

## 스펙트럼 효율 향상을 위한 전이중 통신 방식과 5G 후보 변조기술과의 결합시스템 설계

### Combination System Design of 5G Candidate Modulation and Full Duplex Communication for the Spectrum Efficiency Enhancement

안 창 영 · 유 흥 균

Changyoung An · Heung-Gyoon Ryu

#### 요 약

본 논문에서는 스펙트럼 효율 향상을 위하여 5G(Generation) 후보 변조 기술을 사용하는 SSD(Simultaneous Single band Duplex) 시스템을 설계하고, 각 시스템의 성능을 평가하고 비교 분석한다. 특히, 제안하는 5G 이동통신을 위한 후보 변조 기술을 사용하는 SSD 시스템에 HPA(High Power Amplifier) 비선형성을 고려하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션의 결과로 SSD-OFDM, SSD-UFMC, SSD-FBMC 시스템은 HPA 비선형성에 의해 성능 열화가 심화되었지만, 동일한 HPA 비선형 조건에서 각각 시스템은 서로 유사한 성능을 내었다. 즉, 각각의 변조기술은 유사한 PAPR(Peak to Average Power Ratio) 특성을 갖는다. 이러한 결과로, 자기간섭신호(self-interference)의 비선형 왜곡이 심화될 경우, 자기간섭 제거가 어렵다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 제안하는 SSD 시스템에서 HPA 비선형에 의한 영향을 줄이기 위해 PAPR을 저감시키는 것이 중요하다.

#### Abstract

In this paper, we propose and design a SSD(Simultaneous Single band Duplex) system using 5G(Generation) candidate modulations. Especially, we consider HPA(High Power Amplifier) nonlinearity in the proposed system. And then, we evaluate and analyze performance of the proposed system. As simulation results, performance of SSD-OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing), SSD-FMC(Universal Filtered Multi-Carrier), and SSD-FBMC(Filter Bank Multi-Carrier) is severely degraded by HPA nonlinearity. However, performance of SSD-OFDM, SSD-UFMC, and SSD-FBMC is similar in the same condition. That is, OFDM, UFMC, and FBMC have a similar PAPR(Peak to Average Power Ratio) characteristic. Finally, we can confirm that the proposed SSD system can not cancel(SI) self-interference effectively by strong HPA nonlinearity. That is, Reducing PAPR is important in order to avoid effect of HPA nonlinearity in the proposed SSD system.

Key words: SSD, SSD-OFDM, SSD-UFMC, SSD-FBMC, 5G

#### I. 서 론

최근 다양한 멀티미디어 서비스와 모바일 단말기의 증가로 인하여 더욱더 높은 통신 용량을 지원하는 이동통신

「이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2013R1A2A2A01005849).」

충북대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University)

· Manuscript received January 25, 2016 ; Revised March 28, 2016 ; Accepted April 4, 2016. (ID No. 20160125-008)

· Corresponding Author: Heung-Gyoon Ryu (e-mail: ecomm@cbu.ac.kr)

신 시스템이 요구되고 있다.

이로 인해, 기지국과 모바일 기기간의 데이터 송수신을 함에 있어서, 기존의 TDD(Time Division Duplex) 방식이나 FDD(Frequency Division Duplex) 방식에 비해 주파수 효율을 더욱 증가시킬 수 있는 SSD(simultaneous single band duplex) 방식에 대한 연구가 이루어지고 있다<sup>[1]~[6]</sup>.

SSD 시스템은 하나의 주파수 대역에서 송신과 수신을 동시에 하는 시스템이다. 이러한 SSD 시스템은 송수신 주파수 대역이 동일하기 때문에, 자국의 송신 신호가 수신신호에 간섭을 줄 수 있다. 이러한 간섭의 크기는 수신신호에 비하여 매우 크기 때문에 반드시 자기간섭신호(Self-interference: SI)를 제거해야 한다. 일반적으로 SSD 시스템은 디지털 영역과 RF 영역에서 자기간섭신호를 순차적으로 제거한다<sup>[7],[8]</sup>. 이러한 SSD 시스템에 대한 연구들은 대부분 단일 반송파나 OFDM 변조를 이용한 연구가 대부분이다.

그러나 앞으로의 5G 이동통신 시스템은 더욱더 높은 KPI(Key Performance Indicator)를 요구함으로 인해 기존의 OFDM 변조뿐만 아니라, 이보다 스펙트럼 효율을 더욱 향상시킬 수 있는 UPMC나 FBMC 변조 기술이 주목받고 있다. OFDM 변조의 경우, 높은 OOB(Out-of-Band) 전력을 가지고 있어 각 어플리케이션 스펙트럼 사이에 넓은 보호 대역을 요구하지만<sup>[9]</sup>, 반송파를 그룹 필터링 기법을 사용하는 UPMC나 개별 필터링하는 FBMC 변조의 경우, OOB의 전력이 낮기 때문에 보다 좁은 보호대역을 요구하며<sup>[10]~[13]</sup>, 따라서 전체적으로 스펙트럼을 효율적으로 사용할 수 있다. 이러한 이유로 5G 이동통신을 위한 후보 변조기술로 큰 주목을 받고 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 OFDM을 사용하는 SSD 시스템과 함께 5G 이동통신의 후보 변조기술로 주목받고 있는 UPMC, FBMC 기술을 사용하는 SSD 시스템을 설계하고, 각 시스템의 성능을 비교분석하도록 한다. 또한 실제 각 시스템을 구현함에 있어서 발생할 수 있는 HPA 비선형성을 고려하여 HPA 비선형성의 정도에 따른 시스템의 성능을 비교 분석한다.

## II. 시스템 모델

### 2-1 5세대 후보 변조 기술

OFDM, UPMC 그리고 FBMC는 모두 다중 반송파를 사용하는 변조 기술이다<sup>[9]~[11]</sup>. OFDM은 OOB의 전력이 높지만, UPMC와 FBMC 변조 기술의 경우 필터링 기술을 결합하며, OOB 전력을 효과적으로 억압하여 스펙트럼을 보다 효율적으로 사용할 수 있다.

그림 1, 그림 2 그리고 그림 3은 각각 OFDM, UPMC, FBMC의 송수신기 시스템 모델을 보여준다. OFDM은 다수의 병렬 데이터 심볼들을 IDFT 연산을 통해 각각의 부반송파에 맵핑시킨다. UPMC는 각각의 부반송파를 그룹별로 묶어서 데이터를 맵핑한 후, 그룹별로 필터링을 수

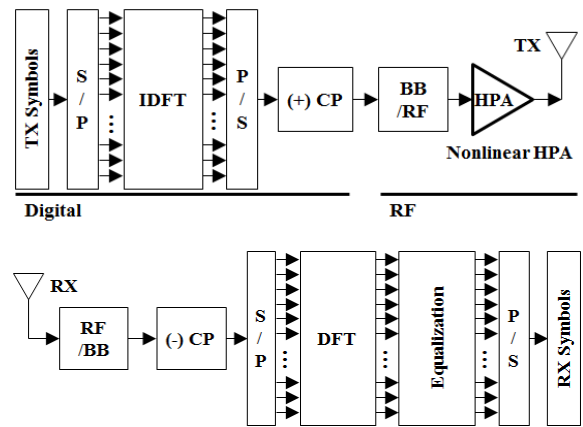


그림 1. OFDM 송수신기 블록도

Fig. 1. Block diagram of OFDM transmitter and receiver.

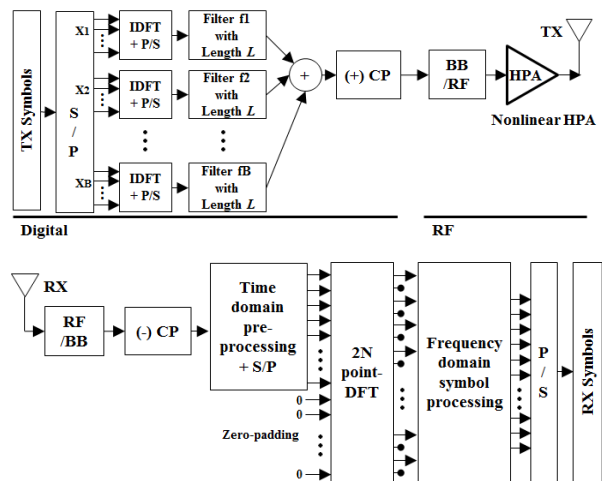


그림 2. UPMC 송수신기 블록도

Fig. 2. Block diagram of UPMC transmitter and receiver.

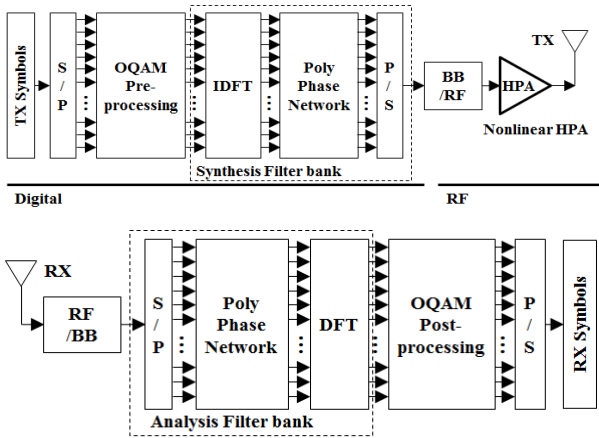


그림 3. FBMC 송수신기 블록도  
Fig. 3. Block diagram of FBMC transmitter and receiver.

행하고, 필터링된 신호들을 합쳐서 최종 전송을 위한 신호를 생성한다<sup>[10]</sup>. FBMC는 개별 부반송파를 필터링하기 위하여 IDFT 연산 후 PPN 구조를 이용, 지연(delay)과 합(sum) 연산을 수행하여 최종 변조신호를 생성한다<sup>[11]</sup>. 여기에서 FBMC의 경우, 사용된 필터로 인해 시간영역 및 주파수 영역으로 간섭이 발생할 수 있으므로, 이를 해결하기 위하여 OQAM 변조를 사용한다. 각 시스템의 수신기는 각 송신기의 역순으로 구성된다.

2-2 5세대 후보 기술들을 사용한 전이중 통신 시스템

그림 4는 5G 후보 변조 기술을 사용하는 SSD 시스템의 블록도를 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 SSD 시스템은 변조 기술로 OFDM 또는 UFMC 또는 FBMC 변조를 사용하는 SSD 시스템이다. 즉, 변조는 상황에 따라 가변적으로 선택될 수 있다. SSD 시스템은 동일한 주파수에서 동시에 송수신을 하기 때문에 자국의 송신 신호가 상대방국에서 보낸 목표신호에 간섭을 일으킬 수 있다. 따라서 RF 간섭제거와 디지털 간섭제거를 통해 자기간섭신호를 효과적으로 제거해야 한다<sup>[7],[8]</sup>. RF 간섭제거 회로는 위상천이기와 감쇄기를 이용하여 구성된다. 디지털 간섭제거를 위한 디지털 영역의 처리는 NLMS 알고리즘을 이용하여 수행된다<sup>[8]</sup>. 본 논문에서는 RF 간섭제거 이후 남게 되는 잔류 자기간섭신호를 디지털 간섭제거로 제거하는데 초점을 둔다. 이러한 잔류 자기간섭신호의 경우, 자국의 송신 신호가 다중 경로를 통해 자국 수신기로 간섭을 일으키는 성분이 존재한다. 이러한 성분은 수동적인 RF 간섭제거만으로는 효과적으로 제거하기 어렵다. 다시 정리하면, 본 논문에서는 OFDM, UFMC, FBMC 각각의 변조를 사용하는 SSD 시스템을 설계하고, 동일한 다중경로 자기간섭 환경을 고려한 상태에서 디지털 간섭제거를 통해 자기간섭신호를 제거하였을 경우, 각 시스템의 성능을 평가하고 비교 분석한다. 이러한 분석에 있어서 RF 간섭제거기는 선형 시스템을 고려하였으며, 실제 구현에서 발생할 수 있는 송신기의 HPA 비선형성을 고려한다.

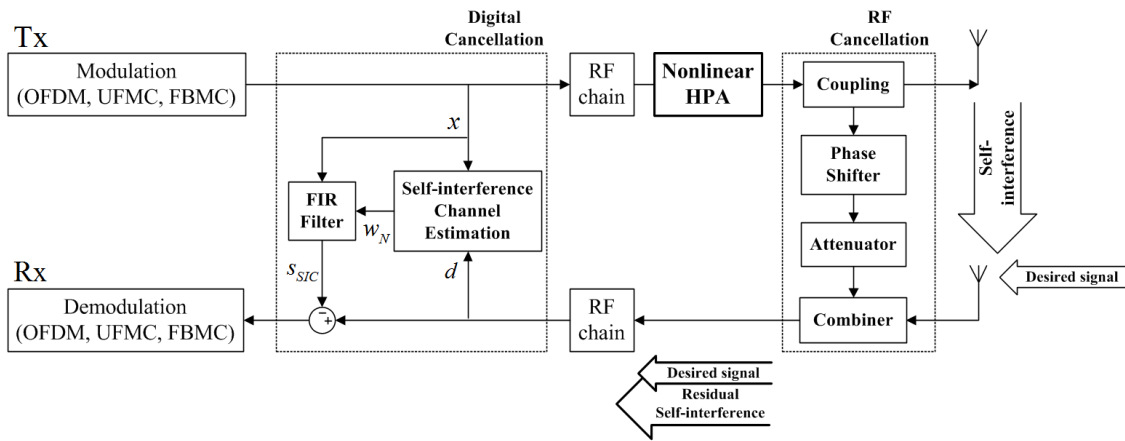


그림 4. 5G 후보 변조를 사용하는 SSD 시스템의 블록도  
Fig. 4. Block diagram of SSD system using 5G candidate modulations.

### III. 비선형 HPA 모델

#### 3-1 HPA 비선형 모델

본 논문에서는 5G 이동통신을 위한 후보 변조 기술을 사용하는 SSD 시스템에 HPA 비선형을 고려하여 시뮬레이션을 진행한다. 본 논문에서 제안하는 SSD 시스템은 OFDM, UFMC, FBMC 변조 기술을 사용한다. 이러한 변조 기술은 다중반송파를 기반으로 하기 때문에 높은 PAPR 특성을 갖는다. 이러한 높은 PAPR 특성은 비선형 HPA 특성에 의하여 OOB 전력 증가 및 심볼의 성좌도 왜곡 현상을 발생시킬 수 있으며, 디지털 간섭제거에서 자기간섭신호를 제거할 때 비선형성으로 인한 자기간섭제거 성능 열화를 가져올 수 있다.

본 논문에서는 제안하는 SSD 시스템에 적용한 HPA 비선형 모델로 Saleh 모델을 고려하였다. Saleh 모델에서 입력 신호의 크기에 대한 출력 신호의 크기 특성은 AM-AM 특성이라 하고, 입력 신호의 크기에 대한 출력 신호의 위상 특성은 AM-PM 특성이라 한다. Saleh 모델의 AM-AM 특성과 AM-PM 특성은 다음과 같다<sup>[14]</sup>.

$$G[A(t)] = \frac{\alpha_A A(t)}{1 + \beta_A A^2(t)} \quad (1)$$

$$\Phi[A(t)] = \frac{\alpha_\Phi A(t)^2}{1 + \beta_\Phi A(t)^2} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)는 각각 HPA의 AM-AM 특성과 AM-PM 특성을 나타낸다. 여기에서  $A$ 는 입력 신호이고,  $\alpha_A$ 와  $\beta_A$ 는 AM-AM 비선형성을 조절하는 계수이다. 그리고  $\alpha_\Phi$ 와  $\beta_\Phi$ 는 AM-PM 비선형성을 조절하는 계수이다. 이 계수들을 조절하여 HPA 비선형 조건을 생성할 수 있다.

#### 3-2 시뮬레이션을 위한 HPA 비선형 조건

표 1은 OFDM, UFMC, FBMC 및 SSD-OFDM, SSD-UFMC, SSD-FBMC 시스템의 HPA 비선형성에 대한 성능 특성을 평가하기 위해 고려된 HPA 비선형 특성 파라미터를 나타낸다. 0은 선형 조건을 나타내며, 조건 1은 가장 약한 HPA 비선형성을 나타내고, 조건 4는 가장 강한 비

표 1. 비선형 HPA 조건

Table 1. Nonlinear HPA conditions.

Condition	AM-AM	AM-PM
0(linear)	$\alpha_A = 1$	$\alpha_\Phi = 0$
	$\beta_A = 0$	$\beta_\Phi = 0.01$
1	$\alpha_A = 1$	$\alpha_\Phi = 0.01$
	$\beta_A = 0.01$	$\beta_\Phi = 0.01$
2	$\alpha_A = 1$	$\alpha_\Phi = 0.02$
	$\beta_A = 0.03$	$\beta_\Phi = 0.01$
3	$\alpha_A = 1$	$\alpha_\Phi = 0.03$
	$\beta_A = 0.05$	$\beta_\Phi = 0.01$
4	$\alpha_A = 1$	$\alpha_\Phi = 0.04$
	$\beta_A = 0.07$	$\beta_\Phi = 0.01$

선형 특성을 고려한 것이다. 그림 5는 각 비선형 조건에 따른 AM-AM 특성 및 AM-PM 특성을 나타낸 것이다.

그림 5는 표 1의 HPA 비선형 조건에 따른 AM-AM 및 AM-PM 특성을 나타낸다. 마찬가지로 조건 1은 가장 약한 HPA 비선형 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있으며, 조건 4는 가장 강한 HPA 비선형 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

### IV. 시뮬레이션 및 분석

본 논문에서는 선형 RF 간섭제거기를 고려하였으며, 따라서 송신안테나에서 수신안테나로 최단거리 직접간섭을 일으키는 자기간섭신호는 선형처리로 모두 제거되는 것을 고려하였고, 본 논문에서는 다중경로로 인가되는 자기간섭 신호의 제거에 중점을 두어 시뮬레이션을 수행하였다. 송신 신호의 크기는 10 dBm이며, 수신신호의 크기는 -90 dBm을 고려하였다. 수신신호는 상대국에서 보낸 수신해야 하는 목표 신호이다.

우선, 기존 OFDM, UFMC, FBMC 변조 기술을 사용하는 일반적인 시스템에 다양한 HPA 비선형 조건이 고려되었을 경우에 성능 평가를 수행한다. 그 다음 SSD 송수신 조건에서 HPA 비선형 조건에 따른 성능 평가를 수행하고 성능을 비교 분석한다. 표 2는 시뮬레이션을 위한 파

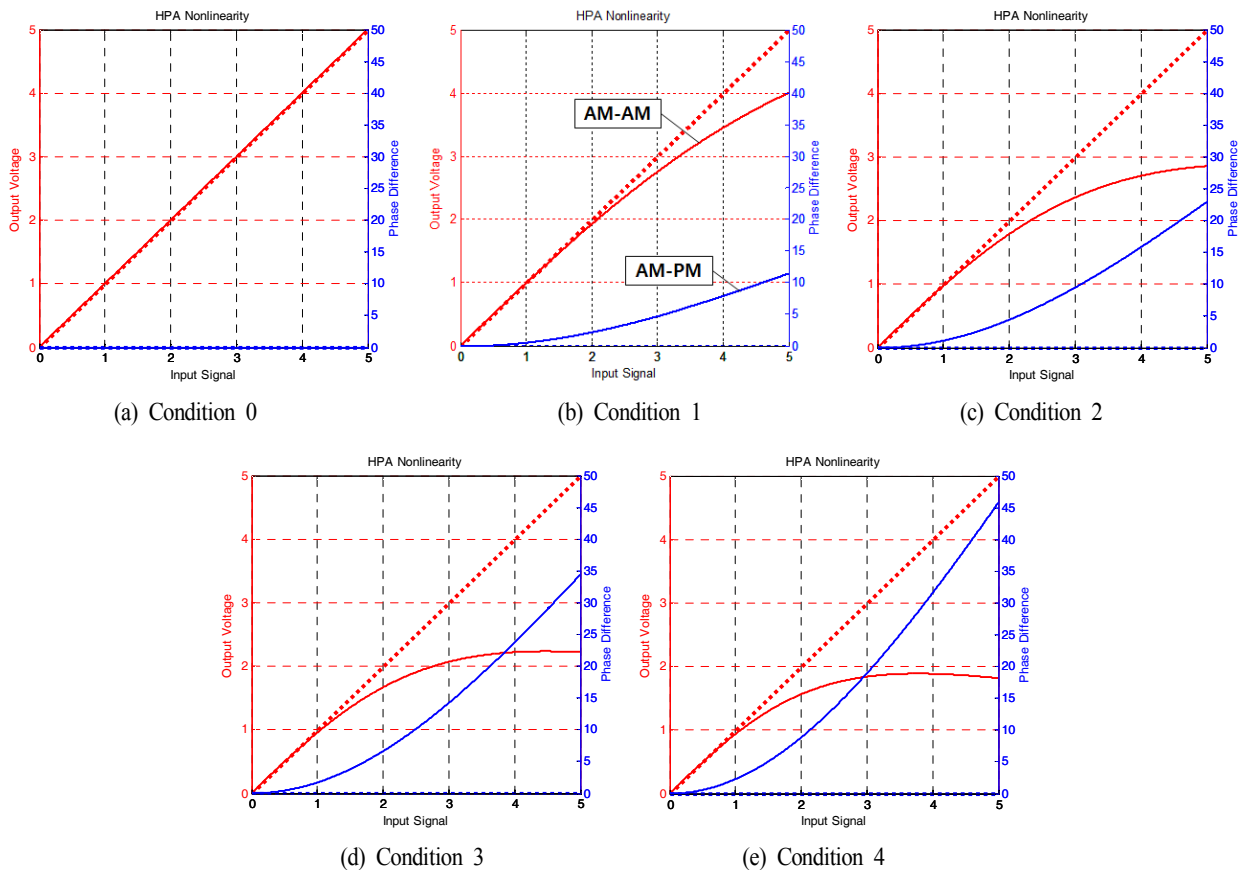


그림 5. 시뮬레이션을 위한 비선형 조건에 따른 HPA의 AM-AM 및 AM-PM 특성  
 Fig. 5. AM-AM and AM-PM of HPA according to the nonlinear conditions for simulation.

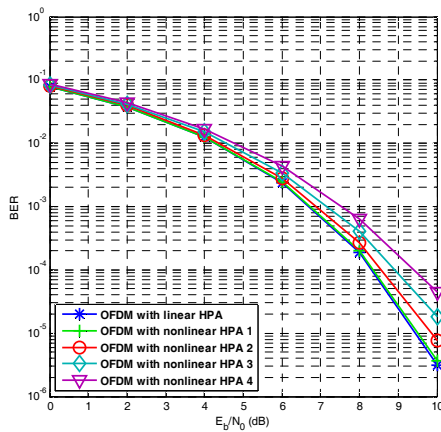


그림 6. HPA 비선형 조건에 따른 OFDM 시스템의 BER 성능  
 Fig. 6. BER performance of OFDM system according to the HPA nonlinear conditions.

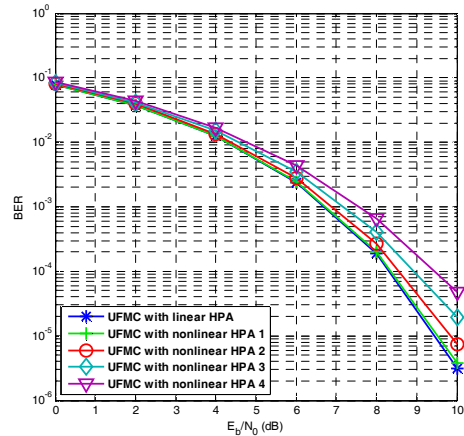


그림 7. HPA 비선형 조건에 따른 UFMC 시스템의 BER 성능  
 Fig. 7. BER performance of UFMC system according to the HPA nonlinear conditions.

표 2. 시뮬레이션 환경

Table 2. Simulation parameters.

Parameters	Value
Modulation	QAM
# of total subcarrier (Total system)	64
Filter for FBMC	Phydyas prototype H0=1 H1=0.97196 H2=0.7071 H3=0.235147
Filter for UFMC	Chebyshev Attenuation=60 dB Length=10
# of sub-band in UFMC	64/8, 8
Tx power over Rx power (SI level)	100 dB (Tx:10 dBm / Rx:-90 dBm)
Multipath self-interference channel coefficient	[1e-4, 0, 2e-6, 0, 0, 0, 1e-7]
Filter length of NLMS for digital cancellation	30
Step size of NLMS for digital cancellation	0.1
Considered HPA nonlinear conditions	Linear, Nonlinear condition 1, Nonlinear condition 2, Nonlinear condition 3, Nonlinear condition 4

라미터를 나타낸다.

그림 6~8은 HPA 비선형 조건에 따른 일반적인 OFDM, UFMC, FBMC 시스템의 BER 성능을 나타낸다. HPA 비선형성이 강해질수록 신호 왜곡이 증가되기 때문에 시스템의 성능이 열화되어지는 것을 확인할 수 있다.

선형조건의 OFDM 시스템은 SNR이 8 dB일 때  $2 \times 10^{-4}$ 의 BER 성능을 내는 것을 확인할 수 있으며, 조건 4의 비선형 특성이 인가되었을 경우  $6.5 \times 10^{-4}$ 의 BER 성능을 내는 것을 확인할 수 있다.

선형조건의 UFMC 시스템은 SNR이 8 dB일 때  $2 \times 10^{-4}$ 의 BER 성능을 내는 것을 확인할 수 있으며, 조건 4의 비선형 특성이 인가되었을 경우  $6.7 \times 10^{-4}$ 의 BER

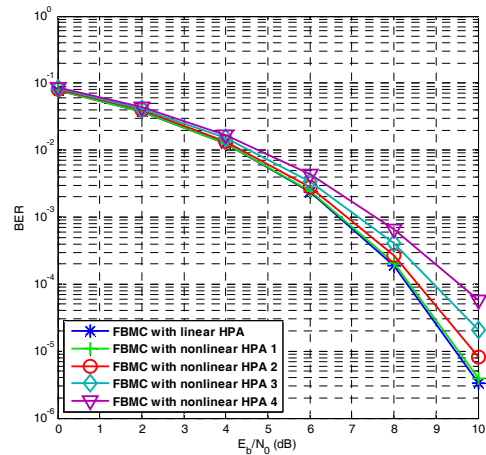


그림 8. HPA 비선형 조건에 따른 FBMC 시스템의 BER 성능

Fig. 8. BER performance of FBMC system according to the HPA nonlinear conditions.

성능을 내는 것을 확인할 수 있다.

선형조건의 FBMC 시스템은 SNR이 8 dB일 때  $2 \times 10^{-4}$ 의 BER 성능을 내는 것을 확인할 수 있으며, 조건 4의 비선형 특성이 인가되었을 경우  $6.5 \times 10^{-4}$ 의 BER 성능을 내는 것을 확인할 수 있다.

그림 9~11은 HPA 비선형 조건에 따른 SSD-OFDM,

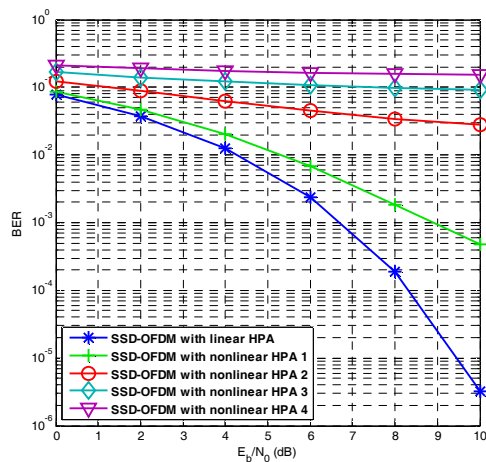


그림 9. HPA 비선형 조건에 따른 SSD-OFDM 시스템의 BER 성능

Fig. 9. BER performance of SSD-OFDM system according to the HPA nonlinear conditions.

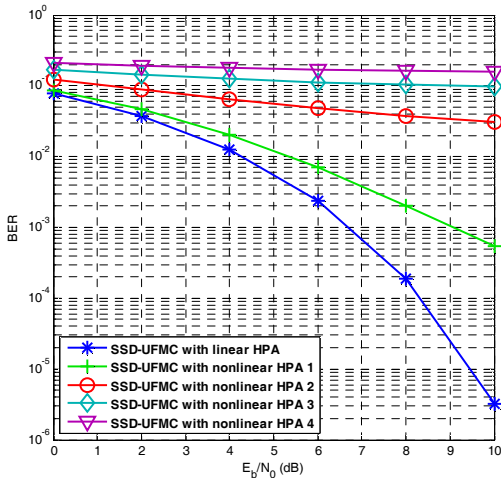


그림 10. HPA 비선형 조건에 따른 SSD-UFMC 시스템의 BER 성능

Fig. 10. BER performance of SSD-UFMC system according to the HPA nonlinear conditions.

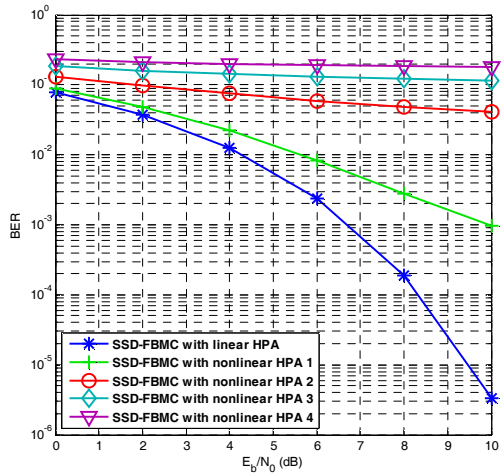


그림 11. HPA 비선형 조건에 따른 SSD-FBMC 시스템의 BER 성능

Fig. 11. BER performance of SSD-FBMC system according to the HPA nonlinear conditions.

SSD-UFMC, SSD-FBMC 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 이 그림에서는 비선형성이 강해질수록 성능이 매우 큰 폭으로 열화되는 것을 확인할 수 있다. 이는 비선형성이 강해질수록 크기가 매우 큰 자기간섭 신호의 제거가 효과적으로 이루어지지 않고, 비선형성이 클수록 잔류자기 간섭신호의 크기도 더욱 증가되기 때문에, 성능 열화

의 폭이 큰 것을 확인할 수 있다.

전체적으로 OFDM, UFMC, FBMC의 HPA 비선형 조건에 따른 성능과 SSD-OFDM, SSD-UFMC, SSD-FBMC 시스템의 HPA 비선형 조건에 대한 시스템의 성능을 거의 유사한 것을 확인할 수 있다. 이는 각 시스템이 모두 다중 반송파를 기반으로 하여 높은 PAPR을 가지고 있기 때문이다. 향후 이러한 HPA 비선형성에 대한 성능열화 및 자기간섭제거 성능 열화를 개선하기 위해서는 PAPR을 저감시켜야 한다.

## V. 결 론

본 논문에서는 5G 이동통신 시스템을 위한 후보 변조 기술인 OFDM, UFMC, FBMC 기술을 사용한 SSD 시스템을 설계하고, 각 시스템의 성능을 비교 분석하였다. 본 논문에서는 우선 OFDM, UFMC, FBMC 시스템에 HPA 비선형 조건이 고려되었을 경우 성능을 평가하고, SSD-OFDM, SSD-UFMC, SSD-FBMC 시스템에 동일한 HPA 비선형 조건이 고려되었을 경우의 성능을 평가하고 비교 분석하였다. 전체적으로 OFDM, UFMC, FBMC의 성능은 거의 유사한 특성을 보였으며, 마찬가지로 SSD-OFDM, SSD-UFMC, SSD-FBMC 시스템의 성능도 유사한 특성을 보였다. 이로 인해 각각의 시스템이 모두 다중반송파 기반 변조기술을 사용하여 유사한 PAPR 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 따라서 HPA 비선형성으로 인한 일반적인 시스템의 성능 열화나 SSD 시스템의 자기간섭신호 제거 성능열화를 극복하기 위해서는 PAPR을 저감시키는 것이 중요하다는 것을 확인할 수 있다.

## References

- [1] Shanzhi Chen, Jian Zhao, "The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication", *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 5, pp. 36-43, May 2014.
- [2] E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, J. Peisa, J. Sachs, Y. Selén, and J. Sköld, "5G wireless access: requirements and realization", *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 12, pp. 42-47, Dec. 2014.



- [3] G. Wunder et al., "5G NOW: non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 97-105, Feb. 2014.
- [4] P. Banelli, S. Buzzi, G. Colavolpe, A. Modenini, F. Rusek, and A. Ugolini, "Modulation formats and waveforms for 5G networks: who will be the heir of OFDM?: An overview of alternative modulation schemes for improved spectral efficiency", in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 31, no. 6, pp. 80-93, Nov. 2014.
- [5] F. Schaich, T. Wild, "Waveform contenders for 5G - OFDM vs. FBMC vs. UFMC", *Communications, Control and Signal Processing(ISCCSP), 2014 6th International Symposium on*, pp. 457-460, 21-23 May 2014.
- [6] V. Vakilian, T. Wild, F. Schaich, S. ten Brink, and J. F. Frigon, "Universal-filtered multi-carrier technique for wireless systems beyond LTE", in *Globecom Workshops (GC Wkshps), 2013 IEEE*, pp. 223-228, 9-13 Dec. 2013.
- [7] B. Farhang-Boroujeny, "OFDM versus filter bank multicarrier", in *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 28, no. 3, pp. 92-112, May 2011.
- [8] Wonsuk Chung, Beomju Kim, Moonchang Choi, Hyungju Nam, Hyunkyung Yu, Sooyoung Choi, and Daesik Hong, "Synchronization error in QAM-based FBMC system", in *Military Communications Conference(MILCOM), 2014 IEEE*, pp. 699-705, Oct. 2014.
- [9] M. Mukherjee, L. Shu, V. Kumar, P. Kumar, and R. Matam, "Reduced out-of-band radiation-based filter optimization for UFMC systems in 5G", *Wireless Communications and Mobile Computing Conference(IWCMC), 2015 International*, Dubrovnik, 2015, pp. 1150-1155.
- [10] Z. Kollar, L. Varga, and K. Czimer, "Clipping-based iterative PAPR-reduction techniques for FBMC", *OFDM 2012, 17th International OFDM Workshop 2012 (InOWo'12); Proceedings of*, Essen, Germany, 2012, pp. 1-7.
- [11] M. Chaffi, J. Palicot, and R. Gribonval, "Closed-form approximations of the PAPR distribution for multi-carrier modulation systems", in *Signal Processing Conference(EUSIPCO), 2014 Proceedings of the 22nd European*, pp. 1920-1924, 1-5 Sept. 2014.
- [12] H. Mahmoud, T. Yucek, and H. Arslan, "OFDM for cognitive radio: merits and challenges", in *Wireless Communications, IEEE*, vol. 16, no. 2, pp. 6-15, April 2009.
- [13] H. G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman, "Peak-to-average power ratio of single carrier FDMA signals with pulse shaping", *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006 IEEE 17th International Symposium on*, Helsinki, pp. 1-5, 2006.
- [14] P. Drotar, J. Gazda, D. Kocur, and P. Galajda, "MC-DMA performance analysis for different spreading codes at HPA Saleh model", *18th Int. Conf. Radioelektronika*, pp. 1-4, Prague, Apr. 2008.

안 창 영



2013년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)  
 2015년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2015년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 차세대 무선통신시스템, 신

호처리

유 흥 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 교수  
 2002년 3월~2004년 2월: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장  
 1996년~현재: IEEE, IET 논문 심사위원  
 2002년: 한국전자과학회 학술상 수상  
 2008년: ICWMC 2008 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상

2009년: SPACOMM 2009 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상  
 [주 관심분야] 무선통신시스템, 위성통신, B5G/6G 이동통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리