

논문 2008-45TC-2-10

OFDMA 하향링크 시스템에서의 PAPR 저감을 위한 다단계 및 가변길이 첨두 윈도우 기법들

(Multi-stage and Variable-length Peak Windowing Techniques for
PAPR Reduction of OFDMA Downlink Systems)

이 성 은*, 민 현 기**, 방 극 준****, 홍 대 식***

(Sungeun Lee, Hyunkee Min, Keukjoon Bang, and Daesik Hong)

요 약

본 논문에서는 OFDMA 하향링크 시스템에서 PAPR를 저감할 수 있는 두 가지 새로운 첨두 윈도우(peak windowing) 기법을 제안한다. 제안한 첨두 윈도우 기법들은 기존의 첨두 윈도우 기법에서 매우 인접한 여러 개의 첨두들 또는 주변 신호에 비해 상대적으로 큰 첨두에 의해 발생하는 과도한 신호 왜곡 효과를 완화시킨다. 여러 단계의 임계치를 이용한 다단계 첨두 윈도우(multi-stage peak windowing) 기법은 인접 신호에 비해 상대적으로 매우 큰 첨두들을 우선적으로 제거함으로써, 윈도우가 과도하게 인접 신호를 억제할 수 있는 경우를 방지한다. 다음으로 가변적인 윈도우 길이를 이용하는 가변길이 첨두치 윈도우(variable-length peak windowing) 기법은 연속적인 첨두가 매우 인접하여 발생하였을 경우 여러 첨두에 적용되는 윈도우들이 중첩되지 않도록 윈도우 길이를 줄여서 과도하게 인접 신호가 억제되는 경우를 줄이게 된다. 제안한 첨두 윈도우 기법들은 인접하여 발생하는 연속적인 첨두치나 상대적으로 큰 첨두에 의한 과도한 신호 억제를 미연에 방지함으로써 기존의 첨두 윈도우 기법에 비해서 우수한 성능을 나타낸다. 기존의 첨두 윈도우 기법 및 제안한 첨두 윈도우 기법의 수신비트 오류(BER), 스펙트럼 특성은 OFDMA를 적용한 WiBro 하향링크 모의 실험 환경을 통해서 평가되며, 이를 통해 제안한 첨두 윈도우 기법이 월등한 성능을 나타냄을 검증한다.

Abstract

This paper proposes two peak-windowing algorithms for peak-to-average power reduction (PAPR) of orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) downlink systems. The proposed algorithms mitigate the effect of excessive suppression due to successive peaks or relatively high peaks of the signal. First, multi-stage peak windowing algorithm is proposed, which exploits multiple threshold of target PAPR in order to step down the peaks gradually. Secondary, variable-length peak windowing algorithm is proposed, which adapts the window length with respect to the existence of successive peaks within a half of window length. Therefore, the proposed method reduces the distortion of signal amplitude caused by window overlapping. The proposed algorithms outperform the conventional peak windowing with the aid of window-length adaptation or sequential peak power reduction. Simulation results show the efficiency of the proposed algorithms over OFDMA downlink systems, especially WiBro systems.

Keywords : 다중 반송파, OFDMA, WiBro, PAPR, Peak Windowing

* 정회원, ** 학생회원, *** 평생회원, 연세대학교 전기전자공학부
(Yonsei University)

**** 정회원, 인덕대학교

(Induk Institute of Technology)

※ 본 과제(결과물)는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실 지원사업의 연구결과임.

※ 이 논문은 한국과학재단이 주관하는 국가지정연구실사업(NRL:R0A-2007-000-20043-0)의 지원을 받아 연구되었음.

접수일자: 2007년9월14일, 수정완료일: 2008년2월14일

I. 서론

최근 차세대 다중 사용자 광대역 통신시스템에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있다. 직교 주파수 분할 다중 접속 방식(OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기법은 다중 사용자가 서로 다른 부반송파를 통해 동시에 신호를 전송하는 방식이다. 이 방식은 주파수 선택적 페이딩 현상과 협대역 간섭에 강하고 사용자간 효율적인 자원분배 능력으로 인해 차세대 광대역 무선 다중 접속 방식으로 제안되고 있다^[1~2]. 그러나 OFDMA 시스템은 직교 주파수 분할 접속 방식(OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템과 마찬가지로 전파 지연 및 송수신 발전기 오차에 의한 시간 및 주파수 동기 오차와 다중 부반송파 신호가 동위상으로 중첩될 때 발생하는 높은 PAPR(Peak to Average Power Ratio)에 의해 성능 열화가 발생하게 된다^[3~5]. 특히, 높은 PAPR을 가지는 신호는 송신 고출력 증폭기(HPA, High Power Amplifier)의 비선형 왜곡을 유발하므로 스펙트럼 특성을 왜곡시키고 수신비트오율(BER, Bit Error Rate) 성능을 저하시키게 된다^[6~7].

이러한 영향을 완화시키기 위해 OFDMA 시스템에서 다양한 PAPR 저감 기법들이 제안되었다^[8~14]. PAPR에 의한 성능 열화는 OFDM 시스템 및 OFDMA 하향링크 시스템이 동일하기 때문에 이러한 기법들은 OFDMA 하향링크 시스템에도 동일하게 적용될 수 있다. PAPR 저감 기법들은 수신단으로의 부가 정보(Side Information) 전송 유무에 따라 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 송신단에서 PAPR 저감 기법을 적용하고 수신단으로는 아무 부가 정보를 보내지 않는 기법과^[8~10], 송신단에서 적용한 PAPR 저감 기법과 관련한 부가 정보를 수신단으로 전송하고 수신단에서는 이 부가 정보를 이용하여 신호를 복원하는 방식이다^[11~14]. 전자의 경우 특별한 규격의 변경 없이도 사용할 수 있는 방법으로 대표적으로 clipping^[8] 및 첨두 윈도우링(peak windowing)^[9~10] 기법 등이 있다. 후자의 경우 시스템 설계 시에 부가 정보에 관한 규격 및 프로토콜이 정의되어야 하며, 대표적으로 Coding^[11], SLM(Selective Mapping)^[12] 및 PTS(Partial Transmit Sequence)^[13] 기법 등이 있다.

PAPR 저감을 위해 위와 같은 다양한 방법들이 연구되어 왔지만, 실질적인 구현 관점에 있어서는 clipping 및 첨두 윈도우링 기법이 선호되고 있다. 특히 첨두 윈도

잉 기법은 clipping 기법에 비해 월등하게 스펙트럼 특성이 좋을 뿐만 아니라, 부가 정보 없이도 PAPR 저감 효과를 얻을 수 있다. 그러나 첨두 윈도우링 기법은 신호 진폭을 특정 임계치 이하로 제한시키기 때문에, 첨두 주변의 신호 왜곡으로 인해 수신비트오율 성능을 저하시킬 수 있다. 또한, 특정 임계치를 넘는 첨두가 매우 인접하여서 발생하거나 임계치를 넘는 첨두 중에서 인접 신호의 진폭에 비해 상대적으로 매우 큰 첨두가 존재할 경우, 윈도우가 첨두 주변의 인접 신호를 과도하게 억제시킴으로써 성능 열화가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 기존의 첨두 윈도우링 기법과 유사한 스펙트럼 성능을 가지면서 우수한 수신비트오율 성능을 나타내는 개선된 첨두 윈도우링 기법들을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 OFDMA 하향링크 시스템 모델 및 OFDMA 시스템에서의 PAPR을 설명한다. III장에서는 PAPR 저감을 위한 첨두 윈도우링 기법에 대해 살펴보고, 다단계 임계치 및 가변 윈도우 길이를 이용한 새로운 첨두 윈도우링 기법을 제안한다. IV장에서는 기존의 첨두 윈도우링 기법과 제안한 기법의 성능을 WiBro 하향 시스템 환경을 기반으로 한 모의실험을 통하여서 비교, 평가하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

1. WiBro 시스템 개요

그림 1은 OFDMA 하향링크 시스템의 송수신 블록도를 나타내고 있다^[1~2]. 사용자 데이터 이진 신호는 채널에 의한 버스트 에러(Burst Error)에 대처하기 위해 혼합화(scrambling)된 후 채널 부호화된다. 이후 이진신호들은 QAM 변조 과정을 거친 후 IFFT단에 인가된다. IFFT 출력신호에는 채널에 의한 ISI(Intersymbol Interference) 영향을 제거하기 위해 순환보호구간이 삽입된다. 그 후, 이 신호는 무선주파수(RF)단의 구현용이

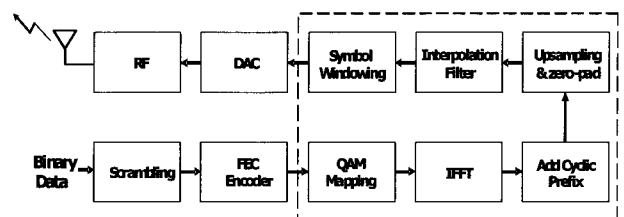


그림 1. OFDMA 하향링크 시스템의 간략한 송수신 블록도

Fig. 1. Block diagram of OFDMA Downlink systems.

를 위해 Upsampling과 zero-pad과정과 보간필터 (Interpolation Filter) 과정을 거친 후에 윈도잉, 디지털-아날로그 변환기(DAC), 무선주파수단을 통해 전송된다. 수신단에서는 위의 역과정을 거쳐 데이터 신호를 추출하게 된다.

보호구간을 포함한 OFDMA 하향링크 시스템의 기저 대역 전송신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x(n) = w_{rc}(n) \cdot \sum_{k=-N_{used}/2, k \neq 0}^{N_{used}/2} b_k e^{j2\pi k \Delta f (n - N_s)} \quad \text{for } n = -m, -m + 1, \dots, N_s + m \quad (1)$$

여기서, $w_{rc}(n)$ 은 보호구간이 삽입된 시간영역 신호에 적용되는 Raised Cosine 함수로서 스펙트럼의 대역 외 방사량 감소를 위해 적용되며 (2)와 같이 표현한다.

$$w_{rc}(n) = \begin{cases} 0.5 [1 + \cos \{ \pi(a + 1) \}] & , -m \leq n \leq m \\ 1 & , m < n \leq N_s - m \\ 0.5 [1 + \cos \{ \pi(a - \frac{N_s}{2m}) \}] & , -m < n - N_s \leq m \end{cases} \quad (2)$$

여기서, $a = \frac{n+m}{2m}$ 이고, $2m$ 은 Raised Cosine함수의 Roll-off값이 되고 m 이 클수록 대역 외 방사량이 줄어든다. 또한, N_s 는 보호대역을 포함한 총 부반송파 개수이며, N_{used} 는 DC값을 포함한 사용된 부반송파 수, b_k 는 M-QAM 신호를 나타낸다. 마지막으로 Δf 는 부반송파 간격을 의미한다.

2. PAPR in OFDMA Downlink systems

일반적으로 OFDM 및 OFDMA 시스템에서의 PAPR은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$PAPR = \max_n \frac{|x(n)|^2}{E\{|x(n)|^2\}} \quad (3)$$

높은 PAPR을 가지는 OFDM 신호가 발생하게 되면 송신 고출력 증폭기의 비선형 왜곡을 유발한다. 일반적으로 비선형 왜곡은 신호의 전력손실(In-band distortion)과 스펙트럼의 대역 외 방사(Out-of-band distortion)를 유발한다. 이는 결과적으로 신호 스펙트럼 특성을 왜곡시켜 인접채널에 간섭을 유발하고 수신 비트오율을 저하시킨다. 위와 같은 문제점을 해결하기 위

해서 OFDM 시스템에서는 PAPR 저감기법에 대한 다수의 연구가 진행되었다^[8~14]. 기존에 연구된 PAPR 저감 기법들은 부가정보 전송 여부에 따라 분류할 수 있다. 이 중 부가정보를 필요로 하지 않는 기법들은 무선 통신 시스템의 규약을 변경하지 않고도 기존의 시스템에 쉽게 적용할 수 있으며 구현이 비교적 간단하여서 실제로 시스템을 구현할 경우에 더욱 선호되는 기법이다. 표 1은 주요 PAPR 저감 기법들의 명칭 및 장단점을 나타내고 있다. 본 논문에서는 부가정보 전송이 필요 없는 Clipping 기법과 첨두 윈도잉 기법을 중심으로 고찰하도록 한다.

III. OFDMA 하향링크 시스템에서 첨두 윈도잉을 이용한 PAPR 저감 기법

1. 첨두 윈도잉 기법을 이용한 PAPR 감쇄 기법

그림 2는 OFDMA 하향링크 시스템에서 PAPR 저감 기법을 적용한 간략화된 송신 블록도이다. 일반적으로 OFDM 시스템에서 PAPR를 저감시키기 위한 가장 간단한 기법은 신호를 clipping하는 것이다.

그러나 clipping 기법은 대역 외 방사량을 심각하게 증가시키는 단점이 있다. 이러한 영향을 최소화 하기 위해 윈도잉을 적용하여 대역 외 방사량을 줄이면서 PAPR 저감 효과를 얻는 첨두 윈도잉 기법이 제안되었다^[9~10]. 첨두 윈도잉 기법은 입력 신호열에서 임계치를

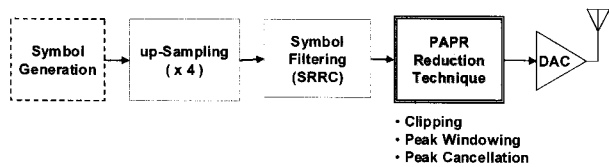


그림 2. 부가정보 전송 불필요 PAPR 저감기법이 포함된 OFDMA 시스템 전송 블록도

Fig. 2. System Block with PAPR reduction techniques.

표 1. 주요 PAPR 저감 기법들의 장단점 비교

Table 1. Comparison of common PAPR techniques.

	추가전송 불필요		추가전송 필요		
	Clipping	Peak windowing	Coding	SLM	PTS
복잡도	하	중	상	상	상
PAPR 저감효과	상	중	중	중	중
BER 성능	중	중	상	상	상
Spectrum 특성	하	중	상	상	상
비고		peak 감출필요	최적 code 도출어려움	다수개의 IFFT 필요	다수개의 IFFT 필요

넘는 신호열 부분을 주어진 윈도우링 함수(windowing function)를 이용하여 낮추어 줌으로써, PAPR 저감 효과를 볼 수 있다. 또한, 윈도우링 함수를 사용하여 첨두치 신호를 낮추기 때문에 급격한 신호열 변화를 줄임으로써 대역 외 방사량의 증가를 최소화 할 수 있다.

송신 신호의 진폭 임계치를 Γ 라 할 때, 임계치를 넘는 신호 값들 중에서 첨두 윈도우링 기법을 적용할 첨두의 위치를 나타내는 set은 (4)와 같이 정의 할 수 있다

$$N_r = \left\{ n_p \mid \begin{array}{l} |x(n_p)| > \Gamma, |x(n_p)| > |x(n_p - 1)|, \\ |x(n_p)| > |x(n_p + 1)| \end{array} \right\} \quad (4)$$

첨두 윈도우링 기법을 적용할 경우, 첨두 위치를 찾기 위하여서 추가적인 첨두 검출(peak detection) 기법이 필요하게 된다. 첨두 윈도우링 기법에 적용되는 윈도우는 아래와 같이 수식적으로 표현할 수 있다

$$x_s(n) = s(n) \cdot x(n) \quad (5)$$

여기서 $s(n)$ 는 시간 축 입력 신호열 $x(n)$ 에 곱해지는 크기조정 함수(scale function)을 의미하며, 이는 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$s(n) = 1 - \sum_{n_p \in N_r} c(n_p) \cdot w(n - n_p) \quad (6)$$

이 때, $n_p \in N_r$ 는 첨두의 위치값을 의미하고,

$c(n_p) = 1 - \Gamma/|x(n_p)|$ 는 첨두에 적용할 윈도우의 크기 값, $w(n)$ 는 첨두 윈도우링에 적용되는 윈도우링 함수를

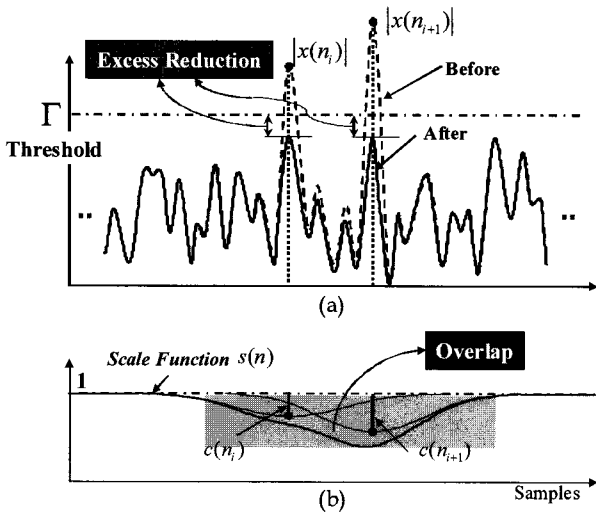


그림 3. 기존의 첨두 윈도우링 기법 및 연속적인 peak에 의한 과도한 억제

Fig. 3. Example of conventional peak windowing and excessive suppression by successive peaks.

의미한다.

첨두 윈도우링 기법은 윈도우를 통해 첨두 값을 임계치 이하로 제한함으로써, PAPR 저감 효과를 얻는 동시에, 윈도우에 의한 평활화(smoothing) 효과로 대역 외 방사량을 원 신호의 대역 외 방사량과 유사하게 유지할 수 있다. OFDM 시스템에서 기존의 첨두 윈도우링을 신호에 적용하는 예는 그림 3에 나타나 있다. 기존의 첨두 윈도우링의 경우, 윈도우의 길이보다 짧은 구간에서 연속적인 첨두가 발생하였을 경우, 윈도우가 중첩되므로 신호가 과도하게 억제된다. 따라서 불필요한 신호 억제로 인한 수신비트 오류의 성능 저하를 발생 시키게 된다.

2. 제안된 첨두 윈도우링 기법을 이용한 PAPR 감쇄 기법

기존의 첨두 윈도우링 기법은 clipping 기법과 비교하여 윈도우링 함수의 적용으로 스펙트럼 성능은 향상되나 신호 왜곡이 증가하여 수신 비트 오류 성능이 저하되는 단점을 가진다. 또한, 앞서 언급하였듯이 윈도우 길이 내에서 연속적으로 첨두가 발생하였을 경우, 과도한 PAPR 저감으로 인해 성능 저하가 발생한다. 이러한 단점을 극복하기 위해 두 가지 개선된 첨두 윈도우링 기법을 제안한다.

가. 다단계 첨두 윈도우링 기법

기존의 첨두 윈도우링 기법에서 주변의 신호 크기에 비해 상대적으로 큰 첨두가 발생하였을 경우, 큰 윈도우 값에 의해 첨두 지점을 기준으로 윈도우 길이 이내 신호에 과도한 신호 왜곡이 발생한다. 이것은 결과적으로 수신 비트 오류 성능 저하를 유발한다. 만약, 여러 단계의 임계치를 순차적으로 적용하여 첨두 윈도우링을 수행할 경우, 각 단계에 해당하는 기준 임계치보다 큰 첨두들을 윈도우링을 통해 우선적으로 저감시킨 이후에 순차적으로 다음 임계치를 넘는 첨두에 대해 윈도우링을 적용 시키므로 첨두가 밀집되어 있을 경우 각각의 첨두들에 대해 한번에 윈도우링 함수를 적용하였을 때 발생할 수 있는 과도한 억압을 미연에 방지할 수 있다. 이와 같이 다단계 임계치를 적용하여 순차적으로 첨두 윈도우링을 적용하는 기법을 “다단계 첨두 윈도우링”이라 명명한다.

다단계 첨두 윈도우링 기법의 동작은 다음과 같다. 총 M 단계의 첨두 윈도우링 기법을 적용될 때, i 번째 단계의 임계치는 $\alpha_i \Gamma$ 이며, α_i 는 다음의 조건들을 만족한다.

$$\alpha_i > \alpha_j, \text{ for } \forall i < j \quad (7)$$

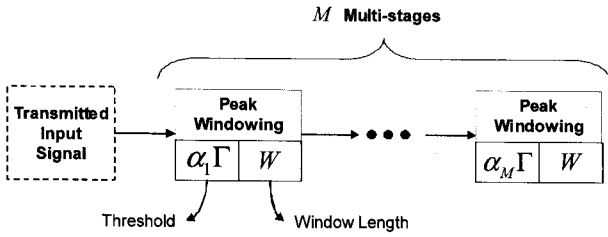


그림 4. 다단계 첨두 윈도우링 기법
Fig. 4. Multi-stage peak windowing technique.

$$\alpha_i = 1 \quad , \text{for } i = M \quad (8)$$

즉, 다단계 첨두 윈도우링 기법은, 큰 임계치부터 작은 임계치 순으로 순차적으로 첨두 윈도우링을 적용한다. 이로 인해서 주변의 신호에 비해 상대적으로 큰 첨두가 우선적으로 억제된 이후, 다시 첨두 윈도우링이 적용되므로, 윈도우 길이 이내에 연속적인 첨두들이 존재할 경우, 중복하여 과도하게 억제되는 경우를 방지할 수 있다. 다단계 첨두 윈도우링 기법의 간략화 된 블록도는 그림 4에 나타나 있다.

나. 가변폭 첨두 윈도우링 기법

기존의 첨두 윈도우링의 경우, 윈도우의 길이의 절반보다 짧은 구간 내에서 연속적인 첨두가 발생하였을 경우, 그림 3에서와 같이 서로 다른 첨두의 윈도우가 중첩되게 되어서 최종적인 크기조정 함수의 크기가 증가하게 된다. 이로 인해 입력 신호는 과도하게 억제되어, 수신비트 오류의 성능 저하가 발생하게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위해 본 논문에서는 윈도우의 길이를 가변적으로 적용하여 윈도우가 겹치게 되는 현상을 줄여서 과도한 신호 억제를 줄이는 기법을 제안하며, 이 기법을 “가변길이 첨두 윈도우링”이라 명명한다.

가변길이 첨두 윈도우링 기법은 임계치를 초과하는 첨두들의 위치를 확인한 후 인접 첨두들의 거리가 윈도우 길이보다 작을 경우 윈도우 크기를 반으로 줄여서 적용하는 기법이다. 따라서 기존 첨두 윈도우링이 윈도우 길이 이내의 첨두들이 인접하여 발생할 경우 윈도우링 함수의 중첩으로 인해 과도한 신호 왜곡이 발생할 수 있으나, 제안되는 기법은 인접 첨두들에 의해 윈도우링 함수가 중첩되는 현상을 감소시킨다.

여기서, 각 첨두에 따라 가변적으로 윈도우링 함수를 선택하는 기준은 서로 다른 첨두 index $\forall n_q \neq n_p$ 에 대해 아래와 같다.

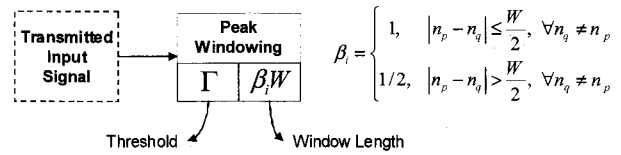


그림 5. 가변길이 첨두 윈도우링 기법
Fig. 5. Multi-stage peak windowing technique.

$$w(n - n_p) = \begin{cases} w_f(n - n_p), & |n_p - n_q| \leq \frac{W}{2} \\ w_h(n - n_p), & |n_p - n_q| > \frac{W}{2} \end{cases} \quad (9)$$

이 때, $w_f(n - n_p)$ 과 $w_h(n - n_p)$ 는 각각 윈도우 길이가 W , $W/2$ 인 윈도우를 뜻한다. 가변길이 첨두 윈도우링 기법의 간략화 된 블록도는 그림 5에 나타나 있다.

IV. 모의실험 결과

1. 모의실험 환경

모의실험 환경은 WiBro 시스템의 표준화 문서를 바탕으로 설정하였다^[1~2]. 10MHz 대역폭을 가지는 WiBro 시스템에 대해 1024개의 부반송파 중 768개의 데이터 부반송파와 96개의 파일럿 부반송파를 설정하였다. 데이터 부반송파의 변조방식은 QPSK를 적용하였으며 파일럿 부반송파는 2.5dB 증폭된 BPSK를 적용하였다. 보호구간은 유효심볼길이의 1/8로 설정하였다. 첨두 윈도우링은 up-sampling 이후에 적용되며, 이에 사용되는 윈도우는 $\beta = 5$ 의 Kaiser 윈도우이다. 다단계 첨두 윈도우링은 총 4 단계로 이루어지며, 사용되는 임계치 set는 $\{\alpha_i\} = \{2.0, 1.5, 1.2, 1.0\}$ 이다.

2. 수신비트오율 성능 (BER Performance)

그림 6은 PAPR 임계치가 2dB/4dB일 경우에 기존의 첨두 윈도우링 기법 및 제안하는 첨두 윈도우링 기법의 QPSK 변조된 신호에 대한 수신비트오율 성능을 나타낸 그림이다. Clipping의 경우 신호의 왜곡을 최소화하기 때문에 수신비트오율 성능은 가장 좋은 반면 대역외 방사량은 매우 크다. 그림에서 살펴볼 수 있듯이 제안한 첨두 윈도우링 기법들은 상대적으로 큰 첨두에 의해 신호가 과도하게 억제되는 것을 완화시키기 때문에 기존의 첨두 윈도우링에 비해 수신비트오율 성능이 좋은 것을 확인할 수 있다. 또한, 제안한 가변길이 첨두 윈도우링 기법은 연속적인 첨두를 관찰하여 윈도우 길이를 변화시켜 줌으로써, 신호가 윈도우 함수에 의해 억제되는

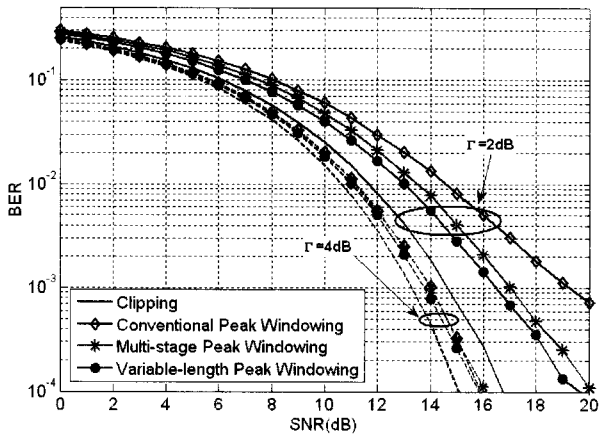


그림 6. 기존 첨두 윈도우 기법 및 제안한 첨두 윈도우 기법들의 수신비트오율 성능, PAPR 임계치 $\Gamma=2\text{dB}/4\text{dB}$, window length $W=33$
 Fig. 6. BER for $\Gamma=2\text{dB}/4\text{dB}$, window length $W=33$.

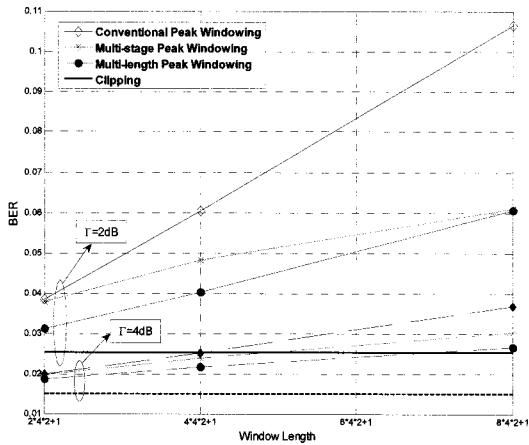


그림 7. 윈도우 길이에 따른 첨두윈도우 기법들의 수신 비트오율 성능
 Fig. 7. BER performance with respect to window length.

범위를 줄여서 다단계 첨두 윈도우 기법에 비해 더 좋은 수신비트오율 성능을 나타내는 것을 볼 수 있다.

그림 7은 SNR이 10dB이고 PAPR 임계치가 2dB, 4dB일 경우, 윈도우 길이에 따른 첨두 윈도우 기법들의 수신비트오율 성능을 나타내고 있다. 윈도우 길이가 길어질수록 기존 첨두 윈도우 기법은 심각한 성능열하를 발생시킨다. 그러나 다단계 첨두 윈도우 기법은 윈도우 길이가 짧을 경우, 첨두가 중첩될 확률이 적기 때문에 기존 기법의 성능과 큰 차이가 없으나 윈도우 길이가 길어질수록 수신비트오율 성능이 향상된다. 가변길이 첨두 윈도우 기법은 기존 기법보다 항상 뛰어난 수신비트오율 성능을 나타낼 수 있다. 추가적으로, 윈도우 길이가 길 경우 다단계 첨두 윈도우와 가변길이 첨두 윈도우의 성능이 거의 동일하게 된다.

3. Spectrum Performance

그림 8은 PAPR 임계치를 2dB로 고정시키고 clipping 기법과 기존 첨두 윈도우 기법 및 제안하는 두 기법의 스펙트럼 성능을 나타내고 있다. 수신비트오율 성능 비교에서 살펴본 것과 같이 clipping 기법은 첨두 윈도우 기법보다 수신비트오율 측면에서 우수한 성능을 갖고 있다. 그러나 그림 8에서 보는 것과 같이 첨두 윈도우는 clipping 기법보다 월등히 우수한 스펙트럼 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

제안하는 기법 중 다단계 첨두 윈도우 기법은 윈도우 길이에 상관없이 항상 기존 첨두 윈도우 기법과 동일한 스펙트럼 성능을 나타낸다. 가변길이 첨두 윈도우 기법은 수신비트오율 측면에서는 다단계 임계치를 이용한 기법보다 우수하였으나, 스펙트럼 성능은 열화 되는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 성능상의 차이가 발생하는 이유는 다단계 첨두 윈도우 기법은 항상 기존 첨두 윈도우 기법과 동일한 윈도우 길이를 적용하고, 가변길이 첨두 윈도우 기법은 윈도우 길이를 두 가지로 나누어 적용하기 때문이다.

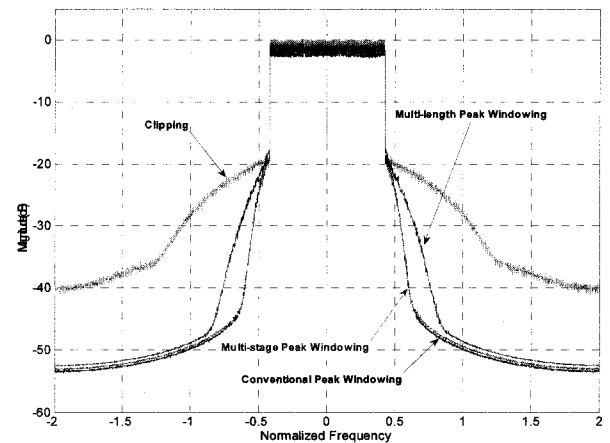


그림 8. 기존 및 제안한 첨두 윈도우 기법들의 Spectrum 성능 ($\Gamma=2\text{ dB}, W=33$)
 Fig. 8. Spectrum performance for $\Gamma=2\text{ dB}, W=33$.

V. 결 론

본 논문에서는 OFDMA 하향링크 시스템과 같이 높은 PAPR을 유발하는 통신 시스템에 있어서 부가 정보 없이 PAPR를 효과적으로 저감할 수 있는 개선된 첨두 윈도우 기법들을 제안하였다. 제안한 첨두 윈도우 기법들은 특정 임계치를 넘는 첨두가 매우 인접하여서 발생하거나 임계치를 넘는 첨두 중에서 인접 신호의 진폭에 비해 상대적으로 매우 큰 첨두가 존재할 경우, 효과적

으로 PAPR을 저감함으로써 기존의 첨두 원도형 기법에 비해 수신비트오율 측면에 있어서 더 좋은 성능을 나타내는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] TTAS.KO-06.0082, "Specifications for 2.3GHz band Portable Internet Service-Physical Layer and MAC Layer," TTA June 2005.
- [2] IEEE P802.16/D8, "Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands," IEEE, June 2005.
- [3] S. Lee, H. Yoo, M. Park, B. Park, and D.Hong "Timing synchronization using phase difference between subcarriers for OFDMA uplink systems over frequency selective fading channels," IEEE VTC2005 Fall, June 2005.
- [4] M. Park, K. Ko, H. Yoo, and D. Hong, "Performance analysis of OFDMA uplink systems with symbol timing misalignment," IEEE Commun. Lett., vol. 7, pp. 376 - 378, Aug. 2003.
- [5] S. H. Han and J. H. Lee, "An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission," IEEE Commun. Magazine, pp. 56-65, April 2005.
- [6] A. Chini, Y. Wu, M. El-Tanny, and S. Mahmoud, "Hardware nonlinearities in digital TV broadcasting using OFDM modulation," IEEE Trans. on Broadcasting., vol. 44, pp. 12-21, 1998.
- [7] E. Costa and M. Midrio and S. Pupolin, "Impact of amplifier nonlinearities on OFDM transmission system performance," IEEE Commun. Letters, vol. 3, pp.37-39, Feb. 1999.
- [8] Xiaodong Li and L.J. Cimini Jr., "Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM," IEEE Commun. Letters, vol. 2, pp. 131{133, May 1998.
- [9] R. Van Nee and A. De Wild, "Reducing the peak-to-average power ratio of OFDM," in Proc. of Vehicular Technology Conference, vol. 3, pp. 2072-2076, May 1998.
- [10] O. Vaananen, J. Vankka, and K. Halonen, "Reducing the peak to average ratio of multicarrier GSM and edge signals," Proc. IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Comm., vol. 1, pp. 115-119, Sep. 2002.
- [11] 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 Electronics Letters, vol. 30, pp. 2098-2099, Dec. 1994.
- [12] S.H. Muller and J.B. Huber, "A comparison of peak power reduction schemes for OFDM," in Proc. of Global Telecommunications Conference, vol. 1, pp. 1-5, Nov. 1997.
- [13] L.J. Cimini Jr. and N.R. Sollenberger, "Peak-to-average power ratio reduction of an OFDM signal using partial transmit sequences," IEEE Commun. Letters, vol. 4, pp. 86-88, Mar. 2000.
- [14] M. Park, H. Jun, J. Cho, N. Cho, D. Hong, and C. Kang, "PAPR reduction in OFDM transmission using Hadamard transform," IEEE ICC 2000, vol. 1, pp. 430-433, June 2000.

— 저 자 소 개 —



이 성 은(정회원)
 2002년 연세대학교
 전기전자공학과 학사졸업
 2004년 연세대학교
 전기전자공학과 석사졸업
 2004년~현재 연세대학교
 전기전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 이동통신시스템, MIMO, 다중 반송파 시스템, 멀티홉 시스템>



민 현 기(학생회원)
 2005년 연세대학교
 전기전자공학과 학사졸업.
 2007년 연세대학교
 전기전자공학과 석사졸업.
 2007년 3월~현재 연세대학교
 전기전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 이동통신시스템, OFDM, MIMO, 멀티홉 시스템>



방 극 준(정회원)
 1995년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업
 1999년 연세대학교 전자공학과
 박사 졸업
 2000년~현재 인덕대학교 교수

<주관심분야 : 통신, 방송, OFDM 시스템>



홍 대 식(평생회원)
 1990년 Purdue University
 Electrical Engineering
 박사 졸업
 1991년~현재 연세대학교
 전기전자 공학과 교수

<주관심분야 : 디지털통신, 통신신호처리, 4G시스템, OFDM 시스템>