

# 주파수영역 최적위치기반 임펄스 삽입에 따른 OFDM-CQAM 시스템의 PAPR 개선

곽재민

목포해양대학교

## PAPR Improvement of OFDM-CQAM System through Optimum Position based Impulse Insertion in Frequency Domain

Jae-min Kwak

Mokpo National Maritime University

E-mail : kjm@mmu.ac.kr

### 요 약

OFDM 시스템에서 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.

### ABSTRACT

When frequency domain high amplitude impulse is inserted before IFFT in OFDM transmitter, the PAPR of OFDM signal in tme 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.

### 키워드

OFDM, Impulse Insertion, PAPR, Optimum Impulse Insertion

### 1. 서 론

OFDM 신호는 주파수 효율이 높고, 고속전송을 실현할 수 있으며, 주파수 선택성 페이딩에 강하다는 장점으로 고속 멀티미디어 전송방식으로 적합하다[1-2]. 이러한 장점으로 인하여, OFDM은 DTV(digital television), DAV(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[3].

OFDM 시스템에서는 송신신호를 발생시킬 때

IFFT 과정에서 다수의 부반송파성분들이 동위상으로 겹쳐지면서 부반송파 수에 비례하여 신호의 최대치가 증가하여 높은 PAPR로 나타나게 된다.

본 논문에서는 기존 연구에서 CQAM 방식[4]을 OFDM에 적용한 신호에 대한 PAPR 분석을 기반으로 향상된 PAPR개선기법을 제시한다. CQAM 변조된 OFDM 신호 생성시 [3]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 삽입위치

를 찾아내어 적용하는 기법을 적용하여 발생하는 PAPR 개선도를 분석한다.

## II. 시스템 모델

주파수영역에서 최적 임펄스 삽입 위치를 찾아내어 크기가 제어된 임펄스를 삽입하여 PAPR을 감소시키는 기법을 적용한 OFDM-CQAM 시스템의 블록도를 그림 1에 나타내었다.

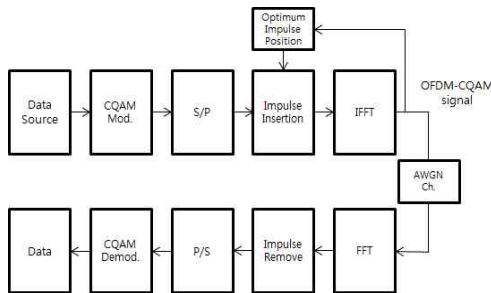


그림 1. 주파수영역 임펄스 삽입방식의 PAPR 감소기법을 적용한 OFDM-CQAM 시스템의 블록도

정보데이터 소스는 부반송파 변조를 위해 CQAM 변조기 입력으로 인가된다. CQAM 심볼들은 직병렬변환 처리 이후에 오버샘플링이 필요한 경우 영 삽입 과정을 거치고, 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.

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

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

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. 중심극한 정리에 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.

$x(n)$ 과  $X(k)$ 의 DFT 쌍에 대해서, 상대적으로 큰 값의 임펄스를  $X(k)$  샘플들에 삽입하면 다음과 같이 주파수영역 OFDM 신호를 표현할 수 있다.

$$X_{\beta}(k) = X(k) + \beta\delta(k - k_{\beta}) \quad (3)$$

여기서,  $\beta$ 는 삽입되는 임펄스의 강도를 나타내는 계수로  $\beta \gg |\max X(k)|$ 이고,  $k_{\beta}$ 는 삽입되는 임펄스의 위치이다.

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

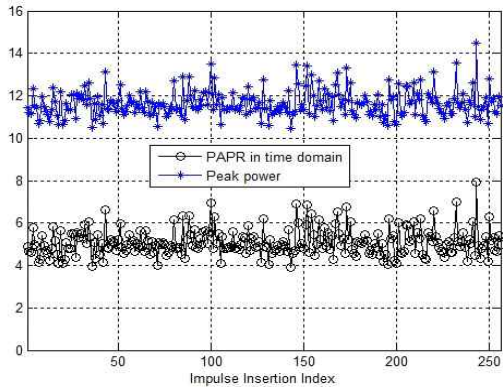
$$\sigma(\beta) = \sigma_0 + \frac{\beta^2 + 2\beta}{NM} \quad (4)$$

$$PAPR_f(\beta) = \frac{(\beta+1)^2}{\frac{\beta^2 + 2\beta}{NM} + \sigma_0} \quad (5)$$

여기서,  $\sigma_0$ 는 임펄스가 삽입되지 않은 주파수영역의 원래 OFDM 샘플  $X(k)$ 에 대한 평균전력 값이다.

## III. 시뮬레이션

그림 2는 하나의 동일한 OFDM-32CQAM 심볼에 대해 주파수영역 임펄스 삽입기법을 적용할 때 임펄스의 삽입위치를 1부터 256까지 변화시켜가며 시간영역 OFDM신호의 PAPR과 최대전력이 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 주파수영역 임펄스의 삽입위치에 따라 PAPR이 다르다는 것을 알 수 있으며, OFDM 심볼마다 시간영역 PAPR을 최소화 시킬 수 있는 최적 임펄스 삽입 위치가 존재한다는 것을 확인할 수 있다.



(b)  $\beta = 30$

그림 2. 임펄스 삽입 위치에 따른 OFDM-32CQAM 시스템의 PAPR과 Peak 전력

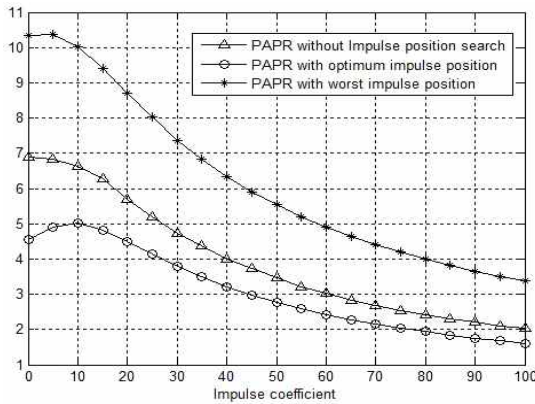


그림 3. 최적 주파수 영역 임펄스 위치를 적용한 제안 시스템과 다른 시스템들과의 PAPR 성능비교

그림3은 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 구해내었다. 그래프를 통해 주파수영역에서 임펄스를 삽입할 때, 최적의 위치를 찾아내어 삽입하는 경우  $\beta$ 가 30일 때 기존의 OFDM-CQAM의 시간영역 PAPR보다 약 1dB의 개선이 발생하며, 전체적으로 임의 위치에 삽입된 임펄스 삽입기법에 비해 임펄스 계수에 따라 0.4dB에서 2.5dB의 PAPR 개선이 가능한 것을 알 수 있다.

#### IV. 결론

CQAM 부반송파 변조를 채용하는 OFDM 시스템에서 시간영역 PAPR을 감소시키기 위한 기법

으로, IFFT이전에 주파수영역에서 높은 크기의 임펄스를 삽입하고, PAPR이 최소로 나타나는 임펄스 삽입 위치를 찾아내어 개선효과를 극대화시키는 기법을 제안하였다.

$\beta$ 가 30인 경우 임펄스 삽입을 적용하지 않는 OFDM-CQAM의 시간영역 PAPR보다 약 1dB 개선됨을 확인하였다. 또한 OFDM-CQAM 신호생성시 PAPR을 최소화시키는 최적의 임펄스 삽입 위치를 찾아내어 적용해본 결과, 최적의 위치를 찾아내어 삽입하는 제안 시스템의 경우, 임의 위치에 삽입된 임펄스 삽입기법에 비해 임펄스 계수에 따라 0.4dB에서 2.5dB의 PAPR 개선이 가능한 것을 알 수 있었다.

#### References

- [1] 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, pp. 1006-1010, Dec. 2012.
- [2] 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, pp.80-84, June 2011.
- [3] Abdulrahman Ikram Siddiq, "PAPR reduction in OFDM systems using peak insertion," *International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 69, pp. 573-578, Feb. 2015.
- [4] 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 2013.