

주파수 도약 다중 사용자 통신 시스템의 비선형 특성 분석

Analysis of Nonlinear Characteristics in the Frequency Hopping Multiple Access(FHMA) Communication System

박주석 · 유흥균 · 김기근* · 이대일* · 김도선*

Ju-Sok Park · Heung-Gyoon Ryu · Kikeun Kim* · Dae-Il Lee* · Do-Sun Kim*

요 약

FHMA(frequency hopping multiple access) 통신 시스템은 다중 접속의 한 방식으로 LPI(low probability of intercept)와 AJ(anti-jamming)에 좋은 성능을 가진다. FHMA 통신 시스템의 기지국이나 중계기에서 많은 사용자 신호로 인하여 높은 PAPR(peak to average power ratio)이 된다. 한편, HPA(high power amplifier)의 비선형 보상을 위하여 predistorter를 사용한다. 본 연구는 PAPR 분포를 결정하는 사용자 수와 IBO(input back off)의 크기에 따라 통신성능을 분석하였다. SSPA(solid state power amplifier) 경우, predistorter를 사용하는 것이 항상 좋은 영향을 주지 않으며, 사용자 수에 따라 적절한 IBO 크기가 있음을 연구하였다. 사용자 수가 16, $p=1$ 일 때, IBO가 6 dB 전까지는 predistorter를 사용하지 않았을 때 성능이 더 좋지만, IBO가 6 dB보다 클 경우는 predistorter의 비선형 보상 효과를 받아 더 좋은 성능이 보인다. 즉, 사용자 수에 따라서, predistorter 사용할 때는 일정크기의 cross-over IBO 값 이상에서 비선형 보상 효과가 발생한다. TWTA일 경우, TWTA가 SSPA보다 진폭 및 위상 변환 특성에서 더 nonlinear하기 때문에, SSPA보다 더 많은 성능 개선 효과가 있다. $BER=10^{-3}$ 기준에서, predistorter를 사용하는 것이 사용자가 16명일 때는 약 2.5 dB, 사용자가 32명일 때는 3 dB의 SNR 이득 효과를 갖는다.

Abstract

FHMA(frequency hopping multiple access) communication system has good performance for the LPI and AJ(low probability of intercept and anti-jamming) application. However, high PAPR(peak to average power ratio) happens in the base-station or the repeater system because of a large number of users. In general, predistorter is used to complete the HPA(high power amplifier) nonlinear characteristics. This paper analyzes BER performance when magnitude of IBO(input back off) and the number of user are considered as the system parameters. In case of the SSPA(solid state power amplifier), the predistorter does not always work as a complete nonlinear compensator. We find that there is a minimum value of IBO for the predistorter to compensate for the nonlinear SSPA, which is changed as the number of user. If IBO is lower than 6 dB at the user number of 16 and $p=1$, the system with predistorter is poorer than the one without predistorter. Only when the IBO is over 6 dB, predistorter does work as a nonlinear compensator. We call it as cross-over IBO value. TWTA improves the more compensation performance than SSPA because characteristic AM/AM of TWTA has more nonlinear than SSPA. At the $BER=10^{-3}$, there are SNR power gains of about 2.5 dB and 3 dB due to the predistorter when the numbers of users are 16 and 32, respectively.

Key words : FHMA, Predistorter, PAPR, SSPA, IBO

충북대학교 전자공학과 및 컴퓨터정보통신연구소(Dept. of Electronic Engineering and Research Institute of Computer, Information & Communication, Chungbuk National University)

*국방과학연구소 4체계 위성시스템연구팀(4th Development Center Satellite System Department, Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20031222-178

· 수정완료일자 : 2004년 2월 5일

I. 서 론

군사용으로 사용되었던 대역확산 스펙트럼 방식의 통신 기술은 이제 상용으로 많이 사용되고 있다. 이 대역확산 스펙트럼 통신 기술이 잡음 및 간섭에 강해서 이동 통신 및 기타 시스템에 많이 사용되고 있다^{[1],[2]}.

대표적인 대역확산 스펙트럼 방식은 DS(direct sequence)와 FH(frequency hopping) 방식이 있다. 특히, FHMA(frequency hopping multiple access)는 서로 다른 주파수 슬롯에는 다른 사용자가 이용함으로써 주파수 사용율을 높이는 방식이다. 하지만 FHMA 시스템은 사용자가 많아질수록 비선형 HPA의 영향을 많이 받게 되고, 그러므로 통신 시스템 성능에 많은 열화를 가져오게 된다.

높은 PAPR은 FHMA 시스템뿐만 아니라 OFDM 시스템에서도 큰 문제점으로 제기되고 있다. 1998년도에 S. Andreoli, P. Banelli은 DVB-T system에서 AM/AM, AM/PM 특성이 있는 임의의 HPA에 대해 이상적인 predistorter를 사용하기 전후의 스펙트럼을 보이고, OBO에 따른 스펙트럼 변화 및 BER을 연구하였다. 하지만, predistorter를 설계하지 않고, 이상적이라고 가정하였다^[3]. 2001년 Sekchin Chang, Edward J. Powers 는 OFDM 시스템에서 HPA의 비선형을 보상하기 위해 기존의 Volterra-based predistorter 보다 간단한 simplified predistorter를 제안하였다. 기존의 방식보다 더 적은 계수를 이용함으로써 구조가 더 간단하고, 효율적인 방법을 연구하였다. 하지만, SSPA 경우는 다루어지지 않았다^[4]. 2000년도에 FHMA 시스템에서 스펙트럼 효율성을 높이기 위해 변조방식을 MFSK의 일종인 MC-OOK를 제안하고 Rayleigh fading channel에서 성능을 분석하였다^[5]. 하지만, 이 방식은 MFSK 변조 방식보다 더 높은 PAPR을 발생하는 문제점을 가지고 있으며, PAPR에 대해서는 다루어지지 않았다.

본 연구는 HPA의 비선형을 보상하기 위한 predistorter를 사용했을 때 FHMA 시스템의 성능을 분석한다. Predistorter 사용 전후의 AM/AM, AM/PM 특성을 보이고, 사용자가 16명일 때, IBO에 따른 신호의 진폭분포를 구한다. 특히, SSPA 경우 predistorter 사용 전후의 성능이 교차되는 cross-over IBO 값이 존

재하게 되는데, 사용자 수에 따른 cross-over IBO 값을 시뮬레이션을 통해 구한다. BFSK 변조방식을 적용한 FHMA를 대상으로 simulation을 통해 predistorter가 시스템 성능에 어떤 영향을 주는지 연구하였다.

II. 시스템 모델

2-1 FHMA System Model

FHMA 신호는 할당된 주파수 대역을 여러 개의 hop bin으로 나누고 PN code에 의해 hop bin을 선택하게 된다. 이때 다른 사용자들은 서로 다른 bin을 할당받고, 그러므로 같은 시간에 여러 사용자의 신호가 존재하게 된다^[6]. 주기 T_s 는 데이터 신호의 심볼 주기이고, T_h 는 hopping 시간이다. FH system에서 한 심볼 당 적어도 한 번 이상 hopping 하는 경우 즉, $T_s/T_h \geq 1$ 일 때를 Fast FH이고, $T_s/T_h < 1$ 인 경우를 Slow FH라고 한다. MFSK(M-ary frequency shift keying)를 적용했을 경우 심볼 간 직교성을 유지하기 위한 최소 주파수 간격 $\Delta f = 1/T_s$ 이다. 하지만 본 연구는 주파수 간격 $\Delta f = 2/T_s$ 로 설정한다. 그러므로, FHMA/MFSK 시스템이 필요한 전체 할당 대역폭 W_b 는 다음과 같다.

$$W_b = 2^j \times 2 \cdot M / T_s \quad (1)$$

여기서, j 는 PN code 발생기의 비트 수이다^[7].

그림 1은 FHMA/MFSK의 송신 블록도이다. 각 사용자 정보 비트 $b_n(t)$ ($n = 1, \dots, N$)는 M-ary FSK 변조 block에서 변조된다. 만약 $M=2$ 인 BFSK면, 변조 신호 $x(t)$ 는 정보 bit에 따라 주파수 f_c 와 $f_c + \Delta f$ 중 하나를 선택하게 된다. 각 사용자마다 다른 PN sequence 발생기에 의해 발생된 j bits의 고유의 PN code가 주파수 합성기를 구동하여 사용자별 반송파 주파수 $y_n(t)$ 를 발생시킨다. 반송파 주파수는 $y_n(t)$ 때 T_h 시간마다 변한다. 변조신호 $x_n(t)$ 와 반송파 주파수 $y_n(t)$ 가 곱해진 후 다시 모든 신호가 더해진다. 이 신호는 다수의 사용자 신호를 같은 시간대에 존재하므로 높은 PAPR을 가지게 된다. 이 높은 PAPR을 가진 신호가 비선형 HPA에서 증폭되면 비선형에 의해 많은 왜곡이 발생된다.

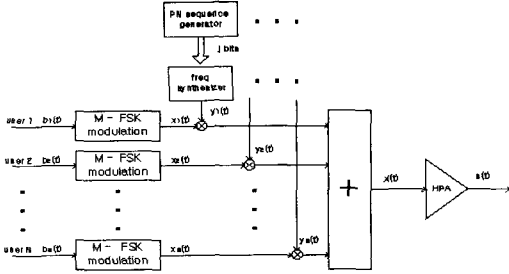


그림 1. FHMA 시스템 모델
Fig. 1. FHMA system model.

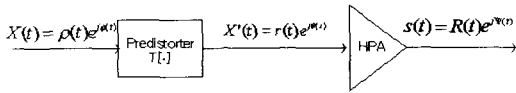


그림 2. 전치왜곡기와 HPA
Fig. 2. Predistorter and HPA.

2-2 HPA와 Predistorter 모델

다수 사용자의 신호를 합친 $X(t)$ 는 높은 PAPR을 가진다. 이것을 보완하기 위해 본 연구는 그림 2와 같이 HPA 전에 predistorter를 사용한다.

그림 2에서 predistorter의 원리를 보여준다. 전달 함수 $T[-]$ 은 증폭될 때 발생하는 비선형성을 보상하기 위해 사용하는 부분이다. Memoryless HPA 경우 비선형성을 보상하기 위한 전달함수 $T[-]$ 를 찾으면 다음과 같다. 그림 2에서 $X(t)=s(t)$ 이어야 하므로 다음과 같은 조건을 만족해야만 한다^{[8],[9]}.

$$\begin{cases} \rho(t) = A[r(t)] \\ \phi(t) = \theta(t) + \Phi[r(t)] \end{cases} \quad (2)$$

$\rho(t)$ 와 $\phi(t)$ 는 predistorter 입력 전 신호의 진폭과 위상이고, $A[-]$ 와 $\Phi[-]$ 는 비선형 HPA의 AM/AM, AM/PM 전달 함수이다. $r(t)$ 와 $\theta(t)$ 는 predistorter에 의해 전치 왜곡된 신호이다. 그러므로, predistorter의 입출력 관계는 역이 된다.

$$\begin{cases} r(t) = A^{-1}[\rho(t)] \\ \theta(t) = \phi(t) - \Phi[r(t)] \end{cases} \quad (3)$$

III. 시뮬레이션 결과와 분석

본 연구에서 $T_s/T_h=1$ 인 FFH 방식을 적용하고, 채

표 1. HPA의 특성과 predistorter의 전달함수
Table 1. Characteristics of HPA and transfer functions of predistorter.

	AM/AM	AM/PM
SSPA	$A[r(t)] = \frac{r(t)}{[(1 + \frac{r(t)}{A_0})^{2p}]^{1/2p}}$	$\Phi[r(t)] = 0$
SSPA $T[-]$	$r(t) = \begin{cases} \frac{\rho(t)}{2\sqrt{1 - (\frac{\rho(t)}{A_0})^2}} & 0 \leq \rho(t) \leq A_0^* \\ r(A_0^*) & \rho(t) > A_0^* \end{cases}$	$\theta(t) = 0$
TWTA	$A[r(t)] = \frac{2r(t)}{r(t)^2 + A_0^2}$	$\Phi[r(t)] = \frac{\pi r(t)^2}{3(r(t)^2 + A_0^2)}$
TWTA $T[-]$	$r(t) = \begin{cases} \frac{1 - \sqrt{1 - \rho(t)^2}}{\rho(t)} & \rho(t) \leq A_0 \\ 1 & \rho(t) > A_0 \end{cases}$	$\theta(t) = \begin{cases} \frac{(1 - \sqrt{1 - \rho(t)^2})\pi}{6} + \phi(t) & \rho(t) \leq A_0 \\ \frac{\pi}{6} + \phi(t) & \rho(t) > A_0 \end{cases}$

(A_0 : saturation point, $A_0^* = 0.99 \cdot A_0$)

널은 AWGN(additive white gaussian noise) 채널을 가정하였다. SSPA와 TWTA 두 가지 경우이고, IBO를 변화시키며 predistorter 사용 전후의 성능을 비교 분석하였다. 변조 방식은 binary FSK를 사용한다. 그리고, 수신단 복조는 비동기 복조 방식을 사용한다.

3-1 SSPA

그림 3은 SSPA와 predistorter와 SSPA+predistorter의 AM/AM 특성만을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 입력 신호가 A_0^* 이상이 들어오게 되면(Region A) 모든 신호가 A_0^* 로 clipping 된다. 즉, clipping error가 발생하게 되어 시스템의 성능 저하에 주요 원인이

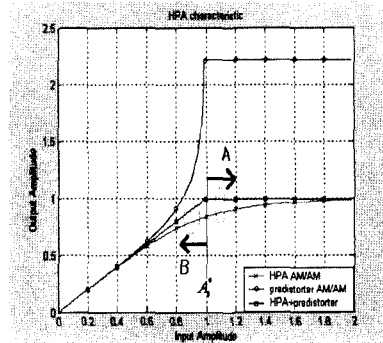
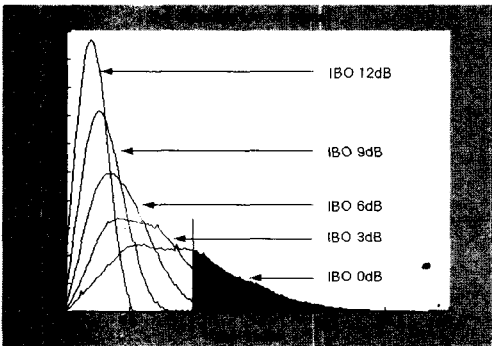


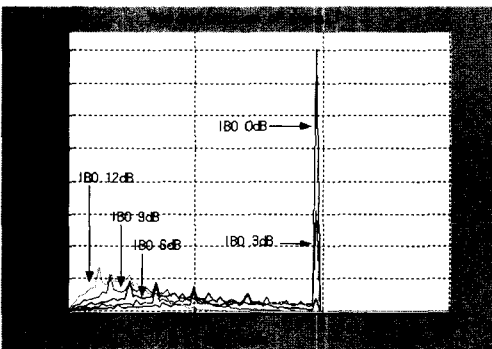
그림 3. SSPA, predistorter 및 SSPA+predistorter 특성
Fig. 3. SSPA, predistorter and SSPA+predistorter characteristics.

된다. 하지만, A_0^* 이하의 진폭을 갖는 신호가 들어 오면(Region B) 비선형 구간이 predistorter에 의해 선형화 되었으므로 비선형 영향을 받지 않는다. 그러므로, 시스템 성능에 좋은 영향을 준다. 즉, SSPA 경우, predistorter는 송신 신호의 진폭 분포가 A_0^* 를 기준으로 어느 부분에 많이 있는가에 따라 시스템 성능에 많은 영향을 준다. 그러므로, 적절한 back off나 다른 코딩 기법을 이용하여 신호의 진폭을 A_0^* 이하로 내리게 되면 더 많은 성능 향상을 얻게 된다.

그림 4는 사용자수가 16명일 경우 predistorter 전 단(그림 a)과 HPA 후단(그림 b)에서의 신호의 PDF(probability distribution function)이다. IBO에 따라 신호의 분포가 변하는 것을 볼 수 있다. IBO가 0 dB일 경우 30% 이상의 신호가 A_0^* 보다 큰 진폭을 가진 것으로 나타난다. 즉, predistorter에 의해 신호의 30%



(a) Predistorter 전단에서의 신호 분포도
(a) Signal PDF before predistorter



(b) Predistorter + HPA 후에서의 신호 분포도
(b) Signal PDF after predistorter + HPA

그림 4 발생 신호의 신호 분포도

Fig. 4. Signal PDFs.

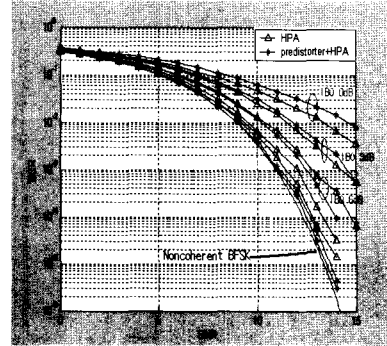


그림 5. SSPA일 경우 predistorter를 사용했을 때 성능 (user = 16)

Fig. 5. BER performance of SSPA(user = 16).

이상인 clipping 되는 것을 알 수 있다(그림 4(b) 참조). IBO가 6 dB 이상일 경우 거의 모든 신호가 A_0^* 안에서 분포하게 된다.

그림 4(b)를 보면 진폭이 A_0^* 인 부분에서의 PDF 값이 매우 증가한 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 4(a)에서 진폭 $\rho(t)$ 가 A_0^* 를 넘은 진한 부분이 predistorter에 의해 clipping 되기 때문이다. 즉, 이것에 의해 낮은 back off에서는 오히려 predistorter를 사용하는 것이 더 나쁜 영향을 가져다 준다. 하지만 back off를 함으로써 A_0^* 에 많이 분포하는 신호가 줄어들고, A_0^* 이하에 신호 진폭이 많이 분포하는 것을 알 수 있다.

그림 5는 사용자수가 16명일 경우 IBO를 0, 3, 6, 9, 12 dB로 변화시켜 가면서 predistorter를 사용하였을 경우와 사용하지 않았을 경우의 BER을 비교한 것이다. 이때 SSPA의 주요 파라미터는 $A_0 = 1$, $A_0^* = 0.99 \cdot A_0$, $p = 1$ 이다.

이 결과에서 보듯이 predistorter를 사용함으로써 항상 성능이 좋아지는 것은 아니다. IBO가 약 3 dB 이하에서는 오히려 나쁜 성능을 보인다. 왜냐하면, IBO가 3 dB 전까지 A_0^* 보다 작은 진폭을 갖는 신호의 분포가 predistorter에 의해 이득을 보는 것보다 A_0^* 이상의 진폭을 갖는 신호가 predistorter에 의한 clipping error가 더 많이 발생하기 때문이다. 하지만, 그림 5에서 보듯이 IBO를 약 6 dB 정도 하게 되면 predistorter를 사용한 것이 더 좋은 성능을 보인다. 즉, 그림 4(b)에서 보는 것처럼 입력 신호를 back off 함으로써 진폭이 A_0^* 이상에 많이 존재하던 신호들

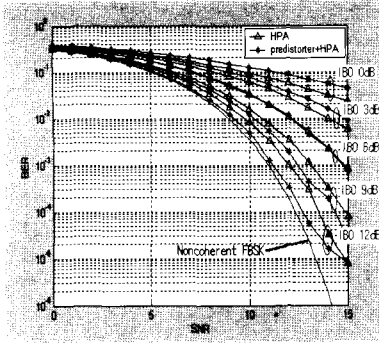


그림 6. SSPA일 경우 predistorter를 사용했을 때 성능 (user = 32)

Fig. 6. BER performance of SSPA(user = 32).

이 입력 진폭 A_0^* 안으로 들어오기 때문에 predistorter에 의한 이득이 커지게 된다.

그림 6은 사용자가 32명일 경우 predistorter와 SSPA의 성능을 나타낸다. 사용자가 16명일 경우에는 6 dB만 back off를 해도 predistorter의 성능이 더 좋았지만, 32명일 경우에는 IBO가 6 dB일 때 두 개의 성능이 거의 비슷해지는 것을 알 수 있다. 이것은 사용자가 늘어 날수록 A_0^* 보다 큰 신호의 진폭이 많기 때문이다. 그러므로, SSPA 경우 predistorter를 사용하는 것이 항상 좋은 것만은 아니다. 만약, 신호의 진폭이 A_0^* 이상 되는 신호가 많을 경우 predistorter에 의해 오히려 나쁜 성능을 가져온다. 하지만 적절한 back off를 사용하면 더 좋은 성능을 보인다.

Predistorter를 사용한 것이 predistorter를 사용하지 않았을 때보다 더 좋은 성능을 내기 시작하는 적절한 backoff 값이(cross over IBO) 사용자수에 따라 달라지게 된다. 그림 7은 사용자수(사용자 수: 8, 16, 32, 64, 128, 256)에 따라 cross over IBO를 나타낸 것이다. 동시 사용자가 많으면 cross over 되는 IBO도 크게 된다. 그리고, 동일 사용자수에서 SSPA의 선형성이 클수록 더 많은 IBO를 해야 한다.

3-2 TWTA Model

Predistorter를 사용하면 입력 신호가 A_0 보다 큰 신호는 clipping 하게 된다. 하지만, SSPA 경우는 이렇게 clipping 되는 신호가 오히려 시스템에 더 악영향을 주었지만, TWTA 경우는 AM/AM 특성을 보듯

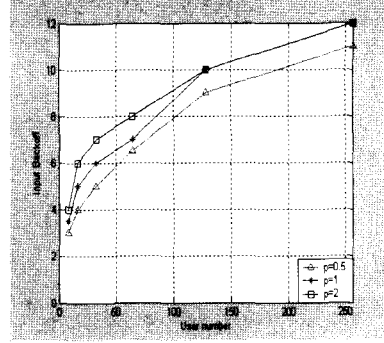


그림 7. 사용자 수에 따른 cross-over IBO
Fig. 7. Cross-over IBO versus the user number.

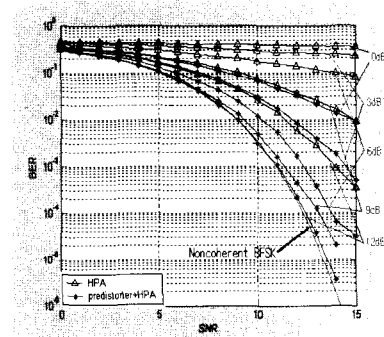


그림 8. TWTA일 경우 predistorter를 사용했을 때 성능 (user = 16)

Fig. 8. BER performance of TWTA(user = 16).

이 A_0 을 중심으로 신호가 오히려 작아진다. 이것은 predistorter를 사용하여 A_0 이상의 신호는 clipping 함으로써 발생하는 왜곡성분과 유사하다. 그러므로, TWTA 경우 AM/AM 영향만을 고려할 경우 predistorter를 사용하는 것이 입력신호의 분포가 어떠한 시스템에 유리하게 작용된다.

그림 8, 그림 9는 사용자수가 16명, 32명일 경우 IBO를 0, 3, 6, 9, 12 dB로 변화시켜가면서 predistorter를 사용하였을 경우와 사용하지 않았을 경우의 BER을 비교한 것이다. 이때 TWTA의 $A_0 = 1$ 이다.

Predistorter를 사용하지 않았을 경우, IBO=0 dB일 때 P_b 가 약 0.5에서 머무는 것을 볼 수 있다. TWTA의 AM/AM의 영향에 의해 신호가 많이 왜곡됨을 알 수가 있다. 하지만, predistorter를 사용함으로써 SNR이 15 dB일 때 P_b 가 약 10^{-2} 까지 떨어지는 것을 볼 수 있다. Back off를 할수록 신호의 분포도 A_0 안으

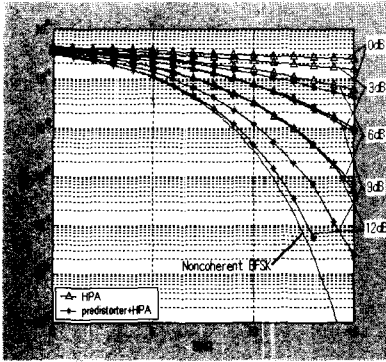


그림 9. TWTA일 경우 predistorter를 사용했을 때 성능 (user = 32)

Fig. 9. BER performance of TWTA(user = 32).

로 많이 들어오기 때문에 predistorter의 AM/AM의 선형화 부분이 시스템 성능에 많은 개선 효과를 보인다.

그림 8, 9에서 보듯이 predistorter를 사용하여 system 성능이 매우 개선된 것을 볼 수 있다. BER 10^{-3} 을 기준으로 사용자가 16명일 경우 약 2.5 dB, 32명일 경우 약 3 dB의 개선 효과를 볼 수 있다. 그러므로, TWTA 경우 predistorter를 사용함으로써 시스템 성능에 좋은 효과를 보인다.

IV. 결 론

FHMA system은 사용자가 많아질수록 높은 PAPR을 나타나게 된다. 이 높은 PAPR은 비 선형 HPA에 의해 왜곡되어 system 성능 저하를 가져온다. 본 연구는 이를 보상하기 위해 predistorter를 적용하였다. predistorter는 비 선형 HPA의 역함수를 사용하였다. HPA의 모델은 Saleh의 SSPA, TWTA를 적용하였다. 위 결과에서 보듯이 SSPA 경우, $p=1$, 사용자는 16일 때 IBO를 3 dB하기 전까지는 오히려 predistorter를 사용하지 않는 것이 더 좋은 성능을 보인다. 하지만, 6 dB 이상 IBO를 하게 되면 시스템 성능 향상에 도움을 주기 시작한다. 그리고, 본 논문에서 predistorter 사용 전후의 성능이 교차되는 cross-over IBO 값을 시뮬레이션을 통해 구하였다. 하지만, TWTA일 경우, predistorter에 의해 AM/AM의 1:2 특성이 사라짐으로 시스템 향상에 많은 도움을 준다. 특히, BER

10^{-3} 을 기준으로 봤을 때 predistorter를 사용하는 것이 약 2.5에서 3 dB의 SNR 저감 효과를 가져온다.

참 고 문 헌

- [1] Usa Svati Xuto, Qiang Wang and K. Bhargava, "Capacity of an FH-SSMA system in different fading environments", *IEEE Trans. Veh. Tech.* vol. 47, no. 1, Feb. 1998.
- [2] R. F. Mills, G. E. Prescott, "Waveform design and analysis of frequency hopping LPI networks", *IEEE MILCOM*, vol. 2, pp. 778-782, Nov. 1995.
- [3] S. Andreoli, P. Banelli, F. Marrocolo and C. Massini, "HPA Nonlinear Distortions in DVB-T Systems Simulation and Measurement", *URSI International Symposium*, pp. 124-127, Oct. 1998.
- [4] Sekchin Chang, E. J. Powers, "A Simplified Predistorter for Compensation of Nonlinear Distortion in OFDM Systems", *IEEE Global Telecomm. Conference*, vol. 5, pp. 3080-3084, Nov. 2001.
- [5] Seung Ho Kim, Sang Wu Kim, "Frequency-hopped multiple-access communications with multicarrier on-off keying in Rayleigh fading channels", *IEEE Commun. Trans.*, vol. 48, pp. 1692-1701, Oct. 2000.
- [6] A. El-Kassas, H. El-Hennawi, R. El-Zanfally and S. Mahrous, *Radio Science Conference*, pp. E1/1-E1/11, Feb. 2000.
- [7] Alex W. Lam, Sawasd Tantararana, *Theory and applications of spread-spectrum systems a self-study course*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1994.
- [8] D. Di Zenobio, G. Santella and F. Mazzenga, "Adaptive Linearization of Power Amplifier in Orthogonal Multicarrier Schemes", *IEEE Wireless Comm. System Symposium*, pp. 225-230, Nov. 1995.
- [9] Haobo Lai, Y. Bar-Ness, "A new Predistorter design for nonlinear amplifiers using the minimum distortion power polynomial model(MDP-PM)", *IEEE VTC*, vol. 4, pp. 2216-2220, Oct. 2001.

박 주 석



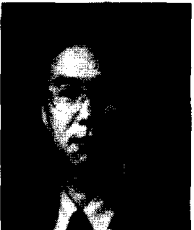
2003년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)
2003년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 위성통신시스템, DSP 통신신호처리, 확산 스펙트럼 시스템 등

이 대 일



1995년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
[주 관심분야] 위성통신시스템, 대역확산통신

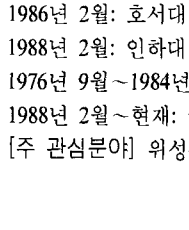
유 흥 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 정교수
2002년 3월~현재: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
1999년~현재: IEEE 논문 심사위원
2002년도 한국전자과학회 학술상 수상

[주 관심분야] 디지털 통신 공학, 이동/위성통신시스템, 통신 회로 설계 및 통신 신호 처리

김 도 선



1986년 2월: 호서대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 인하대학교 전자통신과 (공학석사)
1976년 9월~1984년 2월: 금성전기 (주)연구소
1988년 2월~현재: 국방과학연구소 책임연구원
[주 관심분야] 위성통신시스템, 중계기, 위성운용국

김 기 근



1990년 2월: 충북대학교 전자공학과(공학사)
1992년 2월: 충북대학교 전자공학과(공학석사)
1992년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
[주 관심분야] 위성통신시스템, 주

파수도약통신