

Millimeter Wave 를 이용하는 OFDM WPAN 시스템에서 PAPR 감소에 관한연구

A Study on PAPR reduction in OFDM WPAN system using Millimeter Wave

김완태*, 유선용*, 조성준*

Wan-Tae Kim*, Sun-Yong Yoo* and Sung-Joon Cho*

요 약

최근 60GHz 대역의 millimeter wave 를 이용하는 통신 시스템에 관한 연구가 활발히 진행 되고 있으며 새롭게 정의된 57~64GHz 의 ISM 대역에 대한 관심이 집중되고 있다. 국내를 비롯한 미국, 일본, 유럽 등 에서도 millimeter wave 를 이용하는 근거리 통신에 대한 연구가 진행 중이다. 그 중 IEEE 802.15.3c 표준화는 근거리에서 높은 전송 속도를 지원하기 위해 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식의 시스템을 제안하고 있다. 하지만 OFDM 방식은 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) 이 발생하는 문제점을 가지고 있으며, PAPR 문제는 신호가 A/DC와 D/AC 그리고 전력 증폭기와 같은 비선형 소자를 통과할 때 심각한 왜곡을 발생시켜 전송 시스템의 성능이 저하 된다. 본 논문에서는 PAPR 문제를 해결하기 위하여 Sine Soft Clipping (SSC) 기법을 제안하고, SAW (Surface Acoustic Wave) Filter 와 전력 증폭기를 적용하여 IEEE 802.15.3c OFDM WPAN 전송 시스템의 PAPR, CCDF, PSD, BER 성능을 분석하였다.

Abstract

There has been lots of studies on communication systems using millimeter wave recently in many countries, specially in newly assigned 57GHz ~ 64GHz ISM band. Among those studies, IEEE 802.15.3c standard proposes OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) systems for high data rate transmission support. But OFDM method has the PAPR (Peak-to-Average Power Radio) problem. The PAPR problem is to decline the performance of the transmission system due to signals distorted severely when passing through nonlinear components such as ADC/DAC and power amplifiers. In order to solve the problem of PAPR, this paper suggests SSC (Sine Soft Clipping) and analyzes the PAPR, CCDF, PSD, BER by applying SAW(Surface Acoustic Wave) filter and power amplifiers to IEEE 802.15.3.c OFDM WPAN systems.

Key words : OFDM, Clipping, PAPR, SAW Filter, SSC.

I. 서 론

최근 무선통신 시스템을 운용하기 위한 주파수는 매우 부족하며 많은 통신시스템들은 시스템 운용을

위한 주파수 대역을 점점 높여가고 있다. 미국과 유럽 그리고 일본과 한국 등은 60GHz 를 ISM 대역으로 지정하면서 60GHz 에서 운용할 수 있는 통신시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[1].

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

· 제1저자 (First Author) : 김완태

· 접수일자 : 2008년 4월 3일

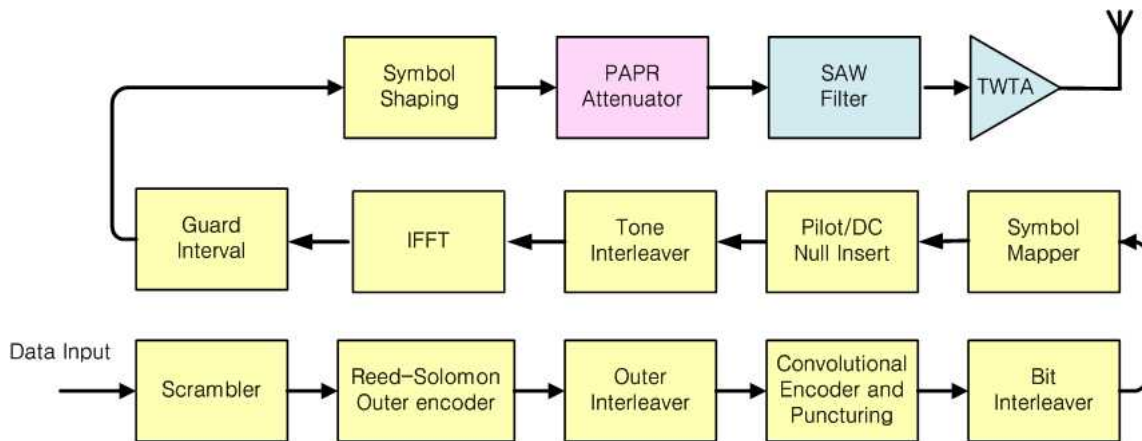


그림 1. OFDM WPAN 시스템 블록

Fig. 1. OFDM WPAN System Block.

IEEE 802.15.3c 표준은 millimeter wave 를 이용하는 WPAN (Wireless Personal Area Network) 시스템 운용을 목표로 많은 나라와 기관 그리고 학교에서 연구가 진행 중이며, 많은 제안서를 제출하고 있다. 60GHz 대역을 이용하는 WPAN 시스템은 근거리에서 높은 데이터 전송을 위하여 다양한 변조방식을 이용하도록 제안되고 있다. 그 중 OFDM 방식을 이용하는 시스템의 경우 10Mbps ~ 4Gbps 까지 데이터 전송이 가능하도록 시스템을 구성하고 있다. 하지만 OFDM 방식을 이용하여 높은 전송 속도를 이루기 위해서는 많은 수의 부반송파를 사용해야 하므로 시스템은 PAPR 문제가 심각하게 발생하게 된다[1]. PAPR 문제는 다수의 부반송파를 사용할 경우 부반송파들이 동일위상으로 더해지면서 peak 전력이 발생하게 되므로 시스템에서 사용하는 A/DC (Analog to Digital Converter) 와 D/AC (Digital to Analog Converter)의 복잡도를 증가 시키고 RF (Radio Frequency) 전력 증폭기의 효율을 감소시키게 된다. 또한 OFDM 신호의 크기가 비선형 특성에 의해 왜곡됨으로 일종의 자기 간섭이 발생되어 BER (Bit Error Rate) 성능이 저하되고 Out-of-band 왜곡이 발생되어 인접 채널에 간섭으로 작용 된다. 따라서 본 논문에서는 시스템 자체에서 발생하는 PAPR 문제를 해결하기 위하여 SSC (Sine Soft Clipping) 기법을 제안하여 PAPR 문제를 해결 한 후 OFDM WPAN 시스템의 CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function) 와 BER (Bit Error Rate) 성능을 분석하고 Out-of-band 왜곡에 대하여 분석 한다.

II. IEEE 802.15.3c OFDM WPAN 시스템

그림 1은 IEEE 802.15.3c 표준화에 제안된 OFDM WPAN 전송 시스템 블록이다[1]. 입력된 데이터는 scrambler 를 거치게 되고 채널에서 발생될 연접 에러와 비트 에러에 대비하여 Read-Solomon outer encoder 와 outer interleaver 를 수행하고 convolutional encoder 와 bit interleaver 를 수행 한다. OFDM 시스템은 변조 방식에 따라 하나의 부반송파를 통하여 몇 개의 데이터를 전송할 것 인지를 결정하기 위해 mapper 를 수행하게 되고 OFDM 변조를 위해 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) 를 수행한다. IFFT 가 수행된 OFDM 심볼은 채널에서 발생될 ISI (Inter Symbol Interference) 를 방지하기 위하여 GI (Guard Interval) 를 삽입하게 되고 Out-of-Band 왜곡을 감소시키기 위하여 Symbol Shaping 을 수행 한 후 전송되게 된다. 하지만 본 논문에서는 OFDM 변조 과정에서 발생된 PAPR 을 감소시키기 위하여 PAPR Attenuator 를 제안하고 대역제한을 위하여 SAW Filter 를 수행한 후 전력증폭기를 통하여 전송하는 구조로 시스템을 구성하였다[1].

OFDM WPAN 시스템은 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 변조를 거쳐 입력되는 데이터를 다수의 부반송파로 변조하기 위해 IFFT 를 수행하게 된다. 이때 IFFT 에 입력되는 데이터는 일반적으로 i.i.d (independent and identically distributed) 성질을 갖는 불규칙한 신호로 간주 할 수 있다. 부반송파가 크면 중심 극한의 정리 (Central Limit Theorem) 에 의해 신

호 $X(t)$ 의 실수부와 허수부는 Gaussian 확률 밀도 함수를 갖는 불규칙한 신호가 된다. 따라서 실수부와 허수부에 절대 값을 취하여 신호의 크기만을 고려하면 레일리(Rayleigh) 분포를 따르게 되고 다음과 같은 식으로 정의 할 수 있다[2].

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

식 (1) 에서 r 은 입력신호를 나타내고 σ^2 은 레일리 분포의 페이딩 포락선을 나타낸다. 중첩된 부 반송파에서 최대 전력을 찾기 위해 샘플링 된 값들이 상호 무상관 이면, IFFT 과정 중 생기는 신호가 PAPR 특정 임계값 $PAPR_0$ 를 초과 할 확률은 CDF (Cumulative Distribution Function) 로 표현 할 수 있으며 다음 식과 같다.

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

따라서, OFDM 신호의 PAPR 에 대한 CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function) 는 다음과 같이 정의된다.

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

여기서 α 는 정확한 PAPR 측정을 위해서 과도하게 샘플링을 한 N 개의 부 반송파에 대한 분포를 과도하게 샘플링하지 않은 αN 개의 부반송파로 근사화 하기 위한 값이며 일반적으로 2.8 정도를 사용한다[3],[4].

N 개의 부반송파를 갖는 시간영역의 OFDM 심볼의 기저 대역 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 개수이고, w_n 은 부 반송파의 주파수 대역을 나타낸다. QPSK 변조일 경우 a_n, b_n 은 1 과 -1 로 구성되고 OFDM 심볼은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

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

$d_I(t)$ 는 실수부 신호를 나타내며 $d_Q(t)$ 는 허수부 신호를 나타낸다. OFDM 신호에서 신호의 최대전력과 평균전력의 비로 정의되는 PAPR 은 다음 식과 같이 정의 된다[5],[6].

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

식 (6) 에서 $E[|s(t)|^2]$ 는 신호의 평균 전력을 나타내고 $\max |s(t)|^2$ 는 신호의 최대 전력을 나타낸다.

III. PAPR Attenuator 기법

PAPR 을 감소시키는 가장 간단한 방법은 신호의 peak 값을 특정 레벨로 제한시키는 clipping 기법이다. 하지만 clipping 기법은 시스템 구현과 적용 위치에 따라 시스템 성능에 큰 차이를 가지게 된다[7]. 그림 2 와 같이 clipping 이 수행 된 기존 방식의 CC (Conventional Clipping) 는 시스템 구현은 간단하지만 원 신호를 왜곡 시키며 발생하는 고주파 성분으로 인하여 In-band 왜곡과 Out-of-band 왜곡이 심각하게 발생 한다[7].

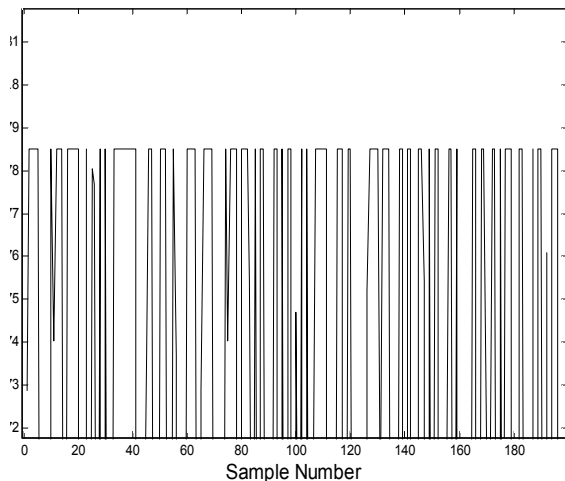


그림 2. CC 기법이 적용된 시간영역 신호
Fig. 2. Time domain signal by CC technique.

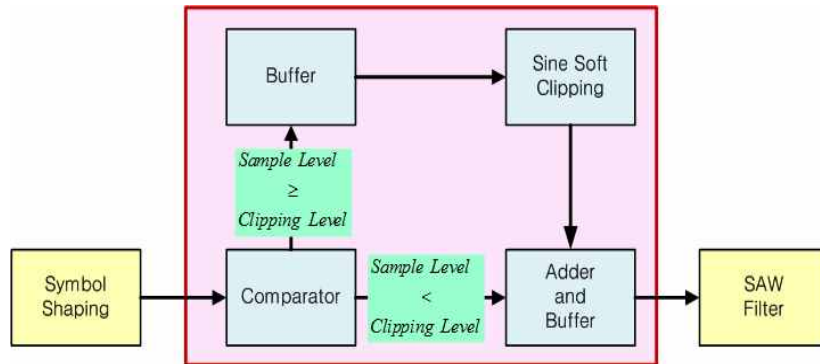


그림 3. 제안하는 SSC 기법을 위한 시스템 블록
Fig. 3. System Block for proposal SSC technique.

본 논문에서는 그림 2와 같은 형태의 신호가 발생 되도록 구현된 CC 기법에서 생기는 문제를 최소화하기 위하여 그림 3과 같이 SSC (Sine Soft clipping) 기법을 제안하였다. Symbol shaping 이 수행된 신호는 비교기에 순차적으로 입력되어 신호의 크기에 따라 분류된다. 이때 입력된 신호의 크기가 clipping level 보다 크면 버퍼에 저장하고 clipping level 보다 작으면 저장 값을 갖지 않는다. 입력이 없으면 버퍼에 저장된 샘플을 SSC 블록에 보낸 후 버퍼는 초기화 된다. SSC 블록은 버퍼에서 받은 신호의 샘플 개수를 측정하여 반주기의 sine wave 를 생성한 후 clipping 을 수행 한다. SSC 의 수행에 있어 비교기를 거친 신호가 연속적으로 10개가 저장될 경우에는 입력된 신호샘플 10개에 해당하는 시간 주기에 비례하여 sine wave 를 생성하여 SSC 를 수행 하고, 1 개의 신호샘플이 버퍼에 저장될 경우에는 1개에 해당하는 시간 주기의 sine wave 를 생성하여 SSC 를 수행하게 된다. 반대로 신호샘플의 크기가 clipping level 보다 작은 경우 Adder and Buffer 에 저장 한 후 SSC 가 수행 된 신호와 더해져 SAW Filter 를 수행 한다.

그림 4와 같이 SSC 기법은 기존의 CC 기법을 적용하여 수행했을 때와 달리 clipping 을 수행한 이후의 신호를 보면 고주파 성분이 최소화된 것을 알 수 있다. SSC 는 clipping 되는 구간의 길이에 따라 반주기의 sine wave 가 특정 clipping 레벨에 더해져 신호를 제한 한다. 이를 위하여 신호를 clipping 하는 과정에 있어 clipping 구간의 길이를 알아내기 위한 버퍼와 반주기의 sine wave 를 계산하여 더해주는 연산을 실행하는 모듈이 추가 되어야 한다.

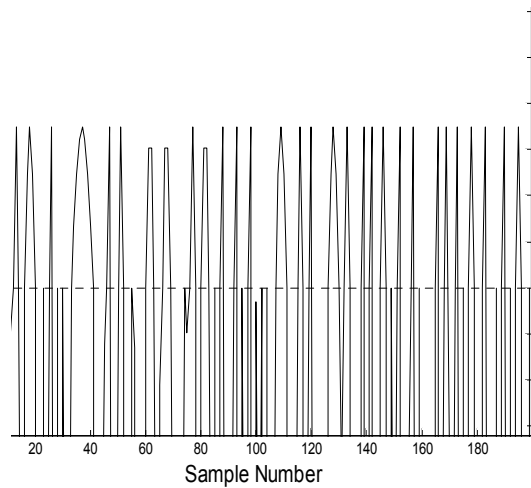


그림 4. SSC 기법이 적용된 시간영역 신호
Fig. 4. Time domain signal by SSC technique.

따라서 반주기의 sine wave 를 계산하고 clipping 을 수행하기 위한 연산은 다음 식과 같다.

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

식 (7) 에서 x 는 그림 4의 점선에 해당하는 clipping level 이며, a 는 x 에 더해지는 반주기의 sine wave 크기를 나타낸다. i 는 clipping 구간에서 신호의 샘플 순서 이고 n 은 clipping 되는 샘플의 개수를 나타낸다. 식 (8) 은 식 (7) 을 통하여 결정된 CL 을 이용하여 clipping 수행하기 위한 수식이다.

$$C_i = \begin{cases} X_i, & |X_i| \leq Threshold \\ CL \cdot e^{j\angle X_i}, & |X_i| > Threshold \end{cases} \quad (8)$$

식 (8) 에서 C_i 는 PAPR Attenuator 를 거친 신호이며, X_i 는 symbol shaping 이 수행된 신호이다. 입력된 신호 X_i 의 크기를 threshold 값과 비교한 후 값이 클 경우 clipping 이 수행된다.

III. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션 수행은 표 1과 같은 조건에서 수행하였다[8].

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameter.

Parameter	Value
Occupied Bandwidth	1.76 GHz
Reference sampling rate	2.538 Gsamples/s
Number of subcarriers	512
FFT period	~ 202 ns
Subcarrier spacing	~ 5.0 MHz
Guard interval	64 symbols, ~25 ns
Symbol duration	~ 227 ns
Number data subcarriers	336
Number of DC Subcarriers	3
Modulation	QPSK
Outer block code	Reed-Solomon, rate 0.96
Inner convolutional	1/3

60 GHz를 이용한 OFDM WPAN 시스템에서는 고속데이터 전송을 위한 HRP (High Rate PHY) 모드와 저속 데이터 전송을 위한 LRP (Low Rate PHY) 모드를 지원하고 있다. 그 중 HRP 모드는 512 개의 부반송파를 사용하며 데이터 전송을 위하여 336 개의 부반송파를 사용한다. 따라서 HRP 모드에서 발생하는 PAPR 이 LRP 모드보다 심각하므로 HRP 모드에 대하여 시뮬레이션을 수행 하였다. PAPR 감소를 위한 clipping level 을 결정하기 위하여 clipping level 에 따른 시스템 BER 을 살펴보면 그림 5와 같다. OFDM WPAN 시스템에서 IFFT 를 수행한 후 신호의 최대 진폭의 크기는 평균적으로 3 정도이다. 따라서 신호의 최대 진폭 크기에 비례하여 신호의 clipping level 을 결정한 후 그에 따른 각각의 BER 를 AWGN 채널 환경을 가정하여 분석하였다.



그림 5. Clipping level 에 따른 BER
Fig. 5. BER according to clipping level



그림 6. Clipping 기법에 따른 CCDF
Fig. 6. CCDF according to clipping technique.

OFDM WPAN 시스템에 clipping 기법을 적용하지 않았을 경우 시스템 BER 은 10^{-3} 을 이루기 위하여 E_b/N_0 3.5 dB 정도를 갖는다. 하지만 clipping 기법을 적용할 경우 신호의 왜곡으로 인하여 시스템 BER 성능은 약간의 손실을 갖게 된다. 따라서 본 논문에서는 clipping 적용에 있어 BER 손실을 최대한 줄이기 위하여 clipping level 을 1.55 로 결정 하였다. 신호의 크기를 1.55 로 제한하여 clipping 을 수행할 경우 기존의 CC 기법은 BER 10^{-3} 을 이루기 위한 E_b/N_0 는 4.2 dB 이고 논문에서 제안하는 SSC 기법을 적용한 경우는 3.8 dB 로 0.4 dB 정도의 이득을 갖는다. 시스템의 BER 을 고려하여 결정된 clipping level 을 이용

한 OFDM WPAN 시스템의 PAPR 감소에 대한 분석은 CCDF 를 이용하여 분석하였다.

OFDM WPAN 시스템에 clipping 을 적용하지 않았을 경우 시스템에서 발생하는 PAPR 은 10.2 dB 정도의 값을 가지게 된다. 하지만 SSC 를 적용하여 clipping 을 수행하면 시스템의 PAPR 은 5 dB 가 되는 것을 알 수 있다. 따라서 OFDM WPAN 시스템에 SSC 기법을 이용하면 PAPR 이 약 1/2 로 감소하므로 시스템에 사용되는 비선형 소자들에 의한 시스템 손실을 줄일 수 있다.

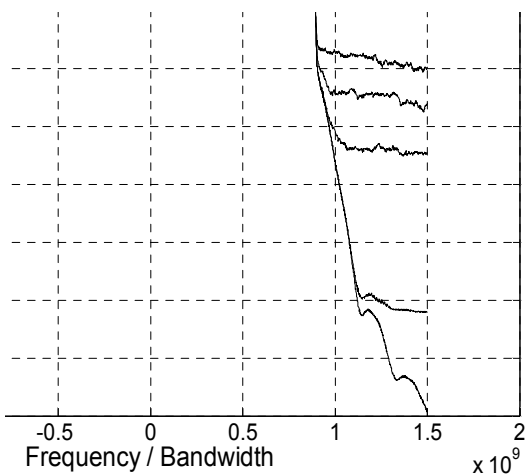


그림 7. PAPR 값에 따른 PSD

(PAPR : a=3dB, b=5dB, c=7dB, d=9dB, e=original)

Fig. 7. PSD according to PAPR value.

(PAPR : a=3dB, b=5dB, c=7dB, d=9dB, e=original)

그림 7은 PAPR 값에 따른 스펙트럼의 변화를 나타낸다. PAPR 감소를 위하여 시스템에 clipping 을 적용 하면 원 신호에 왜곡이 발생하며 peak 값을 감소시킬 수록 원 신호의 왜곡은 심해지고 스펙트럼의 Out-of-band 왜곡이 심해지는 것을 알 수 있다. 그림 7 에서 c 는 PAPR 이 7 dB 일 경우 이고 d는 9 dB 일 경우이다. PAPR 2 dB 차이에 의한 스펙트럼은 27 dB 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 하지만 여기서 발생된 왜곡은 정보를 송·수신 하는데 있어 BER 에 큰 영향을 주지 않으므로 시스템 손실 없이 통신 할 수 있다는 것을 그림 5를 통해 확인하였다. 또한 표준화를 위해 제안된 문서들에서 권고 하고 있는 스펙트럼 마스크의 범위를 벗어나지 않으므로 PAPR 감소에 의한 시스템 손실 보다 시스템에서 발생하는 이득이 더 많다는 것을 알 수 있다[8]. 그림 8

은 PAPR 을 감소시킨 후 스펙트럼을 만족하는 범위에서의 PAPR 감소를 최대로 하였을 때의 PSD 이다. IEEE 802.15.3c OFDM WPAN 시스템에 SSC 기법을 적용하여 PAPR 을 감소할 경우 PAPR 5 dB 정도의 값을 이용하여 clipping 을 수행하면 표준화 제안 문서들에서 정의하고 있는 스펙트럼 마스크를 충분히 만족시킬 수 있고 시스템 운용을 위해 필요한 BER 도 충분히 만족 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

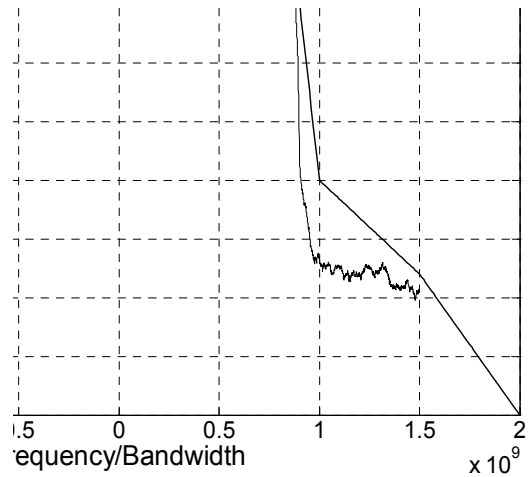


그림 8. Clipping 기법에 따른 PSD.

Fig. 8. PSD according to clipping technique.

V. 결 론

본 논문에서는 millimeter wave 를 이용하기 위한 통신 시스템인 OFDM WPAN 시스템이 가지고 있는 PAPR 문제를 해결하기 위하여 SSC 기법을 제안하고 SSC 기법 적용에 따른 시스템을 분석 하였다. PAPR 감소를 위한 SSC 기법은 자기 신호를 왜곡시키는 방법 이므로 PAPR 감소에 있어 무엇보다 시스템의 BER 성능을 확인해야 한다. 논문에서 제안한 SSC 기법은 신호의 크기를 제한하여 clipping 을 수행하므로 IFFT 수행 후 최대 3 정도의 신호크기를 1.55로 제한 하였을 경우 BER 성능은 10⁻³ 을 이루기 위해 3.8 dB 정도의 Eb/N0 가 필요 하다는 것을 알 수 있었고, 이때 CCDF 를 통하여 PAPR 을 살펴보면 SSC 가 적용 되지 않았을 경우의 10.5 dB 에 비하여 약 1/2 정도 감소한 5 dB 의 PAPR 감소 효과가 있다는 것을 알

수 있었다. 또한 PAPR 감소는 원신호가 왜곡 되므로 Out-of-band 왜곡이 발생하는 것을 알 수 있었고, IEEE 802.15.3c OFDM WPAN 시스템 제안서를 통해 권고하고 있는 스펙트럼 마스크를 초과 하지 않는 범위에서의 PAPR 값은 약 5 dB 라는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

[1] 이우용, 김진경, 김용선, 김경표 "Millimeter Wave WPAN(IEEE 802.15.3c) 전송 기술 및 표준화 동향," *주간기술동향 통권 1307호*, pp. 10-25, August, 2007.

[2] G. Hill and M. Faulkner, "Comparison of low complexity clipping algorithms for OFDM," *The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2002, vol. 1, pp. 15-18.

[3] R. Van Nee , R. Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", *Artech House Publishers*, 2000.

[4] 김성수, 김명제 "변형된 GA-SPW에 의한 OFDM의 새로운 PAPR 감소 기법", *2006년도 한국전자과학기술 학회 논문집*, 17(11), pp. 1065-1072, 2006년 11월.

[5] H. Harada and R. Prasad, *Simulation and Software Radio for Mobile Communications*, Artech House, 2002.

[6] N. Carson and T. A. Gulliver, "PAPR reduction of OFDM using selected mapping, modified RA codes and clipping," *Vehicular Technology Conference*, 2002, vol. 2, pp. 1070 - 1073.

[7] W. T. Kim, J. B. Ahn, J. K. Ahn, and S. J. Cho, " A study of structural improvement for reducing

PAPR," *Conference of Korean Institute of Communication and Sciences*, vol. 29, pp. 438, 2004.

[8] G. Baldwin, et al, "Proposal for HDAV and data support," IEEE 802.15-07/702r5.

김 완 태(金完泰)



2005년 2월 : 한국항공대학교 대학원 졸업(공학석사)
 2005년 1월 ~ 2007년 2월 : (주) 모드맨 CDMA 단말기 개발.
 2007년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 대학원 박사과정
 관심분야 : WLAN, 무선통신, 이동통신

유 선 용(劉善勇)



2007년 6월 : 한국항공대학교 정보통신과 졸업
 2007년 7월 ~ 현재 : 한국항공대학교 대학원 석사과정
 관심분야 : WiBro, WPAN, 무선통신, 이동통신

조 성 준(趙成俊)



·1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업 (공학사)
 ·1975년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학 전공졸업(공학석사)
 ·1981년 3월 : 오사카대학 대학원 통신공학전공 졸업(공학박사)
 ·1972년 8월 ~ 현재 : 한국항공대학교

교 항공전자 및 정보통신공학부 교수
 관심분야 : 무선통신, 이동통신, 환경전자공학, 이동무선 인터넷