DBpia

논문 16-41-12-06 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '16-12 Vol.41 No.12
https://doi.org/10.7840/kics.2016.41.12.1715

Zero Tail과 Unique Word를 사용하는 DFT-s-OFDM 시스템들의 시간과 주파수 자원 비교

김 병 재*, 유 흥 균°

Comparison of Time and Frequency Resources of DFT-s-OFDM Systems Using the Zero-Tail and Unique Word

Byeongjae Kim*, Heung-Gyoon Ryu°

요 약

다가올 5세대 이동통신 시스템에서 전력효율과 스펙트럼 효율을 향상시키기 위한 여러 가지 기술들이 제안되고 있다. 4세대 이동통신 시스템과 마찬가지로 5세대 이동통신 또한 다중반송파 기반의 변조기술이 많이 연구 되고 있다. 본 논문에서는 이러한 기술 중에 DFT-s-OFDM(Discrete Fourier Transform-spread-orthogonal frequency division multiplexing)기반의 Zero-tail DFT-s-OFDM과 UW(Unique Word)-DFT-s-OFDM 시스템의 구조를 기존 시스템과 분석한다. 두 시스템은 기존 시스템에서 각각 zero와 UW를 심볼에 추가하고 CP(Cyclic Prefix)를 제거 한다. 시스템의 특성을 시뮬레이션을 통해 확인해본 결과, Zero-tail DFT-s-OFDM과 UW-DFT-s-OFDM 시스템이 DFT-s-OFDM 시스템에 비해서 CP길이 만큼 시간 자원을 더 적게 소모하며 OOB(Out of Band) 전력이 약 11dB 정도 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 살펴봤을 때, Zero-tail DFT-s-OFDM과 UW-DFT-s-OFDM 시스템은 DFT-s-OFDM 시스템에 비해서 더 효과적임을 확인 할 수 있다.

Key Words : DFT-s-OFDM, Zero-tail DFT-s-OFDM, UW-DFT-s-OFDM, DFT-spreading, OOB

ABSTRACT

In the upcoming 5-generation mobile communication system, various techniques for improving the power efficiency and spectral efficiency have been proposed. 5G mobile communication system also have been studied a lot of multi-carrier-based modulation techniques like the 4G mobile communication system. In this paper, we analyzed the conventional system structure of the Zero-tail DFT-s-OFDM and UW (Unique Word) -DFT-s-OFDM system based on DFT-s-OFDM system in these techniques. UW and zero are added and used each system, and CP is removed. the result of quality of systems for simulation, OOB(Out of Band) power of Zero-tail DFT-s-OFDM and UW-DFT-s-OFDM use the less time resource as long as CP length, also both systems are reduced about 11dB than DFT-s-OFDM system. In these result, Zero-tail DFT-s-OFDM and UW-DFT-s-OFDM system are more effective than DFT-s-OFDM system.

※ 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).

* First Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, bj5236@nate.com, 학생회원
° Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, ecomm@cbu.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2016-10-285, Received October 4, 2016; Revised November 9, 2016; Accepted November 9, 2014

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

앞으로 다가올 5G 이동통신 시스템에서는 고품질의 모바일 서비스 사용으로 데이터 트래픽이 급격하게 증가할 것으로 예상된다[1]. 이에 따라서 더 높은 전력효율, 스펙트럼 효율 등을 필요로 할 것이고, 이런 수요를 맞추기 위한 다양한 변조기술 연구가 진행되고 있다.

우선 현재 4세대 이동통신에서는 OFDM 기술이 핵심기술로 사용되고 있다. 이 기술은 여러개의 부반송파를 사용하는 다중반송파 시스템이다. OFDM과 같은 다중반송파 시스템은 CP를 이용하여 단일반송파 시스템에 비하여 주파수 선택적인 채널에서 채널 등화를 보다 효과적으로 할 수 있다. 이러한 효과적인 채널등과 기법으로 인해 수신기를 간소화 시킬 수 있으며, 이는 데이터의 고속 송수신을 가능하게 한다. 이와 같은 장점으로 인해 5세대 이동통신 시스템을 위한 후보 기술들 역시 다중반송파 기반의 기술들이 많이 제안되었다.

하지만 다중반송파 시스템은 여러 부반송파들이 더해지면서 첨두전력 대 평균전력비(peak to average power ratio : PAPR)이 높아진다는 단점이 있다. 높은 PAPR은 HPA 동작점 주변의 넓은 선형구간을 필요로 하므로 비선형적인 왜곡을 유발하고 전력 효율을 저하시킨다[2,3]. 이러한 문제를 유발하는 PAPR을 줄이기 위한 대표적인 방법으로 DFT-s-OFDM 시스템이 있다[4]. DFT-s-OFDM 시스템은 PAPR은 줄어들지만 OOB 전력이 높다. OOB 전력이 높으면 누설전력이 늘어나고 인접 대역과의 보호대역을 많이 필요로 하기 때문에 스펙트럼 효율이 떨어진다. 따라서 5세대 이동통신 시스템에 적합하지 않다. 이러한 OOB 전력 저감을 위한 DFT-s-OFDM 기반의 기술 중에는 대표적으로 데이터 블록들 사이에 0을 삽입하는 Zero-tail DFT-s-OFDM과 블록들 사이에 특정 sequence가 삽입 되는 UW(Unique Word)-DFT-s-OFDM등이 있다[5,6]. 자원은 한정적이기 때문에 앞으로의 이동통신 시스템의 수요 조건을 충족하기 위해서는 시간, 주파수등의 자원을 효율적으로 사용하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 언급된 DFT-s-OFDM 시스템과 Zero-tail DFT-s-OFDM, UW-DFT-s-OFDM 시스템들을 비교해 볼 것이다. 먼저 DFT-s-OFDM 어떠한 구조로 이루어져있는지 분석해 보고 Zero-tail DFT-s-OFDM 시스템과 UW-DFT-s-OFDM 시스템과의 차이를 설명할 것이다. 다음으로 각각의 시스템들을 이용하여 동일한 데이터를 보내는 경우 나타나는 CP와 sequence, zero의 길이가 같은 동등한 조건에서 스펙트럼 특성들을 비교하고 이를 통해 OOB 전력이 얼마나 효과적으로 감소하는지 확인하고 이러한 OOB 전력 저감될 때 시간, 주파수 자원이 얼마나 사용되는지 비교할 것이다.

Ⅱ. DFT-s-OFDM

DFT-s-OFDM 시스템은 OFDM 시스템의 PAPR을 효과적으로 감소시킨다. 이러한 PAPR 저감 효과는 DFT spreading 기법 때문에 나타난다. 그림 1은 이러한 DFT-s-OFDM의 시스템 구성도이다. 먼저 송신단은 IDFT를 수행하기 전에 데이터 심볼을 N_D포인트로 DFT를 연산을 먼저하고 0을 추가해 부반송파에 맵핑한 후에 M포인트로 IDFT 연산을 수행한다. 그 후 CP를 추가하고 이 신호를 전송한다. 다음으로 수신단은 수신된 신호에서 CP를 제거하고 M포인트로 DFT 연산을 수행하고 부반송파 디맵핑을 통해 추가했던 0부분을 제외한 데이터를 N포인트로 IDFT연산을 수행하여 데이터 심볼을 얻는다.

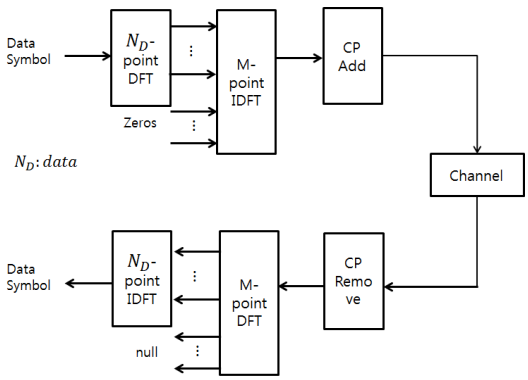


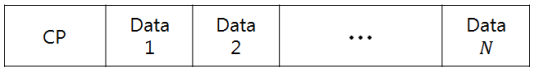
그림 1. DFT-s-OFDM의 시스템 구성도
Fig. 1. System Model of DFT-s-OFDM

Ⅲ. 시스템 모델

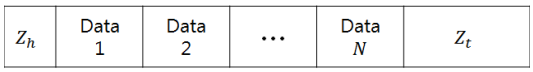
3.1 각 시스템의 심볼

그림 2는 각 시스템의 심볼을 나타낸다. 그림(a)는 DFT-s-OFDM의 심볼을 나타낸다. DFT-s-OFDM의 경우 N개의 데이터를 보내는 경우에는 N개의 데이터를 N-point DFT spreading 후 M-point iDFT 연산을 수행 하고 데이터열의 뒷부분을 앞으로 복사해오는 Cyclic Prefix를 추가하고 이 신호를 송신한다. 이러한 과정에서 DFT-s-OFDM은 CP로인한 시간영역에서의

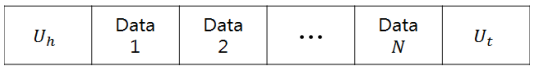
www.dbpia.co.kr



(a) DFT-s-OFDM



(b) Zero-tail DFT-s-OFDM



(c) UW-DFT-s-OFDM

그림 2. DFT-s-OFDM, Zero-tail DFT-s-OFDM, UW-DFT-s-OFDM 시스템의 심볼
Fig. 2. Data Symbol of DFT-s-OFDM, Zero-tail DFT-s-OFDM and UW-DFT-s-OFDM.

자원 소모를 가져온다. 이와는 달리 그림(b)와 그림(c)에서 나타내고 있는 Zero-tail DFT-s-OFDM과 UW-DFT-s-OFDM의 경우 N개의 데이터를 보낼 경우에 기존의 DFT-s-OFDM에서 N-point DFT spreading을 수행한 것과는 차이를 보인다. Zero-tail DFT-s-OFDM의 경우에는 데이터의 앞뒤에 도합 N_Z 개의 0을 추가하여 $(N+N_Z)$-point DFT spreading 후 iDFT 연산을 수행한다. UW-DFT-s-OFDM 또한 Zero-tail DFT-s-OFDM와 마찬가지로 도합 N_{UW}개의 특정 sequence를 데이터열의 앞뒤에 추가하여 $(N+N_{UW})$-point DFT spreading 후 iDFT 연산을 통해 시간영역의 신호를 생성한다. 하지만 이렇게 생성된 Zero-tail DFT-s-OFDM과 UW-DFT-s-OFDM의 신호는 DFT-s-OFDM와는 달리 Cyclic Prefix를 추가하지 않고 신호를 송신한다. DFT spreading 전 추가한 0과 sequence가 CP와 같은 역할을 하기 때문이다.

3.2 Zero-tail DFT-s-OFDM

그림 3은 Zero-tail DFT-s-OFDM의 시스템 구성도이다. Zero-tail DFT-s-OFDM은 앞서 설명한 그림 2의 (b)와 같이 데이터 블록의 앞부분(head)과 심볼열 뒷부분(tail)에 0을 추가하여 N개의 데이터에 추가한 0의 숫자를 더한 N_{zt} 포인트로 DFT 연산을 수행한다. 이때 추가되는 0의 수는 채널환경에 의해 결정되고 상황에 따라 유동적으로 변경되며 이로 인해 데이터의 연속성을 유지시켜줌으로써 OOB전력이 감소한다. 이러한 N_{zt}-point DFT spreading 다음 0을 추가해 부반송파에 맵핑한 후 M 포인트로 IDFT 연산을 수행하고 이 신호를 송신한다. 이때 DFT-s-OFDM와

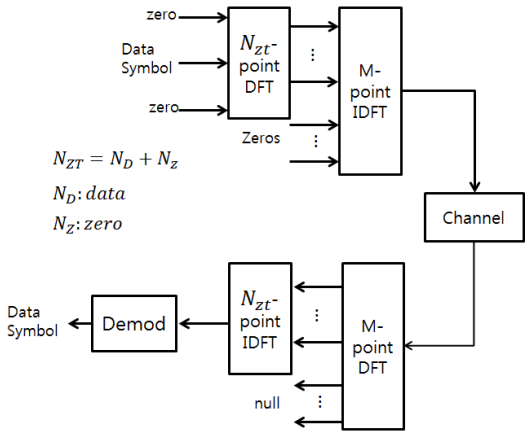


그림 3. Zero-tail DFT-s-OFDM의 시스템 구성도
Fig. 3. System Model of Zero-tail DFT-s-OFDM.

는 달리 송신기의 최종단인 시간영역에서 Cyclic Prefix를 추가하지 않고 송신한다. 앞서 DFT spreading에서 데이터의 앞뒤로 추가한 0이 CP와 같은 역할을 하기 때문에 추가적인 시간 자원을 소모하지 않는다. 채널을 통해 송신된 신호는 수신기에서 M 포인트로 DFT연산을 수행하고 부반송파 디맵핑을 통해 DFT연산 후에 추가했던 0을 제거하고 N_{zt} 포인트로 IDFT연산을 수행한다. 마지막으로 데이터 심볼열들 사이에 추가했던 0을 제거하여 원래의 데이터를 얻는다.

3.3 UW-DFT-s-OFDM

UW-DFT-s-OFDM는 Zero-tail DFT-s-OFDM와 유사한 형태를 가지고 있다. 하지만 데이터의 앞과 뒤에 0을 추가하는 Zero-tail DFT-s-OFDM과는 달리 특정 sequence를 추가하는 형태를 가지고 있다.

그림 4는 UW-DFT-s-OFDM의 시스템 구성도 이다. 먼저 송신기에서 그림4 와 같이 N개의 데이터에 N_U개의 UW를 두 부분(head, tail)으로 나누어 블록 양단에 추가하여 N_{UW} 포인트 DFT연산을 수행한다. 이 때 UW head와 tail의 길이는 채널환경에 따라 결정되고 UW는 데이터 블록 간의 연속성을 유지시켜줌으로써 OOB 전력을 낮춰준다. 이러한 N_{UW}-point DFT spreading 다음 0을 추가해 부반송파 맵핑을 하고 M포인트로 IDFT 연산을 수행하여 이 신호를 송신한다. 또한 UW는 다중경로 채널에서의 CP의 역할을 대신 하므로 CP를 추가할 필요가 없다. 때문에 UW-DFT-s-OFDM는 DFT-s-OFDM과 달리 시간자원을 소모하지 않는다. 채널을 통해 송신된 신호를 수

www.dbpia.co.kr

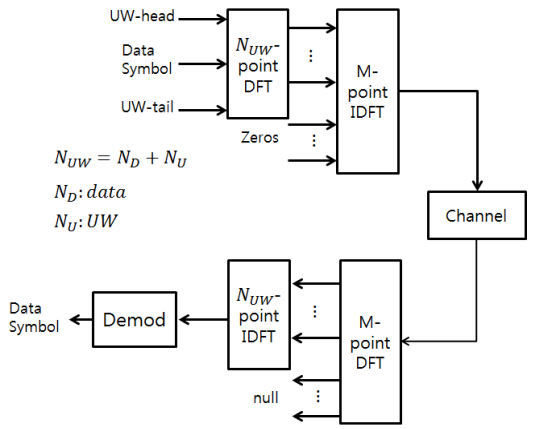


그림 4. UW-DFT-s-OFDM의 시스템 구성도
Fig. 4. System Model of UW-DFT-s-OFDM.

신기에서 M포인트로 DFT연산을 수행하고 부반송파 디맵핑을 통해 송신단에서 DFT 연산 후에 추가했던 0을 제거하고 N_{UW}포인트로 IDFT연산을 수행한다. 그리고 추가했던 UW를 제거하여 원래의 신호를 얻는다.

Ⅳ. 시뮬레이션 및 분석

본 논문에서는 DFT-s-OFDM, Zero-tail DFT-s-OFDM, UW-DFT-s-OFDM 시스템들에 대하여 동일한 크기의 데이터를 전송할 경우 시간영역 자원 할당량에 대한 주파수영역 스펙트럼 특성에 대한 비교를 수행하였다.

시뮬레이션은 MATLAB프로그램을 사용하여 진행되었고 표 1은 본 논문에서 고려한 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다. 전체 FFT 크기는 128을 고려하였으며, 128개의 부반송파 중 56개의 부반송파를 데이터를 전송하는데 사용하였으며, 좌측 우측 나머지 부반송파는 0을 할당하였다.

그림 5는 DFT-s-OFDM 시스템의 스펙트럼이다. 이 때 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 데이터 전송에 사용된 subcarrier의 수는 56개이고 CP 길이는 8이며 FFT size는 128로 설정 하였다.

그림 6은 Zero-tail DFT-s-OFDM 시스템의 스펙트럼이다. 마찬가지로 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같고, 데이터 전송에 사용된 subcarrier의 수는 56개, 삽입한 zero의 길이는 head는 1, tail은 7이다.

그림 7은 UW-DFT-s-OFDM 시스템의 스펙트럼이다. 시뮬레이션 파라미터는 위와 동일하고 데이터 전송에 사용된 subcarrier의 수는 56개이며 한 UW의 길이는 head는 4, tail은 4이며 Zadoff-Chu sequence를 사용하였다[7]. Zadoff-Chu sequence는 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$U = [1, \cdots, e^{\frac{-j\pi k^2}{M}}, \cdots, e^{\frac{-j\pi (M-1)^2}{M}}] \quad (1)$$

표 1. 시뮬레이션 환경
Table 1. Simulation parameters

DFT size of Tx	56 (DFT-s-OFDM), 64 (ZT-DFT-s-OFDM), 64 (UW-DFT-s-OFDM)
iDFT size of Tx	128
Used sub-carrier for data	56
UW sequence	Zadoff-Chu sequence
CP UW(head/tail) zero(head/tali) length	8 8(4/4) 8(1/7)
Channel	AWGN

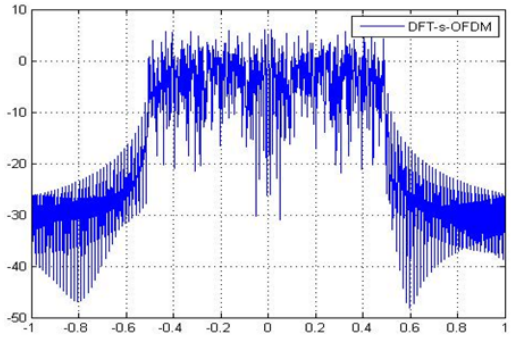


그림 5. DFT-s-OFDM 시스템의 스펙트럼
Fig. 5. Spectrum of DFT-s-OFDM.

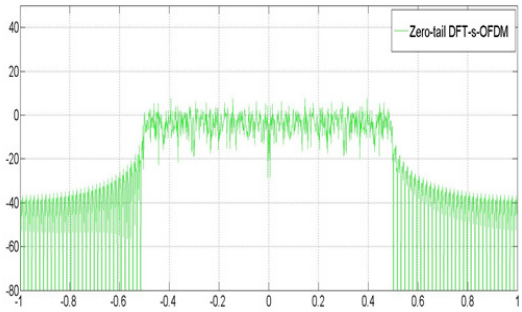


그림 6. Zero-tail DFT-s-OFDM 시스템의 스펙트럼
Fig. 6. Spectrum of Zero-tail-DFT-s-OFDM.

www.dbpia.co.kr

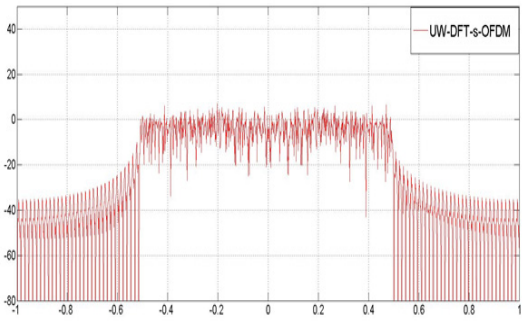


그림 7. UW-DFT-s-OFDM 시스템의 스펙트럼
Fig. 7. Spectrum of UW-DFT-s-OFDM.

여기서 M은 sequence의 길이이고 k는 0부터 M-1까지 정수이다.

시뮬레이션 결과를 분석해 보면 먼저 그림 5의 DFT-s-OFDM의 OOB 전력은 약 -25dB정도임을 확인할 수 있다. 이는 기존의 OFDM과 같은 크기이다. OOB 전력을 낮추기 위한 시스템인 그림 6의 Zero-tail DFT-s-OFDM의 OOB 전력은 약 -36dB, 그림 7의 UW-DFT-s-OFDM의 OOB 전력은 Zero-tail DFT-s- OFDM시스템과 유사하게 약 -36dB 정도임을 확인할 수 있다. UW와 zero가 DFT 블록 사이의 연속성을 제공하기 때문에 DFT-s-OFDM 시스템의 블록 사이의 불연속성으로 인한 고주파 성분이 제거되어 OOB 전력이 줄어든다. 따라서 동일한 크기의 데이터를 보낼 때 CP 길이와 UW, Zero의 길이가 동일한 조건에서 기존 DFT-s-OFDM보다 Zero-tail DFT-s-OFDM과 UW-DFT-s-OFDM 시스템이 OOB 전력이 약 11dB정도 낮다. DFT-s-OFDM 시스템의 경우 CP만큼의 시간자원을 필요로 한다. 이와는 다르게 Zero-tail DFT-s-OFDM과 UW-DFT-s-OFDM 시스템은 CP를 사용하지 않아 CP 길이 만큼 시간 자원이 절약되지만 대신 DFT spreading에 데이터와 함께 zero 혹은 UW를 삽입하기 때문에 각각 zero와 UW의 수만큼 DFT size가 커지게 된다.

표 2는 본 논문에서 고려한 시스템들을 사용하여 동일한 크기의 데이터를 전송할 때 사용되는 시간-주파수 특성을 비교한 것이다. 기존의 DFT-s-OFDM은 높은 OOB 특성을 갖으며 이 크기는 시뮬레이션 결과 약 -25dB정도이다. 이에 비해 Zero-tail DFT-s-OFDM 및 UW-DFT-s-OFDM은 -36dB로서 약 11dB의 OOB 전력을 추가적으로 저감시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 여기에서, 전송 데이터 심볼 대비 전체 송신 신호의 시간영역 샘플의 비율을 살펴보면, DFT-s-OFDM은 41.1%, Zero-tail DFT-s-OFDM은 43.8%, UW-DFT-s-OFDM은 43.8%를 나타낸다. 같은 크기의 데이터를 보낼 때 DFT-s-OFDM의 경우 CP 만큼의 시간자원을 더 소모하며 Zero-tail DFT-s-OFDM, UW-DFT-s-OFDM의 경우 DFT-s-OFDM에 비해 OOB 전력은 약 11dB 저감시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

표 2. 시간-주파수 자원 비교
Table 2. Comparison resource of time and frequency

	DFT-s-OFDM	Zero-tail DFT-s-OFDM	UW-DFT-s-OFDM
OOB	-25dB	-36dB	-36dB
Time samples	136	128	128
Allocated data symbols	56	56	56
Allocated data symbols / Time samples	0.411	0.438	0.438

V. 결 론

본 논문은 DFT-s-OFDM, Zero-tail DFT-s-OFDM, UW-DFT-s-OFDM 시스템의 구조를 분석해보고 동일한 크기의 데이터를 전송할 경우 각 시스템들의 시간 및 주파수 자원을 각각 비교해 보았다. 주파수 자원을 비교해 봤을 때 Zero-tail-DFT-s-OFDM과 UW-DFT-s-OFDM은 약 -36dB의 비슷한 크기의 OOB전력을 갖으며 기존 DFT-s-OFDM 시스템의 -25dB 대비 11dB 정도 저감되는 것을 확인하였다. 그리고 하나의 심볼 단위로 시간 자원을 비교해 보면 56개의 부반송파를 이용하고 128의 FFT size를 갖는 조건에서 DFT-s-OFDM의 경우 CP를 추가함으로써 시간자원이 더 소모되어 전송데이터 심볼 대비 전체 송신신호의 시간영역 샘플 비가 41.1% Zero-tail DFT-s-OFDM과 UW-DFT-s-OFDM 시스템은 CP를 사용하지 않아 CP의 길이만큼 시간 자원이 덜 소모되며 각각43.8%의 비율을 가진다. 또한 zero와 UW를 DFT spreading에 추가함으로써 CP와 같은 효과를 얻을 수 있다. 즉, 위의 결과에 따라 Zero-tail DFT-s-OFDM과 UW-DFT-s-OFDM시스템은 기존의 DFT-s-OFDM 시스템에 비해 OOB가 저감되며 시간자원 또한 적게 소모하므로 더 효과적임을 확인 할 수 있다.

www.dbpia.co.kr

References

[1] Y. Saito, et al., "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access," in *VTC Spring*, pp. 1-5, Dresden, Germany, Jun. 2013.

[2] P. Banelli, S. Buzzi, G. Colavolpe, A. Modenini, F. Rusek, and A. Ugolini, "Modulation formats and waveforms for 5G networks: Who will be the heir of OFDM?," *IEEE Sign. Process. Mag.*, vol. 31, no. 6, pp. 80-93, Nov. 2014.

[3] B. Ai, Z. Yang, C. Pan, T. Zhang, and J. Ge, "Effects of PAPR reduction on HPA predistortion," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 51, no. 4, pp. 1143-1147, 2005.

[4] Z. Wang, X. Ma, and G. B. Giannakis, "OFDM or single-carrier block transmissions?," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 52, no. 3, pp. 380-394, 2004.

[5] H. G. Myung, et al., "Peak-to-average power ratio of single carrier FDMA singles with pulse shaping," in *Proc. PIMRC 2006*, pp. 1-5, Helsinki(Finland), Sept. 2006.

[6] G. Berardinelli, F. M. L. Tavares, T. B. Sorensen, P. Mogensen, and K. Pajukoski, "Zero- tail DFT-spread-OFDM signals," *IEEE Globecom Wkshps*, pp. 229-234, 2013.

[7] 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.

[8] D. Chu, "Polyphase codes with good periodic correlation properties," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 18, no. 4, pp. 531-532, Jul. 1972.

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 논문심사위원

2002년 : 한국전자파학회 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 통신신호처리

www.dbpia.co.kr