

# PTS에서의 계산복잡도 감소를 위한 Kasami Sequence를 활용한 PAPR 감쇄 방법

\*조영전°, \*노종선, \*\*신동준

\*서울대학교 전기컴퓨터 공학부, 뉴미디어통신공동연구소

\*\*한양대학교 전자통신컴퓨터공학부

## PTS Scheme with Low Complexity for PAPR Reduction by Using Kasami Sequences

\*Young-Jeon Cho°, \*Jong-Seon No and \*\*Dong-Joon Shin

\*Department of EECS, INMC, Seoul National University

\*\*Department of ECE, Hanyang University

cho5595@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, djshin@hanyang.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 최대 전력 대 평균 전력의 비(PAPR; peak to average power ratio) 감소를 위한 방법중의 하나인 부분전송수열(PTS; partial transmit sequence)을 사용한다. 그러나 PTS는 많은 계산량을 필요로 하기 때문에 이를 감소시키기 위한 새로운 방법을 이 논문에서 제안한다. 제안된 방법은 카사미 수열(Kasami sequence)을 이용하여 PTS 알고리즘을 구현하고 모의 실험을 통해서 적은 계산량으로 PAPR 성능을 향상시킴을 확인할 수 있었다.

### 1. 서론

직교 주파수 분할 다중 반송파(OFDM; orthogonal frequency division multiplexing) 시스템은 다중반송파 신호를 이용하기 위해 역푸리에 변환(IFFT; inverse fast Fourier transform)을 사용하며 이때 시간 영역의 신호로 바뀌는 데이터는 최대 전력 대 평균 전력의 비(PAPR; peak to average power ratio)가 크다는 단점이 생기게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 많은 방법들이 제안되어졌으며 그중에 부분전송수열(PTS; partial transmit sequence)은 위상만을 변경하여 전송하는 방식으로 수신단에서 비트에러율 없이 복원이 가능하다. 그러나 PTS 방법은 많은 후보 시퀀스 중에서 좋은 PAPR을 갖는 인수를 찾아야 함으로 계산량이 복잡해지는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 메타휴리스틱(meta-heuristic) 방법을 이용하여 계산복잡도를 줄이는 논문들이 제안되어졌다[1][2]. 이 논문에서는 PTS에서 카사미 수열을 이용하는 알고리즘을 구현하여 적은 계산량으로 PAPR 감쇄 효과를 얻는 방법을 제안한다.

### 2. 기존 PTS 방법

하나의 심볼주기 안의 OFDM 신호를  $x(t)$ 라 하면

PAPR은 다음식과 같이 주어진다.

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

여기서  $E[\cdot]$ 는 기대치 연산을 의미한다.

입력 데이터 블록  $\mathbf{X}$ 는 PTS에서  $M$ 개의 분리된 작은블록(subblock)으로 나뉘어  $X_m$ 을 생성하며,

이 subblock들은 각각 IFFT 연산을 한 후

시간축에서 위상 인수 벡터  $\mathbf{b} = [b_1, b_2, \dots, b_M]$ 와

곱해져서 서로 다른 후보 심볼 시퀀스

$\mathbf{x}'(b) = [x'_0(b), x'_1(b), \dots, x'_{NL-1}(b)]$ 를 생성한다.

이를 식으로 표현하면 아래와 같이 정의된다.

$$\mathbf{x}'(b) = \sum_{m=1}^M b_m \cdot x_m$$

이 중 가장 작은 PAPR을 갖는 후보 심볼

시퀀스가 보내지게 되며 PTS의 목적은 이 후보 심볼 시퀀스를 만드는 위상 인수를 찾는 것이다.

그러나 위상 인수를 찾는 계산량은  $W^{M-1}$ 로서 소모적인 계산량이 필요하다. 여기서  $W$ 는 허용된 위상 인수의 개수이다.

### 3. 계산복잡도 감소를 위한 PTS 방법

## A. 카사미 수열을 이용한 새로운 알고리즘 구현

여러개의 후보 심볼 시퀀스 벡터  $\mathbf{x}'(b)$ 을 생성하기 위한 위상 인수 벡터  $\mathbf{b}$ 를 카사미 수열을 이용하여  $k$ 개 만큼 초기값을 생성한다. 이때 상관성 (correlation)이 작은 많은 위상 인수를 선택하기 위해 카사미 수열의 동종집합(family set)을 이용한다. 생성된  $k$ 개의 후보 위상 인수의 PAPR을 각각 구하며 그 중 PAPR 값이 작은 인수  $u$ 개만을 선택한다. 이때  $u < k$  를 만족한다. 선택된  $u$ 개의 위상 인수 벡터는 부분 탐색(local search)을  $i$ 번 만큼 시행하여 또 다른 후보신호를 만들어 내며 이때 부분탐색 방법은 벡터  $\mathbf{b}$ 의 원소 중 3개만을 변경한다. 따라서 한번 초기값을 생성하고 부분탐색까지 하는 위상인수의 개수는 아래와 같으며 여기서  $C$ 는 이항계수를 나타낸다.

$$k + \binom{u}{3} \times i = k + \frac{u!}{(u-3)!3!} \times i$$

이렇게 생성된 후보 시퀀스 중에서 다시 PAPR이 작은 후보 시퀀스를  $v$ 개만큼 선택하고 이런 과정을 반복적으로 시행한다.

## B. 모의 실험 결과

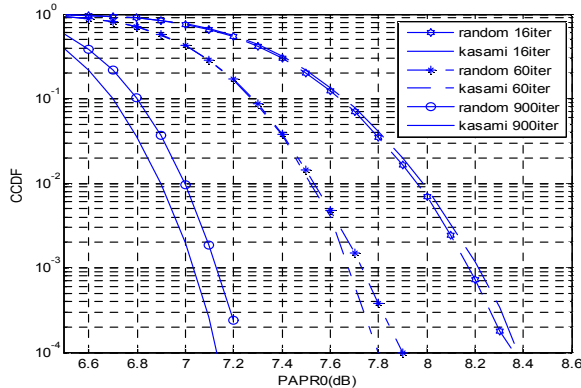


그림 1. 랜덤탐색과 제안된 알고리즘의 성능 비교

그림 1.에서 임의로 위상 인수를 선택하여 구한 그래프(random)와 제안된 방법으로 카사미 수열을 이용해 구한 그래프(Kasami)의 PAPR을 비교하였다. 이 시스템의 변조는 직교 진폭 변조(16QAM; quadrature amplitude modulation)를 사용하여 오버샘플링(oversampling)을 하였고, subblock은 16개로 나누고 반송파는 256개, 그리고 위상 인수는 (1, -1)의 2개를 사용하였다. 그래프에서 보는 바와같이 반복횟수(iteration)를 변화시켜 비교해보았을 때 제안된 알고리즘을 사용했을 때가 무작위로 위상 인수를 선택하여 구한 PAPR보다 0.1dB의 성능향상이 된 것을 알 수 있다.

그림 2에서는 128개의 반송파를 이용하여 PTS를 사용했을 때 위상 인수 전부를 탐색(optimal PTS)했을때와 제안된 방법으로 900번을 iteration하였을

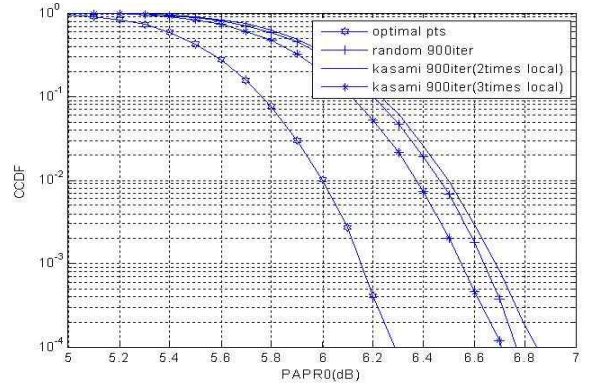


그림 2. 제안된 PTS 방법과 기존 PTS 성능 비교

때의 PAPR성능을 보여준다. 전체 탐색시 계산량은  $2^{15} = 32768$ 번을 수행해야 하지만 제안된 방법으로 전체 계산량의 2.75%인 900번만을 사용했을 때 전체 탐색과 단지 0.5dB의 차이만 있음을 모의 실험을 통해 알 수 있다. 또한 부분 탐색을 2번했을 때보다 3번했을 때 PAPR성능도 더 좋아짐을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 PTS에서의 계산복잡도 감소를 위한 새로운 방법을 제안했으며 모의실험을 통하여 적은 계산량을 가지고 높은 PAPR 성능을 구현함을 보여주었다.

## 5. 참고 문헌

- [1] Y. Zhang, Q. Ni, H.-H. Chen, and Y. Song, "An intelligent genetic algorithm for PAPR reduction in a multi-carrier CDMA wireless system," in *Proc. IEEE International Conf. Wireless Commun. Mobile Computing(IWCMC)*, Aug. 2008, pp. 1052-1057.
- [2] Y. Wang, W. Chen and C. Tellambura, "A PAPR Reduction Method Based on Artificial Bee Colony Algorithm for OFDM Signal," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 10, pp. 2994-2999, Oct. 2010.

## 6. 감사의 글

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0000328).