

# 차세대 이동통신 시스템에 PAPR 감소기법을 적용한 다항식 사전왜곡 기법에 관한 연구

## A Study on Polynomial Pre-Distortion Technique Using PAPR Reduction Method in the Next Generation Mobile Communication System

김완태\*, 박기식\*\*, 조성준\*

Wan-Tae Kim\*, Ki-Sik Park\*\* and Sung-Joon Cho\*

### 요 약

차세대 이동통신 시스템은 다양한 서비스의 융합과 멀티모드를 지원하기 위한 구조로 연구되고 있다. 또한 다양한 서비스를 제공받기 위한 사용자의 요구는 점차 증가되고 있으며, 서비스 지원을 위한 대용량 데이터 전송을 위한 많은 통신방식들이 출현하고 있다. 그 중 대표적인 시스템으로 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 이용하는 WiBro(Wireless Broadband), WLAN(Wireless Local Area Network) 등이 있다. 하지만 차세대 이동통신 시스템에서는 하나의 단말로 OFDM 방식을 이용한 통신방식 이외 CDMA(Code Division Multiple Access), WCDMA(Wideband CDMA) 방식을 동시에 지원 받고자한다. 통합된 시스템은 SoC(System on Chip) 기술 적용으로 빠른 발전을 이루고 있지만, 무선통신 시스템에서 필수적으로 요구되는 요소 중 전력 증폭기의 비선형 특성으로 인한 신호의 왜곡을 유발시켜 인접채널 간섭을 심화 시키고 시스템의 효율을 떨어뜨리는 문제를 해결해야 한다. 전력증폭기의 문제점을 해결하기 위해 많은 선형화 기법들이 제시되었으며, 다항식 사전왜곡 기법은 증폭기로 입력되는 신호가 증폭기의 역 특성을 갖도록 하는 기법으로 다항식을 통하여 증폭기를 모델링하기 때문에 수렴 속도가 빠르고 다른 기법들과 비교하여 우수한 성능을 보인다. 본 논문에서는 차세대 이동통신 서비스를 위한 모뎀 구조를 제시하고, OFDM 방식 사용에 있어 발생하는 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) 감소 기법을 적용한 후 다항식 사전왜곡 기법을 적용하여 차세대 이동통신 시스템을 분석하였다.

### Abstract

Recently, the NG(Next Generation) system is studied for supporting convergence of various services and multi mode of single terminal. And a demand of user for taking the various services is getting increased, for supporting these services, many systems being able to transmit a large message have been appeared. In the NG system, it has to be supporting the CDMA and WCDMA besides the tele communication systems using OFDM method with single terminal. An intergrated system can be improved with adopting of SoC technique. For adopting SoC technique on the intergrated terminal, we have to solve the non linear problem of HPA(High Power Amplifier). Nonlinear characteristic of HPA distorts both amplitude and phase of transmit signal, this distortion cause deep adjacent channel interference. We adopt a polynomial pre-distortion technique for this problem. In this paper, a noble modem design for NG mobile communication service and a method using polynomial pre-distorter with PAPR technique for counterbalancing nonlinear characteristic of the HPA are proposed.

Key words : OFDM, Clipping, PAPR, 4G mobile, Modem structure, Pre-Distortion

### I. 서 론

차세대 이동통신 서비스에서는 다양한 서비스 지

원을 하나의 시스템으로 제공받고자 하는 요구가 증가되고 있다[1]. 현재 이동통신 서비스를 지원하기 위한 대표적인 통신방식은 OFDM 방식을 이용하는

\* 한국항공대학교 (Dept. of Inform. & Telecom. Eng., Graduate School of Korea Aerospace University)

\*\* 인하공업전문대학 정보통신과

· 제1저자 (First Author) : 김완태

· 투고일자 : 2010년 9월 18일

· 심사(수정)일자 : 2010년 9월 19일 (수정일자 : 2010년 10월 20일)

· 게재일자 : 2010년 10월 30일

WiBro, WLAN 시스템과 직접대역확산(DSSS) 방식을 이용하는 CDMA, WCDMA 가 대표적이라고 할 수 있다. OFDM 방식을 이용하는 시스템의 경우 기존 인터넷을 기반으로 하는 데이터 중심의 서비스에서 유선의 한계를 극복하고 이동성을 제공하기 위한 시스템이며, DSSS 방식을 이용하는 시스템의 경우 기존 음성서비스를 중심으로 기본적인 데이터 서비스를 지원하기 위한 시스템으로 사용되고 있다. 하지만 점차 데이터 서비스의 사용이 높아지고 하나의 단말을 이용하여 두 서비스를 동시에 사용하고자 하는 요구가 증가함으로 차세대 이동통신 시스템에서는 두 방식을 동시에 사용할 수 있는 이동통신 단말이 출현 될 것으로 예상된다[1][2].

통합 서비스 지원을 위한 단말은 최근 SoC 기술을 이용하여 하나의 융합된 구조로 설계가 가능하지만 시스템의 RF(Radio Frequency) 부분의 전력 증폭기에서 발생하는 문제를 해결해야하는 어려움이 있다. 그 중 다수의 부반송파를 이용하는 OFDM 방식의 경우 부반송파들이 동일위상으로 더해지면서 높은 PAPR 문제를 발생 시키게 되고, PAPR 발생은 신호가 HPA를 통과 할 때 더욱 심각한 문제를 일으키게 된다. 이는 HPA가 가지고 있는 비선형적인 특성에 의해 발생하는 것으로 심각한 신호의 왜곡을 야기 시킨다. 증폭기에 의한 비선형 왜곡을 피하는 가장 쉬운 방법은 HPA의 동작점을 포화영역에서 백 오프 시키는 것이지만, 이 방법은 시스템에서 중요시 되는 전력 측면에 있어 비효율적인 방법이다. 따라서 시스템의 전력 효율을 감소시키지 않고 포화영역에서의 비선형 왜곡을 피할 수 있는 방법이 연구되었으며 가장 보편적으로 사용되고 있는 것이 사전왜곡방식이다.

사전왜곡 방식은 HPA의 전단에 HPA 비선형 특성과 정확하게 역이되는 특성을 가지는 신호를 인가함으로써 결과적으로 HPA의 출력에서 선형적인 신호를 얻을 수 있도록 하는 방법이다. 그 중에서도 다항식 사전 왜곡 기법은 증폭기의 특성을 다항식으로 모델링하여 역 특성을 추정하는 방식으로 증폭기의 추정 성능에 따라 역 특성의 정확도가 달라진다. 포화영역 근처에 가까운 신호일수록 HPA의 역 특성을 추정하는데 오차가 발생하게 되고 이러한 오차는 신호의 에러율을 증가 시키게 된다. 따라서 본 논문에서

서는 차세대 이동통신을 위한 모뎀 구조를 제안하고, 모뎀 구조 중 OFDM 방식을 사용함에 있어 발생하는 PAPR 문제를 감소 기법을 사용하여, OFDM 신호를 포화영역에 가까워지는 신호가 되도록 하고 HPA의 역 특성 추정 시 발생하는 오차를 줄여 차세대 이동통신 시스템의 성능을 개선시키고자 한다.

## II. 차세대 이동통신 모뎀구조

차세대 이동통신시스템에서는 DSSS 방식을 기본으로 한 통신방식과 OFDM 방식을 기본으로 한 통신방식이 핵심 기술로 적용될 것으로 예상되므로 차세대 이동통신시스템은 두 가지 방식의 구조를 모두 포함 하고 있어야 한다. 하지만 이동통신 방식에 적용되는 동일 방식의 기술은 공통으로 사용할 수 있으므로 그림 1과 같이 구성할 수 있다. 제안하는 시스템의 구조는 DSSS 방식을 이용한 CDMA, WCDMA 서비스를 위해 Walsh 코드와 PN 코드를 삽입할 수 있도록 제안되었고, 시스템을 효율적으로 사용하기 위해 Power Control Bit 를 추가 하였다. 또한 OFDM 방식을 이용하는 WLAN, WiBro 서비스를 위해 IFFT 와 Guard Interval, Window을 구성하였다. 하나의 단말로 두 가지 방식의 시스템 선택을 위하여 System Decision Switch 를 추가 하였고, 시스템에서 공통으로 사용되는 Interleaver, Convolution 을 구성하였으며, 다양한 변조 방식을 지원 할 수 있도록 Modulation 블록을 구성하였다. 또한 PAPR 감소를 위해 SSC(Sine Soft Clipping) 기법을 적용한 PAPR Reduce 블록을 구성하였으며, Pre-Distorter 블록을 추가 하여 사전왜곡을 통한 비선형 특성을 개선하기 위한 블록을 추가 하였다. 따라서 시스템의 PAPR을 감소시키고 사전왜곡기를 통하여 전력증폭기의 효율을 증가 시킬 수 있도록 제안 하였다.

## III. PAPR 감소를 위한 SSC 기법

차세대 이동통신 시스템의 PAPR을 감소시키고 직

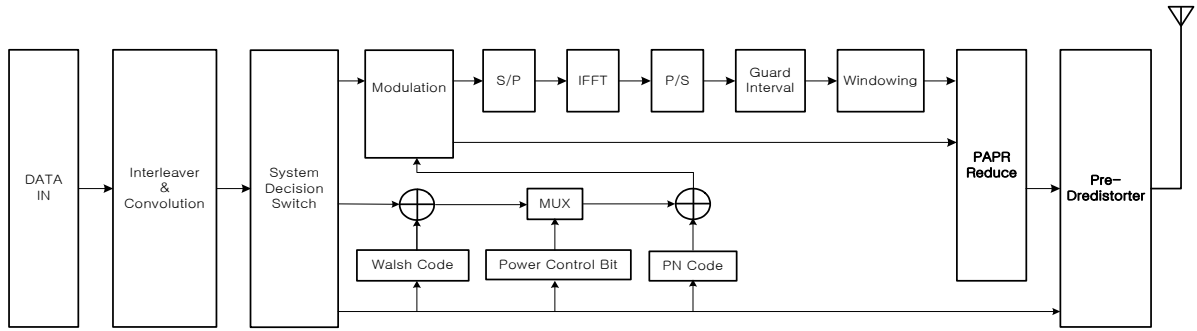


그림 1. 제안하는 차세대 이동통신 시스템 구조  
 Fig. 1. Proposing next generation mobile system modem structure.

접 기반의 다항식 사전왜곡기의 성능을 향상시키기 위한 PAPR 감소 기법으로 SSC 기법을 적용한다. PAPR을 감소시키는 가장 간단한 기법은 그림 2의 클리핑 기법이 있다. 하지만 클리핑 기법은 원 신호를 왜곡시킴으로써 발생하는 고주파 성분이 신호의 왜곡을 야기 시키며, 이로 인해 대역 외 스펙트럼 방출이 심각하게 증가하게 된다[3][4].

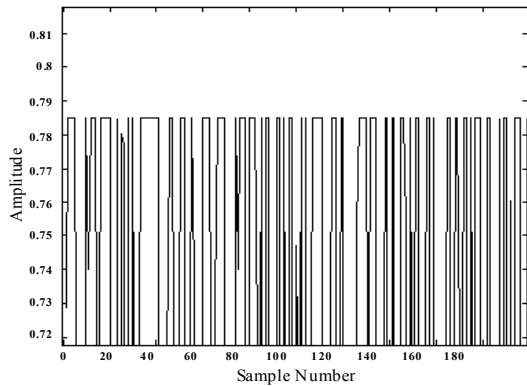


그림 2. 클리핑 이후의 OFDM 신호  
 Fig. 2. OFDM Signal after Clipping.

논문에서 적용된 SSC 기법은 일반적인 클리핑 기법과 달리 신호가 클리핑 되는 구간의 길이에 따라 반주기의 sine wave가 특정 클리핑 레벨에 더해져 신호를 제한 한다. 이 기법은 대역 외 스펙트럼의 절대 값 감소는 작지만 신호의 침투 값이 증가하기 때문에 고정된 크기로 신호를 제한 한 기존 기법과 비교하여 대역 외 스펙트럼 방출이 감소하는 효과를 가져 온다 [5][6][7].

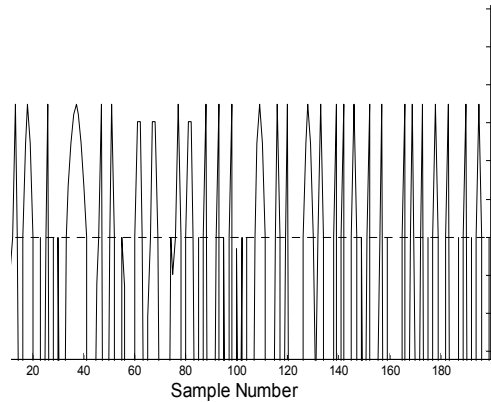


그림 3. SSC 기법이 적용된 시간영역 신호  
 Fig. 3. Time spec signal by SSC technique.

SSC 기법의 신호 제한 레벨은 다음 식과 같이 정의 할 수 있다.

$$CL = x + a \cdot \sin[\pi(i-1)/(n-1)] \quad (1)$$

식 (1)에서  $x$ 는 그림 3의 점선에 해당하는 클리핑 레벨이며,  $a$ 는  $x$ 에 더해지는 반주기의 sine wave의 크기를 나타낸다.  $i$ 는 클리핑 구간에서의 샘플 순서이고,  $n$ 은 클리핑 되는 샘플의 개수를 나타낸다.

다음은 식 (1)을 통해 결정된 클리핑 레벨을 이용하여 클리핑을 수행하기 위한 수식이다.

$$C_i = \begin{cases} X_i, & |X_i| \leq Threshold \\ CL \cdot e^{j\angle X_i}, & |X_i| > Threshold \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서  $C_i$ 는 PAPR 감소를 거친 신호이며,  $X_i$

는 symbol shaping 이 수행된 신호이다. 입력된 신호  $X_i$  의 크기를 클리핑 레벨 값과 비교한 후 값이 클 경우 클리핑이 수행된다.

#### IV. 다항식 기반의 직접학습 방식 사전왜곡 기법

다항식 사전 왜곡 구조에서는 사전왜곡기의 계수를 구하기 위한 비용함수를 최소화하기 위해 비용함수를 사전왜곡기의 탭 계수  $W(n)$ 으로 미분해야 한다. 하지만 전력증폭기 함수를 알 수 없기 때문에 미분을 할 수가 없으므로 LMS와 같은 적응형 알고리즘을 사용할 수가 없다. 따라서 다항식 기반의 직접학습 방식 사전왜곡 기법에서는 적응형 알고리즘 유도에 필요한 증폭기 함수  $G$  를 미리 추정된 후에 적응형 알고리즘에 적용한다. 그림 4는 다항식 직접학습 방식 사전 왜곡기 구조이다[8][9].

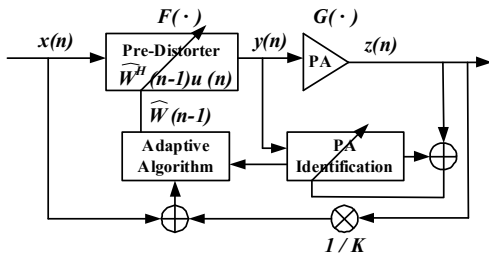


그림 4. 직접학습 방식 사전 왜곡 기법  
Fig. 4. Direct Learning Polynomial Pre-distortion Method.

최적의 사전 왜곡기 계수  $W(n)$ 을 구하기 위한 비용함수는 다음 식과 같이 정의된다.

$$J(n) = \sum_{i=1}^n \lambda^{n-1} |e(i)|^2 \quad (3)$$

$J(n)$ 을 최소화하기 위해서는  $W(n)$ 에 대하여 미분하며 증폭기 추정 블록에서 증폭기 함수  $G$  를 추정했기 때문에 미분이 가능하다. 또한, 직접학습 기반의 다항식 사전 왜곡 기법을 위해서는 적응형 알고리즘이 필요하다.

적응형 알고리즘은 주의 여건의 변화에 따라 목

적함수를 최소화 하는 방향으로 동작하며, 그림 5와 그림 6은 적응형 알고리즘이 사용되는 대표적인 예를 나타낸다[10].

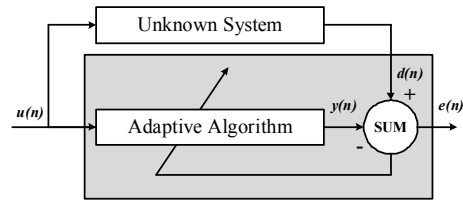


그림 5. Unknown System 추정을 위한 적응형 알고리즘  
Fig. 5. Adaptive Algorithm to Identify an Unknown System.

그림 5와 같은 시스템은 특성이 알려지지 않은 시스템에 대해 그 특성을 추정하고자 할 때 적용하며, 본 논문에서는 비선형 증폭기의 역 특성 추정을 위한 적응형 알고리즘으로 사용한다.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} w^* u(n-k), n = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

식 (4)에서 출력  $y(n)$ 은 입력  $u(n)$ 과 가중치 벡터  $w_k$ 의 컨볼루션으로 표현된다.

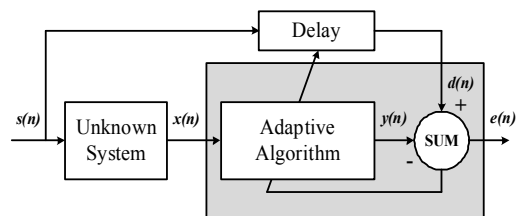


그림 6. Inverse System 추정을 위한 적응형 알고리즘  
Fig. 6. Determining an Inverse Response to an Unknown System.

그림 6에서 에러신호  $e(n)$ 은 요구되는 신호  $d(n)$ 과 출력신호  $y(n)$ 의 차이로 얻을 수 있고, 다음 식으로 정의 할 수 있다.

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (5)$$

에러 값을 나타내는 또 다른 방법으로는 제곱평균 오차법이 있으며 다음 식으로 정의 할 수 있다.

$$J = E[e(n)e^*(n)] = [e(n)]^2 \quad (6)$$

식 (6)과 같은 제곱평균오차를 비용함수라 하며 비용함수  $J$ 를 최소화 시키는 가중치 벡터  $w_k$ 를 찾는 것이 적응형 알고리즘의 목적이다.  $w_k$ 는 다음 식으로 정의할 수 있다.

$$w_k = a_k + j b_k, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

본 논문에서 사용하는 다항식 사전 왜곡기의 계수도 식 (7)과 같이 복소수 형태를 가진다. 논문에서는 적응형 알고리즘으로 LMS 알고리즘을 적용하였다. LMS와 같은 적응형 알고리즘의 이해를 위해서는 최소한의 최적화 이론에 대한 이해가 필요하며, 최적화란  $W = [w_0, w_1, w_2, \dots, w_{M-1}]^T$ 의 함수  $J(W)$ 가 최소가 되는 값을 구하는 문제로 최소 점을 찾지 않고, 초기 값 부터 시작하여 적절한 스텝 사이즈  $\mu$  만큼씩 이동하며 최소 점을 찾는 방식이다. 따라서 LMS 알고리즘은 다음과 같은 관계식으로 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} y(n) &= \widehat{W}^H(n)u(n) \\ e(n) &= d(n) - y(n) \\ \widehat{W}(n+1) &= \widehat{W}(n) + \mu u(n)e^*(n) \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)의  $y(n)$ 은 출력을 나타내고  $e(n)$ 은 추정 에러를 나타내며,  $\widehat{W}(n+1)$ 은 LMS 알고리즘의 계수 갱신 방법의 결과를 나타낸다[9].

### V. 시뮬레이션 결과 및 검토

본 논문에서 다항식 사전왜곡 기법에 SSC를 적용하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 그림 7은 본 논문에서 시뮬레이션을 수행하기 위한 시스템 구조이다.

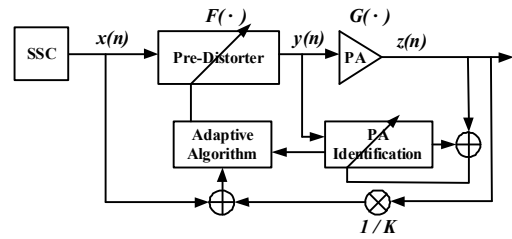


그림 7. SSC를 적용한 Inverse System 추정을 위한 적응형 알고리즘

Fig. 7. Determining an Inverse Response to an Unknown System using SSC.

SSC 기법의 적용에 따른 다항식 사전왜곡기의 성능을 분석하기 위해 시스템 성능에 영향을 미칠 수 있는 파라미터는 고정 시켰으며, 식 (8)의  $\widehat{W}(n+1) = \widehat{W}(n) + \mu u(n)e^*(n)$ 에서 사전왜곡기의 수렴속도와 정확도에 영향을 미치는 스텝사이즈  $\mu$ 는 0.01로 고정시켰고, 사전왜곡기의 초기 계수 값은 0.5로 고정시켰다. 또한 12dB의 PAPR을 가진 입력신호의 3dB 정도가 전력증폭기의 포화영역을 넘어서 동작할 때 사전왜곡기의 성능과 포화영역을 넘어서는 peak 신호를 SSC 기법으로 제거한 후 사전 왜곡기 성능을 비교 분석 하고, 포화 영역을 넘어가는 신호를 선형구간으로 백 오프 한 신호와 SSC 기법을 수행한 신호를 비교 분석하였다. 그림 8은 SSC 기법을 적용한 시스템의 BER 특성이다.

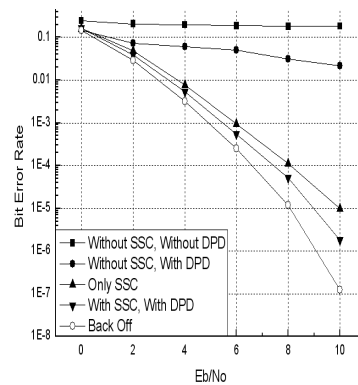


그림 8. SSC 기법 적용에 따른 BER 특성곡선  
Fig. 8. BER Curve with/without SSC Technique.

SSC를 적용한 후 사전 왜곡기를 이용한 시스템은 BER 10<sup>-5</sup>을 기준으로 9 dB의 Eb/N0 값을 가지게 되고 SSC 기법만을 적용한 경우 10 dB의 Eb/N0 값을 가지므로 1 dB 정도의 이득을 얻을 수 있다. 그림 9

는 SSC 기법 적용에 따른 평균 최소 자승 오차 값에 대한 성능이다.

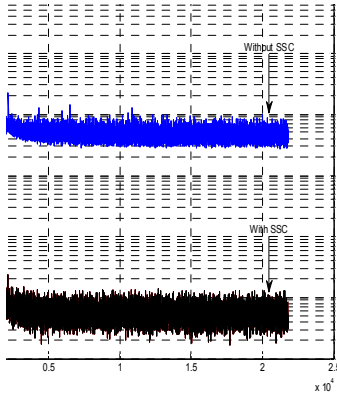


그림 9. Mean Square Error 성능 비교  
Fig. 9. Performance Comparison of MSE.

사전왜곡기의 다항식 차수는 5차 항까지 고려하였으며, 500번의 독립적인 시도를 통해 최소 자승 오차 값을 얻었다. SSC 기법을 적용했을 경우 오차 값은 적용하지 않았을 때의 오차 값보다 10-3 정도 작아지는 것을 확인할 수 있다. 그림 10과 그림 11은 SSC 기법을 적용하지 않았을 경우와 적용했을 경우의 사전 왜곡기 성능에 대한 결과이다.

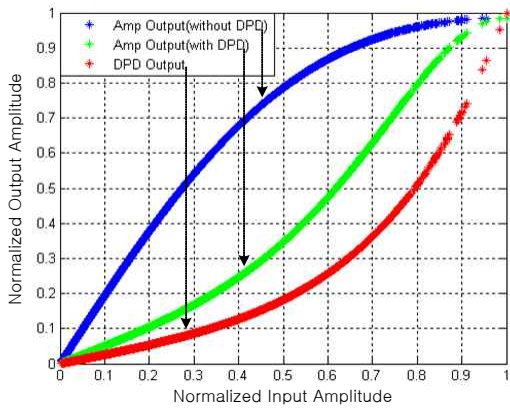


그림 10. SSC 기법을 적용하지 않은 사전전왜곡기 성능  
Fig. 10. DPD Performance without SSC Technique.

그림 10은 SSC 기법을 적용하지 않았을 때의 사전 왜곡기의 성능으로 사전 왜곡기 계수가 다음 식과 같을 때의 역 특성을 보여준다.

$$\begin{aligned} w_1 &= 0.6667 - 0.0117j & (9) \\ w_3 &= 0.6226 - 0.3774j \\ w_5 &= 0.7540 - 0.4371j \end{aligned}$$

식 (9)과 같은 조건일 때 계수로 수렴하면서 발생하는 최소 자승 오차는 그림 9의 without SSC 와 같다. 포화 영역에서의 동작으로 인해 정확한 계수로 수렴하지 않기 때문에 오차가 많이 발생하며, 직접적으로 사전왜곡기의 선형화 성능에 좋지 않은 영향을 미친다.

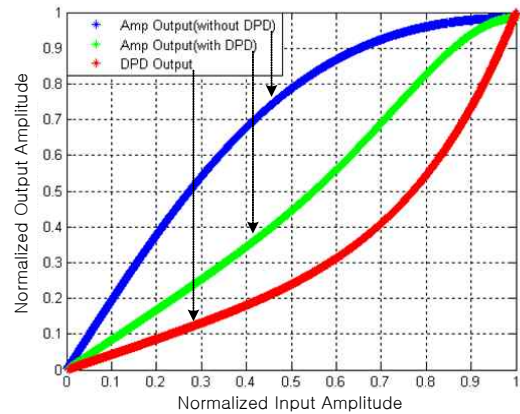


그림 11. SSC 기법을 적용한 사전전왜곡기 성능  
Fig. 11. DPD Performance with SSC Technique.

그림 11 는 SSC 기법을 통해 포화영역의 신호를 제한 한 사전 왜곡기 특성을 보여주며, 그림 10과 비교했을 때 선형성이 개선되었음을 확인할 수 있다. 이때 사전 왜곡기 계수는 다음 식으로 수렴하면서 평균 최소 자승 오차는 그림 9의 with SSC 와 같다.

$$\begin{aligned} w_1 &= 0.4577 - 0.2861j & (10) \\ w_3 &= 0.1239 - 0.1067j \\ w_5 &= 0.0859 - 0.1067j \end{aligned}$$

## VI. 결 론

본 논문에서는 차세대 이동통신 시스템의 구조를 제안 하였고, 그 중 OFDM 방식의 사용으로 인해 발생하는 PAPR 문제를 해결하기 위해 PAPR 감소 기법 중 하나인 SSC 기법을 사용하여 포화 영역을 넘는

신호를 제거함으로써 다항식 사전왜곡 기법의 성능을 개선시키고자 하였다. SSC 기법의 적용은 다항식 사전왜곡기의 성능을 개선시킬 수 있었으며, 차세대 이동통신 시스템에 사용되는 전력증폭기의 비선형 특성을 개선시킬 수 있었다. 시뮬레이션을 통해 제안한 차세대 이동통신 시스템의 BER, 전력증폭기 선형성 등의 성능을 분석한 결과, BER 특성은 SSC 기법만 적용한 신호보다 SSC 기법과 사전 왜곡기를 모두 적용한 신호가 10<sup>-5</sup>을 기준으로 1 dB 성능이 개선된 것을 알 수 있었고, 사전왜곡기의 특성곡선을 살펴보면 논문에서 제안한 SSC 기법을 사용한 구조의 사전 왜곡기 계수가 적용하지 않았을 경우에 비해 정확하게 수렴함으로써 전력증폭기 출력이 선형성이 개선되었음을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김경호 "LTE 단말 모뎀 기술 및 동향," *대한전자공학회 논문집*, 36(2), pp. 105- 120, 2009년2월.
- [2] Sanchez, J.J., Morales-Jimenez, D., Gomez, G., and Enrambasaguas, J.T., "Physical layer performance of long term evolution cellular technology," *Mobile and Wireless Communications Summit, 2007. 16th IST, 1-5 Jun 2007*.
- [3] R. Van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House Publishers, 2000.
- [4] H. Ochiai and H. Imai, "Performance analysis of deliberately clipped OFDM signals," *IEEE Transactions*, vol. 50, no. 1, pp. 89-101, Jan. 2002.
- [5] W. T. Kim, J. B. Ahn, J. K. Ahn, and S, J, Cho, " A study of structural improvement for reducing PAPR," *Conference of Korean Institute of Communication and Sciences*, vol. 29, pp. 438, 2004.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Lei Ding, "A robust digital baseband predistorter constructed using memory polynomials," *IEEE Transaction on*

*Communications*, vol. 52, no. 1, Jan. 2004.

- [9] Lok-Kee Ting, "LMS coefficient filtering for time-varying chirped signals," *IEEE Transaction on Signal processing*, vol. 52, no. 11, Nov. 2004.
- [10] 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.

#### 김 완 태 (金 完 泰)



·2005년 2월 : 한국항공대학교  
대학원 졸업(공학석사)

·2005년 1월~2007년 2월 : (주)  
모드먼 CDMA 단말기 개발.

·2007년 3월 ~ 2009년 2월 :  
서일대학 겸임교수

·2007년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교

대학교 대학원 박사과정

관심분야 : 무선통신, 이동통신, 차세대 이동통신

#### 박 기 식 (朴 機 植)



·1991년 2월 : 한국항공대학교  
항공통신정보공학과 공학사

·1991년 3월 ~ 1993년 2월: 일본  
교토대학교 광통신연구실 연수

·1996년 8월 : 한국항공대학교  
대학원 졸업(공학석사)

·2000년 2월 : 한국항공대학교  
대학원 졸업(공학박사)

·2001년 3월~현재 인하공업전문

대학 정보통신과 부교수

관심 분야 : 이동 통신, 무선 통신, 차세대 이동통신

#### 조 성 준 (趙 成 俊)



·1969년 2월 : 한국항공대학교  
항공통신공학과 졸업 (공학사)

·1975년 2월 : 한양대학교 대학원  
전자통신공학 전공 졸업(공학석사)

·1981년 3월 : 오사카대학 대학원  
통신공학전공 졸업(공학박사)

·1972년 8월~현재 : 한국항공대학교

항공전자 및 정보통신공학부 교수

관심 분야 : 무선통신, 이동통신, 환경전자공학,  
이동무선인터넷