

# Flat 페이딩 채널환경에서 비선형 왜곡에 대한 Binary Clipping PW-CDMA 성능 분석

○김현욱\*, 안치훈\*, 육경준\*, 정준엽\*, 김동구\*

\* : 연세대학교 전기전자공학과

e-mail : {herbsttag, chan, okebal, amigos97, dkkim}@yonsei.ac.kr

Performance analysis of Binary Clipping PW-CDMA  
against non-linear distortion  
over Flat fading Channel

Hyun Wook Kim\*, Chi Hun Ahn\*, Ok Kyung June\*,

June Yeop Jung\*, Dong Ku Kim\*

\* : Yonsei Univ. Dept. of Electric&Electrical Eng.

## Abstract

The binary clipping PW/CDMA system is considered. This system can be constructed with effective cost, leading to reduce the influence of the non-linear amplifier because of converting multi-level signals into constant envelope signals. In addition, the clipping method which is to clip out signal amplitude at some level when multi-level signals are converted into constant envelope signals is used. The multi-level signals are clipped at 1 and -1 to limit the extension of bandwidth and to maintain the bandwidth after clipping. In this paper, the performance of the binary clipping PW/CDMA system with the non-linear amplifier analyzed by simulation over AWGN and flat fading channels respectively. The binary clipping PW/CDMA system with the non-linear amplifier is 2.2dB and 0.9dB better than conventional DS/CDMA system over the flat fading channels when the number of users are 9 and 17 respectively.

최근 WLAN이나 PAN등에서 물론 개인 휴대 단말기, 휴대 전화기, 컴퓨터 등 다양한 기기들을 이용하여 개인이 근거리에서 네트워크를 구성하고 통신할 수 있는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이를 구현하기 위해서는 저전력을 사용하는 기기들을 저가에 공급하는 것이 중요하다. 이러한 네트워크를 구성하는 통신방법으로 CDMA 방식을 이용한 다양한 응용기술들이 제시되고 있다[1-6].

CDMA 방식은 보안성이 우수하고 통신용량을 증대시킬 수 있으며 다중경로 페이딩에 강하다. 또한 주파수를 재사용하기 때문에 효율적이다. 그러나 사용자가 증가할 수록 송신 신호는 다중 레벨이 되는 문제가 있다. 다중 레벨신호는 PAPR(Peak to Average Power Ratio)이 커지기 때문에 송신단에서는 선형성이 매우 우수한 증폭기가 필요하며 이로 인해 비용이 증가하게 된다.

그래서 기존 CDMA의 문제점을 개선하고자 하는 기술들이 제시되었다. 그중 정포락선 변조 방법을 CDMA에 응용한 방법은 증폭기의 선형성을 크게 요구하지 않아 시스템을 간단하고 저렴하게 구성할 수 있는 장점이 있어 WLAN이나 PAN에 적합한 기술로 소개되고 있다. 이러한 기술로는 CS(code-selection) /MP(multi-phase) /PW(pulse-width)-CDMA의 크게 3가지 방식이 있다.

## 1. 서론

\* 본 연구는 카서(CASUH)전자의 지원으로 이루어졌음

이 중 본 논문에서는 현재 널리 이용되고 있는 DS/CDMA 시스템의 장점을 최대한 유지하면서 시스템 구축비용을 절약할 수 있는 PW/CDMA 시스템을 적용한다. PW/CDMA 시스템은 기존 CDMA 다중레벨 신호를 펄스폭변조(PWM)하여 정포락선을 갖는 펄스폭 신호를 이용한다. 그러나 사용자가 증가하면 DS/CDMA 시스템 보다 대역이 증가하는 문제가 생긴다. 이를 극복하기 위해 신호의 일정 수준을 잘라내는 클리핑(clipping) 기술을 이용한다. 그러나 클리핑 정도에 따라 대역폭의 증가 또는 잘려나가는 신호성분의 증가에 의해 신호가 왜곡되는 문제가 있다[1-3]. 본 논문에서는 클리핑한 후 대역의 증가를 막고 대역을 일정하게 유지하기 위하여 신호를 1과 -1에서 클리핑하는 이진 클리핑 PW/CDMA (Binary Clipping PW/CDMA) 시스템을 적용하였다. 비선형 증폭기를 적용하여 AWGN 채널과 flat 페이딩 채널에서 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템의 성능을 모의실험을 통해 DS/CDMA 시스템과 비교하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장은 DS/CDMA 시스템의 다중레벨 신호를 이진 클리핑 PW/CDMA 신호로 변환하는 과정과 시스템 모델을 제시하였다. 3장에서는 모의실험 결과를 분석하였고 4장에서는 논의된 내용을 정리하였다.

## 2. 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템

순방향 링크에서 DS/CDMA 시스템은 사용자에게 직교 코드를 각각 할당하여 다중레벨 신호형태를 갖게 된다. 그래서 송신단에서는 선형성이 높은 증폭기가 필요하다. 반면 PW/CDMA 시스템은 다중레벨 신호를 일정한 레벨의 펄스폭으로 변환하기 때문에 비선형 증폭기를 사용해도 왜곡이 적다. 그러나 사용자가 증가하여 다중레벨이 증가하면 펄스폭변조 시 대역폭도 증가하는 문제가 생긴다. 이는 다양한 레벨을 펄스폭으로 표현하다 보면 시간간격이 좁은 펄스가 발생할 수 있기 때문이다. 대역폭 증가의 문제를 극복하고자 본 논문에서는 신호의 일정부분을 잘라내는 클리핑 기술을 적용하였다. 또한 클리핑 후 대역이 증가하는 것을 막고 대역을 일정하게 유지하기 위하여 침단위의 다중레벨 신호를 1과 -1에서 잘라내는 이진 클리핑을 하였다. 그림 1은 각 사용자의 신호를 직교코드로 확산한 후 이를 합산하여 클리핑하고 펄스폭변조하여 증폭기를 통해 전송하는 것을 표현한 것이다. 그림 2는 다중레벨 신호를 1과 -1에서 클리핑하는 것을 나타내었다. 그림 3은 1과 -1에서 클리핑된 전송신호를 표현한 것이다.

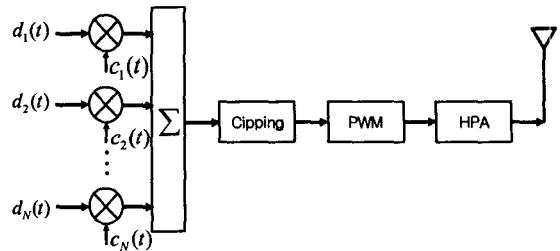


그림 1. 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템 송신단

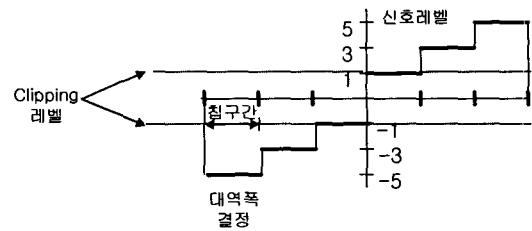


그림 2. Clipping

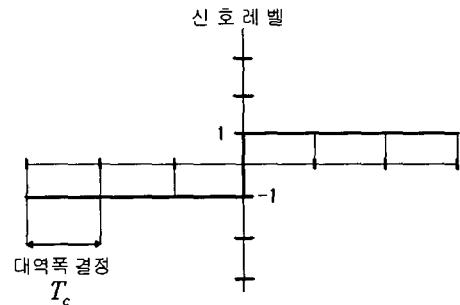


그림 3. 전송신호

### 2.1 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템 구성

사용자의 수가 N인 경우 각 사용자에 채널구분 부호를 할당한 후 합산된 다중레벨 신호  $s(t)$ 는 식(2-1)과 같이 표현할 수 있다. 채널구분 부호로는 extended m 부호를 이용하다. extended m 부호를 사용할 경우 Walsh 부호를 사용한 경우보다 심볼 간의 최소거리가 더 멀며 최소거리가 가까운 심볼들의 발생확률은 작다 [2].

$$s(t) = \sum_{i=1}^N d_i(t)c_i(t) \quad (2-1)$$

$i$ 번째 사용자 데이터 신호  $d_i(t)$ 와 채널구분 부호  $c_i(t)$ 는 식 (2-2)과 (2-3)과 같다.

$$d_i(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k u_{T_i}(t - kT_b) \quad (2-2)$$

$$u_{T_i}(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_b \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

$$c_i(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k u_{T_c}(t - kT_c) \quad (2-3)$$

$$u_{T_c}(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_c \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

이 때  $d_k \in \{1, -1\}$ ,  $c_k \in \{1, -1\}$ ,  $T_b = G \cdot T_c$ 이다. 여기서  $G$ 는 처리이득이다.

클리핑한 다중레벨 신호  $s_c(t)$ 를 식 (2-4)에 나타내었다.

$$s_c(t) = s(t) - \eta(t) \quad (2-4)$$

$\eta(t)$ 는 클리핑한 후 잘려져 나간 레벨이다.

$$\eta(t) = \begin{cases} s(t) - 1 & s(t) > 1 \\ 0 & s(t) = -1, 1 \\ s(t) + 1 & s(t) < -1 \end{cases} \quad (2-5)$$

### 2.1.1 Flat 폐이딩 채널

WLAN이나 PAN는 주로 실내에서 사용되며 채널의 통계적 특성은 변하지 않는다고 가정하였다. 또한 주파수 비선택적이고 채널은 시간에 따라 천천히 변화한다고 가정하였다. 이러한 채널 환경을 flat 폐이딩 채널로 모델링할 수 있다. 이 때 채널 응답  $h(t)$ 는 다음과 같다.

$$h(t) = \alpha e^{-j\theta}, \text{ for } 0 \leq t \leq T_b \quad (2-6)$$

수신된 신호  $r(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} r(t) &= h(t)s_c(t) + n(t) \\ &= \alpha e^{-j\theta}(s(t) - \eta(t)) + n(t) \\ &= \alpha e^{-j\theta} \sum_{i=1}^n d_i(t)c_i(t) \\ &\quad - \alpha e^{-j\theta}\eta(t) + n(t) \end{aligned} \quad (2-7)$$

여기서  $n(t)$ 는  $E[n(t)] = 0$ 이고  $\sigma^2 = \frac{No}{2}$ 인 AWGN이다.

### 2.1.2 비선형 증폭기 모델(Saleh 모델)

다중레벨 신호는 PAPR의 증가로 인해 비선형 증폭기를 통과하게 될 경우 AM/AM, AM/PM 왜곡을 겪게 된다. 본 논문에서는 AM/AM, AM/PM 왜곡 특성을 모두 반영하며 저가의 비선형 증폭기로서 사용할 수 있는 Saleh 모델을 적용하였다. 식 (2-8), 식 (2-9)는 각각 증폭기의 AM/AM, AM/PM 왜곡 특성을 나타내며,  $\rho$ 는 근사화된 증폭기 입력신호의 크기를 나타낸다[7].

$$M(\rho) = \frac{2\rho}{1 + \rho^2} \quad (2-8)$$

$$\Phi(\rho) = \Phi_0 \frac{2\rho^2}{1 + \rho^2}, \quad \Phi_0 = \frac{\pi}{6} \quad (2-9)$$

그림 4는 정규화된 증폭기의 입력신호에 대한 출력신호의 왜곡 특성을 보여준다.

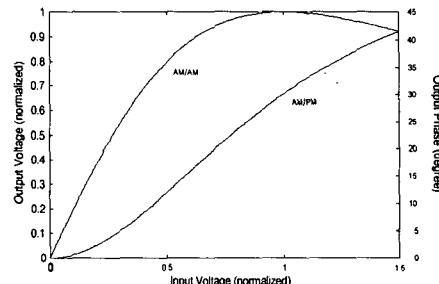


그림 4. 증폭기의 AM/AM, AM/PM 특성

### 2.2 시스템 모델

정포락선 신호로 변환하는 과정에서 신호를 클리핑하게 되면 상호상관특성(Cross Correlation)이 저하 될 것으로 예상된다. 이를 최소화하기 위해 본 논문에서는 extended m 부호를 이용하여 채널을 구분한다[2]. 다중레벨 신호를 1과 -1에서 클리핑하여 펄스폭으로 표현되는 정포락선 신호로 구현하였다. 비선형 증폭기의 input backoff는 3dB로 하였고 처리이득  $G$ 는 64를 고려하였다. 채널 환경은 AWGN 채널과 주파수 비선택적이며 시간에 따라 채널상태가 천천히 변하는 flat 폐이딩 채널을 고려하였다. 표 1에서 이전 클리핑 PW/CDMA 시스템 모델에 대해서 나타내었다.

표 1. 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템 모델

변조 방식	Binary Clipping PW/CDMA
채널구분 부호	extended m seq.
채널환경	AWGN, Flat fading
Clipping level( $L_c$ )	1,-1
사용자의 수(N)	9, 17
처리 이득( G )	64
Input Backoff( IBO )	3dB

### 3. 모의실험 결과 분석

#### 3.1 AWGN 채널

그림 5에서 보는 것처럼 AWGN 채널에서 DS/CDMA 시스템에서는 사용자가 9명일 때와 17명일 때  $Eb/No$ 가 6.6dB에서  $10^{-3}$  BER 성능을 얻을 수 있었다. 사용자가 9명일 때와 17명일 때 BER곡선이 거의 일치함을 볼 수 있다. 반면 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템에서는 사용자가 9명일 때와 17명일 때 각각  $Eb/No$ 가 10.2dB와 15dB에서  $10^{-3}$  BER 성능을 얻을 수 있었다. 비선형 증폭기를 적용하지 않은 경우 AWGN 채널에서 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템은 사용자가 9명일 때와 17명일 때 DS/CDMA 시스템보다 각각 3.6dB와 8.4dB씩 성능 열화가 있었다. 이는 사용자가 증가할수록 다중레벨 신호를 클리핑하는 과정에서 잘려져 나가는 신호 성분들이 많아지기 때문이다.

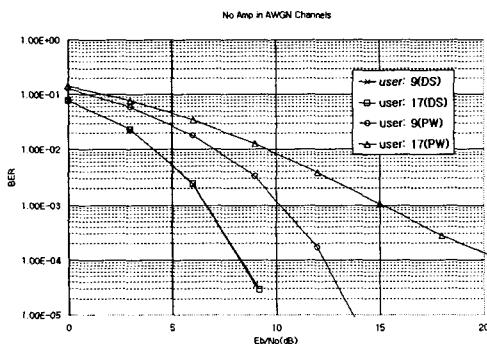


그림 5. 비선형 증폭기를 적용하지 않은 경우

그림 6은 두 시스템에 비선형 증폭기를 적용하여 AWGN 채널에서의 성능을 본 것이다. DS/CDMA 시스템은 사용자가 9명과 17명일 때 각각 8.2dB와 10.5dB에서  $10^{-3}$  BER 성능을 얻을 수 있었다. 이진 클리핑

PW/CDMA 시스템에서는 사용자가 9명일 때와 17명일 때 각각  $Eb/No$ 가 10.2dB와 15dB에서  $10^{-3}$  BER 성능을 보인다. DS/CDMA 시스템의 성능열화는 사용자가 증가 할수록 PAPR이 커져 비선형 증폭기의 비선형 왜곡특성이 더 크게 작용하였기 때문이다. 반면 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템은 비선형 왜곡에 대한 영향이 적어 비선형 증폭기를 적용하지 않았을 경우보다 성능 열화가 나타나지 않았다.

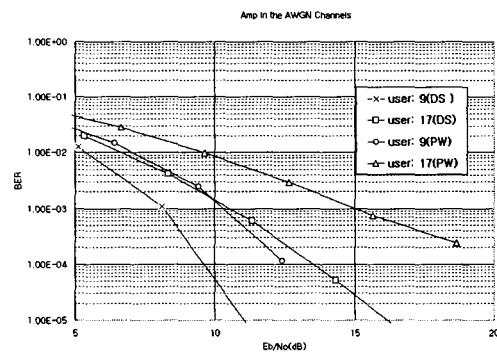


그림 6. 비선형 증폭기를 적용한 경우

#### 3.2 Flat 페이딩 채널

그림 7에서 보는 것처럼 DS/CDMA 시스템에서는 사용자가 각각 9명과 17명일 때 21dB에서  $10^{-3}$  BER 성능을 얻을 수 있었다. 페이딩의 영향으로 AWGN 채널에서보다 성능열화가 있었으나 사용자가 9명과 17명의 BER곡선이 거의 일치하는 것은 AWGN 채널에서의 경우와 같았다. 이진 클리핑 시스템에서는 사용자가 9명과 17명일 때 각각 23dB와 25dB에서  $10^{-3}$  BER 성능을 얻었으며 DS/CDMA 시스템보다 2dB와 4dB 성능열화가 있었다.

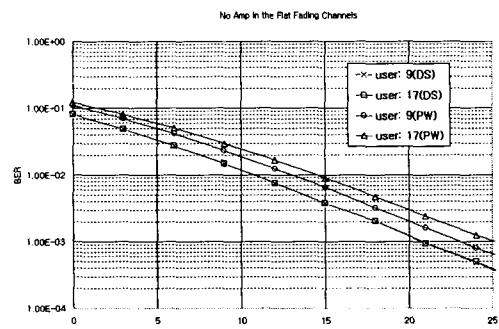


그림 7. 비선형 증폭기를 적용하지 않은 경우

그림 8을 통해 DS/CDMA 시스템이 flat 페이딩 채널 환경에서 비선형 증폭기를 적용하였을 경우 사용자가 각각 9명과 17명일 때 22.6dB와 23dB에서  $10^{-3}$  BER 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 비선형 증폭기를 적용하지 않았을 경우보다 각각 1.6dB와 2dB 성능 열화가 있었다. 반면 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템은 사용자 9명과 17명에서 각각 20.4dB 22.1dB에서  $10^{-3}$  BER 성능을 얻어 오히려 DS/CDMA 시스템보다 사용자가 9명일 때 2.2dB, 사용자가 17명일 때 0.9dB의 성능 개선을 보였다. DS/CDMA 시스템의 성능 열화는 저렴한 비선형 증폭기에서 높은 선형성을 확보하지 못했기 때문이다. 그러나 이진 PW/CDMA 시스템은 정포락선 신호를 사용 하므로 비선형 증폭기에서의 성능 열화가 적다. 저가의 증폭기에서 더 좋은 성능을 발휘할 수 있으므로 시스템 구현 비용을 절감할 수 있는 효과 또한 기대할 수 있다.

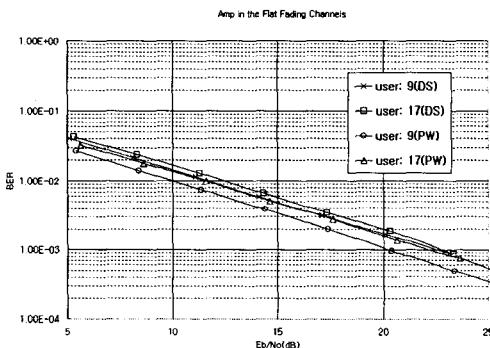


그림 8. 비선형 증폭기를 적용한 경우

#### 4. 결론

본 논문에서는 DS/CDMA 시스템의 장점을 유지하면서 정포락선 신호를 이용해 저가의 비선형 증폭기에서도 좋은 성능을 발휘할 수 있는 신호 처리 기술로서 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템을 제안하였다. AWGN 채널에서는 클리핑으로 잘려나간 신호 성분들에 의한 왜곡이 크게 작용해 DS/CDMA 시스템의 성능이 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템보다 우수하였다. 그러나 실제 채널 환경과 유사한 Flat 페이딩 채널에서는 증폭기의 선형성에 민감한 DS/CDMA 시스템보다 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템이 사용자가 9명일 때 2.2dB, 사용자가 17명일 때 0.9dB의 성능 개선을 보였다. 이진 클리핑 PW/CDMA 시스템은 다중레벨 신호를 1과 -1로 클리핑하여 정포락선을 갖는 필스폭 신호를 이용하는 방법이

다. 이를 통해 좁은 필스폭으로 인한 대역 증가를 막고 대역을 일정하게 유지할 수 있으며 정포락선 신호이므로 송신단 증폭기의 선형성 요구가 크지 않아 시스템의 복잡도를 줄일 수 있다. 저가의 비선형 증폭기 사용이 가능하므로 시스템을 간단하고 저렴하게 구현할 수 있는 경쟁력을 확보할 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] 안치훈, 안철용, 박종호, 류승문, 김동구, "고속무선멀티미디어 전송 LAN/PAN/용 Clipping PW-CDMA 성능분석," 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, pp.68-72, 2001. 7
- [2] 안철용, 안치훈, 김동구, 류승문, "고속데이터 전송을 위한 Multi-Phased MC-CDMA 시스템의 제안 및 성능 분석," 한국통신학회논문지, 제26권 12B호, pp.1637-1647, 2001. 12
- [3] 류승문, 김제우, 문장식, 김효성, "PW/CDMA와 DS/CDMA의 성능비교," JCCI2001, Vol.1, pp.615-618, 2001. 4
- [4] 조용수, "무선 LAN 기술동향," 한국통신학회지, 제 17권 11호, pp.1566-1581, 2000. 11
- [5] K. Ben Letaief, J. C-I Chuang, and R. D. Murch, "Multicode High-Speed Transmission for Wireless Mobile Communications," Proceedings of the IEEE International Conference on Universal Personal Communications, pp. 1835-1839, 1996.
- [6] C-L I, G. P. Pollini, Larry Ozarow, and Richard D. Gitlin, "Performance of Multi-Code CDMA Wireless Personal Communications Networks," Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 907-911, 1995,
- [7] A. A. M. Saleh and J. Salz, "Adaptive Linearization of Power Amplifiers in Digital Ratio Systems," The Bell System Technical Journal, Vol. 62, pp. 1019-1033, April 1983.)