

SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템 설계와 성능 평가

장경수*, 안창영*, 유흥균^o

Design and Performance Evaluation of SSB-WR-OFDM-IDMA System

Kyeongsoo Jang*, Changyoung An*, Heung-Gyoon Ryu^o

요약

통신 기술이 나날이 발전하면서 제한된 자원으로 무수히 많은 기기를 지원할 수 있는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 이러한 연구 동향에 맞추어 SSB-WR-OFDM-IDMA(Single Side Band-Windowing and Restructuring-Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Interleave Division Multiple Access) 시스템을 설계하고 성능 평가를 수행한다. 기존 IDMA는 Spreading Factor에 의해 지원 가능한 유저 수의 한계가 결정된다. 그러나 제안하는 시스템의 경우 SSB-WR-OFDM 기술을 효과적으로 결합하여 주파수 자원을 보다 유연하게 활용하게하고 지원 유저 수를 증가시킬 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 이러한 장점을 확인하기 위하여 스펙트럼 특성과 성능을 평가하고 분석하였다. 시뮬레이션 결과, 제안하는 시스템은 기존 IDMA 시스템이 갖는 성능 특성을 유지하면서 주파수 자원을 효과적으로 활용할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : Multiple access, IDMA, OFDM, SSB modulation, WR technology

ABSTRACT

As communication technology has been developed day by day, research on technologies that can support many devices with limited resources is being actively conducted. In this paper, we design the SSB-WR-OFDM-IDMA(Single Side Band-Windowing and Restructuring-Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Interleave Division Multiple Access) system according to this research trend and perform the performance evaluation. In the conventional IDMA, the limit of the number of users that can be supported is determined by the spreading factor. However, in case of the proposed system, the SSB-WR-OFDM technology can be effectively combined to make more efficient use of frequency resources and to increase the number of supported users. In this paper, spectral characteristics and performance have been evaluated and analyzed to confirm these advantages. The simulation results show that the proposed system can effectively utilize the frequency resources while maintaining the performance characteristics of the conventional IDMA system.

※ 본 연구 결과물은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구 결과입니다. 그리고 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-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

* Department of electronic engineering, Chungbuk National University, acy890217@naver.com, 학생회원

논문번호 : 201907-118-A-RN, Received June 28, 2019; Revised September 6, 2019; Accepted September 16, 2019

I. 서론

통신 기술의 발달에 따라 모바일기기의 사용량이 큰 폭으로 증가되어지고 있다. 이에 따라 차세대 통신 시스템은 대규모 기기 간 통신 서비스(mMTC, massive Machine Type Communication)를 효과적으로 지원하는 것을 목표로 하고 있다^[1]. 따라서 동일한 자원에 여러 유저를 중첩 사용하여 대역 효율을 증대시키는 기술이 주목받고 있으며 IDMA(Interleave Division Multiple Access)는 그 중 대표적인 기법들 중 하나이다^[2]. IDMA 기술은 서로 다른 사용자의 신호를 구분할 수 있는 수단으로 인터리빙을 사용한다. IDMA는 CDMA의 많은 이점을 이어받는 기술로, 매우 간단한 MUD(Multi-User Detection) 기법을 사용하며, 정규화된 MUD 기법에 따른 시스템의 복잡도는 사용자 수와 관계가 없다는 장점이 있다^[3,4].

SSB 변조는 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^[5]. 절반의 스펙트럼을 사용하더라도 수신할 때 복구할 수 있기 때문에 2배의 스펙트럼 효율을 낼 수 있다. 최근 이러한 아날로그 변조방법인 SSB 변조 방법을 디지털 변조 방법인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)에 적용하고자 하는 논문들이 이루어지고 있다^[6,7].

Windowing 기술은 신호의 불연속성을 제거하여 신호 스펙트럼의 OOB(Out of Band) 전력을 저감시키는 기술이다. 하지만 Windowing 기술은 데이터 심볼의 양 끝 영역에 손상을 초래한다. 이를 해결하기 위한 방법으로 WR(Windowing and Restructuring) 기법이 있다^[8]. WR 기법은 CP 데이터를 이용하여 Windowing으로 인해 손상된 정보 신호를 수신 단에서 Restructuring하여 복원해주는 기법이다.

본 논문에서는 차세대 다중접속 기술로 많은 연구가 이루어지고 있는 IDMA 기술과 스펙트럼 효율 향상을 위한 SSB-WR-OFDM 변조 기술을 결합한 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 기존 IDMA 시스템과 비교하여 주파수 자원을 더욱 세밀하게 나누어 할당할 수 있으며, 이에 따라 기존 시스템보다 많은 유저를 효과적으로 지원할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 이러한 시스템 구성 방안을 제시 및 설계하고, 이 시스템에 대한

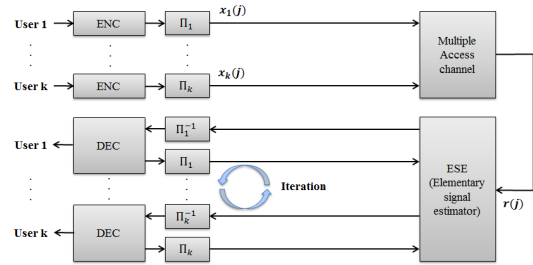


그림 1. IDMA 시스템의 구성도
Fig. 1. Block diagram of IDMA system.

성능 및 특성을 평가하고 분석한다.

II. 시스템 모델

2.1 IDMA

IDMA 시스템은 사용자를 분리하는 유일한 방법으로 인터리버를 사용한다. 수신기에서 노이즈 및 MAI(Multiple Access Interference) 등을 예방하기 위해 서로 다른 사용자간에 약한 적은 상관관계가 있는 인터리버를 선택하는 것이 매우 중요하다. 인터리버는 Random Interleaver, Power Interleaver, Tree based Interleaver, Shifting Interleaver, 2-dimension Interleaver, Parallel Interleaver 등 여러 가지 종류가 있다. 메모리 요구량과 계산 복잡도 및 코딩 환경에서 여러 측면에서 고려하여 인터리버를 선정할 수 있겠지만 인터리버에 따른 IDMA 시스템의 성능을 분석한 논문을 참고한 결과, 랜덤 인터리버가 다른 인터리버들 보다 BER 성능이 준수하므로 본 논문에서는 랜덤 인터리버를 사용하였다^[9].

그림 1은 IDMA 시스템의 구성도이다. 유저별로 생성된 데이터 비트를 부호기와 스프레딩 및 각기 다른 스프레딩 과정을 거쳐 IDMA 신호가 생성되어 채널을 통과하게 된다. 채널을 통과한 신호는 ESE(Elementary Signal Estimator)를 통해 전송 신호를 추정하며 디스프레딩 및 디인터리빙과 복호기를 통해 계산된 Gaussian 랜덤 변수의 평균과 분산 값을 다시 ESE로 되돌아오도록 하는 반복법이 실행된다. 이 반복이 많을수록 신호의 추정값은 더욱 원 신호에 가깝게 추정되어 시스템 성능을 향상시킨다^[3,9].

2.2 SSB-WR-OFDM

OFDM은 다수의 캐리어를 사용하는 다중 반송 주파수를 사용하여 변조하는 방식이다^[11]. SSB-OFDM은 OFDM 심볼을 이루는 각 부분송파들을 SSB 처리하는 방법이다. 이 방법은 주파수 자원에서 데이터 전

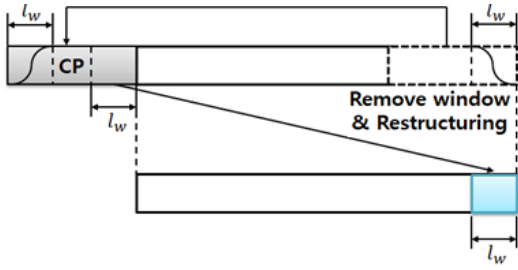


그림 2. WR 기법의 원리
Fig. 2. Principle of WR technique.

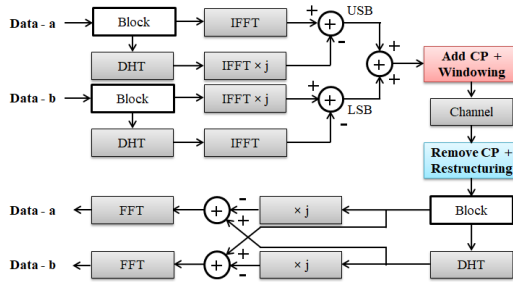


그림 3. SSB-WR-OFDM 시스템의 구성도
Fig. 3. Block diagram of SSB-WR-OFDM system.

송률을 2배 올릴 수 있는 기술이다^[12].

Windowing은 스펙트럼 효율을 높이기 위한 주된 연구 주제 중 하나이다. 이 기술은 시간 영역에서 OFDM 각 심볼의 양쪽 끝부분 일정구간을 0에서부터 점진적으로 1로 증가하는 특정 윈도우 함수를 곱함으로써 이루어진다. 매우 간단한 구현 방법으로 시스템 스펙트럼 OOB 전력을 저감시켜주기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 Windowing된 오른쪽 데이터 부반송파가 있는 부분에 Windowing 처리된 부분은 시스템 성능에 열화를 일으킨다. 이를 막기 위한 방법 중 하나는 바로 WR 기법이다. WR 기법은 Windowing으로 인하여 손상된 데이터 구간을 CP에서 손상되지 않은 구간을 가져와 Restructuring하는 방법으로 그림 2는 WR 기법의 원리를 설명해주는 그림이다.

그림 3은 SSB-WR-OFDM 시스템의 구성도이다. SSB-OFDM 변조를 통해 LSB와 USB 신호를 생성 후 두 신호를 합하고 CP를 더해준 후에 Windowing 처리를 한다. 그 후 채널을 통과하고 CP를 이용하여 Restructuring을 한 후 CP를 제거한다. 그 후 SSB-OFDM 복조 처리를 해준다.

2.3 SSB 간섭

SSB 간섭은 SSB-OFDM 송신부에서 LSB와 USB

신호를 생성 후 두 신호를 합칠 때 발생된다. 그림 4는 SSB 간섭으로 인해 발생하는 에러들이 생성되는 과정을 설명하는 그림으로 SSB-OFDM 스펙트럼에서 LSB와 USB 신호가 합쳐지면서 그 사이에 간섭이 발생된다. SSB 변조를 하면서 만들어진 LSB와 USB 신호는 DHT 과정에서 심볼 길이만큼 각 부반송파별로 처리되기 때문에 심볼 사이즈의 중간 부분 심볼에서 에러가 집중적으로 나타난다. 그림 4는 SSB 간섭으로 인하여 에러들이 발생하는 과정을 나타내며, 이러한 간섭으로 인한 에러 데이터들을 Null subcarrier로 대체하여 BER 성능 열화를 개선시킬 수 있다.

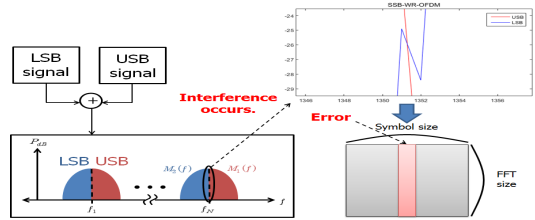


그림 4. SSB 간섭으로 인한 에러들이 발생하는 과정
Fig. 4. The process of generating errors due to SSB interference.

2.4 제안하는 SSB-WR-OFDM-IDMA

본 논문에서는 앞서 설명한 IDMA와 OFDM에 SSB 변조 기술과 WR 기술을 결합한 SSB-WR-OFDM을 합친 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템을 구현하고 성능을 확인하는 것을 목적으로 한다.

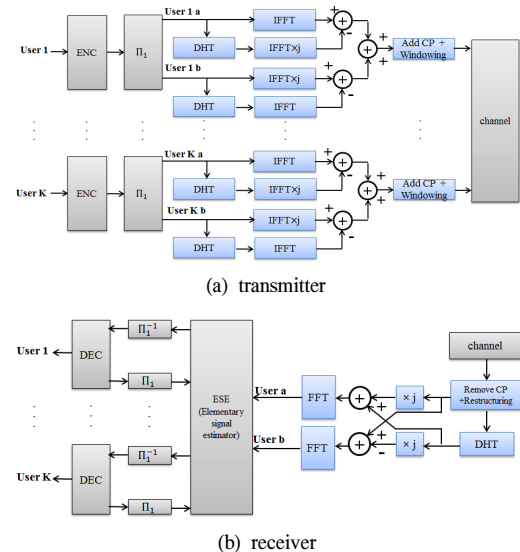


그림 5. SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 구성도
Fig. 5. Block diagram of SSB-WR-OFDM-IDMA system.

그림 5. (a)는 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 송신기의 구성도이다. 각 사용자별로 부호기와 스프레드 처리 후 각기 다른 인터리빙을 사용하여 IDMA 신호를 생성한다. 생성된 신호를 a와 b로 나누어 LSB 및 USB 신호를 생성하고 합친 뒤 CP를 붙이고 Windowing 처리 후 채널을 통해 전송한다.

그림 5. (b)는 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템 수신기의 구성도이다. 채널을 통과하고 수신된 신호는 CP를 Restructuring 처리하는 데에 사용 후 제거해준다. 그 후 SSB-OFDM의 복조 과정을 거쳐서 나온 a와 b 신호를 합한 뒤 ESE를 통해 송신 신호를 추정한다. 이후의 과정은 앞서 설명한 칩 단위 MUD 알고리즘이 반복 수행되어 송신 신호를 반복 추정하게 된다.

III. 시뮬레이션 결과 및 분석

표 2는 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 성능 분

표 1. SSB-WR-OFDM 시스템의 시뮬레이션 결과
Table 1. Simulation results of SSB-WR-OFDM system.

Simulation result (Number of symbols = 2000)				
Modulation level	2-PAM	4-PAM	8-PAM	16-PAM
Number of bit loss	0	256×2×2 = 1024	1024×2×3 = 6144	4096×2×4 = 32768
Loss rate (loss/total)	0 %	0.2462 %	0.9846 %	3.9385 %
Spectrum efficiency	2 bits/s/Hz	3.9968 bits/s/Hz	5.9808 bits/s/Hz	7.8976 bits/s/Hz
	-	0.08 % ↓	0.32 % ↓	1.28 % ↓

표 2. SSB-WR-OFDM-IDMA 성능 분석을 위한 시뮬레이션 조건

Table 2. Simulation condition for SSB-WR-OFDM-IDMA performance analysis.

Simulation conditions	
System	SSB-WR-OFDM-IDMA
Modulation	BPSK
FFT length	128
Data subcarriers	104
CP length	32
Spread factor	4, 5
Number of Iterations	5 ~ 11
Number of Users	2 ~ 8
Window function	Hann window
Window length	(16, 16)
Channel	AWGN

석을 위한 시뮬레이션 조건들이다.

본 논문에서는 먼저 SSB-WR-OFDM 시스템에서 SSB 간섭으로 인한 영향을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 확인 결과 표 1과 같이 정리할 수 있으며, 여기서 Loss rate는 데이터 손실률을 나타내며 식 (1)과 같다. 시뮬레이션 결과 BER 열화를 개선하기 위해 Null data를 사용하면 변조 레벨이 높을수록 더 많은 데이터 손실이 일어나며 그에따라 스펙트럼 효율이 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

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

그림 6은 Windowing을 하지 않은 SSB-OFDM-IDMA 시스템의 스펙트럼이다. Windowing 및 Restructuring을 하지 않은 상태라 시스템의 OOB 스펙트럼 전력은 30dB 정도밖에 감소되지 않는다.

그림 7은 윈도우 길이가 (16, 16)인 경우의 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 스펙트럼이다. Windowing을 하지 않은 SSB-OFDM-IDMA에 비해 시스템의 OOB 스펙트럼 전력이 약 66dB가 감소되어 Windowing을 하지 않은 경우보다 약 36dB 정도 더 감소된 것을 확인할 수 있다.

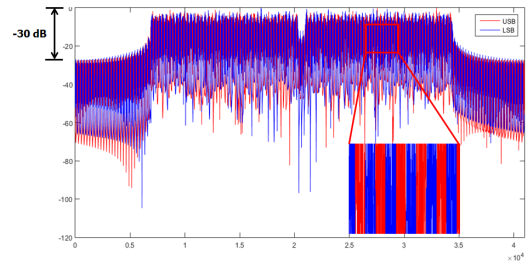


그림 6. SSB-OFDM-IDMA 시스템의 스펙트럼
Fig. 6. Spectrum of SSB-OFDM-IDMA system.

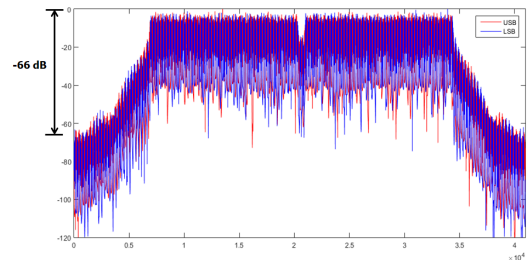


그림 7. 윈도우 길이가 (16, 16)인 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 스펙트럼
Fig. 7. Spectrum of SSB-WR-OFDM-IDMA system with window length of (16, 16).

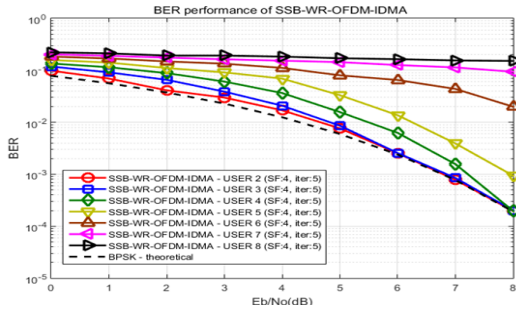


그림 8. 사용자 수에 따른 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 BER 성능
 Fig. 8. BER performance of SSB-WR-OFDM-IDMA system according to the number of users.

그림 8은 사용자 수에 따른 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 BER 성능이다. 사용자 수가 5 이상 커질 경우 점점 성능이 열화되는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 사용자 수가 많아질수록 열화되는 BER 성능은 spread factor와 반복수를 늘림으로써 보상할 수 있다.

그림 9는 수신부에서 MUD 알고리즘 반복수에 따

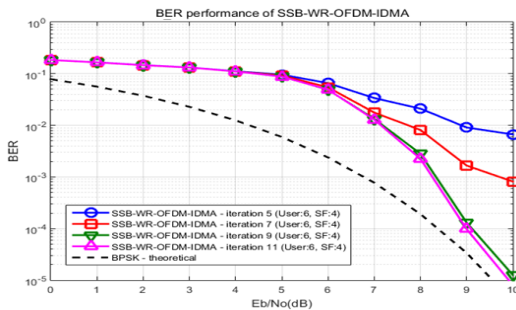


그림 9. 반복수에 따른 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 BER 성능
 Fig. 9. BER performance of SSB-WR-OFDM-IDMA system according to the number of iterations.

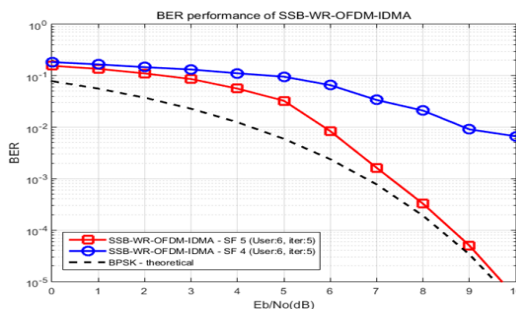


그림 10. Spread factor에 따른 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 BER 성능
 Fig. 10. BER performance of SSB-WR-OFDM-IDMA system according to spread factor.

른 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 BER 성능이다. SNR이 높은 환경일수록 MUD 알고리즘 반복수에 따른 BER 성능이 크게 개선되는 것을 확인할 수 있다.

그림 10은 spread factor의 변화에 따른 SSB-WR-OFDM-IDMA 시스템의 BER 성능이다. spread factor는 전체 SNR 범위에서 BER 성능이 개선되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서 제안하는 시스템은 차세대 다중접속기술로 많은 연구가 이루어지고 있는 IDMA 기술을 보다 개선시키기 위하여 SSB-WR-OFDM 기술을 효과적으로 결합하여 사용한다. 본 논문에서는 효과적인 결합을 위한 시스템 설계 모델을 제시하며, 시스템의 성능 평가를 통하여 기본적인 IDMA 기술이 갖는 Spreading Factor에 의해 결정되는 지원 유저 수의 한계를 주파수 자원의 유연한 할당을 통해 개선시킬 수 있음을 확인하였다. 더욱이 제안하는 시스템의 스펙트럼 특성 및 성능 평가를 통하여 기존 IDMA에서 갖는 성능 특성을 유지하면서 주파수 자원을 효과적으로 활용할 수 있음을 확인할 수 있다.

References

- [1] L. Dai, et al., "Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 74-81, 2015.
- [2] B. Y. Kong and I. Park, "Efficient implementation of multiple interleavers in IDMA for 5G," *2018 ISOCC*, pp. 119-120, Daegu, Korea, 2018.
- [3] L. Ping, L. Liu, K. Y. Wu, and W. K. Leung, "Interleave-division multiple-access (IDMA) communications," in *Proc. 3rd Int. Symp. Turbo Codes & Related Topics*, pp. 173-180, 2003.
- [4] L. Liu, W. K. Leung, and Li Ping, "Simple chip-by-chip multi-user detection for CDMA systems," in *Proc. IEEE VTC'2003-Spring*, pp. 2157-2161, Jeju, Korea, Apr. 2003.
- [5] E. Bedrosian, "The analytic signal representation of modulated waveforms," in *Proc. IRE*, vol. 50, no. 10, pp. 2071-2076,

Oct. 1962.

- [6] K. Abo, et al., "Spectrum efficient single-sideband single-carrier with frequency-domain equalization," in *2015 IEEE 81st VTC Spring*, pp. 1-5, 2015.
- [7] O. Gen-ichiro and S. Takuro, "An orthogonal frequency multiplexed(OFDM) four-layer SSB-QAM modulation method," IEICE technical Report, vol. 114, no. 490, pp. 159-164, Mar. 2015.
- [8] C. An, B. Kim, and H.-G. Ryu, "WR-OFDM system and OOB spectrum comparison," *2017 ICUFN IEEE*, pp. 373-377, Jul. 2017.
- [9] S. Sharma, P. C. Sau, and A. Shukla, "Performance survey of IDMA with different interleavers," in *Proc. 2014 IEEE Int. Conf. SPIN*, pp. 344-348, Noida, India, 2014.
- [10] L. Liu, J. Tong, and Li Ping, "Analysis and optimization of CDMA systems with chip-level interleavers," *IEEE JSAC*, vol. 24, pp. 141-150, Jan. 2006.
- [11] T. Hwang, et al., "OFDM and its wireless applications: A survey," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 4, pp. 1673-1694, May 2009.
- [12] 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.

장 경 수 (Kyeongsoo Jang)



2017년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학사)
2017년 3월~현재 : 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
<관심분야> 무선통신시스템, 신호처리

안 창 영 (Changyoung An)



2013년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학사)
2015년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
2019년 8월 : 충북대학교 전자공학과 (공학박사)

<관심분야> 차세대 이동통신시스템, 무선통신시스템, 디지털신호처리

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