

새로운 능동적 사상 확장 방법에 의한 직교 주파수 분할 다중화 신호의 최대전력 대 평균전력의 비 감소 방법

*전현배⁰, *주현승, *김기훈, *노종선, **신동준
*서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소
***한양대학교 전자통신컴퓨터공학부

New Active Constellation Extension for PAPR reduction in OFDM

*Hyun-Bae Jeon⁰, *Hyun-Seung Joo, *Kee-Hoon Kim, *Jong-Seon No, and **Dong-Joon Shin

*Department of the EECS, INMC, Seoul National University

**Department of the ECE, Hanyang University,

{lucidream, joohs, kkh}@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, djshin@hanyang.ac.kr

요약

본 논문에서는 직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 신호의 최대전력 대 평균전력의 비 (peak-to-average power ratio: PAPR)의 감소를 위한 새로운 방식의 능동적 사상 확장 (Active Constellation Extension: ACE) 방법을 제안한다. 제안한 방법은 clipping대신 TR에서 사용하는 PRT set을 이용한 peak cancelling 방식을 사용하며, peak cancelling을 위한 kernel signal을 최외각에 위치한 tone들로만으로 구성된 PRT로부터 생성하여 ACE 제약에 의한 peak regrowth를 줄임으로써, 궁극적으로 PAPR 성능을 향상시킨다.

I. 서론

직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 전송 방식은 차세대 무선 통신의 중요한 전송 방식으로 주목받고 있지만, 최대전력 대 평균전력의 비 (peak-to-average power ratio: PAPR)가 커서 고전력 증폭기와 같은 비선형 단자에서의 효율성을 떨어뜨리는 문제를 가지고 있다 [1]. 능동적 사상 확장 (Active constellation extension: ACE) 방법은 PAPR 감소 기법 중의 하나로, clipping 이후 발생한 noise를 심볼간의 최소 거리를 유지하도록 외각으로 확장하는 반복적인 peak 제거 기법이다 [2]. 이러한 ACE constraint는 BER 열화를 막지만, peak value가 다시 커지는 원인이 되고, 따라서 주파수와 시간 영역의 반복 수행을 요구하게 된다. 본 논문에서는 clipping 대신 peak cancelling 기법을 이용하여, 이러한 peak regrowth를 줄임으로써, 궁극적으로 PAPR 성능을 향상시키는 ACE 기법을 제안한다.

II. 최대 전력대 평균전력의 비와 능동적 사상 확장 방법

N 개의 부반송파를 갖는 OFDM 심볼 시퀀스 $\mathbf{A} = \{A_0, A_1, \dots, A_{N-1}\}$ 는 역 푸리에 변환(inverse fast Fourier transform: IFFT)을 거쳐 이산 시간 영역의 OFDM 신호

시퀀스로 변환된다.

$$a_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} A_k e^{j2\pi \frac{k}{N} n}, \quad 0 \leq n < N \quad (1)$$

이 때, 이산 신호 영역에서의 PAPR은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{PAPR}(\mathbf{a}) \doteq \frac{\max_{0 \leq n < N} |a_n|^2}{\text{E}[|a_n|^2]} \quad (2)$$

여기서 $\text{E}[\cdot]$ 는 기대 평균을 의미한다.

ACE minmax 수식은 다음과 같이 표현된다.

$$\min_{\mathbf{C} \in \mathcal{C}_{ext}} \max |\hat{a}_n| \quad (3)$$

여기서,

$$\hat{a}_n = a_n + c_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{JN-1} (A_k + C_k) e^{j2\pi nk/JN}. \quad (4)$$

$\mathbf{C}_{PRD} = \{C_0, C_1, \dots, C_{JN-1}\}$ 는 주파수 영역에서의 peak 제거 data이고 \mathcal{C}_{ext} 는 ACE constraint를 만족시키는 peak 제거 data의 가능한 space이다. ACE constraint를 적용한 후에, 외각 사상에 위치한 peak 제거 data는 심볼 사이의 최소 거리가 유지되도록 투영되며, 나머지 data는 0의 값으로 제거된다. 결과적으로 \mathbf{C}_{PRD} 는 \mathcal{C}_{ext} 의 부분 집합이 된다.

위의 최적화 문제를 풀기 위한 방법으로 두 가지가 제안되었는데, Projection onto convex set (POCS)은 최

적의 결과를 얻을 수 있지만 수렴 속도가 느리며, Smart gradient project (SGP)는 준최적화 방법이지만, 빠르게 수렴한다는 장점이 있다 [2].

클리핑 이후의 클리핑 노이즈는 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform: FFT)을 통해서 주파수 영역의 peak 제거 data로 변환되고, 이는 전 주파수 영역으로 분산된다. ACE constraint에 의해서, peak 제거 data는 C_{ext} 의 부분 집합으로 투영되게 되고, 이러한 과정이 peak 신호를 재 생성하는 원인이 된다. 이처럼, FFT/IFFT의 반복 수행동안 발생하는 peak regrowth는 ACE의 peak 제거 성능을 제한한다. 만약, clipping 대신 peak cancelling이 peak 제거 방법으로 사용되고, 이를 위한 peak reduction tone (PRT)가 C_{ext} 의 부분 집합으로부터 구성된다면, peak cancelling 이후의 peak 제거 data는 PRT를 구성하는 심볼의 위치에서만 발생하게 되며, 결과적으로 ACE constraint에 의한 peak regrowth는 발생하지 않게 된다. 하지만, c_n 을 주파수 영역으로 변환하기 전에 C_{ext} 의 non-zero 성분을 찾는 것을 쉽지 않기 때문에, 대안으로 최외각 사상이 존재하는 위치에서만 PRT를 구성하는 방법을 제안한다.

N_s 가 OFDM 심볼 시퀀스에서 최외각 사상에 위치한 심볼의 개수이고, $\mathbf{S} = \{m_0, \dots, m_{N_s-1}\}$ 이 이들의 순차적 index 집합이라고 하면, PRT는 다음과 같이 구성된다.

$$G_k = \begin{cases} 1, & k \in \mathbf{S} \\ 0, & k \notin \mathbf{S} \end{cases} \quad (5)$$

따라서, 시간 영역의 kernel 신호는

$$g_n = \frac{1}{N_s} \sum_{k=0}^{JN-1} G_k e^{j2\pi \frac{k}{JN} n}, \quad 0 \leq n < JN. \quad (6)$$

이 된다. 이러한 kernel 신호를 이용해서 peak cancelling을 하게 되면, distortion noise는 최외각 사상에 위치한 OFDM 심볼에만 영향을 주게 되고, 결과적으로, ACE constraint이후에 peak regrowth는 clipping을 이용한 기존의 ACE 방법보다 훨씬 적어지게 된다.

III. 모의실험 결과

그림 1은 $N = 512$ 인 OFDM 시스템에서 기존의 ACE와 제안한 ACE의 성능 비교를 상보 누적 분포 함수(complementary cumulative distribution function; CCDF) 이용해서 보여준다. (a)는 clipping level A_{th} 가 6 dB인 경우, QPSK에서의 성능이고 (b)는 A_{th} 가 8 dB인 경우, 16-QAM에서의 성능을 비교한다. 모든 경우에 대해서, 제안한 방법이 성능이 좋음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 OFDM 신호의 PAPR을 줄이기 위한 새로운 방식의 능동적 사상 확장 기법을 제안하였다. 제안한 방법은 clipping대시 peak cancelling을 이용하며, 최외각에 위치한 symbol의 index로부터 PRT를 구성하

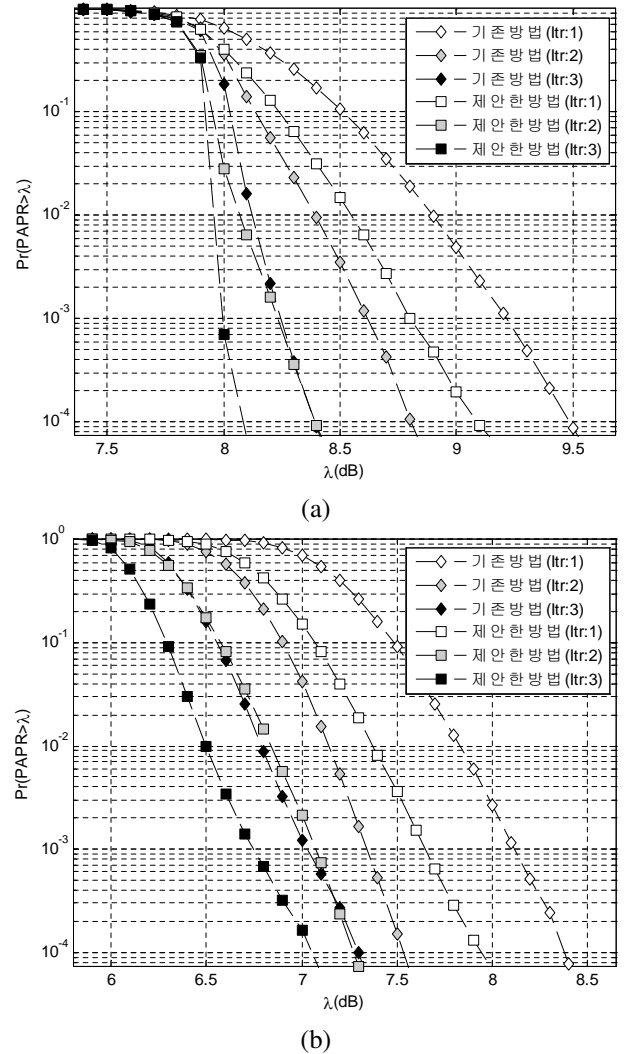


그림 1. 기존의 ACE와 제안한 ACE의 PAPR 감소 성능 비교 : (a) QPSK, $A_{th} = 6\text{dB}$ and (b) 16-QAM, $A_{th} = 8\text{dB}$.

여, ACE constraint이후에 peak regrowth를 줄이도록 하고 있다. 실험 결과는 제안한 방법이 기존의 방법보다 대략 한 번의 iteration을 절약하는 PAPR 성능 개선 효과를 가져옴을 보여준다. 불

V. 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0000867).

참고문헌

- [1] R. O'neal and L. N. Lopes, "Envelope variation and spectral splatter in clipped multicarrier signals," in *Proc. PIMRC'95*, Sep. 1995, pp. 71-75.
- [2] B. S. Krongold and D. L. Jones, "PAR reduction in OFDM via active constellation extension," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 49, no. 3, pp. 258-268, Sep. 2002.