

SSB-WR-OFDM 시스템 설계와 HPA 비선형 환경에서의 성능 평가

장 경 수*, 유 흥 균^o

Design and Performance Evaluation of SSB-WR-OFDM System in HPA Nonlinear Environment

Kyeongsoo Jang*, Heung-Gyoon Ryu^o

요 약

스펙트럼 자원이 포화 상태에 이른 요즘에는 스펙트럼 효율을 높일 수 있는 기술에 관한 연구들이 활발히 이루어지고 있다. SSB(Single Side Band) 변조 방법과 윈도우잉(Windowing) 기술들은 스펙트럼 효율을 높일 수 있는 기술 중 하나이다. 최근 스펙트럼 효율을 향상시키기 위한 기술로 다중반송파에 SSB기술과 WR 기술을 결합한 SSB-WR-OFDM 시스템이 제안되었다. 다중반송파 시스템에서는 HPA(High Power Amplifier) 비선형성에 의해 시스템의 성능과 스펙트럼 특성이 크게 열화될 수 있으므로 시스템의 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) 및 스펙트럼 대역에 대한 평가가 매우 중요하다. 그러나 현재 이에 관련된 연구가 이루어지지 않았다. 따라서 본 논문에서는 SSB 변조와 WR 기술을 합친 SSB-WR-OFDM 시스템을 설계하고 성능 및 특성을 평가한다. 더욱이, PAPR 저감 기술로 잘 알려진 DFT-spreading 방법을 적용하여 SSB-WR-OFDM 시스템의 성능과 특성을 평가하였으며, 이에 대한 결과를 정량적으로 제시하였다.

Key Words : SSB modulation, WR technology, DFT-spreading, HPA, Saleh model

ABSTRACT

Recently, studies on techniques for increasing spectral efficiency have been actively carried out in recent years when spectrum resources have reached saturation. Single sideband (SSB) modulation method and windowing technique are one of technologies that can increase spectral efficiency. Recently, an SSB-WR-OFDM system combining SSB and WR technologies for multi-carrier had been proposed as a technique for improving spectral efficiency. In a multi-carrier system, the performance and spectral characteristics of the system may deteriorate due to the nonlinearity of high power amplifier (HPA). Therefore, evaluation of the system's peak-to-average power ratio (PAPR) and spectrum is very important. However, there is no research related to this. Therefore, in this paper, we design SSB-WR-OFDM system combining SSB modulation and WR technology and evaluate its performance and characteristics. Furthermore, performance and characteristics of the SSB-WR-OFDM system were evaluated by applying the DFT-spreading method, well known for PAPR reduction techniques. In this paper, the simulation results are presented quantitatively.

* 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2016R1D1A1B01008046).

• First Author : Department of electronic engineering, Chungbuk National University, kyeongsoo@chungbuk.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Department of electronic engineering, Chungbuk National University, ecomm@cnu.ac.kr, 정회원

논문번호 : 201901-414-A-RN, Received January 16, 2019; Revised April 8, 2019; Accepted April 9, 2019

I. 서론

모바일기기의 사용량이 큰 폭으로 증가된 최근에는 흔히 사용하는 스마트폰뿐만이 아닌 다양한 형태와 종류의 모바일 기기들이 사용자들의 요구를 충족시키기 위해 새로이 출시되어지고 있다. 이러한 모바일 기기들은 대부분 무선통신 기술을 이용하여 데이터를 송수신하고 있기 때문에 스펙트럼 자원이 포화 상태에 이른 요즘에는 효율적으로 스펙트럼 자원을 사용할 수 있는 기술들의 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이렇듯 스펙트럼 효율을 높이기 위한 기술로 SSB(Single Side Band) 변조 기술과 윈도잉 기술을 예로 들 수 있다.

SSB 변조 방법은 아날로그 통신에서 정보신호에 코사인 캐리어를 곱하여 송신하는 기존 송신 신호 DSB(Double Side Band)를 Hilbert 변환을 통해 LSB(Lower Side Band)와 USB(Upper Side Band) 신호로 나누어서 한 측파대만을 전송하여 스펙트럼을 절반만 사용하게 되는 기술이다^[1]. 최근 이러한 SSB 변조 방법을 디지털 변조 방법인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)에 적용하고자 하는 연구들이 이루어지고 있다^[2-8]. 이러한 연구는 크게 두 부분으로 나누어질 수 있다. 하나는 각 부반송파를 LSB와 USB로 나누는 것이고, 다른 하나는 전체 스펙트럼 LSB와 USB로 나누는 것이다. 이러한 시스템들은 DHT 변환을 핵심 기술로 사용한다^[6-8].

다음으로 윈도잉 기술은 신호의 불연속성을 제거하여 신호 스펙트럼의 OOB(Out of Band) 전력을 저감시키는 기술이다. 하지만 데이터 구역의 손상을 초래하기 때문에 WR(Windowing and Restructuring) 기법 등을 이용하여 손상된 데이터를 CP를 통해 복원해 주어야 한다.

최신 이동통신에서의 변조방법으로는 DFT(Discrete Fourier Transform) 혹은 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용하는 디지털 변조 방식인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템을 사용한다^[9]. 하지만 OFDM은 높은 PAPR로 인하여 전력 소모가 크며, 이를 개선하기 위한 방법으로 DFT-spreading 기술을 주로 사용한다. DFT-spreading 기술은 OFDM 시스템에서 IFFT 전 단계에서 FFT 처리를 하여 PAPR 특성을 줄여주는 역할을 한다. 이로 인해 단말의 전류 소모가 적어져 배터리 수명이 길어지며, HPA 출력을 더 효율적으로 사용할 수 있다. 본 논문에서는 최신 이동통신에서 사용되는 일반적인 OFDM 시스템을 SSB 변조 기술과

WR 기술을 결합한 SSB-WR-OFDM 시스템에 DFT-spreading 기술을 사용하여 HPA(High Power Amplifier) 비선형 환경에서의 시스템 성능을 분석하였다.

II. 시스템 모델

2.1 SSB-WR-OFDM

OFDM은 다중 반송파를 이용하여 변조된 심볼을 송수신하는 방식이다^[9]. OFDM은 여러 멀티미디어 방송, 인터넷 접속, 무선 네트워크, 4세대 이동 통신 등 다양한 분야에서 응용되고 있다. 여러 개의 병렬 데이터 스트림이나 채널을 통해 데이터를 전송하기 위해 다수의 직교성을 갖는 반송파를 사용하여 데이터를 전송한다.

일반적으로 OFDM은 송신기에서 IFFT를 사용하여 시간영역으로 변환하고 난 후 채널간의 간섭을 방지하기 위하여 CP(Cyclic Prefix)를 추가한다. 이러한 CP는 OFDM 심볼의 마지막 단의 일정 데이터 열을 앞으로 복사하여 보호 구간을 형성해 간섭을 방지하는 방법으로, 수신기에서 수신한 신호를 디지털 신호로 바꾼 후 직병렬 변환 후에 제거된다.

본 논문에서는 앞서 설명한 CP-OFDM과 SSB 변조를 이용하여 LSB 신호와 USB 신호에 각기 다른 데이터를 전송하는 시스템인 SSB-OFDM 시스템을 구현하였다. 그림 1은 SSB-OFDM 시스템의 각 부반송파별 스펙트럼이다.

윈도잉은 스펙트럼 효율을 높이기 위한 기술 중 하나로, 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 연구 주제 중 하나이다. 이 기술은 시간 영역에서 OFDM 각 심볼의 양쪽 끝부분 일정구간을 0에서부터 점진적으로 1로 증가하는 특정 윈도우 함수를 곱함으로써 이루어진다. 하지만 윈도잉은 데이터 손상을 일으켜 시스템 성능을 열화시킬 수 있다. 이를 막기 위해서 우리는

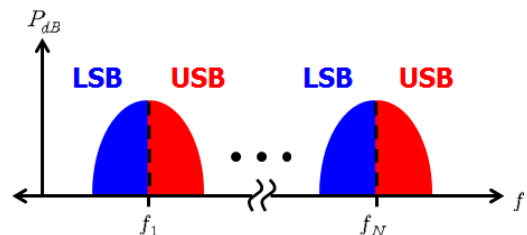


그림 1. SSB-CP-OFDM 시스템에서의 각 부반송파별 스펙트럼
Fig. 1. Spectrum of each subcarrier in SSB-CP-OFDM system.

WR 기법을 사용하였다. WR 기법은 윈도우잉으로 인하여 손상된 데이터 구간을 CP에서 손상되지 않은 구간을 가져와 재구성하는 방법으로 그림 2는 WR 기법의 원리를 설명해주는 그림이다.

본 논문은 앞서 설명한 SSB-OFDM과 WR 기술을 합친 SSB-WR-OFDM 시스템에 대해 성능을 평가하였다.

그림 3은 SSB-WR-OFDM 시스템 송신기의 구성도이다. 이 송신 시스템에서 USB 신호를 생성하는 방법은 다음과 같다. 우선 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 신호를 IFFT 변환한 후 2차원 벡터로 구성한다. 이와 함께 동일한 BPSK 신호를 DHT(Discrete Hilbert Transform) 연산 후 IFFT 변환을 하고 여기에 $1j$ 값을 곱한다음 2차원 벡터를 구성한다. 다음으로 두 벡터 값을 빼줌으로써 USB 신호를 생성할 수 있다. 마지막으로 이렇게 분리되어 생성된 신호인 LSB, USB 신호를 합친 후 CP를 추가하고 윈도우잉 처리한다.

그림 4는 SSB-WR-OFDM 시스템 수신기의 구성도이다. 수신기에서는 직병렬 변환을 하고난 후 CP를 제거한 뒤에 윈도우잉으로 인한 데이터 손상을 막기 위해 재구성 과정을 거치게 된다. 그 후, 다중경로 채널에 대한 등화를 진행한다. 송신기에서 LSB신호와 USB신호를 합친 후 채널이 적용되기 때문에 수신기에서도 LSB와 USB 신호가 분리되기 전에 등화를 해

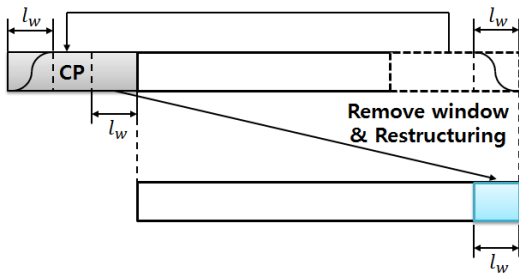


그림 2. WR(Windowing and Restructuring) 기법의 원리
Fig. 2. Principle of WR(Windowing and Restructuring) technique.

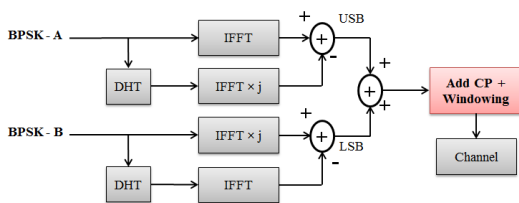


그림 3. SSB-WR-OFDM 송신기 구성도
Fig. 3. Block diagram of the SSB-WR-OFDM transmitter.

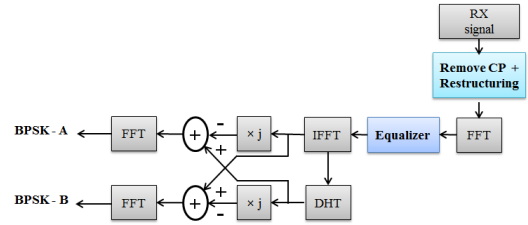


그림 4. SSB-WR-OFDM 수신기 구성도
Fig. 4. Block diagram of the SSB-WR-OFDM receiver.

주어야 한다. 그렇다고 시간 영역에서 등화를 하는 것이 아니라 CP 제거 후 신호를 FFT하여 주파수 영역에서 등화한 후에 다시 IFFT하여 시간 영역으로 되돌아오는 과정을 거치게 된다. 그 후에 신호를 DHT하고 복소수를 곱하여 원래 수신된 신호에 빼주어 제안한 시스템의 USB 신호를 분리해주고 이를 송신 단에서 IFFT 변환을 사용하여 BPSK 신호로 복조한다. 그리고 또 수신된 신호에 복소수를 곱하여 이를 원래 수신된 신호를 DHT 처리한 신호에 빼주어 제안한 시스템의 LSB와 USB 신호로 분리한다.

2.2 LSB와 USB간의 간섭과 극복방법

SSB-WR-OFDM 시스템은 각 부분송파 별로 LSB, USB로 나누어지게 되는데, 이 때 각 부분송파별로 LSB와 USB 스펙트럼 사이에 간섭이 발생하게 된다. 간섭이 발생하는 이유는 LSB와 USB에 대한 신호를 각각 생성할 때, 중간 주파수 부분에 중첩되는 부분이 발생되기 때문이다. 즉, LSB와 USB 신호를 생성할 때, 송신 신호의 스펙트럼이 정확하게 절반으로 나누어지지 않고, 각 SSB 신호의 점유 대역폭이 기존 시스템의 스펙트럼의 절반보다 넓게 구성되기 때문이다. 이러한 문제로 인하여 LSB와 USB를 중첩하여 전송할 때, 중간 부분에 서로 겹치는 부분이 발생하여 이 부분에서 간섭 문제가 발생하며, 이는 전체적인 신호의 품질 및 시스템의 성능을 열화시키는 요인이 된다. 그림 5는 발생하는 간섭에 대해 설명하는 그림이다. 이러한 간섭들로 인한 데이터 에러들은 수신 단에서 LSB와 USB 분리 및 복조 처리되는 과정 중 Matlab 내장함수인 IFFT 및 FFT 처리할 때에 FFT shift가 발생되기 때문에 수신된 데이터 스트림 양쪽 끝으로 몰리게 된다.

그림 6에서와 같이 양쪽 끝에서 주로 발생하는 에러들은 그 구간을 일정 비율로 제거하여 없앨 수 있다. 이 때, 데이터 손실이 발생하게 되는데 그 비율은 아래 식 (1)과 같으며 이 비율을 척도로 에러로 인한 시스템 성능 저하 현상을 개선할 수 있다.

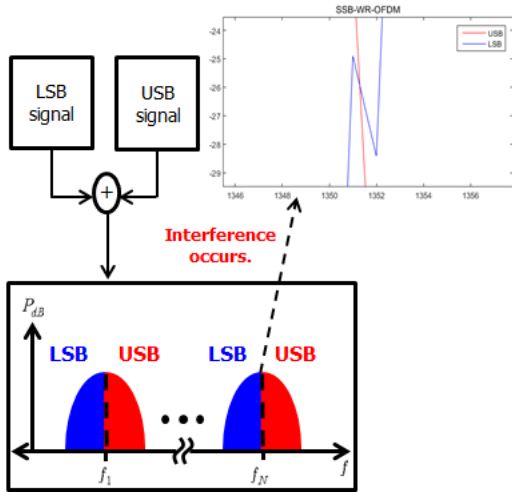


그림 5. SSB-OFDM에서 나타나는 간섭 문제
Fig. 5. Interference problem in SSB-OFDM.

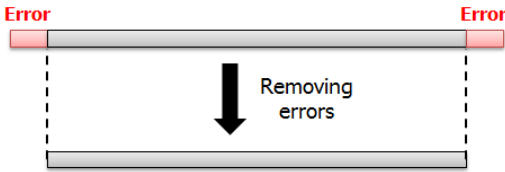


그림 6. 에러가 주로 발생하는 영역 제거
Fig. 6. Elimination of areas where errors are mainly present.

$$Loss\ rate = 100 \times \frac{Removal\ data}{Total\ data} \quad (1)$$

2.3 DFT-spreading 기술과 HPA 환경

현재 이동 통신에서 사용되는 OFDM 시스템은 높은 PAPR 전력으로 인해 전류 소모가 큰 단점이 있다. 이를 해결하기 위한 기술로 DFT-spreading 기술이 있다. DFT-spreading 기술은 OFDM 시스템에서 IFFT 전 단계에서 FFT 처리를 하여 첨두 전력(Peak Power)을 줄여주는 역할을 한다. 이로 인해 단말의 전류 소모가 적어져 배터리 수명이 길어지며, HPA 출력을 더 효율적으로 사용할 수 있다.

본 논문에서는 OFDM과 SSB-WR-OFDM 시스템의 비선형 HPA 환경에서의 시뮬레이션 결과와 DFT-spreading을 사용한 시스템 성능을 분석하였다. 일반적으로 상향링크 DFT-s-OFDM 시스템에서는 각 유저당 DFT 연산을 각각 처리하는 Cluster 방법을 사용한다. 본 논문에서는 단일 유저에 대한 시스템 성능을 평가하기 때문에 전체 부반송파 중에 사용하는 부반송파에 맵핑되는 심볼에 대하여 전체적으로 DFT

처리가 이루어진다. 비선형 HPA 모델로 Saleh 모델을 사용하였으며 아래 식 (2)와 식 (3)은 각각 Saleh 모델의 AM/AM 특성과 AM/PM 특성을 나타낸다. $v(t)$ 는 입력신호이고 α_a, β_a 는 AM/AM 특성식의 파라미터들이며, α_p, β_p 는 AM/PM 특성식의 파라미터들이다^[10].

$$A[v(t)] = \frac{\alpha_a v(t)}{1 + \beta_a v(t)^2} \quad (2)$$

$$\Phi[v(t)] = \frac{\pi}{3} \frac{\alpha_p v(t)^2}{1 + \beta_p v(t)^2} \quad (3)$$

III. 시뮬레이션 결과 및 평가

본 논문에서 SSB-WR-OFDM의 BER 성능과 각 조건에 따른 스펙트럼을 분석하기 위해 진행한 시뮬레이션에 사용된 각 조건들은 표 1과 같다.

그림 7은 각 시스템 별 PAPR 성능을 분석한 그래

표 1. 성능 분석을 위한 시뮬레이션 조건
Table 1. Simulation conditions for performance analysis.

Parameters	Value
Modulation	BPSK
FFT size	128
Data Subcarriers	104
CP length	32
Window function	Hann window
Window length	[16 16]
HPA model	Saleh model
HPA coefficients (C=condition)	C0= $\alpha_a:1, \alpha_p:0, \beta_a:0, \beta_p:0.01$ (Linear)
	C1= $\alpha_a:1, \alpha_p:0.05, \beta_a:0.05, \beta_p:0.01$
	C2= $\alpha_a:1, \alpha_p:0.1, \beta_a:0.1, \beta_p:0.01$
	C3= $\alpha_a:1, \alpha_p:0.15, \beta_a:0.15, \beta_p:0.01$
C4= $\alpha_a:1, \alpha_p:0.2, \beta_a:0.2, \beta_p:0.01$	
Channel	AWGN, Rayleigh fading channel

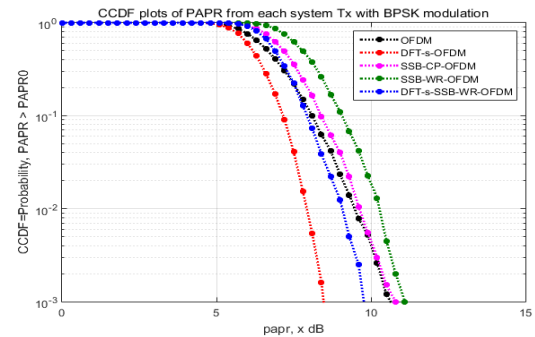


그림 7. 각 시스템 별 PAPR 성능 비교
Fig. 7. PAPR performance comparison of each system.

프이다. OFDM과 SSB-WR-OFDM 시스템 모두 DFT-spreading 처리를 한 후에 더 낮은 PAPR을 갖는다는 것을 확인할 수 있다.

그림 8과 그림 9는 각각 SSB-WR-OFDM과 DFT-s-SSB-WR-OFDM 시스템에서 5가지 조건의 HPA 비선형 환경을 고려한 스펙트럼 성능을 비교한 것이다. HPA의 비선형성이 강해질수록 스펙트럼 OOB 전력이 높아지는 것을 확인할 수 있다.

표 2는 앞에서 제시한 각 시스템의 PAPR 및 스펙트럼 성능 비교 결과를 정리한 것이다.

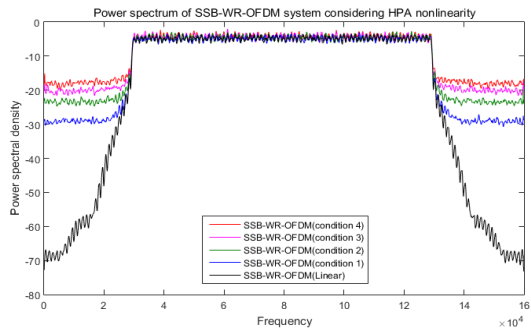


그림 8. HPA 비선형을 고려한 SSB-WR-OFDM의 스펙트럼
Fig. 8. Spectrum of SSB-WR-OFDM considering HPA nonlinearity.

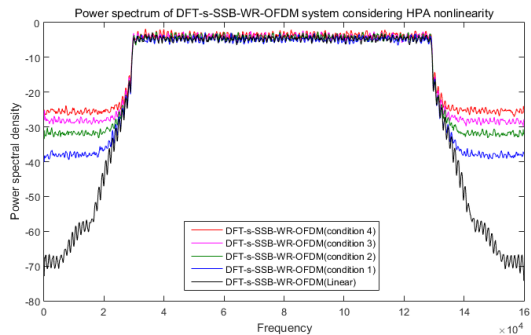


그림 9. HPA 비선형을 고려한 DFT-s-SSB-WR-OFDM의 스펙트럼
Fig. 9. Spectrum of DFT-s-SSB-WR-OFDM considering HPA nonlinearity.

표 2. 각 시스템별 PAPR 및 스펙트럼 성능 평가
Table 2. PAPR and spectrum performance evaluation for each system.

System	PAPR(dB) at 10^{-3}	OOB power reduction(dB)				
		C0	C1	C2	C3	C4
OFDM	10.6	-28	-23	-20	-18	-15
DFT-s-OFDM	8.5	-28	-26	-24	-23	-21
SSB-WR-OFDM	11.1	-65	-27	-21	-19	-16
DFT-s-SSB-WR-OFDM	9.7	-65	-34	-29	-27	-24

그림 10에서 그림 13은 각 시스템에서 5가지 조건의 HPA 비선형 환경을 고려한 BER 성능을 비교한 것이다. PAPR이 높은 시스템일수록 비선형성에 대한 시스템 성능 열화가 심하다. BER 성능 결과를 보면 SSB-WR-OFDM이 가장 비선형성에 취약하며 DFT-s-OFDM이 가장 성능이 개선되는 것을 알 수 있다.

표 3은 각 시스템별 BER 성능을 표로 정리하여 비교한 것이다. OFDM과 SSB-WR-OFDM 시스템에서

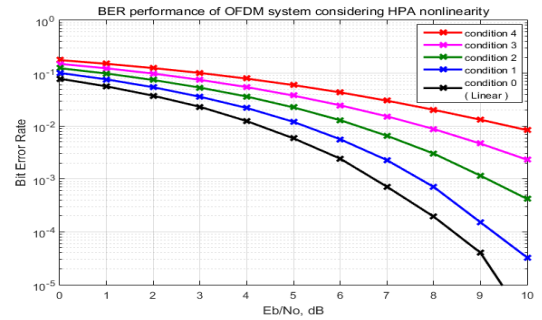


그림 10. HPA 비선형을 고려한 OFDM의 BER 성능
Fig. 10. BER performance of OFDM considering HPA nonlinearity.

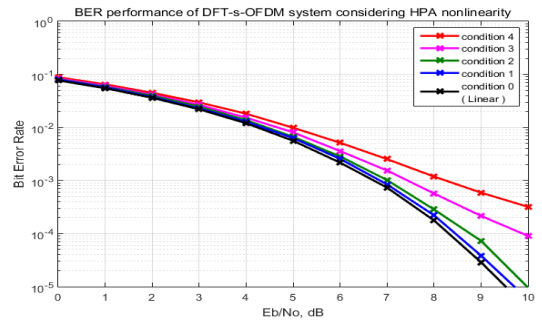


그림 11. HPA 비선형을 고려한 DFT-s-OFDM BER 성능
Fig. 11. BER performance of DFT-s-OFDM considering HPA nonlinearity.

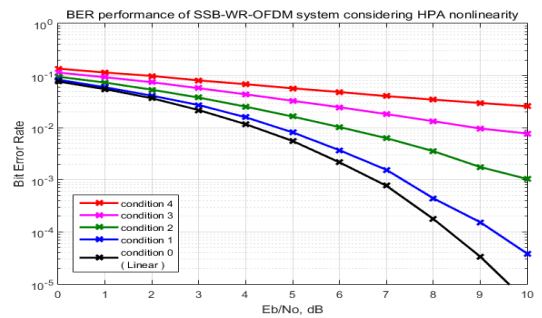


그림 12. HPA 비선형을 고려한 SSB-WR-OFDM의 BER 성능
Fig. 12. BER performance of SSB-WR-OFDM considering HPA nonlinearity.

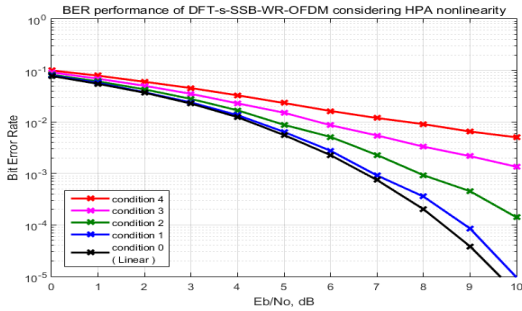


그림 13. HPA 비선형을 고려한 DFT-s-SSB-WR-OFDM의 BER 성능
 Fig. 13. BER performance of DFT-s-SSB-WR-OFDM considering HPA nonlinearity.

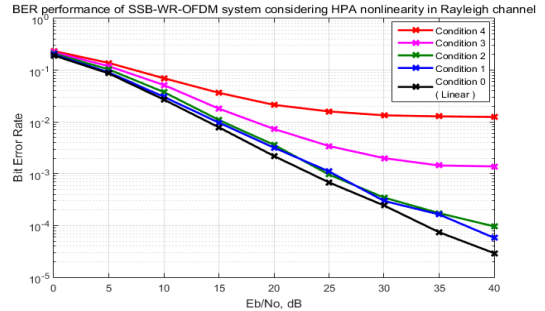


그림 15. Rayleigh 채널에서 HPA 비선형을 고려한 SSB-WR-OFDM의 BER 성능
 Fig. 15. BER performance of SSB-WR-OFDM considering HPA nonlinearity in Rayleigh channel.

표 3. 각 시스템별 BER 성능 평가
 Table 3. BER performance evaluation for each system.

System	Bit error rate (at SNR=9dB)				
	C0	C1	C2	C3	C4
OFDM	3.8×10^{-5}	1.5×10^{-4}	1.1×10^{-3}	4.6×10^{-3}	1.3×10^{-2}
DFT-s-OFDM	3.3×10^{-5}	3.8×10^{-5}	7.3×10^{-5}	2.2×10^{-4}	5.9×10^{-4}
Improvement rate		↑75%	↑93%	↑95%	↑95%
SSB-WR-OFDM	3.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}	1.7×10^{-3}	9.6×10^{-3}	3.0×10^{-2}
DFT-s-SSB-WR-OFDM	3.8×10^{-5}	8.5×10^{-5}	4.5×10^{-4}	2.1×10^{-3}	6.5×10^{-3}
Improvement rate		↑43%	↑74%	↑78%	↑78%

DFT-spreading을 할 경우 개선되는 비율까지 계산한 것으로 이를 통해 SSB-WR-OFDM 시스템이 OFDM 시스템에 비해 DFT-spreading을 통한 HPA 비선형 환경에서의 성능이 더 좋지 않음을 알 수 있다.

그림 14와 그림 15는 각각 Rayleigh 채널에서 HPA 비선형을 고려한 OFDM 시스템과 SSB-WR-OFDM 시스템의 BER 성능을 나타낸다. AWGN 채널에서와 같이 SSB-WR-OFDM 시스템이

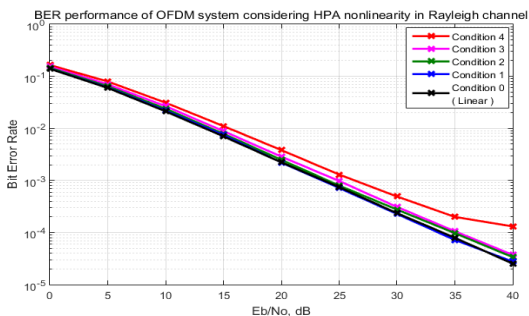


그림 14. Rayleigh 채널에서 HPA 비선형을 고려한 OFDM의 BER 성능
 Fig. 14. BER performance of OFDM considering HPA nonlinearity in Rayleigh channel.

HPA 비선형성이 강해짐에 따라 성능이 더 열화되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 보다 높은 스펙트럼 효율을 얻기 위하여 SSB-WR-OFDM 시스템을 설계하였고 그 성능을 알아보기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 윈도우 함수로 [16 16]의 윈도우 길이를 갖는 Hann window를 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 또한 DFT-spreading을 각 시스템에 적용하여 PAPR 성능과 비선형 HPA 환경에서의 스펙트럼 및 BER 성능을 비교하였다. 비선형 HPA 환경에서 SSB-WR-OFDM 시스템이 일반 OFDM 시스템에 비해 AWGN 및 Rayleigh 채널에서 BER 성능이 좋지 않으며, DFT-spreading으로 인한 BER 성능 개선을 또한 비교적 작다는 것을 확인할 수 있었다.

References

- [1] E. Bedrosian, "The analytic signal representation of modulated waveforms," in *Proc. IRE*, vol. 50, no. 10, pp. 2071-2076, Oct. 1962.
- [2] K. Abo., et al., "Spectrum efficient single-sideband single-carrier with frequency-domain equalization," in *2015 IEEE 81st VTC Spring*, pp. 1-5, Glasgow, UK, 2015.
- [3] H. A. Leftah and S. Boussakta, "Novel OFDM based on C-Transform for improving multipath transmission," *IEEE Trans. Sign. Process.*, vol. 62, no. 23, Dec. 2014.

[4] G. Ohta and T. Sato, "An Orthogonal Frequency multiplexed(OFDM) four-layer SSB-QAM modulation method," IEICE technical Report, vol. 114, no. 490, pp. 159-164, Mar. 2015.

[5] Y. Jiang, Z. Zhou, M. Nanri., G. Ohta, and T. Sato, "Performance evaluation of four orthogonal single sideband elements modulation scheme in multi-carrier transmission systems," in *Proc. IEEE VTC Fall 2011*, pp. 1-6, San Francisco, United States, Sep. 2011.

[6] B. Kim and H.-G. Ryu, "Spectrum analysis and performance evaluation of OFDM-Single-Side band systems based on BPSK modulation," *J. KICS*, vol. 41, no. 11, pp. 1380-1386, Nov. 2016.

[7] B. Kim and H.-G. Ryu, "Design and performance evaluation of improved DFT-s-SSB OFDM," *J. KICS*, vol. 42, no. 11, pp. 2086-2092, Nov. 2017.

[8] J. Lee and H.-G. Ryu, "Performance evaluation of DFT spreading SSB WR-OFDM system using Multi-Level PAM modulation," *J. KICS*, vol. 43, no. 12, pp. 2032-2040, Dec. 2018.

[9] T. Hwang, et al., "OFDM and its wireless applications: A survey," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 4, pp. 1673-1694, May 2009.

[10] M. M. Shammasi and S. M. Safavi, "Performance of a predistorter based on Saleh model for OFDM systems in HPA nonlinearity," in *ICACT*, pp. 148-152, PyeongChang, Korea, Feb. 2012.

장 경 수 (Kyeongsoo Jang)



2017년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학사)
 2017년 3월~현재 : 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 <관심분야> 무선통신시스템, 신호처리
 [ORCID:0000-0002-4238-2196]

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년~현재 : 충북대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월~2004년 2월 : 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
 <관심분야> 무선통신, B5G/6G 이동통신, 위성통신, 통신회로 설계 및 통신 신호처리

[ORCID:0000-0002-7368-9860]