

OFDM 시스템의 PAPR 감소를 위한 Adaptive Sine Soft Clipping 기법에 관한 연구

유선용* · 김완태* · 조성준*

*한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

A Study on Adaptive Sine Soft Clipping Method for PAPR Reduction in OFDM System

Sun-yong Yoo* · Wan-tae Kim* · Sung-jun Jo*

*Dept. of Inform. & Telecom. Eng., Graduate School of Korea Aerospace University

E-mail : {suneria486, r0238, sjcho}@kau.ac.kr

요 약

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식은 주파수 선택적 페이딩 (frequency selective fading)과 협대역 간섭 (narrowband interference)에 강한 전송 방식으로 고속 데이터 통신에 적합하다. 하지만, OFDM 신호는 독립적으로 변조된 많은 부반송파들로 구성되므로 이들이 동위상으로 더해질 때 신호의 진폭이 증가하여 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) 문제가 발생한다. 본 논문에서는 OFDM의 PAPR 문제를 해결하기 위해 Adaptive Sine Soft Clipping (ASS Clipping) 기법을 제안한다. 이 기법은 PAPR 감소는 물론 고주파 성분 제어를 통하여 대역 외 스펙트럼 방출을 줄이고 clipping에 의한 왜곡을 감소시킬 수 있다. 시뮬레이션 과정을 통해 OFDM 시스템에 제안하는 알고리즘을 적용했을 경우, PAPR의 감소 정도와 PSD (Power Spectral Density), BER (Bit Error Rate)을 분석한다.

ABSTRACT

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system is robust to frequency selective fading and narrowband interference in high-speed data communications. However, an OFDM signal consists of a number of independently modulated subcarriers, which can give a large PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) when added up coherently. In this paper, we propose a new PAPR reduction method using Adaptive Sine Soft Clipping (ASS Clipping) to solve the PAPR problem. The proposed method reduce the PAPR and out-of-band spectrum by cutting down high frequency components. From computer simulation results, we analyze the PSD (Power Spectral Density) and BER (Bit Error Rate) performance as well as PAPR reduction performance when the ASS Clipping method is applied to OFDM system.

키워드

OFDM, PAPR, clipping

1. 서 론

OFDM 방식은 단위 시간당 많은 양의 정보를 전송할 수 있는 장점을 가지며 주로 고속 멀티미디어 무선 네트워크 및 디지털 방송의 전송 방식으로 응용되고 있다. 이는 OFDM 방식이 주파수 선택적 페이딩이나 협대역 간섭에 효율적이기

때문이다. 하지만 OFDM 시스템은 PAPR 문제로 인하여 A/DC (Analog to Digital Converter)와 D/AC (Digital to Analog Converter)의 복잡도가 증가하고 RF 전력증폭기의 효율이 감소하게 된다. 따라서 이러한 PAPR 문제를 감소시키기 위한 여러 가지 방법들이 제안되었다 [1]. 제안된 방법들 가운데 가장 간단하게 PAPR 문제를 해결

할 수 있는 것은 신호의 일정 레벨 이상을 제한하는 clipping 기법이다. 하지만 Clipping은 원 신호를 왜곡시키기 때문에 자기 간섭이 발생하여 BER 성능이 저하되고 대역 외 스펙트럼 방출 현상이 심각하게 증가한다.

현재 널리 사용되고 있는 conventional clipping 기법 역시 특정 레벨로 신호를 제한하기 때문에 대역 내 왜곡과 대역 외 스펙트럼 방출 문제가 발생하게 된다 [1]. 이를 개선하기 위해 신호의 clipping 레벨에 기울기를 추가하여 clipping으로 인한 성능 저하를 완화시켜 주는 soft clipping 기법이 제안되었다 [2]. 이 기법은 구현이 쉽고 연산량이 적다는 장점이 있지만 성능 개선이 미약하다.

본 논문에서는 soft clipping 기법을 바탕으로 ASS Clipping 기법을 제안한다. 이 기법은 clipping되는 구간의 길이를 측정하여 그 길이와 동일한 반주기 sine wave의 크기를 더한 clipping 레벨로 신호를 제한한다. 이는 clipping 과정에서 신호의 급격한 변화로 인해 발생하는 고주파 성분의 발생을 감소시켜 대역 외 스펙트럼 방출을 줄이고, 자기간섭에 의한 대역 내 왜곡을 완화시켜 성능을 향상시킬 수 있다.

II. 본 론

2.1 OFDM SYSTEM

그림 1은 OFDM 시스템의 송신단 블록도이다.

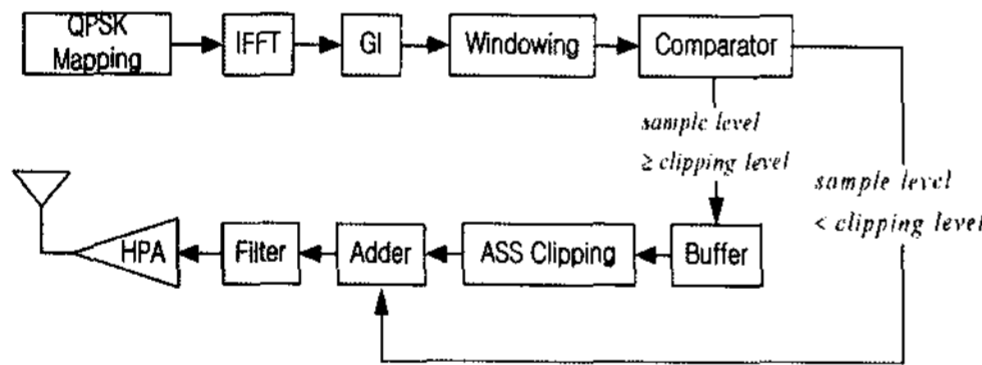


그림 1. OFDM 시스템의 송신단 블록도

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 매핑을 거쳐 입력된 데이터를 다수의 부반송파로 변조하기 위해 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)를 수행하게 된다. 이때 IFFT에 입력되는 데이터는 일반적으로 i.i.d (independent and identically distributed) 성질을 갖는 불규칙한 신호로 간주할 수 있다. 부반송파의 수가 충분히 크면 중심극한 정리 (Central Limit Theorem)에 의해 $x(t)$ 의 실수부와 허수부는 Gaussian 확률 밀도 함수를 갖는 불규칙한 신호가 된다. 따라서 실수부와 허수부에 절대값을 취하여 신호의 크기만 고려하면 레일리 (Rayleigh) 분포를 따르고 다음과 같은 함수로 정의할 수 있다 [3].

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

r 은 입력 신호를 나타내고 σ^2 은 레일레이 분포

의 페이딩 포락선을 나타낸다. 중첩된 부반송파에서 최대 전력을 찾기 위해 샘플링 된 값들이 상호 무상관이면, PAPR이 특정 임계값 $PAPR_0$ 를 초과할 확률을 CDF (Cumulative Distribution Function)로 나타낼 수 있으며 식 (2)와 같다.

$$\Pr(PAPR \leq PAPR_0) = (1 - \exp(-PAPR_0))^{\alpha N} \quad (2)$$

따라서, OFDM 신호의 PAPR에 대한 CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function)는 다음과 같다.

$$\Pr(PAPR > PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^{\alpha N} \quad (3)$$

여기서 α 는 정확한 PAPR 측정을 위해서 과도 샘플링을 한 N 개의 부 반송파에 대한 분포를 과도 샘플링 하지 않은 αN 개의 부 반송파로 근사화 하기 위한 값이며 일반적으로 2.8정도가 적당하다고 알려져 있다 [1][4].

IFFT를 수행한 신호는 ISI (Inter Symbol Interference) 문제를 해결하기 위해 GI (Guard Interval) 블록을 거친 후 windowing을 수행한다. Windowing을 수행한 심볼은 비교기에 차례로 들어가서 샘플의 크기에 따라 분류된다. 이때 샘플의 크기가 clipping 레벨보다 크면 버퍼에 저장하고, 입력이 없으면 버퍼에 저장된 샘플을 ASS Clipping 블록에 보낸 후 초기화 한다. ASS Clipping 블록은 버퍼에서 받은 샘플의 개수를 측정하여 반주기의 sine wave를 생성한 후 특정 clipping 레벨에 더하여 ASS Clipping 기법을 적용하고 adder 블록에 보내진다. 반대로 샘플의 크기가 clipping 레벨보다 작으면 buffer와 ASS Clipping 과정을 건너뛰고 adder 블록으로 전달한다. Adder 블록은 ASS Clipping 기법을 적용한 후의 샘플과 이 과정을 건너 뛴 샘플을 차례로 저장하는 역할을 수행한다. Adder 블록을 거친 신호는 필터와 증폭기를 통과한 후 아날로그 신호로 변조하여 전송하게 된다. 여기서 N 개의 부반송파를 갖는 시간영역 OFDM 심볼의 기저대역 복소수 신호는 다음과 같다.

$$x(t) = \sum_{n=1}^N a_n \cos w_n t + j b_n \sin w_n t \quad (4)$$

식 (4)에서 n 은 부반송파의 개수, w_n 은 부반송파의 주파수 대역을 나타낸다. QPSK 변조일 경우 $a_n, b_n \in -1, 1$ 으로 구성되고 OFDM 심볼은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} d_r(t) \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{\sqrt{2}} d_o(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (5)$$

$d_r(t)$ 는 실수부 신호를 나타내며 $d_o(t)$ 는 허수부 신호를 나타낸다. OFDM 신호에서 신호의 최대치와 평균치의 비로 정의되는 PAPR은 식 (2)와 같다.

$$PAPR = 10 \log_{10} \frac{\max |s(t)|^2}{E[|s(t)|^2]} (dB) \quad (6)$$

여기서, $E[|s(t)|^2]$ 는 신호 $s(t)$ 의 기대값이다.

2.2 제안하는 ASS Clipping 기법

PAPR을 감소시키는 가장 간단한 방법은 신호의 peak값을 특정 레벨로 제한시키는 clipping 기법이다. 하지만 clipping 기법은 시스템 적용에 따라 성능에 차이가 발생하게 된다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 conventional clipping 기법은 신호의 크기를 특정 레벨로 일정하게 제한시키기 때문에 구현이 쉽다. 하지만 원 신호를 왜곡시킴으로써 발생하는 고주파 성분으로 인하여 대역 내 왜곡이 발생하고, 일정한 레벨로 신호를 제한하는 비선형 왜곡 과정에서 대역 외 스펙트럼 방출이 심각하게 증가하게 된다 [5].

ASS Clipping 기법은 conventional clipping 기법과 달리 신호의 clipping 레벨이 일정하지 않다. 또한 soft clipping 기법의 clipping 레벨이 고정된 기울기를 가지며 증가하는데 반해 ASS

Clipping 기법은 그림 3에서와 같이 clipping되는 구간의 길이에 따라 반주기의 sine wave가 특정 clipping 레벨에 더해져 신호를 제한한다. 이를 위하여 신호를 clipping하는 과정에 있어 clipping 구간의 길이를 알아내기 위한 베퍼와 반주기의 sine wave를 계산하여 더해주는 연산을 실행하는 모듈이 추가 되어야 한다. 이 기법은 대역 외 스펙트럼의 절대값 감소는 작지만 신호의 첨두값이 증가하기 때문에 고정된 크기로 신호를 제한한 conventional clipping 기법과 비교하여 dB값으로 환산한 상대적인 대역 외 스펙트럼 방출이 감소하는 효과를 가져 온다. ASS Clipping의 신호 제한 레벨을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$CL = x + a * \sin((\pi * (i - 1)) / (n - 1)) \quad (7)$$

식 (7)에서 x 는 그림 3의 점선에 해당하는 clipping 레벨이며, a 는 x 에 더해지는 반주기의 sine wave의 크기를 나타낸다. i 는 clipping 구간에서의 sample의 순서, n 은 clipping되는 sample의 개수를 나타낸다.

III. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 사용한 ASS Clipping 기법의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 조건은 다음과 같다. 변조 방식으로 QPSK를 사용하고, 전체 부반송파의 수를 $N=64$ 로 하였다. OFDM 시스템은 다수의 부채널이 존재하며 평균 파워가 일정하지 않기 때문에 PAPR을 감소시키기 위한 크기 제한의 절대값은 의미가 없다. 따라서 OFDM 신호의 PAPR 감소를 확인하기 위해 CCDF를 이용하였고 이를 위하여 100,000개의 불규칙한 OFDM 심볼을 발생시켰다.

그림 4에서 동일한 레벨로 신호를 제한하였을 때, ASS Clipping 기법이 conventional clipping 기법보다 PAPR 감소에 있어 CCDF 10-3 기준으

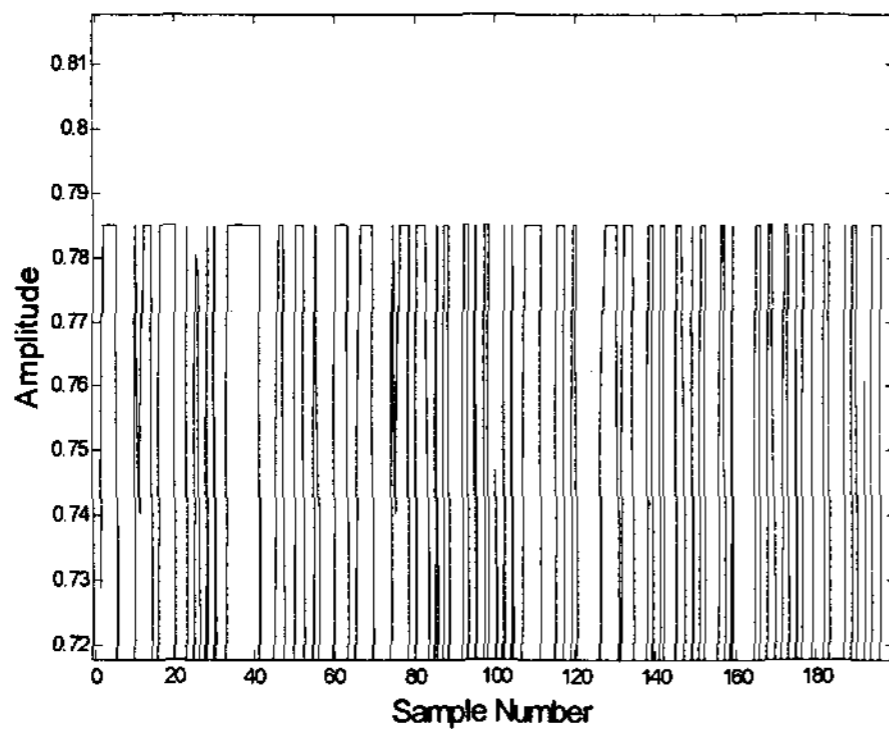


그림 2. conventional clipping 이후의 신호 모양

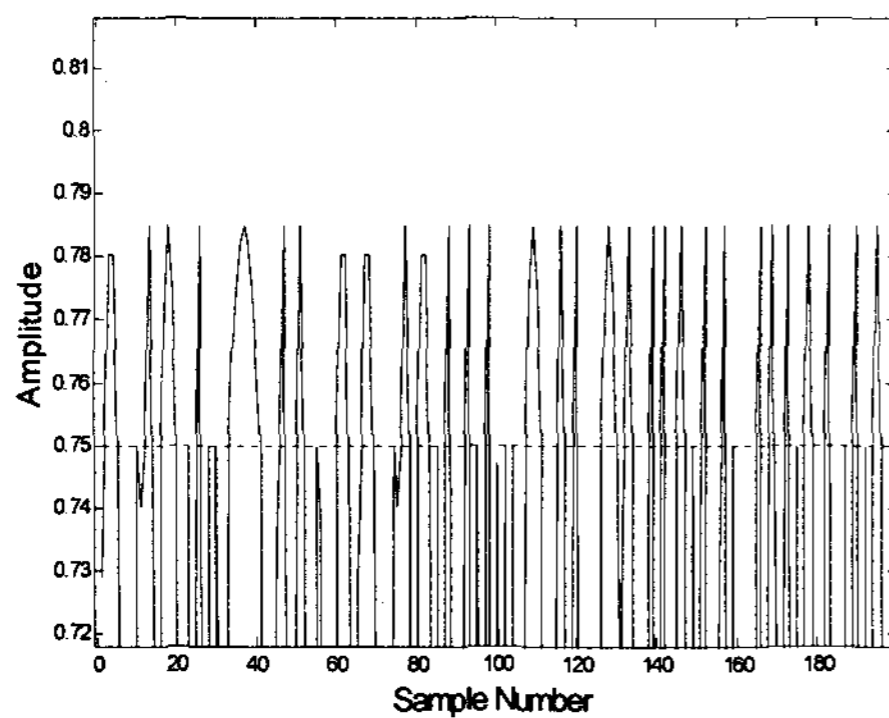


그림 3. ASS Clipping 이후의 신호 모양

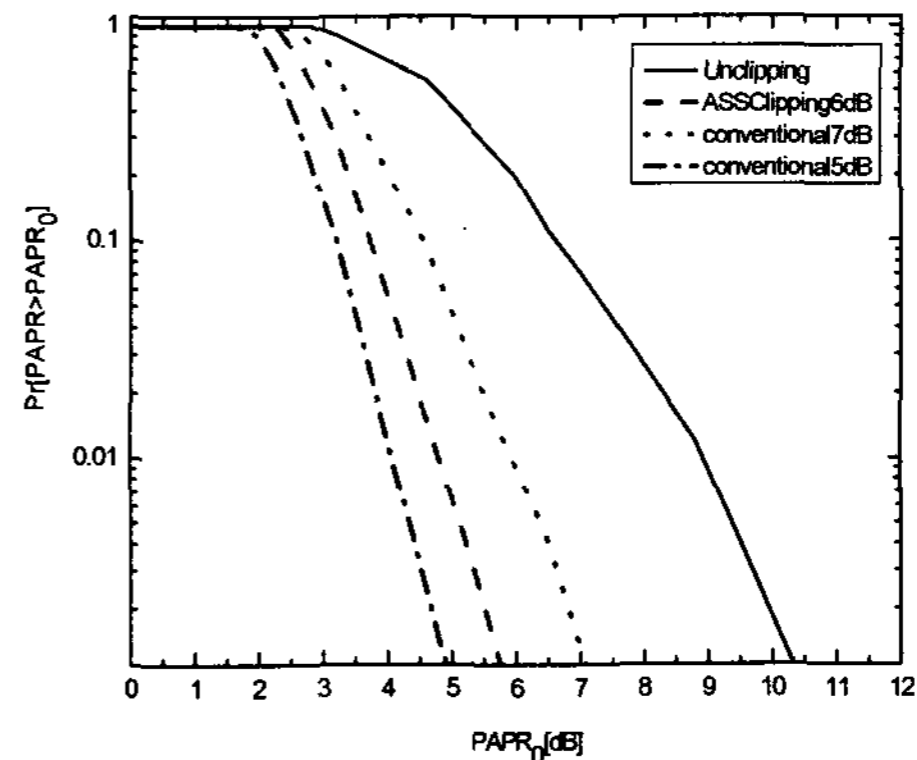


그림 4. Clipping 기법을 적용한 경우 PAPR값의 CCDF

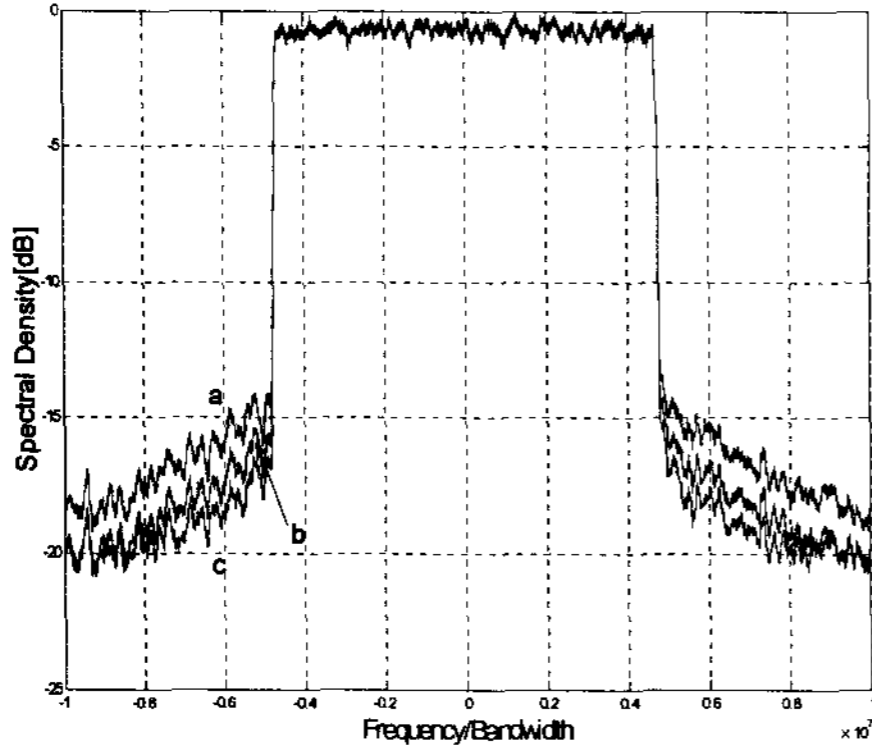


그림 5. Clipping 이후의 PSD
 (a : conventional clipping by threshold 5dB
 b : conventional clipping by threshold 6dB
 c : ASS Clipping by threshold 6dB)

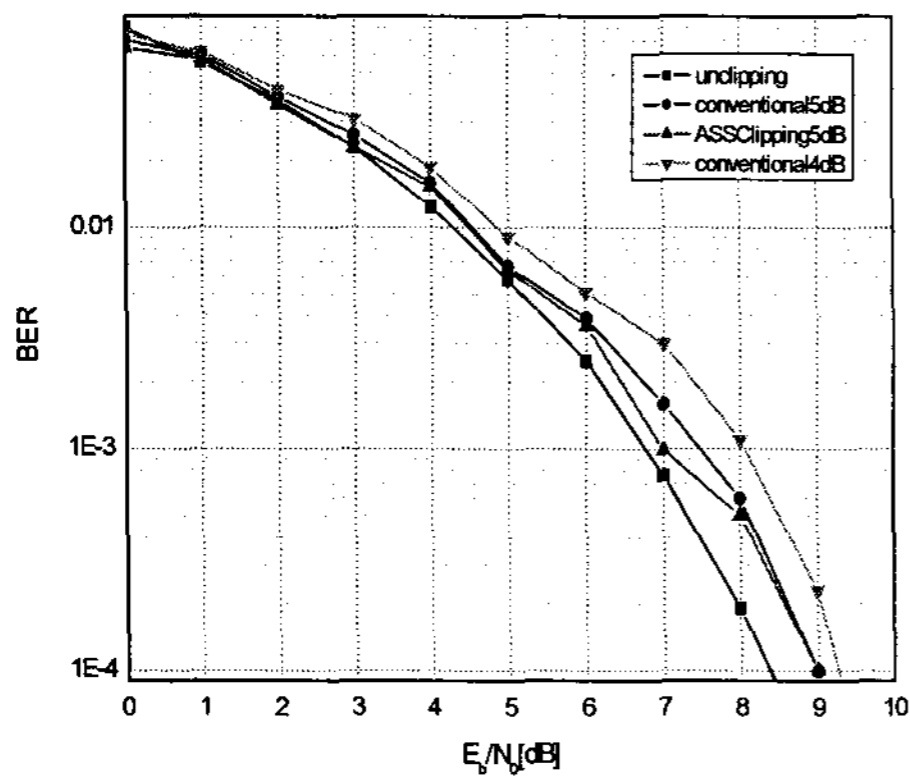


그림 6 Clipping 이후의 BER 성능

로 0.5dB 정도 더 나은 성능을 가짐을 알 수 있다. 이때 성능 증가는 식(6)에서의 반주기 sine wave의 크기인 a값에 비례하여 증가하게 된다.

그림 5는 clipping에 의한 비선형 왜곡으로 인하여 증가하는 대역 외 스펙트럼 방출의 크기를 알아보기 위한 신호의 PSD이다. ASS Clipping 기법의 clipping 레벨을 6dB로 제한하고, 동일한 clipping 레벨로 conventional clipping 기법을 적용하여 보았을 때 ASS Clipping 기법의 성능이 1.2dB 가량 좋아지는 것을 확인할 수 있다.

그림 6는 clipping에 의해 신호의 크기를 왜곡 시킴으로써 발생하는 자기간섭으로 인하여 저하되는 BER을 측정하는 것이다. Conventional clipping 기법의 clipping 레벨을 각각 5dB와 4dB로 하고, ASS Clipping 기법의 clipping 레벨을 4dB로 하여 비교하여 보았을 때 ASS Clipping 기법이 BER 10⁻³ 기준으로 0.4dB 정도 이득을 가진다.

IV. 결 론

본 논문에서는 OFDM 시스템에서 발생하는 PAPR 문제를 해결하기 위해 ASS Clipping 기법을 제안하였다. ASS Clipping 기법은 기존에 널리 사용되던 conventional clipping 기법의 신호 제한 레벨에 반주기의 sine wave를 더하여 clipping 레벨을 변화시켜 주는 것이다. 이 기법은 신호가 clipping 될 때의 샘플의 개수를 측정하기 위한 버퍼와 반주기의 sine wave를 clipping 레벨에 더해주기 위한 모듈만을 필요로 한다. 이는 연산량이 크지 않고 구현의 비용이 적게 들기 때문에 충분한 성능 향상이 보장될 때 효과적이다. 시뮬레이션을 통해 ASS Clipping 기법이 conventional clipping 기법에 비해 동일한 clipping 레벨에서 0.5dB 정도의 PAPR 감소 이득이 생김을 알 수 있었다. 또한 clipping 이후에 발생하는 대역 외 스펙트럼 방출과 대역 내 왜곡에 관해서도 PSD와 BER을 측정함으로써 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

V. 감사의 글

본 논문은 산업자원부 한국산업기술평가원 지정 한국항공대학교 부설 인터넷정보검색 연구센터의 지원에 의함.

참고문헌

- [1] R. Van Nee, R. Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House Publishers, 2000.
- [2] H. G. Ryu, B. I. Jin, I. B. Kim, "PAPR reduction using soft clipping and ACI rejection in OFDM system", IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 48, pp. 17-22, Feb. 2002.
- [3] G. Hill and M. Faulkner, "Comparison of low complexity clipping algorithm for OFDM", The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002, vol. 1, pp. 15-18.
- [4] 김성수, 김명재 "변형된 GA-SPW에 의한 OFDM의 새로운 PAPR 감소 기법", 2006년도 한국전자과학회 논문집, 17(11), pp. 1065-1072, 2006년 11월.
- [5] Saul. a, "Peak reduction for OFDM by shaping the clipping noise", IEEE vehicular technology conference, vol. 1, pp. 443-447, Sept. 2004.