

# SLM과 PTS 방식의 혼합에 의한 OFDM 신호에서의 PAPR 새로운 감소 기법

A New PAPR Reduction Methods in OFDM by Combining SLM and PTS

김성수, 기종해, 김명제, 유정웅

충북대학교 전기전자컴퓨터공학부

Sung-Soo Kim(sungkim@chungbuk.ac.kr), Jong-Hae Kee(kee1511@nate.com),

Myoung-Je Kim(mjei78@naver.com), Jeong-Woong Ryu(jwryu@chungbuk.ac.kr)

## 요약

본 논문에서는 Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) 시스템의 Peak-to-Average Power Ratio(PAPR) 성능을 향상시키기 위한 목적으로 Selective Mapping(SLM)과 Partial Transmit Sequence(PTS)기법을 결합하는 방식에 있어서, 늘어나는 계산량을 감소시키는 방법을 제안한다. PAPR의 감소효율을 높이고자 하는 많은 기법 중에 SLM과 PTS기법에 관한 활발한 연구가 진행되어 왔을 뿐만 아니라, SLM과 PTS를 결합한 기법에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 결합기법에 있어서는, 복잡성이 크게 증가하는 문제가 존재하는데, 이러한 계산량의 복잡성을 줄이는 방법으로, 본 논문에서는 N-point IFFT 알고리즘을 도입한 SLM과 PTS 기법들로 결합된 새로운 시스템을 제안하였다. 이 방법은 SLM과 PTS와의 단순 결합에 비하여 시스템의 계산량의 복잡성을 감소시키는 결과를 가져다준다. 제안된 기법에서의 계산량의 감소는 N-Point IFFT의 과정에서 생성되는 n개의 단계 중의 최적의 결과를 내는 단계에서 위상 시퀀스와 부블럭 인덱스를 곱함으로써 계산의 복잡성을 낮추어 주는 과정을 통하여 이룬다. 제안된 알고리즘의 성능의 우수성은 시뮬레이션을 통하여 실험적인 부분을 나타냈으며, 또한 해석적인 방법을 통하여 계산량이 감소함을 보였다.

■ 중심어 : | OFDM | SLM | PTS | PAPR |

## Abstract

This paper proposes a new method that reduces the complexity of the combined system, which consists of the selective mapping(SLM) and the partial transmit sequence(PTS) in the Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM). In order to reduce the Peak-to-Average Power Ratio(PAPR), many techniques have been developed such as SLM and PTS. and their combined systems. However the method that simply combines PTS and SLM to improve the effectiveness of a system increases the complexity of calculation.

The scheme employed in this research suggests a system that combines PTS and SLM reducing the complexity via the  $N(N=2^n)$ -point inverse fast Fourier transforms(FFT), which uses the decimation in time domain not only to improve PAPR but also to reduce the amount of calculation. The proposed method reduces the complexity by multiplying a phase sequence and a subblock index to the data sequences in the middle of FFT, which yields an optimal sequence with minimal PAPR. The superiority of the proposed method is demonstrated by simulation results and analysis.

■ keyword : | OFDM | SLM | PTS | PAPR |

\* 본 연구는 2005년도 충북대학교 학술지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

접수번호 : #050804-002

심사완료일 : 2005년 10월 19일

접수일자 : 2005년 08월 04일

교신저자 : 김성수, e-mail : sungkim@chungbuk.ac.kr

## I. 서론

무선 이동통신 채널에서 OFDM[1][2]은 다중경로 페이딩 환경에서 고속의 신호를 전송하는데 효율적인 방식의 하나로 인식되어 차세대 고속 멀티미디어 통신시스템의 핵심기술로 광범위한 영역에 적용되고 있다. OFDM 시스템은 PSK나 QAM으로 변조된 신호들을 여러 개의 직교 부반송파를 이용해서 전송하는 방식으로써 단일 반송파를 사용하는 시스템에 비해 다중 경로 페이딩 채널 환경에서 성능이 우수하고 주파수 이용 효율이 높으며 고속의 데이터 전송이 가능하게 한다. 다중 반송파를 사용하는 OFDM 시스템은 많은 수의 직교 부반송파에 신호를 실어서 보내는데 IFFT를 통과한 출력신호의 크기가 동일 위상일 경우 순간적으로 매우 큰 전력을 갖게 되어 높은 PAPR이 발생하게 된다. 이러한 큰 PAPR은 OFDM 시스템의 가장 큰 단점중의 하나로써 이는 송신 증폭기의 비선형적인 특성에 의한 신호의 왜곡을 초래하여 OFDM 시스템의 성능을 감소시킨다. 이와 같은 OFDM의 중요한 요소인 PAPR을 감소시키는 방법[3-5] 중에 가장 널리 사용되고 있는 방법이 SLM과 PTS [5][6] 기법이다. 기존의 SLM 기법 [7][8]은 동일한 입력 신호에 위상 변화를 주어 L개의 통계적으로 독립적인 심볼을 만들고 가장 낮은 PAPR을 갖는 심볼을 전송하는 방법이며, PTS 기법은 OFDM 심볼을 구성하는 전체 데이터 심볼을 중첩되지 않는 부분력으로 나누고 각각의 블럭을 IFFT 연산을 한 후 PAPR이 최소가 되도록 각각의 블럭에 가능한 모든 위상 벡터 조합을 곱한 후 각각의 서브블럭을 모두 더하여 전송하는 기법이다.

SLM과 PTS의 혼합 방법을 연구한 예로서 SLM과 PTS의 혼합된 시스템의 경우는 [9]에 보인 예와 같이, 기존의 SLM과 PTS 방법을 결합함으로써 복잡성이 크다는 단점을 지니고 있다. 이러한 시스템의 복잡성은 여러 가지 원인 중에서 IFFT의 계산적 복잡성이 차지하는 부분이 크다. 본 논문에서는 기존의 IFFT의 불필요한 계산량을 보완한 N-point SLM[7]의 장점을 PTS과정에도 적용하여, 계산량을 줄임으로써 시스템의 복잡도를 감소시킨 새로운 혼합 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 SLM과 PTS를 결합하여 보다 복잡도만 낮추는 것뿐

만이 아니라 향상된 좋은 PAPR 감소 성능을 가지고 있다. N-point IFFT 알고리즘[7][13][14]은 SLM과 PTS 방법의 결합과정에서, SLM 과정의 IFFT 블럭 앞에서 위상 시퀀스를 곱하는 기존의 방법에서 N-point IFFT 계산 과정 최적의 중간 단계 이후 위상 시퀀스를 곱한다. 또한 PTS 과정에서는 기존의 IFFT 블럭 앞에서 subblock을 나누는 방법에서 N-point IFFT 계산과정 중의 최적 중간단계 이후 subblock을 나누어 계산함으로써 IFFT의 계산적 복잡성을 줄였다.

본 논문의 II절에서는 OFDM 통신 시스템의 특성과 PAPR의 개념에 대해 살펴보고, III절에서는 기존의 PAPR 감소 기법인 SLM과 PTS에 대해 살펴보았으며, IV절에서는 제안된 PAPR 감소 기법인 SLM과 PTS를 결합한 시스템에 대해서 살펴보았다. 또한, V절에서는 모의실험 결과를 통하여 제안된 기법의 성능과 PTS, SLM 기법들과의 비교, 분석을 통하여 결론을 맺었다.

## II. OFDM 통신 시스템

이산 시간 영역(discrete time domain)에서의 N개의 부반송파로 변조된 OFDM 출력 신호  $x(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

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

여기서  $X = [X_0 X_1 \dots X_{N-1}]$ 는 입력 심볼 시퀀스이다. 식 (1)에서 나타난 OFDM 출력 신호에 대한 PAPR은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$PAPR = 10 \log_{10} \frac{P_{peak}}{P_{av}} [dB] \quad (2)$$

여기서,  $P_{peak}$ 와  $P_{av}$ 는 다음과 같이 나고,  $E[\cdot]$ 는 기대값을 나타낸다.

$$P_{peak} = \max |x(t)|^2, \quad P_{av} = E[|x(t)|^2] \quad (3)$$

$N$ 이 충분히 크다면, 변조된 신호는 중심극한정리(central limit theorem)에 의해  $x(t)$ 의 실수부와 허수부는 모두 가우시안 분포(Gaussian distribution)를 가지며, 각각의 평균은 0이고 분산은  $1/2$ 이 되는 경우로 가정하였다. 이 경우 OFDM 신호의 크기는 레일레이 분포(Rayleigh distribution)를 가지며 전력 분포는 자유도가 2이고 평균이 0인 중심 chi-square 분포가 된다. 샘플이 상호 무상관(uncorrelated)하다고 한다면, PAPR이 어떤 임계값( $PAPR_0$ )보다 커질 확률은 다음과 같다.

$$\Pr(PAPR \geq PAPR_0) = (1 - \exp(-PAPR_0))^{2N} \quad (4)$$

과도 샘플링(oversampling)을 하는 경우에는 위 식은 더 이상 성립하지 않는다. 그러나 과도 샘플링한  $N$ 개의 부반송파에 대한 분포를 과도 샘플링을 하지 않은  $aN$ 개의 부반송파에 대한 분포로 근사화할 수 있다고 가정하면 PAPR 분포는 다음과 같다.

$$\Pr(PAPR \geq PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^{aN} \quad (5)$$

따라서 식(5)는 PAPR이 특정값을 초과하는 분포를 나타내며, 이것은 OFDM 신호의 PAPR에 대한 CCDF(complementary cumulative distribution function)로 표현된다. OFDM 통신 시스템에서 발생하는 전송 신호의 높은 PAPR로 인해 HPA의 비선형 왜곡이 발생하고 이 왜곡에 의해 통신 시스템의 BER성능이 악화된다. 그러므로 비선형 HPA에 의한 BER성능 악화를 줄이기 위해 OFDM 전송 심볼의 PAPR을 줄여야 할 필요가 있다.

다음 장에서는 PAPR을 줄이는 기법으로 가장 많이 사용되고 있는 기존의 SLM과 PTS 기법에 대해 살펴본다.

### III. PAPR 감소 기법

[그림 1]과 같이, SLM 기법은 동일한 입력 데이터 심볼에 대하여  $L$ 개의 독립적인 데이터 시퀀스를 생성하고 첫 번째 가지의 데이터 시퀀스에는 위상 회전 시퀀스

를 곱하지 않고  $L-1$ 개의 데이터 시퀀스에 각기 다른 위상 회전 시퀀스를 곱한다. 이 중에서 가장 낮은 PAPR을 가지는 시퀀스를 선택하여 전송하는 방법이다.

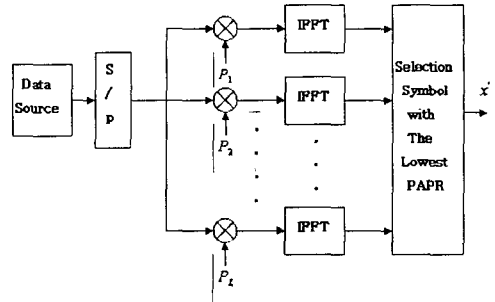


그림 1. SLM 기법의 블록도

[그림 2]에서 나타낸 PTS 기법은 OFDM 심볼을 구성하는 전체 데이터 심볼을 중첩되지 않는 부분블록으로 나누고, 낮은 PAPR이 되도록 각각의 부분블록에 적절한 위상 회전 시퀀스를 곱하는 기법이다. 첫 번째 블록은 위상 회전을 주지 않고, 나머지  $M-1$ 개의 부분블록에 대해서 위상 회전 시퀀스를 곱한 후  $M$ 개의 부분블록을 더하여 전송하는 기법이다. SLM 기법이 이미 정해진 여러 개의 시퀀스 중 하나의 시퀀스를 선택하여 데이터 심볼의 위상에 변화를 주는데 비하여, PTS 기법은 고정적인 위상 회전 상수나 위상 회전 시퀀스를 선택하는 것이 아니라 가능한 모든 위상 회전 시퀀스 조합을 고려하여, 이들 중 최소가 되는 위상 회전 시퀀스의 조합을 선택하는 방식이다.

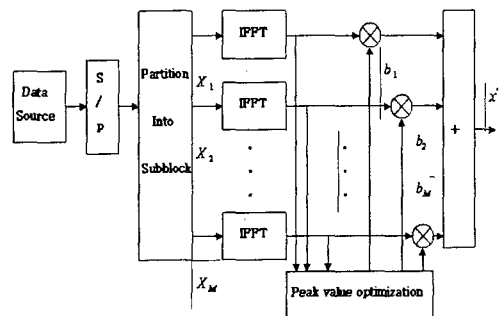


그림 2. PTS 기법의 블록도

IV. 제안된 기법

본 논문에서는 기존의 SLM과 PTS를 결합한 기법으로 [그림 3]의 블록도에 나타내었듯이 입력 데이터 심볼에 시간에서의 데시메이션(decimation-in-time) 알고리즘을 근거로 한  $N(=2^n)$ -point IFFT를 적용하였다. 여기서 N-point IFFT는 두 부분으로 나뉘진다. 첫 부분은 IFFT의 앞에서부터 k번째 단계(stage)까지이고, 두 번째 부분은 남아 있는 n-k 개의 단계(stage)로 이루어져 있다. 길이가 N인 IFFT를 보다 작은 길이의 IFFT로 연속해서 나누어가며 계산하는 것이다. 즉,  $N=2^n$ 에 대하여 N-point IFFT는 2개의  $N/2$ -point transforms로부터 계산되어지며,  $N/2$ -point transforms은 2개의  $N/4$ -point transforms으로부터 계산되어진다. 연속해서 이러한 과정을 거치면서 IFFT의 곱셈 연산량이 기존에 알려진 바와 같이  $N^2$ 개에서  $N \log N$ 개로 줄어든다[14].

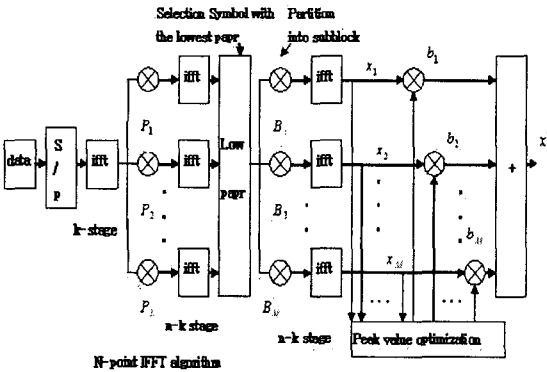


그림 3. N-point IFFT를 이용한 SLM과 PTS 결합 기법의 블록도

[그림 3]의 블록도를 살펴보면 입력 데이터 심볼을 k 단계까지의 IFFT 다음에, L개의 독립적인 데이터 시퀀스가 형성되고, k 단계 이후의 단계에서는 k 단계에서의 출력 시퀀스에 위상 회전을 곱한 후, 남아 있는 n-k 단계의 IFFT 계산을 수행한다. 이 중 가장 낮은 PAPR을 갖는 출력에 대응하는 입력데이터 시퀀스를 선택 한다. 선택한 데이터 시퀀스를 M개의 서브 블록으로 나누고 각 서브 블록을 n-k 단계의 IFFT 계산을 수행하여, 최적의

위상 회전 시퀀스를 곱한 후 M개의 서브 블록을 더하는 OFDM 시스템이다.

제안된 시스템 SLM과 PTS 기법을 결합함으로써 기존의 SLM과 PTS 기법 보다 PAPR 감소 성능이 뛰어나며 N-point IFFT를 사용함으로써 SLM과 PTS 기법의 결합으로 인한 계산적 복잡성이 줄어드는 결과를 가져온다. 복잡성 정도의 계산은 [7]에서 사용한 식(6)을 적용하여 계산하였다. 감소되는 복잡성은 [표 1]에 나타난 공식들을 이용하여 얻을 수 있다.

표 1. 기존 방식과 제안된 방식의 복소기수 비교

방 식	복소기 종류	종류별 복소기수	사용된 복소기수
기 존 S L M	복소 곱셈 기수	$S_m = 2^{n-1}nL$	$S = 2^{n-1}nL + 2^n nL$
	복소 가산기수	$S_a = 2^n nL$	
제안한 S L M 부 분	복소 곱셈 기수	$O_m = 2^{n-1}k + 2^{n-1}(n-k)L$	$O = 2^{n-1}k + 2^{n-1}(n-k)L + 2^k k + 2^n(n-k)L$
	복소 가산기수	$O_a = 2^n k + 2^n(n-k)L$	
기 존 P T S 방 식	복소 곱셈기수	$P_m = 2^{n-1}nM$	$P = 2^{n-1}nM + 2^n nM$
	복소 가산기수	$P_a = 2^n nM$	
제안된 방식의 P T S 부 분	복소 곱셈기수	$Q_m = 2^{n-1}(n-k)M$	$Q = 2^{n-1}(n-k)M + 2^n(n-k)M$
	복소 가산기수	$Q_a = 2^n(n-k)M$	

계산적 복잡성 감소 비율

$$= \left( 1 - \frac{\text{제안된방식의 복잡성}}{\text{기존방식의 복잡성}} \right) \times 100$$

$$= \left( 1 - \frac{\text{제안된방식에 사용된 복소기수}}{\text{기존방식에 사용된 복소기수}} \right) \times 100 \quad (6)$$

기존 SLM 방식의 복소곱셈기수  $S_m$ , 복소가산기수  $S_a$ , PTS 방식의 복소곱셈기수  $P_m$ , 복소가산기수  $P_a$ , 제안된 방식의 SLM부분의 복소곱셈기수  $O_m$ , 복소가산기수  $O_a$ , PTS부분의 복소곱셈기수  $Q_m$ , 복소가

산기수  $Q_a$ 라고 하면 [표 1]과 같이 표기된다.

복잡성 감소 비율은 기존의 SLM과 PTS기법의 OFDM방식과 본 논문에서 제안한 새로운 SLM과 PTS를 결합한 OFDM방식을 비교하였다. 특히 부반송파수가  $N=2^m$  일 때 두 방식의 복소곱셈기와 복소가산기수를 비교하여 구할 수 있다[7][13][14].

### V. 실험 결과

실험에서는 The Mobile Wireless Metropolitan Area Network(WMAN)의 IEEE standard 802.16 [16]을 가지는 OFDM 시스템에 대해 성능을 테스트 하였다. 변조 방식은 QPSK를 사용하였고, 가우시안 분포 특성을 가지는 OFDM 신호를 위해 2048개의 부반송파(subcarrier)를 사용하였다. 그 중 사용된 부반송파는 1702개이며 나머지는 전송신호의 전력밀도를 위해 영(zero)을 사용하였다. 입력 데이터 심볼은 랜덤하게 uniform 분포를 지닌 10,000개를 사용하였으며 위상 회전 시퀀스는  $\{+1, -1, +j, -j\}$ 로부터 설정하였다. 기존의 SLM, PTS 기법과 본 논문에서 제안하는 N-point IFFT를 이용한 SLM과 PTS 결합 기법을 PAPR 감소 성능면에서 비교, 분석하였다. 본 논문에서는 최적의 성능을 갖는 n-k 단계가 5의 값을 갖는 N-point IFFT 알고리즘 [7]을 본 논문에 적용하였다.

[그림 4]는 기존의 SLM 기법의 PAPR 감소와 본 논문에서 제안한 N-point IFFT를 이용한 SLM과 PTS 결합 기법의 PAPR 감소 성능을 CCDF의 관점에서 비교한 것이다.

[그림 4]에서 볼 수 있듯이 제안된 방법은 기존의 SLM 기법과 비교하여 계산량은 증가하나 PAPR 감소 성능 면에서 많이 향상된 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. [그림 5]는 기존의 PTS 기법의 PAPR 감소와 본 논문에서 제안한 결합된 시스템의 PAPR 감소 성능을 CCDF로 비교한 것으로 계산량은 증가하나 PAPR 감소 성능이 기존의 SLM과 PTS 기법 보다 제안한 기법이 우수한 것을 나타낸다. 그러나 복잡도가 상당히 증가하는데, 본 연구에서는 이를 해결하기위해 N-point IFFT 알

고리즘을 사용하여 SLM과 PTS 기법의 결합으로 인한 증가된 계산적 복잡성을 줄여보고자 하였다.

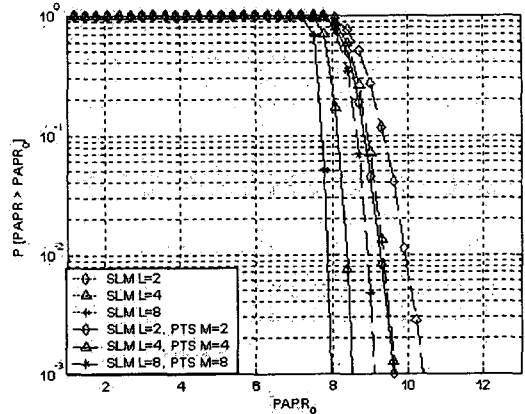


그림 4. 기존의 SLM 기법과 제안한 기법의 PAPR 감소 성능에 대한 CCDF

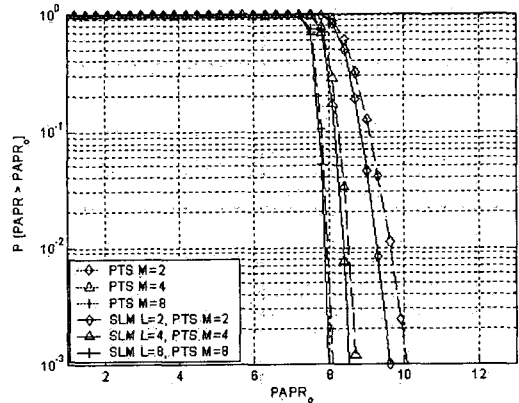


그림 5. 기존의 PTS 기법과 제안한 기법의 PAPR 감소 성능에 대한 CCDF

제안된 기법에서 SLM 기법의 독립된 데이터 시퀀스 L과 PTS기법에서 부블럭 수 M을 각각 8로 하였으며, 기존의 SLM과 PTS 기법도 L과 M을 8로 하여 계산적 복잡성 감소의 비율을 계산하였다. 제안된 기법을 두 부분으로 나눠서 계산적 복잡성 감소 비율을 기존의 SLM과 PTS 기법과 비교하였다.

식 (6)에 의해 기존의 SLM 부분만을 비교한 경우 기존의 SLM기법에 비해 제안된 기법이 48% 계산적 복잡성이 줄었고, 기존의 PTS와만 비교한 경우 기존의 PTS

기법에 비해 제안된 기법이 55% 계산적 복잡성이 줄었다. 이는 다음의 계산을 통하여 보였다.

예를 들어, 기존의 2048개의 서브캐리어를 사용하고 ( $n=11$ ), SLM의 독립적인 데이터 블록 수  $L=8$ , PTS의 서브 블록 수  $M=8$ 로 정하고, 최적의 성능[7]을 내는 단계  $n-k=5$ 를 기준으로 계산한 경우를 살펴보았다. 기존의 SLM 기법의 계산량은

$2^{11-1} \times 11 \times 8 + 2^{11} \times 11 \times 8 = 270336$ 이고, PTS 기법의 계산량은  $2^{11-1} \times 11 \times 8 + 2^{11} \times 11 \times 8 = 270336$ 가 된다.

또한, 제안된 시스템의 SLM과 PTS 부분의 계산량은

$2^{11-1} \times 6 + 2^{11-1} \times 5 \times 8 + 2^{11} \times 6 + 2^{11} \times 5 \times 8 = 141312$

와  $2^{11-1} \times 5 \times 8 + 2^{11} \times 5 \times 8 = 122880$ 가 된다. 결합된 각각의 SLM과 PTS 부분을 기존의 SLM과 PTS 기법과 비교하면, 제안된 방식에서 SLM 부분은 기존의 SLM 기법에 비해 계산의 복잡성 감소비율이

$(1 - (141312/270336)) \times 100 = 47.7273\%$ 로 되고 제안된 방식의 PTS 부분은 기존의 PTS 기법에 비해  $(1 - (122880/270336)) \times 100 = 54.5455\%$ 로 계산적 복잡성 감소 비율을 가져온다. 그리고 기존의 각각의 SLM과 PTS 기법과 제안된 SLM과 PTS 기법을 사용한 결합 시스템의 계산적 복잡성 감소비율은

$(1 - (264192/270336)) \times 100 = 2.2727\%$ 로 제안된 방식의 시스템 향상을 보여준다.

이 결과는 기존의 감소기법에 비해 제안된 기법이 성능과 계산적 복잡성면에서 우수함을 보여준다.

## VI. 결 론

일반적으로 디지털 통신 시스템에서 PAPR의 값은 시스템의 효율성과 관련이 있다. PAPR의 수치가 큰 경우는 통신시스템에서 사용하는 증폭기의 비선형적인 특성에 의해 신호의 왜곡을 초래하여 OFDM 시스템의 성능을 감소시킨다. 이러한 문제점을 해결하고자 PAPR 감소 기법이 연구 되어왔으며, 가장 일반적으로 연구되고 있는 기법들이 SLM과 PTS이다.

기존의 SLM 기법은 PTS 기법에 비해 계산량이 적은 반면 PAPR 감소 성능이 떨어지고, PTS 기법은 SLM 기

법에 비해 계산량은 증가하지만 PAPR 감소 성능이 좋아진다. 이러한 두 가지 서로 상이한 방법들을 혼합하여 각각의 시스템에 갖고 있는 두 기법의 특징들을 이용하여 PAPR 감소 성능을 줄이고자 하는 연구가 진행되어왔다. 본 연구에서는 이 결합 시스템이 갖고 있는 계산량의 복잡성을 줄이기 위한 새로운 방법을 도입한 시스템을 제안하였다. 제안된 새로운 시스템에서는 N-Point IFFT를 이용하여 최적의 효과를 내는 중간단계에서 위상 시퀀스와 서브블럭 인덱스를 사용함으로써 계산적 복잡성을 줄였다.

시뮬레이션 결과와 표에 나타난 계산량의 복잡성의 비교에 나타나는 바와 같이, 제안된 시스템은 기존의 SLM과 PTS 기법에 비해 유사한 계산적 복잡성으로 개선된 PAPR 성능을 보이고 있다. 결론적으로 제안된 결합 방식이 기존의 SLM과 PTS 기법을 결합한 방식은 물론 기존의 SLM과 PTS 각각의 기법에서 얻은 결과 보다 계산적 복잡성의 개선을 가져왔으며, 효율 부분에서도, 기존의 SLM과 PTS 각각의 기법과 비교하여 제안된 시스템의 PAPR 성능 또한 제안된 방식의 경우가 더 우수함을 보이고 있다. 이러한 결과는, 한 기존의 결합방식의 결과 [9]와 비교하여도, 결합된 시스템의 경우가 SLM 방법만 사용한 경우 보다는 향상된 PAPR을 가져오지만, PTS 하나의 방법만 사용한 경우보다는 뒤쳐지는 PAPR을 가져오는 것에 비하여, 제안된 시스템의 우수성을 보여주고 있는 부분이다.

## 참 고 문 헌

- [1] L. J. Cimini, Jr., and N. R. Sollenberger, "Peak-to-Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences," IEEE Int. Conf. Comm. (ICC 99), Vancouver, British Columbia, Canada, 6, June, 1999.
- [2] 조용수, 무선 멀티미디어 통신을 위한 OFDM 기초, 대영사, 2001.
- [3] A. D. S. Jayalath and C. R. N. Athaudage,

"On the PAR Reduction of OFDM Signals Using Multiple Singnal Representation," IEEE Communications Letters, Vol.8, No.7, July, 2004.

[4] M. Breiling, S. H. Muller, and J. B. Huber, "SLM peak power reduction without explicit side information," IEEE Commun. Lett., Vol.5, No.6, pp.239-241, Jun, 2001.

[5] V. Tarokh and H. Jafarkhani, "On the computation and reduction of the peak-to-average power ratio in multicarrier communication," IEEE Trans. Commun., Vol.48, pp.37-44, Jan, 2000.

[6] C. Tellambura, "Computation of the continuous-time PAR of an OFDM signal with BPSK subcarriers," IEEE Commun. Lett., Vol.5, pp.185-187, May, 2001.

[7] D. W. Lim, Jong-Seon, C. W. Lim, and H. B. Chung, "A New SLM OFDM Scheme With Low Complexity for PAPR Reduction," IEEE Commun Lett, Vol.12, No.2, Feb, 2005.

[8] D. W. Lim et al., "On the phase sequences of SLM OFDM system for PAPR reduction," presented at the ISITA, Parma, Italy, pp.230-235, Oct. 2004.

[9] 최지윤, 안봉만, 백홍기, "SLM과 PTS를 결합한 PAPR 감소기법의 성능 분석", 제 16회 신호처리합동학술대회논문집, 제16권, 제1호, 2003.

[10] E. Aarts and J. K. Lenstra, Local Search in Combinatorial Optimization. New York: Wiley, 1997.

[11] IEEE Standard Local and Metropolitan Area Network, IEEE Std. 802.16 a<sup>TM</sup>, 2003.

[12] S. H. Muller et al., "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by multiple signal representation," Ann. Telecommun., Vol.52, No.1-2, pp.58-67, Feb, 1997.

[13] E. H. Wold and A. M. Despain, "Pipeline and parallel pipeline FFT processors for VLSI inplementation," IEEE tran. Comput C-33(5), pp.414-426, 1984.

[14] G. Bi and E. V. Jones, "A pipelined FFT processor for word-sequential data," IEEE Trans.

[15] S. G. Kang and J. G. Kim, "A novel subblock partition scheme for partial transmit sequence OFDM," IEEE Trans, Broadcast., Vol.45, No.3, pp.333-228, Sept, 1999.

저자 소개

김 성 수(Sung-Soo Kim)

정회원



- 1997년 12월 : University of Central Florida(공학박사)
- 1999년 3월~2001년 8월 : 우석대학교 전기공학과 조교수
- 2001년 9월~현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 부교수

<관심분야> : 신호처리, 통신이론, 인공지능

기 종 해(Jong-Hae Kee)

준회원



- 2004년 8월 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(공학사)
- 2004년 9월~현재 : 충북대학교 전기공학과 석사과정

<관심분야> : 생체신호처리, 인공지능, 통계 신호처리, OFDM

김 명 제(Myoung-Je Kim)

준회원



- 2005년 2월 : 충북대학교 전기공학과(공학사)
- 현재 : 충북대학교 전기공학과 석사과정
- <관심분야> : 디지털 통신, OFDM

유 정 웅(Jeong-Woong Ryu)

정회원



- 1965년 : 한양대학교 전기공학과(공학사).
- 1976년 : 단국대학교 전자공학과(공학석사)
- 1987년 : 단국대학교 전자공학과(공학박사)

- 현재 : 충북대학교 전기공학과 교수

<관심분야> : 관심분야 : 가변구조제어, 지능제어, QFT