

논문 2007-44TC-2-4

# OFDM 신호의 PAPR 감소를 위한 소실 복호 기반의 SLM 기법

( Selected Mapping Technique Based on Erasure Decoding  
for PAPR Reduction of OFDM Signals )

공민한\*, 송문규\*\*

( Min Han Kong and Moon Kyou Song )

## 요약

높은 PAPR (peak-to-average power ratio)은 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 신호의 주된 문제점이다. 본 논문에서는 RS (Reed-Solomon) 부호의 소실 복호 기능을 이용한 수정된 SLM (selective mapping) 기법을 제안한다. 송신기에서 RS 부호화된 OFDM 데이터 블록에 일련의 위상 시퀀스를 곱하여 일부의 체크 심볼의 위상을 천이시킨다. 수신기에서 위상 천이된 체크 심볼들을 소실로 간주하여 RS 복호를 수행한다. 그러므로 가장 낮은 PAPR을 갖도록 선택된 위상 시퀀스에 대한 부가 정보를 전송할 필요가 없다. 또한 선택된 위상 시퀀스에 대한 추정 과정이 더 이상 수신기에 필요하지 않게 되어 복잡도와 성능이 향상된다. 제안한 수정된 SLM 기법의 성능을 평가하기 위해 PAPR의 CCDF(complementary cumulative distribution function), BER(bit error rate) 그리고 복호 실패 확률을 기존의 SLM 기법과 비교한다.

## Abstract

High PAPR (peak-to-average power ratio) is a major drawback of OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) signals. In this paper, a modified SLM (selective mapping) technique that uses erasure decoding of RS (Reed-Solomon) codes is presented. At the transmitter a set of phase sequences are multiplied such that some portions of check symbols in RS-coded OFDM data blocks are phase-rotated. At the receiver, RS decoding is performed with the phase-rotated check symbols being treated as erasures. Hence, there is no need to send side information about the phase sequence selected to transmit for the lowest PAPR. In addition, the estimation process for the selected phase sequence is no longer needed at the receiver, leading to improvement in terms of complexity and performance. To evaluate the performance of this technique, the CCDF (complementary cumulative distribution function) of PAPR, the BER (bit error rate) and the decoding failure probability are compared with those of the previous SLM techniques.

**Keywords :** erasure decoding, OFDM, PAPR, SLM, RS codes

## I. 서론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

\* 학생회원, 원광대학교 제어계측공학과  
(Dept. of Control and Instrumentation Engineering,  
Wonkwang University)

\*\* 평생회원, 원광대학교 전기전자및정보공학부  
(Dept. of Electrical, Electronic and Information  
Engineering, Wonkwang University)

※ 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술  
연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을  
받아 연구되었음(KRF-2006-521-D00307).

접수일자: 2006년9월13일, 수정완료일: 2007년2월14일

은 고속의 직렬 데이터 열을 다수의 직교하는 부반송파를 이용하여 저속의 병렬 데이터로 전송하는 기법이다. OFDM은 높은 대역 효율성을 가지며 다중 경로 페이딩에 강인하여 고속 데이터 통신이 가능하고 IFFT/FFT를 이용한 효율적인 구현이 가능하다<sup>[1][2]</sup>. 이러한 장점으로 인해 OFDM은 IEEE 802.11a, IEEE 802.16-2004, IEEE 802.20, ETSI BRAN 등의 표준으로 채택되었다. 그러나 독립적으로 변조된 각각의 부반송파가 동위상으로 더해지는 경우 높은 PAPR (peak-to-average power ratio)을 갖는다<sup>[2]</sup>. 이는 전력 증폭기 및 ADC, DAC의 효율성을 떨어뜨리며 특히 입력 back-off가 넓은 선형

전력 증폭기의 사용은 필수적이다. 이로 인해 OFDM 신호의 높은 PAPR은 OFDM 시스템의 주된 문제점으로 인식되어 왔으며<sup>[2][3]</sup>, PAPR의 감소를 위한 많은 방법들이 제안되었다.

SLM(selective mapping)<sup>[4]</sup> 기법은 그 중의 하나로써 송신기는 먼저 정보 블록에 서로 충분히 다른 복수의 위상 시퀀스를 곱하여 후보 데이터 블록의 집합을 생성하고 IFFT를 취한 후 가장 낮은 PAPR을 보이는 데이터 블록을 선택하여 전송한다. 수신기는 원래의 정보 블록을 복원하기 위해 송신기에서 선택한 위상 시퀀스를 정확히 알아야 하므로, 송신기는 부가 정보(side information)를 반드시 전송해야 한다. 만일 부가 정보에 에러가 발생한다면 BER 성능은 상당히 저하될 것이다. 부가 정보의 전송 필요성을 제거하기 위해 스크램블링<sup>[5]</sup>, 에러정정 부호<sup>[6]</sup>, GS(guided scrambling) 부호<sup>[7]</sup> 등을 이용한 기법들이 제안되었다. 그러나 이들 기법은 레이블 비트의 삽입을 위해 부반송파를 낭비<sup>[5][7]</sup>하거나, 에러정정 부호를 사용하였음에도 불구하고 채널에서 발생한 에러를 정정할 수 없는 문제점을 갖는다<sup>[6]</sup>. 최근에 위상시퀀스를 곱하여 블록 부호의 체크 심볼들의 위상을 천이시키는 수정된 SLM 기법이 제안되었다<sup>[8]</sup>. 이 기법에서 에러 정정 부호는 부가 정보의 전송으로 인한 데이터 율의 손실 없이 전송 에러를 정정하기 위해 사용된다. 이 기법은 위상 천이된 OFDM 데이터 블록에서 메시지 심볼들은 전혀 수정되지 않은 사실을 이용한다. 따라서 부호어의 메시지 심볼 중 일부가 채널 에러로 인해 오염될 경우 수신기에서 잘못된 위상 시퀀스가 추정될 수 있으며, 이에 따라서 BER 성능이 상당히 저하될 것이다. 또한 수신기에서 선택된 위상 시퀀스를 추정하기 위해 심볼 매핑, 재부호화 및 복소 나눗셈 등과 같은 중복된 과정이 필요하고 이는 복잡도를 증가시킨다.

본 논문에서는 OFDM 신호의 PAPR 감소를 위해 Reed-Solomon(RS) 부호의 소실 복호를 이용하는 수정된 SLM 기법을 제안한다. 송신기에서 데이터 블록은 RS 부호화되고 단지 부호 심볼의 일부만이 복수의 서로 다른 위상 시퀀스에 의해 위상 천이된다. 그 다음 IFFT를 취하여 이 중에서 가장 낮은 PAPR을 갖는 하나를 선택하여 전송한다. 이와 같이 체크 심볼의 단지 일부만이 위상 천이되고 이들은 수신기에서 소실로 간주되는 것을 제외하면 송신 과정은 기존의 SLM 기법과 유사하다. 그러나 이에 대한 수신 과정은 사뭇 다르다. 수신기에서 RS 복호는 위상 천이된 체크 심볼을 소

실로 간주하여 진행된다. 이리하여 이 기법은 부가적인 레이블 비트의 삽입으로 인한 불필요한 부반송파의 낭비나 선택된 위상 시퀀스에 대한 부가 정보의 전송 필요성을 요구하지 않는다. 수신기에서 선택된 위상 시퀀스에 대한 추정 과정이 불필요하므로 수신기의 복잡도도 줄어든다. 또한 수신기에서 소실로 간주하는 체크 심볼의 수를 조정하므로써 PAPR의 상한과 BER 성능 사이의 유연한 절충이 가능하다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 OFDM 신호의 PAPR과 기존의 SLM 기법을 간략하게 소개한다. III장은 RS 부호의 소실 복호를 이용하는 수정된 SLM 기법을 설명한다. IV장은 시뮬레이션 결과를 보이고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. SLM 기법

$N$ 개의 부반송파를 갖는 OFDM 신호의 기저대역 복소 포락선은 식 (1)과 같다<sup>[2]</sup>.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N a_n e^{j\omega_n t}, \quad 0 \leq t < NT \quad (1)$$

여기에서  $a_n$ 은  $n$ 번째 부반송파의 데이터 심볼이며  $\omega_n$ 은  $\omega_k = 2\pi n\Delta f$ 로 정의되는  $n$ 번째 부반송파의 각주파수이다. 각 부반송파 사이의 간격은  $\Delta f = 1/T$ 이고  $T$ 는 직렬 데이터 심볼  $a_n$ 의 주기이다. 식 (1)로 정의되는 OFDM 신호의 PAPR은 식 (2)와 같다<sup>[8]</sup>.

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq k < NL} |x_k|^2}{E[|x_k|^2]} \quad (2)$$

여기에서  $E[\cdot]$ 는 기대값 연산을 의미하며,  $x_k$ 는  $L$ 배 오버샘플링한 OFDM 신호값을 의미한다.  $L=4$ 이면 연속시간 신호의 PAPR을 충분히 정확하게 얻을 수 있음이 알려져 있고<sup>[9]</sup>, 이는  $(L-1)N$ 개의 0을 덧붙인  $LN$  포인트 IFFT에 의해서 구할 수 있다.

문헌 [4]에 소개된 최초의 SLM 기법에서 송신기는 정보 블록에  $U$ 개의 충분히 서로 다른 위상 시퀀스  $P^{(u)} = [p_{u,0}, p_{u,1}, \dots, p_{u,N-1}]$ ,  $u=1, 2, \dots, U$ 를 곱하여  $U$ 개의 후보 데이터 블록의 집합을 생성하고 그들의 IFFT를 취하여 가장 낮은 PAPR을 갖는 것을 선택하여 전송한다. 수신기에서는 원래의 정보 블록을 복원하기 위해서 송신기에서 선택된 위상 시퀀스를 알아야 한다. 따라서 송신기는 이에 관한 부가정보(side information)

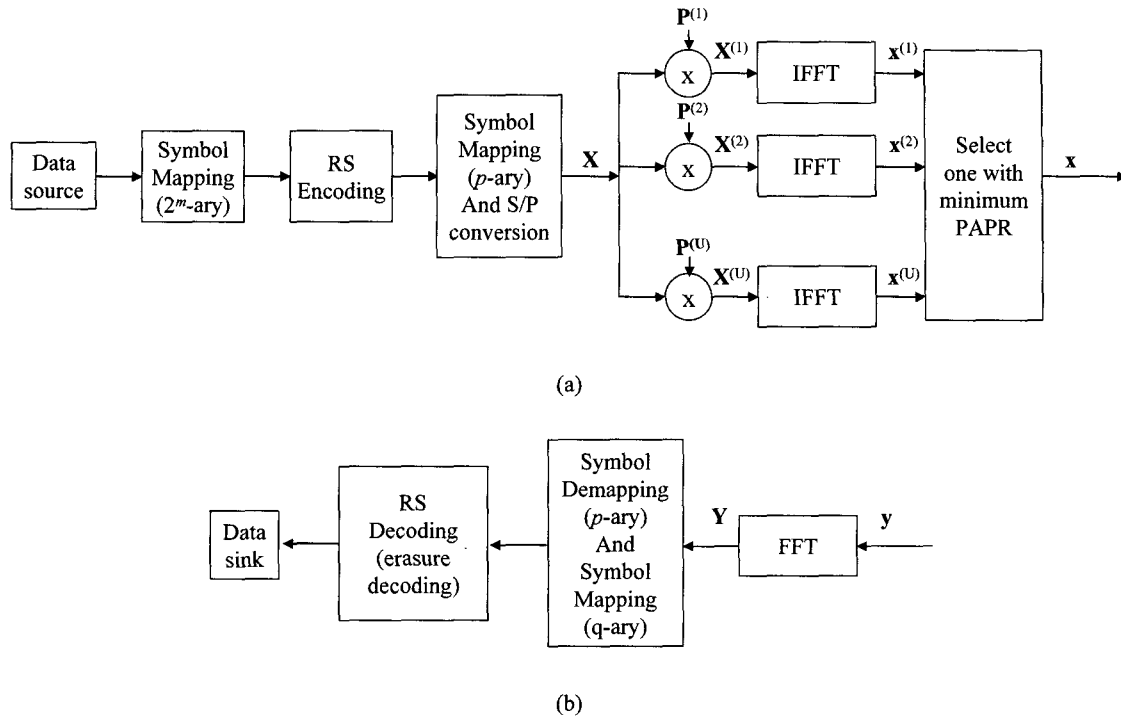


그림 1. 소실 복호 기반의 수정된 SLM 기법의 블록 다이어그램; (a) 송신기, (b) 수신기

Fig. 1. Block diagram of modified SLM technique based on erasure decoding;

(a) Transmitter (b) Receiver.

를 반드시 전송해야 한다. 만일 부가 정보에 전송 에러가 발생한다면 BER 성능은 상당히 저하될 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 부가 정보의 전송 필요성을 제거한 몇 가지 방법이 연구되었다<sup>[5-7]</sup>. 최근에는 채널에서 발생하는 에러를 정정하기 위해 블록 부호를 이용하는 수정된 SLM 기법이 제안되었다<sup>[8]</sup>. 이 기법에서는 단지 체크 심볼을 전송하는 부반송파만이 위상 천이되고, 메시지 심볼은 위상 천이없이 그대로 전송되는 사실을 이용한다. 수신기에서 메시지 심볼을 재부호화하여 체크 심볼을 찾아내고 이를 이용하여 전송된 위상 시퀀스를 추정한다. 추정된 위상 시퀀스와 모든  $U$ 개의 위상 시퀀스 사이의 Euclidean 거리를 계산하여 이 중에서 추정 시퀀스에 가장 가까운 위상 시퀀스를 찾아서 전송된 시퀀스로 최종 결정한다. 그 다음 수신된 OFDM 데이터 블록에서 각각의 부호어에 대하여 채널 부호의 복호를 수행한다. 이 방법은 부가 정보의 전송으로 인한 데이터 율의 손실 없이 에러를 정정할 수 있다. 그러나 메시지 심볼의 일부가 채널 에러로 인해 오염된다면 수신기에서 잘못된 위상 시퀀스를 추정할 것이다. 그러므로 BER 성능은 상당히 저하될 것이다. 또한 수신기에서 선택된 위상 시퀀스 추정을 위해 심볼 매핑, 재부호화 그리고 복소 나눗셈과 같은 중복된 과

정이 요구되어 복잡도가 증가한다.

### III. 소실 복호 기반의 수정된 SLM 기법

그림 1은 RS 부호의 소실 복호를 이용한 수정된 SLM 기법의 블록 다이어그램을 보인 것이다. RS 부호 이론과 소실 복호 알고리즘에 대한 자세한 사항은 문헌 [10-12]에서 참조할 수 있다. 이진 직렬 데이터는 RS 부호화를 위해  $2^m$ 진 심볼로 분할된다. RS 부호화 후에 부호어는 부반송파의 변조 방식에 따라  $p$ 진 심볼로 매핑된다. 하나의 OFDM 심볼을 구성하는 RS 부호어 블록의 수  $M$ 은 식 (3)과 같다.

$$M = \frac{N \log_2 p}{n \log_2 2^m} \quad (3)$$

IFFT/FFT를 이용한 OFDM 시스템의 효율적인 구현을 위해서  $N$ 은 2의 멱승이어야 한다. 이 경우  $n=2^m-1$ 인 원시(primitive) RS 부호는 적용이 불가능하며 단축형(shortened) RS 부호를 적용해야 한다. 단축형 RS 부호를 위한 효율적인 구조는 문헌 [11]과 [12]에서 참조할 수 있다.

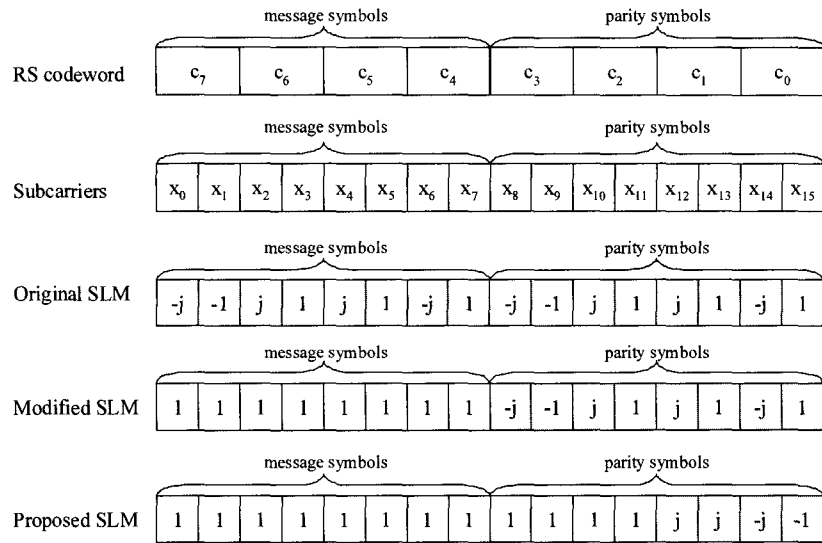


그림 2. 서로 다른 SLM 기법에서 사용된 위상 시퀀스의 비교  
 Fig. 2. Comparison of phase sequences used in different SLM technique.

OFDM 데이터 블록을 만들기 위해  $M$ 개의 RS 부호어를 수집한 이후 메시지 심볼과 체크 심볼을  $N$ 개의 부반송파에 적절하게 배열한다.  $N(k/n)$ 개의 부반송파는 메시지 심볼의 전달에 사용되며, 나머지  $N(n-k)/n$ 개의 부반송파는 체크 심볼의 전달에 사용된다. SLM 기법을 위해  $M$ 개의 RS 부호어로 이루어진 OFDM 데이터 블록에  $U$ 개의 위상 시퀀스  $P^{(u)}$ 를 곱하여  $U$ 개의 위상 천이된 OFDM 데이터 블록을 구성한다. 그림 2는 제안한 기법에서 사용된 위상 시퀀스와 다른 SLM 기법의 위상 시퀀스의 비교를 보인 것이다. 그림 2에서 부반송파의 수는  $N=16$ 이고 부반송파가 QPSK 변조되는 경우  $GF(2^4)$ 상의 (8,4) RS 부호를 가정하였다. 부반송파  $x_0 \sim x_7$ 은 RS 부호의 메시지 심볼을 전송하고,  $x_8 \sim x_{15}$ 는 체크 심볼을 전송한다.

송신기에서 서로다른 SLM 기법 사이의 주요 차이점은 적용된 위상 시퀀스에 있다. 문헌 [4]에서 제안된 최초의 SLM 기법의 경우 OFDM 데이터 블록 전체를  $\{\pm 1, \pm j\}$ 에서 임의의 값으로 이루어진 위상 시퀀스와 곱하여 위상 천이시킨다. 문헌 [8]에서 제안한 수정된 SLM 기법의 경우 RS 부호화된 데이터 블록의 메시지 심볼에 곱해지는 위상 시퀀스의 원소는 1로 고정하고 체크 심볼에 곱해지는 위상 시퀀스는  $\{\pm 1, \pm j\}$ 에서 선택한다. 따라서 RS 부호어의 체크 심볼만이 위상 시퀀스에 의해 위상 천이되는 반면에 메시지 심볼은 수정되지 않는다.

본 논문에서 위상시퀀스는 체크 심볼의 일부만이 위상천이 되도록 설계된다. 송신기에서 위상천이된 심볼

은 수신기에서 소실로 취급된다. 전통적으로 시퀀스 중 하나 일반적으로 첫 번째 것은 모든 SLM기법에서 모두 1인 시퀀스로 가정된다. 그림 2에서 소실의 수  $E$ 는 2로 가정하였고 부호어 블록에서 정정될 수 있는 에러의 수  $e$ 는 1이다. 소실의 수는  $2e+E \leq 2t$ 를 만족하는 임의의 2의 배수로 선택될 수 있다. 여기서  $t$ 는 RS부호의 에러정정 능력을 나타낸다. OFDM 데이터 블록은  $U$ 개의 위상시퀀스와 곱해져서 IFFT 변환된다. 이 중에서 가장 낮은 PAPR을 갖는 것을 선택하여 전송한다. 수신기에서 수신된 OFDM 신호는 FFT 변환되어  $2^m$ 진 심볼 매칭 후 RS 복호된다. 수신기는 위상천이된 체크 심볼의 위치를 알고 있으며, 이들을 소실로 처리하여 복호한다.

이 기법에서 가장 낮은 PAPR을 위해 선택한 위상 시퀀스에 대한 부가 정보를 전송할 필요가 없다. 또한 수신기에서 전송된 위상 시퀀스를 추정하기 위한 복잡한 과정은 필요하지 않다. 그러므로 부가 정보의 전송 에러 또는 전송된 위상 시퀀스에 대한 잘못된 추정으로 인한 성능 저하는 발생하지 않는다. 이 기법은 소실로 처리하는 심볼의 수를 조정하여 PAPR 감소와 실제 에러 정정 능력 사이의 유연한 절충이 가능하다. 복잡한 추정 과정이 불필요하기 때문에 수신기 복잡도도 감소한다.

#### IV. 성능평가

제안한 PAPR 감소 기법의 성능을 PAPR의 CCDF

(complementary CDF), AWGN 채널에서 BER (bit error rate) 그리고 복호 실패 확률에 의해 평가하고 기존의 SLM 기법과 비교한다. 컴퓨터 시뮬레이션은 랜덤하게 생성한 100,000개의 OFDM 심볼에 대하여 수행하였다. 부반송파의 수는  $N=256$ 이고 각 부반송파의 변조 방법은 QPSK를 가정하였다. 연속 신호의 PAPR 계산을 위해 오버샘플링 계수는  $L=4$ 로 설정하였다.  $GF(2^8)$  상의 (64, 44) RS 부호를 사용하였으며, 위상 시퀀스는  $\{±1, ±j\}$  중의 랜덤값으로 구성하였다.

1.  $U$ 의 수에 따른 PAPR 감소효과

그림 3은 위상 시퀀스의 수  $U=8, 16, 32$ 를 갖는 서로 다른 SLM 기법들에 대한 PAPR의 CCDF를 보인 것이다. 이후에서 'No SLM'은 SLM 기법을 적용하지 않은 일반적인 OFDM 신호의 경우, 'Original SLM'은 문헌 [4]의 최초 SLM 기법을 적용한 경우, 'Modified SLM'은 문헌 [8]의 수정된 SLM 기법을 적용한 경우, 그리고 'Proposed SLM'은 본 논문에서 제안한 SLM 기법을 적용한 경우를 의미한다. 그림 3에서 소실 심볼의 수는  $E=18$ 로 설정하였다. 그림 3에서 'Original SLM'의 경우 PAPR 감소 효과가 가장 크고, 'Modified SLM'과 'Proposed SLM'은 유사한 정도의 PAPR 감소 효과를 나타냄을 알 수 있다. SLM 기법에서 PAPR의 감소 효과는 OFDM 데이터 블록을 구성하는  $N$ 개의 부반송파 중에서 위상 천이된 부반송파의 비율에 의존한다. 'Proposed SLM'과 'Modified SLM'은 위상 천이되는 부반송파의 수가 사실상 제한되기 때문에 'Original SLM'보다 낮은 PAPR 감소를 제공한다. 그러나 RS 부호의 부호율이 감소할수록 위상 회전된 부반송파의 수가 증

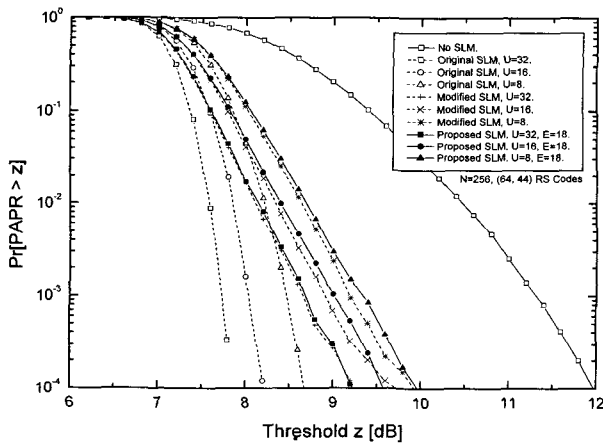


그림 3. PAPR의 CCDF ( $U=8, 16, 32, E=18$ )  
 Fig. 3. CCDF of PAPR. ( $U=8, 16, 32, E=18$ )

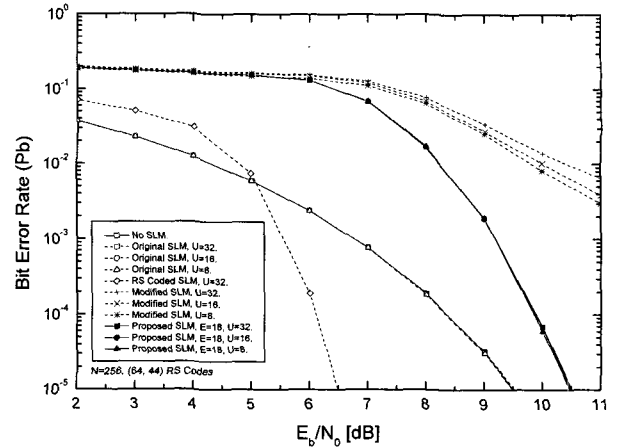


그림 4. 서로 다른 SLM 기법의 BER 성능 ( $U=8, 16, 32, E=18$ )

Fig. 4. BER performance of the different SLM techniques. ( $U=8, 16, 32, E=18$ )

가하므로 PAPR의 차이는 감소한다. 또한 'Original SLM'의 경우 부가 정보의 전송은 필수적이며, 이로 인해 데이터 유효 손실이 발생하고 부가 정보에 에러가 발생할 경우 BER 성능이 저하될 것이다.

그림 4는 서로 다른 SLM 기법의 BER 곡선을 비교한 것이다. 그림 4에서 'RS coded SLM'은 최초의 SLM 기법에 (64, 44) RS 부호를 적용한 경우를 의미한다. 'Original SLM'과 'RS coded SLM'의 경우 전송된 OFDM 데이터 블록을 복구하기 위해서 필요한 선택된 위상 시퀀스에 대한 부가 정보의 전송에 에러가 전혀 발생하지 않은 것을 가정하였다. 그러나 부가 정보의 전송 과정에 에러가 발생할 경우 'Original SLM'과 'RS coded SLM'의 실제 BER 성능은 이보다 상당히 저하될 수 있음을 주목해야 한다. 위상 시퀀스들 간의 Euclidean 거리는 시스템에서 사용한 위상 시퀀스의 수  $U$ 가 증가함에 따라 감소한다. 따라서 'Modified SLM'의 경우 선택된 위상 시퀀스에 대한 잘못된 추정이 일어날 가능성이 증가하며 BER 성능이 저하되어 낮은 값의  $E_b/N_0$ 에 대해서 사용하기 어렵다. 반면에 'Proposed SLM'의 BER 성능은 사용된 위상 시퀀스의 수와 관계 없이 일정한 값을 유지한다.

2. 소실의 개수에 따른 비교

그림 5는 위상 시퀀스의 수를  $U=32$ 로 고정하고 소실 심볼의 수를  $E=18, 16, \dots, 2$ 로 변화시켜가면서 제안한 SLM 기법에 대한 PAPR의 CCDF를 보인 것이다. 소실의 수가 감소할수록 위상이 천이되는 심볼의 수가 감소

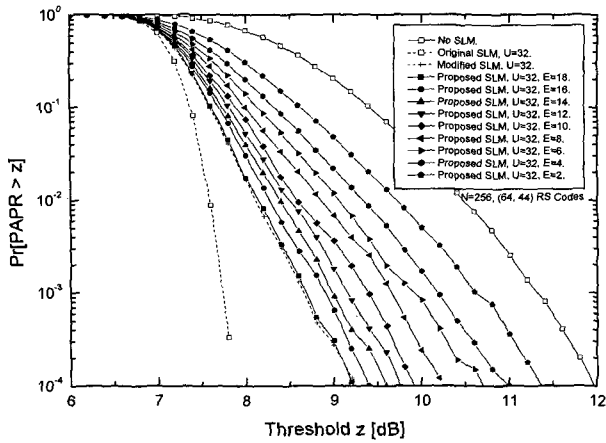


그림 5. PAPR의 CCDF ( $U=32, E=18, 16, \dots, 4, 2$ )  
 Fig. 5. CCDF of PAPR. ( $U=32, E=18, 16, \dots, 4, 2$ )

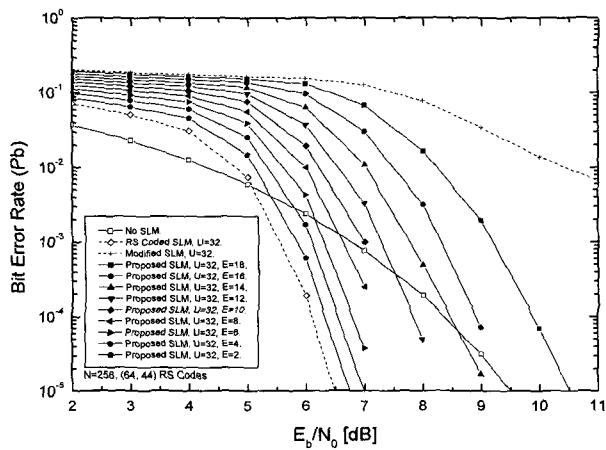


그림 6. 서로 다른 SLM 기법의 BER 성능 ( $U=32, E=18, 16, \dots, 4, 2$ )  
 Fig. 6. BER performance of the different SLM techniques. ( $U=32, E=18, 16, \dots, 4, 2$ )

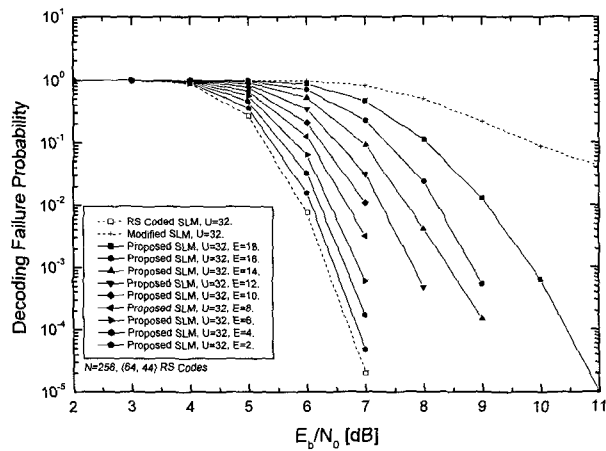


그림 7. 서로 다른 SLM 기법의 대한 복호 실패 확률 ( $U=32, E=18, 16, \dots, 4, 2$ )  
 Fig. 7. Probability of decoder failure of different SLM technique. ( $U=32, E=18, 16, \dots, 4, 2$ )

하므로 PAPR의 감소는 떨어지지만, 정정 가능한 에러의 수가 증가하므로 그림 6에 보인 것처럼 BER 성능은 개선된다.

그림 7은 'RS coded SLM', 'Modified SLM' 그리고 'Proposed SLM' 기법에 대한 복호 실패 확률을 보인 것이다. 복호 실패 확률은  $E_b/N_0$ 가 낮은 경우 증가한다. 이러한 경향은 'Modified SLM'에서 가장 두드러진다. 따라서 'Proposed SLM'은 'Modified SLM'보다 낮은  $E_b/N_0$ 의 경우에 적용이 가능하다. 'Proposed SLM'의 경우 소실 심볼의 수가 감소함에 따라서 복호 실패 확률은 감소한다. 그림 5~7에 보인 것처럼 'Proposed SLM'은 소실의 수를 조정하여 PAPR의 감소 효과와 BER 성능 사이의 손쉬운 절충을 이룰 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 Reed-Solomon(RS) 부호의 소실 복호를 이용하므로써 부가 정보를 전송하지 않고서 OFDM 신호의 PAPR을 감소시킬 수 있는 수정된 SLM 기법을 제안하였다. 송신기에서 데이터 블록은 RS 부호화되고 체크 심볼의 일부에  $\{\pm 1, \pm j\}$  중에서 임의의 값을 취한 복수의 위상 시퀀스를 곱한다. 그 다음 IFFT를 취하고 이 중에서 가장 낮은 PAPR을 갖는 하나를 선택하여 전송한다. 송신 과정은 체크 심볼의 일부만이 위상 천이되고 수신기에서 이들을 소실로 간주하는 것을 제외하면 이전의 SLM 기법과 유사하다. 그러나 수신 과정은 상당히 달라진다. 수신기에서 위상 천이된 체크 심볼들은 소실로 간주하여 RS 복호를 수행한다. 그러므로 부가적인 레이블 비트의 삽입으로 인한 불필요한 부반송파의 낭비와 선택된 위상 시퀀스에 대한 부가 정보의 전송이 요구되지 않는다. 또한 수신기에서 선택된 위상 시퀀스에 대한 추정 과정이 불필요하므로 수신기의 복잡도도 감소한다. 이 기법은 수신기에서 소실로 간주하는 체크 심볼의 수를 조정하여 PAPR 상한과 BER 성능 사이의 유연한 절충을 제공한다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 제안한 SLM 기법은 사용된 위상 시퀀스의 수와 관계없이 일정한 BER 성능을 유지하며, 비슷한 PAPR 감소 레벨에 대해 기존의 SLM 기법보다 향상된 BER 성능을 보임을 알 수 있다.

### 참고 문헌

[1] L. J. Cimini Jr, "Analysis and Simulation of a

- Digital Mobile Channel Using Orthogonal Frequency Division Multiplexing," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 33, pp. 665-675, July 1985.
- [2] R. van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Boston, MA: Artech House, 2000.
- [3] J. Heiskala and J. Terry, *OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide*, Sam, 2002.
- [4] R. W. Bauml, R. F. H. Fisher and J. B. Huber, "Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of Multicarrier Modulation by Selected Mapping," *Elect. Lett.*, vol. 32, no. 22, pp. 2056-57, Oct. 1996.
- [5] H. Breiling and S. H. Muller-Weinfurtner, and J. B. Huber, "SLM Peak-Power Reduction without Explicit Side Information," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, no. 6, pp. 239-41, Jun. 2001.
- [6] Kyeongcheol Yang and Seok-II Chang, "Peak-to-Average Power Control in OFDM Using Standard Arrays of Linear Block Codes," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 7, no. 4, pp. 174-176, Apr. 2003.
- [7] Yan Xin and Ivan J. Fair, "Peak-to-Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal Using Guided Scrambling Coding," *IEEE GLOBECOM2003*, vol. 4, pp. 2390-2394, Dec. 2003.
- [8] Seung Hee Han and Jae Hong Lee, "Modified Selected Mapping Technique for PAPR Reduction of Coded OFDM Signal," *IEEE Transaction on Broadcasting*, vol. 50, no. 3, pp. 335-341, Sep. 2004.
- [9] C. Tellambura, "Computation of the Continuous-Time PAR of an OFDM Signal with BPSK Subcarriers," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, no. 5, pp. 185-187, May 2001.
- [10] Howard M. Shao and Irving S. Reed, "On the VLSI Design of a Pipeline Reed-Solomon Decoder Using Systolic Arrays," *IEEE Trans. on Computers*, vol. 37, no. 10, Oct. 1988.
- [11] M.K. Song, E.B. Kim, H.S. Won and M.H. Kong, "Architecture for Decoding Adaptive Reed-Solomon Codes with Varying Block Length," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 48, no. 3, pp. 631-637, Aug. 2002.
- [12] M.K. Song and M.H. Kong, "An Adaptive Reed-Solomon Decoder Using Separate Clocks in the Pipelined Steps," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E88-B, no. 2, pp. 615-621, Feb. 2005.

---

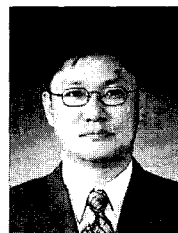
 저 자 소 개
 

---



공민한(학생회원)  
 2001년 2월 원광대학교  
 전기공학부 졸업  
 2003년 2월 원광대학교  
 제어계측공학과 공학석사  
 2003년 3월~현재 원광대학교  
 제어계측공학과 박사과정

<주관심분야: 디지털 통신시스템 설계, 채널 부호화>



송문규(평생회원)  
 1988년 2월 고려대학교  
 전자공학과 졸업  
 1990년 2월 고려대학교  
 전자공학과 공학석사  
 1994년 2월 고려대학교  
 전자공학과 공학박사

1994년 3월~현재 원광대학교 전기전자및  
 정보공학부 교수

1999년 9월~2000년 8월 캐나다 빅토리아대학교  
 전기및컴퓨터공학과 방문교수

2006년 2월~현재 미국 스탠포드대학교  
 전기공학과 방문교수

<주관심분야: 무선통신, 디지털 통신시스템 설계,  
 채널 부호화>