

논문 2008-45TC-12-7

OFDM polar transmitter에서 피크 윈도우잉 기반의 PAPR 감소기법의 성능평가

(Performance Evaluation of a Peak Windowing-Based PAPR Reduction Scheme in OFDM Polar Transmitters)

서만중*, 심희성*, 임성빈**, 정재호***, 이광천***

(Manjung Seo, Heesung Shim, Sungbin Im, Jaeho Jung, and Kwangchun Lee)

요약

차세대 무선 통신 시스템은 멀티밴드/멀티모드 동작이 가능한 RF 송수신기를 필요로 하고 있다. Polar transmitter는 효율적인 switched-mode RF 전력증폭기를 사용함으로써 높은 효율성을 얻을 수 있기 때문에 EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 및 WLAN (Wireless Local Area Network)과 같이 고속의 데이터 전송을 지원하는 시스템에 적합한 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 수신단의 구조에 변화를 주지 않으며 또한 추가적인 정보의 전송이 필요 없이 기존 수신기를 그대로 사용할 수 있는 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) 감소기법을 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) polar transmitter에 적용하여 그 성능을 평가하였다. 이 방법은 polar 변조된 신호에 대하여 피크 윈도우잉을 사용한 것으로 다양한 윈도우 형태와 길이를 적용하여 비트오율 (Bit Error rate; BER)과 오차 벡터 크기 (Error Vector Magnitude; EVM)를 측정하였다. 모의실험 결과, 제안된 기법은 효율적인 PAPR 감소와 더불어 클리핑으로 인한 대역외 왜곡 (out-of-band distortion)이 감소함을 관측하였다.

Abstract

Next generation wireless communication systems require RF transceivers that enable multiband/multimode operations. Polar transmitters are known as good candidates for high data rate systems such as EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), and WLAN (Wireless Local Area Network) because they can obtain high efficiency by using efficient switched-mode RF power amplifiers. In this paper, we investigate the performance of a simple peak windowing scheme for the OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) polar transmitter, which requires no change of a receiver structure or no additional information transmission. The approach we employed is to apply the peak windowing scheme to the amplitude modulated signals of the polar transmitter to reduce the PAPR (Peak-to-Average Power Ratio). 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 mitigates out-of-band distortion introduced by clipping along with PAPR reduction.

Keywords : OFDM, PAPR, EVM, polar transmitter, peak windowing

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

*** 정회원, 한국전자통신연구원
(Electronics and Telecommunications Research Institute)

※ 본 논문은 한국전자통신연구원(ETRI)의 연구비 지원에 의해 이루어졌음

접수일자: 2008년10월31일, 수정완료일: 2008년11월20일

I. 서론

최근 멀티밴드/멀티모드 동작이 가능한 차세대 RF 송수신기에 대한 수요와 필요성이 증가함에 따라 이를 실현할 수 있는 송수신기의 구조와 특성에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있는 가운데 polar transmitter^[1-2]는 멀티밴드/멀티모드 구현에 적합한 송신기 중의 하나

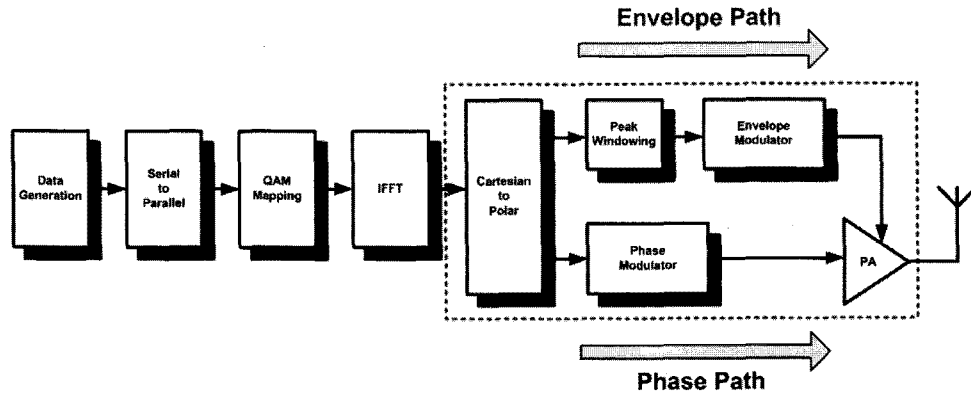


그림 1. OFDM polar transmitter의 구조
Fig. 1. Structure of the OFDM polar transmitter.

로 인식되고 있다.

Polar transmitter는 내부에서 디지털적으로 반송파의 amplitude와 phase 신호를 독립적으로 처리하게 된다. 기존의 transmitter와는 다르게 내부에서 디지털적으로 처리가 되기 때문에 다양한 통신 표준에 대해서 DSP 처리가 가능하게 되었다. 그러나 현재는 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.^[2~3] Polar transmitter를 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 과 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.^[4] 이러한 신호의 높은 첨두값 (peak)으로 인한 비선형 왜곡을 피하기 위하여 일반적으로 송신기에서는 상당한 크기의 백오프 (back-off)를 사용하여야 한다. 이로 인하여 증폭기의 출력이 낮아지며 또한 효율이 감소한다.^[5] 일반적인 OFDM 통신 시스템에서는 IFFT를 수행 후 complex 신호에 관해 PAPR 감소기법을 적용한다. 하지만, 본 논문에서는 OFDM 통신 시스템에 polar transmitter를 적용하기 위해 그림 1 과 같이 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 II 장에서는 polar transmitter의 구조에 대하여 간략히 살

펴보고 III장에서는 본 논문에서 제안하는 피크 윈도우링 기반의 PAPR 감소기법에 관해 설명한다. 또한, IV장에서는 제안된 PAPR 감소기법을 OFDM polar transmitter에 적용하여 성능을 평가하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. Polar Transmitter 구조

Polar transmitter의 동작원리는 1952년에 Kahn^[6]에 의해서 처음 제안되었던 EER (Envelope Elimination and Restoration) 방법과 유사하다. 기존의 EER 방법에서는 들어오는 RF 입력신호를 각각 envelope detector와 limiter와 같은 비선형 소자들을 이용해서 envelope 신호와 phase 신호를 추출하였다. 그러나 비선형 소자를 사용함으로써 구현하는데 여러 가지 문제점을 야기

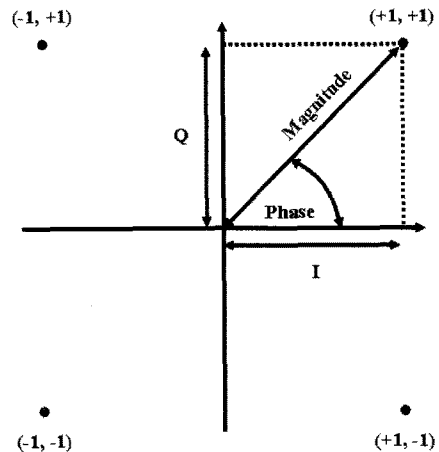


그림 2. QPSK 심볼의 polar와 rectangular 좌표계를 사용하여 나타낸 성상도
Fig. 2. Constellation diagram showing polar and rectangular representation of QPSK symbols.

시켰다. 하지만 polar transmitter에서는 기저대역 (baseband)에서 envelope 신호와 phase 신호를 이미 분리해서 내보내 주기 때문에 envelope detector와 limiter와 같은 부가적인 회로들이 더 이상 필요하지 않게 되었고 이에 따른 문제점들도 해결될 수 있게 되었다.

Polar transmitter의 구조는 송신신호를 크기 정보와 위상 정보로 나누어 위상정보는 VCO (Voltage Control Oscillator) 및 PLL (Phase Locked Loop)를 사용하여 위상변조 후 전력증폭기로 전송하고, 크기 정보는 전력증폭기의 바이어스 전류/전압을 제어하여 송신하는 방식이다. Polar 변조는 그림 2와 같이 기저대역 I/Q 신호를 극좌표 형식으로 변환하여 나타낸다.

$$A(t) = \sqrt{I(t)^2 + Q(t)^2} \tag{1}$$

$$\phi(t) = \tan^{-1}[Q(t)/I(t)] \tag{2}$$

여기서, $I(t)$, $Q(t)$, $A(t)$, $\phi(t)$ 는 각각 in-phase, quadrature, envelope, phase 신호를 나타낸다.

Polar transmitter는 $A(t)$ 와 $\phi(t)$ 를 각각 다른 경로에 따라 증폭하는 방법으로 VCO의 control voltage를 이용하여 $\phi(t)$ 의 정보를 전력증폭기에 전달하고 전력증폭기의 VCC/VDD 등을 제어하여 $A(t)$ 의 정보를 최종적으로 $\phi(t)$ 와 결합하여 증폭시킨다. $\phi(t)$ 는 VCO의 출력으로 크기가 일정하고 위상정보만 실린 신호이기 때문에 전력증폭기는 선형성이 고려되지 않는 on/off 상태만을 갖는 switching mode의 전력증폭기인 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.^[1~2, 7]

III. PAPR 감소기법

PAPR을 감소시키는 가장 간단한 방법은 신호의 최대 크기를 특정 레벨로 제한시키는 신호의 클리핑이다. 그러나 클리핑은 OFDM 신호의 크기를 왜곡시킴으로써 일종의 자기 간섭이 발생되어 비트오율이 저하되고, 대역 외로의 스펙트럼 방출이 심각하게 증가하는 문제가 발생한다.^[4] 본 논문에서는 polar 변조된 envelope 신호의 PAPR을 감소하고 클리핑으로 인한 대역외 잡음을 감소시키기 위해 피크 윈도우 기반의 PAPR 감소기법을 적

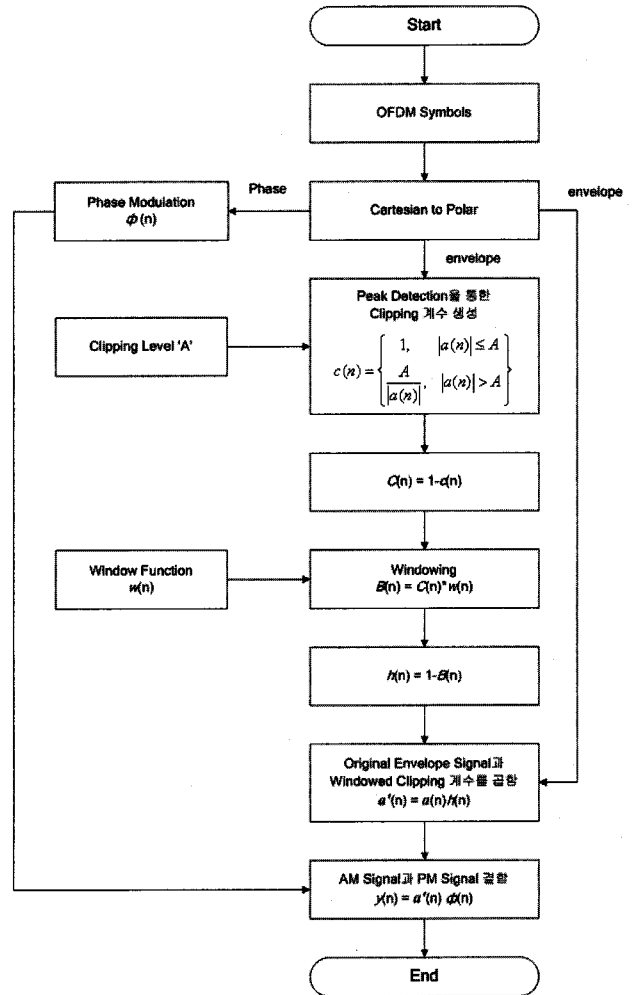


그림 3. 제안된 기법의 순서도

Fig. 3. Flow chart of proposed algorithm.

용하였다.^[8~9] 제안된 피크 윈도우 기법은 그림 3과 같은 절차를 거친다. 우선 입력되는 OFDM 심볼을 envelope 신호와 phase 신호로 분리한 후에 다음과 같은 peak detection을 통해 클리핑 계수 $c(n)$ 을 생성한다.

$$c(n) = \begin{cases} 1 & , |a(n)| \leq A \\ \frac{A}{|a(n)|} & , |a(n)| > A \end{cases} \tag{3}$$

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 윈도우 함수 $w(n)$ 과 컨볼루션을 실시하여 $B(n)$ 을 생성한다.

$$B(n) = [1 - c(n)] * w(n) \tag{4}$$

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

$$h(n) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} [1 - c(k)]w(n - k) \quad (5)$$

이 때, k 는 첨두의 위치값을 의미하고, 피크 윈도우링된 클리핑 계수 $h(n)$ 은 클리핑 레벨 A 를 유지하기 위해 다음과 같이 클리핑 계수 $c(n)$ 보다 클 수 없다.

$$1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} [1 - c(k)]w(n - k) \leq c(n) \quad (6)$$

마지막으로 피크 윈도우링된 클리핑 계수 $h(n)$ 을 원래의 envelope 신호에 곱함으로써 PAPR 감소와 더불어 대역의 왜곡을 줄일 수 있다.

$$a'(n) = a(n) \cdot h(n) \quad (7)$$

그림 4는 일반적인 클리핑 신호와 피크 윈도우링된 신호의 진폭을 비교한 것으로 그림에 나타난 것처럼 피크 윈도우링을 통해 첨두값을 클리핑 레벨 이하로 제한함과 동시에 피크 윈도우링된 클리핑 계수에 의한 smoothing 효과로 대역의 왜곡을 감소시킬 수 있다.

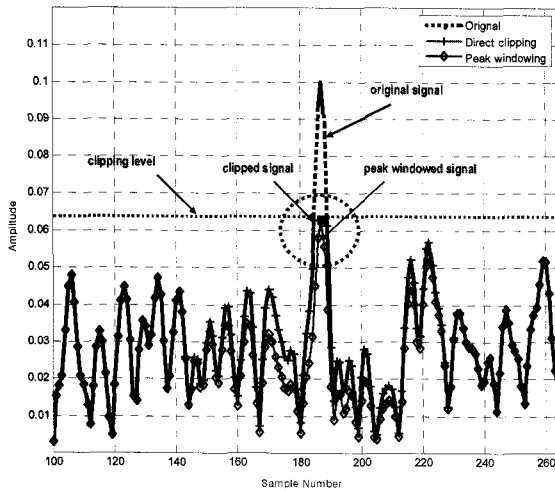


그림 4. 클리핑된 신호와 피크 윈도우링된 신호에 대한 시간영역 파형의 진폭 비교

Fig. 4. Amplitude comparison of clipped and peak windowed signals in the time domain.

IV. 모의실험 및 결과

이 장에서는 OFDM polar transmitter의 PAPR을 감소시키고 스펙트럼 왜곡을 최소화하기 위해 다양한 형태의 윈도우 함수를 적용하여 실험을 수행하였다. 표 1은 QPSK 변조에 대하여 윈도우 길이는 31로 고정하고 클리핑 레벨에 따른 오차 벡터 크기 (Error Vector

Magnitude : EVM)를 나타낸 것으로 오차 벡터 크기는 다음과 같이 측정하였다.

$$e = r - z \quad (8)$$

$$EVM = \sqrt{\frac{E[e^2]}{E[r^2]}} \times 100\% \quad (9)$$

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

표 1에 나타난 것처럼 수치상으로 Gaussian 윈도우를 적용하였을 때 EVM 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. 하지만 그림 5에 나타난 윈도우 형태에 따른 주파수 스펙트럼을 살펴보면 Gaussian 윈도우를 적용하였을 때 스펙트럼 왜곡이 크게 발생하는 것을 알 수 있

표 1. QPSK 변조에 대하여 클리핑 레벨에 따른 오차 벡터 크기

Table 1. Error vector magnitudes according to the clipping levels for QPSK.

Clipping level	Window type (EVM, %)			
	Hanning	Hamming	Gaussian	Kaiser
RMS	42.5205	43.4923	42.4979	55.2068
RMS+1dB	27.9904	28.5955	27.8664	36.4421
RMS+2dB	15.351	15.6595	15.227	19.8593
RMS+3dB	6.284	6.4302	6.2323	7.9937

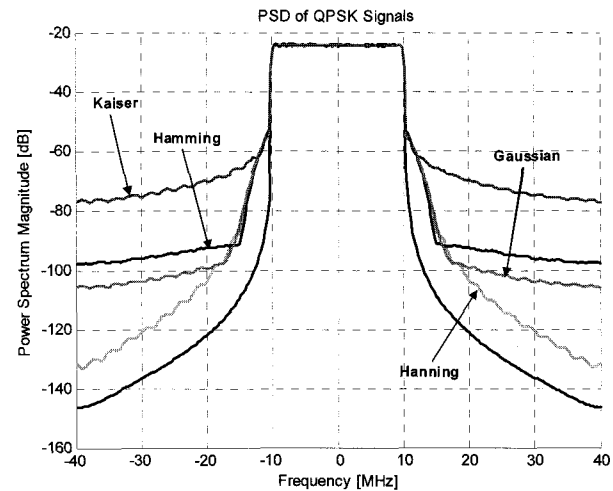


그림 5. QPSK 변조에 대하여 윈도우 형태에 따른 주파수 스펙트럼 (CL=RMS+3dB)

Fig. 5. Frequency spectra according to the window types for QPSK (CL=RMS+3dB).

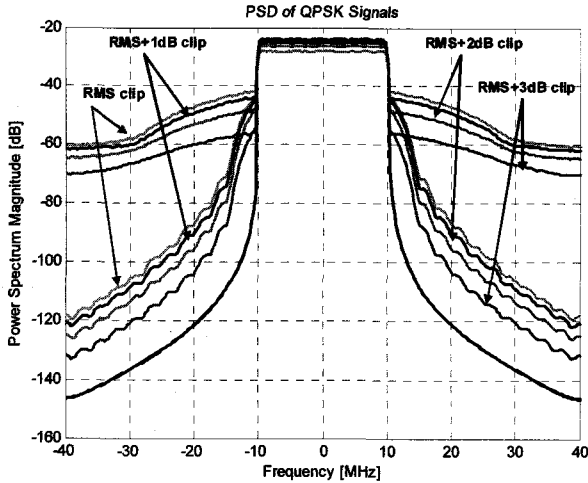


그림 6. 클리핑과 피크 윈도우의 주파수 스펙트럼 비교
Fig. 6. Comparison of the clipping and the peak windowing in terms of frequency spectrum.

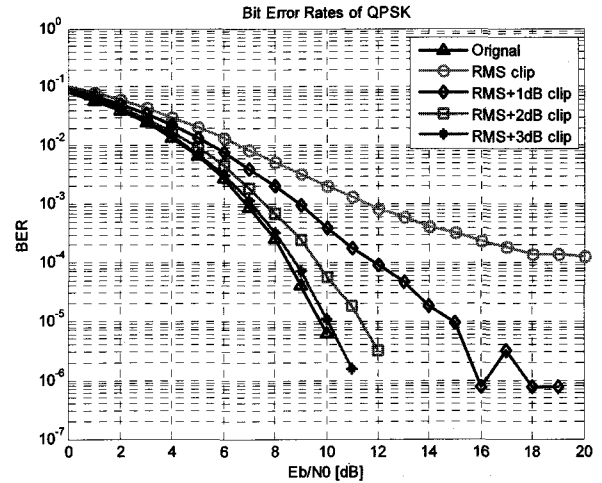


그림 8. QPSK 변조에 대하여 클리핑 레벨에 따른 비트 오율
Fig. 8. Bit error rates according to the clipping levels for QPSK.

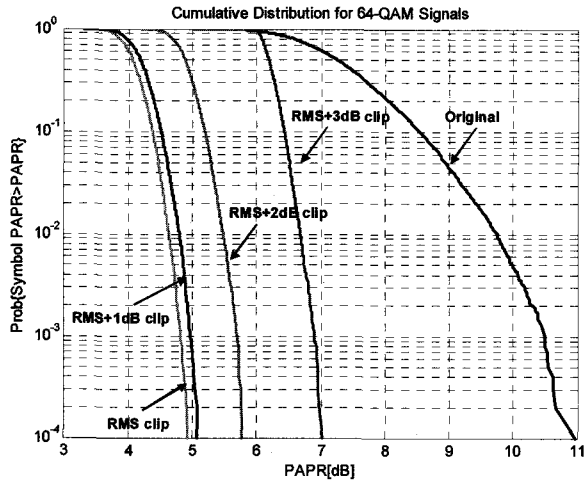


그림 7. 64-QAM 변조에 대하여 클리핑 레벨에 따른 누적분포도
Fig. 7. Cumulative distribution according to the clipping levels for 64-QAM.

다. 따라서 스펙트럼 왜곡이 최소이면서 Gaussian 윈도우와 유사한 EVM 성능을 가지는 Hanning 윈도우를 적용하는 것이 적절하다고 사료된다.

그림 6은 일반적인 클리핑에 의한 스펙트럼 왜곡과 본 논문에서 제안하는 피크 윈도우 기법을 적용하였을 때의 스펙트럼 왜곡을 클리핑 레벨에 따라 도시한 것으로 이 때 사용된 윈도우는 Hanning 윈도우이다. 그림에 나타난 것처럼 피크 윈도우를 적용하였을 때 스펙트럼 왜곡이 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 클리핑 레벨이 낮아짐에 따라 스펙트럼 왜곡이 증가함을 알 수 있다.

그림 7은 64-QAM 변조에 대하여 Hanning 윈도우를

표 2. 16-QAM 변조에 대하여 윈도우 길이에 따른 오차 벡터 크기

Table 2. Error vector magnitudes according to the window lengths for 16-QAM.

Window length	Window type (EVM, %)			
	Hanning	Hamming	Gaussian	Kaiser
11	4.8956	4.9664	4.76	6.2651
31	6.2555	6.3269	6.1406	7.9288
51	7.0099	7.1127	6.8796	9.1906
71	7.6352	7.7687	7.4873	10.2552
91	8.1906	8.3467	8.022	11.1476
111	8.6947	8.8686	8.5084	11.918

적용하고 윈도우 길이는 31로 설정하였을 때, 클리핑 레벨에 따른 누적분포도를 도시한 것으로 다음과 같이 정의되는 누적분포도 (cumulative distribution)를 측정하였다.

$$Cumulative\ Distribution = Prob(OFDM\ Symbol's\ PAPR > PAPR) \tag{10}$$

그림 7에서 비트오율의 성능저하가 최소인 RMS+3dB의 클리핑 레벨을 적용하였을 때 10^{-4} 의 누적분포에 대하여 원신호의 PAPR 보다 약 4dB 개선됨을 알 수 있다. 그림 8은 QPSK 변조에 대하여 앞서 실시한 실험과 동일한 조건에서 클리핑 레벨에 따른 비트오율을 도시

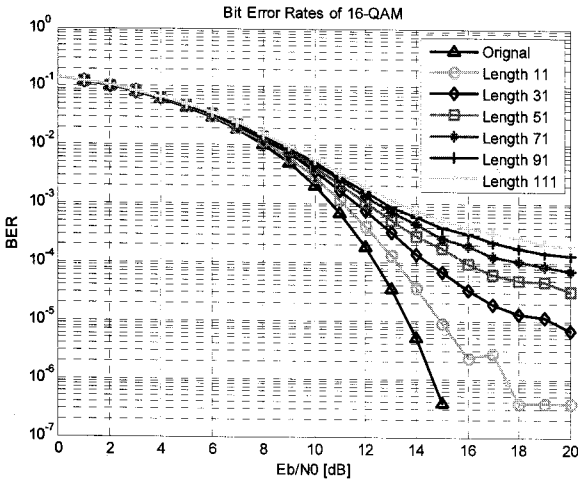


그림 9. 16-QAM 변조에 대하여 윈도우 길이에 따른 비트오율

Fig. 9. Bit error rates according to the window lengths for 16-QAM.

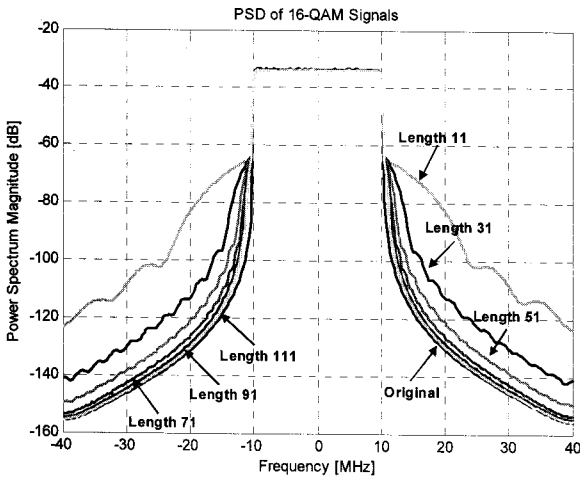


그림 10. 16-QAM 변조에 대하여 윈도우 길이에 따른 주파수 스펙트럼

Fig. 10. Frequency spectrum according to the window lengths for 16-QAM.

한 것으로 그림 7에 나타난 것처럼 클리핑 레벨이 낮아질수록 PAPR 감소 성능은 우수하지만 비트오율의 성능은 악화되는 것을 알 수 있다.

표 2는 16-QAM 변조에 대하여 윈도우 길이에 따른 오차 벡터 크기를 나타낸 것이다. 이때 적용된 클리핑 레벨은 $RMS+3dB$ 이다.

그림 9는 16-QAM 변조에 대하여 클리핑 레벨은 $RMS+3dB$ 로 설정하고, Hanning 윈도우를 적용하였을 때 윈도우 길이에 따른 비트오율을 도시한 것으로 윈도우 길이가 늘어남에 따라 비트오율이 저하되는 것을 알 수 있다. 하지만 그림 10에 나타난 것처럼 스펙트럼 왜

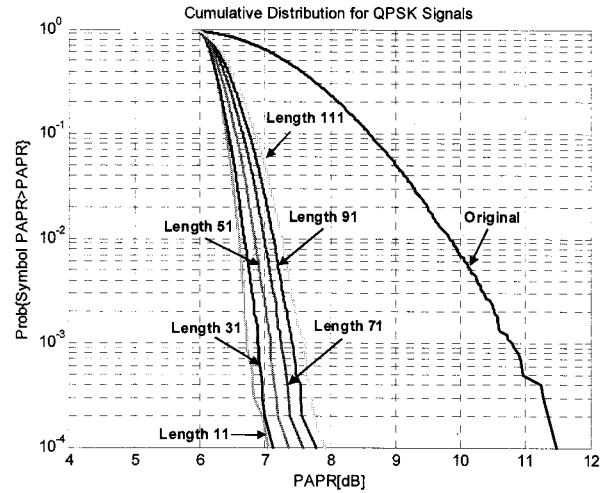


그림 11. QPSK 변조에 대하여 윈도우 길이에 따른 누적 분포도

Fig. 11. Cumulative distribution according to the window lengths for QPSK.

곡은 감소한다. 그림 11은 QPSK 변조에 대하여 클리핑 레벨은 $RMS+3dB$ 로 설정하고, Hanning 윈도우를 적용하였을 때 윈도우 길이를 11에서 111까지 20단위로 변화시켜가며 PAPR 누적분포도를 측정하여 원신호의 PAPR 보다 약 4.3dB 개선됨을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 OFDM polar transmitter에서 수신단의 구조에 변화를 주지 않으며 또한 추가적인 정보의 전송이 필요 없이 기존 수신기를 그대로 사용할 수 있는 PAPR 감소기법을 적용하여 그 성능을 평가하였다. 이 방법은 polar 변조된 envelope 신호에 대하여 피크 윈도우링된 클리핑 계수를 곱하는 것으로 다양한 윈도우 형태와 길이를 적용하여 비트오율과 오차 벡터 크기를 측정하였다. 모의실험 결과, 다양한 윈도우 형태 중에서 Hanning 윈도우를 적용하였을 때 클리핑으로 인한 스펙트럼 왜곡이 최소로 감소하였다. 또한 윈도우 길이를 11에서 111까지 20단위로 변화시켜가며 실험을 한 결과, 윈도우 길이가 늘어날수록 스펙트럼의 왜곡은 감소하지만 비트오율과 PAPR 감소 성능이 저하됨을 알 수 있었다. 따라서 윈도우 길이와 비트오율 및 PAPR 성능의 trade-off 관계를 고려할 때 윈도우의 길이를 31로 설정하였을 때 효율적인 PAPR 감소와 더불어 클리핑으로 인한 스펙트럼 왜곡이 감소함을 관측하였다.

참고 문헌

- [1] John Groe, "Polar Transmitters for Wireless Communications," *IEEE Commun.*, Vol. 45, No. 9, pp. 58-63, Set. 2007.
- [2] 김준형, 정재호, 권헌국, 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] Ramjee 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] L.R. Kahn, "Single sideband transmission by envelope elimination and restoration," *Proc. IRE*, Vol. 40, No. 7, pp. 803-806, Jul. 1952.
- [7] Patrick Reynaert and Micheil 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.
- [8] O. Vaananen, J. Vankka, and K. Halonen, *Effect of Clipping in Wideband CDMA System and Simle Algorithm for Peak Windowing*, Helsinki University of Technology, 2002.
- [9] 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.

저자 소개



서만중(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>



심희성(학생회원)
2007년 한국교육개발원
컴퓨터과학과 학사
2008년~현재 숭실대학교
정보통신공학과
석사과정 재학중

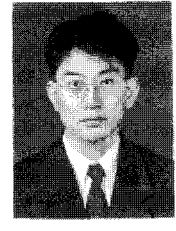
<주관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, FPGA>



임성빈(정회원)
1986년 서울대학교
전자공학과 학사
1988년 서울대학교
전자공학과 석사
1994년 University of Texas at
Austin 전기 및 컴퓨터
공학과 박사

1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
정교수

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



정재호(정회원)
1994년 경북대학교
전자공학과 학사
1996년 경북대학교
전자공학과 석사
2004년 경북대학교
전자공학과 박사

2000년~현재 한국전자통신연구원 이동RF연구팀
선임연구원

<주관심분야 : 고주파 회로설계, 압전체 수치해석, RF 시스템설계>



이광천(정회원)
1986년 중앙대학교
전자공학과 학사
1988년 중앙대학교
전자공학과 석사
1988년~현재 한국전자통신
연구원 이동 RF연구팀장

<주관심분야 : 이동통신 RF시스템, RFIC>