

OFDM 신호의 PAPR 감소를 위한 효과적인 Clipped Comanding 기법

준회원 김재운*, 정회원 신요안*

An Effective Clipped Comanding Scheme for PAPR Reduction of OFDM Signals

Jaewoon Kim* Associate Member, Yoan Shin* Regular Member

요약

본 논문에서는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 신호의 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)을 효과적으로 감소시키기 위한 Clipped Comanding 기법을 제안한다. 제안된 기법은 시스템의 복잡도와 비트오율 (Bit Error Rate; BER) 성능 측면을 모두 고려하기 위해, 기본적으로 Comanding 기법을 기반으로 하고 Clipping과 Comanding 기법이 순차적으로 결합된 두 단계로 구성된다. 제안된 기법의 첫번째 단계에서는 시스템의 BER 성능에 영향을 미치지 않을 정도의 피크 신호들을 잘라내게 되고, 두번째 단계에서는 Wang이 제안한 μ -law Comanding 기법을 사용하여 효과적으로 PAPR을 감소시키게 된다. 모의실험 결과, 제안된 Clipped Comanding 기법은 기존의 μ -law Comanding 기법에 비해 PAPR을 좀 더 감소시킬 수 있으며 동시에 시스템의 BER 성능은 거의 동일하게 유지시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

Key Words : OFDM, PAPR, Comanding, Clipping, Clipping Ratio

ABSTRACT

In this paper, we propose a comanding scheme to effectively reduce PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) of the OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) signals. The proposed scheme is basically based on the comanding scheme to consider both complexity and Bit Error Rate (BER) performance, and composed of the clipping followed by the comanding scheme. In the first step of the proposed scheme, some of peak signals which do not influence the BER even without them, are clipped. In the second step, the proposed scheme utilizes the μ -law comanding to effectively reduce the PAPR. Simulation results show that the proposed clipped comanding scheme can provide more PAPR reduction without degradation of the BER performance, as compare to the conventional μ -law comanding.

I. 서론

최근 들어 OFDM (Orthogonal Frequency Division

Multiplexing) 시스템은 무선랜, 휴대인터넷, 차세대 이동통신 등의 고속 멀티미디어 무선 네트워크와 더불어 디지털 라디오, TV 방송에 이르기까지 폭넓은

※ 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음

※ 이 논문은 JCCI2007에서 우수논문으로 채택되어 한국통신학회논문지에 추천된 논문입니다.

* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신및정보처리 연구실 (ecko99@amcs.ssu.ac.kr, yashin@e.ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-06-249, 접수일자 : 2007년 6월 13일, 최종논문접수일자 : 2007년 9월 12일

분야에서 독보적인 무선 전송 방식으로 각광받고 있다^{1,2)}. OFDM 시스템은 변조 신호들을 다수의 직교 부반송파를 이용하여 전송하는 방식으로서, 전체 전송 대역을 다수의 협대역 직교 부채널로 분할하여 데이터를 전송하게 된다. 이러한 OFDM 시스템은 인접 부반송파 간에 직교성을 유지함으로써 부채널들을 중첩하여 배치할 수 있으므로 높은 대역폭 효율을 가지며, 단일 반송파를 사용하는 시스템에 비해 주파수 선택적 페이딩에 강한 특성을 갖는다.

OFDM을 포함한 대부분의 무선통신 시스템은 송신단에서 충분한 송신 전력을 얻기 위하여 고풍력 증폭기 (High Power Amplifier; HPA)를 사용하게 되는데, 이러한 HPA로부터 최대 출력 전력을 얻기 위해서는 일반적으로 포화 영역 근처에 동작점을 설정하여야 하며 이로 인해 발생하는 비선형 왜곡은 시스템 성능을 크게 저하시키는 요인이 된다. 이러한 HPA의 비선형 특성은 전송 신호의 진폭 변화에 매우 민감하기 때문에, 다수의 부반송파로 변조된 신호를 결합하여 전송하는 OFDM 시스템의 경우 전송 신호 진폭이 매우 크게 변하게 되어 결국 전송 신호에 대한 최대전력대평균전력비, 즉 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)이 단일 반송파 시스템에 비해 매우 큰 단점을 갖게 된다^{1,2)}.

OFDM 신호의 PAPR을 감소시키기 위해 가장 간단한 Clipping 기법을 비롯하여 Companding 기법, SLM (SeLective Mapping), PTS (Partial Transmit Sequence) 등의 다양한 PAPR 감소 기법이 제시되었다³⁾. Clipping 기법은 구조가 간단하고 PAPR을 감소시키는 측면에서는 효과적이지만, 전송 신호 가운데 일정 레벨 이상의 크기를 갖는 피크 신호를 잘라낸 후 전송하게 되므로 신호의 왜곡이 심해져서 시스템의 비트오율 (Bit Error Rate; BER) 성능이 상당히 열화된다. 한편, SLM과 PTS 기법은 각각 고유의 원리가 존재하지만 기본적인 접근은 위상 변화를 주어 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) 취함으로써 통계적으로 독립적인 시간 영역 시퀀스들을 생성하고 이 중에서 가장 낮은 PAPR을 갖는 시퀀스를 선택하여 전송하는 방식이다. 따라서 SLM과 PTS 기법은 신호에 위상 변화만 있으므로 시스템의 BER 성능이 열화되지는 않지만, 선택된 위상 패턴 즉, 부가 정보 (Side Information)을 수신기로 추가적으로 전송해야 하고 다양한 위상 조합들을 모두 IFFT 연산 처리를 해야 되므로 송신단의 연산량이 기하 급수적으로 증가하는 단점이 존재한다.

이에 본 논문에서는 시스템의 복잡도와 성능 측면 모두를 고려하기 위해 기본적으로 Companding 기법을 고려하였으며, OFDM 시스템의 BER 성능은 유지시키면서 동시에 PAPR을 효율적으로 감소시킬 수 있는 Clipped Companding 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 Clipping과 Companding 기법이 순차적으로 결합된 두 단계로 구성된다. 첫번째 단계에서는 송신하고자 하는 신호를 변조 레벨에 따라 시스템의 BER 성능을 열화시키지 않는 적정의 CR (Clipping Ratio)로 잘라내게 되고, 두번째 단계에서는 Companding 기법에 의해 첫번째 단계로부터 받은 신호를 Compression 시키게 된다. 이를 위한 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 OFDM 전송 신호 및 PAPR에 대해 정의하고, III장에서는 일반적인 Clipping과 Companding 기법에 대해 분석한다. 이어 IV장에서는 본 논문에서 제안된 Clipped Companding 기법에 대해 살펴보면, V장에서는 제안된 기법과 일반적인 Clipping 및 Companding 기법에 대한 성능을 모의실험을 통해 비교 분석한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. OFDM 전송 신호의 PAPR

OFDM 시스템에서는 전체 전송 대역을 다수의 협대역 부채널로 분할하여 데이터 변조된 심벌들을 여러 개의 직교 부반송파를 이용하여 전송한다. 이러한 OFDM 시스템의 송신단에서는 먼저 입력 데이터 비트들이 PSK (Phase Shift Keying) 또는 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 부호기에 의해 L 비트 단위로 묶여 심벌 간격이 T_s (sec)인 N 개 변조 심벌 X_ℓ ($\ell = 0, \dots, N-1$)로 변환된다. 여기서 M 진 변조 방식을 고려할 경우 $L = N \log_2 M$ 이다. 이러한 N 개 변조 심벌들은 주파수 간격이 $\Delta f \equiv 1/NT_s$ (Hz)인 N 개 직교 부반송파에 의해 변조된 후, 직병렬 변환기를 통해 직렬 신호로 변환되어 HPA의 입력이 된다. 따라서, N 개 변조 심벌 길이인 NT_s (sec)동안 OFDM 변조된 기저대역 신호 $x(t)$ 는 적절한 크기 변환을 거쳐 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$x(t) = \frac{1}{N} \sum_{\ell=0}^{N-1} X_\ell e^{j2\pi f_\ell t / NT_s} \quad (0 \leq t < NT_s) \quad (1)$$

위 식에서 X_ℓ 은 ℓ 번째 변조 심벌이며, f_ℓ 은 X_ℓ

을 전송하기 위한 ℓ 번째 부반송파 주파수 성분으로서 $f_\ell \equiv \ell \Delta f = \ell / NT_s$ (Hz)이다. 한편, $x(t)$ 를 변조 심벌 간격인 T_s 단위로 매 $t = nT_s$ ($n = 0, \dots, N-1$)마다 표본화한 이산 시간 시스템에서 저대역 전송 신호는 다음식과 같이 표현될 수 있다.

$$x_n \equiv x(nT_s) = \frac{1}{N} \sum_{\ell=0}^{N-1} X_\ell e^{j2\pi \ell n/N} \quad (2)$$

$(n = 0, \dots, N-1)$

여기서 식 (2)는 N 개 변조 심벌 X_ℓ 에 대한 IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform) 후에 병렬-직렬 변환한 것과 동일함을 알 수 있고, 따라서 N -point IFFT를 이용하여 디지털 방식을 통해 효과적으로 구현될 수 있다. 또한 OFDM 시스템의 수신단에서는 송신단의 이러한 과정에 대한 역과정을 수행하게 되며, 특히 부반송파 복조는 N -point FFT로 수행된다.

변조 심벌 X_ℓ 이 통계적으로 서로 독립일 경우 전송 신호 $x(t)$ 의 진폭은 N 이 커질수록 (복소) 가우시안 분포를 만족하게 되어 매우 큰 값을 가질 수 있는 가능성이 존재하게 된다. 일반적으로 이러한 연속 시간 OFDM 전송 신호에 대해 PAPR은 한 OFDM 심벌에서 전송 신호의 최대 순시 전력과 평균 전력의 비율로서 다음과 같이 정의된다³⁾.

$$PAPR \equiv \frac{\max_{0 \leq t < NT_s} |x(t)|^2}{\frac{1}{NT_s} \int_0^{NT_s} |x(t)|^2 dt} \quad (3)$$

한편 식 (2)와 같은 이산 시간 신호를 이용하여 PAPR을 계산하는 경우, 전송 신호 $x(t)$ 를 충분히 빠르게 표본화하지 않으면 원래의 연속 시간 신호에서 실제 최대 순시 전력을 나타내는 부분, 즉 피크값들이 표본화된 신호 샘플에 포함되지 않게 되는 경우가 발생한다. 실제로 식 (2)에서는 이산 시간 신호 x_n 을 생성하기 위해 변조 심벌 간격인 T_s (sec) 단위로 표본화를 수행하게 되므로 이러한 문제가 발생할 가능성이 크다. 따라서 가급적 정확한 피크값을 표본화하기 위해 연속시간 신호 $x(t)$ 를 T_s (sec)가 아닌 T_s/Q (sec) 단위로 Q 배 과표본화 (Oversampling)하게 되는데, 이렇게 과표본화된 시간영역 신호 샘플들은 길이 N 의 원래 데이터 심

벌 블록에 $(Q-1)N$ 개 0을 삽입 (Zero-Padding)한 후 QN -point IDFT 연산을 적용하여 등가적으로 구할 수 있다³⁾. 대부분의 경우 $Q = 4$ 정도면 충분히 원래 연속시간 신호에서의 실제 피크값들을 표본화할 수 있다고 알려져 있으며³⁾, 본 논문에서도 이러한 4배의 과표본화 과정을 적용하였다.

III. 일반적인 Clipping 및 Companding 기법

우선 본 논문에서는 실수 전송 신호를 갖는 OFDM 시스템을 고려하였다⁴⁾. 따라서, 이러한 방식의 OFDM 시스템에서 IFFT 블록의 출력값이 실수가 되기 위해 다음과 같은 관계식을 만족해야 한다.

$$X_{N-k} \equiv X_k^* \quad (k = 1, \dots, N/2 - 1) \quad (4)$$

$$X_0 = X_{N/2} = 0 \quad (5)$$

3.1 Clipping 기법

일반적인 Clipping 기법에 의해 처리된 신호 $c(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다⁵⁾.

$$c(t) \equiv \begin{cases} x(t), & \text{if } |x(t)| \leq A_{\max} \\ A_{\max} e^{j\psi(t)}, & \text{if } |x(t)| > A_{\max} \end{cases} \quad (6)$$

여기서 $\psi(t) \equiv \arg [x(t)]$ 이며, A_{\max} 는 아래 식과 같이 CR γ 에 의해 결정된다.

$$\gamma = \frac{A_{\max}}{\sqrt{\rho_s}} \quad (7)$$

위 식에서 ρ_s 는 입력 신호 $x(t)$ 에 대해 식 (3)의 분모와 같이 계산되는 평균 전력을 의미한다. 따라서 γ 가 작을수록 작은 레벨의 피크까지도 심하게 Clipping 하는 셈이 된다.

본 논문에서는 제안된 Clipped Companding 기법에 사용하기 적합한 CR값 γ 를 설정하기 위해 일반적인 Clipping 기법에 대한 PAPR 및 BER 성능을 모의실험을 통해 분석하였다. 모의실험을 위해, 다중경로 페이딩이 없는 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널 환경에서 실수 전송 신호를 갖는 OFDM 시스템을 고려하였으며, OFDM 심벌의 전체 부반송파수 N 는 1024로 고정하고 다양한 변조 방식 (QPSK, 16-QAM, 64-QAM)에 대해 모두 공히 γ 를 각각 2, 3, 4 dB로 설정하였다. 그림

1과 2에서는 Clipping 기법을 적용한 경우에 대한 PAPR과 BER 성능을 도시하고 있다.

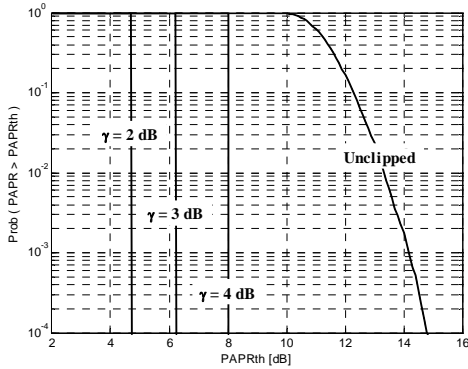


그림 1. 일반적인 Clipping 기법의 γ 에 따른 PAPR 성능.

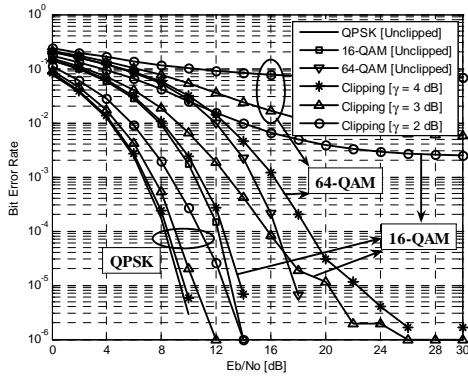


그림 2. 일반적인 Clipping 기법의 γ 에 따른 BER 성능.

그림에서 알 수 있듯이, Clipping 기법의 PAPR 성능은 변조 방식에 관계없이 γ 를 감소시킴에 따라 효과적으로 감소시킬 수 있는 반면, 시스템의 BER 성능은 QPSK를 제외한 16-QAM과 64-QAM에서 심각하게 열화됨을 확인할 수 있다. 따라서 다양한 변조 방식을 사용하는 통신 시스템에서는 단순히 일반적인 Clipping 기법만을 사용하여 PAPR을 감소시키기에는 시스템의 BER 성능 측면에서 심각한 열화가 나타나므로, 보다 상향된 기법이 필요함을 알 수 있다.

3.2 Companding 기법

그림 3에서는 편의상 AWGN 채널을 가정했을 때 일반적인 Companding 기법을 사용하는 기저대역 OFDM 시스템의 구조를 도시하고 있다. 본 논문에서는 Companding 기법으로 Wang에 의해 제안

된 μ -law Companding^[4]을 고려하였으며, 이 기법에 대해 살펴보면 다음과 같다.

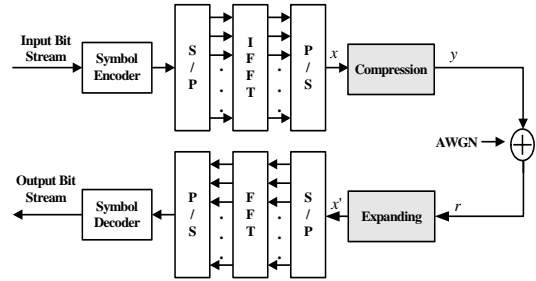


그림 3. 일반적인 Companding 기법을 사용하는 기저대역 OFDM 시스템의 구조 (편의상 AWGN 채널을 가정).

일반적으로 OFDM 시스템에서 Companding은 표본화된 신호 각각에 적용되기 때문에 본 논문에서는 표현의 편의상 이산 신호 인덱스 n 을 생략하고 $x \equiv x_n$ 등으로 표기한다. 이 때 μ -law Companding에서 송신단의 Compression에 의한 출력값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = \frac{A \operatorname{sgn}(x) \ln \left[1 + \mu \left| \frac{x}{A} \right| \right]}{\ln(1 + \mu)} \quad (8)$$

여기서, $\operatorname{sgn}(\cdot)$ 은 Signum 함수를 나타내고, A 는 정규화 상수로서 $0 \leq |x/A| < 1$ 이다. 또한, 이 기법에 최적의 μ 값은 다음 식과 같이 OFDM 심벌의 전체 부반송파의 수에 따라 결정된다[4].

$$\mu = \sqrt{N-2} \quad (9)$$

또한, μ -law Companding의 수신단에서의 Expanding 알고리즘에 의한 출력값은 다음과 같다.

$$x' = \frac{A \exp \left\{ \frac{r}{A \operatorname{sgn}(y)} \ln(1 + \mu) \right\} - A}{\operatorname{sgn}(y) \mu} \quad (10)$$

여기서 $r \equiv r_n$ 은 수신기로 수신되는 신호를 의미한다^[4]. 한편, OFDM 심벌의 전체 부반송파의 수 N 이 매우 큰 값이라고 가정하면 식 (8)은 다음과 같이 근사시킬 수 있다.

$$y \approx x \frac{\mu}{\ln(1 + \mu)} \quad (11)$$

이 식을 통해 μ -law Companding에 의해 Compression된 신호는 평균 전력값이 증가됨을 알

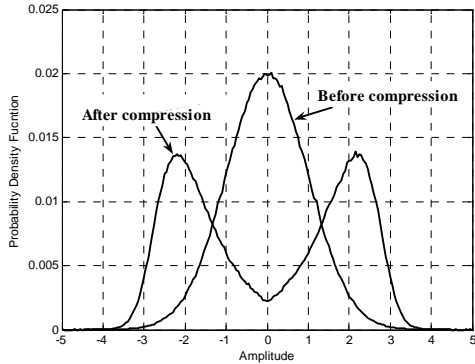


그림 4. Wang이 제안한 μ -law Comanding의 송신단 Compression 알고리즘 입력 및 출력 신호의 PDF.

수 있다⁴⁾. 그림 4에서는 μ -law Comanding의 송신단 Compression 입력 및 출력 신호의 확률 밀도 함수 (Probability Density Function; PDF)를 나타내고 있다. 여기에서 OFDM 시스템은 1024개의 부분송파와 16-QAM 변조 방식을 사용하였다.

그림에서 알 수 있듯이, 일반적인 μ -law Comanding은 본래 가우시안 (Gaussian) 분포를 나타내는 OFDM 신호 (“Before Compression”)를 -2.2와 +2.2를 중심으로 이루어진 두 개의 가우시안 분포가 더해진 형태 (“After Compression”)로 Compression시킨다. 따라서, 이 Comanding은 최대 전력값을 유지한 상태에서 본래의 OFDM 신호의 평균 전력값을 높이게 되므로 PAPR을 감소시킬 수 있게 된다. 반면 이 Comanding은 송신단에서 본래의 OFDM 신호를 Compression시켜 전송하게 되므로, 이에 따른 전송 신호 왜곡에 의해 일정한 BER 성능 열화를 피할 수 없게 된다⁴⁾.

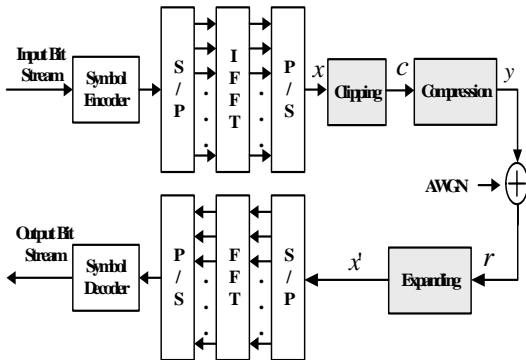


그림 5. 제안된 Clipped Comanding 기법을 사용하는 기저대역 OFDM 시스템의 구조 (편의상 AWGN 채널을 가정).

IV. 제안된 Clipped Comanding 기법

본 논문에서 제안된 Clipped Comanding 기법이 사용되고 있는 기저대역 OFDM 시스템의 구조는 그림 5에서 도시하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 본 논문에서 제안된 Clipped Comanding 기법은 앞서 III장에서 설명한 Clipping 기법과 μ -law Comanding 기법이 순차적으로 결합되어 두 단계로 구성된 기법이라고 할 수 있다.

제안된 Clipped Comanding 기법은 Clipping 기법의 특성과 Comanding 기법의 특성을 효율적으로 결합한 기법이라고 할 수 있는데, 이에 대해 세부적으로 살펴보면 다음과 같다. 우선 앞서 III장에서 분석한 바와 같이 Clipping 기법은 변조 방식별로 CR 값에 따른 성능의 변화량은 다르지만, 그림 2의 결과에서 알 수 있듯이 적정 레벨의 CR 값을 사용할 경우 시스템의 BER 성능이 열화되지 않고 PAPR을 매우 간단하면서도 효율적으로 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 이와 더불어, Comanding 기법은 앞선 단계에 있는 Clipping 기법에 의해 신호 왜곡이 생길 지라도 Compression과 Expanding을 수행하게 되므로 Comanding 기법의 고유한 특성을 유지하게 된다. 따라서, 제안된 Clipped Comanding 기법의 첫 번째 단계인 Clipping에서는 시스템의 BER 성능 측면에서 충분히 견딜 수 있는 적정 레벨의 CR 값을 사용하므로, BER 성능 열화없이 효과적으로 PAPR을 감소시킬 수 있게 된다. 더불어, 두 번째 단계인 Comanding에서는 본 논문에서 고려하는 μ -law Comanding의 특성은 그대로 유지하게 되므로 더욱 효과적으로 PAPR을 감소시킬 수 있게 된다. 결과적으로 제안된 Clipped Comanding 기법은 일반적인 μ -law Comanding과 비교하면 시스템의 복잡도가 거의 증가되지 않을 뿐만 아니라 BER 성능 열화 없이 PAPR을 효율적으로 감소시킬 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 한편, 제안된 Clipped Comanding 기법에 대한 송신단에서의 Compression 알고리즘과 수신단에서의 Expanding 알고리즘은 다음과 같다.

$$y = \frac{A_c \operatorname{sgn}(c) \ln \left[1 + \mu \left| \frac{c}{A_c} \right| \right]}{\ln(1 + \mu)} \quad (12)$$

$$x' = \frac{A \exp \left\{ \frac{r}{A_c \operatorname{sgn}(y)} \ln(1 + \mu) \right\} - A_c}{\operatorname{sgn}(y) \mu} \quad (13)$$

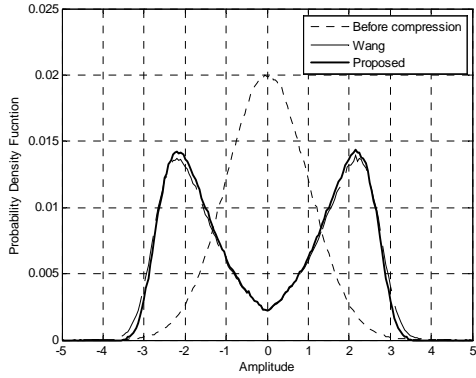


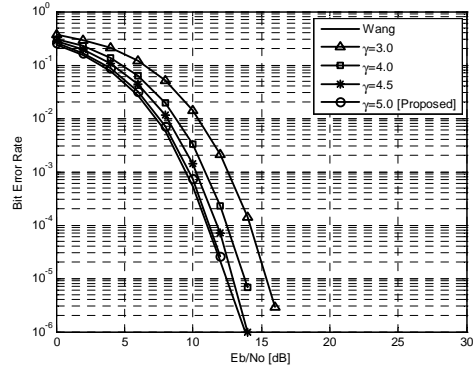
그림 6. 제안된 Clipped Companding의 송신단 신호처리부의 입력 및 출력 신호 PDF.

여기서 $c \equiv c_n$ 는 식 (6)과 같이 Clipping 단계에서 신호처리된 신호를 의미하고, A_c 는 정규화 상수로서 $0 \leq |x/A_c| < 1$ 이며, μ 값은 μ -law Companding 기법과 동일하게 설정된다.

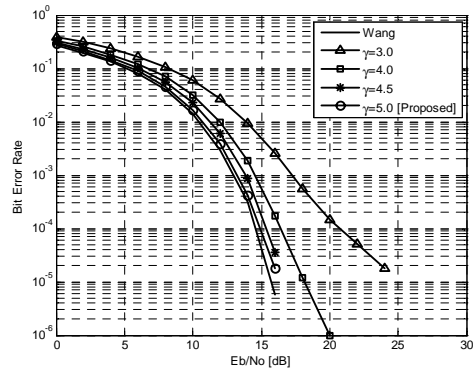
한편, 그림 6에서는 제안된 Clipped Companding의 송신단 신호처리부의 입력 및 출력 신호 PDF를 도시하고 있다. 여기에서 OFDM 시스템은 1024개의 부반송파 및 16-QAM 변조 방식을 사용하였으며, 제안된 기법의 첫번째 단계인 Clipping에서 사용된 CR 값은 5.3 dB로 설정하였다. 이 그림에서 제안된 기법의 PDF 특성 (“Proposed”)을 통해 알 수 있듯이, 제안된 기법은 일반적인 μ -law Companding (“Wang”)과 비교하여 PDF 특성이 거의 유사하지만 고출력 부분의 신호 분포가 상당히 감소되었음을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 기법은 두번째 단계에서 사용되는 μ -law Companding 알고리즘의 특성을 유지하면서 첫번째 단계의 Clipping 알고리즘에 의해 고출력 신호의 분포를 상당히 감소시킬 수 있으므로, 매우 간단하면서도 효과적으로 PAPR을 감소시킬 수 있고 일반적인 μ -law Companding과 거의 동일한 BER 성능을 나타낼 것을 기대할 수 있다.

4.1 Clipping 단계의 CR값 (γ) 설정

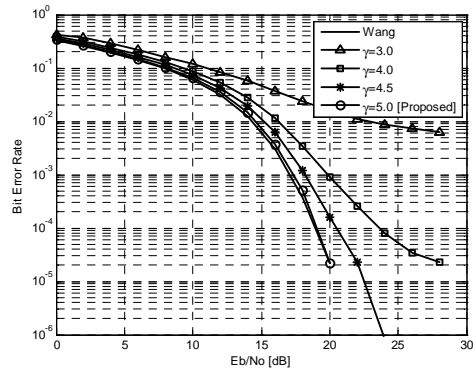
제안된 기법의 첫번째 단계인 Clipping에서는 시스템의 BER 성능 측면에서 충분히 견딜 수 있는 적정 레벨의 CR값 (γ)을 사용해야 된다. 이에 본 논문에서는 다양한 부반송파수와 변조 방식을 고려한 OFDM 시스템에 대한 적정의 CR값을 모의실험을 통해 설정하였다.



(a) QPSK



(b) 16-QAM



(c) 64-QAM

그림 7. CR값 (γ)에 따른 Clipping과 Companding을 결합한 OFDM 시스템의 BER 성능 비교

이 모의실험을 위해, 본 논문에서는 AWGN 채널에서 실수 전송 신호를 갖는 OFDM 시스템을 고려하였으므로 식 (4)와 (5)의 관계식을 만족하도록 설정하였다. OFDM 시스템은 256개의 부반송파를 사용하였으며, 변조 방식으로는 QPSK, 16-QAM, 64-QAM을 적용하였다. 또한, 첫번째 단계인 Clipping에서의 γ 값은 모든 변조 방식에서 3.0, 4.0, 4.5, 5.0 dB로

설정하였다.

그림 7에서는 다양한 γ 값에 따라 Clipping과 Companding을 결합시킨 OFDM 시스템을 μ -law Companding (“Wang”)의 OFDM 시스템과 비교하여 BER 성능을 도시하고 있다.

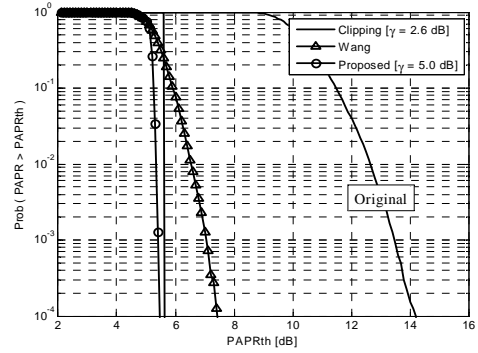
그림에서 실선은 일반적인 μ -law Companding의 성능을 나타내며, 나머지 선들은 Clipping과 Companding을 결합시킨 OFDM 시스템의 성능을 도시하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, Clipping과 Companding을 결합시킨 OFDM 시스템은 Clipping 단계의 γ 값이 작을수록 BER 성능이 점차 열화됨을 확인할 수 있다. 특히, 이러한 BER 성능 열화는 변조 레벨이 높을수록 더욱 심화됨을 알 수 있다. 하지만, 부반송파수가 256일 경우 $\gamma = 5.0$ 으로 설정한 제안된 Clipped Companding 기법은 모든 변조 방식에서 μ -law Companding과 거의 동일한 BER 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

따라서 앞서 설명한 바와 같이 제안된 기법의 첫 번째 단계인 Clipping에서 시스템의 BER 성능 측면에서 충분히 견딜 수 있는 적정 레벨의 CR값 (γ)을 설정할 경우, 제안된 Clipped Companding 기법은 일반적인 μ -law Companding과 비교하여 BER 성능 열화없이 PAPR을 효과적으로 감소시킬 수 있게 된다.

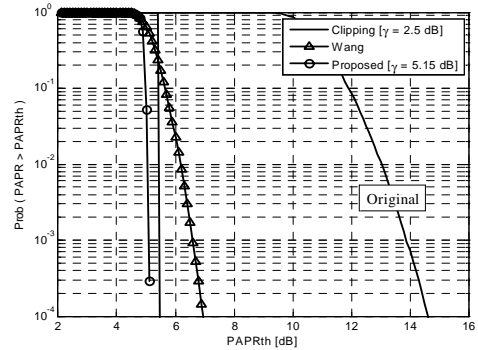
V. 모의실험 결과

본 논문에서는 모의실험을 위해 식 (4)와 (5)의 관계식을 이용하여 실수 전송 신호를 갖는 OFDM 시스템을 사용하였으며, 다중경로 페이딩이 존재하지 않는 AWGN 채널을 고려하였다. OFDM 시스템은 $N=256, 512, 1024$ 개의 부반송파를 사용하였으며, 변조 방식으로는 QPSK, 16-QAM, 64-QAM을 고려하였다. 또한 제안된 Clipped Companding 기법의 첫 번째 단계인 Clipping을 위한 CR γ 는 부반송파의 수가 256일 경우에는 5.0 dB로, 512일 경우에는 5.15 dB로, 1024일 경우에는 5.3 dB로 설정하였다. 한편 제안된 Clipped Companding 기법과 동등한 비교를 위해, 일반적인 Clipping 기법에서 부반송파수가 256, 512, 1024일 때, γ 를 각각 2.6, 2.5, 2.35 dB로 적용시켰다.

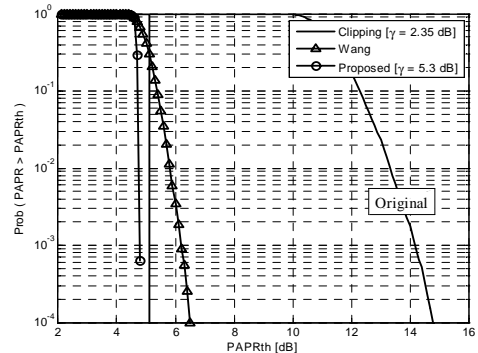
그림 8과 9에서는 각각 부반송파수가 256, 512, 1024일 경우에 대한 PAPR 성능과 시스템의 BER 성능을 도시하고 있다. 그림 8을 통해 알 수 있듯



(a) $N = 256$



(b) $N = 512$

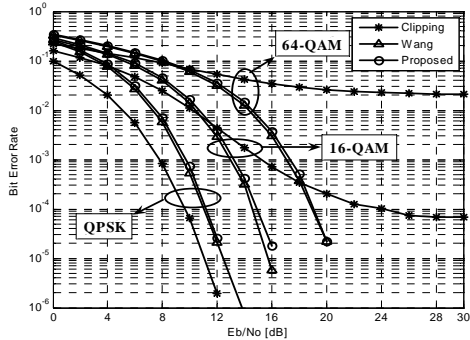


(c) $N = 1024$

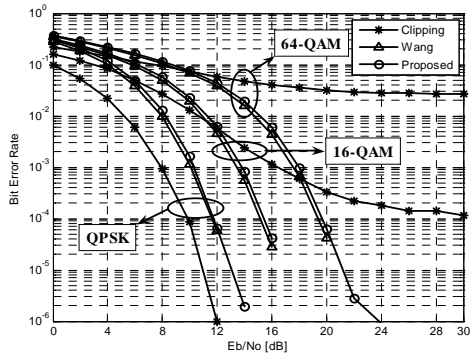
그림 8. 제안된 Clipped Companding 기법과 일반적인 Clipping 및 Companding 기법에 대한 PAPR 성능 비교

이 제안된 Clipped Companding 기법 (“Proposed”)이 PAPR 성능이 10^{-4} 일 경우 일반적인 μ -law Companding 기법 (“Wang”)과 비교해 보면, 부반송파의 수가 256와 512일 경우 2.0 dB, 1024일 경우 1.8 dB 정도의 PAPR이 감소되었음을 확인할 수 있다.

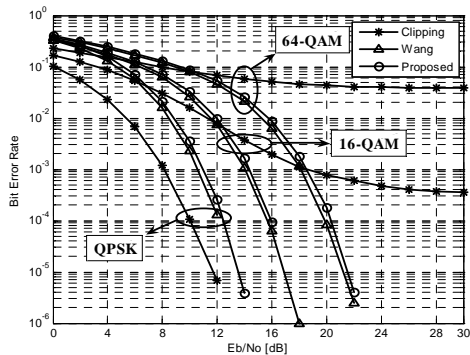
또한, 그림 9을 통해 알 수 있듯이 제안된 Clipped Companding 기법이 일반적인 μ -law Companding 기법과 거의 동일한 BER 성능을 나타



(a) $N = 256$



(b) $N = 512$



(c) $N = 1024$

그림 9. 제안된 Clipped Companding 기법과 일반적인 Clipping 및 Companding 기법에 대한 BER 성능 비교

내고 있음을 확인할 수 있다. 이와 더불어, 제안된 기법과 거의 동일한 PAPR 성능을 나타내는 γ 값을 적용한 Clipping 기법을 사용한 경우에 대한 BER 성능은 QPSK일 경우를 제외한 16-QAM과 64-QAM인 경우에는 심각한 성능 열화가 나타남을 알 수 있다. 따라서 제안된 Clipped Companding 기법은 부반송파수와 변조 방식에 관계없이 일반적인 μ -law Companding 기법과 거의 유사한 BER

성능을 보장할 수 있으면서, 동시에 시스템의 복잡도를 거의 증가시키지 않고 PAPR을 1.8 ~ 2.0 dB 가량 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

VI. 결론

본 논문에서는 OFDM 시스템에서 중요한 문제로 부각되고 있는 PAPR 감소를 위해, 일반적인 Clipping 기법의 특성을 고려하여 기존의 μ -law Companding 기법에 효과적으로 적용하여 결합시킨 Clipped Companding 기법을 제안하였다. 제안된 Clipped Companding 기법은 첫번째 단계에서 시스템의 BER 성능에 영향을 미치지 않을 정도의 CR 값을 적용시켜 피크 신호들을 잘라내게 되고, 두번째 단계에서 μ -law Companding 기법을 사용하여 효과적으로 PAPR을 감소시키게 된다. 따라서 제안된 기법은 두번째 단계에서 사용되는 μ -law Companding 알고리즘의 특성을 유지하면서 첫번째 단계의 Clipping 알고리즘에 의해 고출력 신호의 분포를 상당히 감소시킬 수 있으므로, 매우 간단하면서도 효과적으로 PAPR을 감소시킬 수 있으면서 일반적인 μ -law Companding 기법과 거의 동일한 BER 성능을 보장하게 된다. 모의실험 결과, 제안된 Clipped Companding 기법은 부반송파수와 변조 방식에 관계없이 일반적인 μ -law Companding 기법과 거의 유사한 시스템의 BER 성능을 보장할 수 있으면서, 동시에 시스템의 복잡도를 거의 증가시키지 않고 PAPR을 더욱 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] L. Hanzo, M. Munster, B. J. Choi, and T. Keller, *OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-user Communications, WLANs and Broadcasting*, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] P. van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House Publishers, 2000.
- [3] S. Han and J. Lee, "An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 12, no. 4, pp.

56-65, April 2005.

- [4] X. Wang, T. T. Yjhung and C. S. Ng, "Reduction of peak-to-average power ratio of OFDM system using a companding technique," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 45, no. 9, pp. 303-307, Sep. 1999.
- [5] S. C. Thompson, J. G. Proakis, and J. R. Zeidler, "The effectiveness of signal clipping for PAPR and total degradation reduction in OFDM systems," *Proc. IEEE GLOBECOM 2005*, vol. 5, pp. 2807-2811, St. Louis, USA, November 2005.

김 재 운 (Jaewoon Kim)

준회원



2004년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 졸업 (학사)
2006년 2월 숭실대학교 정보통신
공학과 졸업 (석사)
2006년 3월~현재 숭실대학교 정
보통신공학과 박사과정
<관심분야> UWB 전송 시스템,

OFDM 시스템, Cognitive Radio

신 요 안 (Yoan Shin)

정회원



1987년 2월 서울대학교 전자공학
과 졸업 (학사)
1989년 2월 서울대학교 전자공학
과 졸업 (석사)
1992년 12월 University of Texas
at Austin 전기및컴퓨터공학과
졸업 (박사)

1992년 12월~1994년 7월 오스틴 소재 MCC (Microelectronics & Computer Technology Corp.) 연구원
소시엄 Member of Technical Staff

1994년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
<관심분야> OFDM 모뎀, UWB 전송 시스템, MIMO
시공간 신호처리, Cognitive Radio