OFDM 시스템의 PAPR 저감을 위한 가변적인 윈도우 크기를 적용한 Peak Windowing 기법

이 성은*, 방 극준**, 박 명희*, 이 영수***, 홍 대식*
*연세대학교 전기전자공학과, **인덕대학교 인터넷 TV 방송학과,
***SK Telecom 분당 중앙연구소

A New Peak-Windowing Algorithm with Window-length Adaptation for PAPR Reduction of OFDM Systems

Sungeun Lee*, Keukjoon Bang**, Myonghee Park*, Youngsoo Lee***, Daesik Hong*
*Center for Information Technology of Yonsei University (CITY), Info. & Telecom. Lab.
**Department of Internet & TV, Induk Institute of Technology
***Bundang Research Center, SK Telecom,
E-mail : softmind@itl.yonsei.ac.kr

Abstract

This paper proposes a new peak-windowing algorithm with window-length adaptation for peak-to-average power reduction (PAPR) of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) systems. Conventional peak windowing algorithm has advantages, such as moderate system complexity with good spectral shape. However, adjacent peak signals within the length of window functions produce the distortion of signal amplitude since window functions might overap with each other. These undesired characteristics of conventional peak windowing algorithm result in the degradation of BER performance. The proposed algorithm outperforms the conventional one with the aid of window-length adaptation. Simulation results show the efficiency of the proposed algorithm under the environments of WiBro downlink systems.

I. 서론

최근 광대역 멀티미디어 서비스를 원활히 제공하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다 [1]. 국내에서는 WiBro 시스템에 대한 연구가, 국외에서는 IEEE 802.16 및 IEEE 802.20 시스템에 대한 연구가 진행 중이다 [2-3]. 이들 시스템들은 모두 기존 단일 반송파 방식이 아닌 다중 반송파 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 부반송파 단위의 FDMA(Frequency Division Multiple Access)을 적용한 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Aceess) 방식을 표준화로 채택하였다.

OFDMA 시스템은 OFDM 시스템이 가지는 장점을 계승하여 주파수 선택적 페이딩(Frequency Selective Fading) 환경에서 발생할 수 있는 인접 신호간 간섭(ISI, Intersymbol Interference)을 효과적으로 제거한다. 그러나 다중 반송파 시스템이 가지는 단점도 가진다. 다수의 부반송파 신호가 동위상으로 중첩될 때 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 출력신호가 높은 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)을 가질 수 있다 [2]. 높은 PAPR 을 가지는 신호가 발생하게 되면 송신 고출력 증폭기(HPA, High Power Amplifier)의 비선형 왜곡을 유발하여 결과적으로 스펙트럼 특성을 왜곡시키고 비트오율(BER, Bit Error Rate)을 저하시키게 된다.

PAPR 저감을 위해 다수의 기법들이 제안되었다 [4-8]. 그 중, Peak Windowing 기법은 특별한 규격 변경 없이 적용할 수 있으며 효율적인 스펙트럼 특성을 얻을 수 있다. 그러나 윈도우 적용에 의한 신호 손실이 발생하여 BER 특성을 저하시킨다 [5].

본 논문에서는 가변적인 윈도우 크기를 적용한 새로운 Peak Windowing 기법을 제안한다. 제안하는 기법

본 연구는 SK Telecom 의 지원하에 수행되었음.

은 기존 Peak Windowing 기법과 유사한 스펙트럼 특성을 유지함과 동시에 BER 성능을 향상시킨다. 제안하는 기법의 성능은 WiBro 하향 시스템 환경에서 평가하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 WiBro 하향 시스템 모델 및 기존 Peak Windowing 에 대하여 설명한다. 3 장에서는 제안하는 가변적인 윈도우 크기를 적용한 Peak Windowing 기법에 대해 설명하고 4 장에서는 모의 실험을 통하여 제안된 기법의 성능을 평가한다. 마지막으로 5 장에서 결론을 맺는다.

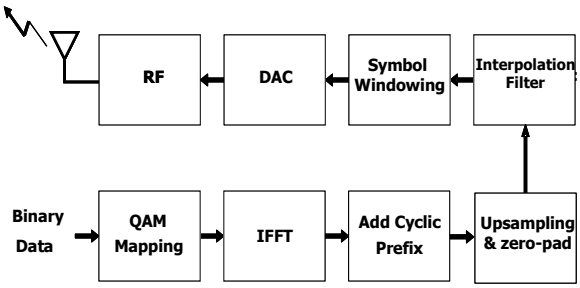


그림 1. WiBro 하향 시스템 모델.

II. WiBro 하향 시스템 모델 및 Peak Windowing 기법

그림 1 은 간략화된 WiBro 하향 시스템 모델을 나타내고 있다. 이진 데이터 열은 MQAM (M-ary Quadrature Amplitude Modulation) 변조되고, 직/병렬 변환기를 거쳐 IFFT 에 입력된다. IFFT 출력신호는 ISI 를 제거하기 위해 보호구간 (GI, Guard Interval)이 삽입된다. 또한, 디지털/아날로그 변환 (DAC, Digital-to-Analog Convertor)을 위해 Upsample 과 Interpolation 통과한 후, DAC, RA 을 통해 전송된다. 수신부에서는 송신의 역과정을 통하여 신호를 복조한다.

이상으로부터 보호구간을 포함한 WiBro 시스템의 기저대역 전송신호는 다음과 같다.

$$x(n) = w_{rc}(n) \cdot \sum_{\substack{k=-N_{used}/2, \\ k\neq 0}}^{N_{used}/2} b_k e^{\{(j2\pi k\Delta f)(n-N_g)\}} \quad (1)$$

$$\text{for } n = -m, -m+1, \cdots, -1, 0, 1, \cdots, N_s + m$$

여기서, $w_{rc}(n)$ 은 보호구간이 삽입된 시간영역 신호에 적용되는 Raised Cosine 함수로서 스펙트럼의 대역외 방사량 감소를 위해 적용되며 $2m$ 은 Raised Cosine 함수의 Roll-off 값이 된다. 또한, N_s 는 보호구간을 포함한 총 부반송파 개수로서 $N_s = N + N_g$ 로 정의되며, N_{used} 는 DC 값을 포함한 사용된 부반송파 수를 나타내고, b_k 는 MQAM 신호를 나타낸다. 마지막으로 Δf 는 부반송파 간격을 의미한다.

식 (1)로부터 PAPR 은 다음과 같이 정의된다.

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

Peak Windowing 기법은 PA 입력신호를 관찰하여 신호의 진폭이 임계치를 초과할 경우 그에 대응하는 윈도우 함수를 생성하여 입력신호에 곱해 줌으로써 신호의 진폭을 임계치 이하로 제한하는 방법이다. 즉, IFFT 출력신호 $\{x(n)\}$ 에 대해 임계치를 초과하는 신호를 검출하여 다음과 같이 윈도우 함수를 적용한다.

$$x_s(n) = s(n) \cdot x(n) \quad (3)$$

여기서 $s(n)$ 은 윈도우 함수로서 임계값 $c(n)$ 과 길이 W (W 는 홀수)인 Kaiser 윈도우를 이용하여 구할 수 있다.

$$s(n) = 1 - \sum_{k=-\lfloor W/2 \rfloor}^{\lfloor W/2 \rfloor} c(k) \cdot w(n-k) \quad (4)$$

그러나 식 (4)에서 보는 것과 같이 윈도우 함수는 길이 W 인 Kaiser 윈도우를 통하여 적용되므로 인접한 피크가 발생하면 윈도우 함수의 중첩으로 인해 과도한 신호왜곡이 발생하게 된다.

III. 가변적인 윈도우 크기를 적용한 Peak Windowing 기법

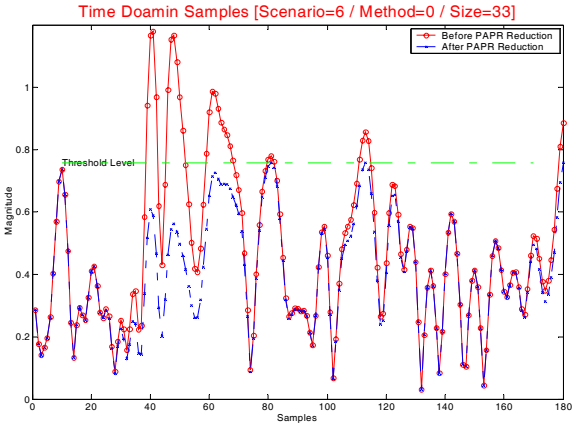
제안하는 가변적인 윈도우 크기를 적용한 Peak Windowing 기법은 임계치를 초과하는 피크들의 위치를 확인한 후 인접 피크들의 위치가 윈도우 길이 내에 근접하여 존재하는 경우 윈도우 크기를 반으로 줄여서 적용한다.

기존 Peak Windowing 기법은 윈도우 길이 이내의 피크들이 인접하여 발생할 경우 윈도우 함수의 중첩으로 인해 과도한 신호 왜곡이 발생할 수 있다. 그러나,

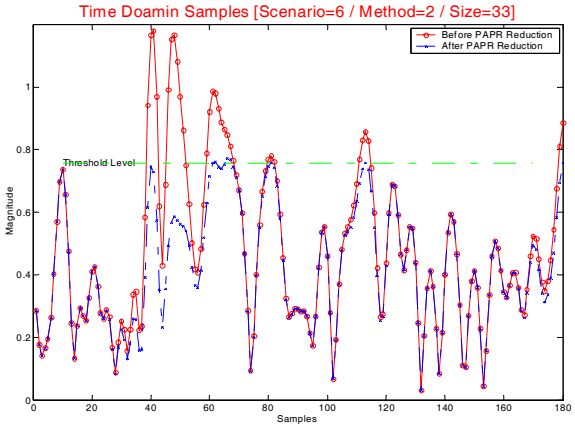
제안하는 가변 윈도우를 적용할 경우 인접 피크들에 위한 윈도우 함수 중첩의 영향을 완화시킬 수 있다.

그림 2 는 기존 기법과 제안하는 가변적인 윈도우 크기를 적용한 Peak Windowing 기법을 적용한 시간축 샘플 예를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 기존 Peak Windowing 기법은 피크 지점에 윈도우가 적용되어 정확히 임계치로 제한되나 윈도우 이내에 인접 피크가 발생할 경우, 윈도우 중첩으로 인한 신호 왜곡이 발생할 수 있다.

그러나, 가변적인 윈도우 크기를 적용한 Peak Windowing 기법은 이러한 현상이 해결되어 과도한 신호 왜곡이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.



(a)



(b)

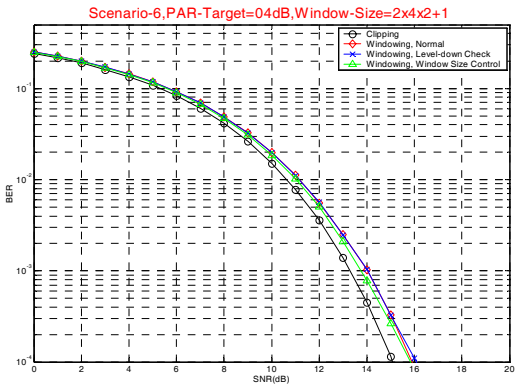
그림 2. Peak Windowing 기법 적용에 따른 시간축 샘플 예. 윈도우 길이=33. (a) 기존 Peak Windowing 기법, (b) 제안하는 가변적인 윈도우 크기를 적용한 Peak Windowing 기법.

IV. 모의 실험

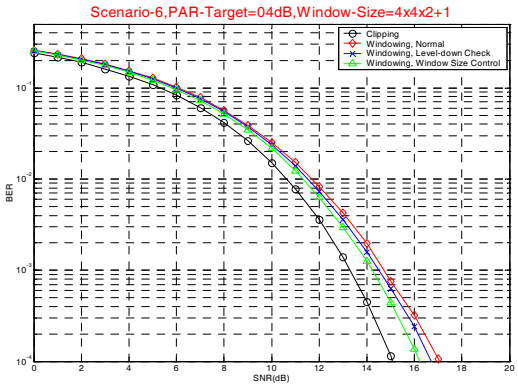
본 절에서는 제안하는 기법의 성능을 WiBro 하향 시스템을 기반으로 평가하도록 한다. 비교를 위해 클리핑 기법과 기존 Peak Windowing 기법의 성능을 함께 제시하도록 한다. 클리핑 기법은 윈도우 함수의 적용 없이 피크 지점의 신호만 정확히 임계치로 설정하는 기법이다.

4.1 모의 실험 환경

모의 실험환경은 WiBro 시스템의 표준화 문서를 바탕으로 설정하였다. 10MHz 대역폭을 가지는 WiBro 시스템에 대해 1024 개의 부반송파 중 768 개의 데이터 부반송파와 96 개의 파일롯 부반송파를 설정하였다. 데이터 부반송파의 변조방식은 QPSK 을 적용하였으며 파일롯 부반송파는 2.5dB Boosted 된 BPSK 을 적용하였다. 보호구간은 유효심볼길이의 1/8 로 설정하였다.



(a)



(b)

그림 3. 윈도우 길이 변화에 따른 BER 성능 비교. 임계치=4dB. (a) 윈도우 길이=17, (b) 윈도우 길이=33.

4.2 성능 평가

그림 3 은 윈도우 길이 변화에 따른 BER 성능을 나타내고 있다. 성능비교를 위해 클리핑 기법, 기존 Peak Windowing 기법, 그리고 제안하는 Peak Windowing 기법의 성능을 함께 도시하였다. 기존 Peak Windowing 기법은 윈도우 길이가 길어질수록 윈도우 함수의 중첩으로 인해 BER 성능이 열화됨을 확인할 수 있다. 그러나 제안하는 가변적인 윈도우 길이를 적용하면 윈도우 길이가 증가하여도 항상 기존 Peak Windowing 기법보다 우수한 성능을 나타내며 클리핑 기법과 비교하여도 BER 성능열화 폭이 작다.

그림 4 는 윈도우 길이 변화에 따른 스펙트럼 성능을 나타내고 있다. 클리핑 기법은 큰 복잡도 증가없이 단순히 적용할 수 있지만 스펙트럼상의 대역외 방사 성분이 심각하게 증가하게 된다. 그러나, 기존 Peak Windowing 기법과 제안하는 Peak Windowing 기법은 윈도우 길이가 길어질수록 대역외 방사성분이 감소하여 스펙트럼 성능이 향상된다. 또한, 제안하는 기법의 스펙트럼 성능은 윈도우 길이가 길어질수록 기존 Peak Windowing 기법과 유사한 스펙트럼 성능을 가지게 된다.

V. 결론

본 논문에서는 기존 Peak Windowing 기법의 성능향상을 위해 가변적인 윈도우 길이를 가지는 새로운 Peak Windowing 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 윈도우 길이 이내의 인접 피크 발생시 윈도우 길이를 반으로 줄여 적용하여 윈도우 함수의 중첩으로 인한 과도한 신호 왜곡을 방지한다. WiBro 하향 시스템을 사용한 모의실험 결과, 제안하는 기법은 기존 Peak Windowing 기법보다 우수한 BER 성능을 가지며 기존 Peak Windowing 기법과 유사한 스펙트럼 성능을 가짐을 확인하였다.

참고문헌

[1] ETSI, “Digital broadcasting systems for television, sound and data services: Framing terrestrial television”, *DRAFT pr ETS 300 744*, Mar. 1996

[2] "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface," *IEEE Std. 802.16-2004*, 2004.

[3] "(2004) IEEE 802.20 Working Group [Online] Available: http://www.ieee802.org/2/,"

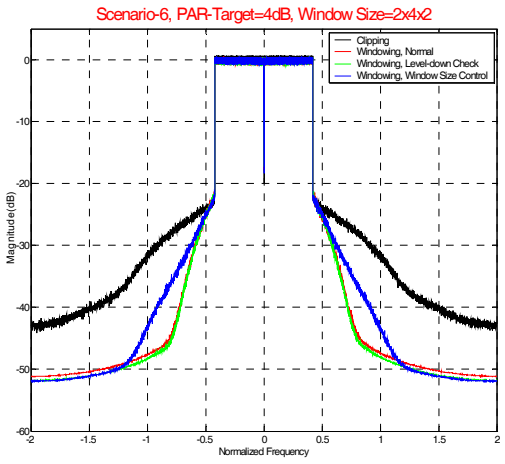
[4] D. J. G. Mestdagh and P. M. P. Spruyt, “A method to reduce the probability of clipping in DMT-based Transceivers,” *IEEE trans. On Comm.*, vol. 44, No. 10, Oct., 1996

[5] O. Vaananen and J. Vankka and K. Halomen, “Reducing the peak to average ratio of multicarreir GSM and edge signals,” *IEEE PIMRC,* vol.1, pp.115-119, Sep. 2002

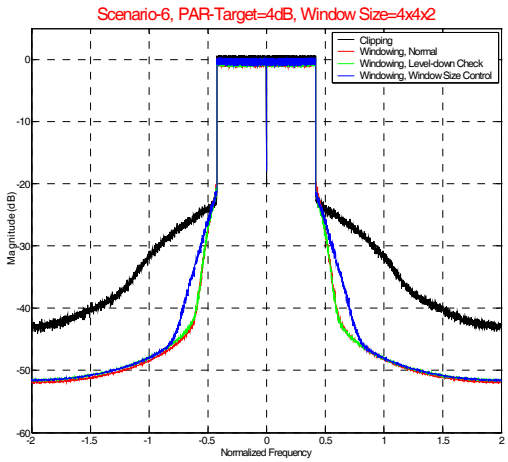
[6] Jese Tellado and John M. Cioffi, “Peak power reduction for multicarrirer Transmission,” *IEEE Globecom 98*, 1998

[7] C. Tellambura, “Upper bound on peak factor of N-muliple carriers,” *Electronics Letters*, Vol.33, pp1608-1609, 1997

[8] Hideki Ochiai and Hideki Imai, “OFDM-CDMA with Peak Power Reduction Based on the Spreading Sequences,” *IEEE ICC 98*, pp1299-1303, 1998



(a)



(b)

그림 4. 윈도우 길이 변화에 따른 스펙트럼 성능 비교. 임계치=4dB. (a) 윈도우 길이=17, (b) 윈도우 길이=33.