

OFDM 신호의 PAPR 감소를 위한 Blind PTS 기법에 관한 연구

정회원 *주 현 승, 정회원 *허 석 중, 정회원 *전 현 배, 종신회원 *노 종 선, 종신회원 **신 동 준
*서울대학교, **한양대학교

*jooos@ccl.snu.ac.kr, *hsjbest@ccl.snu.ac.kr, *lucidream@ccl.snu.ac.kr, *jsno@snu.ac.kr,
**djshin@hanyang.ac.kr

Blind PTS for PAPR Reduction of OFDM Signals

*Hyun-Seung Joo Member, *Seok-Joong Heo Member, *Hyun-Bae Jeon Member, *Jong-Seon No Life
Member, **Dong-Joon Shin Life Member

*Dept. of EECS, INMC SNU, **Dept. of ECE Hanyang Univ.

요 약

직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing; OFDM) 전송 방식은 페이딩 채널에 강건하기 때문에 차세대 통신 방식으로 고려되고 있지만 최대 전력 대 평균 전력 비율 (peak to average power ratio; PAPR)이 크다는 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위한 방법 중 하나인 부분 전송 수열 (partial transmit sequence; PTS) 기법은 여러 대안의 OFDM 심볼을 생성하여 최소의 PAPR 을 가지는 OFDM 신호를 보내는 방법이다. 그러나 부가 정보 (side information; SI)를 보내야 하기 때문에 전송 효율이 떨어지고 SI 의 오류 시에 큰 비트오류율 (bit error rate; BER)의 열화가 발생한다. 따라서 본 논문은 이러한 SI 를 보내지 않고 수신단에서 복호 가 가능한 새로운 blind PTS (BPTS)를 제안한다. BPTS 는 송신단에서 적절한 rotating factor 를 사용하면 수신단에서 새로운 ML 복호기를 통해 BER 의 열화 없이 데이터를 복원해낼 수 있고 이를 모의실험을 통해서 검증하였다.

I. 서론

직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing; OFDM) 전송 방식은 다중 경로 (multipath) 환경에 강인하고 주파수 대역의 높은 효율 성을 가지고 있어 여러 통신 시스템 표준으로 채택되었다. 하지만, 시간영역에서 최대 전력 대 평균 전력 비율 (peak to average ratio; PAPR)가 크다는 단점을 가지고 있어 고전력 증폭기 (high power amplifier; HPA)의 비 선형 특징 때문에 신호 왜곡이 발생하여 데이터의 비트 오류율 (bit error rate; BER)이 크게 열화된다.

이러한 PAPR 문제를 해결하기 위해 여러 방법이 제안되었다. 특히, 심볼 스캐램블링 (symbol scrambling) 기법 중 부분 전송 수열 (partial transmit sequence; PTS)은 입력 심볼 시퀀스(symbol sequence)를 서로 다른 V 개의 부심볼 시퀀스(symbol subsequence)로 나누어 각 부심볼 시퀀스마다 특정한 rotating factor 를 심볼 별로 곱한 후 합해서 여러 대안의 OFDM 심볼 시퀀스들을 생성하고 이 중 가장 작은 PAPR 을 가지는 심볼 시퀀스를 전송하게 되는 기법이다 [1].

PTS 기법은 수신단에서 전송된 입력 심볼 시퀀스를 복원하려면 송신단에서 사용된 rotating factor 에 관한 부가 정보 (side information; SI)를 보내야만 한다. 이러한 SI 는 전송 효율을 감소시키는 원인이 되며 또한 잘못된 SI 는 BER 성능에 중대한 영향을 미친다. 따라서 SI 를 보내지 않아도 복원이 가능한 blind PTS (BPTS) 기법이 제안되었지만 복잡도가 굉장히 커서 구현이 어려운 문제점이 있었다 [2].

본 논문에서는 연산량이 적은 새로운 BPTS 기법을 제안한다. 이 방법은 [3]의 blind SLM (BSLM)에 적용했던 알고리즘을 발전시킨 것으로써 수신단에서 SI 를 찾기 위해 최대 우도 (maximum likelihood; ML) 복호기 (decoder)를 이용한다. 제안된 복호기는 단지 기존의 복호기 복잡도에 2 배에 해당하는 복잡도를 가지고 있으면서 약간의 BER 성능만을 열화 시킨다. 또한 기존의 PTS 기법과 동일한 PAPR 감소 성능을 가지고 있다.

II. Blind PTS 기법

N 개의 부반송파를 사용하는 OFDM 시스템에서의 입력 심볼 시퀀스 $\mathbf{X} = [X_0 X_1 X_2 \dots X_{N-1}]$ 에 대하여 이산 OFDM 신호는 다음과 같이 표현된다.

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

여기서 X_n 은 n 번째 부반송파의 입력 데이터를 의미하고 N 은 부반송파의 수이다. 각 데이터는 정해진 성상도 Q 에 존재한다.

PTS 기법은 입력 심볼 시퀀스 \mathbf{X} 를 서로 다른 부심볼 시퀀스 $\mathbf{X}_v = [X_{v,0}, X_{v,1}, \dots, X_{v,N-1}]$, $v=1, 2, \dots, V$ 로 나누어 다음과 같이 표현한다.

$$\mathbf{X} = \sum_{v=1}^V \mathbf{X}_v \quad (2)$$

여기서 입력 심볼 시퀀스 \mathbf{X} 내의 각 부반송파 데이터는 한 개의 \mathbf{X}_v 에만 속해있고 각 부심볼 시퀀스는 데이터가 할당된 부반송파 구간을 제외하고 나머지 구간에서는

본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원 [No. 2009-0081441]과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 핵심 기술개발사업의 지원으로 수행 하였습니다. [2008-F-007-02, 3 차원 환경에서의 지능형 무선통신 시스템].

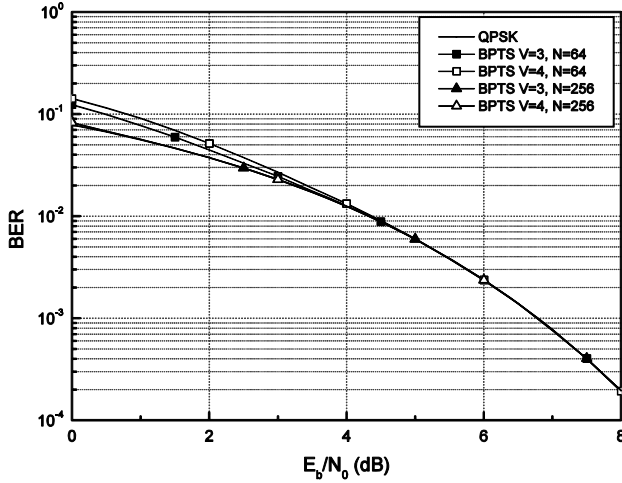


그림 1. $N=64, 256$ 와 $V=3, 4$ 일 때 BPTS 의 BER 성능.

$X_{v,k}=0, 0 \leq k \leq N-1$ 이 된다. 각 부심볼 시퀀스에 $|b_v|=1$ 인 rotating factor b_v 를 곱하여 대안의 심볼 시퀀스를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{\mathbf{X}} = \sum_{v=1}^V b_v \mathbf{X}_v \quad (3)$$

대안의 OFDM 신호는 각 부심볼 시퀀스를 개별적으로 IFFT 한 후 합으로 나타낼 수 있다. 이것은 IFFT 의 선형성 때문에 가능하다. 따라서 대안의 OFDM 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{\mathbf{x}} = \text{IFFT} \left\{ \sum_{v=1}^V b_v \mathbf{X}_v \right\} = \sum_{v=1}^V b_v \mathbf{x}_v \quad (4)$$

최소의 PAPR 을 가지게 하는 최적화된 rotating factor 벡터 $\tilde{\mathbf{b}} = [\tilde{b}_1, \dots, \tilde{b}_V]$ 는 다음과 같이 선택된다.

$$\tilde{\mathbf{b}} = [\tilde{b}_1, \dots, \tilde{b}_V] = \arg \min_{[b_1, \dots, b_V]} \left(\max_{0 \leq k \leq N-1} \left| \sum_{v=1}^V b_v x_{v,k} \right| \right) \quad (5)$$

따라서, 최적의 전송 OFDM 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$\tilde{\mathbf{x}} = \sum_{v=1}^V \tilde{b}_v \mathbf{x}_v \quad (6)$$

기존의 PTS 에서는 보통 rotating factor 가 $b_v \in \{-1, 1\}$ 이고 $b_1=1$ 이기 때문에 $2^{(V-1)}$ 개의 대안의 심볼 시퀀스를 만든다. 이 rotating factor 를 사용하면 하나의 성상도만 사용하기 때문에 수신단에서 입력 심볼 시퀀스와 대안의 심볼 시퀀스를 구분할 수 없어 SI 를 반드시 보내야 입력 심볼 시퀀스를 복원할 수 있다. 따라서 제안된 BPTS 는 $b_v \in \{1, e^{j3\pi/4}\}$ 를 사용한다. 이것은 2 개의 성상도를 사용한 효과를 가지게 해서 SI 를 각 대안의 심볼 시퀀스마다 심어두는 역할을 한다.

제안한 BPTS 기법은 M-PSK 또는 M-QAM 복호기를 사용하지 않고 새로운 ML 복호기를 사용한다. 이를 정의하기 위한 주파수 영역의 수신된 심볼 R_n 은 다음과 같이 표현된다.

$$R_n = H_n X_n \tilde{b}_v + N_n \quad (7)$$

여기서 H_n 은 n 번째 부반송파에 대한 페이딩 채널의 주파수 응답이고 N_n 은 n 번째 부반송파의 Gaussian 백색 잡음 (additive white Gaussian noise; AWGN) 샘플이다. 송신단에서 어떤 대안의 심볼 시퀀스가 선택되었는지

알려주지 않지만 제안된 ML 복호기는 결정 메트릭 (decision metric) 을 사용하여 입력 심볼 시퀀스를 복호할 수 있다. 새로운 ML 복호기의 메트릭은 다음과 같이 표현된다.

$$D = \sum_{v=1}^V \min_{\substack{[b_1, \dots, b_V] \\ b_v \in \{1, e^{j3\pi/4}\}}} \sum_{n=N(v-1)/V}^{Nv/V-1} \min_{\hat{X}_n \in Q} |R_n b_v^{-1} - H_n \hat{X}_n|^2 \quad (8)$$

여기서는 BPTS 의 입력 심볼 시퀀스가 연결된 심볼로만 부심볼 시퀀스로 분할하는 경우에 대해 고려하였고 AWGN 채널을 가정하기 때문에 $H_n=1$ 이 된다. 따라서 이 ML 복호기는 AWGN 채널에서 거의 BER 열화가 발생하지 않으면서 전체 연산량은 기존의 ML 복호기가 qN 이라 했을 때 단지 2 배인 $2qN$ 의 연산만이 필요하다.

III. 모의실험

모의실험은 QPSK 의 변조를 하고 부반송파의 수가 $N=64, 256$ 일 때 인 OFDM 시스템에서 수행하였다. HPA 는 고려하지 않았고 AWGN 채널에 대해서 실험하였다. 과표본은 하지 않았고 10^8 개의 이진 데이터 에 대해서 BER 을 살펴보았다. 제안된 BPTS 는 본 논문에서 ML 복호기 (8) 을 사용하였다.

그림 1 은 부반송파의 수가 $N=64, 256$ 이고 $V=3, 4$ 인 경우에 BPTS 의 BER 성능을 나타내었다. $N=64$ 인 경우에 아주 낮은 신호 대비 잡음 (signal to noise ratio; SNR) 에서만 열화가 나타나고 3 dB 이상의 SNR 부터는 QPSK 의 BER 과 차이나 나지 않는다. 하지만 $N=256$ 일 때에는 낮은 SNR 영역에서도 BER 성능 열화가 거의 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. N 이 커지면 살펴볼 수 있는 데이터 심볼이 증가해서 결정 메트릭의 값에 차이가 커지기 때문에 기존 QPSK 의 BER 과 차이가 나지 않는다.

IV. 결론

본 논문에서는 OFDM 신호의 PAPR 감소를 위해 적은 연산량을 가지는 새로운 blind PTS 기법을 제안하였다. 이 기법은 rotating factor 를 기존과 다르게 잡아 그에 맞는 ML 복호기를 설계하여 부가 정보없이 입력 심볼 시퀀스를 복원할 수 있다. 모의실험 결과 BER 성능 열화가 거의 존재하지 않으면서 적은 연산량만으로 복원이 가능함을 보일 수 있었다.

참고 문헌

- [1] S. H. Müller, R.W. Bäuml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by multiple signal representation," *Ann. Telecommun.*, vol. 52, no. 1-2, pp. 58-67, Feb. 1997.
- [2] A. D. S. Jayalath and C. Tellambura, "SLM and PTS peak-power reduction of OFDM signals without side information," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 5, pp. 2006-2012, Sep. 2005.
- [3] 주현승, 허석중, 전현배, 노종선, 신동준, "OFDM 신호의 PAPR 감소를 위한 적은 연산량을 가지는 새로운 Blind SLM 기법에 관한 연구", *한국통신학회 하계종합학술발표회 논문초록집*, vol. 37, p. 720, 2008년 7월 2일-7월 4일.