

## OFDM 신호의 PAPR 감소를 위한 순환 이동을 이용한 Blind PTS 기법

\*주현승, \*전현배, \*김기훈, \*노종선, \*\*신동준  
 \*서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소  
 \*\*한양대학교 전자통신컴퓨터공학부

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

## Blind PTS using Cyclic Shift for PAPR Reduction of OFDM Signals

\*Hyun-Seung Joo, \*Hyun-Bae Jeon, \*Kihoon Kim, \*Jong-Seon No, \*\*Dong-Joon Shin  
 \*Department of the EECS, INMC, Seoul National University,  
 \*\*Department of the ECE, Hanyang University

## 요약

직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing; OFDM) 신호의 최대 전력 대 평균 전력 비율 (peak to average power ratio; PAPR) 감소를 위한 방법 중 하나인 부분 전송 수열 (partial transmit sequence; PTS) 기법은 시간 영역에서 여러 대안의 OFDM 신호를 생성하여 최소의 PAPR 을 가지는 OFDM 신호를 보내는 방법이다. 이러한 PTS 기법 중 순환 이동 (cyclic shift)을 이용한 방법이 가장 작은 PAPR 을 가지는 대안의 신호 시퀀스 (signal sequence)를 찾기 위한 계산 복잡도를 크게 낮출 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 적절한 순환 이동 값을 이용하여 이를 부가 정보 (side information)의 전송 없이 수신단에서 데이터를 복원할 수 있는 순환 이동을 이용한 blind PTS 기법을 제안한다. 기존 blind 선택사상기법과 유사한 최대 우도 복호기를 사용하여 비트오류를 열화가 발생하지 않음을 모의실험을 통해서 검증한다.

## I. 서론

직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing; OFDM) 전송 방식은 다중 경로 페이딩 (multipath fading) 환경에 강인하여 여러 통신 시스템의 표준으로 채택되었다. 하지만, 시간 영역에서 최대 전력 대 평균 전력 비율 (peak to average ratio; PAPR) 가 크다는 단점을 가지고 있어 비선형 HPA 에 의해 대역 외 방사와 대역 내 왜곡으로 OFDM 신호의 데이터 비트오류율 (bit error rate; BER)이 크게 열화된다.

OFDM 신호의 PAPR 문제를 해결하기 위해 여러 방법 중 부분 전송 수열 (partial transmit sequence; PTS)은 입력 심볼 시퀀스(input symbol sequence)를 서로 다른  $V$  개의 부시퀀스 (subsequence)로 나누어 각 부시퀀스마다 rotating factor 를 심볼 별로 곱한 후 합해서 여러 대안의 심볼 시퀀스들을 생성하고 이 중 가장 작은 PAPR 을 가지는 심볼 시퀀스를 전송하는 기법이다 [1].

PTS 기법에서 대안의 심볼 시퀀스를 찾는 계산 복잡도를 낮추기 위해 여러 가지 방법이 제안되었다. 이 중에 순환 이동 (cyclic shift)를 이용한 방법 [2]은 계산 복잡도를 크게 낮추면서 PAPR 성능은 기존의 PTS 기법과 동일하여 실제 OFDM 시스템의 구현에서 유리하다. 하지만, 수신단에서 전송된 심볼 시퀀스를 복원하려면 송신단에서 사용된 순환 이동 값에 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.

순환 이동을 이용한 기존의 PTS 기법은 입력 심볼 시퀀스를 두 개의 부시퀀스로 나누어 한 부시퀀스만을 순환 이동시킨다 [2]. 본 논문은 이와 다르게 시간 영역의 모든 부시퀀스를 각각 순환 이동하여 수신단에서 SI 를 보내지 않아도 복원이 가능한 blind PTS (BPTS) 기법을 제안한다. 수신단에서 순환 이동 값 전송 없이 입력 심볼 시퀀스를 복원하기 위해 [3]에 제안된 최대 우도 (maximum likelihood; ML) 복호기 (decoder)를 변형하여 이용한다. 이 복호기가 BER 열화 없이 데이터 복원이 가능함을 모의 실험을 통해 확인해본다.

## II. 순환 이동을 이용한 Blind PTS

$N$  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 정상도  $Q$  에 존재한다.

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

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. 2010-0000867)

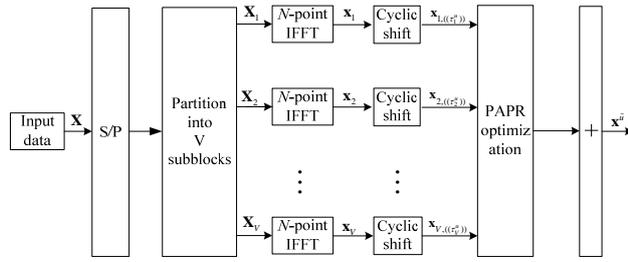


그림 1. Cyclic shift 를 이용한 PTS 기법

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

여기서 입력 심볼 시퀀스  $\mathbf{X}$ 의 각 부반송파 데이터는 한 개의  $\mathbf{X}_v$ 에만 존재하고 각 부시퀀스는 데이터가 할당된 부반송파를 제외하고 나머지 구간에서는  $X_{v,k} = 0, 0 \leq k \leq N-1$  이 된다. 이 때, 각 부시퀀스에 속하는  $N/V$  개의 부반송파들은 임의로 선택한다. Rotating factor  $b_v^u, 1 \leq u \leq U$ 와 IFFT의 선형성에 의해 다음과 같이 시간 영역에서 계산하여 대안의 신호 시퀀스 (signal sequence)를 얻을 수 있다.

$$\mathbf{x}^u = \text{IFFT} \left\{ \sum_{v=1}^V b_v^u \mathbf{X}_v \right\} = \sum_{v=1}^V b_v^u \mathbf{x}_v \quad (3)$$

기존 PTS 기법과 달리 순환 이동을 이용한 PTS 기법은 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{x}^u = \sum_{v=1}^V \mathbf{x}_v \left( \tau_v^u \right) \quad (4)$$

여기서  $\tau_v^u \in \mathbf{B}_v$ 는 시간 영역의 각 부시퀀스마다 순환 이동 값을 의미하고  $[0, N)$ 에 속하는 정수값이다.  $\mathbf{B}_v$ 는 각 부시퀀스의  $\tau_v^u$  값 집합이다. 그림 1은 순환 이동에 이용한 PTS 기법을 나타낸다. 이 때의 각 부시퀀스의 신호는 다음과 같이 변형된다.

$$\begin{aligned} x_{v,n-\tau_v^u} &= \sum_{k \in \mathbf{A}_v} X_k e^{j \frac{2\pi k(n-\tau_v^u)}{N}} \\ &= \sum_{k \in \mathbf{A}_v} \left( X_k e^{-j \frac{2\pi k \tau_v^u}{N}} \right) e^{j \frac{2\pi kn}{N}} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $\mathbf{A}_v$ 는  $v$ 번째 부시퀀스에 속하는 부반송파 값의 집합을 의미한다. 따라서, (5)를 살펴보면  $\mathbf{x}_v$ 의 각 부반송파  $X_k$ 는  $-j2\pi k \tau_v^u / N$  만큼씩 위상 회전이 발생한다. 이것은 순환 이동 값 벡터  $[\tau_1^u \tau_2^u \dots \tau_V^u]$ 에 의해  $u$ 번째 대안의 심볼 시퀀스에 각  $X_k$ 가 특정 위상 회전을 한다는 의미가 되기 때문에 선택사상기법 (selected mapping; SLM)으로 해석이 가능하다.

이를 이용하여 위상 시퀀스  $\mathbf{P}^u = [\phi_0^u \phi_1^u \dots \phi_{N-1}^u]$ 를 사용하는 blind SLM (BSLM)의 최대 우도 (maximum likelihood; ML) 복호기 [3]와 유사하게 고려해본다면 수신단의 각 부시퀀스의 결정 매트릭 (decision metric)은 다음과 같이 정의된다.

$$D_v = \min_{\tau_v^u \in \mathbf{B}_v} \sum_{k \in \mathbf{A}_v} \min_{\hat{X}_k \in \mathcal{Q}} \left| R_k e^{-j\phi_{k,v}^u} - H_k \hat{X}_k \right|^2 \quad (6)$$

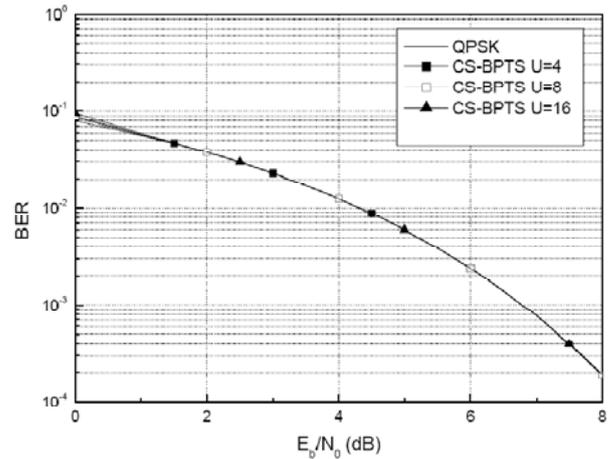


그림 2.  $N = 256, V = 2$  일 때의 CS-BPTS의 BER 성능

여기서  $\phi_{k,v}^u = e^{-j \frac{2\pi k \tau_v^u}{N}}$ 이다. (6)의 ML 복호기는 각  $v$ 번째 부시퀀스마다  $qN |\mathbf{B}_v| / V$  연산을 수행한다. 따라서, ML 복호기가  $V$ 개의 부시퀀스를 모두 수행했을 때의 최종 복호 연산량은  $\frac{qN}{V} \sum_{v=1}^V |\mathbf{B}_v|$ 이다.

그림 2는  $N = 256, V = 2$ 이고 QPSK 변조를 하였을 때 (6)의 ML 복호기에 대한 BER 성능을 나타낸다. 아주 낮은 신호 대 잡음 비에서만 BER 열화가 발생한다는 것을 살펴볼 수 있다. 한 부시퀀스에서 일정 개수 이상의 순환 이동 값을 사용한다면  $\tau_v^u$ 에 의한 위상 회전은 일정 패턴이 정해져 있어 대안의 심볼 시퀀스 간의 유클리디안 (Euclidean) 거리가 감소하여 큰 BER 열화가 나타난다. 따라서,  $U$ 를 증가시키고 복원 신뢰도를 높이기 위해서는 각 부시퀀스로  $\tau_v^u$ 를 나누어 사용하여야 한다

### III. 결론

본 논문에서는 OFDM 신호의 PAPR 감소를 위한 순환 이동을 이용한 BPTS 기법을 제안하였다. 기존의 BSLM과 유사하게 고려하여 ML 복호기를 설계할 수 있어 부가정보 없이 입력 심볼 시퀀스를 복원시킬 수 있었다. 각 부시퀀스별로 순환 이동을 하여 그 차이가 다르게 한다면 대안의 시간 시퀀스를 생성 가능하였고 모의 실험 결과 BER 성능 열화가 거의 나타나지 않았다.

### 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] G. Hill, M. Faukner, and J. Singh, "Cyclic shifting and time inversion of partial transmit sequence OFDM," in *Proc. IEEE PIMRC*, Piscataway, USA, 2000, vol. 2, pp. 1256-1259.
- [3] 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.