

BPSK 변조 기반의 OFDM-Single Side Band 시스템의 스펙트럼 분석 및 성능 평가

김 병 재*, 유 흥 균^o

Spectrum Analysis and Performance Evaluation of OFDM-Single-Side Band Systems Based on BPSK Modulation

Byeongjae Kim*, Heung-Gyoon Ryu^o

요 약

본 논문에서는 BPSK 변조를 사용하는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반의 시스템에서 2 branch로 나눈 후에 DCT(Discrete Cosine Transform)를 사용하고 DHT(Discrete Hilbert Transform)와 복소수를 이용하여 스펙트럼을 변화시켜 SSB(Single Side Band) 전송과 같은 효과를 내는 시스템 모델을 제시하고 성능을 평가한다. 또한 제안하는 시스템은 한 정보신호를 SSB 전송과 같이 절반의 스펙트럼으로 송신을 할 뿐만 아니라 전체의 스펙트럼을 양측파대라 할 때 양측파대 중 한쪽의 단측파대를 통해 BPSK 변조된 하나의 정보신호를 다른 쪽의 단측파대를 통해 다른 BPSK 변조된 정보신호를 동시에 송신하고 수신기에는 하나의 OFDM 시스템의 신호처럼 들어온 신호에서 양측파대 각각에서 정보신호를 구분 복조 한다. 또한 각각의 복조된 BPSK 신호는 이론적인 BPSK 신호와 거의 유사한 BER 성능을 보인다. 즉 제안하는 시스템 모델은 하나의 BPSK 신호를 절반의 스펙트럼만을 사용하여 송신하거나 혹은 두 BPSK 신호를 동시에 송신 할 수 있다.

Key Words : SSB, DCT, DHT, OFDM, SSB-OFDM

ABSTRACT

In this paper, we propose and evaluate OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)-SSB(Single Side Band) for improving spectral efficiency. The proposed system is based on OFDM system using DCT(Discrete Cosine Transform) and DHT(Discrete Hilbert Transform) for SSB modulation, this proposed system transmit a BPSK modulation signal through a single sideband and BPSK modulation signal through the other single sideband. In other words, we design and evaluate the proposed system which transmit two BPSK signal through each other single sideband. Also each BPSK BER performance is similar with theoretical BPSK BER performance. the proposed system transmits BPSK signal using half of spectrum of conventional OFDM system or transmit two BPSK signal in same time.

* 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0101-16-244, 초연결 스마트 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발), 그리고 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2016R1D1A1B01008046), 그리고 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0717-16-0081, 밀리미터파 대역 5G 안테나 3차원 빔 측정설비 기반구축]

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

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

논문번호 : KICS2016-06-128, Received June 16, 20116; Revised August 16, 20116; Accepted October 27, 2016

I. 서론

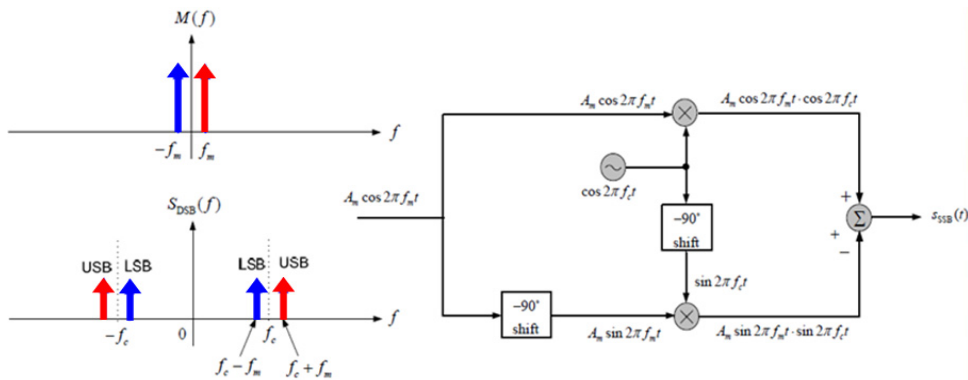
최근 스마트폰, 테블릿PC와 같은 여러 형태의 무선 통신을 하는 기기들의 사용량이 급증하고 있다. 뿐만 아니라 곳곳에서 다양한 목적으로 사용자들의 편의와 요구를 충족시키기 위한 기기들이 증가하고 있다. 이러한 기기들은 요즘 4세대 이동통신이라 일컬어지는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)기반의 무선 통신 시스템을 이용하고 있다. OFDM이란 Multi Carrier를 사용하는 기법으로서 각각의 Carrier는 시간축 상에서 서로 각각 직교성을 가지고 있어 서로 간섭을 일으키지 않고 주파수상에서는 겹쳐져있는 특징을 가진다. 이와 같은 통신시스템과 기존의 무선 통신에서는 고속 통신을 위해 필요로 하는 주파수 대역이 넓어짐에 따라 이러한 무선통신에 사용되는 주파수자원 또한 포화상태에 가까워지고 있다. 이러한 문제점 때문에 주파수 효율 향상을 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 그러한 연구들 중에서는 굉장히 오래전부터 연구되어 왔던 SSB(Single Side Band)변조 방법이 있다. SSB변조는 아날로그 변조 방법의 하나로서 Hilbert transform과 위상 천이기를 사용하여 정보 신호를 2 branch로 나누어 코사인파 곱해진 부분과 Hilbert transform을 통과한 신호를 사인파 곱하여 빼는 방법을 통해 주파수 도메인에서 기존의 아날로그 변조방법과 대비해 절반의 스펙트럼만을 사용하여 송/수신 하는 방법이기 때문에 주파수 효율을 2배 높일 수 있다. 하지만 Single carrier 방식이기 때문에 고속전송에는 용이 하지 않다. 하지만 이러한 아날로그 변조방법인 SSB변조 방법의 아이디어를 현재 사용되고 있는 디지털 변조방법인

OFDM에 적용 하고 두 절반의 스펙트럼 각각에 다른 정보신호를 보낼 수 있다면 스펙트럼 효율 향상을 기대 할 수 있다. 이러한 아날로그 SSB변조의 효과를 디지털변조방법인 OFDM에 적용하기 위해서 제안하는 시스템에서는 기존의 OFDM시스템의 DFT를 대신하여 DFT의 한 종류인 DCT를 사용하고 DHT와 복소수를 이용하여 SSB와같이 주파수 효율을 높이고 기존의 OFDM시스템과 같은 전송효과를 내는 BPSK 변조 기반의 OFDM-SSB 시스템을 제안한다.

II. 기존의 SSB 시스템

2.1 SSB modulation

단측파대 변조는 라디오통신에서 기존의 아날로그 변조인 진폭 변조(AM) 방식을 개선하여 송신기의 전력 소모 및 대역폭 사용을 절감하도록 만든 변조방식이다. 진폭변조 방식에 의해 생성된 신호는 그 대역폭이 원래의 기저 대역 신호의 것의 두 배가 되는데, 단측파대 변조는 이러한 대역폭의 절반인 한쪽 측파대만을 송/수신하는 방식이다. SSB변조 방법 이전에 사용되던 DSB(Double Side Band)방법 즉 AM변조방법과 같은 변조방법에 비해 절반의 주파수 스펙트럼만을 사용하여 송/수신 하는 방법이다. 복조하는 과정에서는 스펙트럼은 기저대역 기준으로 서로 대칭이기 때문에 양의 주파수에서의 스펙트럼을 알고 있다면 음의 주파수에서의 주파수 스펙트럼 값을 알 수 있다. 즉, 다시 말해 단측파대만 있어도 동기검파와 같은 기존의 DSB복조 방법에 사용되던 복조방법을 적용하면 정보신호를 복조 할 수 있기 때문에 주파수 효율을 2 배로 높이는 기술이다.^[1]



(a) 기저대역 신호 및 SSB 신호의 스펙트럼

(b) 아날로그 SSB시스템의 구성도

그림 1. 기존의 아날로그 SSB 시스템의 주파수 스펙트럼과 시스템 구성도
 Fig. 1. Block diagram of proposed simultaneous single-band duplex system

2.2 Hilbert 변환

SSB 변조 방법에서는 한쪽 측파대를 제거하기위해 크게 두 가지 방법이 일반적이다. 하나는 필터를 사용하여 원하는 단측파대 만을 통과시킴으로서 원하지 않는 단측파대 제거하는 필터를 사용하는 방법과 송신하고자하는 신호의 위상을 천이 시키고 기존의 carrier 와 90도의 위상차를 가지는 캐리어를 곱하여 변조함으로서 원하지 않는 주파수 성분을 상쇄시키는 방법이 있다. 이때 필터를 이용하는 방법은 서로 붙어있는 단측파대를 필터를 통해 유지 또는 제거하기 위해서는 매우 정교한 필터가 요구된다. 예를 들어 기저 대역에서 USB 신호를 얻고자하는 경우 0이상의 성분만을 통과 시키고 0이하의 성분은 완벽하게 제거시켜야 하는데 이는 이상적인 경우에만 가능한 방법이므로 적절하지 않다.이러한 이유로 필터가 필요 없는 위상천이를 통한 SSB변조 방식, 즉 Hilbert transform을 이용한 방법이 더 유용하며 Hilbert transform을 이용한 SSB 시스템의 구성도는 그림 1과 같이 구성된다. Hilbert transform 은 -90도 위상을 천이시키는 것과 동일하다. Hilbert transform은 그림 3과 같은 전달 함수 특성과 위상특성을 갖게 되는데, 변환을 거치더라도 모든 주파수에서 크기는 변하지 않고 위상만 음의 주파수에서는 +90도 양의 주파수에서는 -90도 변화 시켜준다.

정보신호에 코사인을 곱한 신호와 정보신호를 -90도 위상천이, 즉 Hilbert transform에 의해 변환된 신호에 사인을 곱한 신호를 더하거나 빼게 되면 Hilbert transform된 신호는 한쪽측파대역이 위상이 반대로 뒤집히기 때문에 빼는 경우에는 LSB(Lower Side Band) 성분이 제거되므로 USB(Upper Side Band)성분만 남

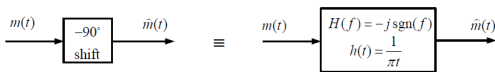
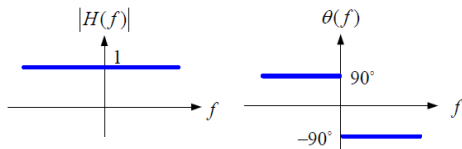


그림 2. 위상 천이기와 Hilbert transform
Fig. 2. Phase Shifter and Hilbert transform



(a) Trans function of Hilbert transform (b) Phase of Hilbert transform

그림 3. Hilbert transform의 전달함수와 위상
Fig. 3. Transfer function and phase of Hilbert transform

게 되고 더하는 경우에는 USB 성분이 제거되므로 LSB성분만이 남게 된다. 이와 같은 방법으로 Hilbert transform을 이용한 SSB변조 방식으로 양측파대중 하나 만을 선택적으로 송신 할 수 있다.

III. 제안하는 OFDM-SSB 시스템

3.1 직교 주파수 분할 다중방식(OFDM)

직교 주파수 분할 다중 방식(Orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM)은 다수의 캐리어를 사용하는 즉, Multiple carrier frequencies를 이용하여 변조하는 방식이다^{2,3}. OFDM은 디지털 TV 및 오디오 방송, 인터넷 접속, 무선 네트워크, 그리고 4세대 이동 통신 등 다양한 분야에서 응용되고 있다. OFDM은 근본적으로는 직교 부호화 주파수 분할 다중 방식(Coded OFDM, COFDM) 및 DMT(discrete multi-tone modulation)와 동일하다. 여러 개의 병렬 데이터 스트림이나 채널을 통해 데이터를 전송하기 위해 다수의 서로 직교성을 가지는 캐리어 즉, 직교 부반송파(orthogonal sub-carrier) 신호를 사용한다. 각각의 부반송파는 QAM 또는 PSK와 같은 기존의 변조 체계를 사용하여 낮은 심볼율(symbol rate)에서 변조된다.

OFDM의 시스템 구성도는 그림 4와 같다. 비트정보를 직병렬 변환 후에 QAM 혹은 PSK와 같은 형태의 변조를 한 후에 IDFT 혹은 IFFT를 사용하여 시간 영역으로 변환한다. 여기서 채널간의 간섭을 방지하기 위하여 CP(Cyclic Prefix)를 추가하게 되는데 일점 샘플의 마지막단의 데이터 열을 앞으로 복사하여 Guard Interval을 형성해 간섭을 방지하는 방법이다. 그 후 병직렬 변환하고 디지털 신호를 아날로그 신호로 변경한 뒤 송신하고 수신기에서는 수신한 신호를 디지털 신호로 바꾸고 직병렬 변환 후에 CP를 제거한 뒤 주파수영역으로 변환하기 위해 DFT 혹은 FFT를 사용한다. 그 후 주파수영역 이퀄라이저를 적용하고 복

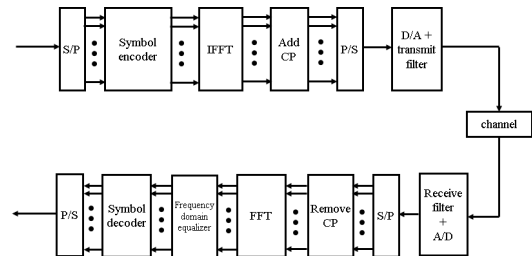


그림 4. OFDM 시스템의 구성도
Fig. 4. Block Diagram of OFDM system

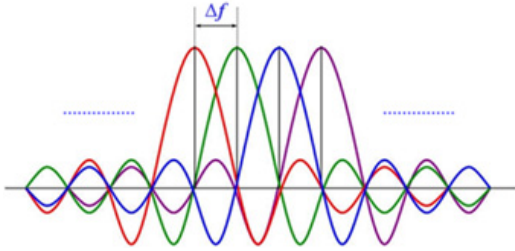


그림 5. OFDM 시스템의 스펙트럼
Fig. 5. Spectrum of OFDM system

조 후 병직렬 변환을 통해 데이터를 얻어낸다.

OFDM 시스템의 스펙트럼은 그림 5와 같이 각 Sub-carrier는 Δf 간격만큼을 유지함으로써 Orthogonality를 가진다. 이러한 Multi carrier system인 OFDM은 고속전송에 적합한 시스템으로서 4세대 이후의 무선통신시스템에도 적합한 시스템이라고 할 수 있다.

3.2 DCT(Discrete Cosine Transform)

이산 코사인 변환이란 OFDM에 사용되는 DFT (Discrete Fourier Transform)과 유사한 변환중 하나이다. DFT와 마찬가지로 시간영역에서 주파수영역으로 변환하며 또 DFT와 비교해 볼 때 길이가 두 배이고 실수값을 가지는 짝함수에 연산을 수행한다는 점을 제외하면 거의 유사하다. DCT의 형태는 DCT Type-I 부터 DCT Type-IV까지 주로 4가지의 형태가 주로 사용되며 특히 DCT Type-II가 가장 널리 사용되고 일반적으로 DCT라고 불리는 것이 DCT Type-II이다. DCT Type-II의 식은 다음과 같다^{4,5)}.

$$A_k = \sum_{n=0}^{N-1} a_n \cos \left[\frac{\pi k}{N} \left(n + \frac{1}{2} \right) \right] \quad (1)$$

또한 OFDM에서는 송신기에서 정보신호를 주파수 영역에서 시간영역으로 변환하는 것 같은 효과를 위해 DFT의 역변환인 IDFT를 사용한다. DCT또한 DFT와 마찬가지로 역변환형태인 IDCT가 존재하며 DCT Type-II의 역변환식 IDCT는 DCT Type-III와 같으며 일반적으로 IDCT라 불린다. IDCT의 식은 다음과 같다.

$$A_n = \sum_{k=0}^{K-1} \sqrt{\frac{1}{N}} \cos \left[\frac{\pi}{2N} (k-1)(2n-1) \right] \quad (2)$$

3.3 제안하는 시스템 모델

본 논문에서 제안하고 있는 시스템 모델은 그림 6과 같은 구성형태를 가지는 시스템을 기반으로 한다. 아날로그 SSB변조에서는 캐리어로 코사인이 사용되는데 아날로그 변조방법인 SSB변조를 디지털 변조방법인 OFDM에 직접적으로 적용 할 수 없기 때문에 제안하는 OFDM-SSB변조 방식에서는 코사인 캐리어를 곱하는 형태와 유사하게 기존의 OFDM 시스템의 DFT대신 IDCT를 사용한다. 그리고 BPSK 신호를 DHT즉 Hilbert transform 시킨 후 기존의 아날로그 SSB시스템의 사인 캐리어를 곱하는 것과 같은 형태를 취하기 위하여 IDCT를 거친 후에 복소수를 곱하여 90도만큼 위상변화를 준다. 그 후 IDCT된 신호에 DHT를 통과한 아래쪽 branch의 신호를 더하거나 혹은 빼주는 형태로서 기존의 Hilbert transform을 이용하는 아날로그 SSB변조와 같이 다른 단축과대의 주파수성분을 제거하는 효과를 발생시키도록 한다. 다시 말하자면 그림 1.(b)의 아날로그 SSB와 그림 6의 제안하는 시스템을 비교할 때 그림 1.(b)의 코사인은 그림 6에서 IDCT로 Hilbert transform은 DHT로 사인은 IDCT와 복소수의 곱으로 대체 되었다고 할 수 있다.

본 논문에서 제안하고 있는 시스템 모델은 그림 6과 같은 구성형태를 가지는 시스템을 기반으로 한다. 아날로그 SSB변조에서는 캐리어로 코사인이 사용되는데 아날로그 변조방법인 SSB변조를 디지털 변조방법인 OFDM에 직접적으로 적용 할 수 없기 때문에 제안하는 OFDM-SSB변조 방식에서는 코사인 캐리어를 곱하는 형태와 유사하게 기존의 OFDM 시스템의 DFT대신 IDCT를 사용한다. 그리고 BPSK 신호를 DHT즉 Hilbert transform 시킨 후 기존의 아날로그 SSB시스템의 사인 캐리어를 곱하는 것과 같은 형태를 취하기 위하여 IDCT를 거친 후에 복소수를 곱하여 90도만큼 위상변화를 준다. 그 후 IDCT된 신호에 DHT를 통과한 아래쪽 branch의 신호를 더하거나 혹은 빼주는 형태로서 기존의 Hilbert transform을 이용하는 아날로그 SSB변조와 같이 다른 단축과대의 주

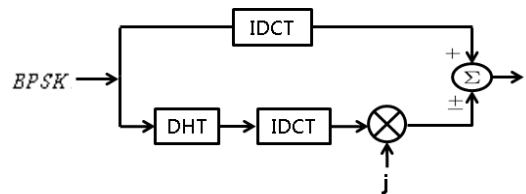


그림 6. 제안하는 SSB변조 방법
Fig. 6. Proposed SSB modulation

IV. 시뮬레이션 및 분석

과수성분을 제거하는 효과를 발생시키도록 한다. 다시 말하자면 그림 1.(b)의 아날로그 SSB와 그림 6의 제안하는 시스템을 비교할 때 그림 1.(b)의 코사인은 그림 6에서 IDCT로 Hilbert transform은 DHT로 사인은 IDCT와 복소수의 곱으로 대체 되었다고 할 수 있다.

수신기에서는 직병렬 변환 후 CP제거 한 뒤에 각 절반의 스펙트럼을 통해 수신된 서로 다른 두 신호를 찾기 위해 일련의 과정을 거친다. 수신된 신호를 DHT 하고 복소수를 곱하여 원래 수신된 신호에 빼주어 제안한 OFDM-SSB시스템의 USB 신호를 찾고 이를 송신단에서 IDCT변환을 사용하였기 때문에 기존의 OFDM 시스템에서 DFT변환을 사용하는 것과 마찬가지로 DCT변환을 사용하고 이를 통해서 USB를 통해 송신된 BPSK 신호를 복조 한다. 그리고 또 수신된 신호에 복소수를 곱하여 이를 원래 수신된 신호를 DHT를 통해 변조한 신호에 빼주어 제안한 OFDM-SSB 시스템의 LSB 신호를 찾아낸다^{7,8)}. 그리고 앞서 USB신호를 복조한 것과 마찬가지로 DCT변환을 거쳐 LSB를 통해 송신된 BPSK 신호를 복조 할 수 있다. 제안하는 수신기의 구성도는 그림 8과 같다. 앞서 설명한 것과 같이 제안하는 시스템은 서로 다른 스펙트럼을 통해 수신된 정보신호를 각각 구분하여 복조 가능하다.

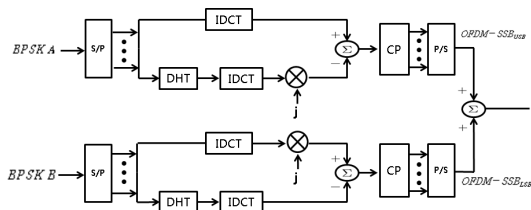


그림 7. 제안하는 시스템의 송신기
Fig. 7. Transmitter of proposed system

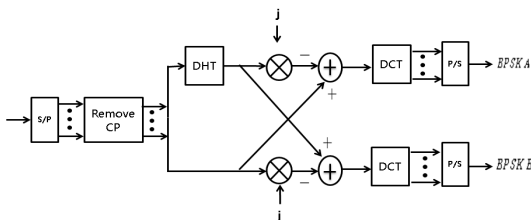


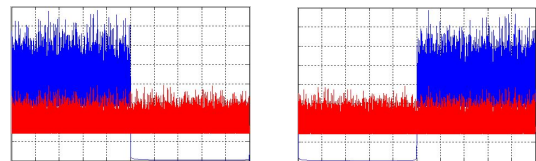
그림 8. 제안하는 시스템의 수신기
Fig. 8. Transmitter of proposed system

본 논문에서는 MATLAB 프로그램을 사용하여 본 논문에서 제안하고 있는 OFDM-SSB 시스템 모델의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이션을 진행하였다.

먼저 제안하는 OFDM-SSB 시스템에 활용할 제안된 SSB변조 방식을 검증해 보았다. 디지털 변조에 적용할 제안하는 SSB변조 방식의 구성도는 그림 6과 같고 BPSK를 IDCT한 신호에 BPSK를 DHT를 거친 후 IDCT변조 후 복소수를 곱한 신호를 더하고 빼는 과정을 통해 LSB와 USB가 형성되는지 MATLAB 시뮬레이션을 통해 확인해 보았다. 시뮬레이션 결과에 따라 제안한 SSB변조 방식이 그림 9에서 보이듯 LSB와 USB를 구분할 수 있다.

AWGN채널 환경에서 각 Subcarrier당 10,000개의 심볼을 전송하도록 하였고 DCT변환은 64, CP의 길이는 16으로 한 뒤 BPSK 변조된 신호를 제안한 OFDM-SSB 시스템모델을 사용하여 시뮬레이션을 진행 하였다. 세부사항은 표1 과 같다.

시뮬레이션을 진행하여 제안한 시스템의 스펙트럼을 확인하였다. 위에서부터 차례로 송신되는 신호의 스펙트럼, 하나의 BPSK신호를 USB를 통해 송신한 신호의 스펙트럼, 다른 BPSK 신호를 LSB를 통해 송신한 스펙트럼이다. 그림 10에서 확인 할 수 있듯이, USB, LSB신호 각각에서 Hilbert 변환과 위상변화를 통해 제거한 서로 각각의 스펙트럼이 완전히 없어지



(a) LSB(Lower Side Band) & DSB (b) USB(Upper Side Band) & DSB
그림 9. 제안하는 SSB변조의 스펙트럼

Fig. 9. Spectrum of proposed SSB modulation

표 1. 시뮬레이션 환경
Table 1. Simulation parameters

Modulation	Proposed BPSK-OFDM-SSB
DCT Size	64
Number of Subcarriers	52
CP length	16
Channel	AWGN
Number of symbols	10,000

지 않았다는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 그 크기가 신호에 비하여 매우 작기 때문에 LSB와 USB신호를 합쳐 동시에 송신 하였을 때, 서로에게 미치는 영향이 작다는 것을 알 수 있다.

주파수 스펙트럼을 확인한데 이어서 제안하는 시스템의 BER 성능을 확인하기 위하여 AWGN Channel 환경에서 시뮬레이션을 진행 하였다. 또한 시뮬레이션은 본 논문에서 제안하고 있는 시스템을 사용하여 시스템 제안 목적인 기존의 OFDM 시스템 대비 절반의 스펙트럼만으로 전송할 수 있는지 확인하기 위하여 시뮬레이션은 Multi-path 환경을 고려하지 않고 오직 AWGN 채널 환경에서만 진행하였다. 제안한 시스템에서 설명한 것과 같이 두 BPSK를 생성하고 각각의

신호를 제안하는 시스템 모델을 사용하여 각 부반송파를 절반씩으로 나누어 스펙트럼을 전체적으로 절반씩으로 나눈 뒤 두 신호를 나누어진 절반의 스펙트럼 각각을 통해 동시에 송신하고 수신기에서 두 신호를 구분 복조하는 과정을 거쳐 나온 BPSK 신호의 BER 성능을 확인해보았다. 또한 수신된 두 신호를 이론적인 BPSK 성능과 비교하여 보았다. 그림 11를 통해 두 신호 모두 이론적인 BPSK 성능과 거의 유사함을 확인할 수 있었다. 따라서 제안된 시스템모델이 동작함을 확인할 수 있고 기존의 OFDM 시스템과 비교하여 절반의 스펙트럼만을 사용하여 BPSK 신호를 보낼 수 있음을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 스펙트럼 효율 향상을 위해 기존의 OFDM 시스템을 기반으로 하고 DCT와 DHT를 사용하여 기존의 아날로그 변조방식인 SSB 변조 방법의 아이디어를 디지털 변조 방법인 OFDM 시스템에 적용하는 BPSK 변조 OFDM-SSB 시스템 모델을 제시하고 있다. DCT와 DHT를 그리고 복소수를 사용하여 기존의 아날로그 변조 방식인 SSB와 같이 각 부반송파를 절반씩 나누어 LSB, USB와 같은 형태로 구분한 뒤 각각 서로 다른 두 정보신호를 각각 서로 다른 절반의 스펙트럼만을 사용하여 동시에 송신하거나 혹은 한 정보신호를 기존 OFDM 대비 절반의 스펙트럼만을 통해 송신하고 수신기에서 또한 수신된 신호를 DHT를 통과시킨 신호와 원 수신신호를 복소수와 함께 연산하여 각 절반의 스펙트럼을 통해 수신된 신호를 구분하여 복조하는 시스템을 설계 하였다. 이 제안된 시스템을 BPSK 변조를 사용하여 MATLAB 시뮬레이션을 통해 BER 성능과 송신하는 신호의 스펙트럼을 확인 하였다. 이 제안된 시스템을 사용하여 하나의 정보신호를 기존의 OFDM 시스템에 대비하여 절반의 스펙트럼만을 이용하여 전송이 가능하다. 또한 두 사용자가 기존 OFDM 시스템의 스펙트럼을 절반씩 나누어 송수신이 가능하다. 즉 제안된 시스템을 이용하여 스펙트럼 효율을 향상 시킬 수 있다.

References

[1] R. Esmailzadeh, M. Nakagawa, and E. A. Sourour, "Time-division duplex CDMA communications," *IEEE Pers. Commun.*, vol. 4, no. 2, pp. 51-56, Apr. 1997.

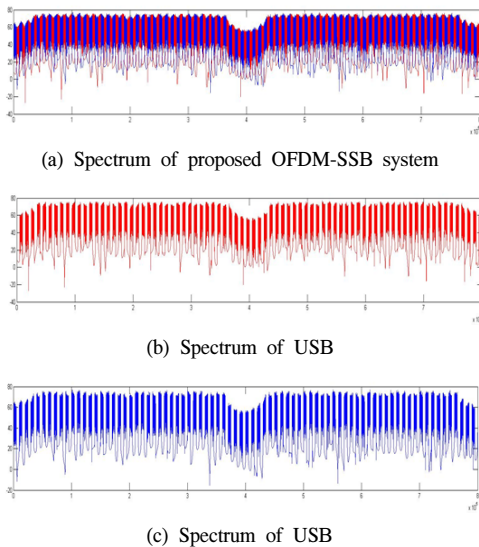


그림 10. 제안하는 시스템의 수신기
Fig. 10. Transmitter of proposed system

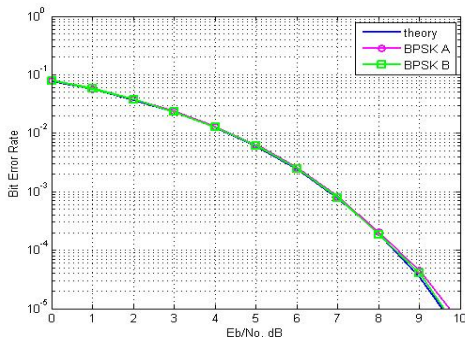


그림 11. AWGN 환경에서의 BPSK 변조를 사용하는 제안하는 OFDM-SSB BER 성능
Fig. 11. BER performance of Proposed OFDM-SSB using BPSK modulation under AWGN environment

- [2] T. Hwang, et al., "OFDM and its wireless applications: a survey," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 4, pp. 1673-1694, May 2009.
- [3] Y. Wu and W. Y. Zou, "Orthogonal frequency division multiplexing: a multi-carrier modulation scheme," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 41, no. 3, pp. 392-399, Aug. 1995.
- [4] K. R. Rao and P. Yip, *Discrete Cosine Transform: Algorithms, Advantages, Applications*, Academic Press, 2014.
- [5] K.-J. Lee, et al., "DCT/DFT hybrid algorithm using simple element inverse," *J. KICS*, vol. 32, no. 6, pp. 594-599, Jun. 2007.
- [6] H. A. Leftah and S. Boussakta, "Novel OFDM based on C-Transform for improving multipath transmission," *IEEE Trans. Sign. Process.*, vol. 62, no. 23, pp. 6158-6170, Dec. 2014.
- [7] 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.
- [8] 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.

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~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
 <관심분야> 무선통신시스템, 위성통신, B5G/6G 이동통신시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리