

개선된 DFT-s-SSB OFDM 설계 및 성능평가

김 병 재*, 유 흥 균^o

Design and Performance Evaluation of Improved DFT-s-SSB OFDM

Byeongjae Kim*, Heung-Gyoon Ryu^o

요 약

본 논문에서는 컨볼루션 코딩을 적용하고 DFT spreading SSB(Single Sideband)를 개선하여 기존 DFT-s-SSB OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)에서 남는 스펙트럼 자원을 활용하고 BER 성능을 개선시키는 개선된 DFT-s-SSB OFDM 시스템을 제안한다. OFDM 시스템에서 스펙트럼 효율을 높이기 위해 아날로그 통신의 SSB 기술이 적용된 DFT-s-SSB OFDM은 PAM변조를 사용하기 때문에 BER 성능의 열화가 심하다. 또한 사용되는 부반송파가 기존 OFDM 시스템에서 사용되는 부반송파의 개수의 절반보다 많이 사용되어야 한다. 때문에 한 OFDM 심볼에서 주파수 자원이 남게 된다. 개선된 시스템은 DFT 크기를 조절하고 기존 시스템에서 LSB 성분만을 사용하던 것과 달리 다른 신호의 USB 성분을 한 OFDM 심볼에 같이 전송하며 2/3 Rate의 컨볼루션 코딩을 적용한다. 이때 Data Rate가 2/3이 되더라도 모든 주파수 자원을 활용하고 두 정보신호를 USB, LSB 성분에 각각 보낼 수 있으며 SSB에 의한 스펙트럼 효율향상과 함께 BER 성능을 개선할 수 있다.

Key Words : SSB-OFDM, SSB, DFT-s-OFDM, DFT Spreading, OFDM

ABSTRACT

In this paper, we propose a DFT-s-SSB OFDM(Single Sideband Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system that applies convolutional coding and utilizes the remaining spectrum resources in the existing DFT-s-SSB OFDM and improves BER performance. DFT-s-SSB OFDM using PAM(Pulse Amplitude Modulation) has degradation of BER performance is serious. Also, the used subcarriers should be used more than half of the number of subcarriers used in the conventional OFDM system. Therefore, frequency resources are left in OFDM symbol. The proposed improved DFT-s-SSB OFDM adjust the DFT size. Unlike the conventional system where only the LSB(Lower Sideband) spectrum is used, another signal is transmitted using USB(Upper Sideband) spectrum on one symbol. In this case, the convolution coding of 2/3 rate is applied. Even if the data rate becomes 2/3, all the frequency resources can be utilized and the two information signals can be sent to the USB and LSB spectrum, and the BER performance can be improved together with the enhanced spectrum efficiency by SSB.

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

• First Author : Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University, bj5236@nate.com, 학생회원

^o Corresponding Author : Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University, ecomm@cnu.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2017-08-224, Received August 31, 2017; Revised October 27, 2017; Accepted October 27, 2017

I. 서론

스마트폰 및 태블릿 PC 등의 스마트기기의 보급이 활발해짐에 따라 인터넷 접속자의 수는 급격하게 증가하고 있는 추세이다. 초기 이동통신에서는 통화 혹은 메시지정도만 주로 이루어졌었다. 그러나 최근 이동통신은 사용자들의 요구로 인해 사진, 동영상, 실시간 방송에 이르기까지 다양한 종류의 높은 정보량을 가지는 데이터들을 전송하기 위해서 고속전송기술이 필요로 하게 되었고 다양한 기술들이 개발되었다. 그중 하나로써 DFT 변환을 이용하여 다중반송파를 사용하는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이 있다^[1]. 중첩 가능한 다수의 부반송파에 각각 다른 정보들을 맵핑하여 송신하는 시스템으로서 4세대 이동통신의 핵심기술이다. 이러한 OFDM 시스템을 필두로 다양한 시스템들이 현재 사용되고 있는 4세대 이동통신 혹은 차세대 이동통신인 5세대 이동통신을 위해서 연구 개발되고 있다^[2]. 하지만 이러한 시스템들은 대부분 다중반송파를 사용하거나 높은 데이터 전송률을 위해 많은 스펙트럼을 요구하고 있다. 그러나 군용, 라디오, TV, 위성, 이동통신 혹은 최근 많이 보급된 Wifi에 이르기까지 스펙트럼 자원은 포화에 가까워지고 있으나 차세대 이동통신에서는 더 많은 정보량을 가지는 데이터들을 고속으로 전송해야하기 때문에 더 많은 스펙트럼이 요구되고 있으며 그 때문에 최근 6Ghz 이상의 고주파대역에 관한 연구들이 진행되고 있으며 자연스럽게 스펙트럼 효율향상에 대한 연구 또한 많이 이루어지고 있다. 과거 아날로그 통신에서도 스펙트럼 효율향상을 위해서 연구되었던 SSB(Single-Sideband) 변조방법이 있다. SSB 변조방법은 힐버트 변환 혹은 필터링을 이용하여 변조를 통해 USB(Upper Sideband) 혹은 LSB(Lower Sideband)만을 보내기 때문에 절반의 스펙트럼만을 사용하여 전송하고 수신기에서 또한 절반의 스펙트럼만을 가지고도 복조가 가능하기 때문에 스펙트럼 효율을 높이는 변조방법이다.

이러한 SSB 변조방법은 실수 값 가지는 신호의 스펙트럼이 중심을 기준으로 대칭이기 때문에 복조가 가능한 변조 방법이다. 이러한 아이디어를 현재 사용되고 있는 OFDM 기술에 적용하고자 하는 방법들이 연구 되었다^[3,4]. 또한 DFT Spreading을 활용하여 적용하는 DFT-s-SSB OFDM 방법이 연구되었다^{[5]-[7]}. 데이터를 PAM 변조를 적용하고 DFT Spreading을 적용하게 되면 중심을 기준으로 실수값은 같고 위상값만 반대인 대칭인 형태로 값들이 나타난다. 이때 중

심을 포함하여 LSB 혹은 USB를 선택할 수 있고 이를 통해 Spectrum을 절반에 가깝게 사용하여 OFDM 전송이 가능하게 된다. 하지만 기존 DFT-s-SSB OFDM은 PAM 변조를 사용하기 때문에 BER 성능이 좋지 못하고 남은 주파수 자원을 활용하지 하기 때문에 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하여 남은 스펙트럼 자원 또한 활용하고 BER 성능을 높이는 개선된 DFT-s-SSB OFDM 시스템을 제안한다. Convolution Coding을 활용하고 DFT Size를 조절하여 남은 스펙트럼 자원에도 전송이 가능하도록 한다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안하는 시스템의 스펙트럼 및 BER 성능을 확인한다.

II. DFT-s-SSB OFDM 시스템

그림 1은 기존 DFT-s-SSB OFDM 시스템의 시스템 모델이다^[7]. 먼저 비트정보를 PAM 변조한 다음 $M \leq N$ 인 M-Point DFT Spreading을 적용한다. 기존의 SSB 변조와 마찬가지로 DFT-s-SSB OFDM역시 스펙트럼이 대칭임을 활용하여 변조하기 때문에 실수 값만을 가지는 PAM 변조를 사용하게 된다. 그림1에서 DFT Spreading을 통해 연산되어 나온 값은 PAM 변조된 신호를 $d(n)$ 이라 할 때 DFT Spreading에 의해 나온 값과 그에 따라 SSB Selection을 수행한 값을 다음과 같은 수식에 따라 결정되게 된다.

$$D(k) = \sqrt{1/M} \sum_{n=1}^M d(n) \exp(-j2\pi kn/M), \quad (1)$$

$$k = 0 \sim M-1$$

$$S(k) = \begin{cases} D(k), & k = 0 \sim M/2 \\ 0, & k = M/2 + 1 \sim M-1 \end{cases} \quad (2)$$

수식에서 보이는 바와 같이 $D(k)$ 는 PAM 변조된 데이터의 DFT spreading 값이고 이때 전체적인 $D(k)$ 값은 $M/2 + 1$ 를 기준으로 실수 값은 같고 허수 값은 부호가 반대인 대칭적 값을 가지게 된다. 때문에

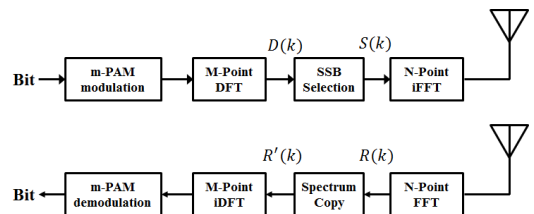


그림 1. DFT-s-SSB OFDM 시스템
Fig. 1. Block diagram of DFT-s-SSB OFDM system

선택되는 $S(k)$, 즉 N-Point iFFT의 입력 값에서 선택된 스펙트럼이자 정보를 포함하는 부분은 항상 DFT Spreading 값의 절반보다 1 Point 큰 값을 가지게 된다. 그림 2는 수식 (1)와 (2)의 과정을 그림으로 간략하게 나타낸 것이다.

N-Point iFFT 연산을 통해 생성된 OFDM 심볼을 전송하게 되고 기존 DFT-s-OFDM 시스템과 동일하게 FFT 연산 후 iDFT 연산을 수행하는 과정은 동일하지만 FFT 연산 후 원래의 스펙트럼을 얻기 위하여 스펙트럼을 복사하는 과정이 추가적으로 요구된다. 그 과정은 다음 수식 (3)과 같다.

$$R'(k) = \begin{cases} R(k) & ,k=0 \sim M/2 \\ R^*(M-k) & ,k=M/2+1 \sim M-1 \end{cases} \quad (3)$$

앞서 언급한 바와 같이 DFT Spreading 후 나온 값이 $M/2+1$ 을 기준으로 실수 값은 같고 허수 값이 반대이기 때문에 위와 같은 수식으로 원래의 스펙트럼을 복구하게 된다. 그 후 iDFT 연산을 통해 PAM 신호를 얻고 비트정보를 얻게 된다.

그림 3은 서로 다른 정보를 기존 DFT-s-SSB OFDM을 적용하여 보내는 경우에 생기는 간섭문제를 보이고 있다.

앞선 설명에서의 그림과 수식에서 기존 DFT-s-SSB OFDM의 경우 DFT 연산 후 선택되는 iFFT 입력이 절반보다 1 Point를 더 가져야 한다. 이는 M-Point DFT Spreading 출력 값이 항상 $M/2+1$ 에서 중심 값을 가지며 대칭인 형태로 나타나기 때문에 복조를 위해서는 $M/2+1$ Point의 입력이 필요하기 때

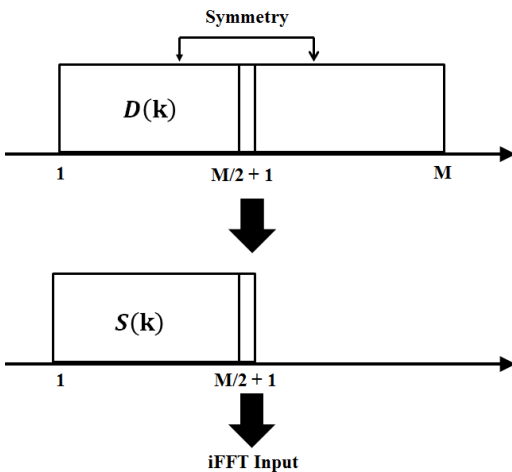


그림 2. DFT-s-SSB OFDM의 SSB 선택
Fig. 2. SSB Selection of DFT-s-SSB OFDM

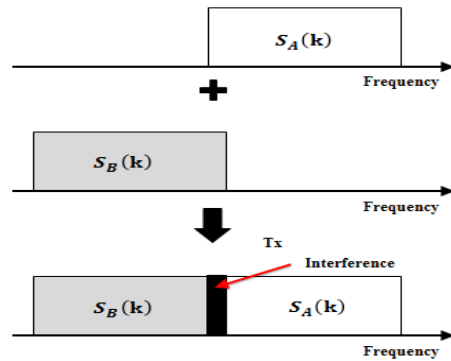


그림 3. DFT-s-SSB OFDM의 간섭문제
Fig. 3. Interference problem in DFT-s-SSB OFDM system

문이다. 만약 서로 다른 정보를 기존 DFT-s-SSB OFDM을 활용하여 보내고자 하는 경우 기존 시스템에서는 한쪽측파대만 선택 가능할 뿐만 아니라 이로 인해 간섭 문제를 일으키게 된다. 때문에 오로지 한쪽 측파대 성분만을 선택하여 보내게 된다. 또한 기본적으로 DFT-s-SSB OFDM은 PAM 변조를 사용하기 때문에 BER 성능이 좋지 못한 문제가 있다.

III. 개선된 DFT-s-SSB OFDM 시스템

그림 4에서는 기존의 DFT-s-SSB OFDM에서 남은 스펙트럼 자원을 활용하고 PAM 변조로 인해 생기는 BER 성능 열화문제를 개선하기 위해 제안하는 DFT-s-SSB OFDM 시스템의 송신기 모델이다. 제안하는 시스템에서는 기존 DFT-s-SSB OFDM 시스템이 한쪽 측파대역 즉 LSB만을 사용할 수 있던 문제점을 보완하고자 DFT Size를 조절하고 USB와 LSB를 선택할 수 있도록 함으로써 주파수 자원을 모두 활용하도록 하고 부가적으로 Convolution Coding을 활용하여 PAM 변조를 사용함에 따라 생기는 BER 성능 열화문제를 개선한다.

먼저 제안하는 시스템에 사용된 2/3 Rate Convolution Coder의 형태는 그림 5와 같다^[8]. 1/2 이

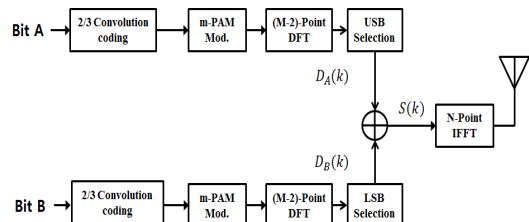


그림 4. 제안하는 개선된 DFT-s-SSB OFDM 송신기
Fig. 4. Improved DFT-s-SSB OFDM transmitter

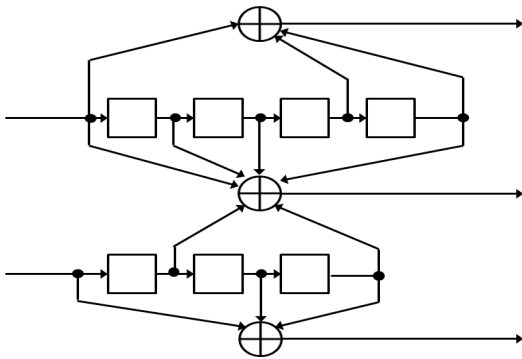


그림 5. 2/3 컨볼루션 코드
Fig. 5. 2/3 Convolution Coder

하의 Code Rate를 가지는 Convolution Coder를 사용하게 될 경우 스펙트럼을 절반만 사용하더라도 전송되는 데이터가 절반 이하로 줄어들기 때문에 SSB 변조에 의한 스펙트럼 효율향상이 무의미하게 된다.

그로인해 전체적인 스펙트럼 효율 향상 및 BER 성능 개선을 위해서 2/3 Code Rate를 가지는 Convolution Coder를 사용한다. 그림 5에서의 Convolution Coder는 병렬적으로 구축장 길이 $K = 5, 4$ 를 가지고 Polynomial Octal은 023 035 000; 000 005 013이다. 또한 총 Shift register가 7개이기 때문에 128 State가 나타난다. 이때 적용되는 Convolution Coding은 기존 시스템에 적용하는 경우에도 동일한 BER 성능 향상을 보인다. 이는 기존과 제안하는 시스템이 모두 DFT-s-OFDM을 기반으로 하기 때문이다.

기본적으로 제안하는 개선된 DFT-s-SSB OFDM은 기존 시스템과 유사한 형태를 가지지만 DFT Spreading Size를 항상 $M-2$ 로 고정한다. 앞서 2절에서 언급한바와 같이 iFFT 입력이 항상 $M/2+1$ 의 크기로 고정되기 때문에 $M-2$ Point DFT Spreading을 적용하는 경우 iFFT 입력을 항상 $M/2$ 로 제한할 수 있다. DFT에서 2개의 부반송파만큼의 손실이 있지만 항상 iFFT 입력이 iFFT Size의 절반이하로 제한되므로 나머지 절반을 DFT-s-SSB OFDM로 활용 할 수 있게 된다. 이때 SSB Selection에서 기존시스템이 항상 한쪽측파대역만 선택하던 것과 달리 제안하는 시스템의 경우 USB LSB 모두 선택이 가능한 형태로 배치한다.

그림 6은 제안하는 시스템에서 SSB Selection 및 iFFT 입력인 g 어떻게 구성되는지를 나타내고 있다. 각각서로 다른 비트정보를 PAM 변조한 다음 $M-2$ Point의 DFT Spreading 적용 후 각각 중심주파수를 포함하는 $M/2$ 까지의 스펙트럼을 선택하게 된다. 이때

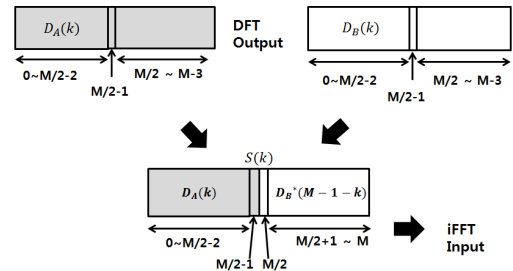


그림 6. 개선된 DFT-s-SSB OFDM의 SSB 선택
Fig. 6. SSB Selection of improved DFT-s-SSB OFDM

LSB의 경우 기존 DFT-s-SSB OFDM과 동일한 방법으로 선택하여 적용하고 USB의 경우 스펙트럼이 대칭인 것을 이용하여 기존 LSB값의 허수 값의 부호가 반대가 되도록 쉘레 값을 배치한다. 스펙트럼 배치를 수식으로 다시 설명하자면 수식 (4)와 같다.

$$S(k) = \begin{cases} D_A(k) & , k = 0 \sim M/2 - 1 \\ D_B^*(M-1-k) & , k = M/2 \sim M-1 \end{cases} \quad (4)$$

제안 하는 시스템의 USB 선택법은 위 (4)식과 같은 방법으로 선택이 가능하다. 기존 시스템의 경우에는 LSB 만이 선택가능하다. 다시 말해 기존 DFT-s-SSB-OFDM 시스템의 경우 기존 OFDM과 동일한 심볼크기를 가지면서 남은 USB 부분을 활용할 수 없기 때문에 시간영역에서 손해라 볼 수 있다. 따라서 제안하는 시스템은 스펙트럼이 중심으로부터 공백 대칭이되는 성질을 활용하여 남은 USB를 통해 다른 데이터를 전송하도록 한다. 남은 스펙트럼 자원을 모두 사용하거나 또는 USB 성분만을 선택하여 전송하여 스펙트럼 활용을 다양하게 할 수 있다.

그림 7은 제안하는 개선된 DFT-s-SSB OFDM 수신기이다. FFT 변환을 통해 OFDM 심볼을 복조한 다음 2 개의 SSB 스펙트럼이 결합된 성분에서 각각 USB, LSB에 해당하는 부분들을 찾고 이를 통해 각각의 스펙트럼을 복구한다. 그림 8은 그림 7 수신기에서

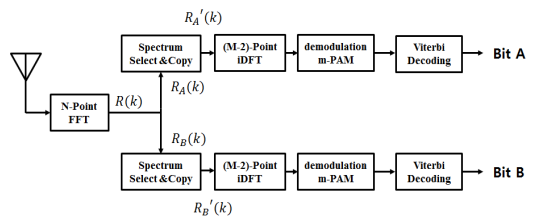


그림 7. 제안하는 개선된 DFT-s-SSB OFDM 수신기
Fig. 7. Improved DFT-s-SSB OFDM Receiver

각각 스펙트럼을 복구하는 과정을 보이고 있다. 먼저 FFT 연산 출력 값에서 각각 절반에 해당하는 부분을 즉, USB, LSB에 해당하는 부분을 찾고 각각 허수 값의 부호가 반대인 켈레 값에 해당하는 값을 복사하여 나머지 스펙트럼 부분을 복조한다. 이는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$R(k) = \begin{cases} R_A(k) & ,k = 0 \sim M/2 - 1 \\ R_B(k - M/2) & ,k = M/2 \sim M - 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$R_A'(k) = \begin{cases} R_A(k) & ,k = 0 \sim M/2 - 1 \\ R_A^*(M - 2 - k) & ,k = M/2 \sim M - 3 \end{cases} \quad (6)$$

$$R_B'(k) = \begin{cases} R_B^*(M - k - 1) & ,k = 0 \sim M/2 - 2 \\ R_B(k - M/2 + 1) & ,k = M/2 - 1 \sim M - 3 \end{cases} \quad (7)$$

위 수식처럼 대칭성을 이용하여 각각의 스펙트럼을 복구한다. 이때 중심이 되는 성분과 끝 성분을 제외한 나머지 성분들을 복사하여 켈레 값을 적용하게 된다.

위와 같은 스펙트럼 복구 처리를 한 다음 각각 iDFT 연산을 통해 PAM 신호를 찾고 복조한다. 그리고 Convolution Coding된 신호를 비터비 복호를 이용하여 비트 정보를 찾아낸다. 하지만 Convolution Coding에 의해 Data Rate가 2/3로 줄어드는 손실이 있다. 그러나 전체적으로 볼 때 이와 같은 방법을 통해서 한 OFDM 심볼내의 모든 스펙트럼을 활용할 수 있으며 USB와 LSB에 해당하는 스펙트럼에 각각 서로 다른 데이터를 전송하여 효율을 높일 수 있다. 또한 기존 시스템이 LSB 성분만이 선택되는 것과 달리 USB 성분을 선택가능 하므로 USB 만을 선택하여 보내는 경우 스펙트럼 자원을 선택적으로 사용이 가능하여 활용도를 높일 수 있다.

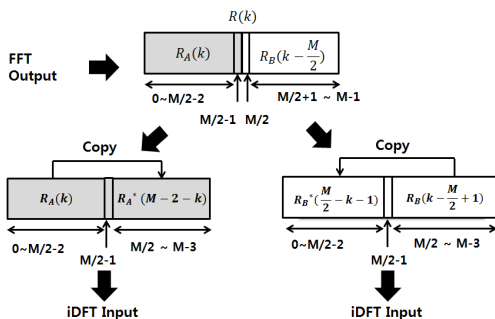


그림 8. 개선된 DFT-s-SSB OFDM의 SSB 복구
Fig. 8. SSB Recovery of improved DFT-s-SSB OFDM

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 제안하는 개선된 DFT-s-SSB OFDM 시스템의 성능을 분석하기 위해 시뮬레이션을 진행하였고 시뮬레이션은 MATLAB 프로그램을 통해 진행되었다. 시뮬레이션은 표 1에 나타나있는 환경과 같이 진행되었다. 본 논문에서 제안하는 개선된 DFT-s-SSB OFDM 시스템뿐만 아니라 비교를 위해 기존 DFT-s-SSB OFDM의 시뮬레이션도 함께 진행되었으며 각각 스펙트럼과 BER 성능을 확인하였다. 두 시스템 모두 DFT-s-OFDM을 기반으로 하고 제안하는 시스템은 SSB 선택법이 개선된 차이점을 가지기 때문에 유사한 성능결과를 예측할 수 있다. 때문에 시뮬레이션은 AWGN 채널에서만 진행되었으며 동일한 조건에서의 비교를 위해 FFT Size를 64로 고정하고 사용된 부반송파의 개수도 52개로 고정하였다.

먼저 기존 DFT-s-SSB-OFDM의 시뮬레이션을 진행하여 팩트럼과 AWGN 채널에서 BER 성능을 확인

표 1. 시뮬레이션 환경
Table 1. Simulation parameters

Modulation	DFT-s-SSB-OFDM 2/3 Conv. DFT-s-SSB OFDM
Channel	AWGN
Data modulation	PAM
DFT spreading	52, 50
FFT Size	64
Number of Sub-carriers	52
Coding	2/3 Convolution coding
Decoding	Viterbi Decoding - Hard decision

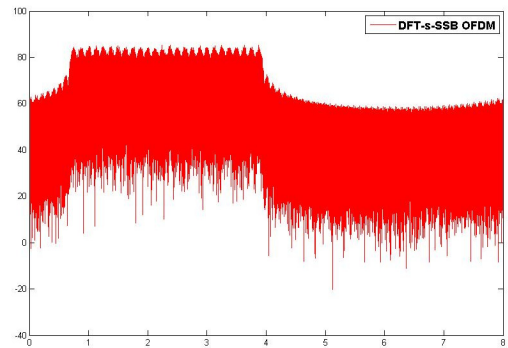


그림 9. DFT-s-SSB OFDM의 스펙트럼
Fig. 9. Spectrum of DFT-s-SSB OFDM

하여 보았다. DFT spreading 크기는 사용하는 부반송파 수와 같은 52로 설정하여 진행하였고 2절에서의 시스템 모델을 설명처럼 기존 시스템의 경우 LSB 성분만을 사용하기 때문에 그림 9와 같이 한쪽성분만을 얻을 수 있었다. 또한 사용되는 부반송파의 개수는 DFT Spreading 크기보다 1이 큰 27개의 부반송파를 사용하여 전송하였다.

그림 10의 BER 성능에서 확인할 수 있듯이 BER 성능열화가 심각한 것을 확인 할 수 있다. 또한 개선된 형태의 DFT-s-SSB OFDM 시스템을 사용하더라도 Convolution coding 없이는 위와 같이 기존 DFT-s-SSB-OFDM과 동일한 성능을 보인다.

그림 11과 그림 12는 제안하는 개선된 DFT-s-SSB OFDM의 시뮬레이션 결과들이다. 먼저 그림 11의 스펙트럼을 살펴보게 되면 기존 시스템과는 달리 DFT size를 약간 줄임으로써 LSB, USB 각각 26개의 부반송파를 사용하게 되어 52개의 부반송파를 사용하게 된다. 2/3 Rate의 Convolution Coding을 활용하여

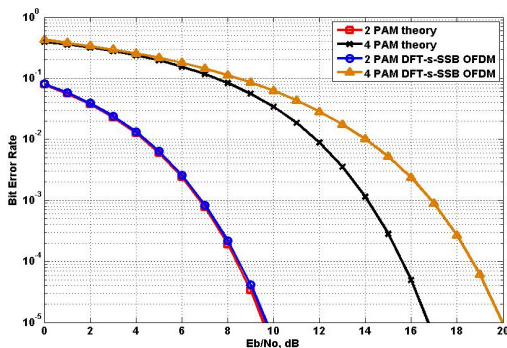


그림 10. DFT-s-SSB OFDM의 BER 성능
Fig. 10. BER Performance of DFT-s-SSB OFDM

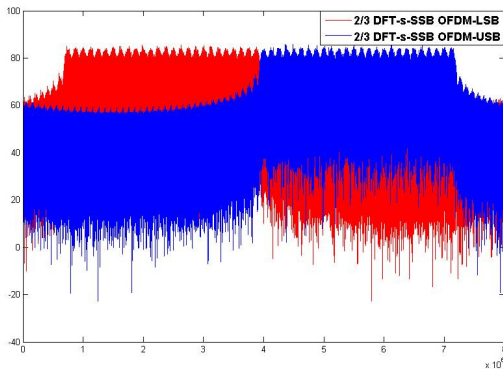


그림 11. 개선된 DFT-s-SSB OFDM의 스펙트럼
Fig. 11. Spectrum of Improved DFT-s-SSB OFDM

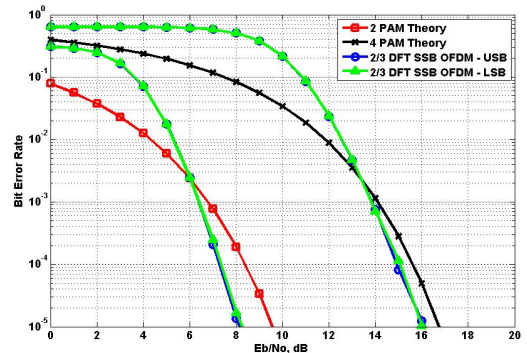


그림 12. 개선된 DFT-s-SSB OFDM의 BER 성능
Fig. 12. BER Performance of Improved DFT-s-SSB OFDM

BER 성능열화가 개선되었다. 하지만 앞서 3절에서 언급한 바와 같이 기존 및 제안하는 시스템은 모두 DFT-s-OFDM을 기반으로 하기 때문에 기존 DFT-s-SSB-OFDM 또한 Convolution Coding을 적용하는 경우 성능 개선이 나타나며 이는 개선된 DFT-s-SSB-OFDM과 동일한 결과를 보인다.

이때 시뮬레이션에 적용된 2PAM 4PAM을 사용하는 경우, 각 부반송파당 전송되는 비트수는 기존 OFDM의 경우 2PAM은 1bit, 4PAM은 2bit이다. 하지만 DFT-s-SSB OFDM에서는 2PAM 사용시 각 부반송파당 2bit를 전송하고 4PAM의 경우 4bit를 전송하게 된다. 개선된 DFT-s-SSB OFDM시스템은 DFT-s-SSB OFDM시스템을 기반으로 하기 때문에 동일한 효율을 보여 각부반송파당 2PAM 사용 시 2bit, 4PAM 사용 시 4bit를 전송하게 된다.

V. 결론

본 논문에서는 스펙트럼 효율향상을 위해서 아날로그 시스템에서 적용되던 SSB 변조방법을 OFDM 시스템에 적용한 DFT-s-SSB OFDM 시스템이 가지는 문제점을 개선하는 개선된 DFT-s-SSB OFDM 시스템을 제안한다. 기존의 시스템의 경우 LSB 성분만을 사용하며 사용되는 부반송파역시 기존 OFDM 대비 절반보다 1개의 부반송파를 더 사용해야하며 한 OFDM 심볼에서 남은 스펙트럼 자원을 활용 하지 못하고 있다. 때문에 본 논문에서는 DFT spreading 크기를 조절하고 스펙트럼 배치를 통해 기존 LSB만 사용되던 것과 달리 다른 데이터의 USB 성분을 한 OFDM 심볼에 같이 보낼 수 있도록 하고 또한 BER 성능열화를 개선하고 SSB로 인한 스펙트럼 효율향상

효과를 보기위해 2/3 Convolution Coding을 적용하였다. 하지만 Convolution Coding의 경우 가변적이며 성능 개선효과는 기존 시스템에서도 나타날 수 있다. 하지만 개선된 시스템에서는 BER 성능 개선을 위해 적용되었으며 이때 부반송파 2개의 손실과 전체 Data Rate는 2/3으로 줄어들었으나 BER 성능열화를 개선하고 LSB와 USB스펙트럼 자원을 모두 활용할 수 있으며 LSB에 해당하는 데이터와 USB에 해당하는 데이터 모두 각각 절반의 스펙트럼폭만을 사용하였기 때문에 스펙트럼 효율향상효과 또한 얻을 수 있다. 다시 말해 기존 OFDM 시스템과 동일한 크기의 스펙트럼을 사용하더라도 USB와 LSB에 각각 다른 데이터가 전송된다. 따라서 전체적인 스펙트럼이 같더라도 많은 데이터를 전송 가능하며 기존 시스템에서 LSB만 선택되는 것과 달리 USB만을 선택하여 전송 또한 가능하다. 이는 USB와 LSB를 필요에 따라 선택하여 스펙트럼 활용도를 높인다.

References

[1] Y. Wu and W. Y. Zou, "Orthogonal frequency division multiplexing: a multi-carrier modulation schem," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 41, no. 3, pp. 392-399, Aug. 1995.

[2] T. Hwang, C. Yang, G. Wu, S. Li, and G. Y. Li, "OFDM and its wireless applications: a survey," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 4, pp. 1673-1694, May 2009.

[3] Y. Jiang, Z. Zhou, M. Nanri, G.-I. 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, Sept. 2011.

[4] G.-I. 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. Tang, W. Shieh, and B. S. Krongold, "DFT-spread OFDM for fiber nonlinearity mitigation," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 22, no. 16, pp. 1250-1252, 2010.

[6] F. Hasegawa, S. Shinjo, A. Okazaki, and A. Okamura, "Static sequence assisted out-of-band power suppression for DFT-s-OFDM," *IEEE PIMRC*, pp. 61-66, 2015.

[7] K. Abo, T. H. Vo, A. Boonkajay, and F. Adachi, "Spectrum efficient single-sideband single-carrier with frequency-domain equalization," *IEEE VTC Spring*, pp. 1-5, 2015.

[8] N. Arshad and A. Basit, "Implementation and analysis of convolutional codes using MATLAB," *Int. J. Multidisciplinary Sci. and Eng.*, vol. 3, no. 8, pp. 9-12, 2012.

김 병 재 (Byeongjae Kim)



2016년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학사)
 2016년 3월~현재 : 충북대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> 무선통신시스템, 신호처리

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년 2월~현재 : 충북대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월~2004년 2월 : 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
 <관심분야> 무선통신, 5G/B5G 이동통신, 위성통신, 통신회로 설계 및 통신 신호처리