

# PAPR 감소를 위한 임계치 적용 부최적 PTS 기법

권 오 주\*, 하 영 호\*\*

\* 국방과학연구소, \*\* 경북대학교 전자전기학부

## PAPR reduction algorithm of adaptive suboptimal PTS

Oh Ju Kwon\*, Yeong Ho Ha\*\*

\* Agency for Defense Development, \*\* School of Electronics and Electrical Engineering  
Kyungpook National University

E-mail : koj@add.re.kr

### Abstract

An adaptive sub-optimal method using a preset threshold for combining partial transmit sequence (PTS) of an orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) signal is presented. The results show that adaptive sub-optimal method reduces the 0.1% PAP by 3.4dB, while iterative flipping method reduces it by 3dB and PTS reduce it by 4.1dB. The complexity of adaptive sub-optimal method is 2.4% of that of PTS method for M=8.

### I. 서 론

다중 반송파를 이용하는 OFDM 시스템은 단일 반송파 시스템과는 달리 역푸리에 변환(IFFT : Inverse Fast Fourier Transform)을 통과한 출력신호의 크기가 동일위상인 경우 높은 최대전력대 평균전력비(PAPR:Peak-to-Average Power Ratio)를 유발하므로 고출력증폭기(HPA : High Power Amplifier)를 통과할 경우 증폭기의 비선형 특성으로 인하여 채널간 간섭, 혼변조 등과 같은 심각한 비선형 왜곡을 발생시킨다. 비선형 증폭기의 동작점을 선형영역으로 백오프시키는 방법을 사용하여 비선형 특성을 감소시킬 수 있

으나, 이러한 방법은 송신신호의 출력 감소를 발생시키므로 시스템 성능저하, 채널 페이딩 마진 감소 등의 원인이 된다.<sup>[1]</sup>

OFDM시스템에서 이러한 비선형 왜곡을 감소시키는 방법으로 신호 왜곡방법, 코딩방법과 불규칙(scrambling)방법이 있다. 신호왜곡방법은 사전 왜곡기를 사용하는 방법, 클리핑 방법, 및 윈도우잉 방법 등으로 분류되며, 코딩 방법은 블릭 코딩이 대표적이다. 불규칙방법은 선택매칭(SLM:Selective Mapping)방식<sup>[2]</sup>, 및 부분전송열(PTS:Partial Transmit Sequences)방식<sup>[3]</sup>으로 분류된다.

SLM은 임의의 프레임에 대해 동일 정보를 가지는 L개의 통계적으로 독립적인 프레임들을 만들어 최적의 변형된 프레임을 찾는 방식이며, PTS는 전체 부대역을 다수의 부블럭으로 나누어 PAPR값이 최소가 되도록 각 부블럭의 역푸리에 변환된 신호의 위상을 조절하는 방식으로 SLM보다 성능이 우수하다.

PTS는 PAPR을 감소시키는 유용한 방법이나 부블럭의 수가 증가함에 따라 시스템의 구조가 복잡해지고, 연산량이  $2^{L-1}$ (L=부블럭수)로 증가하는 단점이 있다.

부블럭 개수의 증가로 인한 계산량을 감소시키기 위해 Cimini는 부블럭개수의 연산량만으로 낮은 PAPR값을 구하는 부최적반복계산 알고리즘(suboptimal iteration flipping algorithm)<sup>[4]</sup>을 제안하였고, Jayalath는

대부분의 부블럭은 낮은 PAPR을 가진다는 점을 이용하여 적절한 임계치를 적용하여 PAPR이 미리 정한 임계치 이하가 되면 반복계산을 멈추는 적응 PTS 알고리즘<sup>[5]</sup>을 제안하였다.

본 논문에서는 PAPR의 성능이 최적의 해를 제공하는 PTS방법에 근접하는 적응 부최적 알고리즘(Adaptive suboptimal algorithm)을 제안한다. 제안한 알고리즘의 성능은 PTS 방식에 근접하지만 연산량은 PTS 방식보다 감소하며 Cimini방식과 비교할 때 Cimini방법보다 성능이 우수하고 연산량은 감소한다. 그리고, 임계치를 적용하므로 성능이 감소하지 않는 범위 내에서 계산량을 감소시킬 수 있다.

## II. PAPR 감소기법

SLM은 PAPR을 감소하기 위해 동일 블럭으로부터 L개의 통계적으로 독립적인 블럭들을 발생한 후, 가장 낮은 PAPR값을 가지는 블럭을 선택하여 전송하는 방식으로 임의의 한 블럭을 선택했을 때 선택된 블럭의  $PAPR_{low}$ 가 임계치  $y_0$ 를 초과할 확률인 누적분포함수(CDF:Cumulative Distribution Function)는 다음과 같다.<sup>[5]</sup>

$$Pr\{PAPR_{low} > y_0\} = (Pr\{PAPR > y_0\})^L = (1 - (1 - e^{-y_0})^N)^L \quad (1)$$

여기서, N은 부반송파 개수이다.

### 1. PTS

PTS방식은 부반송파의 위상을 변화시키면서 블럭의 PAPR을 최소화시키는 SLM방식과는 달리 그림1과 같이 부대역신호 X를 서로 중복되지 않는 다수의 부블럭으로 분할하고, 부블럭별로 IFFT를 수행한 후, 크기가 1이고 위상차가 180도인 복소순환인자(rotation factor)  $b^{(l)}$ ,  $l=0,1,\dots,L-1$ 를 각 부블럭에 곱하여 부블럭들을 합한 신호의 PAPR이 최소가 되도록 복소순환인자를 조정하는 방법이다.

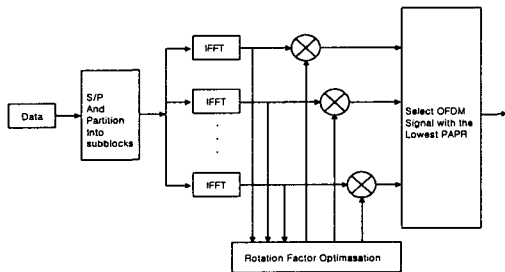


그림 1. 부분전송열 방식

순환인자를 포함한 주파수영역의 전송신호는 식 (2)과 같이 표현된다.

$$\hat{X} = \sum_{l=0}^{L-1} b^{(l)} \cdot X^{(l)}, \quad b^{(l)} = e^{j\phi^{(l)}} \quad (2)$$

여기서  $X^{(l)}$ 는 l번째 부블럭에 할당된 신호벡터이고,  $\phi^{(l)}$ 는 순환인자의 위상이다.

### 2. Cimini 방법

여러 개의 부블럭으로 구성된 PTS 방식은 최적의 순환인자를 구하기 위해 계산량이  $2^{L-1}$ 로 증가하는 단점이 있으므로 Cimini는 PTS와 성능이 유사하고, 계산량이 부블럭개수 L로 줄어드는 알고리즘을 제안하였다.

순환인자를 {1,-1}로 정하고, 프레임을 L개의 부블럭으로 분할한 후, 단계 1에서는 L개의 입력 부블럭의 순환인자  $\mathbf{b}=[b_1, \dots, b_i, \dots, b_L]$ 을 1로 정한다. 부블럭데이터를 더하여 구한 프레임의 PAPR을  $PAPR_0$ 로 저장한다. 2단계에서 첫 번째 부블럭의 순환인자를 -1로 바꾸고, PAPR을 계산한 후, 1단계에서 구한 PAPR과 비교하여 2단계에서 구한 PAPR이 1단계에서 구한 PAPR보다 작으면 순환인자를 -1로 정하고, 크면 순환인자를 1로 정한다. 위와 같은 계산을 부블럭수 L만큼 반복하여 최종 순환인자를 구한다.

### 3. 제안방법

Cimini방식은 순환인자를 구하는 계산량을 부블럭개수로 줄인 반면에 성능은 PTS방식보다 저하되는 단점이 발생한다. 본 장에서는 순환인자를 구하는 계산량을 부블럭개수 이하로 감소시키고, CDF가 Cimini방식보다 우수한 적응 부최적 PTS 알고리즘(Adaptive suboptimal PTS algorithm)을 제안한다. 제안한 순환인자 할당방법은 다음과 같다(그림 2).

- 1) 전체 대역폭을 L개의 부블럭으로 나눈 후, 1단계에서 순환인자  $\mathbf{b}=[b_1, \dots, b_i, \dots, b_L]$ 을 1로 설정하여 전체블럭에 대한 PAPR을 구한다.
- 2) 첫 번째 부블럭의 순환인자 비트를 -1로 설정하여 PAPR을 구한다.
- 3) 두 번째 부블럭의 순환인자 비트를 -1로 설정하여 PAPR을 구한다.
- 4) 부블럭의 수만큼 증가시키면서 순환인자 비트를 -1로 바꾼 후, PAPR을 계산한다.

5) 1단계에서 최소의 PAPR을 가지는 순환인자 비트를 -1로 고정한다.

6) 이전단계에서 -1인 비트는 -1로 고정한 후에 첫 번째 순환인자를 -1로 바꾼 후, PAPR을 계산한다. 부블럭 수만큼 반복한 후, 최소 PAPR인 순환인자를 구한다.

7) 반복 계산수가 부블럭수가 될 때까지 반복하면서 최종 순환인자를 구한다.

최소 PAPR이 임계치 이하일때면 반복 계산을 멈춘다. 그리고 반복 계산수는 PAPR을 구할 때마다 1씩 증가한다.

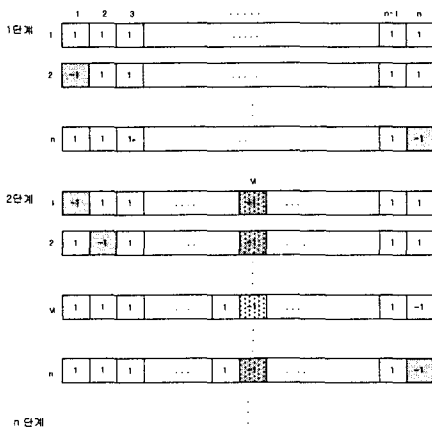


그림 2. 제안한 순환인자 할당방법

표1은 순환인자 계산량을 각 알고리즘별로 비교한 것이다. 제안한 방식에서 순환인자의 계산량을 줄이기 위해 순환인자를 -1로 설정하면서 구한 PAPR값이 미리 설정한 임계치 이하가 되면 계산을 종료하고, 순환인자의 값을 구할 때마다 전 단계의 순환인자와 비교하여 동일한 순환인자이면 계산을 종료한다. 최대 계산량은  $1 \sim n+(n-1) + \dots + 1$ 이지만 임계치를 적용하고 동일 순환인자의 경우를 제외하면 계산량은 줄어든다.

표 1. 순환인자 계산량 비교

	PTS	Cimini	제안방법
n	$2^{n-1}$	n	$1 \sim n+(n-1) + \dots + 1$
4	$2^{4-1}=8$	4	1~10
8	$2^{8-1}=128$	8	1~36
16	$2^{16-1}=32,768$	16	1~136

### III. 실험 및 고찰

기존에 제안된 순환인자 할당 방법(PTS, Cimini)에 대해 제안 방법의 상대적인 성능평가를 위해 모의실험을 수행하였다. 모의실험에 사용된 실험파라미터는 다음과 같다. 과표본화율이 4이상이면 PAPR을 정확히 구할 수 있으므로 과표본화율을 4로 정하였고, 부반송파의 수가 64개 이상이면 IFFT 변조신호특성이 가우시안 분포를 형성하므로 OFDM 프레임당 부반송파수를 128로 사용하였다. 신호사상기로는 QPSK를 사용하고, 순환인자는  $\pm 1$ 로 설정하였으며, 부블록분할법은 성능이 가장 우수한 pseudo 랜덤방법을 사용하였다. CDF를 구하기 위한 총 프레임수는 시스템 메모리의 한계로 20,000개로 제한하였다. 본 논문은 부블럭개수 L이 4, 8일 때 CDF가  $10^{-3}$ 을 기준으로 PTS, Cimini와 제안 방법의 성능 및 계산량을 구하였다.

그림 3은 부블럭 개수 L=4인 경우이다. 부블럭 개수가 1인 경우, CDF가  $10^{-3}$ 일 때 PAPR이 대략 10.9dB로 상당히 큰을 알 수 있다. 이에 비해 PTS방식과 제안 방식은  $10^{-3}$ 을 기준으로 PAPR이 8dB로 감소하여 거의 동일한 성능을 보임을 알 수 있다. 그러나 Cimini 방식은  $10^{-3}$ 을 기준으로 PAPR이 8.5dB로 감소하여 PTS방식과 제안 방식에 비해 대략 0.5dB정도의 성능 열화가 발생하였다. PTS는 OFDM 프레임당 8번의 반복 계산수가 요구되고, Cimini 방식은 4번 요구되며, 제안 방법은 평균 7.85번의 반복 계산수가 요구된다. 제안 방식에 임계치를 7, 7.5, 8dB 적용할 경우, 반복 계산수는 평균 5.23, 2.92, 1.74로 감소하여 복잡도는 PTS에 비해 65%, 37%와 22%로 감소한다.

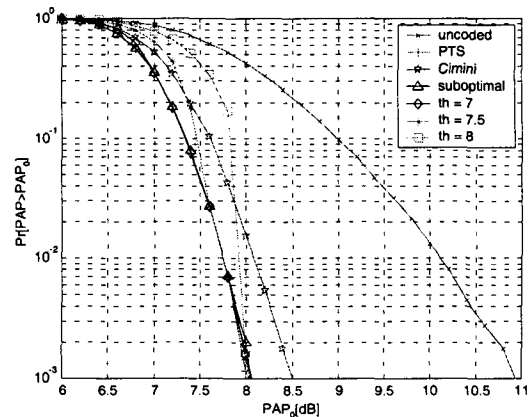


그림 3. PTS, Cimini와 제안방법의 CDF 비교(L=4)

그림 4는 부블럭 개수 L=8인 경우이다. PTS방식은  $10^{-3}$ 을 기준으로 PAPR이 6.8dB로 감소하고, 제안 방법은 7.5dB, Cimini 방식은 7.9dB로 성능이 감소하였다. PTS는 OFDM 프레임당 128번의 반복 계산수가 요구

되고, Cimini 방식은 8번 요구되며, 제안 방법은 평균 19.47번의 반복 계산수가 요구된다. 제안 방식에 임계치를 7, 7.5dB 적용할 경우, 반복 계산수는 평균 7.33, 3.12로 감소하여 복잡도는 PTS에 비해 6%와 2.4%로 감소한다.

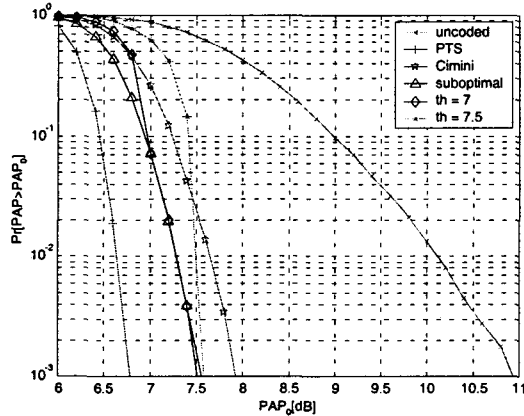


그림 4. PTS, Cimini와 제안방법의 CDF 비교(L=8)

#### IV. 결론

본 논문은 기존의 부분전송열에 비해 약간의 CDF 성능저하로 순환인자 반복 계산수를 크게 감소시킬 수 있는 부최적 반복계산 PTS 방법을 제안하였다. 제안한 방법의 CDF는 Cimini 방법에 비해 0.4dB 향상하였고, 계산량은 임계치를 도입함으로 36%로 감소하였으며, PTS 방법에 비해 성능은 0.7dB 감소된 반면에 계산량은 2.4%로 감소함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] L. C. Cimini Jr., "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency-division multiplexing," IEEE Tran. on Comm., Vol. 33, No. 7, pp.665-675, Jul. 1985
- [2] R.W. Bauml, R.F.H. Fischer and J. B. Huber, "Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of multicarrier modulation by selected mapping," Elec. Let., Vol.32, No. 22, pp.2056-2057, Oct. 1996
- [3] S. H. Muller and J. B. Huber, "OFDM with Reduced Peak-to-Average Power Ratio by Optimum Combination of Partial Transmit

Sequences," Electron Lett., Vol. 33, No. 5, pp.368-369, Feb. 1997

- [4] L. J. Cimini Jr., "Peak-to-Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences," IEEE Comm. Letters, Vol. 4, No. 3, pp.86-88, Mar. 2000

- [5] A. D. S. Jayalath and C. Tellambura, "Adaptive PTS Approach for reduction of Peak-to-Average Power Ratio of OFDM signal," Electron Lett., Vol. 36, No. 14, pp.1226-1228, Feb. 2000