

소실 복호 기반의 수정된 PTS 기법을 이용한 OFDM 신호의 PAPR 감소

준회원 공민한*, 종신회원 송문규*

Reducing PAPR of OFDM Signals Using Modified Partial Transmit Sequences Technique Based on Erasure Decoding

Min Han Kong* Associate Member, Moon Kyou Song* Lifelong Member

요약

본 논문에서는 RS(Reed-Solomon) 부호의 소실 복호를 이용한 수정된 PTS(Partial Transmit Sequences) 기법을 제안한다. 송신기에서 서브블록으로 분할된 RS 부호어의 체크 심볼의 일부만을 위상 가중치에 의하여 위상 천이한다. 수신기에서 위상 가중치에 의하여 수정된 체크 심볼을 소실로 간주하여 수신 부호어를 복호한다. 이렇게 하여 송신기에서 선택된 위상 가중치에 대한 부가 정보를 전송할 필요가 없어진다. 또한 선택된 위상 가중치에 대한 추정 과정이 불필요하므로 수신기 복잡도가 감소한다. 부가 정보의 전송 에러나 위상 가중치의 추정 에러로 인한 성능 저하도 없다. 제안한 PTS 기법의 성능을 평가하기 위해 PAPR의 CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)와 BER(Bit Error Rate)을 기존의 PTS 기법과 비교한다.

Key Words : PTS, PAPR, OFDM, Erasure decoding, RS codes

ABSTRACT

In this paper, a modified PTS (Partial Transmit Sequences) technique that uses erasure decoding of RS (Reed-Solomon) codes is presented. At the transmitter, some check symbols in a RS codeword partitioned into subblocks are phase-rotated by phase factors. The receiver decodes received codewords by regarding the phase-rotated check symbols as erasures. Hence, this technique does not need to transmit the side information about the phase factors chosen at the transmitter. The complexity of the receiver is also reduced since the estimation process for the phase factors is not required in the receiver. There is no performance degradation due to the transmission error of the side information or the estimation error of the phase factors. To evaluate the performance of the proposed PTS technique, the CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function) of PAPR and the BER (Bit Error Rate) are compared with those of the conventional PTS techniques.

I. 서론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 무선 통신 환경에서 다중경로 페이딩에 강하고 고속의 데이터 전송이 가능한 방식이다^{1,2)}. OFDM

시스템의 주된 문제점은 독립적으로 변조된 각각의 부반송파가 동위상으로 더해지는 경우 높은 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)을 갖는 것이다¹⁾. 이로 인해서 전력 증폭기 및 ADC, DAC의 효율성이 저하되며, 특히 입력 back-off가 넓은 선형 전력

* 이 논문은 원광대학교 BK21 지역대학육성사업의 지원에 의해서 연구됨.

* 원광대학교 전기전자및정보공학부 무선통신연구실 (jy2kdoli, mksong}@wku.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-02-069, 접수일자 : 2007년 2월 15일, 최종논문접수일자 : 2007년 7월 10일

증폭기를 사용해야 한다. 이러한 PAPR 문제를 해결하기 위해 많은 방법들이 제안되었다^[3].

PTS(Partial Transmit Sequences)^[4]기법은 그 중의 하나로 OFDM 신호의 PAPR의 통계를 개선하는 기법이다^[5]. PTS 기법에서 정보 블록은 서로 다른 L 개의 서브블록으로 분할된다. 각 서브블록에 IFFT를 취하여 위상 가중치를 곱하고 난 후 이들을 모두 더해서 정보 블록과 동일한 정보를 표현하는 OFDM 신호를 생성한다. 이때 위상 가중치는 PAPR이 최소화 되도록 선택된다. 수신기에서 원래의 정보 블록을 복원하기 위해 수신기에서 선택된 위상 가중치를 정확히 알아야 하므로, 송신기는 이에 관한 부가 정보를 반드시 전송해야 한다. 만일 이 부가 정보에 전송 에러가 발생한다면 BER 성능은 상당히 저하될 것이다. 부가 정보의 전송 필요성을 제거한 PTS 기법이 제안된 바가 있다^[5,7]. 문헌 [5]에서는 이진 위상 가중치의 값에 따라 2개의 성좌도를 사용하고 이를 차등 검파하는 기법을 제안하였으며, 문헌 [6]에서는 채널 추정을 통하여 각 부반송파의 전송 심볼을 추정하고 그 유클리드(Euclidean) 거리를 비교하는 기법을 제안하였다. 문헌 [7]에서는 블록 부호의 체크 심볼이 할당된 서브블록에만 위상 가중치를 곱하는 방법이 제안되었다. 이 기법은 블록 부호의 메시지 심볼은 변경되지 않음을 기반으로 한다. 따라서 메시지 심볼에 에러가 발생할 경우 잘못된 위상 가중치를 추정할 수 있으며, BER 성능이 저하될 것이다. 또한 위상 가중치를 추정하기 위해 수신기에서 재부호화, $\tan^{-1}(x)$ 계산 등과 같은 중복된 과정이 필요하여 복잡도가 증가한다.

본 논문에서는 RS(Reed-Solomon) 부호의 소실 복호를 이용하는 수정된 PTS 기법을 제안한다. 송신기에서 정보 블록은 RS 부호화되고 서브블록으로 분할된다. 이때 RS 부호어에서 메시지 심볼과 체크 심볼의 일부를 하나의 서브블록으로 분할하고 ($L-1$)개의 서브블록에 나머지 체크 심볼을 분할한다. 각 서브블록에 IFFT를 취하고 체크 심볼의 일부만이 할당된 서브블록에만 PAPR이 최소화 되도록 선택된 위상 가중치를 곱한다. 수신기에서는 위상 가중치에 의하여 수정된 체크 심볼을 소실로 간주하여 수신 부호어를 복호한다. 이렇게 하여 송신기에서 선택된 위상 가중치에 대한 부가 정보를 전송할 필요성을 제거할 수 있다. 또한 선택된 위상 가중치에 대한 복잡한 추정 과정이 불필요 하므로 수신기의 복잡도가 감소한다. 제안된 PTS 기법은 소실로 간

주하는 체크 심볼의 수를 조정하므로써 PAPR의 상한과 BER 성능사이의 유연한 절충을 이룰 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 OFDM 신호의 PAPR과 제안하는 소실 복호 기반의 수정된 PTS 기법을 설명한다. III장은 시뮬레이션 결과를 보이고, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 소실 복호 기반의 수정된 PTS 기법

2.1 OFDM 신호의 PAPR

N 개의 부반송파를 갖는 OFDM 신호의 기저대역 복소 포락선은 식 (1)과 같다^[2].

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

여기에서 a_n 은 n 번째 부반송파의 데이터 심볼이며 a_n 은 $\omega_n = 2\pi n \Delta f$ 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^[5].

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

여기에서 $\max|x(t)|^2$ 과 $E[|x(t)|^2]$ 는 각각 신호 $x(t)$ 의 최대 순시전력과 평균전력을 의미한다.

2.2 수정된 PTS 기법

RS 부호의 소실 복호를 이용한 수정된 PTS 기법의 블록 다이어그램은 그림 1과 같다. 먼저 전송하고자 하는 이진 데이터는 RS 부호화를 위해 2^m 진 심볼로 매핑된다. RS 부호화 이후에 부호어는 부반송파의 변조방식에 따라 p 진 심볼로 매핑된다. 하나의 OFDM 심볼을 구성하는 RS 부호어의 수 M 은 다음과 같다.

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

M 개의 부호어 블록을 수집한 이후 RS 부호어의 메시지 심볼과 체크 심볼 중 일부는 첫 번째 서브블록으로 분할하고 나머지 체크 심볼은 ($L-1$)개의 서브블록으로 분할한다. 여기에서 L 은 서브블록의 수이다.

제안된 PTS 기법과 다른 PTS 기법의 차이점은 정보 블록을 서브블록으로 분할하는 방식에 있다.

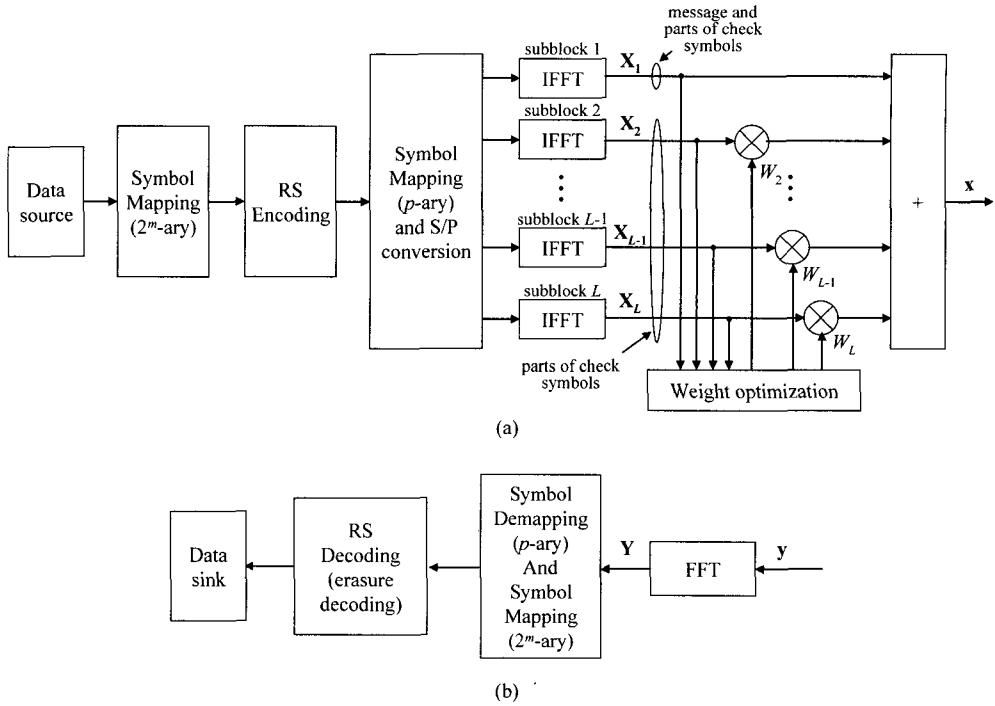


그림 1. 소실 복호 기반의 수정된 PTS 기법의 블록 다이어그램 (a) 송신기, (b) 수신기

그림 2는 제안한 PTS 기법과 다른 PTS 기법에서 정보 블록을 서브블록으로 분할하는 방법을 비교한 것이다. 그림 2에서 음영진 서브블록은 위상 가중치가 곱해지는 서브블록을 의미한다. 문헌 [4]에서 제안한 최초의 PTS 기법은 모든 서브블록에 위상 가중치를 곱하여 위상을 천이시킨다. 문헌 [7]에서 제안된 수정된 PTS 기법은 블록 부호화를 수행하고 부호어의 체크 심볼만을 ($L-1$)개의 서브블록으로 할당하며, 이 ($L-1$)개의 서브블록에만 위상 가중치를 곱하여 위상을 천이시킨다. 따라서 블록 부호의 체크 심볼만이 위상 가중치에 의해 위상 천이되며 메시지 심볼은 수정되지 않는다.

본 논문에서는 체크 심볼의 일부만을 할당한 ($L-1$)개의 서브블록에만 위상 가중치를 곱하여 위상 천이시킨다. 이 위상 천이된 체크 심볼은 수신기에서 소실로 처리된다. 소실의 수는 적용된 RS 부호의 규격에 의해 $2e+E \leq 2t$ 를 만족하는 임의의 2의 배수로 선택될 수 있다. 여기서 e 는 부호어 블록에서 정정 가능한 에러의 수, E 는 소실의 수 그리고 t 는 RS부호의 에러정정 능력을 나타낸다.

각 서브블록에 IFFT를 취하고 체크 심볼의 일부가 할당된 ($L-1$)개의 서브블록에 위상 가중치 W_l 를

곱하여 위상을 회전시킨다. 위상 가중치 W_l 은 다음과 같이 정의된다^[7].

$$W_l = e^{j\pi \Delta \phi}, l = 0, 1, \dots, L, n = 0, 1, \dots, R-1 \quad (4)$$

여기에서 $R=2\pi\Delta\phi$ 이다. 만약 $\Delta\phi=\pi/2$ 이면 $W_l=\{\pm 1, \pm j\}$ 이다.

위상 가중치 W_l 은 서브블록들의 합으로 얻어지는 OFDM 심볼의 PAPR이 최소가 되도록 선택된다. 이렇게 생성된 OFDM 신호는 식 (5)와 같다.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left\{ \sum_{n=1}^{N_1} a_{1,n} e^{j\omega_n t} + \sum_{l=2}^L W_l \sum_{n=1}^{N_l} a_{l,n} e^{j\omega_n t} \right\} \quad (5)$$

여기에서, $a_{l,n}$ 은 l 번째 서브블록의 n 번째 부반송파의 데이터를 의미하고, N_l 은 l 번째 서브블록의 부반송파수를 의미한다.

수신기는 수신된 OFDM 심볼에 FFT를 취하고 RS 복호를 위해 2^m 진 심볼로 매핑한다. 수신기는 위상 천이된 체크 심볼의 위치를 알고 있으므로 이를 소실로 처리하여 RS 복호한다.

이 기법에서 가장 낮은 PAPR을 갖도록 선택된 위상 가중치에 대한 부가 정보를 전송할 필요가 없

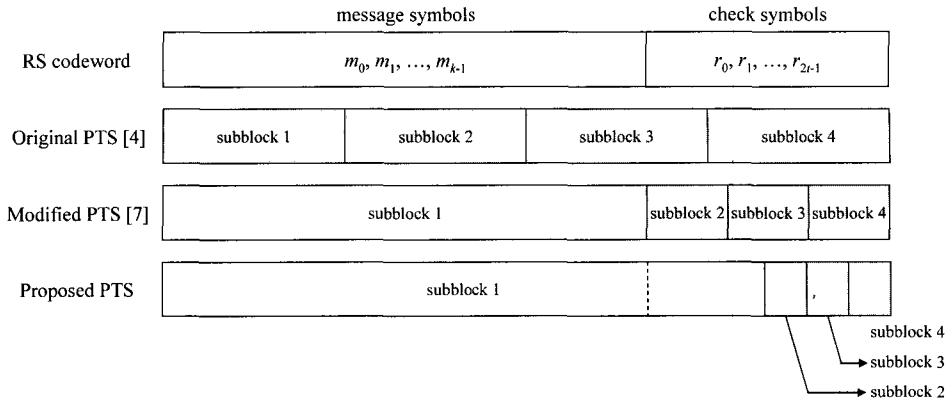


그림 2. PTS 기법에 따른 서브블록의 분할

다. 또한 수신기에서 선택된 위상 가중치를 추정하기 위한 복잡한 추정과정은 불필요하다. 그러므로 부가 정보의 전송 에러 또는 위상 가중치의 잘못된 추정으로 인한 성능 저하는 발생하지 않는다. 이 기법은 소실로 처리하는 심볼의 수를 조정하여 PAPR 감소와 에러 정정 능력 사이의 유연한 절충이 가능하다. 또한 복잡한 추정 과정이 불필요하기 때문에 수신기 복잡도도 감소한다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
부반송파 수	256
부반송파 변조	QPSK
오버샘플링 계수	4
서브블록의 수	4, 6
$\Delta\phi$	$\pi/2, \pi/4$
RS 부호	(64, 46) RS Codes over $GF(2^8)$

III. 성능평가

이 장에서는 제안된 PAPR 감소 기법의 성능을 PAPR의 CCDF와 AWGN 채널에서 BER에 의해 평가하고 기존의 PTS 기법과 비교한다. 컴퓨터 시뮬레이션은 랜덤하게 생성한 100,000개의 OFDM 심볼에 대하여 수행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

3.1 서브블록의 수 L에 따른 PAPR의 감소 효과

그림 3은 서브블록의 수에 따른 PAPR의 CCDF를 보인 것이다. 그림에서 'No modified'는 PTS 기법이 적용되지 않은 OFDM 신호의 경우, 'Original'은 문헌 [4]의 최초의 PTS 기법을 적용한 경우, 'Coded'는 문헌 [4]의 최초의 PTS 기법에 RS 부호를 적용한 경우, 'Modified'는 문헌 [7]의 수정된 PTS 기법을 적용한 경우, 그리고 'Proposed'는 본 논문에서 제안된 PTS 기법을 적용한 경우를 의미한다. 시뮬레이션에서 사용된 채널 부호는 (64, 46) RS 부호이며, 제안된 기법에서 소실의 수는 $E=16$ 으로 하였다.

그림 3에서 'Original'과 'Coded'는 PAPR 감소 효과가 동일하게 가장 우수하고, 'Modified'와

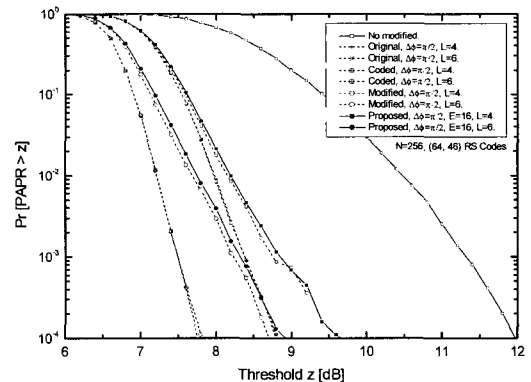


그림 3. 서브블록 수 L에 따른 PAPR의 CCDF ($\Delta\phi=\pi/2, E=16, L=4, 6$)

'Proposed'는 PAPR 감소 효과가 유사함을 알 수 있다. 'Modified'와 'Proposed'는 위상 가중치가 곱해지는 서브블록이 (L-1)개로 제한되므로 위상이 천이되는 부반송파의 수도 제한되어 'Original' 또는 'Coded'보다 PAPR 감소 효과가 감소한다. 그러나 'Modified'와 'Proposed'에 사용된 RS 부호의 부호율이 감소하면 PAPR 감소 효과의 차이는 감소하게 된다. 또한 'Original'과 'Coded'는 송신기에서 선택

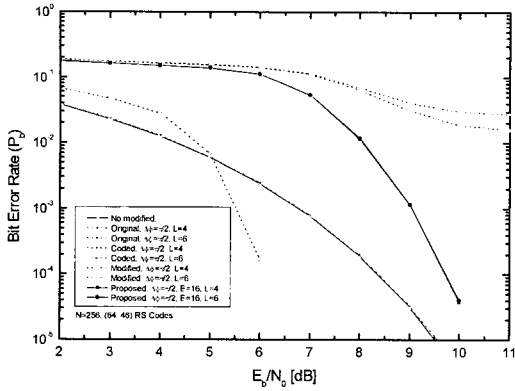


그림 4. 서브블록 수 L 에 따른 PTS 기법의 BER ($\Delta\phi=\pi/2$, $E=16$, $L=4, 6$)

된 위상 가중치에 대한 부가 정보의 전송에 에러가 발생할 경우 BER 성능이 상당히 저하된다.

그림 4는 여러가지 PTS 기법들에 대한 BER 성능을 비교한 것이다. 그림 4에서 부가 정보의 전송을 필요로 하는 'Original'과 'Coded'의 경우 부가정보의 전송 과정에 에러가 발생하지 않은 경우를 가정하였다. 따라서 에러정정 능력 $t=9$ 인 'Coded'의 BER 성능이 가장 좋고, 'No modified'와 'Original'는 동일한 BER 성능을 보인다. 그러나 전송 과정에 에러가 발생하는 경우 'Original'과 'Coded'의 BER 성능은 상당히 저하될 것이다. 'Modified'에서는 메시지 심볼을 전송하는 부반송파의 위상은 변화시키지 않으며, 수신기에서는 수신된 메시지 심볼을 이용하여 송신기에서 선택한 위상 가중치를 추정하게 된다. 그러나 전송 과정에서 메시지 심볼에 에러가 발생할 경우 잘못된 위상 가중치를 추정하게 되므로 BER 성능이 저하된다. 또한 서브블록의 수 L 이 작을수록 각 서브블록에 할당되는 부반송파의 수가 커지며, 이에 따라서 BER 성능이 더욱 저하된다. 반면에 'Proposed'에서는 사용된 서브블록의 수에 상관없이 일정한 BER 성능을 유지함을 알 수 있다.

3.2 $\Delta\phi$ 에 따른 PAPR 감소 효과

그림 5는 서브블록의 수가 $L=4$ 인 경우 $\Delta\phi$ 의 변화에 따른 PAPR의 CCDF를 비교한 것이다. 서브블록의 수가 달라지는 경우와 같이 'Original'과 'Coded' 기법의 PAPR 감소 효과가 가장 크고, 위상이 천이되는 부반송파의 수가 제한된 'Modified'와 'Proposed'의 감소효과는 유사하다. $\Delta\phi=\pi/2$ 인 경우 부반송파는 90° 씩 위상이 천이시킬 수 있고,

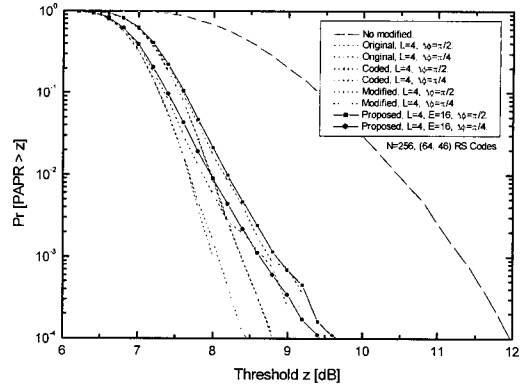


그림 5. $\Delta\phi$ 에 따른 PAPR의 CCDF($L=4$, $E=16$, $\Delta\phi=\pi/2, \pi/4$)

$\Delta\phi=\pi/4$ 인 경우 45° 씩 위상을 천이시킬 수 있다. 따라서 $\Delta\phi$ 의 값에 따라서 PAPR의 감소를 위해 선택 가능한 후보 심볼의 수가 다르다. 제안한 PTS 기법에서는 $\Delta\phi=\pi/2$ 인 경우 43개의 후보 심볼이 존재하며 $\Delta\phi=\pi/4$ 인 경우 83개의 후보 심볼이 존재한다. 후보 심볼의 수가 많을수록 PAPR의 감소 효과는 더 커지며 이는 그림 5에서 확인할 수 있다.

3.3 소실의 수 E에 따른 PAPR 감소 효과

그림 6과 7은 제안한 PTS 기법에서 서브블록의 수 $L=6$, $\Delta\phi=\pi/4$ 인 경우 소실의 수 E 에 따른 PAPR의 CCDF와 BER을 보인 것이다. 제안한 기법에서 위상이 천이되는 부반송파는 소실의 수 E 에 따라 제한된다. 따라서 그림 6에서 알 수 있듯이 소실의 수가 가장 큰 $E=16$ 인 경우 PAPR의 감소 효과가 가장 크고 소실의 수가 가장 작은 $E=2$ 인 경우 PAPR의 감소 효과가 가장 적다. 반면에 소실로 처

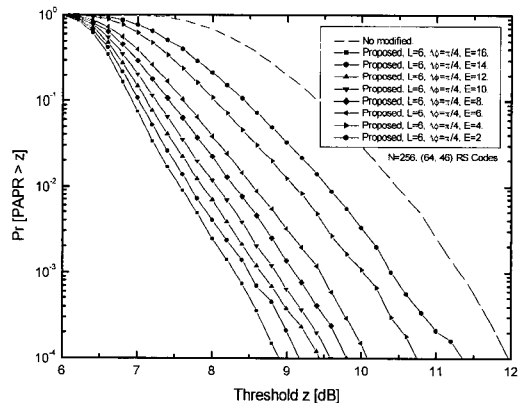


그림 6. 소실의 수 E 에 따른 PAPR의 CCDF ($L=6$, $\Delta\phi=\pi/4$, $E=16, 14, \dots, 2$)

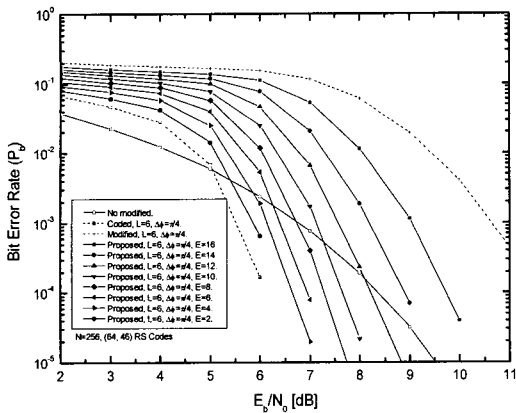


그림 7. 소실의 수 E 에 따른 제안한 기법의 BER ($L=6$, $\Delta\phi = \pi/4$, $E=16, 14, \dots, 2$)

리하는 심볼의 수가 줄어들수록 어려정정 능력 t 가 증가하므로 BER이 개선됨을 그림 7에서 확인할 수 있다. 따라서 제안한 PTS 기법은 소실로 처리하는 심볼의 수를 조정하여 PAPR 감소와 실제 어려 정정 능력 사이의 유연한 절충이 가능하다.

3.4 소실복호 기반의 SLM 기법과의 비교

그림 8은 소실복호 기반의 PTS 기법과 SLM 기법에 대한 PAPR의 CCDF를 보인 것이다. $GF(2^8)$ 상의 (64, 44) RS 부호를 사용하였으며, 소실 심볼의 수 $E=16$ 으로 하였다. PTS 기법에서 서브블록의 수 $L=4$, 6이고 $\Delta\phi = \pi/2$, 즉 $W_i = \{\pm 1, \pm j\}$ 값을 갖는다. SLM 기법에서 위상 시퀀스의 수 $U=4$, 6이고 각 위상 시퀀스의 원소는 $\{\pm 1, \pm j\}$ 에서 랜덤하게 선택하였다. 따라서 각 기법에서 사용되는 IFFT의 수는 $L=U=4$, 6이고 $64(=E \times \log_2 2^m / \log_2 2^b)$ 개의 부반송파는 서브블록의 위상 가중치와 위상 시퀀스에 따라 위상 천이된다.

그림 8에서 알 수 있듯이 PTS 기법이 SLM 기법보다 PAPR 감소 효과가 크다. 그 이유는 SLM 기법에서는 위상 시퀀스의 수에 따라서 PAPR 감소를 위해 선택 가능한 후보 심볼의 수가 제한되지만, PTS 기법은 PAPR 감소를 위해 선택 가능한 후보 심볼의 수가 $R^{(L-1)}$ 로서 PAPR의 최적화를 위해 선택할 수 있는 위상 가중치의 선택의 폭이 상대적으로 크기 때문이다. 그러나 PTS 기법은 그만큼 많은 PAPR 계산이 요구되므로 SLM에 비하여 복잡도가 높은 편이다.

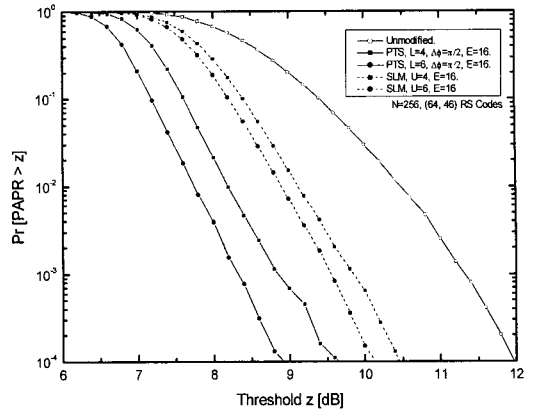


그림 8. 소실복호 기반의 PTS 기법과 SLM 기법에 대한 PAPR의 CCDF 비교

IV. 결론

본 논문에서는 RS 부호의 소실 복호를 이용하여 낮은 PAPR을 갖도록 선택된 회전인자에 대한 부가 정보를 전송하지 않고 OFDM 신호의 PAPR을 감소시킬 수 있는 수정된 PTS 기법을 제안하였다. 송신기에서 정보 블록은 RS 부호화되고 L 개의 서브블록으로 분할된다. 이때 부호어에서 메시지 심볼과 체크 심볼의 일부를 하나의 서브블록으로 할당하고 나머지 체크 심볼을 $(L-1)$ 개의 서브블록으로 할당한다. 각 서브블록에 IFFT를 취하고 체크 심볼만이 분할된 $(L-1)$ 개의 서브블록에만 PAPR이 최소화 되도록 위상 가중치를 곱한다. 수신기에서는 위상 가중치에 의하여 수정된 체크 심볼을 소실로 간주하여 수신 부호어를 복호한다. 이렇게 하므로써 제안된 기법은 송신기에서 선택된 위상 가중치에 대한 부가 정보를 전송할 필요성이 제거된다. 또한 선택된 위상 가중치에 대한 복잡한 추정 과정이 불필요하므로 수신기의 복잡도도 감소한다. 제안된 PTS 기법에서 소실로 간주하는 체크 심볼의 수를 조정하므로써 PAPR의 상한과 BER 성능 사이의 유연한 절충이 가능하다. 시뮬레이션을 수행한 결과 제안된 PTS 기법은 서브블록의 수와 $\Delta\phi$ 와 무관하게 일정한 BER 성능을 유지하며, 유사한 PAPR 감소 레벨에 대해 기존의 기법보다 향상된 BER 성능을 보임을 알 수 있다.

참고 문헌

[1] R. van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless*

Multimedia Communications, Boston, MA: Artech House, 2000.

- [2] J. Heiskala and J. Terry, *OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide*, Sam, 2002.
- [3] S.H. Han and J.H. Lee, "An Overview of Peak-to-Average Power Ratio Reduction Techniques for Multicarrier Transmission," *IEEE Wireless Communications*, vol. 12, no. 2, pp. 56-65, Apr. 2005.
- [4] S. H. Müller and J. B. Huber, "OFDM with Reduced Peak-to-Average Power Ratio by Optimum Combination of Partial Transmit Sequences," *Elect. Lett.*, vol. 33, no. 5, pp. 368-69, Feb. 1997.
- [5] L. J. Cimini Jr. and N. R. Sollenberger, "Peak-to-Average Power Ration Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences With Embedded Side Information," in *Proc. IEEE GLOBECOM00*, vol. 2, pp. 749-750, Dec. 2000.
- [6] A. D. S. Jayalath, C. Tellambura, "SLM and PTS Peak-Power Reduction of OFDM Signals Without Side Information," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 4, no. 5, pp. 2006-2013, Sep. 2005.
- [7] O. Muta and Y. Akaiwa, "A peak power reduction scheme with phase-control of clustered parity-carriers for a systematic block-coded OFDM signal," in *Proc. IEEE VTC 2003-Fall*, pp. 562-566, Oct. 2003.

공민한 (Min Han Kong)

준회원

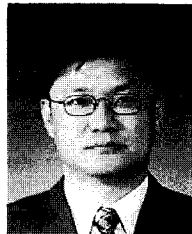


2001년 2월 원광대학교 전기공학부 졸업
 2003년 2월 원광대학교 제어계측공학과 공학석사
 2007년 8월 원광대학교 제어계측공학과 공학박사
 <관심분야> 디지털 통신시스템

설계, 채널 부호화

송문규 (Moon Kyou Song)

종신회원



1988년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업
 1990년 2월 고려대학교 전자공학과 공학석사
 1994년 2월 고려대학교 전자공학과 공학박사
 1994년 3월~현재 원광대학교 전

기전자및정보공학부 교수

1999년 9월~2000년 8월 캐나다 빅토리아 대학교 전기 및 컴퓨터공학과 방문교수
 2006년 2월~2007년 2월 미국 스탠퍼드 대학교 전기공학과 방문교수
 <관심분야> 무선통신, 디지털 통신시스템 설계, 채널 부호화