

SLM 기반 Walsh Hadamard 변환 및 DSI 기법을 이용한 PAPR 저감 기법

PAPR Reduction Method Using SLM-based WHT and DSI

김 상 우 · 김 남 일 · 유 흥 균

Sang-Woo Kim · Namil Kim · Heung-Gyoon Ryu

요 약

본 논문에서는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에서 다중 캐리어(multi carrier) 변조에 의해 크게 발생되는 PAPR(Peak to Average Power Ratio)을 저감하기 위한 방법으로 WHT(Walsh Hadamard Transform)를 이용한 PAPR 저감 기법들을 제안한다. 제안하는 방법은 기본적으로 WHT를 기존의 PAPR 저감 기법들과 혼합하여 추가적인 대역 손실 및 큰 복잡도의 증가 없이 추가적인 PAPR 저감 성능을 나타내도록 하는 방법으로, 본 논문에서는 SLM(Selective Mapping) 및 DSI(Dummy Sequence Insertion) 방법을 WHT와 결합한 방법을 제시하며, 시뮬레이션 결과로부터, WHT를 이용한 PAPR 저감 기법들이 기존의 PAPR 저감 기법보다 항상 약 1 dB 가량의 더 나은 PAPR 저감 효과를 나타냄을 확인하였다. 또한 제안된 방법은 PAPR 저감뿐만 아니라 주파수 다이버시티(diversity) 효과를 얻을 수 있기 때문에 비선형 증폭기에 의한 비선형 왜곡뿐만 아니라 다중 경로 페이딩(multipath fading)이 심하게 일어나는 무선 채널 환경에서 보다 안정된 데이터 전송을 가능케 할 것으로 기대된다.

Abstract

In this paper, we propose some PAPR(Peak to Average Power Ratio) reduction methods using WHT(Walsh Hadamard Transform) to reduce high PAPR generated in OFDM system because of multi carrier modulation. These proposed methods are the methods which has additional PAPR reduction performance without a loss of bandwidth efficiency and a large increment of calculation complexity than common PAPR reduction methods by combining the WHT with some common methods. In this paper, we propose two PAPR reduction methods made by combining a SLM(Selective Mapping) and DSI(Dummy Sequence Insertion) with a WHT. From simulation result, we can find that the PAPR reduction methods using a WHT can get about 1 dB additional PAPR reduction performance than common PAPR reduction methods; they are SLM and DSI. And, because our proposed methods have not only PAPR reduction effect, but also frequency diversity effect, more stabile data transmission is possible in nonlinear HPA and multipath fading channel.

Key words : OFDM, PAPR, SLM, WHT, DSI

I. 서 론

MC(Multi-Carrier) 시스템의 하나로 잘 알려진 OF-

DM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템은 기본적으로 병렬 데이터 전송을 통해 고속의 데이터 통신을 가능케 하며, 다중 경로 페이딩 및

충북대학교 전자공학과 및 컴퓨터정보통신연구소(Dept. of Electronic Engineering and Research Institute of Computer, Information & Communication, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20050920-106

· 수정완료일자 : 2005년 10월 27일

impulse 잡음에 강할 뿐만 아니라, fast Fourier transform(FFT) 기술을 이용한 효과적인 hardware 구성이 가능하다는 장점 등을 갖는다. 이로 인해, 최근 들어 초고속 유무선 통신을 위한 시스템으로써 OFDM이 크게 주목 받고 있으며, 세계적으로 여러 곳에서 이를 기반으로 한 통신 시스템의 표준화 작업이 이루어지고 있다.

그러나 OFDM은 다중 캐리어를 이용한 변조 과정에서 높은 PAPR(Peak to Average Power Ratio)을 발생시키는 커다란 단점을 갖는다. 높은 PAPR을 갖는 신호는 HPA(High Power Amplifier)를 통과하면서 큰 비선형 왜곡을 겪게 되며, 이는 신호의 평균 전력을 낮춤으로써 다중 캐리어 신호의 전송 거리를 감소시킬 수 있고, 각 부반송파들 간의 간섭을 유발시킬 뿐만 아니라, 대역 외 간섭 또한 크게 증가시킨다^{[1]-[3]}. 따라서 이러한 PAPR을 줄이는 방법들에 대한 연구는 매우 중요하다.

이렇게 통신 성능에 큰 악영향을 미치는 PAPR을 저감하기 위해, clipping, block coding, SLM(Selective Mapping), PTS(Partial Transmit Sequence), DSI (Dummy Sequence Insertion), TR(Tone Reservation) 등과 같은 기술들이 많이 연구되었다. 우선 clipping 기법은 쉽게 구성이 가능하지만 out-of-band radiation과 in-band distortion으로 인해 신호 품질이 저하되는 단점을 갖는다^{[4],[5]}. Block coding 기법은 신호의 왜곡없이 PAPR을 3 dB 이내로 제한할 수 있지만, 부반송파의 수가 증가할수록 계산량이 지수적으로 증가하고, code rate는 크게 떨어져 대역효율이 크게 나빠진다^[6]. SLM은 동일한 정보에 여러 위상 시퀀스를 곱하여 이 중에서 가장 낮은 PAPR을 갖는 데이터 시퀀스를 선택하여 전송하고^{[7],[8]}, PTS는 부반송파를 여러 개의 cluster로 나누어 낮은 PAPR의 신호가 되도록 최적의 rotation factor를 곱하여 전송한다^{[9],[10]}. 이 두 방식은 여러 개의 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 블록을 사용하여 시스템의 복잡도가 증가할 뿐만 아니라 데이터의 복원을 위한 위상 회전 정보의 전송이 필수적이다. 그러나 두 방식 모두 위상 회전을 통해 정보 신호의 왜곡 없이 효과적으로 PAPR을 저감할 수 있다는 장점이 있다. 마지막으로, DSI와 TR 기법은 유사한 방법으로써, DSI는 동일한 정보 데이터에 여러 가지의 시퀀스를 삽입하여 이중 가장 낮

은 PAPR을 갖는 데이터 시퀀스를 선택하여 전송하는 방법이고^[11], TR은 정해진 몇 개의 부반송파에 PAPR 저감을 위한 데이터를 삽입함으로써 출력 신호의 PAPR을 낮추는 방법이다^[12]. 이들은 앞서의 SLM 및 PTS와 같이 시스템의 계산량을 증가시키는 단점을 갖지만 신호에 왜곡을 주지 않고 PAPR을 저감한다는 장점을 가지며, 특히 삽입된 dummy 시퀀스 및 부가 데이터는 신호 복원 과정에는 사용되지 않으므로 부가 정보를 보낼 필요가 없다는 큰 장점을 갖는다.

본 논문에서는 WHT(Walsh Hadamard Transform)이 OFDM 시스템 내에서 IFFT 블록 앞에서 사용될 때 QPSK 변조된 기존의 OFDM보다 약 1 dB 가량 PAPR이 낮은 신호를 출력함을 확인하고^[13], 이를 기존의 다른 PAPR 저감 기법들과 혼합하여 보다 나은 PAPR 저감 효과를 얻고자 한다. 제안된 방법은 WHT를 이용한 SLM 기법과 DSI 기법, 이렇게 두 가지로 제시한다. 먼저 SLM은 병렬로 입력되는 신호를 각기 다른 위상 회전 시퀀스로 변환시키고 이를 WHT 블록으로 입력하여 다중 레벨을 갖는 신호들을 얻는다. 이들은 각기 다른 IFFT 블록으로 입력되어 각각의 출력 신호로 나타나며, 이들 중 가장 낮은 PAPR을 갖는 신호가 최종 출력 신호로 선택된다. 여기서 위상 회전 시퀀스가 삽입되는 위치는 매우 중요해서, 만약 WHT 변환 후에 위상 회전 시퀀스를 삽입하면 기존의 SLM과 그 성능이 같아진다. 다음으로 DSI 기법은 병렬 브랜치 중 몇몇을 PAPR 저감용 데이터 삽입을 위해 비워두고 WHT 블록을 통과한 후, IFFT를 거쳐 출력 정보 신호를 얻고, 비워둔 브랜치에 여러 가지의 PAPR 저감용 데이터를 삽입하여 WHT, IFFT 변환 후 PAPR 저감용 신호들을 얻는다. 이렇게 얻어진 신호들을 앞서 얻은 정보 신호와 더할 때 가장 낮은 PAPR을 갖게 하는 PAPR 저감용 신호가 선택되고 정보 신호와 더해져 최종 송신 신호로 출력한다.

제안된 기법은 기존의 PAPR 저감 기법에 비해 약간의 복잡도가 증가하는 단점은 있지만 그 증가치가 그리 크지 않으며, PAPR 저감 효과에 있어서 기존의 방법보다 약 1 dB의 추가적인 성능 향상을 기대할 수 있다. 또한 WHT를 거친 신호는 주파수 다이버시티 효과를 가지므로^[14] 다중 경로 페이딩에 의한 시

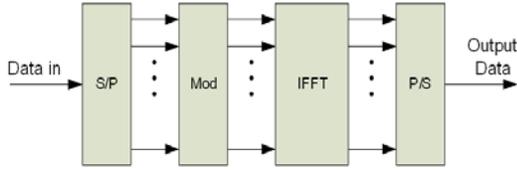


그림 1. OFDM 블록 구성도
Fig. 1. Block diagram of OFDM system.

시스템 성능 열화를 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

II. OFDM 시스템과 기존 PAPR 기법

2-1 OFDM 시스템

다음의 그림 1은 기본적인 OFDM 블록 구성도를 나타낸다.

최초 입력되는 원천 데이터는 S/P(Serial to Parallel) 변환 블록을 통해 N 개의 병렬 데이터로 변환되고 알맞은 변조 레벨로 변조된 후 IFFT 블록으로 입력된다. 이때의 병렬 데이터를 $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ 라 하면 IFFT 블록을 통과한 후 N 개의 부반송파를 갖는 송신 신호는 다음과 같이 나타난다.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} X_n \cdot e^{j2\pi n\Delta f t}, \quad 0 \leq t \leq NT. \quad (1)$$

여기서 $j = \sqrt{-1}$, Δf 는 서브캐리어 bandwidth 그리고 NT 는 data block period이다.

이러한 송신 신호의 PAPR은 다음과 같이 정의된다.

$$PAPR = \frac{\max |x(t)|^2}{E[|x(t)|^2]}. \quad (2)$$

여기서 $E[\cdot]$ 는 평균 전력을 의미한다.

2-2 WHT를 삽입한 OFDM System

그림 2는 WHT 블록만을 삽입한 OFDM 시스템의 블록 구성도이다. 최초 입력된 신호는 S/P 변환 후 알맞은 레벨로 변조되어 WHT 블록으로 입력된다. 여기서 변조된 신호를 $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ 라 하면 WHT를 통한 출력 신호는 $C = [C_0, C_1, \dots, C_{N-1}]^T = HX$ 로 다음과 같이 표현된다.

$$C_k = \sum_{n=0}^{N-1} h_{k,n} X_n, \quad k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (3)$$

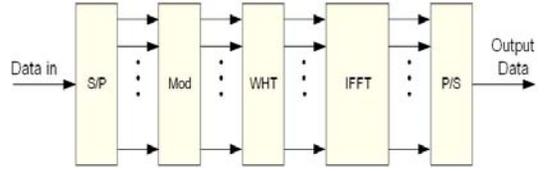


그림 2. WHT를 삽입한 OFDM의 블록 구성도
Fig. 2. Block diagram of OFDM using WHT.

여기서 $h_{k,n}$ 은 WHT의 n 번째 행, k 번째 열의 원소를 의미한다. 사용된 WHT는 $N \times N$ Walsh Hadamard matrix로 구성되며, 다음과 같다.

$$H_1 = (1),$$

$$H_N = \begin{pmatrix} H_{N/2} & H_{N/2} \\ H_{N/2} & -H_{N/2} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

WHT 블록을 통과한 출력신호는 다시금 IFFT 블록으로 입력되는데 IFFT 블록을 통과한 N 개의 부반송파를 갖는 신호는 다음과 같이 정의된다.

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} h_{k,l} X_l e^{j2\pi k\Delta f t}, \quad 0 \leq t \leq NT. \quad (5)$$

WHT를 추가한 OFDM은 기존의 OFDM과는 다르게 병렬 데이터를 각기 다른 직교 코드들로 확산하여 합치고, 합쳐진 각 칩들을 각기 다른 부반송파에 의해 전송하므로 주파수 다이버시티 효과를 추가로 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 PAPR 특성 또한 기존의 OFDM보다 낮으므로 PAPR 저감 측면에서도 보다 유리한 조건을 갖는다. WHT를 추가한 OFDM 신호의 PAPR은 다음과 같이 정의된다.

$$PAPR = \frac{\max |s(t)|^2}{E[|s(t)|^2]}. \quad (6)$$

그림 3은 일반 OFDM과 WHT를 삽입한 OFDM에서 PAPR의 CCDF 곡선을 비교한 것이다. 동그라미로 표시된 곡선이 일반 OFDM, 삼각형으로 표시된 곡선이 WHT를 삽입한 OFDM의 CCDF를 나타낸다. QPSK 변조를 사용하고 부반송파의 수 N 은 각각 64, 128 그리고 256인 경우를 고려했을 때, 그림으로부터 WHT를 삽입한 OFDM이 일반 OFDM 보다 항상 약 1 dB 가량 낮은 PAPR을 갖는다는 것을 알 수 있다.

2-3 Selective Mapping 기법

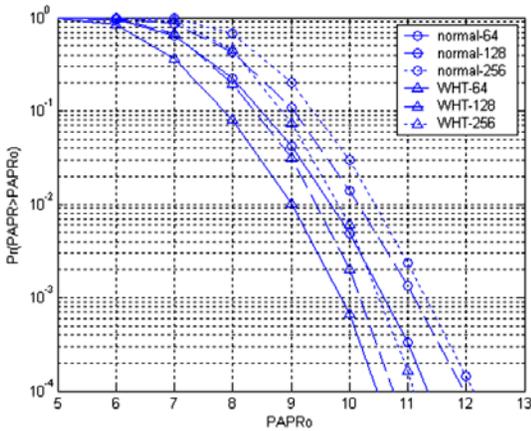


그림 3. 일반 OFDM과 WHT를 삽입한 OFDM과의 PAPR 비교(QPSK, $N=64, 128, 256$)
 Fig. 3. Comparison of OFDM with OFDM using WHT about PAPR(QPSK, $N=64, 128, 256$).

SLM(Selective Mapping) 기법은 입력되는 병렬 데이터에 여러 가지의 위상 시퀀스들을 곱하고 이중 가장 낮은 PAPR을 나타내는 신호를 선택하여 전송하는 방법으로, 그림 4와 같이 표현된다. 최초 입력된 데이터가 S/P 변환을 거친 후 $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ 로 표현된다면 각 copy 브랜치에서 위상 회전 시퀀스 $B^{(u)}$ 에 의해 변환된 데이터는 $\hat{X}^{(u)} = [\hat{X}_0^{(u)}, \hat{X}_1^{(u)}, \dots, \hat{X}_{N-1}^{(u)}]^T$ 로 표현되며 이때 각각의 $\hat{X}_n^{(u)}$ 는 다음과 같이 표현된다(단, $1 \leq u \leq U$).

$$\hat{X}_n^{(u)} = X_n \cdot b_n^{(u)}. \quad (7)$$

그리고, 각각의 IFFT를 통과한 데이터는 다음과 같다.

$$s^{(u)}(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \hat{X}_k^{(u)} e^{j2\pi k \Delta f t}, \quad 0 \leq t \leq NT. \quad (8)$$

결국 최종 출력신호는 이들 중 가장 낮은 PAPR을 갖는 신호가 선택되어 전송된다. 여기서 PAPR 저감 효과는 copy된 수 U 가 커질수록, 즉 선택할 경우의 수가 많을수록 크게 나타난다.

SLM 기법은 신호의 왜곡 없이 PAPR을 크게 저감할 수 있다는 장점을 갖는 반면, copy된 수와 동일한 수의 IFFT 블록이 사용되므로 시스템 복잡도가 크게 증가하며, 선택된 위상 sequence에 대한 정보를 별도의 부가 채널을 통해 반드시 전송해야만 한다는 큰

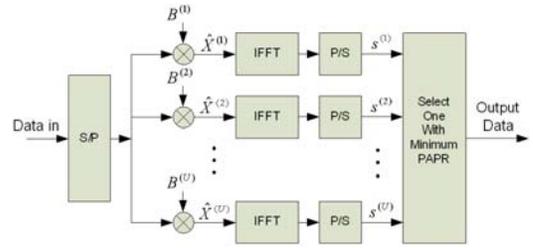


그림 4. Selective mapping 기법을 이용한 OFDM
 Fig. 4. OFDM system using selective mapping method.

단점을 갖는다.

2-4 Dummy Sequence Insertion 기법

그림 5는 DSI 기법을 이용한 OFDM 송신기 구성도이다. 직/병렬 변환부는 순차적인 입력 데이터를 U 개로 병렬 변환하여 출력한다. 그리고 직/병렬 변환부 출력에는 U 개의 dummy 시퀀스가 삽입되어 IFFT의 크기가 N 이 된다. IFFT 변환 부는 정보와 dummy 시퀀스의 입력을 IFFT 변환하고, 병/직렬 변환하여 시간영역의 파형을 출력한다. 마지막으로 PAPR 비교기는 IFFT 변환부 출력 신호의 PAPR을 측정하여 가장 낮은 PAPR을 갖는 신호를 출력한다.

DSI 기법은 추가된 dummy 시퀀스의 길이가 증가할수록 전송율(data rate)면에서의 효율은 떨어지지만 PAPR 저감 효과는 더 나아지는 특성을 갖는다. 또한, 사용된 dummy 시퀀스에 대한 정보가 수신기에서는 필요치 않으므로 별도의 부가 정보를 보낼 필요가 없으며, 기존의 SLM 및 PTS 기법보다 계산량이 적다는 면에서 그 장점을 찾을 수 있다.

III. 제안된 PAPR 저감 기법

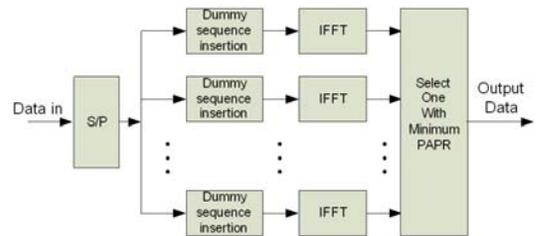


그림 5. Dummy sequence insertion 기법을 이용한 OFDM
 Fig. 5. Block diagram of OFDM using DSI method.

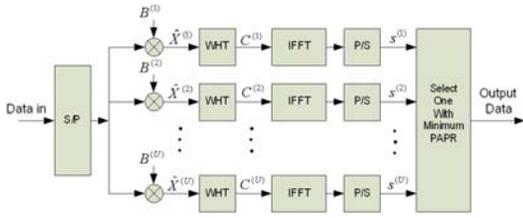


그림 6. WHT를 이용한 SLM 기법의 블록 구성도
Fig. 6. OFDM system using SLM method with WHT.

3-1 WHT를 이용한 SLM 기법

그림 6은 기존의 SLM 기법에 WHT를 추가한 OFDM 시스템의 구성도를 나타낸다. 최초 입력된 데이터가 S/P 변환을 거친 후 $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ 로 표현된다면 각 copy 브랜치에서 위상 회전 시퀀스 $B^{(u)}$ 에 의해 변환된 데이터는 $\widehat{X}^{(u)} = [\widehat{X}_0^{(u)}, \widehat{X}_1^{(u)}, \dots, \widehat{X}_{N-1}^{(u)}]^T$ 로 표현되며 이때 각각의 $\widehat{X}_n^{(u)}$ 는 앞서 SLM 기법에서 사용된 식 (7)과 동일하다(단, $1 \leq u \leq U$).

따라서 WHT를 통과한 각 브랜치의 신호는

$$C_k^{(u)} = \sum_{n=0}^{N-1} h_{k,n} \widehat{X}_n^{(u)}, k=0, 1, \dots, N-1. \quad (9)$$

WHT를 이용한 SLM 기법에서 위상 회전 시퀀스 $B^{(u)}$ 를 곱해주는 위치는 매우 중요하다. 만약 WHT 앞이 아닌 뒤에서 위상 회전 시퀀스를 곱해준다면 WHT를 이용함으로써 얻어지는 추가적인 PAPR 저감 성능은 나타나지 않는다.

다음으로, 각각의 IFFT를 통과한 데이터는 다음과 같다.

$$s^{(u)}(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} C_k^{(u)} e^{j2\pi k\Delta ft}, 0 \leq t \leq NT \quad (10)$$

결국 최종 출력신호는 이들 중 가장 낮은 PAPR을 갖는 신호가 선택되어 전송된다. 이러한 방법은 기존의 SLM이 갖는 PAPR 저감 성능에 기본적인 WHT가 갖는 PAPR 저감성능을 추가할 수 있을 뿐만 아니라 WHT를 통한 주파수 다이버시티 효과를 같이 얻을 수 있으므로 매우 안정적인 데이터 전송을 가능케 한다.

3-2 WHT를 이용한 개선된 DSI 기법

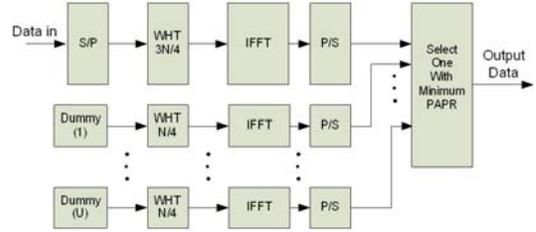


그림 7. WHT를 이용한 개선된 DSI 기법의 예(code rate=3/4)

Fig. 7. OFDM system using DSI method with WHT (code rate=3/4).

그림 7은 WHT를 이용한 개선된 DSI 기법의 구성도이다. 마치 PTS 기법처럼 반복 계산을 통한 시스템 구현도 가능하나, 데이터 처리에 있어서의 시간 지연과 같은 단점을 고려하여 본 논문에서는 SLM 형태의, 즉, 병렬 선택하는 DSI 기법을 제안한다. 그림에서와 같이 최초 입력되는 신호는 dummy 시퀀스가 삽입되는 위치를 제외한 나머지 부분에 각각 mapping된다. 예로써 그림에서와 같은 code rate이 3/4인 경우를 보면, 전체 부반송파의 수가 N일 때 입력 데이터는 $N \times (3/4)$ 개의 병렬 데이터로 변환되고 mapping된다. 이들은 dummy 시퀀스의 위치와 매칭되는 Walsh Hadamard sequence가 제거된 WHT를 거친 후 IFFT 및 P/S 블록을 통해 출력된다. 또한 각기 다른 dummy 시퀀스들은 미리 정해 놓은 위치에 매칭되는 Walsh Hadamard sequence들로 구성된 WHT를 거치게 되며 마찬가지로 IFFT 및 P/S 변환을 거쳐 출력된다. 이렇게 출력된 정보 신호와 dummy 신호는 PAPR 계산 및 선택 블록으로 들어가게 되며, 결국 정보 신호와 더해졌을 때 가장 낮은 PAPR을 갖게 하는 dummy 신호가 정보 신호와 함께 최종 전송 신호로써 출력된다. 제안된 기법의 이러한 구조는 dummy 신호들만을 따로 처리하므로 계산량의 증가를 최소화할 수 있으며, 역시 WHT의 삽입에 의해 기존의 DSI 기법보다 큰 PAPR 저감 효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라, 앞서 제안한 SLM 기법과는 달리 삽입된 dummy 시퀀스는 수신단에서 데이터 복원을 위해 사용되지 않으므로 side-information의 전송을 필요로 하지 않는다.

IV. Simulation Results

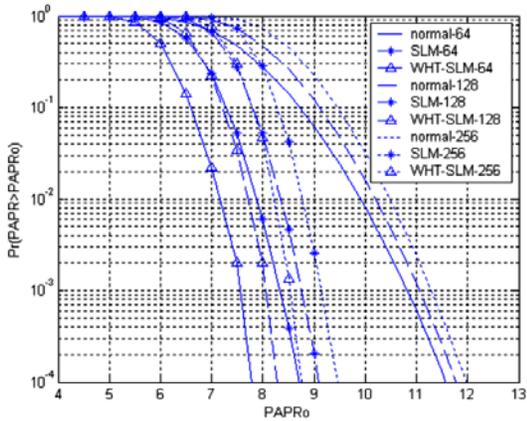


그림 8. 기존의 SLM과 제안된 SLM에서 PAPR의 CCDF 곡선 비교(QPSK, $U=4$, $N=64, 128, 256$)
 Fig. 8. Comparison of common SLM with proposed SLM about PAPR(QPSK, $U=4$, $N=64, 128, 256$).

본 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 앞장에서 제안된 두 가지 PAPR 저감 기법들의 성능을 기존의 SLM 및 DSI 기법과 비교 분석한다. 분석을 위해 변조 방식은 QPSK를 사용하였으며, 부반송파의 수는 각각 64, 128 그리고 256으로 설정하였다.

먼저 그림 6은 기존의 SLM 기법과 본 논문에서 제안하는 WHT를 삽입한 SLM 기법에서 copy 브랜치의 수 U 를 4로 한 경우, 나타나는 PAPR을 CCDF (Complementary Cumulative Density Function) 곡선으로 비교한 결과이다.

그림 8에서 $N=64$ 인 경우 제안된 SLM은 기존의 SLM 보다 약 1 dB 큰 PAPR 저감 성능을 보이며, N 이 128, 256으로 증가될 때 약간의 차이는 보이지만 여전히 비슷한 크기의 성능 향상을 나타냄을 알 수 있다.

그림 9는 앞의 그림 8과 동일한 조건하에서 copy 브랜치의 수 U 를 8로 하였을 때 나타나는 각 기법의 PAPR 성능이다. 앞서의 결과와 유사하게 제안된 기법은 기존의 SLM보다 $N=64$ 에서 약 0.7 dB 가량의 성능 향상을 나타내며, 마찬가지로 N 이 128, 256으로 증가하여도 거의 같은 성능 향상을 확인할 수 있다.

그림 10은 본 논문에서 제안하는 두 번째 방법인 WHT를 이용한 DSI와 기존의 DSI의 PAPR 저감 성능을 CCDF 곡선으로 비교한 것이다. Code rate는 7/8로 정하였고, dummy 시퀀스 삽입을 위한 병렬 du-

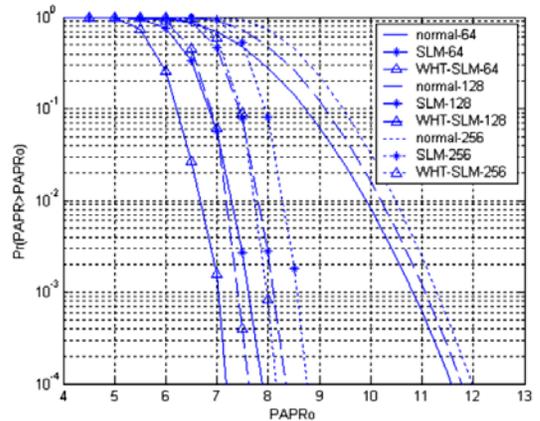


그림 9. 기존의 SLM과 제안된 SLM에서 PAPR의 CCDF 곡선 비교(QPSK, $U=8$, $N=64, 128, 256$)
 Fig. 9. Comparison of common SLM with proposed SLM about PAPR(QPSK, $U=8$, $N=64, 128, 256$).

ddy 브랜치의 수 U 는 8로 이중 정보신호와 더해질 때 가장 낮은 PAPR을 갖게 하는 dummy 시퀀스가 선택된다. 그림으로부터, dummy 시퀀스 삽입을 위해 전체 부반송파의 1/8을 사용한 경우, 제안된 WHT를 이용한 DSI 기법은 기존의 DSI보다 약 0.5 dB 가량의 성능 향상을 나타냄을 알 수 있다.

그림 11은 앞의 그림 8과 같은 조건에서 code rate를 3/4로, 즉, 추가한 dummy 시퀀스의 길이를 보다

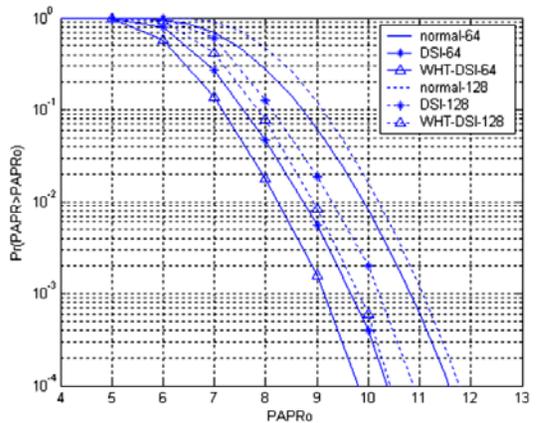


그림 10. 기존의 DSI와 제안된 DSI에서 PAPR의 CCDF 곡선 비교(QPSK, $U=8$, $N=64, 128$, code rate=7/8)
 Fig. 10. Comparison of common DSI with proposed DSI about PAPR(QPSK, $U=8$, $N=64, 128$, code rate=7/8).

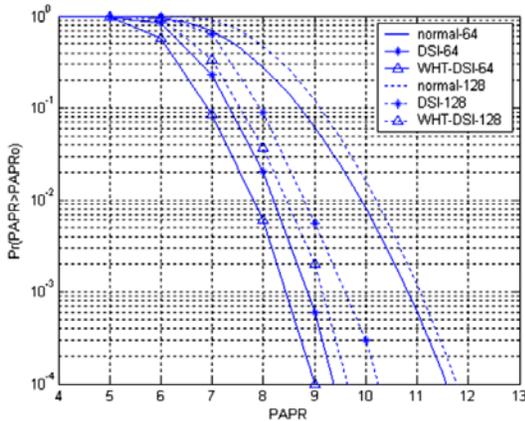


그림 11. 기존의 DSI와 제안된 DSI에서 PAPR의 CCDF 곡선 비교(QPSK, $U=8$, $N=64, 128$, code rate=3/4)

Fig. 11. Comparison of common DSI with proposed DSI about PAPR(QPSK, $U=8$, $N=64, 128$, code rate=3/4).

길게 하였을 경우 각 기법에서 나타나는 PAPR 저감 효과를 CCDF 곡선으로 나타낸 것이다. 전체적인 성향은 앞의 결과와 같은 것을 알 수 있으며 결과적으로 제안된 방법은 기존의 DSI 기법보다 우수한 PAPR 저감 효과뿐만 아니라 주파수 다이버시티 효과를 동시에 얻을 수 있으므로 매우 효과적인 기법이라 할 수 있다. 단, 이 방법에서는 dummy 시퀀스를 삽입하는 위치, 그리고 사용한 dummy 시퀀스에 따라서 나타나는 성능이 다르게 나타난다. 본 논문에서는 IFFT의 윗부분에는 정보를 아랫 부분에는 dummy 시퀀스를 삽입하는 방법을 사용하였으며 dummy 시퀀스로는 일반적인 랜덤 시퀀스를 사용하였다.

지금까지의 시뮬레이션 결과를 종합해 보면, WHT를 이용한 제안된 방법은 기존의 PAPR 저감 기법보다 약 0.5~1 dB의 추가 성능을 나타낼 뿐만 아니라 주파수 다이버시티 효과를 동시에 누릴 수 있으므로 다중 경로 페이딩이 심각한 무선 환경에서 보다 안정적이고 효과적인 데이터 전송을 가능케 할 것으로 기대된다.

V. 결 론

본 논문에서는 OFDM(Orthogonal Frequency Divi-

sion Multiplexing) 시스템에서 다중 캐리어(multi carrier) 변조에 의해 크게 발생하는 PAPR(Peak to Average Power Ratio)을 저감하기 위한 방법으로 WHT(Walsh Hadamard Transform)을 이용한 PAPR 저감 기법들을 제안하였다. 제안하는 방법은 WHT를 일반 OFDM 내부의 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 블록 앞에서 사용하였을 경우 출력신호의 PAPR이 약 1 dB 가량 줄어드는 특성을 이용하여, 기존의 PAPR 저감 기법들과 혼합 사용하는 방법을 의미한다. 본 논문에서는 SLM(Selective Mapping) 및 DSI(Dummy Sequence Insertion) 방법을 WHT와 결합한 방법을 제시하고 이들의 PAPR 저감 성능을 기존의 SLM 및 DSI 기법과 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과로부터 제안된 기법은 추가적인 대역 손실 및 큰 복잡도의 증가 없이 0.5~1 dB의 추가적인 PAPR 저감 성능을 나타내었다. 따라서 제안된 기법의 사용은 PAPR이 크게 나타나는 OFDM 시스템에서 HPA의 효율을 높이고 신호 품질을 향상시킬 뿐만 아니라, WHT를 통해 얻어지는 주파수 다이버시티 효과로 인해 다중 경로 페이딩이 크게 나타나는 무선 통신 환경에서 보다 안정적이고 효과적으로 데이터 전송을 가능케 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] R. W. Chang, R. A. Gibby, "A theoretical study of performance of an orthogonal multiplexing data transmission scheme", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 16, no. 4, pp. 529-540, Aug. 1968.
- [2] S. B. Weinstein, P. M. Ebert, "Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete fourier transform", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 19, no. 5, pp. 628-634, Oct. 1971.
- [3] L. J. Cimini, Jr., "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 33, no. 7, pp. 665-675, Jul. 1985.
- [4] R. O'Neill, L. B. Lopes, "Envelope variations and spectral splatter in clipped multicarrier signals", *Proc. IEEE PIMRC'95*, Toronto, Canada, pp. 71-75, Sep. 1995.

- [5] X. Li, L. J. Cimini, Jr., "Effect of clipping and filtering on the performance of OFDM", *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 5, pp. 131-133, May 1998.
- [6] A. E. Jones, T. A. Wilkinson, and S. K. Barton, "Block coding scheme for reduction of peak to mean envelope power ration of multicarrier transmission scheme", *Elect. Lett.*, vol. 30, no. 22, pp. 2098-2099, Dec. 1994.
- [7] H. Breiling, S. H. Muller-Weinfurter, and J. B. Huber, "SLM peak-power reduction without explicit side information", *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, no. 6, pp. 239-241, Jun. 2001.
- [8] P. Van Eetvelt, G. Wade, and M. Tomlinson, "Peak to average power reduction for OFDM schemes by selective scrambling", *Elect. Lett.*, vol. 32, no. 21, pp. 1963-1964, Oct. 1996.
- [9] L. J. Cimini, Jr., N. R. Sollenberger, "Peak-to-average power ratio reduction of an OFDM signal using partial transmit sequences", *IEEE Commun. Lett.*, vol. 4, no. 3, pp. 86-88, Mar. 2000.
- [10] C. Tellambura, "Improved phase factor computation for the PAR reduction of an OFDM signal using PTS", *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, no. 4, pp. 135-137, Apr. 2001.
- [11] Heung-Gyoon Ryu, Jae-Eun Lee, and Jin-Soo Park, "Dummy sequence insertion(DSI) for PAPR reduction in the OFDM communication system", *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 50, no. 1, pp. 89-94, Feb. 2004.
- [12] J. Tellado, "Peak to average power reduction for multicarrier modulation", Ph. D. Dissertation, Stanford Univ., 2000.
- [13] M. Park, H. Jun, N. Cho, D. Hong, and C. Kang, "PAPR reduction in OFDM transmission using Hadamard transform", in *IEEE ICC*, pp. 430-433, Jun. 2000.
- [14] D. Gerakoulis, P. Salmi, "An interference suppressing OFDM system for wireless communications", *ICC 2002, Commun. IEEE International Conference on*, vol. 1, pp. 480-484, May 2002.

김 상 우



2003년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 3월~2005년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2005년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] OFDM 통신시스템, UWB 통신 및 무선 LAN 등

유 흥 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 정교수
 1999년~현재: IEEE 논문 심사위원
 2002년: 한국전자과학회 학술상 수상
 2002년 3월~2004년 2월: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장

[주 관심분야] 디지털 통신 공학, 이동/위성 통신 시스템, 통신 회로 설계

김 남 일



1996년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)
 1998년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 박사과정
 1999년~현재: 한국전자통신연구원 이동통신연구단 이동패킷전송연구팀 선임연구원

[주 관심분야] 3GPP Long Term Evolution 시스템, OFDM 통신시스템, 이동 통신 및 통신신호처리기술 등