한국항해항만학회지 제29권 제3호, pp. 245~250, 2005 (ISSN-1598-5725)
Journal of Korean Navigation and Port Research

PAR 저감기법을 적용한 COFDM 시스템의 성능분석

성태경* · 김동식* · 조형래***

*한국해양대학교 대학원, **한국해양대학교 전파 · 정보통신공학부 교수

A study on Performance Analysis of COFDM System using PAR Reduction Method

Tae-Kyung Sung · Dong-Seek Kim* · Hyung-Rae Cho***

**Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*
***Division of Radio & Information Communication Eng., National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*

요 약 : 본 논문에서는 OFDM 시스템의 문제점으로 지적되고 있는 송신단의 피크전력 대 평균전력비(Peak to average Power Rate ; PAR)을 고려하여 부호화된 OFDM (Coded OFDM) 시스템을 설계하고 PAR 저감기법을 사용하여 BER (Bit Error Rate)과 SNR (Signal to Noise Ratio) 특성을 평가하였다. 변조방식에 따른 성능 평가를 위하여 M-ary PSK와 M-ary QAM 방식을 비교하였고, 그 결과 16-PSK와 16-QAM의 성능이 우수하게 나타났다. 또한 16 QAM이 16-PSK 방식보다 10-3의 오차범위에서 2 dB 더 우수한 성능을 보였으며, Peak Power Clipping 기법에서는 약 5dB 정도 우수한 성능을 보였다.

핵심용어 : OFDM, PAR, Coded OFDM

Abstract : *In this paper, considering PAR of transmitter which is pointed out OFDM system's problem, we designed Coded OFDM (COFDM) system and estimated BER and SNR using PAR reduction method. In order to evaluate performance, we compared M-ary PSK (M ary Phase Shift Keying) with M-ary QAM (M ary Quadrature Amplitude Modulation). In result, performance of 16-PSK and 16 QAM came to good. Moreover, 16 QAM showed better performance of about 2 dB in 10-3 error probability and performance of about 5 dB in Peak power clipping than that of 16 PSK.*

Key words : *OFDM, PAR, Coded OFDM*

1. 서 론

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템은 높은 전송속도 및 대역폭 효율을 보장할 뿐만 아니라 다중경로 페이딩 채널, 임펄스 간섭 및 협대역 간섭에 대하여 강건한 특성을 가지므로 IEEE802.11a, HIPERLAN/2와 같은 광대역 무선 LAN(Local Area Network)의 표준, 지상파 DAB (Digital Audio Broadcasti ng), DVB T (Digital Video Broadcasting Terrestrial)등에 사용되는 통신방식이다 (Cimini, 1985), (Bingham, 1990), (Nee, 2000), (Sari et al., 1995). 그러나 OFDM 시스템은 급격한 채널변화에 따라 인접 부채널에 의한 간섭(Adjacent Carrier Interference ; ACI)이 크게 발생할 뿐만 아니라 많은 부반송파를 이용한 병렬 데이터 전송과정에서 높은 PAR을 유발하며 이러한 높은 PAR을 갖는 신호가 비선형 HPA (High Power Amplifier)를 통과하면 큰 비선형 왜곡이 발생하게 되어 통신성능을 크게 저하시킨다.

이러한 OFDM 시스템에서의 높은 PAR 문제를 해결하기 위한 방법으로 기존에 제시된 방법들로 clipping, block coding, phase rotation(SLM/PTS)기법 등을 예로 들 수 있다. 클리핑 기법은 일정 한계(threshold)보다 큰 신호를 잘라내는 방법으로 그 구성은 간단하지만 대역 외(out-of-band) 회전과 대역 내(in-band) 왜곡이 발생하므로 신호의 품질이 저하된다 (Li, et al., 1991). Block coding 기법은 PAR을 3 dB 이내로 제한할 뿐만 아니라 신호의 왜곡이 없고, 코딩 효과가 있기 때문에 Magic WAND에 이용된다. 그러나 부호율(code rate)과 대역효율(bandwidth efficiency)이 현저히 낮아지고 부반송파의 수가 증가할수록 계산량이 지수적으로 증가하는 단점이 있다(Wilkinson, et al., 1995), (Ochiai, et al., 1997). 회전 위상을 이용하는 방식 중 우선, SLM 기법은 동일한 정보에 여러 위상 시퀀스를 곱하여 이 중에서 가장 낮은 PAR을 갖는 데이터 시퀀스를 선택하여 전송하는 방식이고, PTS 기법은 부반송파를 여러 개의 부블록(sub-block)으로 나누어 낮은 PAR의 신호가 되도록 최적의 rotation factor를 곱하여 전송하는 방식

* 대표저자 : 성태경(정회원), tksung@bada.hhu.ac.kr, 051)410-4933
* 정회원 : seek1228@bada.hhu.ac.kr, 051)410-4933
** 정회원, hrcho@hhu.ac.kr, 051)410-4421

이다. 이 두 방식은 정보신호의 왜곡 없이 효과적으로 PAR을 저감할 수 있지만 여러 개의 역고속푸리에변환(Inverse Fast Fourier Transfer ; IFFT) 블록이 필요함으로 시스템의 복잡도가 증가할 뿐만 아니라 데이터의 복원을 위하여 위상회전 정보를 반드시 수신측에 전송해야 하고 이에 따른 오류가 추가적으로 발생한다(Baumi et al., 1996), (Jayalath et al., 2000). 따라서 본 논문에서는 시스템의 복잡도를 증가시키지 않으면서 효율적으로 PAPR을 저감시킬 수 있는 기법으로 SLM과 PTS의 결합 방식을 제안하고, 그 성능을 분석하였다. 또한 이동수신의 경우 CD급의 음질 제공은 물론 데이터의 완벽한 재생과 대용량 데이터의 전송에 적합한 전송방식으로 OFDM을 이용하여, 특히 이동환경에서 다중경로 페이딩을 효과적으로 극복하기 위하여 COFDM 전송방식을 사용한다 (Alard et al., 1987), (Berrou et al., 1993). 본 논문에서는 PAR 저감기법을 적용한 시스템을 평가하기 위하여 COFDM 시스템을 구성하여 부호화 이득, 다중경로에 의한 지연확산 특성 및 Peak power clipping의 영향 등에 대하여 SNR과 BER 특성을 평가하였다.

2. OFDM 신호와 PAR

Fig. 1에는 일반적인 OFDM 시스템을 보인다. 입력 데이터가 mapper로 들어가 QPSK나 QAM과 같은 복소 데이터 심볼이 되고 직/병렬 변환후 IFFT를 사용하여 OFDM 변조된다. X_n을 복소 데이터심볼, N은 부반송파의 수, T_s를 OFDM 심볼구간이라 하면, 복소 기저대역 OFDM 심볼은 식 (1)과 같이 된다.

$$x(t)=\sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{j2\pi nt/T_s},\quad 0\le t\le T_s \tag{1}$$

병/직렬 변환된 신호는 보호구간이 삽입된 다음 HPA를 거쳐 전송된다. 수신에서는 송신측의 역과정을 거쳐 데이터를 복원한다. 또한 OFDM의 PAR은 식 (2)와 같이 정의한다.

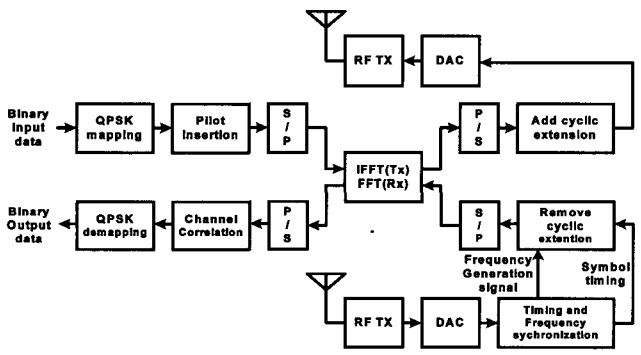

Fig. 1 Block diagram of OFDM system

$$PAR\equiv\frac{\max|x(t)|^2}{E[|x(t)|^2]} \tag{2}$$

그러나 심볼당 N 개 샘플링하는 Nyquist sampling rate는 continuous-time OFDM 신호의 peak를 놓칠 수 있으므로 PAR 감소를 정확하게 측정할 수 없다. 따라서 본 논문에서의 모든 PAR 계산은 정확한 측정을 위하여 4배의 oversampling을 가정하였으며, oversampling은 원래의 심볼을 포함하는 4N-point zero-padded IFFT를 사용하면 간단히 구현할 수 있다(tellambura, 1998). Oversampling을 하였을 경우 PAR의 분포는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$P_r(PAR\le PAR_o)=(1-\exp(-PAR_o))^{\alpha N} \tag{3}$$

여기서, α와 N은 각각 독립변수와 부반송파 수를 의미한다. 따라서, OFDM 신호의 PAR에 대한 CCDF (complementary cumulative distribution function)는 식 (4)와 같다.

$$P_r(PAR>PAR_o)=1-(1-\exp(-PAR_o))^{\alpha N} \tag{4}$$

일반적으로 oversampling한 OFDM 신호에 대해서 $\alpha=2.8$이 적당하게 사용된다. 다음으로 OFDM 변조된 신호는 HPA에 인가되며, HPA에 입력되는 복소 신호는 식 (5)와 같다.

$$x(t)=r(t)e^{j\phi(t)} \tag{5}$$

또한, 비선형 왜곡의 영향을 받는 HPA의 출력신호는 식 (6)과 같다.

$$x(t)=A[r(t)]e^{j\{\phi(t)+\Phi[r(t)]\}} \tag{6}$$

여기서, $A[r(t)]$과 $\Phi[r(t)]$는 각각 HPA의 AM/AM 및 AM/PM 변환특성을 나타낸 것이다. 먼저 Saleh의 비메모리 TWTA (Traveling-Wave Tube Amplifier) 모델의 AM/AM과 AM/PM의 변환특성은 각각 식 (7) 및 식 (8)과 같다.

$$A[r(t)]=A_{sat}^2\frac{r(t)}{r^2(t)+A_{sat}^2} \tag{7}$$

$$\Phi[r(t)]=\frac{\pi}{3}\frac{r(t)}{r^2(t)+A_{sat}^2} \tag{8}$$

여기서, A_{sat}은 증폭기 입력의 포화전압을 의미한다. 그리고 SSP (Solid State Power amplifier) 모델에서는 각각 식 (9) 및 식 (10)과 같다.

$$A[r(t)]=\frac{r(t)}{\left[1+\left(\frac{r^2}{A_{sat}}\right)^{2p}\right]^{1/2p}} \tag{9}$$

$$\Phi[r(t)]=0 \tag{10}$$

여기서, A_{sat}은 출력 크기의 최대값을 의미하며, 파라미터 p는 비선형 인자이다.

3. PAR 저감기법을 적용한 COFDM 시스템

통신 시스템에서는 보다 많은 데이터를 손실 없이 전송하고자 하며, 차세대 무선 멀티미디어 통신에서는 대용량의 데이터를 고품질, 고신뢰성의 서비스를 제공받기를 기대한다. 이와 같이 많은 정보 전송에는 에러 대처 방안이 매우 중요하게 되며, 이러한 에러 대처 방안으로는 에러 정정 부호를 사용한 기법과 ARQ (Automatic Repeat reQuest) 기법 등이 있다 (Berrou et al., 1993). 최근 강력한 에러 정정 부호를 사용하여 송신 신호 전력을 높이지 않고서도 통신품질을 개선시키고자 하는 연구들이 이루어지고 있다. 그 중에서도 1993년에 C. Berrou 등에 의하여 발표된 터보 부호는 순환 길쌈부호 (Recursive Systematic Convolutional ; RSC)를 병렬로 연접하여 부호화하고 수신단에서 반복적인 복호화 알고리즘을 이용하여 정보에 대한 신뢰도를 개선시키는 에러 정정 기법이다. 이는 IMT 2000에서의 표준 부호로 선정되어 있으며 차세대 멀티미디어 통신에도 많이 이용될 것으로 보인다.

각 변조방식에 따른 COFDM의 성능은 다중경로, Peak Power Clipping, SNR, 프레임 동기 에러의 영향 등에 대하여 BER 특성으로 평가하고자 한다. Fig. 2에는 모델링된 채널 환경에서의 COFDM 시스템의 구성도를 보인다.

3.1 Encoding

부호화는 앞서 제시한 터보 부호를 사용하였으며 여기서 반복 횟수는 1, 인터리버 크기는 512로 고정하고 복호 알고리즘은 SOVA를 사용하였다.

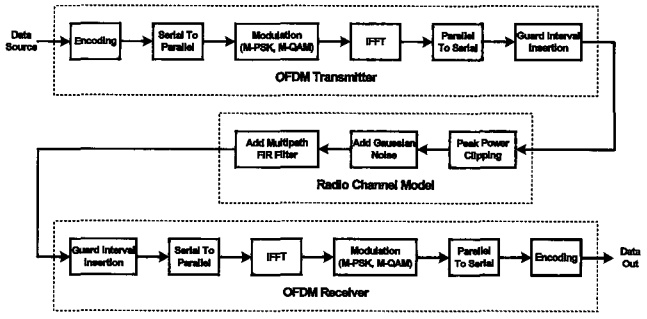

Fig. 2 Blcok diagram of COFDM system I

3.2 S/P conversion

직렬 입력데이터 스트림은 전송에 필요한 word size로 포맷된다. 예를 들면 QPSK 경우 2 *bits/word*로 하였고 병렬 포맷으로 변환하였다. 그리고 각 데이터에 하나의 반송파를 할당함으로서 병렬로 전송하였다.

3.3 Modulation

변조 방법은 M DPSK와 M-QAM을 사용하였으며, 먼저 M DPSK의 경우 각 반송파 상에 전송된 데이터는 앞의 심볼과 차동 부호화(differential coding)되어 PSK 형태로 사상된다. 차동 부호화는 초기 위상 기준이 필요하므로 여분의 심볼이 시작부에 부가되었다. 그리고 각 심볼 상의 데이터는 변조 방법에 기초하여 위상각으로 사상되었다. 예를 들면 QPSK는 사용된 위상각이 0°, 90°, 180°, 270° 이며, M-QAM은 전송률에 따라 QPSK, 16-QAM, 64-QAM으로 그레이 부호화 변조한다.

3.4 IDFT

필요한 스펙트럼이 만들어진 후 대응하는 시간 파형을 구하기 위해서 IDFT를 사용하였다. 보호구간은 각 심볼의 시작부에 부가되었다.

3.5 Guard interval

보호구간은 두 부분으로 구성된다. 보호구간의 1/2은 '0' 진폭 전송이고, 1/2은 송신할 심볼의 순환확장(cyclic extension)이다. 이는 심볼 타이밍이 포락선 검출로 쉽게 복구 되도록 허용하기 위한 것이다. 그러나 타이밍이 그 샘플의 위치를 정확히 구할 수 있는 경우에는 시뮬레이션에서 필요하지 않음을 알 수 있다. 보호구간이 추가된 후, 심볼들은 직렬 시간 파형으로 역변환되며, 이것이 OFDM 전송의 기저대역 신호이다.

3.6 Channel

이 모델은 송신 신호에 채널 모델이 적용되었으며 다중경로, SNR, Peak Power Clipping이 제어되도록 해준다. SNR은 송신 신호에 백색잡음을 추가하여 만든다. 그리고 다중경로 지연 확산은 FIR 필터를 사용한다. FIR 필터의 길이는 최대 지연 확산을 나타내지만 계수 진폭은 반사된 신호크기를 나타낸다.

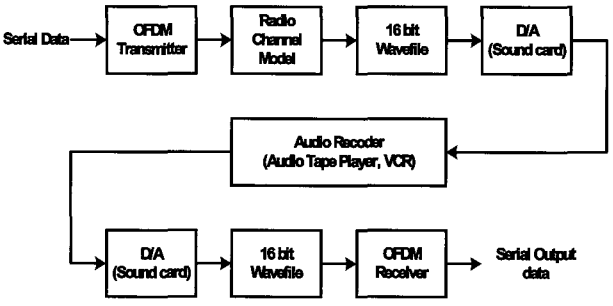

Fig. 3 Block diagram of COFDM II

3.7 Receiver

수신기는 송신기의 역 과정을 통해 원래의 데이터를 복원한다. Fig. 3에는 실제 환경과 유사한 채널 환경의 COFDM 시스템의 구성을 보인다. 그림에서 정보신호는 COFDM 시스템을 통과하여 송신 신호를 생성하고 16 비트 wave file로 변환된 후 사운드카드를 통해 스피커로 출력된다. 이 신호는 마이크를 통해 COFDM 수신부로 입력되고, wave file은 OFDM 신호로 변환된 후 원래의 데이터를 복원하게 된다.

4. 시뮬레이션 및 성능평가

본 논문에서는 무선 멀티미디어 환경에서 OFDM 시스템의 변조방식에 따른 성능 평가를 위하여 Fig. 2와 Fig. 3에서 모델링된 채널을 실제 환경과 유사한 조건으로 하여 터보부호의 부호화 이득, 다중경로에 의한 지연확산 특성 및 Peak Power Clipping의 영향 등에 대하여 Matlab 6.5를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션으로 BER대 SNR의 특성을 분석하였다.

Table 1, 2, 3은 본 논문의 시뮬레이션에 사용한 COFDM 시스템의 파라미터를 보인다.

4.1 부호화 이득

Fig. 4는 부호화되지 않은 OFDM 시스템과 부호화된 COFDM 시스템을 비교한 것으로 16-DPSK 변조방식과 16-QAM 변조방식을 사용한 경우의 SNR에 대한 BER을 보인다. Fig. 5는 64-DPSK와 64-QAM 변조방식을 사용한 경우, SNR에 대한 BER 특성을 보인다. 결과에서 알 수 있듯이 QAM 방식에서는 부호화된 16-QAM 방식이 10^{-3}을 기준으로 3 dB 정도의 이득을 가짐을 알 수 있으며, PSK 방식에서는 역시 부호화된 16-PSK 방식이 1.5 dB 정도의 이득을 가짐을 알 수 있다. 만약 반복 복호를 행한다면 3 dB 이상의 부호화 이득을 얻을 수 있다. 결론적으로 OFDM 방식보다 부호화된 OFDM 방식이 우수하며 또한, 16-QAM 방식이 16-PSK 방식보다 10^{-3} 범위에서 2 dB 정도 성능이 우수함을 알 수 있다.

Table 1 Simulation used COFDM parameters

Parameter	Value
Modulation	M-ary DPSK, M-ary QAM
Coding	Turbo Code
FFT size	2,048
Number of carrier	800
Guard Time	512 Samples (25%)
Guard Period Type	Cyclic Extension

Table 2 Timing related OFDM symbol parameters

Parameter	Value
Number of data Subcarriers	800
Subcarrier frequency spacing	9765.625Hz(=20 MHz/2048)
IDFT/FFT Period	102.4 μs($1/\Delta_F$)
Header	1024 μs (T_{SIGNAL}×8)
Duration of the Signal BPSK-OFDM Symbol	128 μs (T_{SIGNAL})
Guard Interval	25.6 μs($T_{FFT}/4$)
Symbol Interval	1024 μs (T_{GI} + T_{FFT})

Table 3 Bit rate related OFDM symbol parameters

Data Rate	Modulation	Coded bits per OFDM symbol	Data bits per OFDM symbol
6.25 Mbps	BPSK	800	800
12.5 Mbps	QPSK	1,600	1,600
18.75 Mbps	8-PSK	2,400	2,400
25 Mbps	16-PSK	3,200	3,200
31.25 Mbps	32-PSK	4,000	4,000
37.5 Mbps	64-PSK	4,800	4,800
43.75 Mbps	128-PSK	5,600	5,600
50 Mbps	256-PSK	6,400	6,400

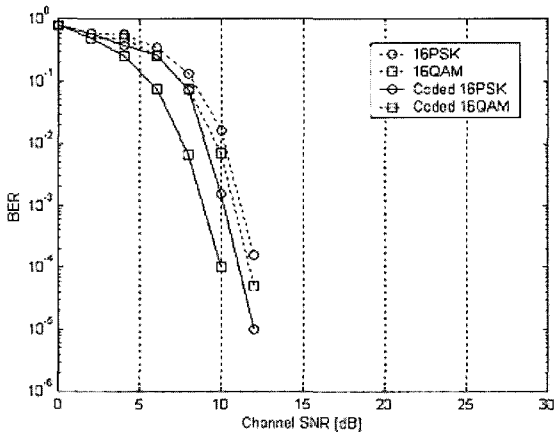

Fig. 4 BER characteristics of 16-DPSK vs. 16-QAM of COFDM/OFDM

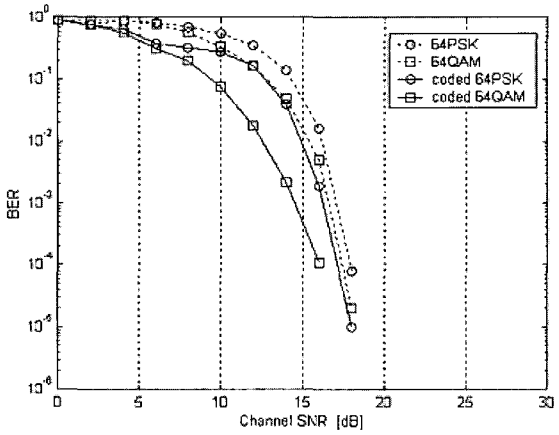

Fig. 5 BER characteristics of 64-DPSK vs. 64-QAM of COFDM/OFDM

4.2 다중경로 지연확산 특성

다중경로 지연확산에 대한 특성을 얻기 위하여 OFDM 신호는 단일 반사 에코를 갖는 다중경로 신호로 설정하였다. 반사 신호는 다중경로가 없는 직접신호보다 약한 반사로 가정하고 직접신호보다 3 dB 약하게 선정하였다. Fig. 6~9은 각각 부호화되지 않은 OFDM 신호 부호화된 OFDM 신호에 대하

여 PSK(M ary PSK) 및 QAM(M-ary QAM) 변조를 행한 경우의 지연확산에 대한 BER 특성을 보인 것으로 BER은 약 ±256 샘플 이하의 지연확산에 대하여 '0' 임을 알 수 있다. 이는 시뮬레이션에 사용된 보호구간이 512개의 샘플로 순환 확장되며 이 순환 확장의 중간부분을 심볼의 시작점으로 하기 때문이다. Fig. 6~9의 결과에서 알 수 있듯이 M ary QAM 방식이 M ary PSK 방식보다 우수한 특성을 보이며 견딜 수 있는 지연확산은 보호구간의 순환확장 시간과 일치됨을 알 수 있다. 유효 보호구간보다 지연확산이 긴 경우, BER은 심볼간 간섭(Inter Symbol Interference ; ISI)에 의하여 빠르게 상승하며, 최대 BER은 지연확산이 심볼 주기보다 큰 경우에 발생한다. 이것은 강한 ISI를 만들기 때문이다. 그러나 에코는 잡음으로 나타나므로 OFDM 신호의 잡음 내성에 의하여 신호가 감쇠된다면 BER에 대한 감소 효과는 별로 발생하지 않게 된다.

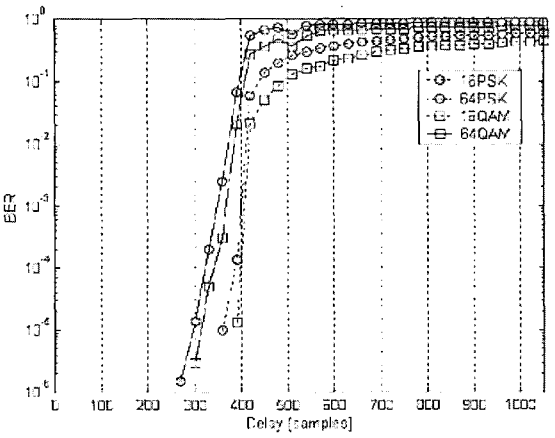

Fig. 6 BER characteristics for delay spreading distortion of PSK vs. QAM of OFDM

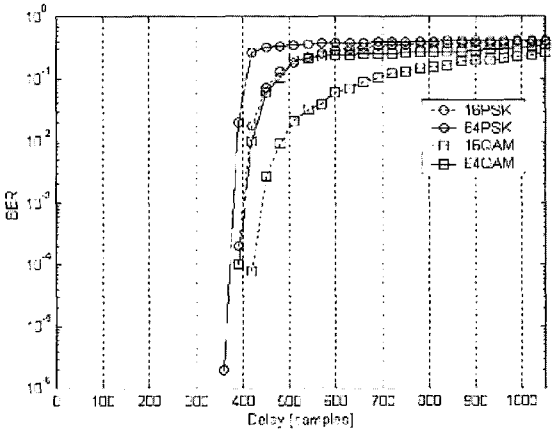

Fig. 7 BER characteristics for delay spreading distortion of PSK vs. QAM of COFDM

4.3 Peak Power Clipping

Fig. 10~12는 각각 Peak power clipping에 따른 PSK (M ary PSK)와 QAM(M ary QAM)을 나타낸다. 여기서 10^{-6}의 BER을 얻기 위하여 16-PSK 방식은 약 6 dB 까지 clipping 될 수 있고, 16-QAM 방식은 약 11 dB 까지 clipping 될 수 있음을 보인다. 따라서 16-QAM이 16-PSK 방식보다 5 dB 정도 우수함을 알 수 있다. 이것은 HPA의 입력값을 초과하는 PAR을 감소시켜 전송신호를 완전하게 증폭시킬 수 있다는 것을 의미한다. 결과적으로 Peak power 대 RMS 비에서 송신전력을 증가시키고 왜곡을 감소시킬 수 있도록 16-QAM의 경우 11 dB 까지 의도적으로 clipping 할 수 있음을 의미한다.

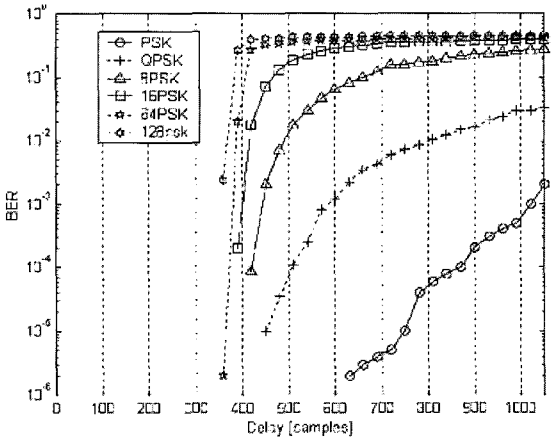

Fig. 8 BER characteristics for delay spreading distortion of M-PSK of COFDM

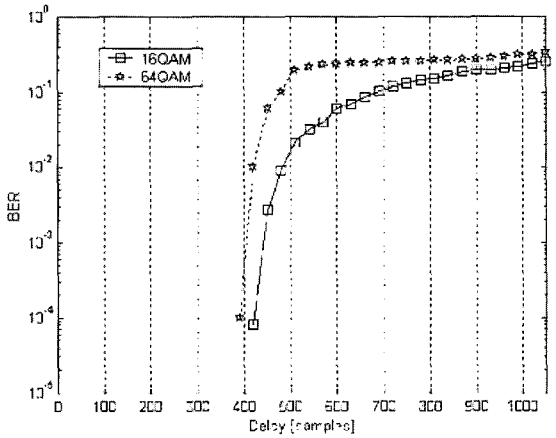

Fig. 9 BER characteristics for delay spreading distortion of M-QAM of COFDM

5. 결 론

본 논문에서는 COFDM에서 발생하는 PAR 저감기법을 적용한 COFDM 시스템의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 또한, 시스템 성능분석을 위하여 COFDM 시스템을 구성하고 여러 가지 방법으로 성능을 평가하였다. 부호화 측면에서는 터보부호로 부호화한 COFDM 방식이 OFDM 방식에 비하여 3 dB 정도의 부호화 이득을 얻을 수 있었으며, 다중경로 지연확산에 대한 BER 특성, Peak power clipping 특성 및 변조방식에 따른 성능은 M-ary PSK 방식이 M-ary QAM

방식에 비하여 수신기 구조와 알고리즘의 단순화를 보이긴 하지만 성능면에서는 16-QAM이 16-PSK 방식보다 5 dB 정도 우수함을 확인할수 있었다. 차후 연구과제로는 본 연구 결과를 바탕으로 time-space 처리 COFDM 시스템에 대한 연구를 계속하여 고속 무선통신에 사용할 수 있도록 하고자 한다.

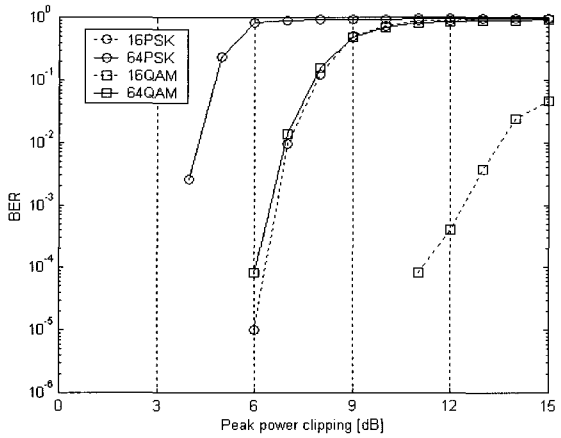

Fig. 10 BER characteristics comPAPRison of PSK vs. QAM for COFDM

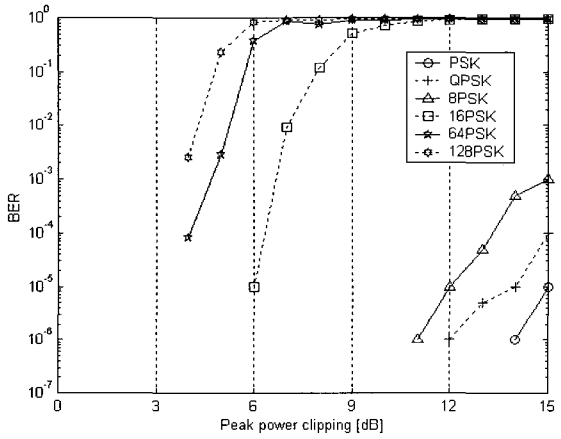

Fig. 11 BER characteristics of M-PSK for Peak power clipping of COFDM

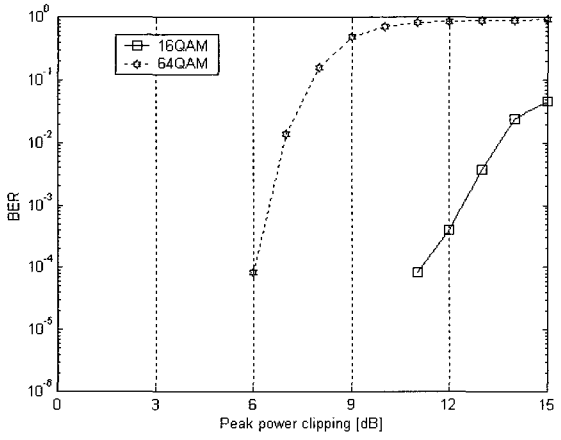

Fig. 12 BER characteristics of M-QAM for Peak power clipping of COFDM

참 고 문 헌

[1] A. D. S Jayalath, C. Tellamburg, H. Wu(2000), "Reduced complexity PTS and new phase sequence for SLM to reduce PAP of an OFDM signal," IEEE VTC 2000, Vol. 3, pp. 1914~1917, 2000.

[2] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshinna(1993), "Near Shannon Limit Error-Correction Coding and Decoding : Turbo-Codes(1)," Proc. ICC '93, May 1993.

[3] C. Tellambura(1998), "Phase optimization criterion for reducing paek-to-average power ratio of an OFDM signal," IEE Electro. Letters Vol. 34, pp. 169~170, Jan. 1998.

[4] H. Ochiai and H. Imai, "Block Coding scheme Based on Complementary Sequences for Multicarrier Signals," IEICE Trans. On Fundamentals, pp. 2136~2143, Nov. 1997.

[5] H. Sari, G. Karam, and I. Jean Cclaude(1995), "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," IEEE Communications Magazine, Vol. 33, No. 2, pp. 100~109, Feb. 1995.

[6] J. A. C. Bingham(1990), "Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come," IEEE Communications Magazine, Vol. 28, No. 5, pp. 5~14, May 1990.

[7] L. J. Cimini Jr.(1985), "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing," IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-19, pp. 665~675, July 1985.

[8] M. Alard and R. Lassale(1987), "Pronciples of Modulation and Channel Coding for Digital Broadcasting for Mobile Receivers," EBU Technical review, No. 224, pp. 168~190, Aug. 1987.

[9] R. Van Nee(2000), OFDM wireless multimedia communications, Boston, London: Artech House, 2000.

[10] R. W. Baumi, R. F. Fischer and J. B. Huber(1996), "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping," IEE Electronic Letters, Vol. 32, No. 22, pp. 2056~2057, Oct. 1996.

[11] T. A. Wilkinson and A. E. Jones(1995), "Minimization of the Peak-to-Mean Envelope Power Ratio of Multicarrier Transmission Schemes by Block Coding," Proc. of IEEE VTC '95, Chicago, pp. 825~829, July 1995.

[12] Xiaodong Li and L. J. Cimini Jr.(1991), "Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM," IEEE Trans. on Communications, Vol. 39, No. 7, pp. 1031~1033, July 1991.

원고접수일 : 2005년 2월 3일
원고채택일 : 2005년 3월 17일