

## HPA 특성을 고려한 OFDM의 Peak cancellation기법

이승순\*, 오태원

고려대학교 전파공학과

E-mail: [Piomeer@korea.ac.kr](mailto:Piomeer@korea.ac.kr), [Taewon@korea.ac.kr](mailto:Taewon@korea.ac.kr)

### A Study on the Peak cancellation Technique of OFDM considering of the HPA characteristic

Seung Sun Lee\*, Tae Won Oh

Department of Radio Sciences and Engineering, Korea University

#### Abstract

The High Peak to Average Power Ratio (PAPR) could be a severe problem in OFDM performance since it causes the significant distortion to the transmitting signal through a nonlinear device such as High Power Amplifier (HPA). In this paper, the performance of Peak cancellation method according to the HPA characteristic is comparatively analyzed with the clipping and windowing methods. The BER performances and the out-band power spectrums are demonstrated in detail.

Key words : OFDM, PAPR, HPA, Peak cancellation.

#### I. 서론

OFDM 기술은 다중경로 페이딩과 ISI에 강한 특성으로 인해 최근에 무선 LAN, DAB, ADSL, 그리고 Wibro 등 다방면에 응용되고 있다[1,2]. 그러나, OFDM 시스템은 같은 위상을 가진 부반송파들의 중첩으로 인한 순간 peak power의 증가로 높은 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)이 발생하므로, 증폭기의 포화영역에서 왜곡이 발생하는 심각한 문제점이 있다. 따라서 OFDM신호의 높은 PAPR을 감소시키기 위한 많은 방법들이 제안되고 있고, 신호왜곡 기법, 부호화 기법, 그리고 스크램블링 기법 등이 있다[2].

본 논문에서는 OFDM 시스템에서의 문제점인 높은 PAPR을 줄이는 방법으로 신호왜곡 기법 중의 하나인 Peak cancellation기법에 대하여 연구하였다. Peak cancellation기법은 이미 널리 사용되는 기술이나, HPA 특성에 따른 성능 분석이 더 필요하기

때문에 본 논문에서는 이에 대한 성능을 정밀 분석하였다. 2장에서는 OFDM시스템과 HPA 특성에 관해서 설명하며, 3장에서는 Peak cancellation기법에 대해 설명한다. 4장에서는 모의실험을 통해 HPA 특성에 따른 Peak cancellation기법 성능을 분석한다. 5장에서는 모의 실험 결과에 관하여 논의하였다.

#### II. OFDM시스템과 HPA 특성

##### 1. OFDM시스템

OFDM시스템에서, time domain의 신호  $x(t)$ 는 식 (1)처럼 표현 될 수 있다[2].

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} d_k \exp\left(j \frac{2\pi k}{T} t\right), 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

PAPR은 식 (2)처럼 정의되는데 [3], OFDM시스템에서는 앞에서 설명했던 것과 같이 높은 PAPR을 가지는 경우가 생기게 된다. 이것이 클 경우 HPA의 비선형 영역에서 동작하기 때문에 back-off가 크게

필요하게 되므로 결국 증폭효율을 크게 감소시키게 된다.

$$PAPR = \frac{\max\{|x(t)|^2\}}{E\{|x(t)|^2\}} \quad 0 \leq t < T \quad (2)$$

2. HPA 특성

HPA의 입력신호를 다음과 같이 표현하면,

$$x(t) = r(t) \cdot e^{j\phi(t)} \quad (3)$$

출력신호는 다음과 같다[4].

$$\tilde{x}(t) = A[r(t)] \cdot e^{j\{\phi(t) + \Phi[r(t)]\}} \quad (4)$$

$A[r]$  과  $\Phi[r]$  는 각각 비선형 HPA의 AM/AM, AM/PM 변환 특성이다. 본 논문에서 사용한 비선형 HPA모델인 SSPA(Solid-State Power Amplifier)의 AM/AM, AM/PM변환 특성은 아래와 같다[4].

$$A[r(t)] = \frac{r}{\left[1 + \left(\frac{r}{A_0}\right)^{2p}\right]^{1/2p}}$$

$$\Phi[r(t)] = 0 \quad (5)$$

$A_0$ 는 최대출력 amplitude이고,  $p$ 는 amplifier의 선형영역에서 제한된 영역까지의 변환을 부드럽게 해 주는 요소인데, SSPA는  $p$ 의 변화에 따라 그림1과 같은 특성을 보인다.

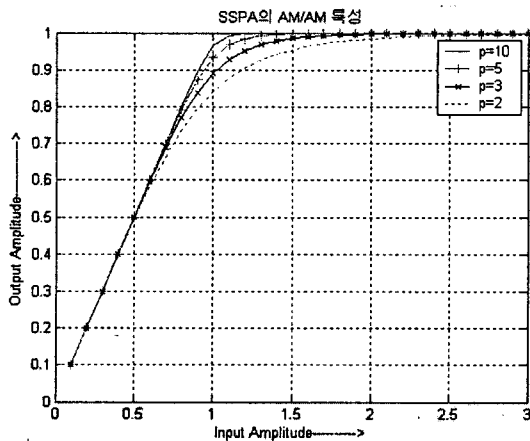


그림 1. SSPA의 AM/AM 특성 ( $A_0 = 1$ )

III. Peak cancellation기법

신호왜곡 기법의 특징은 식(6)과 같이 특정 amplitude를 넘는 sample들을 모두 특정 amplitude의 크기로 제한하는 것이다.

(단 위상의 변화는 없음)

$$\hat{x}(t) = \begin{cases} Ae^{j\phi(t)}, & |x(t)| > A \\ x(t), & |x(t)| \leq A \end{cases} \quad (6)$$

대표적인 기법으로 Clipping과 Windowing기법을 들 수 있다(그림3). 그러나 이 두 기법은 비선형신호의 특성에 의해 대역 밖 간섭신호의 크기가 증가하는 단점이 있다. Peak cancellation기법은 그림2와 같이 smoothing LPF를 통해 대역 밖 간섭신호를 크게 줄이는 효과를 가진다 [2].

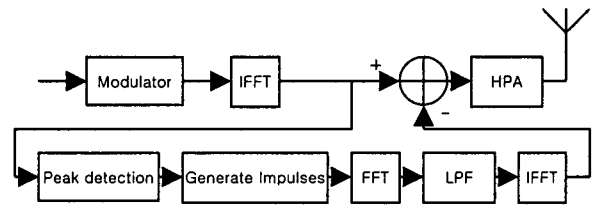


그림 2. Peak cancellation이 적용된 OFDM block diagram

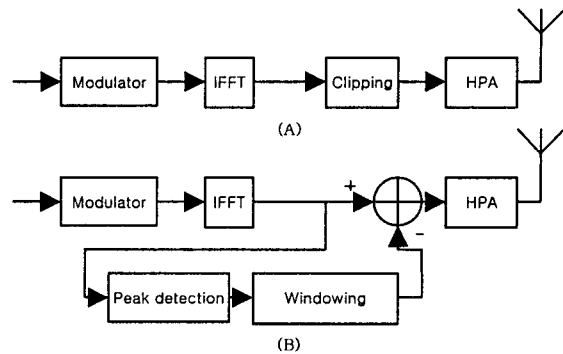


그림 3. (A) Clipping (B) Windowing이 적용된 OFDM block diagram

IV. 모의 실험

여기서는 Peak cancellation, Clipping, Windowing기법들의 BER, CCDF, PSD를 비교 분석할 것이다. 또한 Peak cancellation 이후에 생기는 Peak regrowth가 시스템에 얼마나 영향을 미치는가를 분석할 것이다. 모의 실험 환경은 휴대인터넷 시스템에서 사용하는 1,024채널을 기준으로 모의 실험을 하였다[1]. 실험조건은 다음과 같다.

- 채널 수 : 1024
- IFFT 수 : 4096 (4배 oversampling)
- Mapping 방식 : QPSK
- Clip ratio : 1.4
- Channel : AWGN
- Amplifier : SSPA ( $p=3, 10$ )
- Input Back-Off(IBO) : 0 ~ 15dB

그림4는 HPA전단의 세가지 방법에 대한 BER을 비교한 것이다. 여기서 CR(clipping ratio)을 1.4로 사용하였다. CR은 크면 클수록 BER성능은 좋아지지만, 그 만큼 clipping되는 부분이 적어지게 되어 CCDF에서 큰 PAPR을 생기게 한다. 그림5는 CCDF를 비교한 그림인데, 모두 동일 CR에도 불구하고 Peak cancellation기법에서 기대치 이상의 PAPR이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이것은 LPF에 의한 regrowth현상이다.

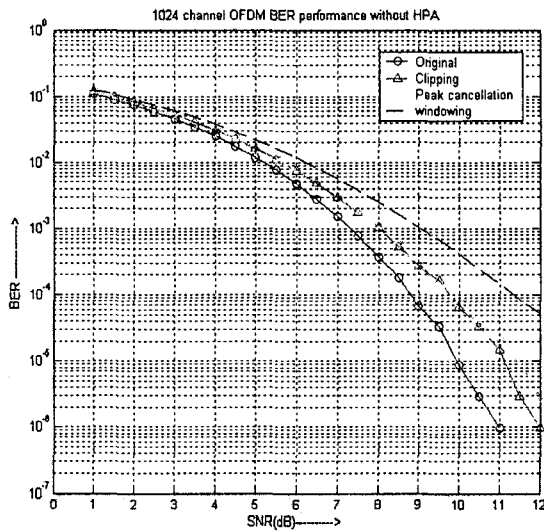


그림 4. HPA전단의 BER 비교

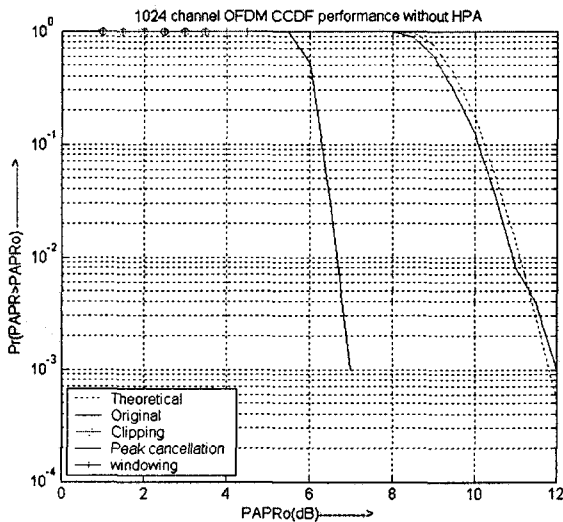


그림 5. HPA전단의 CCDF 비교

그림6은 세가지 방법의 PSD(Power Spectrum Density)를 그린 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 Clipping기법은 대역 밖 간섭을 일으켜 옆으로 퍼져

있는 것을 볼 수 있다. Peak cancellation기법은 LPF에 의해 high frequency 영역이 제거되어 원 신호의 PSD와 유사한 형태를 보이고 있다.

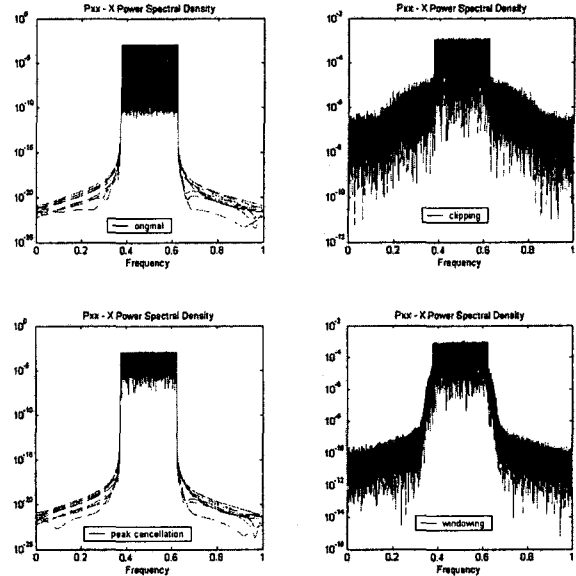


그림 6. HPA전단의 PSD 비교

그림7은  $p=3$ 인 HPA를 사용하여 Clipping기법의 BER을 그린 것이고, 그림8은 Peak cancellation기법의 BER을 그린 것이다. IBO값을 0dB부터 15dB까지의 변위를 주고 그린 그림인데, 둘 다 IBO가 최소12dB이상일 때 가장 Linear amplifier를 통과한 신호에 근접한 BER을 가진다는 것을 알 수 있다.

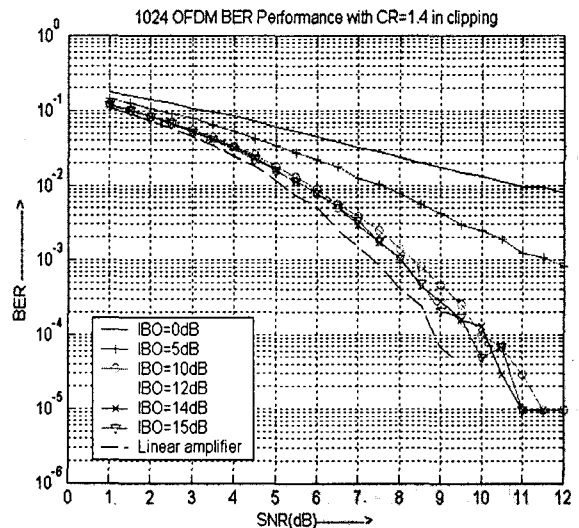


그림 7. Clipping+HPA BER 성능 ( $p=3$ )

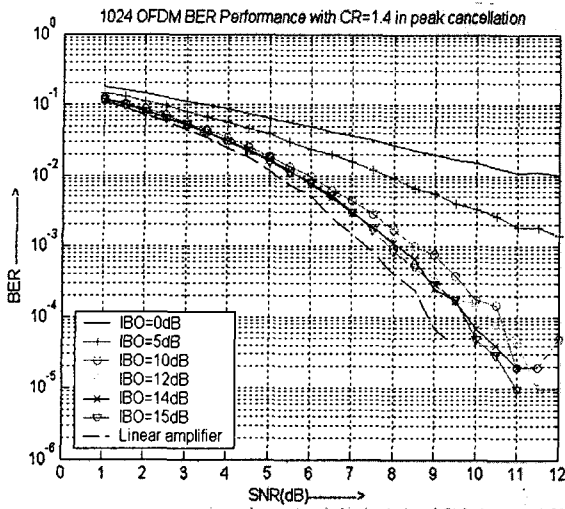


그림 8. Peak cancellation+HPA BER 성능 ( $p=3$ )

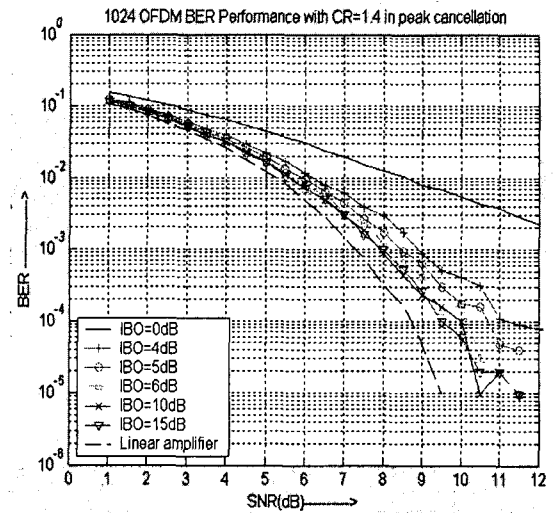


그림 10. Peak cancellation+HPA BER 성능 ( $p=10$ )

그림 9는  $p=10$ 인 HPA(High Power Amplifier)를 사용하여 Clipping기법의 BER을 그린 것이고, 그림 10은 Peak cancellation기법의 BER을 그린 것이다. 두 그림을 보면,  $p=10$ 일 때 Clipping기법은 IBO가 약 5dB에서 최대로 Linear amplifier에 근접한 성능을 보이고 있으나, Peak cancellation기법에서는 IBO가 6dB에서 같은 성능을 보이고 있다. 이는 Peak cancellation 기법에서 재생되는 regrowth현상에 의한 성능저하 현상인 것으로 예상된다.

그림 11과 그림 12는  $p=3$ 일 때, 그림 13과 그림 14는  $p=10$ 일 때 Clipping과 Peak cancellation의 PSD를 비교 한 것이다(검 : IBO=5dB, 빨 : IBO=10dB, 녹 : IBO=12dB, 파 : IBO=15dB). 두 그림을 각각 비교해 보면, Peak cancellation기법은  $p$ 값과 IBO에 의해 대역 밖 간섭을 일으키는 정도가 크게 변하고 있지만, Clipping기법은 약간의 변화만 보이고 있다. 즉 아래의 결과를 토대로 대역 밖 간섭의 정도를 예측하고 시스템 성능을 분석할 수 있다.

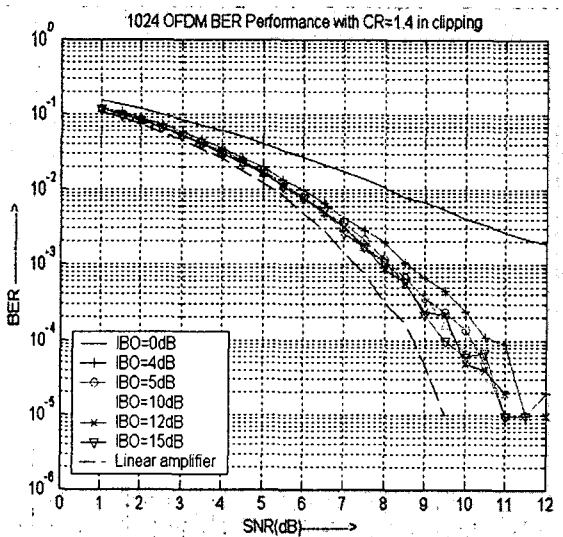


그림 9. Clipping+HPA BER 성능 ( $p=10$ )

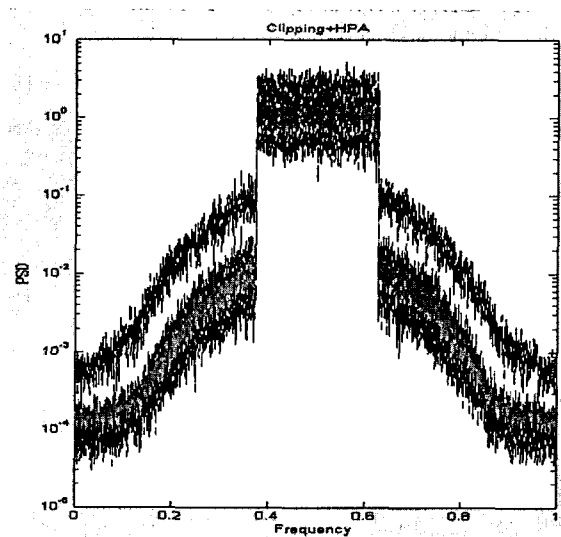


그림 11. Clipping+HPA PSD ( $p=3$ )

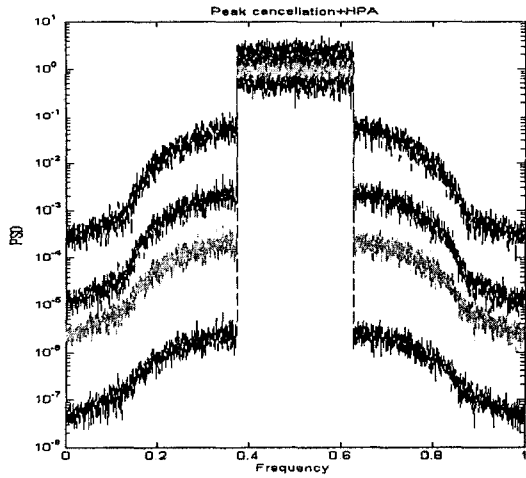


그림 12. Peak cancellation+HPA PSD( $p=3$ )

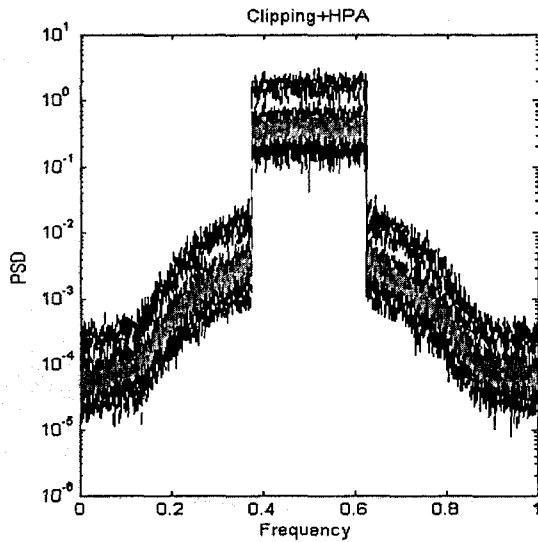


그림 13. Clipping+HPA PSD( $p=10$ )

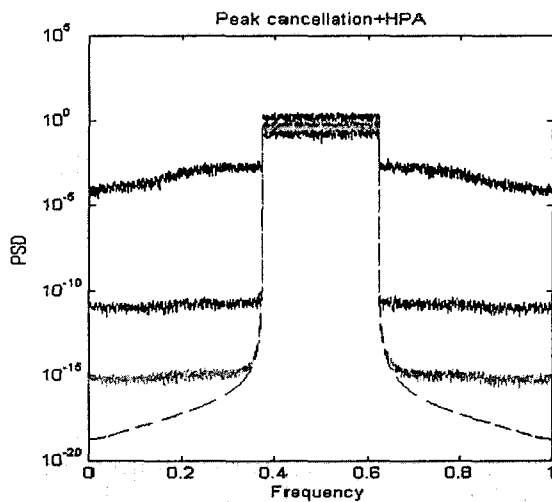


그림 14. Peak cancellation+HPA PSD( $p=10$ )

## V. 결론

지금까지 PAPR reduction기법 중 Peak cancellation기법을 중심으로 다른 신호왜곡 기법들과 비교해 보았다.

BER, CCDF 그리고 PSD성능을 HPA이전, 이후로 나누어서 분석하였다. HPA가 적용된 후의 PSD를 HPA 전과 비교하여 보면 out-of-band spectrum이 증가됨을 볼 수 있다. 특히  $p$ 가 작을수록, IBO가 작을수록 크게 증가됨을 볼 수 있는데, 이는 HPA의 비선형특성에 의해 영향을 많이 받음을 나타내는 것이다. 또한 이에 따른 BER 성능에도 비슷한 결과를 보여 주고 있다.

결론적으로 Peak cancellation기법이 열악한 HPA ( $p=3$ )를 사용하는 단말기에 있어서는 PSD특성도 우수하고, BER 성능도 우수하여 hardware에 무리가 없다면 다른 기법에 비해 탁월한 선택이 될 것이다.

## VI. 참고 문헌

- [1] 한국정보통신기술협회, "2.3GHz 휴대인터넷 표준-물리계층", 2004. 12
- [2] R. Van Nee and R. Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications" Artech House, 2000
- [3] Bauml, R.W., Fischer, R.F.H., and Huber, J.b, "Reducing the Peak to average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping", Electron. Lett., 32, pp.2056-2057, 1996
- [4] G. Santella and F. Mazzenga, "A hybrid analytical - simulation procedure for performance evaluation in M-QAM-OFDM schemes in presence of nonlinear distortions," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 47, pp. 142-151, Feb.1998

MEMO