

심볼 그룹핑에 의한 OFDM 시스템의 PAPR 저감 방안

최익녕* · 이종식* · 오창현*

*한국기술교육대학교 전기전자공학과

PAPR Reduction Scheme for OFDM System by Symbol Grouping

Ik-Young Choi* · Chang-Heon Oh*

*Korea University of Technology and Education

Department of Electrical and Electronic Engineering

E-mail : koco777@hanmail.net

요 약

본 논문은 OFDM 시스템에서 PAPR (peak-to-average power ratio) 저감을 위해 심볼 그룹핑 후 그룹별로 같은 스크램블 코드를 이용하였다. 기존의 SLM 기법은 IFFT단에 들어가는 부반송파 벡터를 여러개의 스크램블 코드에 의해 랜덤화 시켜 PAPR중 작은 값을 선택하여 전송한다. 그러므로 SLM 기법은 스크램블의 코드 갯수만큼 부가 정보를 전송함으로써 대역의 손실이 발생한다. 본 논문에서는 부반송파들을 M개로 그룹화 하여 동일한 스크램블 코드를 사용함으로써 그룹화한 OFDM 심볼의 갯수만큼 정보 데이터를 줄일 수 있다. 또한 SLM 기법에서 사용한 숫자만큼 스크램블 코드를 사용한다면 기존의 SLM 기법보다 PAPR 성능을 개선할 수 있다.

키워드

OFDM, PAPR, SLM, 심볼 그룹핑(Symbol Grouping)

1. 서 론

차세대 이동통신 시스템에서의 변조 방식은 한정되어 있는 무선 채널의 전력과 주파수 대역을 가능한 효율적으로 사용하여야 하며, 요구되는 BER(Bit Error Rate) 성능에 대하여 최대의 효율을 얻을 수 있는 특성을 가져야 한다. 이러한 조건을 만족시키며, 고속의 데이터 전송에 적합한 방식으로 OFDM이 제안되었다[1]. OFDM은 여러 개의 반송파를 사용하여 입력데이터를 반송파의 수만큼 병렬화 한후 전송하는 방식이다. 이렇게 병렬 전송하면 단일 반송파에서 페이딩이나 간섭에 의해 전체 신호가 손상될 수 있지만, 다수 부반송파 시스템에서는 각각의 다른 부반송파 주파수 대역의 데이터 중 일부 부반송파만이 영향을 받게 되어 여러 정정 코드를 이용해 아주 작은 에러까지 정정하여 요구되는 BER 특성을 만족시킬 수 있다. 그러나 OFDM은 많은 부 반송파들의 중첩으로 인해 높은 PAPR가 발생한다. OFDM 신호는 시간영역에서 보면 독립적으로 변조된 많은 부반송파들로 구성

되며, 부반송파 수가 N개 일 때 N개의 신호가 동일한 위상으로 더해지면 최대 전력은 평균전력의 N배가 되어 큰 PAPR이 된다. PAPR이 커지면 ADC와 DAC의 복잡도가 증가하고 양자화 잡음이 증가하게 된다. 또한 HPA 포화영역부근에서 HPA의 비선형 특성이 나타나게 되어 스펙트럼 확산, in-band distortion 및 부호간 간섭이 발생하게 된다[2]~[4]. 이러한 문제들을 해결하고자 여러 가지 PAPR 감소 기법들이 제안되었다. PAPR을 줄이는 간단한 방법은 OFDM 신호를 증폭하기 전에 clipping 하는 것이다[5]. 이 기법에서는 out-of-band radiation이 발생하고 in-band noise에 의한 BER 성능이 저하된다. 또 block coding을 사용하는 기법이 있다[6]. 이 방식을 사용하면 3dB로 PAPR을 제한 할 수 있지만, data rate이 감소하여 많은 부반송파에서는 사용하기 어렵다. 그리고 PTS(Partial Transmit Sequence) 기법과 SLM(Selective Mapping) 기법이 있다[7],[8]. PTS 기법은 전송할 데이터를 몇 개의 subblock으로 나누고

낮은 PAPR의 신호를 갖도록 최적의 combining sequence를 곱하여 전송하는 방식이다. SLM 기법은 동일한 정보 시퀀스로부터 여러 개의 서로 다른 시퀀스가 생성되고 이들 중 가장 낮은 PAPR을 갖는 시퀀스를 전송하는 기법이다. PAPR 저감 기법 중 PTS와 SLM은 반송파의 증가와 상관없이 사용할 수 있다. 그러나 서로 다른 시퀀스 사용에 따른 부가 정보를 전송해야만 정확한 데이터 복원이 가능하다는 것이 단점이다.

본 논문에서는 심볼 그룹핑(N개의크기인 부반송파를 M개 더 만들어 하나의 그룹으로 묶어 동일한 스크램블코드를 적용한 것)하여 동일한 스크램블 코드를 곱하는 방법을 제안한다. 기존의 SLM 기법은 부반송파 벡터 하나당 스크램블 코드를 곱하여 PAPR 값이 제일 작은 값을 전송하는데 반하여 본 논문에서 제안하는 기법은 M개로 묶어 동일한 스크램블 코드를 곱함으로써 부가정보 데이터를 줄일 수 있다. 또한 기존의 SLM 기법에서와 같은 수의 스크램블 코드를 쓰면 SLM 기법과 같은 부가정보 데이터를 전송하면서 PAPR 성능의 개선을 기대할 수 있다. 이를 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하고 분석하였다.

II. PAPR 및 SLM 방식

2-1. PAPR (peak-to-average power ratio)

OFDM은 고속의 데이터 열을 낮은 전송율의 데이터 열로 나누고, 이들을 동일한 주파수간격을 갖는 orthogonal 한 부반송파를 사용하여 동시에 전송하는 방식이다. 낮은 전송율을 갖는 부반송파의 심볼 구간은 증가하게 되므로 다중경로 지연확산의 영향이 감소한다. 주파수 다중화는 변조기에서 IFFT를 사용하여 이루어지며, 이진 데이터는 부반송파에 매핑된다. OFDM 심볼구간 u에서의 모든 부반송파의 크기를 나타내는 부반송파 벡터는 $A_u = [A_{u,0}, \dots, A_{u,N-1}]$ 이고 N-point IFFT를 사용하여 시간 영역으로 변환된다. 이러한 변환을 통해서 $a_u = [a_{u,0}, \dots, a_{u,N-1}]$ 로 주어지는 u 번째 블록 전송신호가 T 간격의 이산신호로 표현된다. 여기서,

$$a_{u,p} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} A_{u,k} e^{-j\frac{2\pi p k}{N}}, p = 0, \dots, (N-1) \dots (1)$$

이러한 관계는 간단히 $a_u = IFFT[A_u]$ 로 표현된다. 이후 $a_{u,p}$ 가 전송된다. OFDM 심볼구간 u에서의 이산시간 PAPR는 다음과 같다.

$$PAPR = \frac{\text{peak power}}{\text{average power}} = \frac{\max |a_{u,p}|^2}{E[|a_{u,p}|^2]} \dots (2)$$

여기서, $E[\]$ 는 평균을 나타낸다. 한편 랜덤하게 발생된 N-carrier OFDM 심볼의 PAPR가 임계치 PAPR₀ 보다 클 확률은 다음과 같이 근사화되며, 이것이 CCDF (complementary cumulative distributed function) 이다.

$$\Pr(PAPR > PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^N \quad (3)$$

식 (3)는 oversampling을 고려하지 않은 값이고 oversampling을 고려하면

$$\Pr(PAPR > PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^{aN} \quad (4)$$

이 된다. 여기서 일반적으로 a=2 로 설정 한다.

2-2. SLM(Selective Mapping) 방식

SLM 기법은 동일한 입력 데이터 시퀀스에 대하여 위상이 다른 위상 시퀀스를 곱하여 U개의 서로 다른 데이터 시퀀스를 생성한 후, 이 중에서 가장 낮은 PAPR을 가지는 시퀀스를 선택하여 전송하는 기법이다. U개의 독립적인 전송신호 $a_u^{(u)}$ 는 동일한 정보신호이다. 가장 낮은 PAPR을 갖는 \tilde{a}_u 정보신호가 선택되어 전송되어 진다.

OFDM 심볼 PAPR이 PAPR₀ 보다 클 확률은 다음과 같이 근사화 된다[9].

$$\Pr[PAPR > PAPR_0] = (1 - (1 - e^{-PAPR_0})^N)^U \dots (5)$$

서로 다른 U개의 임의의 고정된 벡터는

$$P^{(u)} = |P_0^{(u)}, \dots, P_{N-1}^{(u)}| \text{ 이며, 여기서}$$

$$P_v^{(u)} = e^{j\phi_v^{(u)}}, \phi_v^{(u)} = [0, \pi] \quad v, u = 0, 1, 2, \dots, (N-1) \text{ 이다.}$$

부반송파 벡터 A_u 는 U개의 벡터 $P^{(u)}$ 와 곱해지고 U개의 서로 다른 부반송파 벡터 $A_u^{(u)}$ 가 생성된다. 이때 모든 U개의 부반송파 벡터는 시간 영역으로 변환되어 $a_u^{(u)} = IFFT[A_u^{(u)}]$ 가 생성되어 이중 가장 낮은 PAPR을 갖는 \tilde{a}_u 가 선택되어 전송되어 진다. 그림 1은 SLM OFDM 송신기 블록도를 나타낸다.

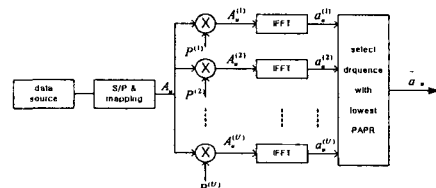


그림 4. SLM OFDM 송신기 구성도

표 1. 심볼 그룹핑의 IFFT 출력값

그룹 코드	$A_{u,1}$	$A_{u,2}$	...	$A_{u,M}$	최대의 그룹
$P^{(1)}$	$IFFT[A_{u,1} \times P^{(1)}]$	$IFFT[A_{u,2} \times P^{(1)}]$	...	$IFFT[A_{u,M} \times P^{(1)}]$	$\max(IFFT[P^{(1)} \times A_{u,m}^{(1)}])$
$P^{(2)}$	$IFFT[A_{u,1} \times P^{(2)}]$	$IFFT[A_{u,2} \times P^{(2)}]$	...	$IFFT[A_{u,M} \times P^{(2)}]$	$\max(IFFT[P^{(2)} \times A_{u,m}^{(2)}])$
:	:	:	...	:	:
$P^{(U)}$	$IFFT[A_{u,1} \times P^{(U)}]$	$IFFT[A_{u,2} \times P^{(U)}]$	...	$IFFT[A_{u,M} \times P^{(U)}]$	$\max(IFFT[P^{(U)} \times A_{u,m}^{(U)}])$

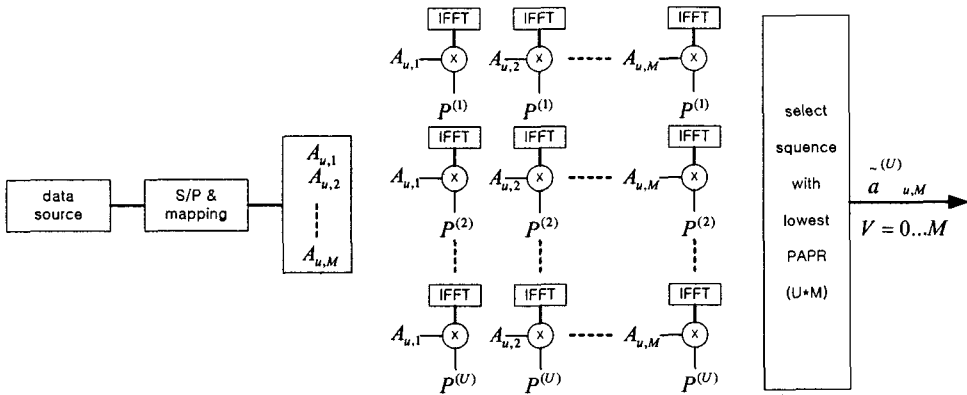


그림 2. 심볼 그룹핑 송신기 구조

III. 심볼 그룹핑 기법

그림 2는 부반송파의 그룹핑에 의한 송신기 구조이다. 기존의 SLM 방식은 부반송파 벡터 하나당 스크램블 코드를 U개의 IFFT 취한 값을 비교하여 최소의 PAPR 값을 전송하는 방식이다. 본 논문에서 제안한 심볼그룹핑 기법은 스크램블 코드수 * 부반송파 그룹수 (U * M) 개의 PAPR 값을 비교하여 최소의 PAPR 값을 전송할 수가 있다. 즉, PAPR 값을 최소화 하기 위하여 PAPR 값을 선택할 수 있는 선택의 폭이 넓어졌다. 물론 전송할 수 있는 부가정보 수는 U개이다. 표에서 $A_{u,M}$ 은 부반송파 벡터이고 $P^{(U)}$ 는 스크램블 코드를 의미한다. 이 때 부반송파 벡터에 $P^{(1)}$ 을 곱해서 IFFT 취한 값들을 P1 그룹, $P^{(U)}$ 값이 곱해서 IFFT 취한 값들을 PU, 그룹이라 할 때 PU 그룹 중 최대 값을 $\max(IFFT[P^{(U)} \times A_{u,m}^{(U)}])$ 이라 하고 이 최대 값을 비교하여 최소가 되는 그룹을 전송한다. 이때 스크램블 코드의 U개의 부가정보만을 전송하지만 U*M 개의 중에 최대값을 제외시킬 수가 있다. 물론 최대값 이외의 중간 값에 대해서는 최적화 할 수는 없지만 PAPR에서 문제가 되는 PAPR MAX 값을 감소시킬 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 검토

본 절은 OFDM 시스템에서 심볼 그룹핑 방식의 PAPR 저감 성능을 보인다. PAPR 저감 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 조건은 다음과 같다. 변조방식은 QPSK 방식을 사용하였고 부반송파 수 N=128, 스크램블 코드는 생성 다항식이 $X = x^7 + x^4 + 1$ 인 PN code를 사용하여 끝자리 1을 불려 주기가 128이 되도록 사용하였다.

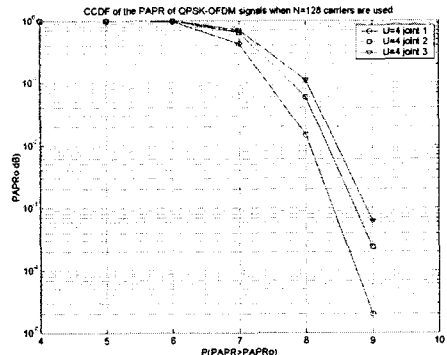


그림 6. U=4 M=1,2,3 일때 CCDF

V. 결론

그림 3은 U=4 로 고정하고 OFDM 심볼들을 M=1,2,3 으로 그룹핑 했을 때의 시뮬레이션결과이다. 그림 3의 결과로 하나의 심볼 당 부가 정보의 감소에 따라 시스템의 성능이 10^{-3} 에서 차가 0.25dB 이다.

그림 4는 U=4,16,64를 사용하고 M=1,2,3을 사용하여 동일한 부가 정보 데이터 수에 따른 CCDF 시뮬레이션 결과이다. 그림 4의 결과로 동일한 부가 정보에서의 스크램블 코드의 증가는 시스템의 복잡도는 증가하나 PAPR의 성능은 상당히 개선되는 것을 알 수 있다.

본 논문의 결과로 얻은 것은 다음과 같다. 첫째, 부 반송파 심볼들을 그룹화 함으로써 부가 정보 데이터를 줄일 수 있다(그림 3). 둘째, 부가 정보 데이터를 심볼당 사용한 데이터 갯수만큼 스크램블 코드를 사용한다면 시스템의 계산량과 복잡도는 증가하나 PAPR 성능은 개선된다(그림 4). 셋째, 부 반송파 심볼들을 그룹화를 사용할 때 시스템의 복잡도와 PAPR 성능간에는 서로 상관관계가 있음으로 시스템의 특성을 고려하여 설계해야한다(그림 5).

참고 문헌

- [1] R. van Nee and A. de wid, "Reducing the peak-to-average power ratio of OFDM", IEEE 48th Vehicular Technology Conference (VTC'98), Vol. 3, pp. 2072-2076. 1998.
- [2] M. Friese, "Multicarrier modulation with low peak-to-average power ratio", IEE Electronics Letters, vol. 32, no. 8, pp. 713-714, April 1996.
- [3] A. Jones, T. Wilkinson, and S. 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, December 1994.
- [4] D. Wulich, "Reduction of peak to mean ratio of multicarrier modulation using cyclic coding", IEE Electronics Letters, vol. 32, no. 5, pp. 432-433, February 1996.
- [5] X. Li, L. J. Cimini, Jr., "Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM", IEEE Commun. Letters., vol. 2, no. 5, pp. 131-133, May 1998.
- [6] A. D. S. Jayalath, and C. Tellambura, "The use of interleaving to reduce the peak-to-average power ratio of an OFDM signal", IEEE GLOBECOM '00, vol. 1, pp. 182-86, 2000.
- [7] S. H. Muller, and J.B. Huber, "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences", IEE Electronics Letters, vol. 33, no. 5, pp. 368-369, Feb. 1996.
- [8] 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 Elec. Letts, vol. 32, no. 22, pp. 2056-2057, Oct. 1996.
- [9] R. van Nee, OFDM wireless multimedia communication. Boston, London: Artech House, 2000.

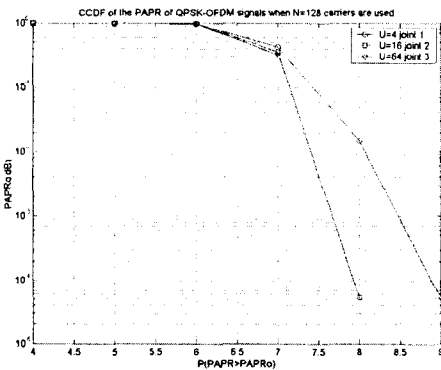


그림 7. U=4 M=1,2,3 일때 CCDF

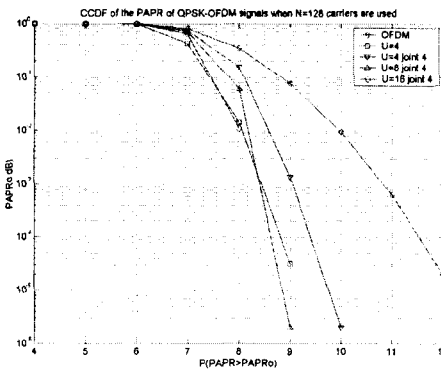


그림 8. U=4인 SLM과 U=4,8,16 M=4 CCDF

그림 5는 SLM 기법과 심볼 그룹핑 기법을 비교한 것이다. SLM 은 U=4 를 사용하고 M=1을 사용하여 시뮬레이션 하였고 심볼 그룹핑은 U=4,8,16 로 하고 M=4로 고정하여 사용함으로써 시스템의 복잡성과 PAPR 성능을 비교 분석 하였다. 그림 5에서 U=8,M=4 결과로 10^{-3} 에서 스크램블의 코드 수가 2배이상 증가 한다면 PAPR 성능이 더 좋아진다는 것을 알 수 있다.