

논문 2010-47TC-1-2

# OFDM polar transmitter를 위한 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법의 성능평가

(Performance Evaluation of a Windowed-Sinc Function-Based PAPR Reduction Scheme for OFDM Polar Transmitters)

서만중\*, 심희성\*, 임성빈\*\*

(Manjung Seo, Heesung Shim, and Sungbin Im)

## 요약

Polar transmitter는 현재 GSM (Global System for Mobile Communications), EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), GPRS (General Packet Radio Service) 등과 같은 협대역 통신 방식에만 주로 적용되고 있다. 본 논문에서는 polar transmitter를 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 같은 광대역 통신방식에 적용하기 위해 OFDM 통신 시스템이 가지고 있는 높은 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)을 감소시킬 수 있는 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법을 제안한다. 이 방법은 기존의 피크 윈도우잉 (peak windowing) 기법에서 매우 인접한 여러 개의 피크들 또는 주변 신호에 비해 상대적으로 큰 피크에 의해 발생하는 과도한 신호 왜곡 효과를 완화시킨다. 다양한 윈도우 형태와 길이를 적용하여 비트오율 (Bit Error Rate; BER)과 오차 벡터 크기 (Error Vector Magnitude; EVM)를 측정하여 결과를, 제안된 기법은 기존의 피크 윈도우잉 기법과 유사한 스펙트럼 성능을 가지면서 비트오율의 향상 및 PAPR 감소 성능이 우수함을 나타내었다.

## Abstract

The polar transmitter is applied to the narrowband communication systems such as GSM (Global System for Mobile Communications), EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), and GPRS (General Packet Radio Service). To apply polar transmitter for the wideband communication like OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) where the high PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) problem occurs, this paper proposes a windowed-sinc function based PAPR reduction scheme. The proposed algorithm mitigates the effect of excessive suppression due to successive peaks or relatively high peaks of the signal. The BER (Bit Error Rate) and EVM (Error Vector Magnitude) performances are measured for various window types and lengths. The simulation results demonstrate that the proposed algorithm achieves significant improvement in terms of BER and PAPR reduction performance with similar spectrum performance to the conventional peak windowing scheme.

**Keywords:** OFDM, PAPR, polar transmitter, windowed-sinc function, peak windowing

## I. 서론

차세대 무선 통신 시스템은 멀티모드/멀티밴드 동작

이 가능한 RF 송신기를 필요로 하고 있다. 이에 대한 수요와 필요성이 증가함에 따라 이를 실현할 수 있는 송신기 구조와 특성에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있는 가운데 polar transmitter<sup>[1~2]</sup>는 이러한 요구에 적합한 송신기 구조 중 하나로 인식되고 있다. Polar transmitter는 내부에서 디지털적으로 진폭과 위상 신호를 독립적으로 처리하기 때문에 다양한 통신 표준에 대한 처리가 가능하다. 그러나 현재는 GSM (Global System for Mobile Communications), EDGE

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 송실대학교 정보통신전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2009-0071811)

접수일자: 2009년9월23일, 수정완료일: 2010년1월18일

(Enhanced Data Rates for GSM Evolution), GPRS (General Packet Radio Service) 등과 같은 협대역 통신 방식에만 주로 적용되고 있으며, 최근 시험적으로 광대역 특성을 갖는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다.<sup>[2~3]</sup>

Polar transmitter를 OFDM과 같은 광대역 통신방식에 적용하기 위해서는 여러 문제점을 해결해야만 한다. 대표적으로 OFDM 통신 시스템은 단일 반송파 시스템에 비해 우수한 장점들을 가지고 있지만 복소 가우시안 분포 형태의 출력 샘플들은 높은 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)을 발생시키는 단점을 가지고 있다.<sup>[4]</sup> 이러한 신호의 높은 첨두값 (peak)으로 인해 송신기에서는 상당한 크기의 백오프 (back-off)를 사용하여야 하며, 이로 인하여 증폭기의 출력이 낮아지며 또한 효율이 감소한다.<sup>[5]</sup> 또한 송신기의 고출력 증폭기 (High Power Amplifier; HPA)의 비선형 왜곡을 유발하여 스펙트럼 특성을 왜곡시키고 수신비트오율 (Bit Error Rate; BER) 성능을 저하시키게 된다.<sup>[6~7]</sup>

PAPR을 감소시키기 위해 몇 가지 기법들이 제안되었는데 이들은 기본적으로 세 가지 부류로 분류할 수 있다. 첫 번째로 신호 왜곡 기법이 있는데 이 기법은 OFDM 신호를 피크에서 또는 그 주변에서 비선형적으로 왜곡시켜 간단히 피크 크기를 감소한다. 왜곡 기법의 예로 클리핑 (clipping)<sup>[8]</sup>, 피크 윈도우잉 (peak windowing)<sup>[9]</sup>, 피크 제거 (peak cancellation)가 있다. 두 번째 부류는 부호화 기법으로 큰 PAPR을 갖는 OFDM 심볼을 제외시킨 특수한 전방오류정정 부호집합을 사용한다.<sup>[10]</sup> 세 번째 기법은 기본적으로 서로 다른 여러 개의 스크램블링 (scrambling) 시퀀스로 각 OFDM 심볼을 스크램블링 하고 그 결과 중 가장 작은 PAPR을 갖는 시퀀스를 선택하는 방식이다.<sup>[11~12]</sup>

PAPR 감소를 위해 위와 같은 다양한 기법들이 연구되어 왔지만, 본 논문에서 고려하는 OFDM polar transmitter의 실질적인 구현 관점에 있어서는 수신단의 구조에 변화를 주지 않으며 또한 추가적인 정보의 전송이 필요 없이 기존 수신기를 그대로 사용할 수 있는 클리핑 및 피크 윈도우잉 기법이 선호되고 있다. 일반적인 OFDM 통신 시스템에서는 IFFT를 수행 후 complex 신호에 관해 PAPR 감소기법을 적용한다. 하지만, 본 논문에서는 OFDM 통신 시스템에 polar transmitter를 적용하기 위해 cartesian to polar 과정을 거쳐 envelope

신호와 phase 신호로 분리한 후에 envelope 신호에 관해서만 PAPR 감소기법을 적용한 후 다시 phase 신호와 결합하여 전송하는 과정을 수행하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 서론에 이어 II장에서는 polar transmitter의 개요 및 구조에 대하여 간략히 설명한다. III장에서는 PAPR 감소를 위한 기존의 피크 윈도우잉 기법에 대해 살펴보고, 본 논문에서 제안하는 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법에 관해 설명한다. 또한, IV장에서는 제안된 PAPR 감소기법을 OFDM polar transmitter에 적용하여 성능을 평가하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. Polar Transmitter

Polar transmitter는 기존의 EER (Envelope Elimination and Restoration) transmitter<sup>[13]</sup>의 동작원리와 유사하다. EER 방법에서는 RF 입력신호를 각각 envelope detector와 limiter와 같은 비선형 소자들을 이용하여 envelope 신호와 phase 신호를 추출한다. 그러나 비선형 소자를 사용함으로써 구현하는데 여러 가지 문제점을 야기 시킨다. 하지만 polar transmitter에서는 기저대역 (baseband)에서 envelope 신호와 phase 신호를 이미 분리해서 내보내 주기 때문에 envelope detector와 limiter와 같은 부가적인 회로들이 더 이상 필요 없으므로 이에 따른 문제점들도 해결될 수 있다.

### 1. Polar Transmitter 개요

Polar transmitter는 envelope와 phase의 두 정보 신호로 분리하여 사용한다. 그러므로 complex 입력 신호를 envelope와 phase로 나누는 것이 가장 기본이 된다. 일반적인 송신 신호  $S(t)$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$S(t) = I(t)\cos(\omega_c t) + Q(t)\sin(\omega_c t) \quad (1)$$

여기서,  $I(t)$ 와  $Q(t)$ 는 각각 in-phase, quadrature 신호를 나타낸다. 또한  $I(t)$ 와  $Q(t)$  신호는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} I(t) &= A(t)\cos[\theta(t)] \\ Q(t) &= A(t)\sin[\theta(t)] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $A(t)$ 와  $\theta(t)$ 는 각각 envelope, phase 신호를 나타낸다. 식 (1)을 극좌표로 표현하면, 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

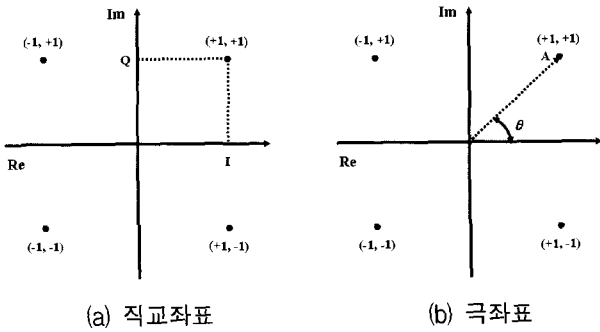


그림 1. 직교좌표와 극좌표를 나타낸 성상도  
 Fig. 1. Constellations of the Cartesian and polar coordinates.

표 1. Polar transmitter의 장단점  
 Table 1. Advantages and disadvantages of the polar transmitter.

Advantage	Disadvantage
Efficiency higher than the best linear TX	PA characterization required within the TX
RF circuit linearity suppressed	AM/AM and AM/PM predistortion
Unconditional PA stability	Time alignment of AM and PM paths
Circuit BW > signal BW	Pout=0 a huge problem
Modulation accuracy	Lack of manufacturing experience

$$\begin{aligned}
 S(t) &= A(t)\cos[\theta(t)]\cos(\omega_c t) \\
 &\quad + A(t)\sin[\theta(t)]\sin(\omega_c t) \\
 &= A(t)\cos[\omega_c t - \theta(t)]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

그림 1은 직교좌표와 극좌표 형식을 나타낸 것으로 신호점은 동일하며 그 표시 형태만 다르게 표현된다. 직교좌표와 극좌표 신호사이에는 다음과 같은 변환관계를 가지고 있다.

$$\begin{aligned}
 A(t) &= \sqrt{I(t)^2 + Q(t)^2} \\
 \theta(t) &= \tan^{-1}\{Q(t)/I(t)\}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

직교좌표 신호를 극좌표 신호로 변환하기 위한 여러 알고리즘들이 있으나 본 논문에서는 CORDIC (COordinate Rotation DIgital Computer) 알고리즘을 사용하였다.

## 2. Polar Transmitter 구조

Polar transmitter의 구조는 그림 2와 같이 송신신호를 크기 정보와 위상 정보로 나누어 위상정보는 VCO (Voltage Control Oscillator) 및 PLL (Phase Locked Loop)를 사용하여 위상변조 후 전력증폭기로 전송하고, 크기 정보는 전력 증폭기의 바이어스 전류/전압을 제어하여 송신하는 방식이다.

Polar transmitter는  $A(t)$ 와  $\theta(t)$ 를 각각 다른 경로에 따라 증폭하는 방법으로 VCO의 control voltage를 이용하여  $\theta(t)$ 의 정보를 전력 증폭기에 전달하고 전력 증폭기의 VCC/VDD 등을 제어하여  $A(t)$ 의 정보를 최종적으로  $\theta(t)$ 와 결합하여 증폭시킨다.  $\theta(t)$ 는 VCO의 출력으로 크기가 일정하고 위상정보만 실린 신호이기 때문에 전력 증폭기는 선형성이 고려되지 않는 on/off 상태만을 갖는 switching mode의 전력 증폭기 Class인 Class-D/E/F급을 사용할 수 있어 전력 효율을 크게 개선시킬 수 있다. 하지만 polar transmitter는 신호의 합성시 위상과 크기의 부정합 및 지연이 일어날 경우 성능이 크게 열화되며, 지연이 커지면 최종 spectral mask의 대역외 (out-of-band)로의 간섭량이 증가하게 되는 단점이 있다.<sup>[1-2, 14]</sup>

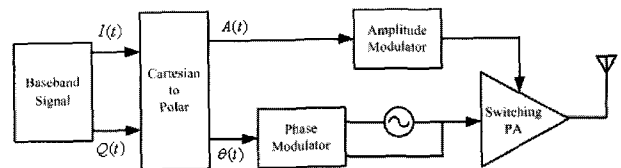


그림 2. Polar transmitter의 구조  
 Fig. 2. Structure of the polar transmitter.

## III. 제안하는 PAPR 감소기법

PAPR을 감소시키는 가장 간단한 방법은 신호의 최대크기를 특정 레벨로 제한시키는 신호의 클리핑이다. 그러나 클리핑은 OFDM 신호의 크기를 왜곡시킴으로써 일종의 자기 간섭이 발생되어 비트오율이 저하되고, 대역외로의 스펙트럼 방출이 심각하게 증가하는 문제가 발생한다.<sup>[4]</sup> 이러한 문제점을 해결하기 위해 윈도우를 적용하여 스펙트럼 왜곡을 줄이면서 PAPR 감소 효과를 얻는 피크 윈도우링 기법이 제안되었다.<sup>[9]</sup>

피크 윈도우링 기반의 PAPR 감소기법은 클리핑 기법에 비해 월등하게 스펙트럼 특성이 좋을 뿐만 아니라, 부가 정보 없이도 PAPR 감소 효과를 얻을 수 있다. 그

러나 피크 윈도우 기법은 신호 진폭을 특정 레벨 이하로 제한시키기 때문에 피크 주변의 신호 왜곡으로 인해 수신 비트오율의 성능을 저하시킨다. 또한, 특정 레벨을 넘는 피크가 매우 인접하게 발생할 경우 윈도우가 피크 주변의 인접 신호를 과도하게 억제시킴으로써 성능 열화가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 기존의 피크 윈도우 기법<sup>[15~17]</sup>에서 사용하는 윈도우 함수에 sinc 함수를 곱함으로써 인접된 피크에 영향을 덜 미쳐 피크 윈도우 기법과 유사한 스펙트럼 성능을 유지하면서 수신 비트오율 및 PAPR 감소효과를 향상시킬 수 있는 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법을 제안한다.

제안된 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법은 다음과 같은 절차를 거친다. 우선 입력되는 OFDM 심볼을 CORDIC 알고리즘을 통해 envelope 신호와 phase 신호로 분리한 후 다음과 같은 peak detection을 통해 클리핑 계수  $c(n)$ 을 생성한다.

$$c(n) = \begin{cases} 1 & , |a(n)| \leq A \\ \frac{A}{|a(n)|} & , |a(n)| > A \end{cases} \quad (5)$$

여기서,  $a(n)$ 은 polar 변조된 envelope 신호이고,  $A$ 는 클리핑 레벨이다. 이 때, envelope 신호의 크기가 클리핑 레벨 이하이면 1이고, 클리핑 레벨보다 클 경우 1보다 작은 값이 된다.

다음으로,  $1 - c(n)$ 을 windowed-sinc 함수  $w'(n)$ 과 컨볼루션을 실시하여  $B(n)$ 을 생성한다. 이 때 사용되는 윈도우 함수로는 Hamming, Hanning, Gaussian, Kaiser등이 있으며 윈도우 형태에 따라 조금씩 성능의 차이를 가질 수 있다.

$$B(n) = [1 - c(n)] * w'(n) \quad (6)$$

여기서, windowed-sinc 함수  $w'(n)$ 은 식 (7)과 같이 일반적인 윈도우 함수  $w(n)$ 과 sinc 함수  $s(n)$ 과의 곱으로 이루어진다. 그림 3에 windowed-sinc 함수  $w'(n)$ 을 나타내었다. 이 때, 적용된 윈도우 함수는 Hanning 윈도우이다.

$$w'(n) = w(n) \cdot s(n) \quad (7)$$

클리핑에 의한 대역외 왜곡을 줄이기 위해 다음과 같이 피크 윈도우된 클리핑 계수  $h(n)$ 을 생성한다.

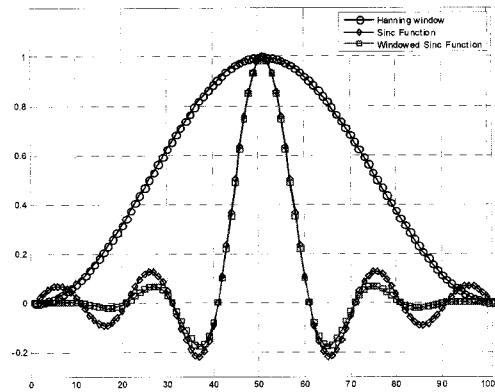


그림 3. Windowed-sinc 함수  
Fig. 3. Windowed-sinc function.

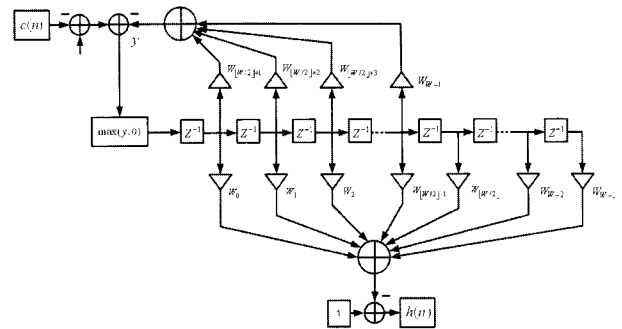


그림 4. FIR 필터 구조  
Fig. 4. A FIR filter structure with feedback.

$$h(n) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} [1 - c(k)]w'(n - k) \quad (8)$$

여기서, 피크 윈도우된 클리핑 계수  $h(n)$ 은 클리핑 레벨  $A$ 를 유지하기 위해 다음과 같이 클리핑 계수  $c(n)$ 보다 클 수 없다.

$$1 - \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} [1 - c(k)]w'(n - k) \leq c(n) \quad (9)$$

이 때, 클리핑 계수  $h(n)$ 은 그림 4와 같은 FIR (Finite Input Response)를 통해 구현할 수 있다.

피크 윈도우된 클리핑 계수  $h(n)$ 을 원래의 envelope 신호에 곱함으로써 PAPR 감소와 더불어 대역외 왜곡이 줄어든 새로운 envelope 신호  $a'(n)$ 을 생성한다.

$$a'(n) = a(n) \cdot h(n) \quad (10)$$

마지막으로 식 (11)과 같이 envelope 신호  $a'(n)$ 과 phase 신호  $\theta(n)$ 을 결합하여 전송한다.

$$y(n) = a'(n) \cdot e^{j\theta n} \quad (11)$$

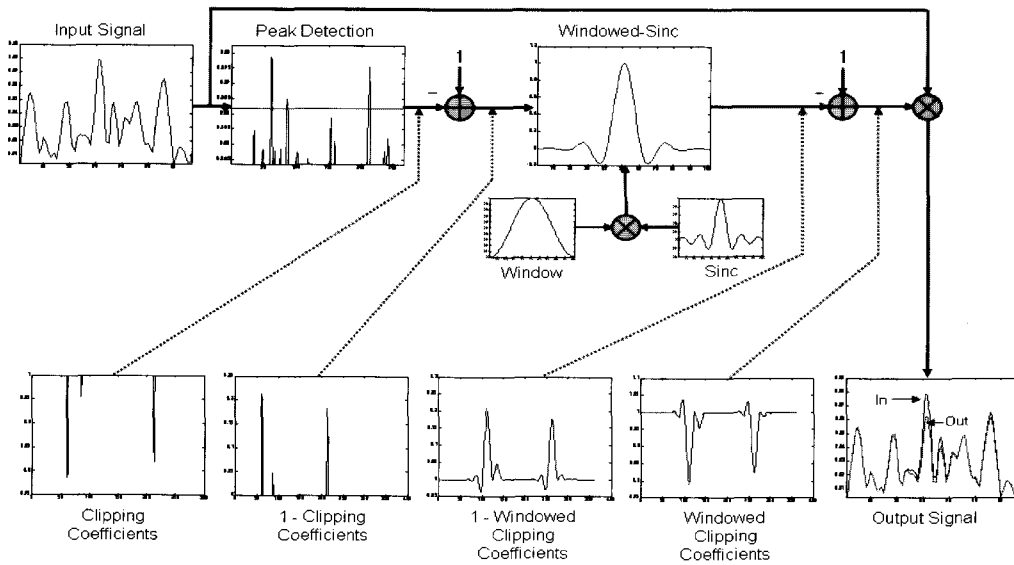


그림 5. 제안된 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법의 시스템 블록도  
 Fig. 5. System block diagram of the proposed windowed-sinc function-based PAPR reduction scheme.

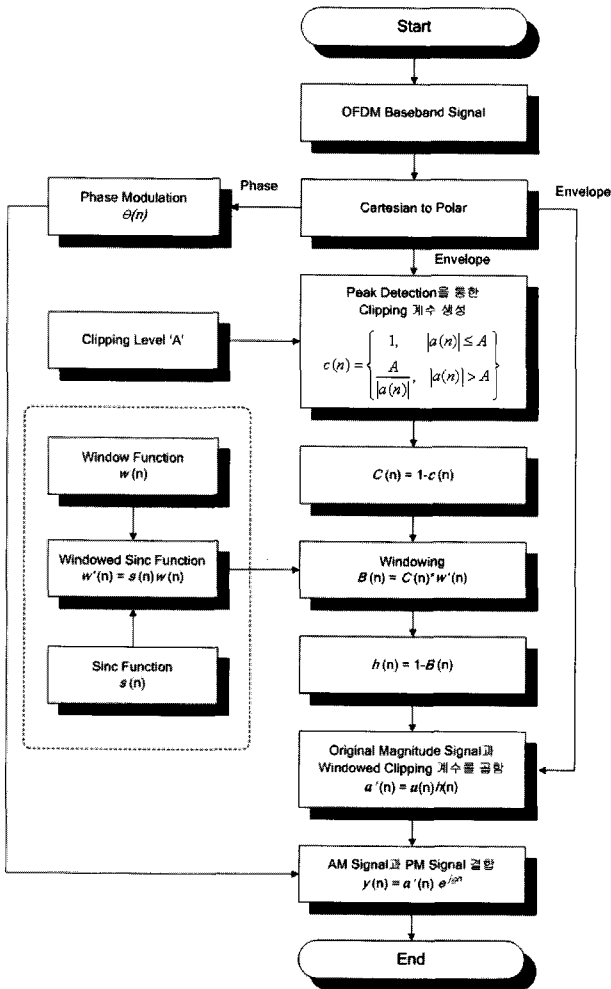


그림 6. 제안된 기법의 순서도  
 Fig. 6. Flow chart of the proposed algorithm.

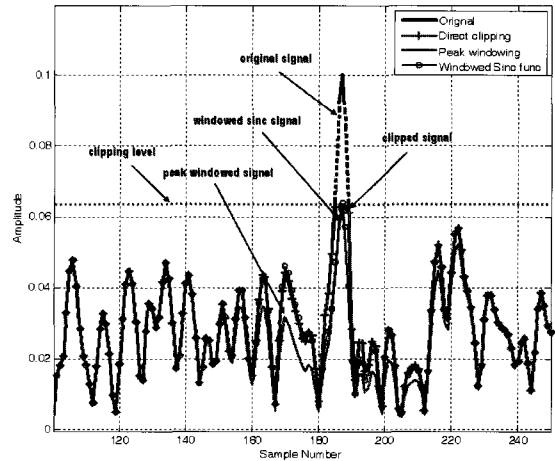


그림 7. 피크 윈도우링 기법과 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법에 대한 시간영역 파형의 진폭 비교  
 Fig. 7. Amplitude comparison of the peak windowed and windowed-sinc function signals in the time domain.

그림 5와 6에 앞서 설명한 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법 절차에 대한 블록도와 순서도를 각각 도시하였다. 그림 7은 일반적인 클리핑된 신호와 피크 윈도우링된 신호, 그리고 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법을 적용한 신호를 시간영역에서 도시한 것으로 그림에 나타난 것처럼 피크 윈도우링 기법에 의한 신호와 비교했을 때, 제안된 PAPR 감소기법을 적용한 신호의 파형이 첨두값을 클리핑 레벨 이하로 제한함과

동시에 원신호의 파형과 유사함을 알 수 있다. 따라서 기존의 피크 윈도우 기법을 적용했을 때 나타나는 smoothing 효과로 인한 대역외 왜곡의 감소뿐만 아니라, 피크 주변의 인접 신호에 대한 영향을 덜 미쳐 비트 오류의 성능향상도 얻을 수 있다.

#### IV. 모의실험 및 결과

이 장에서는 OFDM polar transmitter의 PAPR을 감소시키고 스펙트럼 왜곡을 최소화하기 위해 표 2와 같은 모의실험 조건에서 제안된 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법을 적용하여 실험을 수행하였다. 참고문헌 [17]에서 실시한 실험결과에 따르면 다양한 형태의 윈도우 함수 중에서 Hanning 윈도우를 적용하였을 때 스펙트럼 왜곡이 최소이면서 오차 벡터 크기의 성능이 우수함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법에서는 Hanning 윈도우를 사용하였다.

표 3은 QPSK, 16-QAM, 64-QAM 변조에 대하여

표 2. 모의실험 조건

Table 2. Simulation conditions.

Modulation level	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
FFT size	64
OFDM symbol	10000
Clipping level	RMS+3dB
Window type	Hanning window
Window length	21~101

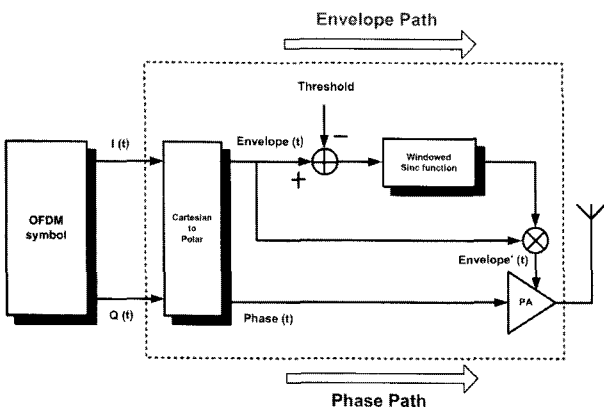


그림 8. 실험 구성도

Fig. 8. Block diagram of the experiment setup.

Hanning 윈도우를 적용하고 윈도우 길이를 21부터 101 까지 10단위로 변화시켜가며 오차 벡터 크기 (Error Vector Magnitude; EVM)를 측정하여 오차 벡터 크기는 다음과 같이 측정하였다.

$$e = r - z \tag{12}$$

$$EVM = \sqrt{\frac{E[e^2]}{E[r^2]}} \times 100\% \tag{13}$$

여기서,  $z$ 는 피크 윈도우된 후의 신호,  $r$ 은 원신호, 그리고  $e$ 는 두 신호간의 오차를 나타낸다.

표 3에서 알 수 있듯이 윈도우 길이가 늘어남에 따라 오차 벡터 크기의 성능이 저하됨을 알 수 있다. 그림 9는 기존의 피크 윈도우 기법과 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법의 오차 벡터 크기를 비교한 것이다. 윈도우 길이가 31로 동일한 지점을 살펴보았을 때, 피크 윈도우 기법에 비해 제안된 기법의 오차 벡터 크기가 약 2% 향상됨을 알 수 있다. 또한 윈도우의 길이가 길어질수록 오차 벡터 크기의 성능 향상이 더 커짐을 관측할 수 있다.

그림 10은 QPSK 변조에 대하여 클리핑 기법, 피크 윈도우 기반의 PAPR 감소기법 및 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법을 적용하였을 때의 스펙트럼

표 3. 제안된 PAPR 감소기법에서 윈도우 길이에 따른 오차 벡터 크기

Table 3. Error vector magnitudes according to the window lengths for the proposed PAPR reduction scheme.

Window length (EVM, %)	Modulation level		
	QPSK	16-QAM	64-QAM
21	3.646	3.635	3.570
31	4.317	4.300	4.227
41	4.736	4.718	4.639
51	5.030	5.012	4.929
61	5.254	5.237	5.149
71	5.436	5.420	5.329
81	5.594	5.578	5.485
91	5.737	5.718	5.624
101	5.868	5.847	5.751

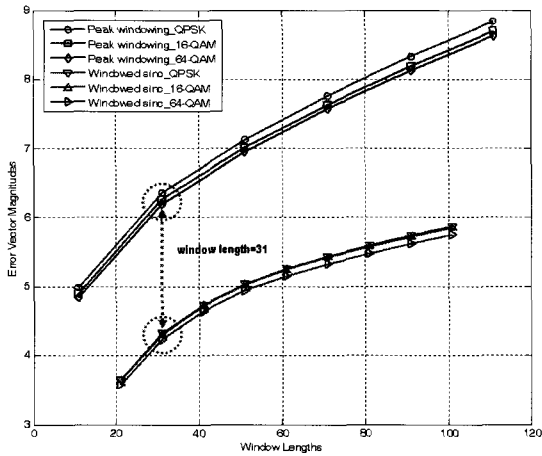


그림 9. 오차 벡터 크기의 비교  
Fig. 9. Comparison of the error vector magnitudes.

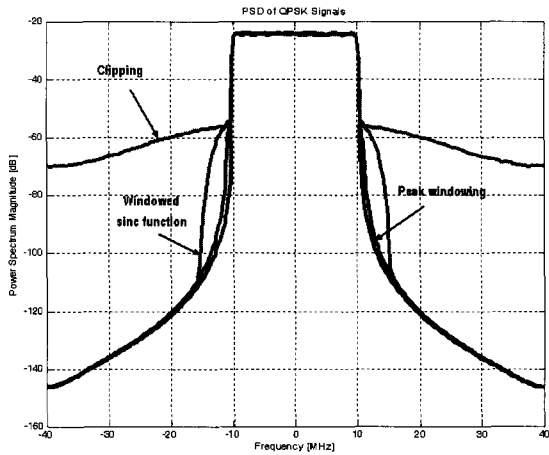


그림 10. QPSK 변조에 대하여 주파수 스펙트럼의 비교 (CL=RMS+3dB, WL=101)  
Fig. 10. Comparison of the frequency spectra for QPSK modulation. (CL=RMS+3dB, WL=101).

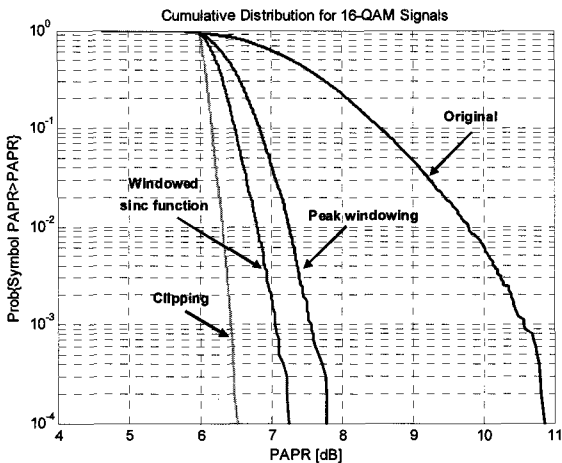
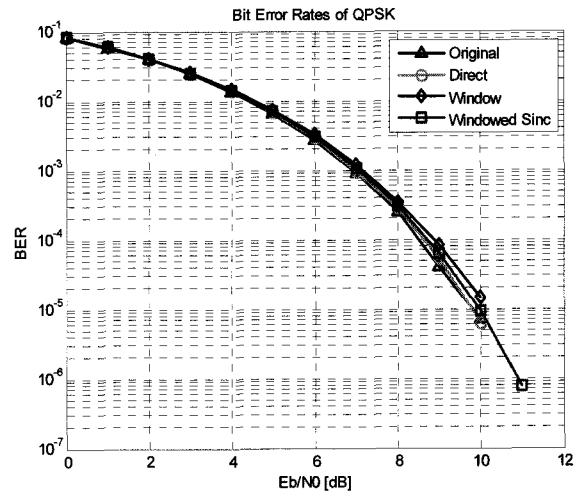
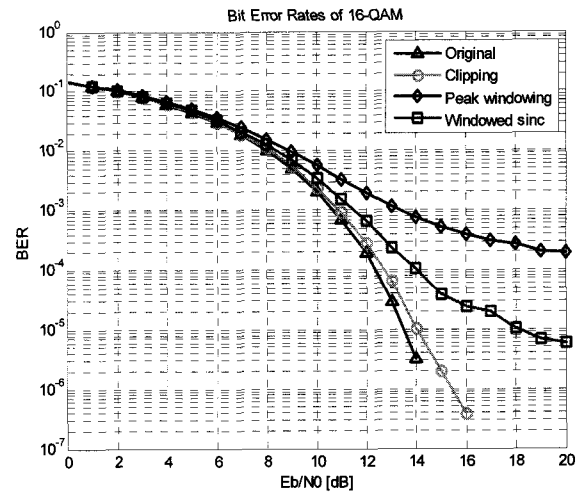


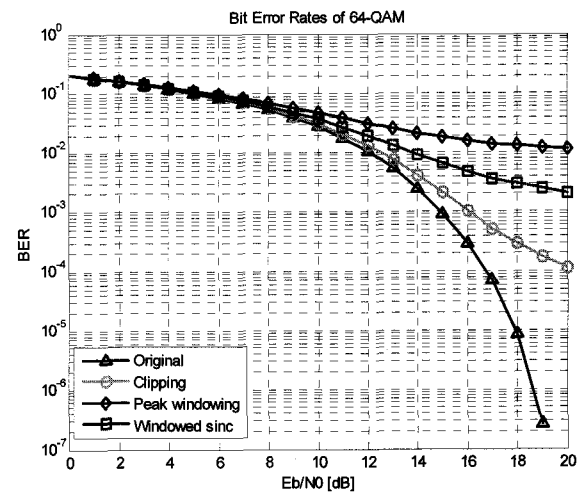
그림 11. 16-QAM 변조에서 누적분포도의 비교 (WL=101)  
Fig. 11. Comparison of the cumulative distributions for 16-QAM (WL=101).



(a) QPSK



(b) 16-QAM



(c) 64-QAM

그림 12. QPSK, 16-QAM, 64-QAM 변조에 대하여 비트 오율 비교 (WL=101)  
Fig. 12. Comparison of the bit error rates for QPSK, 16-QAM and 64-QAM (WL=101).

럼 왜곡을 비교한 것으로 표 2의 모의실험 조건에서 윈도우 길이를 101로 설정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 기존의 피크 윈도우 기반의 PAPR 감소기법 보다는 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법을 적용하였을 때 스펙트럼 왜곡 감소효과가 저하되지만 클리핑 기법과 비교하였을 때 월등히 스펙트럼 왜곡이 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 11은 16-QAM 변조에 대하여 기존의 피크 윈도우 기반의 PAPR 감소기법과 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법의 누적분포도 (cumulative distribution)를 비교한 것으로 실제 전송되는 신호  $y(n)$ 의 PAPR에 대하여 다음과 같이 정의되는 누적분포도를 측정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{Cumulative Distribution} \\ & = \text{Prob}(\text{OFDM Symbol's PAPR} > \text{PAPR}) \end{aligned} \quad (14)$$

그림 11에 나타난 것처럼 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법을 적용하였을 때  $10^{-4}$ 의 누적분포에 대하여 원신호의 PAPR 보다 약 3.6dB 개선됨을 알 수 있다. 또한 기존의 피크 윈도우 기법보다도 PAPR 감소 효과가 개선됨을 관측하였다.

그림 12는 QPSK, 16-QAM, 64-QAM 변조에 대하여 기존의 피크 윈도우 기반의 PAPR 감소기법과 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법의 비트오율을 비교한 것이다. QPSK 변조의 경우, 결정경계 (decision region)가 넓기 때문에 세 가지 기법 모두 원신호와 비슷한 비트오율을 보여주고 있다. 하지만 16-QAM과 64-QAM 변조에서는 제안된 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법이 기존의 피크 윈도우 기반의 PAPR 감소기법보다 비트오율이 향상됨을 관측할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 polar transmitter를 OFDM과 같은 광대역 통신 시스템에 적용하기 위해 수신단의 구조에 변화를 주지 않으며 추가적인 정보의 전송이 필요 없이 기존 수신기를 그대로 사용할 수 있는 windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법을 제안하였다. 기존의 피크 윈도우 기반의 PAPR 감소기법은 클리핑 기법에 비해 월등하게 스펙트럼 특성이 좋을 뿐만 아니라, 부가 정보 없이도 PAPR 감소 효과를 얻을 수 있다. 그러나

신호 진폭을 특정 레벨 이하로 제한시키기 때문에 피크 주변의 신호 왜곡으로 인해 수신 비트오율의 성능이 저하되고 특정 레벨을 넘는 피크가 매우 인접하게 발생할 경우 윈도우가 피크 주변의 인접 신호를 과도하게 억제 시킴으로써 성능 열화가 발생할 수 있는 단점이 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 윈도우 함수에 sinc 함수를 적용하여 모의실험을 한 결과, windowed-sinc 함수 기반의 PAPR 감소기법은 인접된 피크에 영향을 덜 미침으로써 기존의 피크 윈도우 기법과 유사한 스펙트럼 성능을 유지하면서 수신 비트오율 및 PAPR 감소 측면에서 더 좋은 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 또한 다양한 윈도우 형태 중에서 Hanning 윈도우를 적용하고 윈도우 길이를 101로 설정하였을 때 효율적인 PAPR 감소와 더불어 클리핑으로 인한 스펙트럼 왜곡이 감소함을 관측하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Groe, "Polar Transmitters for Wireless Communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 45, no. 9, pp. 58-63, Sep. 2007.
- [2] 김준형, 정재호, 권현국, 이광천, "차세대 RF 트랜시버 기술 동향," *전자통신동향분석*, vol. 23, no. 3, pp. 72-81, 2008년 6월.
- [3] M. Talonen and S. Lindfors, "System Requirements for OFDM Polar Transmitter," *Proc. Circuit Theory and Design 2005*, vol. 3, pp. 69-72, Aug. 2005.
- [4] R. Prasad, *OFDM for Wireless Communications Systems*, Artech House, 2004.
- [5] S. C. Cripps, *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*, Northwood, MA: Artech House, 1999.
- [6] A. Chini, Y. Wu, M. El-Tanny, and S. Mahmoud, "Hardware nonlinearities in digital TV broadcasting using OFDM modulation," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 44, no. 1, pp. 12-21, Mar. 1998.
- [7] E. Costa, M. Midrio, and S. Pupolin, "Impact of amplifier nonlinearities on OFDM transmission system performance," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 3, no. 2, Feb. 1999.
- [8] X. Li and L. J. Cimini, "Effects of Clipping and Filtering on the Performance of OFDM," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 5, pp. 131-133, May 1998.
- [9] R. Van Nee and A. De Wild, "Reducing the peak-to-average power ratio of OFDM," *Proc.*



- IEEE VTC'98*, vol. 3, pp. 2072-2076, May 1998.
- [10] A. E. Jones, T. A. Wilkinson, and S. K. Barton, "Block coding scheme for reduction of peak to mean envelope power ratio of multicarrier transmission schemes," *IEE Electr. Lett.*, vol. 30, no. 25, pp. 2098-2099, Dec. 1994.
- [11] R. W. Bauml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping," *IEE Electr. Lett.*, vol. 32, no. 22, pp. 2056-2057, Oct. 1996.
- [12] L. J. Cimini Jr. and N. R. Sollenberger, "Peak-to-average power ratio reduction of OFDM signal using partial transmit sequences," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 4, no. 3, pp. 86-88, Mar. 2000.
- [13] L. R. Kahn, "Single sideband transmission by envelope elimination and restoration," *Proc. IRE*, vol. 40, no. 7, pp. 803-806, Jul. 1952.
- [14] P. Reynaert and M. S. J. Steyaert, "A 1.75 GHz Polar Modulated CMOS RF Power Amplifier for GSM-EDGE," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 40, no. 12, Dec. 2005.
- [15] O. Vaananen, J. Vankka, and K. Halonen, *Effect of Clipping in Wideband CDMA System and Simple Algorithm for Peak Windowing*, Helsinki University of Technology, 2002.
- [16] O. Vaananen, J. Vankka, and K. Halonen, "Simple algorithm for peak windowing and its application in GSM, EDGE and WCDMA systems," *IEE Proc.-Commun.*, vol. 152, no. 3, pp. 357-362, Jun. 2005.
- [17] 서만중, 심희성, 임성빈, 정재호, 이광천, "OFDM Polar Transmitter에서 피크 윈도우링 기반의 PAPR 감소기법의 성능평가," *대한전자공학회논문지*, Vol. 45, No. 12, pp. 42-48, Dec. 2008.

---

 저 자 소 개
 

---



서 만 중(학생회원)  
 2005년 한국교육개발원  
 정보통신공학과 학사  
 2007년 숭실대학교  
 정보통신공학과 석사  
 2007년~현재 숭실대학교  
 정보통신공학과  
 박사과정 재학중

<주관심분야 : OFDM PAPR 감소기법, DVB-T 시스템, Super-RENS 시스템, 비선형 신호처리>



심 희 성(학생회원)  
 2007년 한국교육개발원  
 컴퓨터과학과 학사  
 2008년~현재 숭실대학교  
 정보통신공학과  
 석사과정 재학중

<주관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, FPGA>



임 성 빈(평생회원)  
 1986년 서울대학교  
 전자공학과 학사  
 1988년 서울대학교  
 전자공학과 석사  
 1994년 University of Texas at  
 Austin 전기 및 컴퓨터  
 공학과 박사

1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부  
 교수

<주관심분야 : 비선형 신호처리, 통신 시스템, 디지털 방송 시스템>