

---

# OFDM 시스템에서 PAPR 감소기법을 적용한 다항식 사전왜곡 기법에 관한 연구

박비호 · 김완태 · 조성준

한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

A Study on Polynomial Pre-distortion Technique Using PAPR Reduction Methode

Bee-ho Park · Wan-tae Kim · Sung-joon Cho

Dept. of Inform. & Telecom. Eng., Graduate School of Korea Aerospace University

E-mail : {beho10, r0238, sjcho}@kau.ac.kr

## 요 약

HPA(High Power Amplifier)는 무선통신 시스템에서 필수적으로 요구되는 요소 중의 하나이다. 그러나 전력 증폭기는 비선형 특성을 가지고 있으며 신호의 비선형 왜곡을 유발 시키고 인접채널 간섭을 심화시켜 시스템의 효율을 떨어뜨린다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 많은 선형화 기법들이 제시되어왔다. 다항식 사전왜곡 기법은 증폭기로 입력되는 신호가 미리 증폭기의 역 특성을 갖도록 하는 기법으로 다항식을 통하여 증폭기를 모델링하기 때문에 수렴 속도가 빠르고 다른 기법들에 비해 좋은 성능을 보인다. 하지만 다항식으로 역 비선형 특성을 구할 경우, 증폭기의 포화영역에서 역 비선형 특성이 거의 무한대가 되어야 하기 때문에 선형화기의 성능이 크게 떨어진다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) 기법을 적용하여 다항식 사전왜곡 기법의 성능을 향상 시켰다.

## ABSTRACT

HPA is one of the most essential device in wireless communication systems. However, because of nonlinear characteristic of HPA transmit signal is distorted with both amplitude and phase, this distortion leads to deepening adjacent channel interference. So a technique to change the nonlinear characteristic with linear characteristic is needed. In this paper, Among all techniques, we adopts a polynomial pre-distortion technique. Pre-distorted signal by pre-distorter has opposite characteristic with HPA. In result, the signal passed through pre-distorter and HPA has linear characteristic. But the accuracy of opposite characteristic of HPA is decreased at near portion of saturation point. So we improve the accuracy of opposite characteristic of HPA by using PAPR reduction method. In this paper, an adaptive polynomial pre-distortion technique is introduced to counterbalance the nonlinear characteristic of the transmit power amplifier, and a PAPR reduction method is introduced to increase efficiency of polynomial pre-distorter.

## 키워드

OFDM, HPA, PAPR, Pre-distortion

## 1. 서 론

무선통신 서비스의 종류가 다양해지고 멀티미디어 서비스로 변화함에 따라서 고속의 데이터 전송과 전송의 신뢰성에 대한 사용자들의 요구는 점차 증가하고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 부반송파를 사용하는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 같은 기술이 차세대 시스템에 적용 되고 있는 추세이다. 그러

나 다중 부반송파를 사용하는 OFDM 방식은 동 위상의 부반송파들이 겹치게 됨으로써 PAPR 문제를 발생시키게 된다. PAPR 발생은 신호가 시스템의 HPA를 통과하게 될 때 더욱 심각한 문제를 일으키게 되는데 이는 HPA가 가지고 있는 비선형적인 특성에 의해 발생하는 것으로 심각한 신호의 왜곡을 야기시킨다. 증폭기에 의한 비선형 왜곡을 피하는 가장 쉬운 방법은 동작점을 HPA의 포화영역에서 백오프 시키는 것이다. 하지만

이 방법은 시스템에서 중요시 되는 전력 측면에서 비효율적인 방법이다. 따라서 시스템의 전력효율을 감소시키지 않고 포화영역에서의 비선형 왜곡을 피할 수 있는 방법이 연구되었으며 가장 보편적으로 사용되고 있는 것이 사전왜곡방식이다. 사전왜곡 방식은 HPA의 전단에 HPA 비선형 특성과 정확하게 역이 되는 특성을 가지는 신호를 인가함으로써 결과적으로 HPA의 출력에서는 선형적인 신호를 얻을 수 있도록 하는 방법이다. 그 중에서도 다항식 사전 왜곡 기법은 증폭기의 특성을 다항식으로 모델링하여 역특성을 추정하는 방식으로 증폭기의 추정 성능에 따라 역특성의 정확도가 달라진다. 포화영역 근처에 가까운 신호일수록 HPA의 역특성을 추정하는데 오차가 발생하게 되고 이러한 오차는 신호의 에러율을 증가시키게 된다. 본 논문에서는 PAPR 감소기법을 사용하여 포화 영역에 가까워지는 신호를 줄이고 이로써 HPA 역특성 추정시 발생하는 오차를 줄여 전체 시스템의 성능을 개선시키고자 한다.

## II. 본 론

### 2.1 TWTA와 사전왜곡 기법

OFDM 시스템 송신단에서 전송신호는 고출력 증폭기에 의해 전송에 필요한 출력으로 증폭되고, 이 과정에서 전송 신호의 출력을 높이기 위해 고출력 증폭기의 비선형 포화 영역에서 동작하게 된다. 이러한 비선형 왜곡은 증폭기 입력 신호 진폭의 변화가 클수록 더욱 심각하게 나타난다. 본 논문에서 고출력 증폭기로 고려하는 TWTA의 비선형 특성은 Saleh의 파라미터 모델에 의해 주로 표현되고, 이 모델에서는 TWTA의 출력 특성을 진폭 및 위상에 대하여 각기 나타낸다[1][2].

$$A(r) = \alpha_a r / (1 + \beta_a r^2), \Phi(r) = \alpha_\phi r^2 / (1 + \beta_\phi r^2) \quad (1)$$

여기서  $A(r)$ 은 입력신호  $r$ 에 대한 AM-AM 특성이며,  $\Phi(r)$ 은 AM-PM특성으로 표현된다. 다음의 파라미터는 TWTA의 비선형 특성을 Saleh 모델로 표현하기 위한 값이며, Berman과 Mahle이 제시한 값이다.

$$\alpha_a = 1.9638, \beta_a = 0.9945, \alpha_\phi = 2.5293, \beta_\phi = 2.8168$$

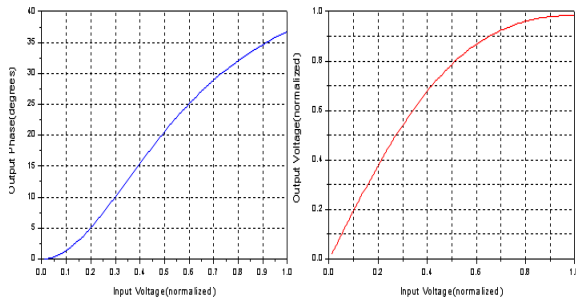


그림 1. TWTA의 AM/PM, AM/AM 특성

### 2.2 증폭기 모델링

본 논문에서 사용하는 TWTA는 식 (2)를 통해 모델링 할 수 있다. 전력 증폭기는 메모리 효과가 있는 증폭기와 메모리 효과가 없는 증폭기로 구분할 수 있는데 메모리 효과는 열에 의한 영향과 광대역 시스템의 주파수 옵셋에 따라 발생하는 증폭기의 특성 변화를 말한다. 메모리 효과가 없는 증폭기는 다시 완전한 메모리 효과 없는 증폭기와 준 메모리 효과 없는 증폭기로 구분이 가능 한데 TWTA는 준 메모리 효과 없는 증폭기로 구분된다. 완전한 메모리 효과 없는 증폭기는 식 (2)에서  $b_k$ 가 실수 값을 가지며 위상 변화를 발생시키지 않지만 준 메모리 효과 없는 증폭기는  $b_k$ 가 복소 값을 가지며 진폭의 왜곡과 더불어 위상의 왜곡을 발생시킨다.

$$y(t) = \sum_{\substack{k=1 \\ k=odd}}^k b_k x(n) |x(n)|^{k-1} \quad (2)$$

$y(t)$ ,  $b_k$ 는 전력 증폭기의 출력과 전력 증폭기의 특성을 나타내는 계수이며  $k$ 는 다항식의 차수를 나타낸다. 본 논문에서는 위의 다항식 모델을 사용하며 다항식의 차수는 5 차항까지 고려하였다[3].

### 2.3 다항식 직접학습 방식 사전왜곡 기법

그림 2는 직접학습 방식의 사전왜곡기의 구조다. 직접학습 방식에서는 식 (3)에서 비용함수  $J$ 를 최소화 시키는 계수를 구하기 위해 HPA를 추정한다.  $J$ 의 최소값은 미분을 통해서 얻을 수 있지만 HPA의 함수 특성을 알지 못하면 미분을 할 수 없기 때문이다. 증폭기를 추정하기 위한 적응형 알고리즘으로 LMS(Least Mean Square)기법을 사용하였다[4][5].

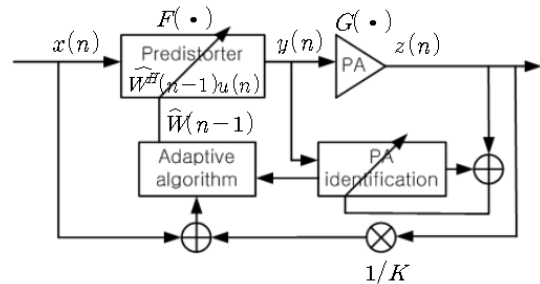


그림 2. 직접학습 방식 사전왜곡기 구조

보다 정확한 역함수 특성을 구하기 위해서는 최적의 사전왜곡기 계수  $w(n)$ 을 구해야 하고 이를 위한 비용함수는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$J(n) = E[|e(n)|^2]$$

(3)

$$e(n) = d(n) - G(W(n)u(n)), d(n) = Kx(n)$$

또한 LMS 알고리즘은 식 (4)와 같이 비용함수가 최소값을 가지도록 계수를 갱신하고 수렴시킨다.

$$\hat{w}^H(n+1) = \hat{w}(n) + \mu u(n)e^*(n) \quad (4)$$

이 과정에서 HPA의 포화영역을 거쳐서 들어온 신호는 비용함수가 최소값을 갖도록 하는 계수로 수렴하는데 오차가 많이 발생하게 되어 사전왜곡기의 성능을 감소시키게 된다. 따라서 본 논문에서는 가장 간단한 PAPR 감소기법인 클리핑을 수행하여 포화구간의 신호를 4 dB 제거한 후의 다항식 사전왜곡기와 클리핑을 수행하지 않았을 경우의 사전왜곡기의 선형화 성능을 분석해보았다.

### III. 시뮬레이션 및 결과

식 (5)와 식 (6)은 클리핑을 수행하지 않았을 경우와 수행했을 경우에 얻어진 사전왜곡기의 다항식 계수들이다.

$$\begin{pmatrix} w_1 = 0.6667 - 0.0117j \\ w_3 = 0.6226 - 0.3774j \\ w_5 = 0.7540 - 0.4371j \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} w_1 = 0.4577 - 0.2861j \\ w_3 = 0.1239 - 0.0731j \\ w_5 = 0.0859 - 0.1067j \end{pmatrix} \quad (6)$$

사전왜곡기의 다항식 계수가 수렴할 때 어느 정도 오차를 가지고 수렴하게 되는데 그림 (3), 그림 (4)와 같이 클리핑을 수행하지 않았을 경우와 수행했을 경우에 차이를 보인다. HPA의 역함수 추정시 오류를 발생시킬 수 있는 포화영역의 신호를 클리핑 함으로써 보다 정확한 역함수를 구할 수 있게 된다.

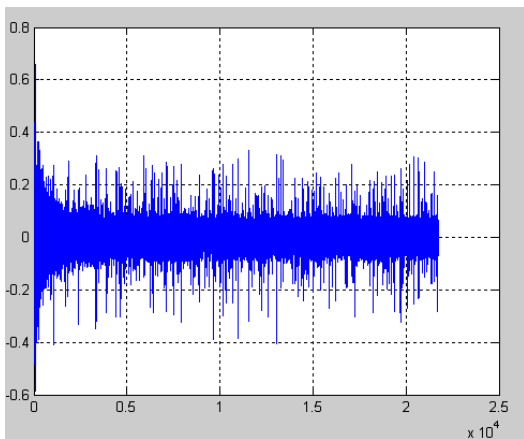


그림 3. 클리핑을 수행하지 않은 경우의 계수 수렴 오차

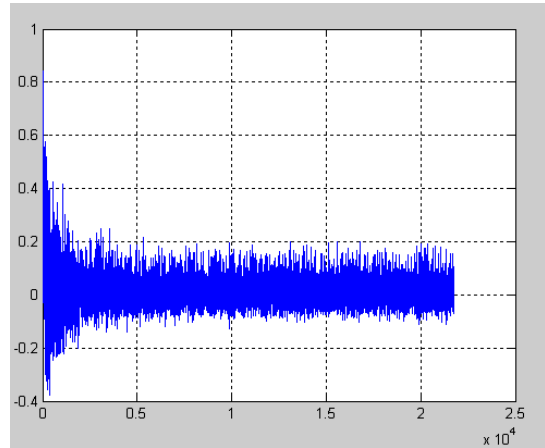


그림 4. 클리핑을 수행한 경우의 계수 수렴 오차

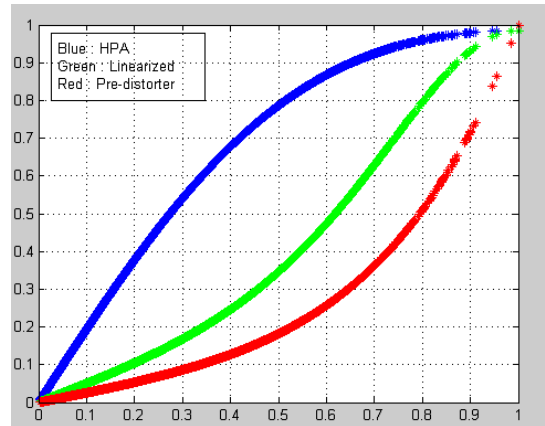


그림 5. 클리핑을 수행하지 않은 사전왜곡기 성능

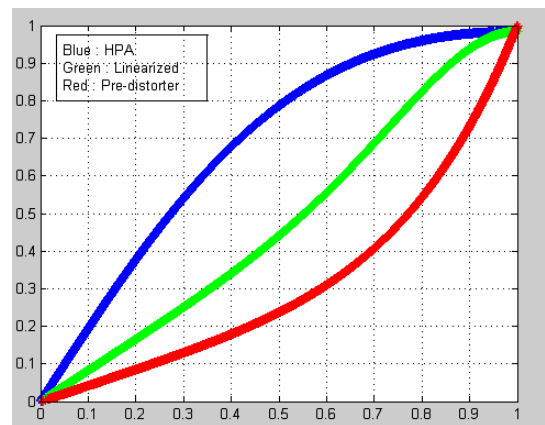


그림 6. 클리핑을 수행한 경우의 사전왜곡기 성능

그림 (5)와 그림 (6)은 본 논문에서 직접기반의 사

전왜곡 기법을 통해 얻어진 다항식 사전왜곡기의 성능을 보여주고 있다. 클리핑을 수행하지 않았을 경우의 사전왜곡기 성능과 수행했을 경우의 성능을 비교해보면 클리핑을 수행한 경우의 사전왜곡기를 통과하고 HPA를 거쳐 출력된 신호가 좀 더 선형에 가까움을 확인할 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 증폭기의 비선형 특성을 개선시키기 위한 방법으로 PAPR 감소기법과 다항식 사전왜곡 기법을 사용하였다. 다항식 사전왜곡 기법은 증폭기의 특성을 다항식으로 모델링하기 때문에 포화영역을 통과하는 신호들에 대해서 역함수 값을 구할 경우 오차가 발생하거나 한 가지 값으로 수렴하지 않는 경우가 발생한다. HPA의 비선형 특성에 의한 계수의 오차는 비선형 구간뿐만 아니라 선형구간의 오차도 유발할 수 있기 때문에 우선적으로 해결되어야 한다. 따라서 포화영역을 넘는 신호들에 대해서 클리핑을 수행하여 역함수를 구하고자 할 때 정확한 계수로 수렴할 수 있도록 하였고 시뮬레이션을 통해 이를 확인하였다.

#### 참고문헌

- [1] Adel A. M. Saleh, "Frequency-independent and frequency-dependent nonlinear models of TWT amplifiers," *IEEE Transaction on Communications*, vol. 29, no. 11, pp. 1715-1750, Nov. 1981.
- [2] Joel H. K. Vuolevi, "Measurement technique for characterizing memory effects in RF power amplifier," *IEEE Transaction on Microwave theory and techniques*, vol. 49, no. 8, Aug. 2001.
- [3] Lei Ding, "A robust digital baseband predistorter constructed using memory polynomials," *IEEE Transaction on Communications*, vol. 52, no. 1, Jan. 2004.
- [4] Lok-Kee Ting, "LMS coefficient filtering for time-varying chirped signals," *IEEE Transaction on Signal processing*, vol. 52, no. 11, Nov. 2004.
- [5] Scott C. Douglas, "Analysis of the multiple-error and block least-mean-square adaptive algorithms," *IEEE Transaction on Circuits and systems*, vol. 42, no. 2, Feb. 1995.