Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.54, NO.8, August 2017 https://doi.org/10.5573/ieie.2017.54.8.20
ISSN 2287-5026(Print) / ISSN 2288-159X(Online)

논문 2017-54-8-3

DCT와 DHT를 사용하는 OFDM 기반의 SSB 시스템

(OFDM-Based SSB System using DCT and DHT)

안 창 영*, 김 병 재*, 유 흥 균**

(Changyoung An, Byeongjae Kim, and Heung-Gyoon Ryu©)

요 약

본 논문에서는 PAM 변조를 사용하는 OFDM 기반 시스템에서 FFT를 사용하는 대신, DCT와 DHT를 사용하여 SSB 변조와 같은 파형을 발생하는 시스템 모델을 제안한다. SSB 변조와 마찬가지로 제안하는 시스템 모델은 전체 스펙트럼을 DSB라 할 때 SSB변조 즉 LSB혹은 USB만을 만들어 내고 이뿐만이 아니라 USB와 LSB 각각에 다른 PAM신호를 송신하도록 한다. 또한, 제안한 시스템모델에서 USB와 LSB를 통해 동시에 송신할 경우 발생하는 중심주파수 간섭문제를 해결하는 방안을 제시하고 시뮬레이션을 통해 확인한다. 시뮬레이션 결과 제안한 시스템은 USB와 LSB스펙트럼을 생성하며 기존 OFDM의 절반의 스펙트럼만을 사용하여 PAM 정보신호를 전송 할 수 있고 USB와 LSB 각각에 서로 다른 정보신호를 전송할 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose an OFDM-Based SSB System using DCT and DHT transform. The proposed system presents the same waveform as the SSB modulation. The proposed system generates SSB spectrum which are USB and LSB spectrum, also the proposed system can transmit PAM signal through USB and the other PAM signal through LSB. Additionally, we propose how to resolve the center frequency interference problem between USB and LSB. We confirm the simulation result by MATLAB program. The simulation result show the proposed system can transmit PAM signal through only half of spectrum of conventional OFDM system.

Keywords : SSB, OFDM-SSB, DCT, DHT, PAM

Ⅰ. 서 론

최근 모바일기기 사용자의 수가 급격하게 증가하고 있는 추세이다. 이러한 모바일기기의 사용량이 증가함에 따라 흔히 사용하는 스마트폰뿐만 아니라 태블릿PC 등 다양한 형태와 종류의 모바일 기기들의 사용자들의 편의와 요구를 충족시키기 위해 새로이 출시되고 있다. 더욱이 이러한 모바일 기기의 거의 대부분 무선통신 기술을 이용하여 데이터를 송수신 하고 있고 때문에 스펙트럼 자원 또한 포화 상태에 이르고 있다. 그로 인하여 스펙트럼 자원을 효율적으로 사용하는 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 스펙트럼 효율을 높이려는 기술 중 하나로 오래전 아날로그 통신을 사용하던 때부터 연구되어 왔던 SSB(Single Side Band) 변조 방법이 있다[1].

SSB변조 방법은 아날로그 통신에서 정보신호에 코사인 캐리어를 곱하여 송신 하는 방법에서의 송신 신호 스펙트럼을 DSB(Double Side Band)라고 할 때 중심주파수를 기준으로 한쪽 측파대를 USB(Upper Side Band) 다른 한쪽 측파대를 LSB(Lower Side Band)로 구분할 수 있다. 이때 기존의 DSB를 모두 전송하는 방법과는 달리 USB 혹은 LSB 두 측파대 중 한 측파대만

* 학생회원, ** 정회원, 충북대학교 전자공학과
(Department of electronics engineering, Chungbuk National University)
※ 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2016R1D1A1B01008046).
© Corresponding Author (E-mail : ecomm@cbu.ac.kr)
Received ; February 24, 2017 Revised ; July 21, 2017
Accepted ; August 2, 2017

Copyright ⓒ The Institute of Electronics and Information Engineers.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

을 전송 하는 변조방법이다. 이때 USB와 LSB 두 측파대로 나누는 방법은 필터를 이용하여 원하는 측파대 성분을 얻는 방법과 힐버트 변환을 이용하여 위상변환을 통해 다른 측파대 성분을 얻는 방법이 있다. 수신기에서는 수신 신호의 스펙트럼이 USB혹은 LSB만 있다고 하더라도 기존처럼 DSB신호를 수신하여 복조하는 방법과 동일한 방법으로 신호를 복조하여 절반의 스펙트럼만으로도 정보신호를 얻어 낼 수 있기 때문에 기존의 DSB를 모두 송신하여 정보신호를 얻는 변조방법 보다 스펙트럼 자원을 효율적으로 사용 할 수 있다. 그러나 최근에 사용되는 4세대 이동통신에서의 변조방법으로는 SSB와 같은 아날로그 변조방식과 달리 푸리에 변환을 기본으로 하는 DFT(Discrete Fourier Transform) 혹은 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용하는 디지털 변조 방식인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템을 취하고 있다[2].

OFDM 시스템이란 주파수직교분할방식 즉 하나의 데이터 열을 병렬로 나누고 이를 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 사용하여 다수 부반송파를 사용하여 동시에 송신하는 방법으로서 수신기에서 또한 FFT를 사용하여 원래의 데이터를 찾을 수 있고 주파수 영역에서 간단한 1-tap Equalizer를 사용할 수 있다. 이때의 각부반송파는 시간영역에서는 서로 직교하며 주파수 영역에서는 각 인접한 부반송파들이 서로 겹쳐진 형태이다. 이러한 특성들로 인해 고속 전송이 가능하고 현재의 4세대이동통신에서 뿐만 아니라 4세대 이후의 전송방법으로서 연구되고 있다.

하지만 이러한 OFDM시스템은 다수의 부반송파를 이용하는 Multi-carrier 시스템이기 때문에. 고속전송을 위해서는 넓은 대역폭이 필요로 한다. 그 때문에 OFDM 시스템의 스펙트럼 효율적으로 사용하고자 하는 방법에 대한 관심이 늘어나고 있다. 그러한 연구들 중에서 아날로그 변조방법인 SSB변조 방법을 디지털 변조 방법인 OFDM에 적용하고자 하는 연구들이 이루어지고 있다[3~6].

OFDM 시스템의 스펙트럼 효율을 향상시키려는 목적으로 본 논문에서는 OFDM 시스템의 FFT를 대신하여 DCT(Discrete Cosine Transform)와 DHT(Discrete Hilbert Transform)을 사용하여 OFDM 시스템에 SSB 변조방법을 적용하여 USB와 LSB에 다른 데이터를 전송하는 시스템을 제안하고 제안하는 시스템의 스펙트럼을 확인하고 동작확인을 위해 AWGN(Additive White Gaussian Noise)에서 BER(Bit Error Rate) 성능을 확인한다.

Ⅱ. 시스템 모델

일반적으로 OFDM 시스템은 PSK(Phase Shift Keying)나 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)와 같은 변조 방법으로 변조된 입력데이터 열을 병렬로 분할하고 iFFT를 사용하여 다중반송파에 맵핑한다. 그리고 데이터열의 뒷부분을 앞으로 복사해 붙여 넣는 CP(Cyclic Prefix)를 추가하여 다중경로에 의한 인접 심볼간 간섭의 영향을 최소화 한다.

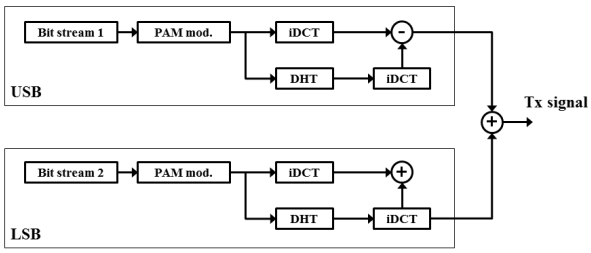


그림 1. 제안하는 시스템의 송신기 구성도
Fig. 1. Transmitter block diagram of proposed system.

본 논문에서 제안하는 시스템의 송신기 모델은 그림 1과 같다. 기존의 OFDM 시스템에서는 진폭과 위상을 변화시키는 QAM 변조가 사용되지만 실수 값과 복소수 값이 모두 존재하는 변조 방법이다. 그러나 본 논문에서 적용하고자 하는 아날로그 변조 방법인 SSB 변조방법의 경우 입력이 실수인 경우만 사용 할 수 있기 때문에 실수와 복소수 값이 모두 존재하는 QAM변조 대신 실수인 진폭 값만을 변화시키는 PAM(Pulse Amplitude Modulation)변조를 사용한다. 또한 OFDM 시스템에서 사용되었던 iFFT를 대신하여 iDCT를 사용한다[7~8]. iDCT를 대신사용 하는 이유는 PAM변조를 사용하는 이유와 유사하게 출력 값에 복소수가 존재하는 iFFT를 사용하는 대신 출력 값에 실수만이 존재하도록 iDCT를 사용하는 것이다. 특히, iDCT를 사용한 다중반송파 시스템의 경우, 실제 통신환경에서 발생할 수 있는 CFO(Carrier Frequency Offset)등에 의한 ICI(Inter-Carrier Interference)에 대한 영향에 강인함이 알려져 있다[9]. 따라서 본 논문에서는 ICI에 강인한 다중반송파

시스템에 SSB변조 기술을 적용하는 연구를 수행한다. 기존의 SSB 변조 방법 중 힐버트 변환을 이용 하는 경우 보내고자 하는 정보신호를 2 branch로 나누어 한쪽은 코사인을 곱하고 다른 한쪽은 힐버트 변환을 사용하여 위상을 -90° 변화 시킨 후 코사인과 위상차가 90°인 사인을 곱한 후 코사인을 곱한 쪽에 빼거나 더함으로써 주파수영역에서 볼 때 한쪽 측파대만을 제거하여 USB 혹은 LSB만을 얻어 낼 수 있다. 이러한 SSB변조를 본 논문에서는 유사한 형태로서 데이터를 PAM변조를 사용하고 이후 2 branch로 나누어 한쪽은 기존의 아날로그 SSB변조 방법에서 정보신호에 코사인을 곱하는 것과 같이 iDCT를 사용하고 다른 한쪽은 DHT를 사용하고 그 후 iDCT를 사용한 후에 빼준다. 이는 주파수영역에서 기존의 OFDM 시스템의 각 부반송파들을 DSB라고 볼 때 각 부반송파들의 USB 성분만을 얻어내는 역할을 한다. 이와 같은 형태로서 더해주는 경우에는 각 부반송파들의 LSB 성분만을 얻어 낼 수 있다. 이때 그림 1과 같이 하나의 정보신호를 각 부반송파들의 USB를 통해서 보내고 다른 정보신호를 각 부반송파들의 LSB를 통해서 보냄으로써 기존의 OFDM 시스템과 비교할 때 하나의 정보신호만을 보내는 것이 아니라 하나의 정보신호를 절반의 대역폭을 통해 보내고 다른 정보신호를 나머지 다른 대역폭을 사용하여 보낼 수 있다.

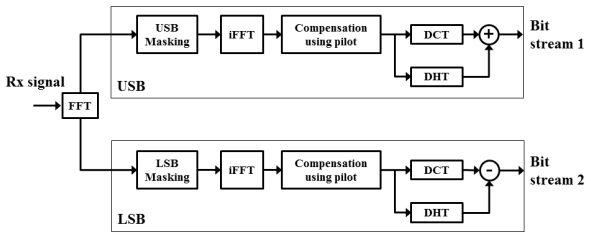


그림 2. 제안하는 시스템의 수신기 구성도
Fig. 2. Receiver block diagram of proposed system.

위와 같이 설명한 과정을 통해 송신신호를 생성하여 두 정보신호를 각 부반송파들의 USB와 LSB만을 사용하여 두 생성된 신호를 동시에 보낼 수 있다. 또한 기존 OFDM 시스템의 FFT Size와 DCT Size가 동일하며 Symbol 수 또한 동일하지만 기존 OFDM 시스템과 같이 고차 변조를 적용하여 절반의 스펙트럼을 통해 송신할 수 있는데 의미를 가진다[10]. 이렇게 송신한 신호는 수신기에서 기존의 OFDM시스템과 같이 하나의 신호처럼 보인다. 하지만 이 신호에는 USB와 LSB에 각각 다른 정보신호가 있기 때문에 이를 구분하여 수신해야 한다. 이를 위한 본 논문에서 제안하는 수신기는 그림 2와 같다. 기존의 아날로그 SSB 변조 방법에서는 DSB 변조 방식과 동일한 수신기를 사용한다. 하지만 기존 아날로그 SSB변조 방법은 하나의 정보신호를 절반의 대역폭만을 사용하여 보내지만 앞에서 언급한 바와 같이 본 논문에서 제안하나는 시스템은 하나의 정보신호를 절반의 대역폭만을 사용하여 보내되 다른 절반의 대역폭에는 다른 정보신호를 보내기 때문에 이를 구분하는 과정이 필요하다. 따라서 먼저 수신된 신호를 FFT를 사용하여 주파수 영역으로 변환한다. 이때 각 부반송파들의 USB와 LSB를 구분하기 위하여 Masking을 이용한다. Masking을 통하여 각 부반송파들의 USB성분과 LSB성분을 얻어내고 각각에 다시 iFFT를 사용하여 각 부반송파들의 USB와 LSB로 각각 수신 한 것과 같은 역할을 하도록 한다. 이때 각 부반송파들의 USB와 LSB를 동시에 송신하는 과정 중에서 중심주파수가 중첩되는 현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 송신기에서 Pilot을 추가하고 수신기에서는 이 Pilot을 이용하여 보상해주는 과정을 통해 해결한다. 이러한 과정을 통해 찾아낸 각 부반송파들의 USB신호와 LSB신호를 각각 송신기에서 신호를 생성했던 과정의 역 과정을 통해 본래의 정보 신호를 얻어낸다. USB의 경우 수신신호를 2 Branch로 나누어 한쪽은 DCT를 사용하고 다른 쪽에서는 DHT를 사용하고 송신기에서 USB를 생성하던 과정과 달리 더해주어 기존의 정보신호를 얻어낸다. LSB역시 위와 같이 DCT와 DHT를 사용하고 송신기에서 LSB를 생성할 때 했던 것과 반대로 DCT를 사용한 쪽에 DHT를 사용한 후 빼서 LSB의 정보신호를 얻어 낸다. 이러한 과정들을 통해서 한 정보신호를 USB를 통해 보내고 다른 정보신호를 LSB를 통해 보내고 수신기에서 이를 각각 복조할 수 있다.

Ⅲ. 중심주파수 간섭 제거

본 논문에서 제안하는 SSB 시스템 에서는 각 부반송파들의 스펙트럼을 LSB와 USB로 나눌 수 있을 뿐만 아니라 각 부반송파들의 LSB와 USB 각각에 서로 다른 정보신호를 실어 보낼 수 있는 시스템이다. 하지만 송신기에서 각각 다른 USB와 LSB를 생성한 후 송신할 때에는 두 신호를 동시에 보내게 되는데 이때 그림 3과

같은 문제가 발생한다. 기존의 아날로그 SSB변조에서는 중심 주파수를 기준으로 스펙트럼을 절반을 나누어 USB와 LSB를 구분하게 되지만 제안 하는 시스템에서는 OFDM시스템을 기반으로 하는 디지털변조를 위해서 FFT대신 DCT를 사용한다. 이때 iDCT를 사용하는 과정 중에서 문제가 발생한다. 아날로그 SSB변조와 같이 중심주파수를 기준으로 절반이 되는 것이 아니라 중심 주파수를 포함하는 USB와 LSB가 생성이 된다. 이러한 이유로 인해서 송신기에서 두 측파대를 합쳐서 함께 보내게 되면 그림 3과 같이 수신기에서 Masking을 통하여 각 부반송파들의 USB와 LSB를 구분하더라도 중심주파수 성분이 서로 영향을 주는 문제가 발생하게 된다. 이와 같은 이유로, 현재 연구되어 있는 DCT 및 DHT 시스템을 사용한 시스템[10]에서는 고차 변조를 사용할 경우 중심주파수 제거 알고리즘이 없으면 송수신에 문제가 발생한다.

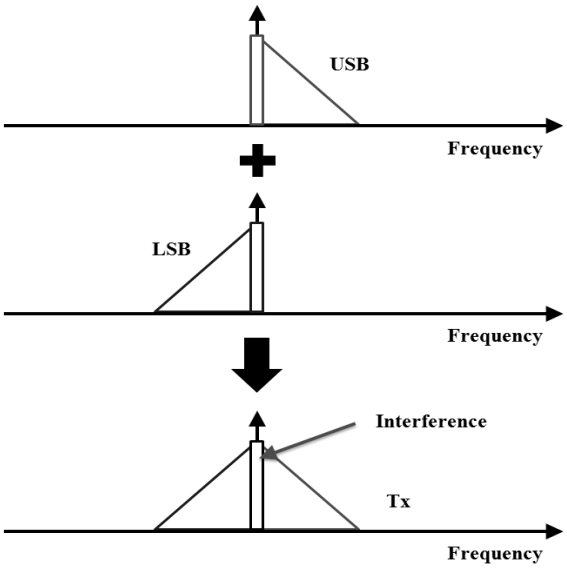


그림 3. 스펙트럼 간섭 문제
Fig. 3. Spectrum interference problem.

그림 3에서 확인 할 수 있듯이 중심주파수를 기준으로 오른쪽이 USB, 왼쪽이 LSB일 때 USB와 LSB의 중심주파수가 중첩되어 간섭을 일으키는 현상이 나타난다. 이는 앞서 언급한바와 같이 서로 다른 PAM 정보신호를 제안한 시스템을 이용하여 각각 USB와 LSB를 통해 전송하려는 과정에서 발생하는 문제이다. 이러한 중심주파수 간섭이 일어나는 문제점을 해결하기 위하여 송신기에서 iDCT를 사용하는 과정에 Pilot을 추가하고 이를 수신기에서 Pilot을 이용하여 보상하는 방법을 통해 해결한다.

그림 4는 Pilot과 데이터 심볼이 시간-주파수 측면으로 볼 때 어떻게 구성되는지 나타낸다. 송신기에서는 그림 4에서 확인 할 수 있듯이 iDCT과정 중에 Pilot을 추가하여 송신한다. 수신기에서는 앞서 추가 되어있는 Pilot을 통해 중심주파수가 중첩되어 나타나는 간섭문제를 해결 할 수 있다. 또한 간섭을 위한 Pilot의 수는 고정적이며 이와 달리 데이터 심볼의 수는 가변적으로 조절이 가능하다.

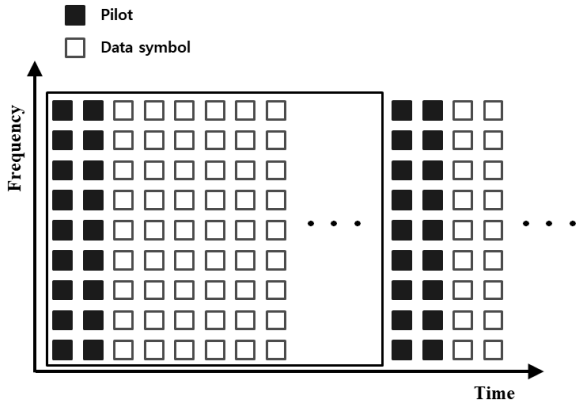


그림 4. 송신 신호의 구성
Fig. 4. Transmit signal structure.

Ⅳ. 시뮬레이션 및 분석

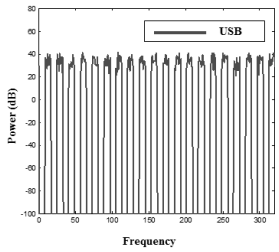
본 논문에서 제안하고 있는 OFDM-SSB 시스템의 시뮬레이션을 진행하기 위해서 MATLAB 프로그램을 사용하여 스펙트럼과 성능을 확인하였다.

시뮬레이션은 표 1과 같은 환경에서 진행 하였다. 제안하는 시스템의 스펙트럼을 확인 하는 과정을 위해 AWGN에서 시뮬레이션을 진행하였고 DCT변환 크기는 64로 진행을 하였다. 앞서 시스템 모델에서 확인 할 수 있듯이 변조방법은 PAM을 사용 하였고 변조 레벨은 2PAM, 4PAM, 8PAM 3가지로 진행하였다. 제안하

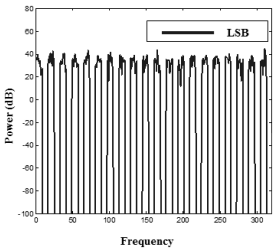
표 1. 시뮬레이션 환경
Table1. Simulation parameters.

Modulation	PAM
Equalization method	Zero forcing
Channel	AWGN
DCT size	64

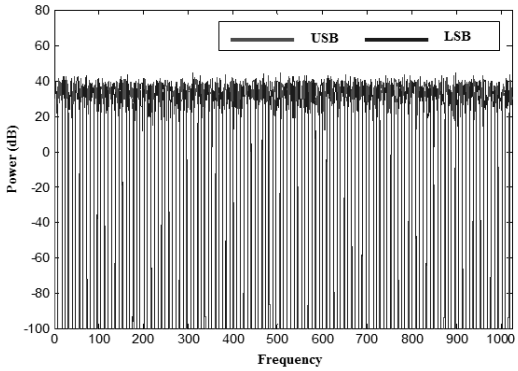
는 시스템은 Zero forcing을 이용하여 LSB와 USB의 중심주파수 간의 간섭문제를 해결한다.



(a) USB Spectrum



(b) LSB Spectrum



(c) Spectrum of Tx signal

그림 5. 제안한 시스템의 스펙트럼
Fig. 5. Spectrum of the proposed system.

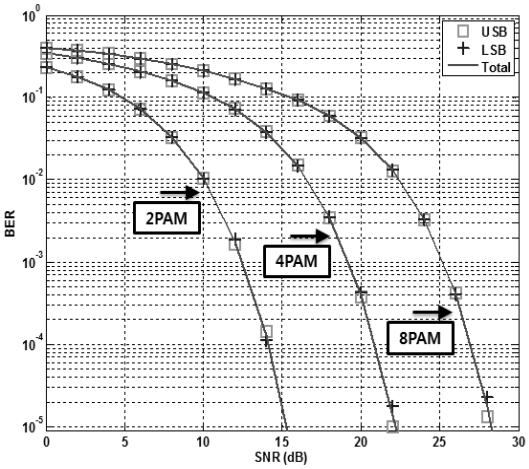


그림 6. 제안하는 시스템의 BER 특성
Fig. 6. BER performance of the proposed system.

그림 5는 시뮬레이션을 진행하여 얻은 제안한 시스템의 스펙트럼이다. 위에서부터 차례로 하나의 PAM변조 신호의 USB 스펙트럼 (a), 또 다른 하나의 PAM 변조 신호의 LSB 스펙트럼 (b), 두 신호를 합쳐 동시에 송신하는 송신신호의 스펙트럼 (c)이다. 그림 5에서 확인 할 수 있듯이, DCT와 DHT를 이용하여 위상변화를 통해 제거된 서로간의 스펙트럼이 100dB 이상으로 이는 SSB와 같이 전체 스펙트럼의 절반만을 사용하는 것과 같음을 알 수 있다. 기존의 OFDM 시스템의 경우 FFT size와 Symbol 수에 따라 스펙트럼이 결정되지만 제안하는 시스템의 경우 QAM변조 대신 PAM을 사용하고 기존대비 절반의 스펙트럼만을 사용하여 하나의 정보신호를 보낼 수 있음을 확인 할 수 있다.

그림 6은 주파수 스펙트럼을 확인한데 이어서 제안하는 시스템의 BER 성능을 확인하기 위하여 AWGN Channel 환경에서 시뮬레이션을 진행한 결과이다. 시스템모델에서 설명한 것과 같이 두 M-PAM 신호를 생성하고 각각의 신호를 제안하는 시스템 모델을 사용하여 각각 USB, LSB를 생성한 후 두 신호를 합쳐 동시에 송신하고 수신기에서 두 신호를 구분 복조하는 과정을 거쳐 나온 신호의 BER 성능을 확인하였다. 제안하는 시스템은 PAM을 사용하고 있지만 기존 OFDM 시스템의 절반의 스펙트럼만을 사용 하여 송신하기 때문에 신호의 전력을 좀 더 높이는 경우 BER 성능을 보완 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 스펙트럼 효율 향상을 위해 기존의 OFDM 시스템을 기반으로 하고 DCT와 DHT를 사용하여 기존의 아날로그 SSB변조기법처럼 디지털 변조 방법인 기존 OFDM 시스템에서 동일한 FFT Size와 같은 DCT Size와 심볼수를 가질 때 QAM변조 대신 PAM변조를 사용하여 기존 대비 절반의 스펙트럼만을 통해 하나의 정보신호를 전송 할 수 있고 나머지 절반의 스펙트럼을 통해 다른 정보신호를 보낼 수 있는 OFDM-SSB 시스템 모델을 제시하고 있다. DCT와 DHT를 사용 하여 기존의 아날로그변조 방식인 SSB변조 에서 LSB, USB를 구분하는 것과 같은 형태로 두 정보신호를 각 부반송파의 절반의 스펙트럼을 사용하여 동시에 송신하고 수신기에서는 Masking을 통해 LSB와 USB를 구분한다. 복조하는 과정에서 발생하는 USB와 LSB의 중심주파수 중첩문제를 Pilot을 이용하여 해결하는 시스템을 설계 하였다. 이 제안된 시스템을 PAM 변조를 사용하여 MATLAB 시뮬레이션을 통해 BER성능과 송신하는 신호의 스펙트럼을 확인 하였다. 이 제

안된 시스템을 사용하여 하나의 정보신호를 기존의 OFDM 시스템에 대비하여 절반의 스펙트럼만을 이용하여 전송이 가능하며 USB, LSB 각각에 서로 다른 정보신호를 동시에 전송할 수 있다. 따라서 기존시스템에 대비하여 효과적으로 전송할 수 있다.

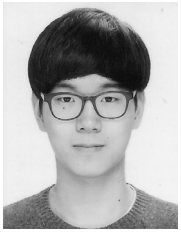
REFERENCES

[1] E. Bedrosian., "The analytic signal representation of modulated waveforms", Proc. IRE, vol. 50, no. 10, pp. 2071-2076, Oct. 1962.
[2] Taewon Hwang. et al. "OFDM and its wireless applications: a survey." IEEE Transactions on Vehicular Technology vol. 58, no. 4, pp. 1673-1694, May. 2009.
[3] Kohei Abo., et al. "Spectrum Efficient Single-Sideband Single-Carrier with Frequency-Domain Equalization." In 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE, pp. 1-5, 2015.
[4] Hussein A. Leftah; Said Boussakta, "Novel OFDM Based on C-Transform for Improving Multipath Transmission," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 62, no. 23, Dec. 2014
[5] Gen-ichiro Ohta; Takuro Sato, "An Orthogonal Frequency multiplexed(OFDM) four-layer SSB-QAM modulation method," IEICE technical Report, vol. 114, no. 490, pp. 159-164, Mar. 2015.
[6] Yi Jiang., Zhenyu Zhou., Masahiko Nanri., Gen-Ichiro Ohta and Takuro Sato., "Performance Evaluation of Four Orthogonal Single Sideband Elements Modulation Scheme in Multi-Carrier Transmission Systems," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference Fall 2011 (IEEE VTC Fall 2011), pp. 1-6, San Francisco, United States, Sep. 2011.
[7] Deepak GUPTA., Vipin B. VATS., Kamal K. GARG., "Performance Analysis of DFT-OFDM, DCT-OFDM, and DWT-OFDM Systems in AWGN Channel," In Wireless and Mobile Communications, 2008. ICWMC'08. The Fourth International Conference on, pp. 214-216, Athens, Greece, July-August. 2008.
[8] K. R. Rao., Patrick Yip., Discrete Cosine Transform:Algorithms, Advantages, Applications, Academic Press, 2014.
[9] P. Tan and N. C. Beaulieu, "A Comparison of DCT-Based OFDM and DFT-Based OFDM in Frequency Offset and Fading Channels," in IEEE Transactions on Communications, vol. 54, no. 11, pp. 2113-2125, Nov. 2006.
[10] Byeongjae Kim; Heung-Gyoon Ryu, "Spectrum Analysis and Performance Evaluation of OFDM-Single-Side Band Systems Based on BPSK Modulation", The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 41, No. 11, pp. 1380-1386, Nov. 2016.

저 자 소 개

안 창 영(학생회원)
2013년 2월 충북대학교 전자공학과 (공학사)
2015년 2월 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
2015년 3월~현재 충북대학교 전자공학과 박사과정
<주관심분야 : 무선통신시스템, 신호처리>

유 흥 균(정회원)
1988년~현재 충북대학교 전자공학과 교수
2002년 3월~2004년 2월 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
<주관심분야 : 무선통신, B5G/6G 이동통신, 위성통신, 통신회로 설계 및 통신 신호처리>



김 병 재(학생회원)
2016년 2월 충북대학교 전자공학과(공학사)
2016년 3월~현재 충북대학교 전자공학과 석사과정
<주관심분야 : 디지털변조기술>