

주파수영역 최적 위치 임펄스 삽입기법에 의한 OFDM-CQAM 시스템의 PAPR 개선

PAPR Improvement of OFDM-CQAM System Through Optimum Position Impulse Insertion Scheme in Frequency Domain

곽재민

목포해양대 항해정보시스템학부

Jae-Min Kwak

Division of Navigational Information System, Mokpo National Maritime University, Jeollanam-do 530-729, Korea

[요 약]

OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)은 다중경로 페이딩에 강하고 고속전송이 가능하다는 장점으로 널리 사용되고 있는 디지털 통신방식이나, 여러 부반송파 변조신호가 동위상으로 겹쳐지면서 송신신호의 PAPR (peak to average power ratio)이 높아진다는 단점을 가지고 있다. 송신단의 IFFT (inverse fast Fourier transform) 이전에 주파수 영역에서 높은 크기의 임펄스를 삽입하면, 쌍대성 특성으로 인해 시간영역의 OFDM 신호의 PAPR 감소 효과를 가져올 수 있다. 본 논문에서는 CQAM (cross quadrature amplitude modulation) 방식을 채용하는 OFDM 통신시스템에서 송신단의 IFFT 이전에 임펄스를 삽입함으로써 개선되는 PAPR 성능을 분석한다. 또한 PAPR을 최소화시킬 수 있는 최적의 임펄스 삽입위치 찾아내고 이를 적용하였을 경우의 PAPR 개선효과를 검증한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 주파수영역에서 삽입되는 임펄스 크기와 위치에 따라 OFDM-CQAM 시스템의 PAPR 개선효과가 기존 방식에 비해 우수함을 확인한다.

[Abstract]

OFDM is popular digital communication method due to its immunity to multipath fading and capability of high speed data transmission, but it has disadvantage of high PAPR in transmission signal when many subcarrier modulated signal are added to the same phase. When frequency domain high amplitude impulse is inserted before IFFT in OFDM transmitter, the PAPR of OFDM signal in time domain can be effectively reduced. In this paper, the degree of PAPR improvement of OFDM communication system with CQAM subcarrier modulation is analysed by adopting impulse insertion technique before IFFT of transmitter. Furthermore, it is verified that additional PAPR performance improvement can be obtained by finding optimum position of impulse insertion for maximizing PAPR reduction. Through computer simulation, the degree of PAPR improvement according to amplitude and position of inserted impulse is superior to conventional technique in OFDM-CQAM system.

Key word : OFDM, Cross qam, PAPR, Impulse insertion.

<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.3.258>



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.

Received 8 May 2019; Revised 29 May 2019

Accepted (Publication) 25 June 2019 (30 June 2019)

*Corresponding Author; Jae-Min Kwak

Tel: +82-61-240-7268

E-mail: kjm@mmu.ac.kr

I. 서론

멀티미디어 데이터의 고용량화로 무선통신에 있어서의 주파수 효율과 고속전송에 대한 지속적인 요구가 증대되고 있으며 이러한 경향은 가까운 미래에도 지속될 것으로 전망된다. OFDM은 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 통신방식의 하나로 많은 연구계와 산업계에서 연구가 지속되어 왔으며, 그 결과로 광대역 무선접속을 위한 최근의 새로운 표준들에 적용되었다[1].

OFDM은 다수의 서로 직교하는 부반송파들을 사용하여 정보 데이터를 병렬전송하는 기법으로, 단일반송파와 변조방식에 비해 상대적으로 부채널 수에 비례하여 심볼 구간을 넓게 할 수 있어 시간영역에서 ISI에 강하다. 더불어, OFDM 신호는 주파수 효율이 높고, 고속전송을 실현할 수 있으며, 주파수 선택성 페이딩에 강하다는 장점으로 고속 멀티미디어 전송방식으로 적합하다[2-3]. 이러한 장점으로 인하여, OFDM은 DTV(digital television), DAB(digital audio broadcasting), DVB-T(digital video broadcasting-terrestrial), DSL(digital subscriber line) 광대역 인터넷 접속, WLAN(wireless local area network), WiMAX(worldwide interoperability for microwave access) 표준, 그리고 4G 이동통신과 같은 많은 디지털 통신시스템에서 널리 사용되고 있다[4].

그러나 OFDM 시스템에서는 송신신호를 발생시킬 때 IFFT 과정에서 다수의 부반송파성분들이 동위상으로 겹쳐지면서 부반송파 수에 비례하여 신호의 최대치가 증가하여 높은 PAPR로 나타나게 된다. 높은 PAPR은 송신기에서 동작영역이 넓은 고전력 증폭기를 필요로 하게 되고, 신호가 HPA(high power amplifier)를 통과할 때 심각한 신호의 왜곡을 야기시킨다. 증폭기의 비선형 왜곡을 피하기 위해 HPA의 동작점을 포화영역에서 백오프시키는 방법이 있지만 이로 인해 매우 낮은 전력효율을 갖게 된다는 단점이 있다. 또한 HPA의 비선형성은 대역내 왜곡을 발생시켜 BER을 증가시키고 대역외 방사를 증가시키게 되어 인접채널 간섭을 일으키게 된다[5].

이러한 PAPR문제를 해결하기 위해 다양한 방법들이 제안되어 있다. 클리핑 기법은 신호의 위상은 변화시키지 않고 일정 크기 이상의 신호를 제거하는 간단한 PAPR 감소기법이지만, 신호를 강제로 왜곡시키므로 대역내 왜곡이 발생하여 BER성능이 열화되고 대역외 스펙트럼 방사 현상이 발생하는 문제가 있다[6]. PAPR 감소를 위해 송신시의 PAPR을 최소화하는 코드워드를 선택하는 코딩기법에 대한 연구도 진행되었다[7]. 이 방법은 데이터 전송률의 저하를 가져오고, 부반송파의 수가 많은 OFDM 신호를 생성할 때에는 최선의 코드워드를 찾기 위해 복잡한 검색과정이 필요하다는 단점이 있다. 그밖에도 PTS(partial transmit sequence)나 TR(tone reservation) 등의 기법은 왜곡과 대역외 방사가 발생하지는 않지만 수신기에 부정보를 전송해야 하는 기법이다[8-9]. SLM(selective mapping), CE(constellation extension)기법 등은 부정보의 전송 없이도 왜곡이 발생하지 않는 기법으로 제안되었다[10-11]. 최근에는 시

간 주파수영역에서의 쌍대성 특성을 이용하여 주파수 영역에서 임펄스를 삽입하여 시간영역에서의 OFDM 신호에 대한 PAPR을 감소시킬 수 있는 기법이 연구되었는데 이 기법은 최적화를 위한 반복검색 등의 복잡한 과정이 필요 없다는 장점이 있다[4].

한편, OFDM 기반의 통신시스템에서 원활한 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서는 채널 상황에 따라 제공하는 전송속도를 조절할 수 있는 적응변조기법을 채용해야 하는데, 이때 기존 Square QAM 방식의 변조를 사용하는 경우 한 심볼을 이루는 정보비트의 수가 짝수로만 구성되어 세밀한 전송속도 조절이 이루어지지 않는다. 참고문헌 [12]에 따르면, 심볼당 비트수가 홀수개인 CQAM을 사용하면 기존 QAM 방식에 비해 피크전력과 평균전력 모두 감소시킬 수 있으며 1dB 이상의 평균 SNR이득이 발생함을 알 수 있다. 따라서, 이러한 Cross QAM 방식을 OFDM에 도입하면 SNR 이득뿐만 아니라 채널품질에 따라 보다 효과적으로 대응하여 세밀한 전송속도 조절을 통해 전체적인 쓰루풋을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다[13].

앞에서 언급한 기존 연구들에서는 CQAM 방식을 OFDM에 적용한 신호에 대한 PAPR 분석은 이루어지지 않았다. 따라서 본 논문에서는 CQAM 변조된 OFDM 신호 생성시 [4]에서 제시한 방식과 유사하게 IFFT 이전에 주파수 영역에서 크기가 제어된 임펄스를 삽입하여 시간영역의 OFDM 신호에 대한 PAPR을 감소시킬 수 있는 기법을 분석한다. 이러한 기법을 보다 발전시켜, 임펄스를 삽입하는 위치에 따라 PAPR이 다르게 나타남을 확인하고, 이를 최소화시킬 수 있는 최적의 임펄스 삽입 위치를 찾아내어 적용하는 기법을 적용하여 발생하는 PAPR 개선을 분석한다.

본 논문의 주요 구성은 다음과 같다. 2장에서 주파수영역 임펄스 삽입기법과 제안하는 시스템 모델을 제시한다. 3장에서는 주파수영역의 임펄스 삽입 계수에 따른 시스템의 PAPR 성능, 그리고 최적의 임펄스삽입위치를 적용한 경우의 시스템의 PAPR 감소효과를 시뮬레이션을 통해 분석한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

주파수영역에서 최적 임펄스 삽입 위치를 찾아내어 크기가 제어된 임펄스를 삽입하여 PAPR을 감소시키는 기법을 적용한 OFDM-CQAM 시스템의 블록도를 그림 1에 나타내었다. 정보 데이터 소스는 부반송파 변조를 위해 CQAM 변조기 입력으로 인가된다. CQAM 변조의 경우에는 일반적인 Square QAM 방식과는 다른 성좌도로 표현되며, 성좌점의 종류에 따라 그림 2에 보인 바와 같이 32CQAM의 경우 세가지, 128CQAM의 경우 4가지 종류의 고유한 관정영역을 나타낸다. 이때, 32 CQAM의 경우 5비트, 128 CQAM의 경우 7비트의 정보비트가 하나의 부반송파 변조용 심볼을 구성하게 된다. CQAM 심볼들은 직병렬 변환 처리 이후에 오버샘플링이 필요한 경우 영 삽입 과정을 거

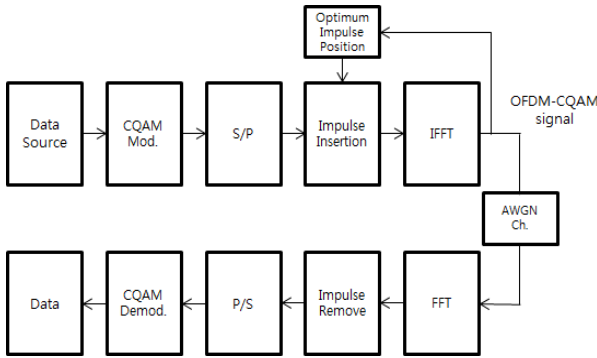


그림 1. 주파수영역 임펄스 삽입방식의 PAPR 감소기법을 적용한 OFDM-CQAM 시스템의 블록도

Fig. 1. Block diagram of OFDM-CQAM system with frequency domain impulse insertion scheme.

치고, 주파수 영역에서의 임펄스 삽입 과정을 거쳐 IFFT 블록의 입력으로 인가된다. 이후, IDFT(inverse discrete fourier transform) 처리시 쌍대성 특성으로 인해 주파수영역에서 삽입된 임펄스가 시간영역의 OFDM 심볼을 생성할 때 PAPR을 감소시키는 요인으로 작용한다. 이때 삽입된 임펄스의 위치에 따라서 PAPR 값이 다르게 나타나게 되는데, OFDM 신호의 PAPR을 최소로 만들 수 있는 임펄스 삽입위치를 찾아내어 임펄스를 삽입하게 되면 제안시스템의 OFDM 시간영역 신호를 생성해 낼 수 있다. 생성된 송신신호는 채널을 통과하여 수신기에 도달하고, 수신기에서는 송신측과 역의 과정으로 정보데이터를 추출해 낼 수 있다.

CQAM으로 부반송파 변조된 심볼의 시간영역 샘플을 $x(n)$ 이라 하고 $x(n)$ 을 DFT를 취한 주파수영역의 샘플을 $X(k)$ 라 하면 다음과 같이 DFT 쌍으로 표현할 수 있다.

$$X(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-\frac{j2\pi nk}{N}}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$x(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{\frac{j2\pi nk}{N}}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

여기서, k 와 n 은 각각 주파수 및 시간영역 인덱스이다. N 은 OFDM 심볼의 부반송파 수로 가정할 수 있다. 주파수 영역의 입력 데이터열은 독립이고, 동일 분포를 갖는 랜덤변수로 가정하게 되면 시간영역으로 변환된 출력 데이터 열 $x(n)$ 의 실수 성분과 허수성분은 무상관이고 직교한다. 중심극한정리에 의해 N 이 충분히 크다면, $x(n)$ 의 실수성분과 허수성분은 독립이고 동일분포를 하는 가우스 랜덤변수가 되며 OFDM 신호의 포락선은 레일리 분포를 따르게 되어 작은 확률로 매우 큰 값을 갖게 된다. 이것이 잘 알려진 OFDM 신호에서의 PAPR 문제로 나타나게 된다.

일반적으로 시간영역 OFDM 신호 샘플들에 대한 PAPR은 최대 순시전력과 평균전력과의 비율로 다음과 같이 정의된다.

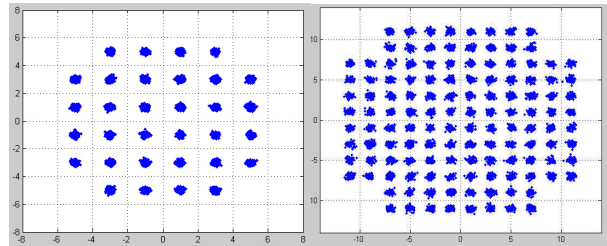


그림 2. OFDM-32CQAM과 OFDM-128CQAM 시스템의 성상도
Fig. 2. Constellation diagram of OFDM-32CQAM and OFDM-128CQAM system.

$$PAPR = 10 \log_{10} \frac{\max |x(n)|^2}{E[|x(n)|^2]} \text{ (dB)} \quad (3)$$

위식에서 $\max |x(n)|^2$ 과 $E[|x(n)|^2]$ 은 각각 OFDM 시간영역신호의 최대 순시전력과 평균전력을 나타내며, $E[\cdot]$ 은 기대치를 나타내는 연산자이다. PAPR을 평가하는 가장 일반적인 방법은 특정 문턱 값을 x_0 넘어서는 확률을 결정하는 것으로 나타내며 이것을 CCDF(complementary cumulative distribution function)이라 한다.

$$\Pr(PAPR > x_0) = 1 - (1 - \exp(-x_0))^{\alpha N} \quad (4)$$

여기서, α 값은 정확한 신호측정을 위해 오버샘플링한 N 개 부반송파에 대한 분포를 오버샘플링하지 않은 αN 개의 부반송파로 근사화하기 위한 값으로 2.8정도를 사용한다.

시스템 모델에 제시된 임펄스 삽입 방식을 고려하였을 때, 단위 임펄스를 한 영역에서 가하는 것은 다른 영역에서의 함수 샘플 크기 값을 $\frac{1}{\sqrt{N}}$ 만큼의 DC 레벨만큼 올리는 효과를 갖게 된다. $x(n)$ 과 $X(k)$ 의 DFT 쌍에 대해서, 상대적으로 큰 값의 임펄스를 $X(k)$ 샘플들에 삽입하면 다음과 같이 주파수영역 OFDM 신호를 표현할 수 있다.

$$X_\beta(k) = X(k) + \beta \delta(k - k_\beta) \quad (5)$$

여기서, β 는 삽입되는 임펄스의 강도를 나타내는 계수로 $\beta \gg |\max X(k)|$ 이고, k_β 는 삽입되는 임펄스의 위치이다. 가해지는 임펄스 샘플의 강도가 $X(k)$ 의 샘플 값들보다 커지면 시간영역에서 지배적인 성분이 된다. 따라서, 주파수영역에서의 임펄스가 삽입된 $X_\beta(k)$ 샘플들을 IDFT 취한 $x_\beta(n)$ 샘플들의 PAPR은 시간주파수 쌍대성 특성에 의해 $X(k)$ 를 IDFT 취한 $x(n)$ 샘플들의 PAPR보다 감소되는 효과가 발생할 것을 예상할 수 있다.

시간영역 신호 생성시 연속시간 OFDM 신호에서 나타나는 최대치를 가능한 정확하게 측정하기 위해서 M 배 오버샘플링을 통해 최대치 검출정확도를 높일 수 있다. M 배 오버샘플링한

OFDM 신호는 $(M-1)N$ 개의 영을 삽입한 데이터 블록을 ML포인트 IFFT 취함으로써 구해진다. 따라서, M 배 오버샘플링을 한 경우 주파수영역에서 삽입가능한 임펄스의 위치는 총 ML 개가 된다.

주파수영역 데이터 샘플 $X(k)$ 를 1이라고 가정하면, 임펄스가 삽입된 경우의 시간영역 OFDM-CQAM 신호의 샘플 $x_\beta(n)$ 에 대한 β 에 따른 평균전력과 주파수영역 OFDM-CQAM 신호의 PAPR은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다[4].

$$\sigma(\beta) = \sigma_0 + \frac{\beta^2 + 2\beta}{NM} \quad (6)$$

$$PAPR_f(\beta) = \frac{(\beta+1)^2}{\frac{\beta^2 + 2\beta}{NM} + \sigma_0} \quad (7)$$

여기서, σ_0 는 임펄스가 삽입되지 않은 주파수영역의 원래 OFDM 샘플 $X(k)$ 에 대한 평균전력 값이다.

III. 시뮬레이션 및 수치해석

본 장에서는 3장에 제시된 시스템 모델에 기반하여 CQAM을 부반송파 변조로 사용하는 OFDM 시스템에서 송신신호 생성시 주파수영역 임펄스 삽입기법을 적용하여 시간영역 PAPR, 주파수영역 PAPR을 비교하고, PAPR 개선도를 시뮬레이션을 통해 분석한다. 또한, 주파수영역의 임펄스삽입 위치에 따른 시간영역 PAPR의 변화를 확인하고, PAPR을 최소화시킬 수 있는 최적의 임펄스 삽입위치를 선택하여 OFDM 신호를 생성시 얻을 수 있는 PAPR 개선효과를 분석한다.

표 1에 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 제시하였다.

그림 3은 OFDM-32CQAM에 대한 주파수영역 PAPR과 시간영역 PAPR을 삽입되는 임펄스 계수의 크기에 따라 dB단위로 나타낸 그래프이다. 주파수영역에서 영 삽입을 통해 4배 오버샘플링된 시간영역 OFDM 신호를 생성하여, 정확한 피크치를 찾을 수 있도록 하였으며, 부반송파 수는 64로 정하여 총 1000개의 OFDM 신호에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

그래프를 통해 시간-주파수 쌍대성 특성에 따라 β 값이 커지면 주파수영역 PAPR은 증가하게 되고 시간영역 PAPR은 반대로 감소한다는 것을 확인할 수 있다. 또한, β 가 0인 경우는 임

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

Simulation Parameter	Value
Subcarrier Modulation	32 CQAM
The number of subcarrier	64
Oversampling factor	4
Impulse Coefficient (β)	0~100
The number of OFDM symbol	1000

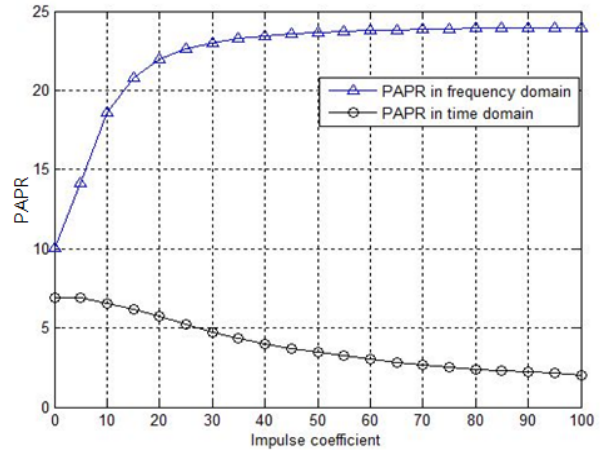


그림 3. 임펄스삽입계수(β)에 따른 OFDM-32CQAM 시스템의 시간영역 PAPR과 주파수영역 PAPR

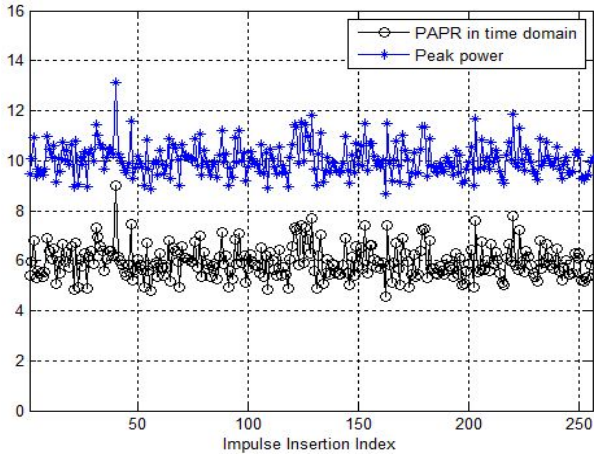
Fig. 3. PAPR in time and PAPR in frequency of OFDM-32CQAM according to impulse insertion coefficient β .

펄스 삽입기법을 사용하지 않은 OFDM-CQAM 시스템의 PAPR을 나타내고 있는데, 이를 기준으로 β 가 증가함에 따라 시간영역 PAPR이 감소되는 개선정도를 확인할 수 있다.

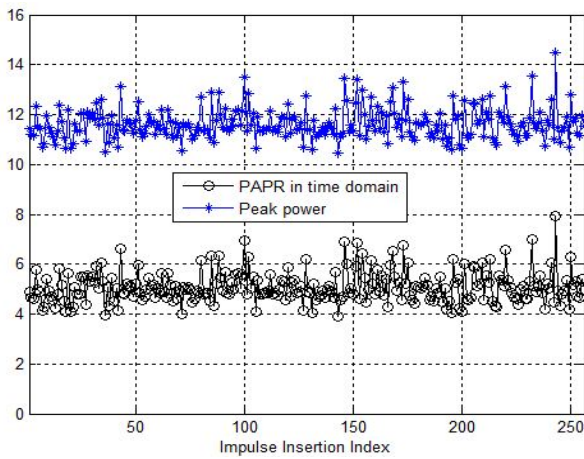
그림 4는 하나의 동일한 OFDM-32CQAM 심볼에 대해 주파수영역 임펄스 삽입기법을 적용할 때 임펄스의 삽입위치를 1부터 256까지 변화시켜가며 시간영역 OFDM신호의 최대전력과 dB 단위 PAPR 값이 변화하는 것을 나타낸 그래프이다. (a)는 임펄스 계수가 20일 경우의 그래프이고 (b)는 30일 경우의 그래프이다. 임펄스 계수가 클 경우 PAPR이 전체적으로 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 두 그래프를 통해 동일 OFDM 심볼에 대해서 주파수 영역 임펄스의 삽입위치에 따라 PAPR이 다르다는 것을 알 수 있으며, OFDM 심볼마다 시간영역 PAPR을 최소화시킬 수 있는 최적 임펄스 삽입 위치가 존재한다는 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 OFDM-CQAM 심볼생성시 PAPR을 최소화시키는 최적의 임펄스 삽입 위치를 찾아내어 적용하였을 경우의 PAPR과, 임의 위치에 임펄스를 삽입한 경우의 PAPR, 그리고 가장 높은 PAPR을 나타내는 위치에 임펄스가 삽입되는 최악의 경우를 총 1000회의 시뮬레이션을 통해 dB단위로 구해내었다. 그래프를 통해 주파수영역에서 임펄스를 삽입할 때, 최적의 위치를 찾아내어 삽입하는 경우 β 가 30일때 기존의 OFDM-CQAM의 시간영역 PAPR보다 약 1 dB의 개선이 발생하며, 전체적으로 임의 위치에 삽입된 임펄스 삽입기법에 비해 임펄스 계수에 따라 0.4 dB에서 2.5 dB의 PAPR 개선이 가능한 것을 알 수 있다.

그림 6은 임펄스 위치를 결정할 때, 그림 5의 경우와 같이 256개의 위치를 모두 검색하는 것이 아니고, 검색 대상의 위치 수를 결정하고, 결정된 위치의 수에 따라 랜덤하게 위치를 선택하여 최상의 PAPR을 나타내는 임펄스 삽입위치를 결정하는 방식을 적용하였을 경우의 PAPR그래프이다.



(a) $\beta = 20$



(b) $\beta = 30$

그림 4. 임펄스 삽입 위치에 따른 OFDM-32CQAM 시스템의 PAPR과 Peak 전력에 대한 그래프

Fig. 4. Graph of PAPR in time and peak power of OFDM-32CQAM according to impulse insertion position.

임펄스 계수를 30으로 고정하여 시뮬레이션 한 결과, 검색 대상의 위치 수에 따라 전체적으로 PAPR이 감소하게 나타나며 특히 검색대상 수가 작을 때 검색대상 수의 증가에 따른 PAPR 개선도가 큰 것을 알 수 있다. 따라서, 현실적으로 시스템 복잡도를 낮추기 위해 작은 수의 검색대상 수를 선택하여 사용 하여도 PAPR 개선효과가 높은 것으로 확인된다.

IV. 결론

본 논문에서는 적응변조에 효과적으로 활용될 수 있는 CQAM 부반송파 변조를 채용하는 OFDM 시스템에서 시간영역 PAPR을 감소시키기 위한 기법으로, IFFT이전에 주파수영역에서 높은 크기의 임펄스를 삽입하고, PAPR이 최소로 나타

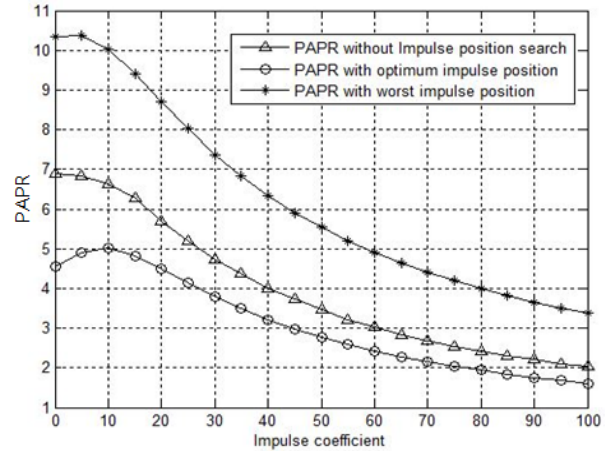


그림 5. 최적 주파수 영역 임펄스 위치를 적용한 제안 시스템과 다른 시스템들과의 PAPR 성능비교

Fig. 5. PAPR performance comparison between the proposed system with optimum position of frequency domain impulse and other systems.

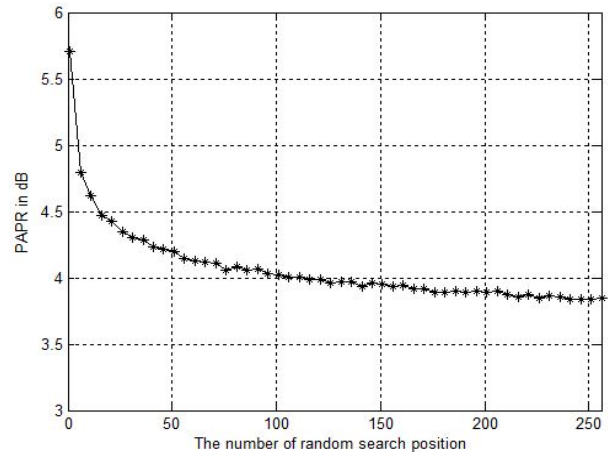


그림 6. 랜덤하게 임펄스 삽입 위치를 결정하는 경우의 임펄스 삽입 위치의 검색대상 수에 따른 PAPR 성능

Fig. 6. PAPR performance according to the number of search position of impulse insertion in case of random position selection.

나는 임펄스 삽입 위치를 찾아내어 개선효과를 극대화시키는 기법을 제안하였다.

시뮬레이션을 통하여, 임펄스 삽입기법을 적용한 OFDM-CQAM은 β 값이 커지면 주파수영역 PAPR은 증가하게 되고 시간영역 PAPR은 반대로 감소한다는 것을 확인하였으며, 예를 들어 β 가 30인 경우 임펄스 삽입을 적용하지 않는 OFDM-CQAM의 시간영역 PAPR보다 약 1 dB 개선됨을 확인 하였다. 또한, 동일 OFDM 심볼에 대해서 주파수 영역 임펄스의 삽입위치에 따라 PAPR이 다르게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 결과를 토대로, OFDM-CQAM 신호생성시 PAPR을 최소화시키는 최적의 임펄스 삽입 위치를 찾아내어 적용해본 결과, 최적의 위치를 찾아내어 삽입하는 제안 시스템의 경우, 임의 위

치에 삽입된 임펄스 삽입기법에 비해 임펄스 계수에 따라 0.4 dB에서 2.5 dB의 PAPR 개선이 가능한 것을 알 수 있었다. 또한 임펄스삽입위치를 랜덤하게 검색하는 경우 검색의 대상이 되는 위치의 개수에 따라 PAPR을 확인한 결과 적은 수의 검색 대상 수로도 PAPR 개선효과가 높은 것을 확인하였다.

제안한 기법은 OFDM 방식을 채용하는 최근의 다양한 통신 시스템에 대해 PAPR을 효과적으로 감소시키기 위한 방안으로 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

Acknowledgments

이 논문은 2018년도 목포해양대학교 연구비 지원에 의하여 연구(출판)되었음

References

[1] K. Fazel and S. Kaiser, *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems: From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX*, 2nd ed. West Sussex:UK, Wiley, 2008.

[2] L. Yang, Y. M. Siu, K. K. Soo, S. W. Leung, S. Q. Li, “Low-complexity PAPR reduction technique for OFDM systems using modified widely linear SLM Scheme,” *International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 66, No. 12, pp. 1006-1010, Dec. 2012.

[3] C. L. Zhao, D. Q. Liu, X. B. Sun, T. Jiang, “Deepen spectrum notch and reduce PAPR in OFDM systems via combining subcarriers precoding with tone reservation,” *The Journal of China Universities of Post Telecommunications*, Vol. 18, No. 3, pp. 80-84, June 2011.

[4] Abdulrahman Ikram Siddiq, “PAPR reduction in OFDM systems using peak insertion,” *International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 69, No. 2, pp. 573-578,

Feb. 2015.

[5] J. Armstrong, “Peak-to-average power reduction for OFDM by repeated clipping and frequency domain filtering,” *IEEE Electronics Letters*, Vol. 38, No. 5, pp. 246 - 247, Feb. 2002.

[6] H. Ochiai and H. Imai, “Performance analysis of deliberately clipped OFDM signals”, *IEEE Trans. on Communications*, Vol. 50, No. 1, pp. 89-101, Jan. 2002.

[7] A. E. Jones, T. A. Wilkinson and S. K. Barton, “Block coding scheme for reduction of peak to mean envelope power ratio of multicarrier transmission schemes”, *Electronics Letters*, Vol. 30, No. 25, pp. 2098-2099, Dec. 1994.

[8] S. H. Muller and J. B. Huber, “OFDM with reduced peak to average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences,” *Electronics Letters*, Vol. 33, No. 5, pp. 368 - 369, Feb. 1997.

[9] M. Chauhan, and A. Chobe “PAPR Reduction in OFDM system using tone reservation technique,” *IJCTEE*, Vol. 2, No. 4, pp. 57- 60, Aug. 2012.

[10] M. Petermann, D. Wubben and K. Kammeyer “Joint constellation extension and tone reservation for PAPR reduction in adaptive OFDM systems,” *IEEE 10th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, pp. 439 - 443, June 2009.

[11] A. Ghassemi and T. A. Gulliver, “Partial selective mapping OFDM with low complexity IFFTs,” *IEEE Communication Letters*, Vol. 12, No. 1, pp. 4-6, Jan. 2008.

[12] J. G. Smith, “Odd-bit quadrature amplitude-shift keying,” *IEEE Trans. Commun.*, Vol.23, No. 3, pp. 385-389, Mar. 1975.

[13] J. M. Kwak, “EVM based SNR estimation performance in cross QAM using selected constellation points,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 16, No. 3, pp. 426-432, June 2012.



곽재민 (Jaemin Kwak)

1998년 2월 : 한국항공대학교 통신정보공학과 (공학사)

2002년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사)

2002년 7월 ~ 2003년 7월 : 한국전자통신연구원 네트워크 연구소 (Post-doc.)

2003년 7월 ~ 2008년 2월 : 전자부품연구원 SoC 연구센터 책임연구원

2008년 3월 ~ 현재 : 목포해양대학교 항해정보시스템학부 교수

※ 관심분야 : 디지털 통신 시스템, 유무선 통신신호처리

1999년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학석사)