

## OFDM 시스템에서 PAPR 감소를 위한 PTS 기법의 성능개선

김동식<sup>1</sup> · 광민길<sup>2</sup> · 조형래<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2010년 10월 5일, 원고수정일 : 2010년 11월 15일, 심사완료일 : 2010년 11월 18일)

### Improving the PTS Method for the PAPR Reduction in the OFDM System

Dong-Seek Kim<sup>1</sup> · Min-Gil Kwak<sup>2</sup> · Hyung-Rae Cho<sup>†</sup>

**요약** : OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 통신 시스템은 단일 반송파를 사용해 정보를 전송하는 대신, 주파수의 직교성을 활용하여 정보 전송률이 낮은 다수의 부반송파로 나누어 전송하므로 주파수 사용 효율과 고속의 데이터 전송에서 우수한 특성을 가지는 기술이다. 그러나 OFDM 신호는 단일 반송파 전송방식에 비하여 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)이 증가하는 문제점이 있다. PAPR이 증가하면 RF 증폭기가 비선형적으로 동작하게 되어 효율이 감소하게 된다. 따라서 OFDM에서는 PAPR을 감쇄시키기 위하여 다양한 기법들이 사용되고 있다. 본 논문에서는 PTS(Partial Transfer Sequence) 기법의 단점인 많은 수의 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)로 인한 연산의 복잡도가 급격하게 증가하는 부분을 개선하기 위해 기존의 PTS 기법을 개선하여 두 개의 임계 레벨을 가지는 PTS 기법을 제안하였다. PAPR 값을 비교 분석한 결과, 기존의 PTS 기법과 근사한 BER(Bit Error Rate) 특성을 유지하면서 연산량을 크게 개선시킬 수 있음을 확인 하였다.

**주제어** : 직교주파수분할다중화, 침투전력대평균전력비, 부분전송열방식

**Abstract**: The OFDM system has better characteristics in transmission rate, power efficiency, bandwidth efficiency, impulse-noise immunity, and narrow band interference immunity etc. in comparison with other conventional systems. However, high PAPR of an OFDM signals causes some serious non-linear processing of RF amplifier. And performance of the communication system gets worse. Therefore, various methods reducing PAPR of an OFDM skills such as the clipping method, block coding method, and phase rotation method etc. have been researched. In this paper, we propose a high-speed adaptive PTS method which eliminates high PAPR. And we compare the proposed method with other conventional methods. The proposed method has decreased quantity of calculation compare with an adaptive PTS method. Of course, The more its calculation amount is decreased, the more its BER characteristic is not better than an adaptive PTS method. However, keeping up satisfactory BER performance, we highly improved calculation amount of a PTS method.

**Key words**: OFDM, PAPR, PTS

### 1. 서 론

제한된 주파수 자원을 효율적으로 사용하면서 고

속, 고성능 데이터 전송방법으로 각광받고 있는 OFDM 통신 시스템은 단일 반송파를 사용해 정보

<sup>†</sup> 교신저자(한국해양대학교 전파공학과, E-mail: hrcho@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4421)

<sup>1</sup> 한국해양대학교 전파공학과

<sup>2</sup> 한국해양대학교 전파공학과

를 전송하는 대신, 주파수의 직교성을 활용하여 정보 전송률이 낮은 다수의 부반송파로 나누어 전송하므로 주파수 사용 효율을 극대화한 기술이다. 이러한 장점으로 OFDM은 DAB, DVB, HiperLan, IEEE 802.11a, IEEE 802.16e-2005 등의 표준으로 채택되었다[1-2].

분명, OFDM은 주파수 사용 효율면이나 고속의 데이터 전송면에서 우수한 특성이 있는 기술이지만 다수의 부반송파가 변조되어 전송될 때 이들이 같은 위상으로 더해질 때에 시간 영역에서 큰 크기의 신호가 발생하여 최대전력이 평균 전력보다 크게 증가하는 현상이 발생하게 된다. 즉, OFDM 신호는 단일 반송파 전송방식에 비하여 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)이 증가하는 문제점이 있다. PAPR이 증가하면 RF 증폭기가 비선형적으로 동작하게 되어 효율이 감소하게 된다. 따라서 OFDM에서는 PAPR을 감쇄시키기 위하여 다양한 기법들이 사용되고 있다[3-5].

PTS 기법은 PAPR 특성을 크게 개선시킬 수 있으나 정확한 데이터 블록의 복원을 위하여 송수신단 사이에 부가정보의 교환이 필요해 이로 인한 추가적인 오류가 발생하게 된다[6-7]. 특히 많은 수의 IFFT가 요구되어 연산의 복잡도가 급격하게 증가하는 단점이 있다[8].

본 논문에서는 기존의 PTS 기법을 개선하여 두 개의 임계 레벨을 갖는 적응형 PTS 기법을 제안하고, 기존의 PTS 기법과 비교하여 연산량을 줄여 시스템의 처리 속도를 개선하며, PAPR 값을 비교 분석해보고자 한다.

본 논문은 5장으로 구성되어 있으며 내용과 순서는 다음과 같다. 1장에서는 서론으로 연구배경과 연구방법 및 목적을 기술하고, 2장에서는 OFDM 시스템의 구조와 OFDM 신호의 특성에 대하여 고찰하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 PTS 기법에 관해 서술한다. 4장에서는 본 논문에서 제안된 PTS 기법의 모의실험 결과를 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. OFDM 신호의 PAPR

OFDM 시스템의 일반적인 구조는 Figure 1과

같다. 데이터 발생기에서 생성되는 데이터 열은 mapper로 들어가 QPSK나 QAM 맵핑을 거쳐 복소 데이터 심볼이 된다. 신호 맵핑된 출력은 다수의 부반송파를 변조하기 위하여 부채널 수의 크기를 가지는 직/병렬 변환기에 의하여 병렬로 변환된 후 IFFT를 사용하여 동시에 OFDM 변조된다. 변조된 하나의 OFDM 심볼은 전송 채널에서의 시간간연에 따른 심볼간 간섭(Inter Symbol Interference : ISI)을 없애기 위하여 데이터의 끝 부분에 보호구간을 삽입한다. 그리고 보호구간을 OFDM 심볼의 앞에 삽입하여 한 개의 OFDM 프레임을 구성하고 주반송파를 이용하여 채널로 전송한다.  $X_n$ 을 복소 데이터심볼,  $N$ 은 부반송파의 수,  $T_s$ 를 OFDM 심볼구간이라 하면, 복소 기저대역 OFDM 심볼은 식 (1)과 같이 된다.

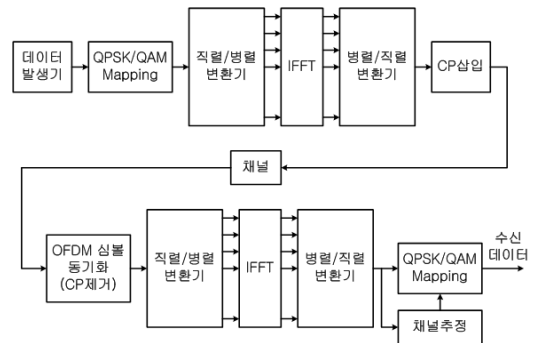


Figure 1: Block diagram of OFDM system.

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

병/직렬 변환된 신호는 보호구간이 삽입된 다음 고출력 증폭기를 거쳐 전송된다. 전송 채널을 거쳐 수신된 프레임은 보호구간을 제거하고 OFDM 심볼을 추출하여 FFT를 이용하여 부반송파를 복조한다. 부반송파 복조를 거쳐 추출된 부채널 신호는 다시 역과정의 신호 맵핑을 거쳐 데이터를 판정하여 정보를 복원하게 된다. OFDM의 PAPR은 식 (2)와 같이 정의한다.

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

여기서  $\max|x(t)|^2$ 은 신호  $x(t)$ 의 최대 순시전력이며  $E[|x(t)|^2]$ 은 신호  $x(t)$ 의 평균전력을 의미한다. 그러나 심볼당 N 개 샘플링하는 나이퀴스트 샘플링율은 연속시간 OFDM 신호의 피크를 놓칠 수 있으므로 PAPR 저감 성능을 정확하게 측정할 수 없다. 따라서 본 논문에서의 모든 PAPR 계산은 정확한 측정을 위하여 8배의 오버샘플링(oversampling)을 가정하였으며, 오버샘플링은 원래의 심볼을 포함하는 8N-point zero-padded(ZP) IFFT를 사용하면 간단히 구현할 수 있다[5]. 오버샘플링을 하였을 경우 PAPR의 분포는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$P_r(PAPR \leq PAPR_0) = (1 - \exp(-PAPR_0))^{\alpha N} \quad (3)$$

여기서,  $\alpha$ 와 N은 각각 독립변수와 부반송파 수를 의미한다. 따라서, OFDM 신호의 PAPR에 대한 상보 누적 밀도 함수(Complementary Cumulative Distribution Function : CCDF)는 식 (4)와 같다.

$$P_r(PAPR > PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^{\alpha N} \quad (4)$$

### 3. PTS기법 개선

PTS 기법은 부반송파들을 여러 개의 부분블록으로 나누고 낮은 PAPR 값을 갖는 신호가 되도록 각 부분블록에 최적의 가중치 요소를 곱하여 전송하는 기법이다.

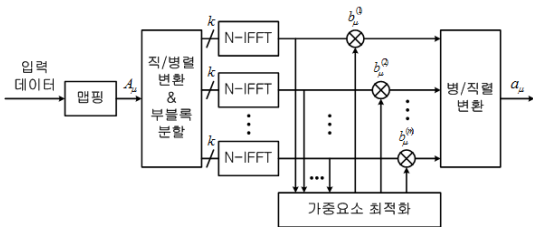


Figure 2: Transmitter block diagram of PTS method.

Figure 2는 PTS 기법의 송신기 구성을 보인다. 그림에서와 같이 PTS 기법은 OFDM 심볼을 구성하는 N개의 전체 데이터 심볼을 M개의 부분블록으로 나누고, PAPR 값이 최소가 되도록 최적

가중치 요소를 조정하여 가장 낮은 PAPR 값을 갖는 심볼을 전송하는 기법이다. 입력 데이터 블록을  $\{X_n, n=0, 1, 2, \dots, N-1\}$ 라 할 때, 이것의 벡터 표현은  $\vec{x} = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ 이고,  $\vec{x}$ 를 M개의 부분블록으로 나누었을 때, 각 부분블록을  $\vec{x}_m$ 이라 하면  $\vec{x}$ 는 식 (5)와 같다.

$$\vec{x} = \sum_{m=1}^M \vec{x}_m \quad (5)$$

부분블록을 분배하는 방법에는 여러 가지가 있다 [1,9-10]. 인접분배 방법을 적용하였을 경우, 가중요소  $\{b_m, m=0, 1, 2, \dots, M\}$ 를 곱한 부분블록은 식 (6)과 같다.

$$\vec{x} = \sum_{m=1}^M b_m \vec{x}_m \quad (6)$$

가중요소는 크기가 1인 복소수 값으로써, 시스템의 복잡도를 간단히 하기 위하여 보통  $\pm 1$ 의 값을 사용한다. 즉 부분블록의 위상조절은  $0^\circ$  또는  $180^\circ$ 이다. 또한, M개의 부분블록에서 첫 번째 부분블록은 가중요소를 적용하지 않아도 되므로, M개의 부분블록에 대하여  $\pm 1$ 의 가중요소를 사용할 경우 위상조절이 가능한 총 경우의 수는  $2^{M-1}$ 번이 된다[8]. 즉, 적응적 개념이 없는 PTS 기법의 경우, M개의 부분블록에 대하여  $\pm 1$ 의 가중요소를 사용할 경우, 총  $2^{M-1}$ 의 PAPR 값을 모두 계산하여 그 중 가장 작은 PAPR을 가지는 시퀀스를 선택하므로 부분블록수가 증가할수록 PAPR의 연산량은 지수 함수적으로 증가하게 된다[2,11-12].

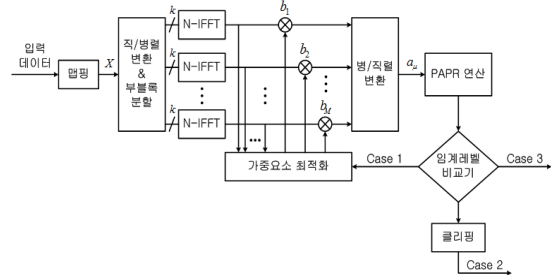
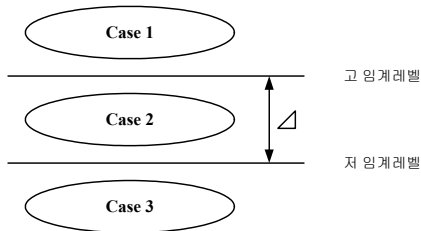


Figure 3: Block diagram of high-speed adaptive PTS method.

그러나 본 논문에서 제안하는 고속 적응형 PTS 기법은 이런 문제점을 해결하기 위하여 PAPR의 임계 레벨을 미리 설정하여, 그 레벨보다 낮은 PAPR 값이 출력될 때까지만 PAPR을 연산하는 방식으로 시스템의 복잡도는 다소 증가하지만 높은 PAPR 저감성능 및 연산량을 현저히 줄일 수 있는 기법이다. **Figure 3**은 고속 적응형 PTS 기법의 구성을 보인다.

직렬의 입력 데이터 비트가 데이터 맵핑되고 복소수 형태의 심볼이 병렬로 변환된 후, N개의 부반송파에 대하여  $N/M=k$  개의 부블록이 할당된다. 각 부블록에 대하여 N-IFFT를 수행한 후 가중요소를 곱하여 적절하게 위상을 조절하여 PAPR을 저감시킨다. 이 때 PAPR을 계산할 경우 각 부블록을 더한 후에 계산을 하고 실제 전송되는 OFDM 신호는 병/직렬 변환한 후 전송한다.

두 개의 임계 레벨을 가지는 비교기의 개념은 **Figure 4**와 같다.



**Figure 4:** Threshold level comparator.

두 개의 임계 레벨, 즉 고 임계 레벨과 저 임계 레벨을 그림과 같이 설정하고 그 간격을  $\Delta$ 라 가정한다. 만약 계산된 PAPR 값이 고 임계 레벨보다 높으면(case 1) 가중요소 최적화 과정에 의하여 다른 가중요소를 발생시켜 부블록에 적용한 후 PAPR을 다시 계산하며, 계산된 PAPR 값이 두 임계레벨 사이로 나타날 경우(case 2)에는 더 이상의 위상조절 과정을 멈추고, 클리핑을 수행하여 PAPR 값을 저 임계레벨로 낮추어 전송하게 된다. 이 때 연산량은 경감하지만 클리핑으로 인한 BER 성능은 다소 감소하게 된다. 또한 계산된 PAPR 값이 저 임계레벨보다 낮은 경우(case 3)에는 더 이상의 연산을 수행하지 않고 바로 전송한다(case 3).

#### 4. 시뮬레이션 및 성능분석

본 논문에서 제안하고 있는 OFDM 시스템에서 PAPR 감소를 위해 제안된 PTS 기법의 성능을 분석하기 위해 Matlab 7.0을 이용하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였고, 그 결과를 분석하였다.

컴퓨터 모의실험은 크게 두 가지 형태로 이루어졌다. 첫 번째는 기존의 PTS 기법의 PAPR 계산을 위한 연산량과 제안된 기법의 연산량을 비교 분석하는데 초점을 두어 어떠한 우수성을 가지는가를 평가하였다. 두 번째는 제안된 기법의 오율 특성을 비교하기 위해  $E_b/N_0$ 의 변화에 대한 시스템의 BER 특성을 비교하였다. 채널환경으로는 AWGN으로 동일한 환경을 고려하였으며, 신호에 대한 매핑 방식은 QPSK를 적용하였다.

기존의 PTS 기법과 제안한 기법에 대한 PAPR 연산량을 비교 분석할 때, 임계 레벨을 변화시켜감에 따라 연산량을 구하였으며, 모의실험을 위해 사용된 시뮬레이션 파라미터들은 **Table 1**과 같다.

**Table 1:** Parameters of high-speed adaptational PTS system.

Parameter	Value
채널	AWGN
변조방식	QPSK
부블록 분배방식	인접 분배방식
가중요소	$\pm 1$
IFFT 크기	128
부반송파 수	128
가중요소 선택방식	최적 선택방식

**Figure 5**와 **Figure 6**은 각각 부블록수  $M=4$ 와 8로 고정시킨 상태에서 제안한 기법과 클리핑되지 않은 적응형 PTS 기법에 대한  $\Delta$ (고 임계레벨과 저 임계레벨 사이)값에 따른 PAPR의 연산량을 비교한 것이다. 연산은 각각 식 (3) 및 식 (4)에 의하여 연산되었고, 부반송파 수는 128,  $\alpha$ 는 2.8을, 그리고 부블록수는 각각 4와 8을 고려하였다. **Figure 5**와 **Figure 6**에서 보이는 바와 같이  $\Delta$  값이 1, 2, 3 dB로 증가할수록 클리핑되지 않은 적응형 PTS 기법에 비하여 연산량이 현저히 감소

함을 알 수 있다. 이것은  $\Delta$ 값이 증가할수록 고 임계레벨이 높아지므로 위상조절을 다시 실행(case 1)할 확률이 낮아짐을 의미한다. 즉 연산량 감소 이득을 발생시킨다는 것이다. 반면 클리핑을 수행(case 2)할 확률이 높아짐을 의미하기도 한다. 그러나  $\Delta$ 값이 너무 커서 클리핑을 수행할 경우가 많이 발생되면 연산량은 대폭 감소하지만 BER 성능이 나빠지게 된다. 따라서 BER 성능에 영향을 미치지 않을 정도로 클리핑을 수행하면 기존의 적응형 PTS 기법의 BER 성능을 유지하면서 연산량을 현저히 경감시킬 수 있다.

Figure 7은 클리핑을 하지 않은 적응형 PTS 기법과 본 논문에서 제안한 기법에 대한  $E_b/N_o$ 에 따른 BER 성능을 비교한 것이다.

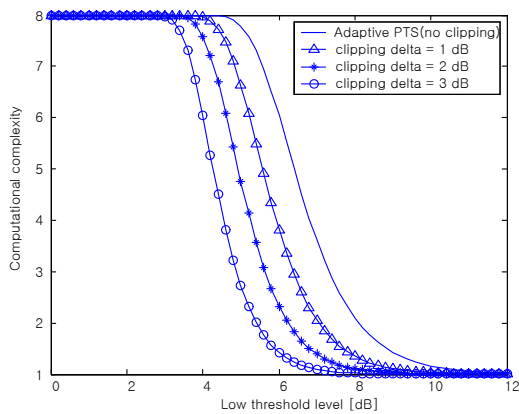


Figure 5: Calculation of PAPR with low threshold level.

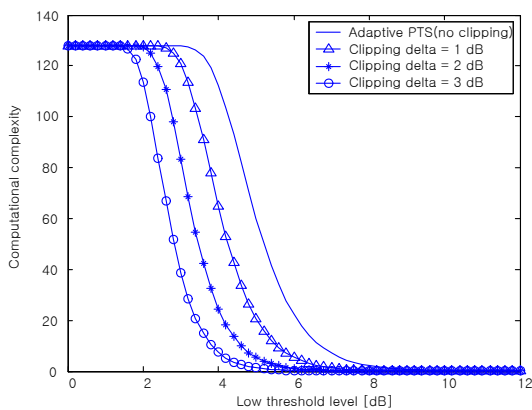


Figure 6: Calculation of PAPR with low threshold level.

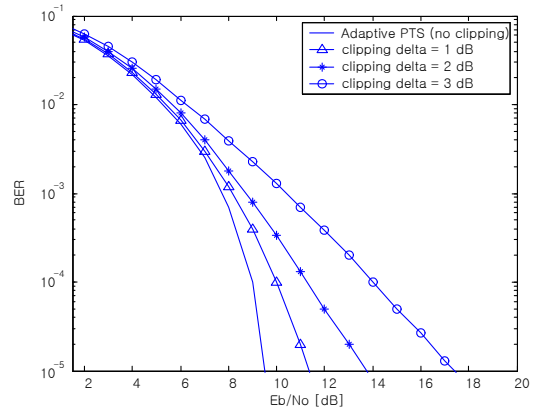


Figure 7: Comparison of BER with  $E_b/N_o$ .

Figure 7에서 보이는 바와 같이  $\Delta$ 값이 증가함에 따라  $10^{-4}$ 의 BER 까지는 그 성능 차이가 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 즉, 클리핑 레벨을 적절하게 조절함으로써 연산량을 경감시켜도 BER 성능을 거의 유지하도록 할 수 있다는 것이다. 그러나 BER이 감소할수록 성능차가 점차 크게 발생함도 알 수 있다.

## 5. 결 론

OFDM 방식은 대용량의 데이터를 서로 직교하는 협대역의 부반송파로 나누어 전송함으로써 무선 광대역 데이터 전송의 문제점인 다중경로 페이딩 채널에 의한 심볼간 간섭을 극복하여 고속, 대용량의 전송을 가능하게 한다. 또한, OFDM은 높은 주파수 효율, 임펄스 잡음 및 다중경로 페이딩에 대한 강한 면역성, 간단한 등화기 구조, 고속푸리에 변환 및 역푸리에 변환을 이용한 효과적인 OFDM 시스템의 구현이 가능한 이점 등으로 다양한 분야에 사용되는 통신방식이다. 그러나 OFDM 시스템은 급격한 채널변화에 따라 인접 부채널에 의한 채널간 간섭이 크게 발생할 뿐만 아니라 많은 부반송파를 이용한 병렬 데이터 전송과정에서 OFDM 신호의 평균전력에 비하여 순간 피크 전력이 매우 크게 되어 PAPR도 커지게 된다. 이러한 피크치들의 존재는 실제 OFDM 시스템의 구현에 큰 장애가 될 수 있다. PAPR이 큰 신호가 HPA를 통과하는 경우 HPA의 비선형 특성으로 인하여

신호의 대역 내 뿐만 아니라 인접 주파수 대역에도 간섭을 발생시키게 되고 또한 HPA의 효율을 크게 감소시키는 요인이 된다.

본 논문에서는 PAPR 저감기법 중 PTS 기법의 단점인 부블록의 수에 대해 PAPR 연산량이 지수 함수적으로 증가하는 것을 개선하기 위해 두 개의 PAPR 임계레벨을 설정하였다. 기존의 PTS 기법과 비슷한 BER 성능을 유지하면서 PAPR의 연산량을 대폭 감소시켜 시스템의 데이터 처리속도 면에서 성능이 개선될 수 있음을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 PAPR 감소 기법은 다수 사용자의 고속 데이터 전송을 요구하는 OFDM 통신시스템의 성능 개선에 기여 할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] Richard Van Nee and Ranjee Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House, pp. 33-51, 2000.
- [2] 조용수, 김재권, 양원영, MIMO-OFDM 무선통신과 MATLAB, 홍릉과학출판사, 2008.
- [3] Xiaodong Li and L. J. Cimini Jr., "Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM," IEEE Trans. on Communications, vol. 39, no. 7, pp. 1031-1033, 1991.
- [4] T. A. Wilkinson and A. E. Jones, "Minimization of the peak-to-mean envelope power ratio of multicarrier transmission schemes by block coding," Proc. of IEEE VTC '95, Chicago, pp. 825-829, 1995.
- [5] H. Ochiai and H. Imai, "Block coding scheme based on complementary sequences for multicarrier signals," IEICE Trans. On Fundamentals, pp. 2136-2143, 1997.
- [6] R. W. Baumi, R. F. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping," IEE Electronic Letters, vol.32, no.22, pp. 2056-2057, 1996.
- [7] A. D. S Jayalath and C. Tellamburg, H. Wu, "Reduced complexity PTS and new phase sequence for SLM to reduce PAP of an OFDM signal," IEEE VTC 2000, vol.3, pp. 1914-1917, 2000.
- [8] L. J. Cimini and N. R. Sollenberger, "Peak-to-Average power ratio reduction of an OFDM signal using partial transmit sequences," IEEE International Conference on Communications, vol. 1, pp. 511-515, 1999.
- [9] C. Tellambura, "Phase optimization criterion for reducing peak-to-average power ratio of an OFDM signal," IEE Electro. Letters vol. 34, pp. 169-170, 1998.
- [10] S. G. Kang, J. G. Kim, and E. K. Joo, "A novel subblock partition scheme for partial transmit sequence OFDM," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 45, no. 3, pp. 333-338, 1999.
- [11] R. Dinis and A. Gusmao, "A new class of signal processing schemes for bandwidth-efficient OFDM transmission with low envelope fluctuation," in Proc. VTC, pp. 658-662, 2001.
- [12] 공민한, 송문규, "OFDM 신호의 PAPR 감소를 위한 낮은 복잡도를 갖는 PTS 기법," 전자공학회 논문지, 제45권 TC편 제1호, 2008년 1월.

## 저 자 소 개



### 김동식(金東識)

2003년 한국해양대학교 전파공학과 (공학사), 2005년 한국해양대학교 전파공학과(공학석사), 2007년 한국해양대학교 전파공학과(박사수료).



### 곽민길(郭旻吉)

2007년 한국해양대학교 전파공학과 (공학사), 2010년 한국해양대학교 전파공학과(공학석사).



### 조형래(趙炯來)

1982년 광운대학교 응용전자공학과 (공학사), 1984년 연세대학교 전자공학과 (공학석사), 1993년 연세대학교 전자공학과(공학박사), 2004년 - 2007년 (재)한국조선기자재연구원(원장), 1996년-현재 한국해양대학교 전파공학과(교수)