

# DFT 확산을 사용하는 SSB-OFDM 시스템에서 LSB와 USB간의 간섭 극복을 위한 복소 결합 기술

안창영\*, 유흥균<sup>o</sup>

## Complex Combination Technique for Overcome of LSB-USB Interference in SSB-OFDM System Using DFT Spreading

Changyoung An\*, Heung-Gyoon Ryu<sup>o</sup>

요약

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 수신기의 간단한 등화처리와 시간 및 주파수 영역에서 유연한 자원 할당과 같은 장점을 가지고 있어 다양한 무선 통신에서 사용되고 있으며, 앞으로 나올 5G(5th Generation) 및 B5G(Beyond 5G) 모바일 통신을 위한 핵심 기반기술로써 주목받고 있다. 이러한 국제적인 추세에 따라 OFDM의 특성을 더욱 개선하기 위한 노력이 이루어지고 있으며, 최근 OFDM의 가장 큰 약점인 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)을 효과적으로 저감시키는 DFTs-SSB-OFDM(Discrete Fourier Transform based Single Sideband OFDM)이 제안되었다. 그러나 이 시스템은 LSB와 USB를 동시에 전송할 때, 한 번에 전송하는 심볼의 전송량을 일부 감소시키는 문제점이 있다. 이는 기존 설계된 시스템의 각 계층의 주요 파라미터의 변화를 요구하기 때문에 하위 호환성을 크게 약화시킨다. 본 논문에서는 DFTs-SSB-OFDM에 복소 결합 처리를 추가하여 이러한 문제점을 해결한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 시스템은 전송 효율과 성능의 열화 없이 LSB와 USB간의 간섭을 효과적으로 극복할 수 있음을 확인할 수 있다.

**Key Words** : DFTs-SSB-OFDM, SSB, DFT spread, interference, complex combination

### ABSTRACT

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) has advantages such as simple equalization in receivers and flexible allocation of resources in time and frequency domains, and is being used in various wireless communications. It is used in various wireless communications and is attracting attention as a core technology for future 5th generation (5G) and beyond 5G mobile communication. Efforts are being made to improve the characteristics of OFDM according to the international trend. Recently, discrete Fourier transform spread single sideband OFDM (DFTs-SSB-OFDM) was proposed to effectively reduce PAPR, which is the biggest weakness of OFDM. However, this system has a problem that when the lower sideband (LSB) and the upper sideband (USB) are transmitted at the same time, the transmission amount of the symbol to be transmitted at one time is partially reduced. This greatly degrades backward compatibility because it requires changes in key parameters of each layer of an existing designed system. In this paper, we solve this problem by adding complex combination processing to DFTs-SSB-OFDM. Simulation results show that the proposed system can overcome LSB-USB interference without degradation of transmission efficiency and performance.

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

• First Author : Department of electronic engineering, Chungbuk National University, acy890217@naver.com, 학생회원

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

논문번호 : 201812-395-A-RN, Received December 24, 2018; Revised January 9, 2019; Accepted January 11, 2019

## I. 서 론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 CP(Cyclic Prefix)를 사용하여 다중경로 채널의 영향을 효과적으로 극복할 수 있으며, 부반송파를 구분하여 쉽고 유연하게 시간 및 주파수 자원할당을 할 수 있는 장점이 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 장점으로 인하여 OFDM은 이동통신, WLAN(Wireless Local Area Network), DVB-S.2(Digital Video Broadcasting Satellite Second Generation) 등 다양한 분야의 무선 통신에 핵심 기술로 사용되고 있다. 더욱이 최근 발표된 5G NSA(Non Standalone) 표준인 Release-15에서도 OFDM을 채택하였다<sup>[2]</sup>. 그러나 OFDM은 다중반송파가 중첩되기 때문에 높은 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) 특성을 갖으며, 이는 HPA(High Power Amplifier)를 필수적으로 사용해야 하는 무선통신 시스템에서 스펙트럼 및 전력 효율을 감소시킬 수 있는 요인이 된다<sup>[3]</sup>. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 잘 알려진 기술로 DFTs(Discrete Fourier Transform)-OFDM이 있다<sup>[4]</sup>. 사용하는 부반송파의 개수와 심볼의 수가  $M$ 개라고 할 때, 이 시스템은 심볼이 부반송파에 맵핑되기 전에  $M$ 개의 크기로 DFT 연산 처리를 한다. 그 다음 사용하지 않는 부반송파에는 0을 할당하여  $N$ 개의 크기로 iDFT(inverse DFT) 연산을 한다. DFTs-OFDM은 이러한 처리를 통하여 기존 OFDM에 비하여 낮은 PAPR을 갖는다. 그러나 DFTs-OFDM 역시 단일 반송파에 비하면 상대적으로 높은 PAPR을 갖기 때문에 추가적으로 PAPR을 더욱 저감시키기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 연구 중 하나로 DFTs-SSB(Single Sideband)-OFDM에 대한 연구가 있다<sup>[5-6]</sup>. 이 시스템은 M-PAM(M-ary Pulse Amplitude Modulation) 변조와 DFT 확산을 이용하여 DFTs-OFDM보다 우수한 PAPR 특성을 얻는다. 여기에서 이 시스템은 하나의 부반송파가 전송하는 비트의 수가 OFDM 및 DFTs-OFDM과 동일하기 때문에 매우 경쟁력 있는 시스템으로 평가할 수 있다. DFTs-SSB-OFDM은 DFT 연산을 이용하여 M-PAM 심볼 압축하고 이를 부반송파에 맵핑하여 전송한다. 즉, 이 시스템은 OFDM 및 DFTs-OFDM이 M-PAM 심볼을 전송할 때 요구되는 부반송파의 개수보다 적은 개수의 부반송파를 사용한다. 그러나 부반송파의 개수가 정확하게 반으로 줄어들지 않기 때문에 전체 부반송파를 효율적으로 사용하기 어렵다. DFTs-SSB-OFDM은 M-PAM 심볼을 사용한다. 이 심볼은 실수로만 이루어져 있기 때문에 복소 영역을

모두 사용하는 M-QAM(M-ary Quadrature Amplitude Modulation) 심볼에 비하여 전송 효율이 2배 낮다. 따라서 DFTs-SSB-OFDM 시스템이 우수한 PAPR 특성을 유지하면서 전송 효율에서 손실을 보지 않으려면 M-PAM 심볼들이 정확하게 절반으로 압축이 되어야 한다. 그러나 현재 제안된 DFTs-SSB-OFDM 관련 연구들은 이러한 조건을 만족시키지 못하기 때문에 이 시스템을 기존 시스템에 적용하려면 기존에 결정된 전송 속도를 변화시켜야 한다. 이렇게 될 경우 각 계층에 기존 설계된 주요 파라미터의 변화를 야기하며, 이는 기존 시스템과의 호환성(Backward Compatibility)를 저해하는 결과를 가져온다. 다시 말해서 물리 계층의 변조기를 바꿀 경우 상위 계층의 구성을 새롭게 변경해주어야 하는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 DFTs-SSB-OFDM 시스템에 복소 결합 기술을 추가한다. 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템은 변조되는 심볼의 개수를 정확하게 절반으로 줄여 전송할 수 있으며, 이로 인하여 기존 시스템의 전송 속도에 변화를 야기하지 않는다. 본 논문에서는 기존 DFTs-SSB-OFDM에 대하여 소개하며, 이 시스템이 갖는 문제점을 분석한다. 그 다음 이를 해결할 수 있는 새로운 신호처리가 추가된 DFTs-SSB-OFDM 시스템을 설계하고 이 시스템의 성능과 특성을 평가한다.

## II. 기존 DFTs-SSB-OFDM

### 2.1 기존 시스템 모델

DFTs-SSB-OFDM 시스템은 실수 기반으로 된 입력 심볼들을 DFT 연산을 통해 복소 영역으로 압축하고 이를 각 부반송파에 맵핑하여 전송한다<sup>[5]</sup>. 이러한 처리 방법을 통해 기존 DFTs-OFDM 보다 우수한 PAPR 특성을 달성할 수 있다. 그림 1은 기존 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 송신기 블록도를 나타낸다. 이 시스템의 신호 처리 과정을 살펴보면, 우선 2개의 비트 스트림이 각각 M-PAM 심볼로 변조된다. 각 심볼은  $N$ 개의 크기로 DFT 연산된다. 실수 기반의 심볼들이 DFT 변환되게 되면, 중복성이 있는 복소수 형태의 심볼로 변환되며, 여기에서 중복되는 성분을 제거한다. 중복성이 제거된 각 심볼들은 iDFT 연산을 통해 각 부반송파의 LSB(Lower Sideband) 및 USB(Upper Sideband) 영역에 맵핑되며, 최종적으로 다중경로 채널에 의한 ISI(Inter-Symbol Interference) 영향을 극복하기 위하여 CP가 추가된 후 전송된다. 이러한 처리 과정 중에서 LSB와 USB 심볼을 각 부

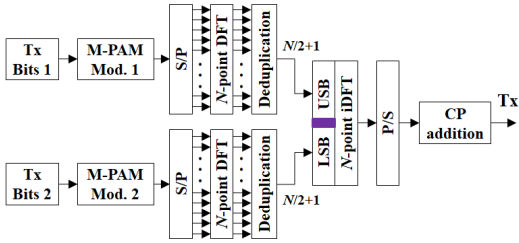


그림 1. 기존 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 송신기 블록도. Fig. 1. Transmitter block diagram of conventional DFTs-SSB-OFDM system.

반송파에 맵핑할 때, LSB와 USB의 심볼 개수는 각각  $N/2+1$ 이기 때문에  $N$ 개의 부반송파에 LSB와 USB를 맵핑 시킬 경우 간섭 문제가 발생하게 된다. 이러한 간섭은 시스템의 성능 열화를 야기할 수 있다.

2.2 시스템의 문제점과 기존 해결 방안

기존 DFTs-SSB-OFDM 시스템에서는 LSB와 USB 심볼을 선택적으로 보내거나 동시에 전송할 수도 있다. LSB 또는 USB를 선택적으로 보낼 경우 부반송파의 개수가 더 많기 때문에 부반송파에 심볼을 맵핑하는데 문제가 발생하지 않는다. 그러나 LSB와 USB 심볼을 동시에 전송할 경우 각 심볼의 수를 합한 것이 부반송파의 개수보다 많기 때문에 이를 강제로 중첩시킬 경우 간섭이 발생할 수 있다. 그림 2는 16개의 부반송파를 사용하는 기존 DFTs-SSB-OFDM 시스템에서 LSB와 USB간의 간섭 영향을 보여준다. 16개의 M-PAM 심볼을 DFT 연산을 이용하여 복소 영역의 심볼로 변환 하면 심볼의 수를 16개에서 9개로 압축할 수 있으며, 이러한 방법으로 LSB와 USB 심볼을 생성할 수 있다. LSB와 USB는 각각 9개의 심볼로 구성되기 때문에 이를 16개의 부반송파에 강제로 중첩하여 맵핑할 경우  $x_8$ 번과  $x_9$ 의 부반송파에서 LSB와 USB 심볼간에 간섭이 발생할 수 있다. 이러한 간섭문제로 인하여 시스템의 성능이 크게 열화될 수

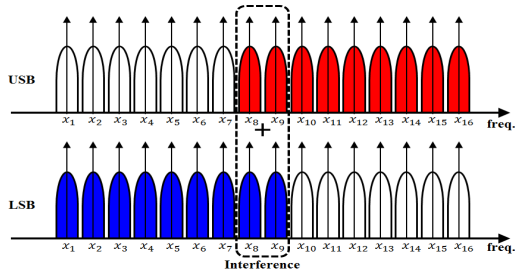
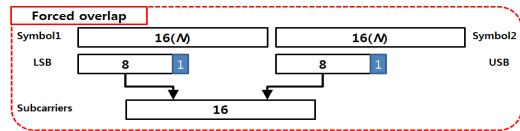


그림 2. 기존 DFTs-SSB-OFDM 시스템에서 LSB와 USB간의 간섭. Fig. 2. Interference between LSB and USB in conventional DFTs-SSB-OFDM system.

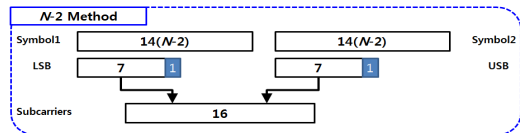
있으므로, 이를 해결하기 위한 연구가 진행되고 있다.

그림 3. (a)는 LSB와 USB 심볼을 동시에 전송할 때, 일부를 중첩하여 전송하는 방법을 나타내며, 이 경우 간섭 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로  $N-2$  방법과  $2N-2$  방법이 제안되었다<sup>7-8</sup>.

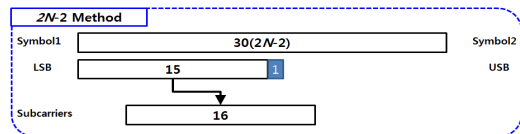
그림 3. (b)는 LSB와 USB로 변환하기 전의 M-PAM 심볼 개수를 각각  $N-2$ 로 줄여 간섭 문제를 해결하는 방법을 보여준다. 이 방법을 사용하면 14개의 심볼을 DFT 연산을 이용하여 압축하여 8개의 LSB 및 USB 심볼을 얻을 수 있고 이를 부반송파에 중첩없이 맵핑할 수 있다. 그림 3. (c)는 LSB 및 USB로 심볼을 각각 변환하지 않고 전체  $2N-2$ 개의 심볼을 한 번에 DFT 연산을 통해 압축하여 부반송파의 개수와 같은 심볼을 얻는 방법이다. 부반송파의 개수가 16개일 경우 30개의 M-PAM 심볼을 DFT 연산을 통하여 16개로 압축하고 이를 부반송파에 각각 맵핑하여 전송한다. 이와 같은 기존의 방법들은 LSB와 USB간의 중첩문제를 해결할 수 있으나 전송률에서 손실을 보게 된다. 16개의 부반송파를 사용하는 조건에서 DFTs-SSB-OFDM 시스템이 LSB와 USB에 각각 16개의 M-PAM 심볼을 전송해야 M-QAM 변조를 사용하는 기존 OFDM 시스템과 전송 효율이 동일하지만,  $N-2$  및  $2N-2$  방법을 사용할 경우 각각 4개, 2개의 심볼을 전송할 수 없으므로 전송 효율이 감소되며, 이는 상위 계층의 설계 조건에 변경을 요구하게 되어 하위



(a) Overlap method (interference)



(b) conventional N-2 method [7]



(c) conventional 2N-2 method [8]

그림 3. DFTs-SSB-OFDM 시스템에서 LSB와 USB간의 간섭 극복을 위한 기존 방법. Fig. 3. Conventional method for overcome of interference between LSB and USB in DFTs-SSB-OFDM system.

호환성이 매우 떨어지게 된다. 즉, 기존 DFTs-SSB-OFDM 시스템은 우수한 PAPR 저감 효과가 있지만, LSB와 USB를 동시에 전송할 경우 간섭문제가 발생하거나 전송 효율이 감소되는 문제점이 있다.

### III. 제안하는 DFTs-SSB-OFDM

#### 3.1 송신기

기존 시스템은 LSB와 USB를 동시에 전송할 때 전송 효율을 감소시키는 방법을 사용하였다. 그러나 제안하는 DFTs-SSB-OFDM은 LSB와 USB를 동시에 전송함에 있어서도 간섭이 발생하지 않으며, 전송 효율을 감소시키지 않는다. 그림 4는 제안하는 시스템의 송신기 블록도를 나타낸다. 시스템의 신호처리 과정을 살펴보면, 우선 LSB와 USB를 위한  $N$ 개의 M-PAM 심볼들이 각각 생성된다. 그 다음 DFT 연산을 통해 각각  $N/2+1$ 개의 LSB와 USB 심볼로 변환된다. 그 다음 마지막 심볼을 허수화 하여 첫 번째 심볼과 곱해서 복소수 심볼을 만들어 주며, 이러한 방법을 통해 DFT 연산 후에 전체 심볼의 수는 LSB와 USB 모두  $N/2$ 로 압축된다. 그 다음 LSB와 USB 심볼들은 iDFT 연산을 통해 부반송파에 맵핑된다. 마지막으로 ISI를 극복하기 위해 CP가 추가되어 전송된다.

제안하는 시스템의 핵심 처리 방법인 복소 결합 기술은 실수로 구성된 심볼들을 이용하여 DFT 연산을 수행할 때 나타나는 특성을 활용한 것이다.  $N$ 개의 M-PAM 심볼들을 DFT 연산 처리하면  $N$ 개의 실수와 복소수로 구성된 심볼들이 생성된다. 이 때, 2번부터  $N/2$ 번 심볼과  $N/2+2$ 번부터  $N$ 번까지의 심볼은 중복되기 때문에 제거되며, 1번 심볼과  $N/2+1$ 번 심볼은 항상 실수로 구성되기 때문에 복소수로 결합될 수 있다. 그림 5는 16개의 심볼을 DFT 연산 처리 했을 때 심볼의 특성을 보여준다.  $x_1$ 에서  $x_{16}$ 까지 부반송파에 맵핑되기 위한 실수로 구성된 심볼들은 DFT 연산 후 실

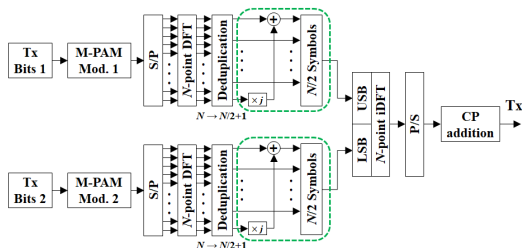


그림 4. 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 송신기 블록도. Fig. 4. Transmitter block diagram of the proposed DFTs-SSB-OFDM system.

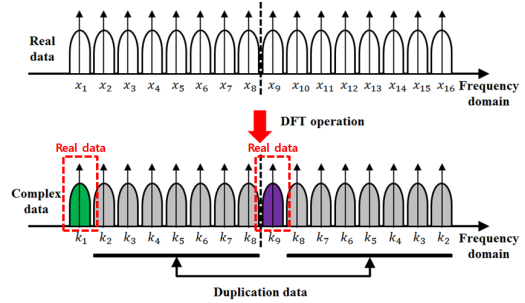


그림 5. DFT 연산을 통한 SSB 생성. Fig. 5. SSB generation through DFT operation.

수와 복소수로 된 심볼로 변환된다. 이 때, 심볼  $k_1$ 과  $k_9$ 는 실수이며, 심볼  $k_2, k_3, \dots, k_8$ 은 복소수로 구성된다. 제안하는 시스템은 중복되는 심볼  $k_2, k_3, \dots, k_8$ 은 제거하고 심볼  $k_1$ 과  $k_9$ 를 복소수로 결합한다. 이러한 방법으로  $N$ 개의 심볼들은  $N/2$ 개로 압축되기 때문에 LSB와 USB간의 간섭이 발생하지 않는다.

#### 3.2 수신기

그림 6은 제안하는 시스템의 수신기 블록도를 나타낸다. 제안하는 시스템의 수신기의 신호 처리 과정을 살펴보면, 우선 다중경로 페이딩에 의한 ISI 영향을 제거하기 위하여 CP가 제거된다. 그 다음 DFT 연산을 통해 각 부반송파에 맵핑된 심볼들을 추출한다. 그 다음  $N/2$ 개로 구성된 LSB와 USB 부분을 나누고, 복소수로 구성된 첫 번째 심볼에서 실수와 허수 부분을 분리한 뒤, 허수 부분을  $N/2+1$ 번에 위치시킨다. 그 다음 송신기에서 제거된 중복된 부분을 다시 생성하고, iDFT 연산을 통해 M-PAM 심볼들을 복원한다.

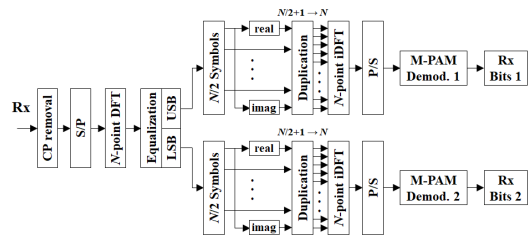


그림 6. 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 수신기 블록도. Fig. 6. Receiver block diagram of the proposed DFTs-SSB-OFDM system.

### IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 성능을 평가하기 위하여 표 1과 같은 시뮬레이션

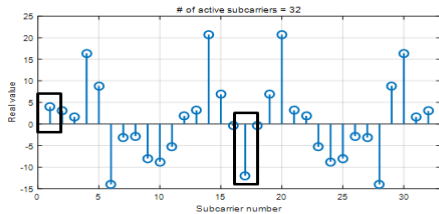
환경을 구성하였다. 전체 부반송파의 개수는 1024개이며, 사용하는 부반송파의 개수는 512개이다. 그리고 M-PAM 심볼을 사용하며, LSB와 USB에는 각각 부반송파 개수만큼의 M-PAM 심볼들이 압축되어 맵핑된다. 채널 환경은 AWGN(Additive White Gaussian Noise)과 Rayleigh 페이딩 채널을 고려하였다.

그림 7은 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 송신기에서 DFT 연산 후의 신호를 보여준다. 그림 7. (a)는 신호의 실수부분을 보여주며, (b)는 신호의 허수부분을 보여준다. 여기에서는 32개의 심볼을 DFT 연산 했을 경우의 신호 특성을 보여준다.

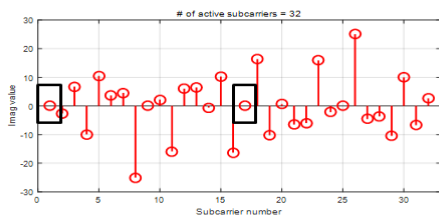
그림 7에서 실수 부분은 32개 모두 특정 값을 가지고 있으나 허수 부분을 보면 첫 번째 신호와 17번째 신호는 크기가 0으로 특정 값이 없음을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제시된 그림 7의 실수와 허수 부분의

표 1. 시뮬레이션 환경  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Symbol	M-PAM
Modulation	DFTs-SSB-OFDM
FFT size	1024
# of active subcarriers	512
# of symbols	512 for LSB, 512 for USB
CP length	256
Channel	AWGN, 256-tap random Rayleigh fading



(a) real part after DFT operation

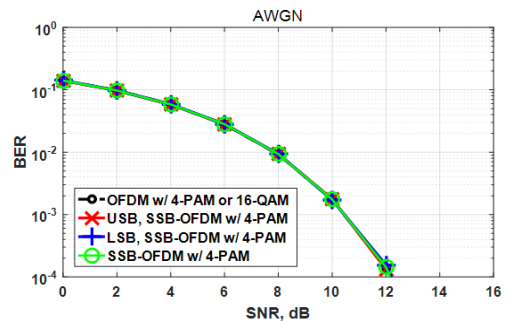


(b) imaginary part after DFT operation

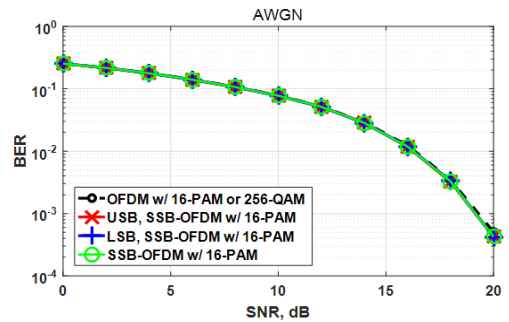
그림 7. 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 송신기에서 DFT 연산 후의 신호 분석.  
Fig. 7. Signal analysis after DFT operation in transmitter of proposed DFTs-SSB-OFDM system.

값들은 DFT 연산기에 들어가는 심볼에 따라 달라질 수 있지만, 허수 부분의 첫 번째 부분과 17번째 부분은 항상 0으로 계산된다. 즉, DFT 연산 후에 첫 번째와  $N/2+1$ 번째 심볼은 항상 실수로 구성된 것을 확인할 수 있으며, 이 두 부분을 복소 영역으로 결합할 수 있다.

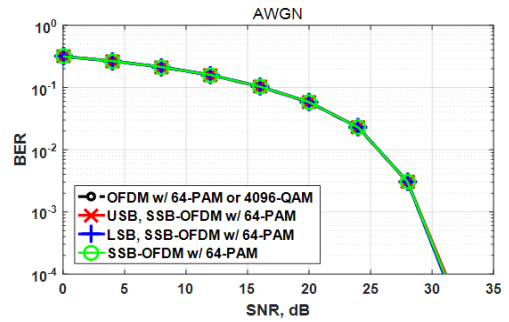
그림 8은 AWGN 채널에서 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 BER(Bit Error Rate) 성능을 보여준다. BER 성능을 평가할 때, 제안하는 시스템에서 LSB와 USB 각각의 성능과 통합된 성능을 평가하였다. 그리고 기존 OFDM 시스템과 성능을 비교하였다.



(a) 4-PAM



(b) 16-PAM

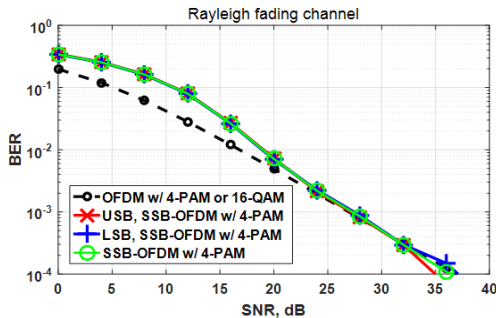


(c) 64-PAM

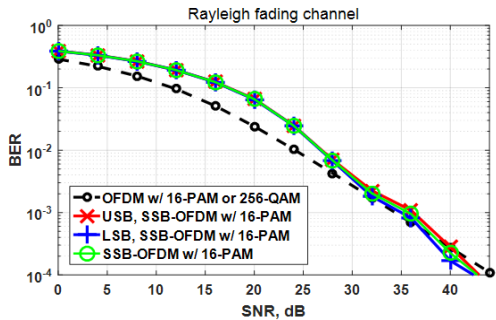
그림 8. AWGN 채널에서 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 BER 성능.  
Fig. 8. BER performance of the proposed DFTs-SSB-OFDM system in AWGN channel.

그림 8. (a), (b), (c)는 각각 4-PAM, 16-PAM, 64-PAM 심볼을 사용할 때 BER 성능을 나타내며, 변조 차수와 상관없이 제안하는 시스템은 기존 OFDM 시스템과 동일한 BER 성능을 낸다. 즉, 그림 8의 결과를 통해 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템은 AWGN 채널에서 기존 OFDM 시스템과 같은 성능과 효율을 내는 것을 확인할 수 있다.

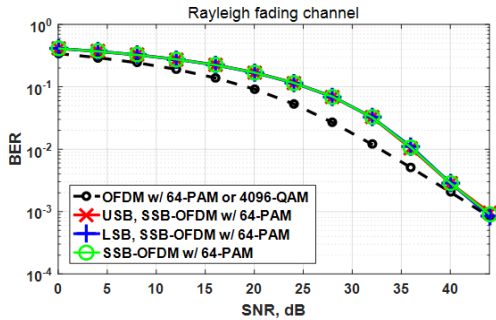
그림 9는 Rayleigh 페이딩 환경에서 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 BER 성능을 보여준다. 그림 9. (a), (b), (c)는 각각 4-PAM, 16-PAM, 64-PAM 변조를 사용할 때 BER 성능을 나타낸다. 성



(a) 4-PAM



(b) 16-PAM



(c) 64-PAM

그림 9. Rayleigh 페이딩 채널에서 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템의 BER 성능. Fig. 9. BER performance of the proposed DFTs-SSB-OFDM system in Rayleigh fading channel.

능 평가에 있어서 LSB와 USB 각각의 성능과 통합된 성능을 모두 평가하였다. 그림 9의 전체적인 성능 평가 결과를 보면, 제안하는 시스템의 성능이 낮은 SNR(Signal-to-Noise Ratio)에서는 일부 차이를 보이다가 SNR이 특정 수치 이상으로 증가되면 이론적인 BER 성능과 같아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 Rayleigh 페이딩 환경에서 OFDM에 DFT 확산 방법을 적용하였을 때의 BER 성능 특성의 변화와 유사하다. 일반적으로 Rayleigh 페이딩 환경에서 OFDM과 DFTs-OFDM 시스템의 BER 성능은 낮은 SNR에서 일부 차이가 나며, 높은 SNR에서부터 성능이 유사해진다. 즉, 제안하는 DFTs-SSB-OFDM 시스템과 DFTs-OFDM 시스템과 성능은 전체적인 SNR 범위에서 유사할 것으로 판단된다. 따라서 제안하는 시스템은 Rayleigh 페이딩 채널에서도 전송 효율의 감소 없이 기존 DFTs-OFDM과 유사한 성능을 내는 것을 확인할 수 있다.

그림 10은 기존 DFTs-SSB-OFDM 시스템과 제안하는 시스템의 PAPR 특성을 보여준다. 여기에서 DFTs-SSB-OFDM은 단측파대만을 사용한다. 전송 효율과 사용하는 부반송파의 개수가 유사한 조건에서 기존 시스템과 제안하는 시스템은 모두 DFTs-OFDM 보다 우수한 PAPR 특성을 갖는다. 특히, 제안하는 시스템은 PAPR 특성의 큰 변화 없이 복소 결합 기술을 사용하여 기존 DFTs-OFDM과 동일한 전송 효율을 달성하여 하위 호환성을 개선시킬 수 있다.

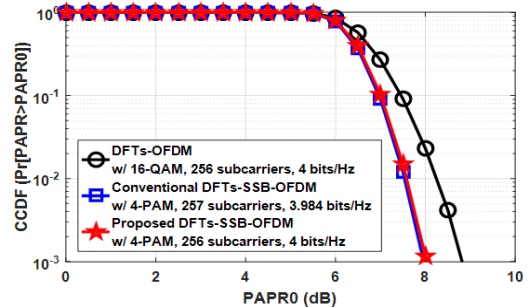


그림 10. 기존 DFTs-SSB-OFDM 시스템과 제안하는 시스템의 PAPR 특성 비교 Fig. 10. Comparison of PAPR characteristics between conventional DFTs-SSB-OFDM system and proposed system.

### V. 결론

본 논문에서는 기존 DFTs-SSB-OFDM 시스템에서 LSB와 USB를 동시에 전송할 때 발생하는 문제점

을 파악하며, 기존 해결책들과는 다르게 전송 효율의 감소 없이 간섭 문제를 해결하는 새로운 DFTs-SSB-OFDM 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 LSB와 USB 심볼을 생성할 때, 실수로만 구성되는 부분을 파악하여 이 부분을 복소 결합하여 보냄으로써 문제를 해결한다. 이 복소 결합 기술은 간단한 한 번의 덧셈 연산을 필요로 하기 때문에 시스템의 복잡도에 미치는 영향은 매우 작다. 시뮬레이션 결과 제안하는 시스템은 단측과대 전송을 하는 조건에서 기존 DFTs-SSB-OFDM 시스템과 유사한 PAPR 특성을 갖으며, AWGN과 Rayleigh 페이딩 채널에서 모두 기존 OFDM 및 DFTs-OFDM 시스템과 유사한 성능을 내는 것을 확인할 수 있다. 더욱이 제안하는 시스템은 전송 효율의 감소와 BER 성능의 열화가 없이 LSB와 USB 심볼을 동시에 전송할 수 있다.

### References

[1] F. Schaich and T. Wild, "Waveform contenders for 5G - OFDM vs. FBMC vs. UFMFC," *2014 ISCCSP*, pp. 457-460, May 2014.

[2] P. Guan, et al., "5G field trials: OFDM-Based waveforms and mixed numerologies," in *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 35, no. 6, pp. 1234-1243, Jun. 2017.

[3] M. C. P. Paredes, F. Grijalva, J. Carvajal-Rodríguez, and F. Sarzosa, "Performance analysis of the effects caused by HPA models on an OFDM signal with high PAPR," *2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, pp. 1-5, Salinas, Ecuador, Oct. 2017.

[4] C. An and H.-G. Ryu, "PAPR evaluation and analysis of candidate waveforms using DFT spreading for 5G mobile communications," *J. KIEES*, vol. 26, no. 12, pp. 1091-1099, Dec. 2015.

[5] M. Umehira, et al., "Performance evaluation of SSB transmission of DFTs-OFDM using multi-level BPSK through nonlinear HPA," *2015 IEEE 81st VTC Spring*, pp. 1-5, Glasgow, UK, May 2015.

[6] T. Suzuki, H. Fusayasu, M. Umehira, S. Takeda, and X. Wang, "Pilot-based reference

amplitude compensation for ultra-multi-level PAM-SSB-DFTs-OFDM," *2017 NAFOSTED Conf. Inf. and Comput. Sci.*, pp. 162-167, Hanoi, Vietnam, Nov. 2017.

[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 for spectral efficiency improvement," *J. IEIE*, vol. 55, no. 11, pp. 3-8, Nov. 2018.

### 안 창 영 (Changyoung An)



2013년 2월 : 충북대학교 전자공학(공학사)  
 2015년 2월 : 충북대학교 전자공학(공학석사)  
 2015년 3월~현재 : 충북대학교 전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 차세대 이동통신시스템, 무선통신시스템, 디지털신호처리

### 유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



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