

계환형 부가정보를 사용하는 PTS 기법의 PAPR 감소

PAPR Reduction using Partial Transmit Sequences with Side Information of Feedback Type

윤기후 · 이준서* · 유흥균* · 박진수**

Kee-Hoo Yoon · Jun-Seo Lee* · Heung-Gyoon Ryu* · Jin-Soo Park**

요 약

OFDM은 무선 환경에서 고속 data 전송에 적합한 방식이다. 그러나 높은 peak-to-average power ratio(PAPR)로 인하여 비선형 왜곡의 문제점이 있다. 여러가지 PAPR 저감 방법 중에 partial transmit sequences(PTS)는 매우 유연하고 스펙트럼 왜형이 발생하지 않는 좋은 방식으로 평가된다. 이 방법의 문제점은 최적화된 phase factor를 side information으로서 수신기에 전송해야만 data를 정확히 복원할 수 있다. 본 논문에서는 기존 PTS 방식에서 feedback type으로 side information을 추가하는 기법을 새롭게 제안한다. Simulation 결과를 통해 제안 방식이 종전의 PTS와 동일한 PAPR 저감 성능을 가지면서 정확하게 data를 복원하여 요구 BER을 확보할 수 있다. 또한, 제안 방식은 전송 채널 특성 변화에 무관하며, 간단히 시스템을 구성할 수 있다.

Abstract

PTS(partial transmit sequences) has been widely studied for reducing the PAPR of OFDM signal, since it is flexible and any spectral regrowth may not occurred. A drawback of this PTS method should transmit the side information of the optimized phase factor for correct OFDM symbol recovery. A new idea of this paper is to insert the feedback type side information in the conventional PTS method. The simulation results show that the proposed scheme has the same PAPR reduction performance as the conventional PTS without side information and OFDM data are correctly recovered to get the required BER. Also, this method is independent of the channel characteristics and can be easily realized.

Key words : OFDM, PAPR Reduction, PTS, Nonlinear Distortion

I. 서 론

OFDM은 frequency selective fading 환경에서 고속의 data 전송에 적합한 기법이다^[1]. 그러나 carrier의 수가 증가함에 따라 큰 PAPR이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 신호가 HPA와 같은 nonlinear

device를 통과하면 신호의 왜곡이 발생한다.

PAPR 문제를 해결하기 위한 여러 가지 방법들이 제안되었다. 먼저 linear amplifier를 사용하는 방법과 nonlinear amplifier의 동작점을 back-off하는 방법이 있으나 power 효율이 낮은 단점이 있다. 다른 방법으로 가장 간단하게 PAPR을 저감할 수 있는

주성대학교 디지털정보제어공학과(Dept. of Digital Control Engineering, Juseong College)

*충북대학교 전자공학과 및 컴퓨터정보통신연구소(Dept. of Electronic Engineering and Research Institute of Computer, Information & Communication, Chungbuk National University)

**청주대학교 정보통신공학부 및 정보통신연구센터(Dept. of Information & Communication Engineering and Regional Research Center for Information & Communication, Chongju University)

· 논문 번호 : 20021101-144

· 수정완료일자 : 2003년 3월 4일

clipping 기법이다^[2]. 그러나 이 기법은 out-of-band radiation과 in-band distortion으로 인한 신호 품질이 나빠진다. 또 다른 방법은 낮은 peak power의 data sequence를 갖게 하는 block coding 기법이 있다^[3]. 이 기법은 PAPR을 3 dB로 제한할 수 있지만, bandwidth efficiency가 낮고 carrier의 수가 증가할수록 look-up table 크기가 증가하는 단점이 있다.

위상을 조절하는 PAPR 저감 기법으로 selective mapping(SLM)^[4]과 partial transmit sequences(PTS)^[5]이 있다. SLM은 동일한 정보를 여러 phase sequences를 곱하여 이 중에서 가장 낮은 PAPR을 가지는 data sequence를 선택하여 전송하는 방법이다. PTS는 carrier들을 여러 개의 subblock으로 나누고 낮은 PAPR의 신호가 되도록 최적의 phase sequence를 곱하여 전송하는 방법이다. 위의 두 가지 방법은 복잡도가 증가하지만 효과적으로 PAPR을 저감할 수 있다. 그러나 정확한 data를 복원하기 위해서 수신기에 부가 정보로서 phase sequences를 전송해야 한다. PTS 방식에서 marking algorithm을 이용한 side information 전송에 관한 연구가 있다^[6]. 이 방법은 side information 전송함에 있어서 추가의 부반송과 할당 등의 spectral loss가 없다. 그러나 이 방법은 PSK 변조 방식에는 적용 가능하지만 QAM과 같은 진폭이 변화되는 변조 방식에는 적용할 수 없는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 PTS 방식에서 feedback type으로 side information을 전송하는 새로운 기법을 제안한다. 이 기법은 이전 data symbol에 대한 phase sequences의 정보를 다음 data symbol에 부가하여 전송하는 방법이다. 제안된 방식은 약간의 spectral loss가 있으나 모든 변조방식에 적용 가능하다. 기존 방식^[6]은 신호의 constellation에 변화를 주는 방식으로 주파수 선택성 페이딩 환경의 경우에는 BER의 성능 확보가 어려울 가능성이 있으나, 본 연구의 제안 방식은 전송 채널의 환경 변화에 무관하며, 간단히 시스템을 구성할 수 있다.

II. PAPR과 PTS 기법

OFDM에서 N 개의 symbol이 $\{X_n, n=0, 1, 2, \dots, N-1\}$ 일 때, 각 symbol은 N 개의 orthogonal한

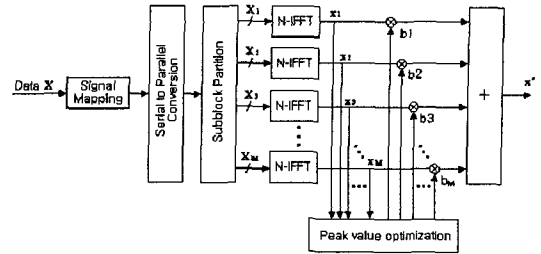


그림 1. PTS 방식의 OFDM 송신도
Fig. 1. OFDM Transmitter of PTS system.

carrier $\{f_n, n=0, 1, 2, \dots, N-1\}$ 들로 변조된다. 즉, $f_n=n\Delta f$ 이다. 여기서 $\Delta f=1/NT$ 이고, T 는 original symbol 구간이다. OFDM 출력 신호는 다음과 같다.

$$x(t) = \sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{j2\pi f_n t}, \quad 0 \leq t \leq NT. \quad (1)$$

위의 식 (1)의 전송 신호에 대한 PAPR은 다음과 같이 정의된다.

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

그림 1은 기존 PTS 방식으로 PAPR을 감소시키는 OFDM 시스템의 송신기 구성도를 보이고 있다. PAPR 감소를 위한 phase sequence에 대한 부가정보를 별도의 채널에 보내거나, 기존 방식^[6]과 같이 신호의 constellation에 변화를 주는 방식으로 부가정보를 보낼 수 있다. PTS 방법은 입력 data block을 subblock으로 나누고, PAPR이 감소하도록 각각의 subblock에 적절한 weighting factor로 phase sequence를 곱한다. Data block의 vector 표현은 $X=[X_0 \ X_1 \ \dots \ X_{N-1}]^T$ 이고 X 를 M 개의 subblock으로 나누면, subblock은 $\{X_m, m=1, 2, \dots, M\}$ 으로 표현할 수 있다. 이때 X 는 다음과 같다.

$$X = \sum_{m=1}^M X_m \quad (3)$$

여기서 subblock은 N/M 의 동일한 data carrier로 분할한다. Subblock들에 phase sequence가 곱해진 X' 를 다음의 weighted combination으로 나타낸다.

$$X' = \sum_{m=1}^M b_m X_m \quad (4)$$

이다. 여기서 $\{b_m, m=1, 2, \dots, M\}$ 은 weighting factor이

다. 식 (4)를 time domain으로 표현하면 다음과 같다.

$$x' = \sum_{m=1}^M b_m x_m \quad (5)$$

Vector x_m 는 X_m 의 IFFT이고, 이것을 partial transmit sequence라 한다. 여기서 weighting factor(b_m)는 x' 의 PAPR이 최소가 되는 조합을 선택한다^[5].

PTS 방식에서 PAPR을 저감하기 위한 phase factor의 combining 기법으로 크게 optimal한 방법과 suboptimal한 방법으로 나눌 수 있다. Optimal 방법은 모든 가능한 조합의 수를 탐색하므로 PAPR 저감 성능이 가장 뛰어나다. 그러나 subblock의 수가 증가할수록 계산량이 지수적으로 증가하는 단점이 있다. 이러한 계산량을 줄이기 위한 방법이 suboptimal 방법이고, alternative^[7], iterative(flipping)^[8], adaptive(threshold)^[9] 방법이 있다.

III. 궤환형 부가정보 삽입 방식

본 논문에서는 PTS 방식의 OFDM 시스템에서 최적으로 combined 되는 weighting factor에 대한 부가정보를 feedback type으로 삽입하는 기법을 제안한다. 제안된 방법의 기본 algorithm은 다음과 같다. 먼저 입력되는 OFDM symbol에 대하여 subblock partition을 한다. 여기서는 인접 subblock partition 방법을 사용하였으나 다른 partition 방법에도 가능하다. 표 1은 일반적인 인접 subblock partition scheme을 나타낸다. 제안방식의 feedback type으로 side information을 부가한 경우의 OFDM symbol은 표 2와 같다. 여기서 BPSK 변조방식이고, subcarrier의 수가 $N=16$ 이고, subblock의 수가 $M=4$ 인 경우로 가정하였다. Weighting factor는 binary($b_m = \pm 1, m=1, 2, \dots, M$)인 경우이고, combining technique은 optimal combining algorithm(2^M)을 사용하였다.

그림 2는 feedback type으로 side information을 삽

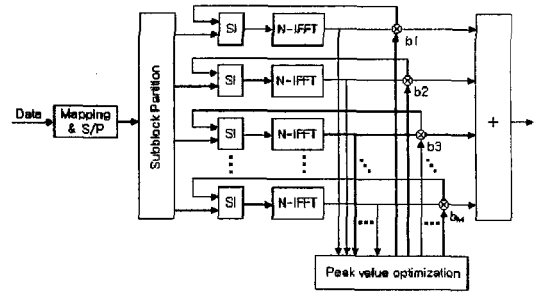


그림 2. Feedback 방식의 side information을 삽입하는 PTS 방식의 OFDM 구성도

Fig. 2. PTS-OFDM transmitter with feedback type side information.

입하는 PTS 방식의 OFDM 송신기 구성도이다. Side information을 삽입하는 방법은 다음과 같다. 그림 2와 같이, 첫번째 OFDM symbol에 대한 subblocks의 side information은 1로 초기화한다. Subblocks에 대해 peak value optimization을 수행하여 낮은 PAPR을 갖는 최적의 weighting factor를 곱하여 전송한다. 이 weighting factor를 두번째 OFDM symbol에 삽입한다. 나머지 symbol들은 위와 동일한 방법으로 현재 symbol들에 대한 최적의 weighting factor에 대한 부가정보를 다음 symbol에 삽입한다.

표 2에서 음영부분의 X_0, X_4, X_8, X_{12} 가 side information의 subcarrier를 나타낸다. 제안 방식은 이전 data의 combining sequence를 다음 symbol에 삽입하는 방식이므로, 수신단에서 combining sequence를 추출하기 위해서 다음 data가 수신될 때까지 이전 data를 저장하는 과정이 필요하다. 표 2를 살펴보면, 음영부분은 weighting factor에 대한 정보가 삽입되는 반송파이지만, 나머지 부분은 데이터가 전송되는 반송파이다. 즉 데이터는 subblock partition되기 전 mapping 부분에서 변조 형식이 정해지므로 임의의 변조 형식에 대해서도 적용할 수 있다. 그리고,

표 1. 인접 부분블럭 분할

Table 1. Adjacent subblock partition.

X	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
$X^{(1)}$	X_0	X_1	X_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$X^{(2)}$	0	0	0	X_3	X_4	X_5	0	0	0	0	0	0
$X^{(3)}$	0	0	0	0	0	0	X_6	X_7	X_8	0	0	0
$X^{(4)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X_9	X_{10}	X_{11}

표 2. Feedback type의 부가정보를 갖는 PTS-OFDM 심볼
Table 2. PTS-OFDM symbol with feedback type side information.

OFDM Symbol	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	Weighting factor
1	$X^{(1)}$	1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\times(b_1=1)$
	$X^{(2)}$	0	0	0	0	1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	$\times(b_2=1)$
	$X^{(3)}$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	-1	0	0	0	0	$\times(b_3=1)$
	$X^{(4)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	-1	$\times(b_4=-1)$
2	$X^{(1)}$	1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\times(b_1=1)$
	$X^{(2)}$	0	0	0	0	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	$\times(b_2=1)$
	$X^{(3)}$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	-1	0	0	0	0	$\times(b_3=-1)$
	$X^{(4)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	1	1	$\times(b_4=-1)$
3	$X^{(1)}$	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\times(b_1=1)$
	$X^{(2)}$	0	0	0	0	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	$\times(b_2=1)$
	$X^{(3)}$	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	1	0	0	0	0	$\times(b_3=-1)$
	$X^{(4)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	1	$\times(b_4=-1)$
4	$X^{(1)}$	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\times(b_1=1)$
	$X^{(2)}$	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	$\times(b_2=1)$
	$X^{(3)}$	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	-1	0	0	0	0	$\times(b_3=-1)$
	$X^{(4)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	1	$\times(b_4=-1)$

기존 방식⁶⁾은 신호의 constellation에 변화를 주는 방식으로서 주파수 선택성 페이딩 환경의 경우에는 BER의 성능 확보가 어려울 가능성이 있으나, 본 연구의 제안 방식은 전송 채널의 환경 변화에 무관하며, 간단히 부가정보 삽입 및 추출 시스템을 구성할 수 있다.

IV. Simulation 결과와 분석

본 절은 PTS 방식 OFDM system에서 제안 방식의 폐환형 부가정보를 삽입하는 시스템에 대한 PAPR 저감 성능과 BER 성능 결과를 보인다. Simu-

lation 변수로 subcarrier의 수가 $N=128$ 이고, sub-block의 수가 4와 8인 경우이다. Combining 기법은 optimal combining algorithm을 사용하였고, weighting factor는 binary($b_m=\pm 1$)로 설정하여 총 2^M 개의 탐색을 수행하였다. 그림 3은 부가정보를 삽입하는 제안 방식과 일반 PTS 방식에 대한 PAPR의 CCDF를 나타낸다. 이론 곡선은 CCDF의 이론적 해석에 의한 PAPR 분포곡선, OOFDM은 original OFDM의 simulation 값으로서 PTS 기법을 적용하기 이전의 PAPR의 분포를 나타낸다. 부가정보를 삽입하는 제안 방식의 PAPR의 CCDF 특성이, 부가정보 삽입없는 일반 PTS 방식(PTS-OFDM)과 동일한 PAPR 저

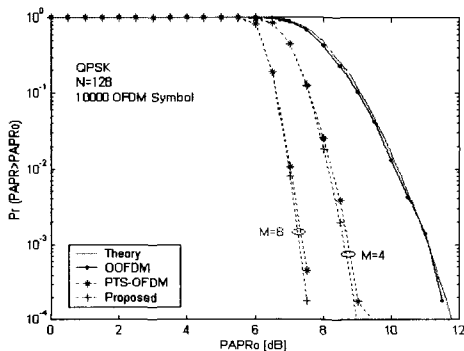


그림 3. 제안 방식과 일반 PTS 방식의 PAPR 비교
Fig. 3. PAPR comparison.

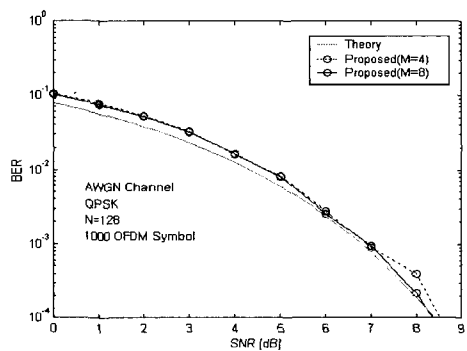


그림 4. 제안방식의 BER 성능 특성
Fig. 4. BER of the proposed method.

감 성능이 있음을 알 수 있다.

그림 4는 제안 방식을 이용한 경우의 BER 성능 특성을 보이고 있다. 위와 동일한 simulation 변수를 사용하였다. side information을 전송하지 않은 기존 PTS 방식의 OFDM은 수신기에서 combining sequence를 모르기 때문에 data를 정확히 복원할 수 없다. 따라서 AWGN channel에서 SNR에 상관없이 BER이 나쁘다. 반면 제안 방식은 그림 4에서 보이듯이, 수신기에 side information이 전송되었기 때문에 data를 수신할 수 있다. 제안 방식의 BER 곡선이 AWGN channel에서의 이론적인 BPSK system의 BER 곡선과 약간의 차이가 있다. 그것은 side information이 error 발생했을 때, 그 subblock의 data가 모두 error가 발생하게 된다. 이러한 이유로 이론적인 BER 곡선보다 약 0.5 dB 정도 차이가 발생한다. 만약 제안 방식에서 side information을 보호하기 위해 FEC(forward error correction)와 같은 coding을 사용하면 성능 저하를 막을 수 있다. 또한 제안 방식은 subblock의 수에 관계없이 동일한 성능을 가짐을 알 수 있다.

Simulation 결과를 통해서 본 논문에서 제안하는 feedback type으로 side information을 전송하는 PTS 방식의 OFDM 시스템은 기존 PTS 방식의 OFDM system과 비교하여 동일한 PAPR 저감 성능을 가지면서 data를 정확히 수신함을 확인하였다. 제안된 방식은 기존 연구결과^[6]과는 달리, 모든 변조방식에 적용 가능하다. 한편, side information의 부가에 따른 data rate의 loss가 있지만 전체 system에 비해 매우 작다. 예를 들면, BPSK 변조방식이고 subcarrier의 수가 $N=128$ 이고 subblock의 수가 $M=8$ 인 경우, side information 전송에 따른 추가적인 overhead는 $8/128=0.0625$ 이다(6.25 %의 spectral loss). 이것은 N 에 비하여 무시할 수 있을 정도로 작다.

V. 결 론

본 논문은 PAPR 저감을 위하여 feedback type으로 side information을 삽입한 PTS 기법의 OFDM 시스템의 성능을 분석하였다. 제안된 기법은 기존의 PTS 기법을 이용하는 OFDM 시스템과 동일한 PAPR 저감 성능을 갖는다. 기존 PTS 방식의 OFDM에

서 side information을 수신기에 전송하지 않는 경우는 만족할 만한 BER 성능을 얻지 못하는 반면, 제안 기법은 이론적인 BER 곡선과 거의 유사한 성능을 가진다.

본 연구의 제안 방식은 전송 채널의 환경 특성 변화에 무관하며, 간단히 부가정보 삽입 및 추출 시스템을 구성할 수 있다. 그러므로 제안 기법은 PAPR 저감 성능을 유지하면서 쉽게 side information을 전송할 수 있는 방법으로서, 앞으로 초고속 무선 통신 OFDM 시스템에 많이 이용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] L. J. Cimini Jr., "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing", *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-33, pp. 665-675, July 1985.
- [2] R. O'Neill, L. N. Lopes, "Envelope variations and spectral splatter in clipped multicarrier signals", *Proc. PIMRC '95*, pp. 71-75, 1995.
- [3] A. E. Jones, T. A. Wilkinson and S. K. Barton, "Block coding scheme for reduction of peak to mean envelope power ratio of multicarrier transmission scheme", *IEE Electronics Letters*, vol. 30, no. 25, pp. 2098-2099, Dec. 1994.
- [4] R. W. Bauml, R. F. H. Fischer and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping", *IEE Electronics Letters*, vol. 32, no. 22, pp. 2056-2057, Oct. 1996.
- [5] S. H. Muller, J. B. Huber, "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences", *IEE Electron. Letters*, vol. 33, no. 5, pp. 368-369, Feb. 1997.
- [6] L. J. Cimini, N. R. Sollenberger, "Peak-to-Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences With Embedded Side Information", *GLOBECOM '00. IEEE*, vol. 2, pp. 746-750, 2000.
- [7] A. D. S. Jayalath, C. Tellambura and H. Wu "Re-

duced complexity PTS and new phase sequence for SLM to reduce PAP of an OFDM signal", *VTC 2000*, vol. 3, pp. 1914-1917, 2000.

- [8] L. J. Cimini, N. R. Sollenberger "Peak-to Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences", *IEEE Communi-*

케이션형 부가정보를 사용하는 PTS 기법의 PAPR 감소

cations Letters, vol. 4, pp. 86-88, March 2000.

- [9] A. D. S. Jayalath, C. Tellambura, "Adaptive PTS approach for reduction of peak-to-average power ratio of OFDM signal", *IEE Electronics Letters*, vol. 36, pp. 1226-1228, July 2000.

윤 기 후



1979년 2월: 충북대학교 전기공학과 (공학사)
1982년 2월: 성균관대학교 전기공학과 (공학석사)
1998년 8월: 충북대학교 전자공학과 박사수료
1992년~현재: 주성대학교 디지털

정보제어공학과 부교수

[주 관심분야] 디지털 공학, 통신시스템, 통신 회로 설계

유 흥 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 정교수
[주 관심분야] 디지털 통신 공학, 이동/위성 통신 시스템, 통신 회로설계 및 통신 신호 처리

이 준 서



2003년 2월: 충북대학교 전기전자공학부 (공학사)
2003년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 디지털 통신 공학, 이동/위성 통신 시스템, 통신 회로설계 및 통신 신호 처리

박 진 수



1975년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1977년: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
1985년: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
1978년~현재: 청주대학교 정보통신공학부 교수

1999년~현재: 청주대학교 정보통신연구센터 소장

2000년~현재: 한국정보처리학회 충북지부 지부장

[주 관심분야]: 디지털 이동통신, 부호이론, 대역확산 통신, Multimedia 통신, 영상통신