quasi-static 채널에서의 성능이다. L_c 가 2, extended m 부호열을 이용한 경우 E_b/N_0 26.2dB에서 BER 10⁻³을 만족하였고 walsh 부호열을 이용한 경우와 extended m 부호열을 사용한 OFCDM 시스템에서는 에러 floor가 발생하였다.

<그림 4-10>은 N 이 16명, L_c 가 6, IBO가 7dB일 때 quasi-static 채널에서의 성능이다. L_c 가 6, extended m 부호열을 이용한 경우는 extended m 부호열을

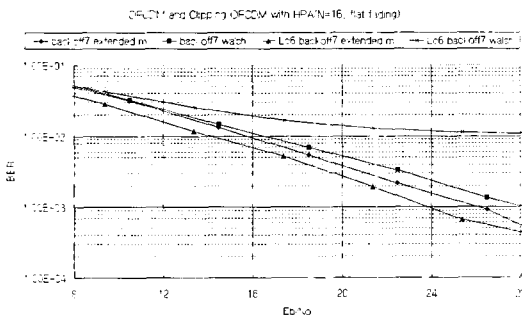


그림 4-10. Quasi-static 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=16, SF=32, Lc=6, IBO 7dB)

Fig. 4-10. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in quasi-static(N=16, SF=32, Lc=6, IBO 7dB).

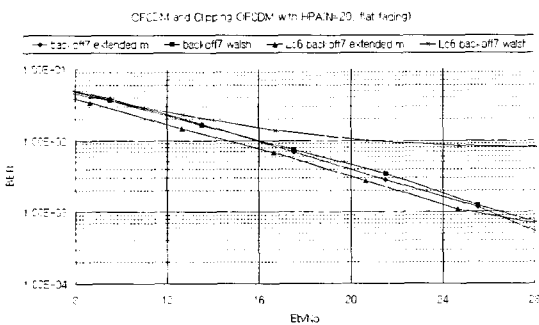


그림 4-11. Quasi-static 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=20, SF=32, Lc=6, IBO 7dB)

Fig. 4-11. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in quasi-static(N=20, SF=32, Lc=6, IBO 7dB).

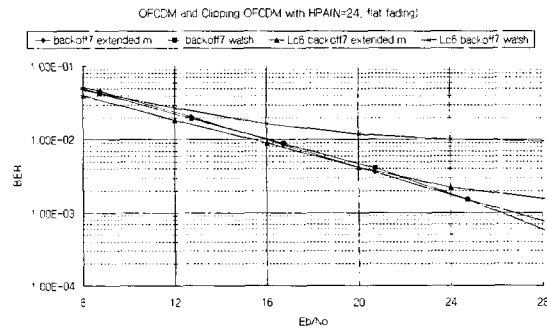


그림 4-12. Quasi-static 환경하에서 OFCDM과 clipping OFCDM 성능비교(N=24, SF=32, Lc=6, IBO 7dB)

Fig. 4-12. Performance comparing OFCDM with clipping OFCDM in quasi-static(N=24, SF=32, Lc=6, IBO 7dB).

사용하는 OFCDM 시스템과 비교하여 1.8dB 성능이 우수하였다.

<그림 4-11>과 <그림 4-12>는 L_c 가 6, IBO가 7dB, N 이 각각 20, 24명 일 때 quasi-static 채널에서의 성능이다. N 이 20명인 경우 extended m 부호열을 이용한 clipping OFCDM은 extended m 부호열을 이용한 OFCDM 시스템과 비교하여 BER 10⁻³에서 0.5dB 우수하였다. 그리고 N 이 24명인 경우 extended m 부호열을 이용한 clipping OFCDM은 clipping 에러가 많아져 에러 floor가 발생하였다. AWGN 채널에서와 같이 L_c 를 높여 clipping을 수행하면 성능은 개선될 것이지만 증가되는 MPSK 심볼들의 변환과 역변환 과정에서 시스템의 복잡도를 야기할 수 있을 것이다.

<그림 4-9~4-12>에서 나타낸 것처럼 quasi-static 채널에서도 extended m 부호열을 사용한 clipping OFCDM 시스템이 OFCDM 시스템에 비해 고출력 증폭기의 비선형 왜곡에 대해 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문은 OFDM과 DS/CDMA 방식을 결합한 순방향 링크의 OFCDM 시스템을 고려하였다. 또한 고출력 증폭기의 비선형 왜곡을 경감시키고자 IFFT단 부반송파의 다중레벨 입력신호를 clipping을 한 후 정교락신 신호인 MPSK 심볼로 변환하여 전송하는 기술을 적용하였다.

AWGN 채널에서는 extended m 부호열을 사용한 clipping OFCDM 시스템의 경우 walsh 부호열을 사용한 경우에 비해서 0.2dB 이상 성능이 우수하였다. Extended m 부호열을 사용한 경우 clipping시 잘려져 나가는 신호 성분을 적게 해주기 때문에 성능이 우수하였다. 또한 L_c 가 6이하로 clipping을 수행하여도 OFCDM 시스템에 비해서 성능이 크게 저하되지 않음을 확인할 수 있다.

비선형 왜곡을 고려한 AWGN 채널에서는 extended m 부호열을 사용한 clipping OFCDM 시스템은 N 이 8, 16명인 경우 OFCDM 시스템에 비해 2.2dB 이상 성능이 우수하였다. 그러나 walsh 부호열을 이용한 clipping OFCDM 시스템은 clipping시 잘려져 나가는 신호성분이 많아서 고출력 증폭기를 통과한 성능에서는 에러 floor가 발생됨을 알 수 있다.

Quasi-static 채널에서는 BER 10⁻³에서 extended m 부호열을 사용한 OFCDM과 extended m 부호열을 사용한 clipping OFCDM 시스템의 성능이 유사하였다. 그러나 비선형 왜곡이 고려된 quasi-static 채널에서는 extended m 부호열을 사용한 clipping OFCDM 시스템이 OFCDM 시스템에 비해 N 이 8, 16명인 경우는 2dB 이상 우수하였다.

따라서 extended m 부호열을 사용한 clipping OFCDM 방식은 고출력 증폭기의 비선형 왜곡에 대한 성능이 우수하고 또한 고속 데이터 전송을 구현 가능하여 차세대 이동통신 순방향 링크의 다중화 방식에서 매우 효과적인 시스템으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] S. Kaiser, "OFDM code-division multiplexing in fading channels," IEEE Trans. Comm. Vol. 50, pp. 1266-1273, Aug. 2002.
- [2] N. Maeda, H. Atarashi, S. Abeta and M. Sawahashi, "Performance of forward link broadband OFCDM packet wireless access using MMSE combining scheme based on SIR estimation," VTC Spring 2002. IEEE 55th, Vol. 2, pp. 1045-1049, 2002.
- [3] H. Atarashi, N. Maeda, S. Abeta and M. Sawahashi, "Broadband packet wireless access based on VSF-OFCDM and MC/DS-CDMA," Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, The 13th IEEE International Symposium on, Vol. 3, pp. 992-997, 2002.
- [4] R. Van Nee and A. Wild, "Reducing the Peak to Average Power Ratio of OFDM," Proceedings of the IEEE VTC., pp. 2072-2076, 1998.
- [5] L. Xiaodong and L. J. Cimini Jr., "Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM," IEEE Communications Letters, Vol. 2, pp. 131-133, May 1998.
- [6] M. Pauli and P. Kuechebecker, "On the Reduction of the out-of-band radiation of OFDM-signals," Proceedings of the IEEE ICC, pp. 1304-1308, 1998.
- [7] R. D. J. Van Nee, "OFDM codes for peak to average power reduction and error correction," IEEE Global Telecommunications Conference, pp. 740-744, 1996.
- [8] 안철용, 안치훈, 김동구, 류승문, "고속데이터 전송을 위한 Multi-Phased MC-CDMA 시스템의 제안 및 성능 분석," Vol.26, pp. 1637-1647, 2001. 12
- [9] 옥경준, 김동구, 이병하, 안철용, "Multi-phased MC-CDMA시스템의 수신 성능 개선을 위한 Chip Level Soft Decision 연구," 2002년도 한국통신학회 추계학술발표회 논문 초록집 vol. 26, 2002, pp. 211
- [10] B. H. Yi, C. Y. Ahn, D. K. Kim and J. W. Cho, "Multi-Code CDMA system of DMPSK incorporation with Clipper and BER of Multiple L-Symbol Differential Detection," CIC2002 The 7th CDMA international Conference vol. 2, pp. 82-86, 2002.
- [11] A. A. M. Saleh and J. Salz, "Adaptive Linearization of Power Amplifiers in Digital Ratio Systems," The Bell System Technical Journal, Vol. 62, pp. 1019-1033, April 1983.

저 자 소 개



安 致 勳(正會員)

1996년 2월 : 충북대학교 정보통신 공학과공학사. 1998년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과공학석사. 1999년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정. <주관심분야 : CDMA 이동통신시스템, 3G/4G 시

스템, MIMO-OFDM, Mobile internet/ Wireless LAN>



蔣 承 勳(正會員)

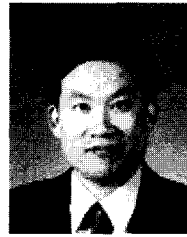
2002년 8월 : 연세대학교 전기전자 공학사. 2003년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석사과정. <주관심분야 : CDMA, OFDM 이동 통신시스템, MIMO>



崔 榮 寬(正會員)

1998년 2월 : 연세대학교 전파공학과공학사. 2000년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과공학석사. 2000년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정. <주관심분야 : CDMA 이동통신시스템, 순/역방향

링크 빔 성형 기술, MIMO OFCDM 시스템>



金 東 九(正會員)

1983년 2월 : 한국항공대학교 통신 공학과공학사. 1985년 : U.S.C. Dept. of Electrical Engineering 공학석사. 1992년 : U.S.C. Dept. of Electrical Engineering 공학박사. 1999년~현재 : 연세대학교 공과대학 기계전자

공학부 부교수. <주관심분야 : CDMA 이동통신시스템, 3G/4G 시스템, MIMO-OFDM, 오류정정부호>