

OFDM 시스템의 PAPR 저감을 위한 심벌 그룹핑 SLM 기법의 성능분석

최익녕*, 손성찬**, 오창현*

요 약

본 논문은 OFDM 시스템에서 PAPR (peak-to-average power ratio) 문제를 효과적으로 저감시키기 위하여 기존 SLM (selective mapping) 기법과는 달리 심벌 그룹핑 후 그룹별로 같은 스크램블 코드를 이용하는 새로운 방법을 제안하고 성능을 분석하였다. 기존의 SLM 기법은 IFFT단에 들어가는 OFDM 심벌을 여러 개의 스크램블 코드에 의해 랜덤화 시켜 PAPR 중 작은 값을 선택하여 전송한다. 그러므로 SLM 기법은 스크램블 코드만큼 부가 정보를 전송함으로써 대역손실이 발생한다. 그러나 제안한 심벌 그룹핑 SLM 기법은 부반송파들을 M개로 그룹화 하여 동일한 스크램블 코드를 사용함으로써 그룹화한 OFDM 심벌의 개수만큼 부가정보 데이터를 줄일 수 있고, SLM 기법에서 사용한 숫자만큼 스크램블 코드를 사용한다면 기존의 SLM 기법보다 PAPR 성능을 더 개선할 수 있다.

Performance Analysis of the Symbol Grouping SLM Scheme for PAPR Reduction of OFDM System

Ik-Young Choi*, Sung-Chan Son**, Chang-Heon Oh*

ABSTRACT

In this paper, we propose and analyze a new scheme which uses the same scramble codes to each group after symbol grouping to reduce the PAPR (peak-to-average power ratio) problem in OFDM system. The conventional SLM scheme randomizes OFDM symbols entered into IFFT block by several scramble codes and then transmits the lowest one among PAPRs. Therefore, the SLM scheme results the loss of bandwidth because of transmitting additional information as many as scramble codes. The proposed scheme can reduce the additional information as many as the number of grouped OFDM symbols by using same scramble codes after M grouping of sub-carriers. It can also improve PAPR performance more than conventional SLM scheme when we use scramble codes as same as those numbers of SLM scheme.

Key words : OFDM, PAPR, SLM 기법

I. 서 론

차세대 이동통신 시스템의 변조 방식은 한정되어 있는 무선채널의 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 OFDM (orthogonal frequency

division multiplexing) 이 제안되었다[1]. OFDM은 여러 개의 반송파를 사용하여 입력데이터를 반송파의 수만큼 병렬 전송하는 방식이다. 이렇게 병렬 전송하면 단일 반송파에서는 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 OFDM 시스템은 많은 부반송파들의 중첩으로 인해 높은 PAPR (peak-to-average

※ 제일저자(First Author) : 최익녕, 주소 : 충남 천안시 병천면 가전리 307번지 한국기술교육대학 정보기술공학부, 접수일 : 2004년 4월 27일, 완료일 : 2004년 6월 22일

power ratio) 이 발생한다. OFDM 신호는 시간영역에서 보면 독립적으로 변조된 많은 부반송파들로 구성되며, 부반송파 수가 N 개 일 때 N 개의 신호가 동일한 위상으로 더해지면 최대 전력은 평균전력의 N 배가 되어 큰 PAPR이 발생한다. PAPR이 커지면 ADC와 DAC의 복잡도가 증가하고 양자화 잡음이 증가하게 된다. 또한 HPA (high power amplifier) 포화영역 부근에서 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. 다른 기법으로는 block coding을 사용하는 기법이 있다[6]. 이 방식을 사용하면 3dB로 PAPR을 제한할 수 있지만, 데이터율이 감소하여 많은 부반송파에서는 사용하기 어렵다. 그리고 PTS (partial transmit sequence) 기법과 SLM (selective mapping) 기법이 있다[7],[8]. PTS 기법은 전송할 데이터를 몇 개의 sub-block으로 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 가능하다.

따라서, 본 논문에서는 심벌 그룹핑(N 개의 크기의 OFDM 심벌을 다음의 OFDM 심벌에 동일한 스크램블 코드를 적용한 것)하여 동일한 스크램블 코드를 적용하는 방법을 제안한다. 기존의 SLM 기법은 OFDM 심벌당 스크램블 코드를 적용하여 PAPR 값이 제일 작은 값을 전송하는데 반하여 본 논문에서 제안하는 기법은 OFDM 심벌을 M 개로 묶어 동일한 스크램블 코드를 적용함으로써 부가정보 데이터를 줄일 수 있다. 한편, 기존의 SLM 기법에서와 같은 수의 더미데이터를 전송한다면 송신 측의 계산량은 증가하나 스크램블 코드에 의하여 PAPR 감소의 이득을 얻을 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. I장의 서론에 이어 II장에서는 OFDM 시스템과 PAPR의 문제점을 설명하고 III장에서는 SLM 기법과 본 논문에서 제안하는 심벌 그룹핑에 의한 PAPR 저감기법을 설명한다. IV장에서는 제안한 심벌 그룹핑에 의한 PAPR 저감정도를 모의실험을 통해 성능 평가하고 V장에서는 결론을 맺는다.

2. OFDM 시스템

2.1 OFDM 변조

OFDM 방식의 근간이 되는 다중 반송파 전송 시스

템의 기본적인 송수신기 구조는 그림 1과 같다[9],[10]. 송신기는 다중화 되는 부반송파 수 N_c 만큼의 변조기로 구성되며, 각 변조기는 인코더, 대역제한 필터, 발진기로 구성된다. 이때, 각 부채널로 전송되는 신호의 전송율이 R/N_c [bps] 인 경우 전체 시스템의 전송율은 R [bps]로 사용 부반송파의 수만큼 증가한다. 다음으로 각 부채널로 전송된 신호를 복원하기 위한 수신기는 (b)와 같이 송신기에 대응되는 N_c 개의 복조기로 구성된다. 그림 1의 구조를 갖는 일반적인 병렬 데이터 전송 시스템에서 전체 신호의 주파수 대역은 N_c 개의 서로 겹치지 않는 부채널로 나뉘어 전송된다. 이때, 각 부채널은 서로 다른 심벌에 의해 변조되고 N_c 개의 부채널로 주파수 다중화 된다. 그러나, 이와 같은 방식을 고려함에 있어서 ICI (inter-channel interference)를 제거하기 위해서는 그림 2의 (b)와 같이 각 부채널로 전송되는 신호의 스펙트럼이 겹치지 않도록 인접 부채널간에 보호대역이 필요하다. 그러므로 한정된 주파수 자원의 이용에 있어서 그림 2의 (b)와 같은 부채널 구조를 갖는 다중 반송파 전송 기법은 매우 비효율적이며, 사용 부반송파의 수가 증가함에 따라 요구되는 보호대역은 증가하는 문제점을 갖는다. 스펙트럼 사용의 비효율성과 고속 데이터 전송에 따른 채널의 주파수 선택성을 극복하기 위한 기술로서 OFDM 변조 기법이 제안되었으며, OFDM 변조된 신호의 스펙트럼은 그림 2의 (c)와 같이 각 부채널간의 간섭이 발생하지 않도록 스펙트럼이 중첩된다. 이러한 OFDM 시스템의 구조가 그림 1과 같고 사용 부반송파의 수가 N_c 인 경우 채널로 전송되는 각 부반송파 성분은 채널 폭이 $2R/N_c$ [Hz], 서로 간에 간섭이 발생되지 않도록 중첩시킨 각 부채널간의 간격이 R/N_c [Hz]이므로

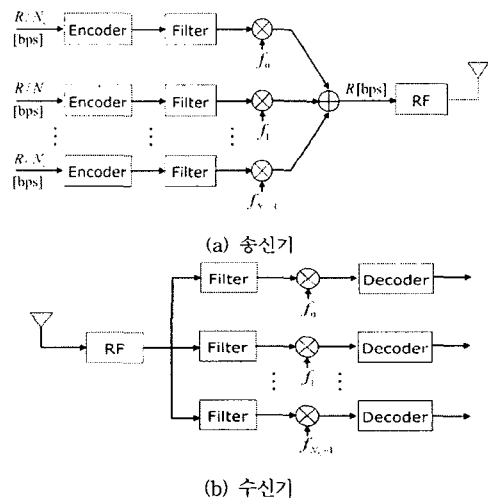


그림 1. 다중 반송파 전송 시스템의 송수신기 구조

OFDM 변조된 신호를 무선채널로 전송하기 위해 요구되는 주파수 대역은 그림 2의 (c)와 같이 $(N_c + 1)R/N_c$ [Hz] 이다. 반면, 전송율이 R [bps]로 동일한 단일 반송파 전송 시스템의 경우 그림 2의 (a)와 같이 요구되는 채널의 폭은 $2R$ [Hz] 이고, 전송율과 사용 부반송파의 수가 동일한 다중 반송파 전송 시스템의 경우 그림 2의 (b)와 같이 요구되는 채널 대역폭은 $(N_c - 1)W_{Guard} + 2R$ [Hz] 이다 (W_{Guard} : 보호대역의 폭). 결과적으로 OFDM 시스템의 대역효율이 단일 반송파 시스템보다 약 2배, 전통적인 다중 반송파 전송 시스템보다 2배 이상이 됨을 알 수 있다. 따라서 OFDM 시스템은 단일 반송파 시스템보다 대역효율은 2배 이상이며, ISI와 ICI(Cyclic prefix 고려)를 제거 가능하기 때문에 고속 전송에 적합한 통신 시스템이다.

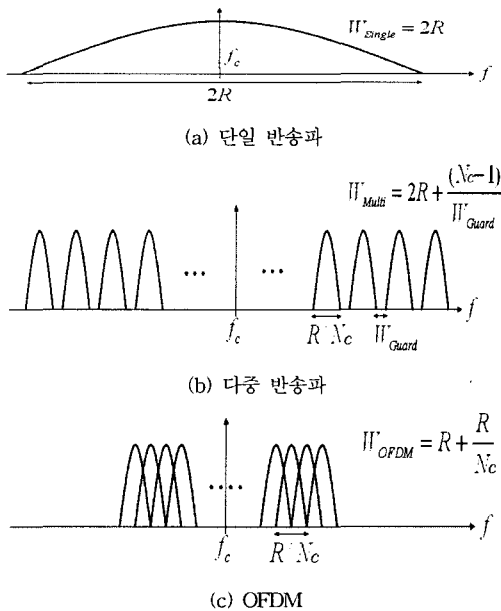


그림 2. 다중 반송파 전송 신호의 스펙트럼

2.2 OFDM 시스템에서의 PAPR 문제

그림 1은 OFDM 시스템의 변조기 블록도이다. OFDM 시스템에서 입력으로 들어가는 데이터는 병렬로 변환되며, 그 데이터의 각각의 심벌 길이는 부반송파의 개수인 N배 만큼 확장된다. 그리고 각각의 데이터는 각기 다른 N개의 부반송파에 의해 변조된 후 다시 합쳐진다. OFDM 변조기를 통과한 출력신호 $x(t)$ 는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$x(t) = \sum_1^N d_n(t) e^{j(2\pi f_n t + \phi_n)} \quad (1)$$

식 (1)에서 d_n 은 n번째 해당하는 변조 심벌이다. QPSK의 경우에 $d_n \in \{1, -1, j, -j\}$ 이다. N은 부반송파의 개수, f_n 은 n번째 반송파의 주파수이고, ϕ_n 은 n번째 반송파의 초기위상이다. 본 논문에서 제안하는 PAPR 감소기법은 부반송파의 위상변화와는 관련이 없으므로 초기위상 ϕ_n 을 '0'으로 가정하면 다수 부반송파 신호

의 전력 $p(t)$ 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$p(t) = x(t)x(t)^* \quad (2)$$

여기서, 각각의 부반송파 신호크기는 복소수 형태이므로 그 신호크기의 켈레복소수를 곱하여 신호의 전력을 얻을 수 있다. 전력이 1W로 정규화 되었다고 가정하면 모든 부반송파에 대한 신호의 최고 전력은 부반송파의 제곱 형태인 $N^2(W)$ 이 된다[11]. OFDM 시스템에서 부반송파들의 중첩으로 발생하는 신호의 최고 전력(P_{peak})과 평균전력(P_{avg})의 비는 식 (3)과 같이 정의되며, 이를 PAPR이라 한다.

$$PAPR = 10 \log_{10} \left[\frac{P_{peak}}{P_{avg}} \right] 10 \log_{10} N (dB) \quad (3)$$

부반송파의 개수 N이 충분히 크다면 변조된 신호는 중심극한정리에 의하여 출력신호 $x(t)$ 의 실수부와 허수부의 크기는 모두 가우스 분포를 가지며, OFDM 신호의 크기는 레일리 분포를 가진다. 전력분포는 자유도가 2이고 평균이 0인 중심 chi-square 분포가 되어, 전력의 확률밀도 함수는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다 [12].

$$F(z) = 1 - e^{-z} \quad (4)$$

여기서, z는 특정 임계값이 된다. OFDM 심벌당 최대전력에 대한 확률밀도 함수는 중첩된 부반송파에서 최대전력의 값을 찾기 위해 샘플링된 값들이 상호 무상관이라고 가정하면 과도샘플링을 하지 않은 경우에 해당하여 PAPR이 특정 임계값보다 작을 확률은 식 (5)와 같다.

$$P(PAPR \leq z) = F(z)^N = (1 - \exp(-z))^N \quad (5)$$

중첩된 부반송파에서 최대 전력을 찾아내기 위해 OFDM 시스템에서 사용되는 부반송파의 개수(N)보다

많은 수의 샘플링을 할 때 과도샘플링이 되었다고 한다 [13]. 그러나 식 (5)와 같이 과도샘플링이 되지 않은 경우에는 중첩된 부반송파에서 최대 전력을 찾아내지 못하는 문제가 발생하여 OFDM 신호에서 정확한 최대전력 분포에 대한 해답을 구하는 것이 어려우므로 한 가지 근사화 방법을 도입한다. 즉, 과도샘플링을 한 N 개의 부반송파에 대한 분포를 과도샘플링 하지 않은 $\beta \times N$ 개의 부반송파에 대한 분포로 근사화 할 수 있다고 가정한다[13]. 이때 β 는 1보다 크다고 가정하면, PAPR 분포는 다음의 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$P(PAPR \leq z) = F(z)^N = (1 - \exp(-z))^{\beta \cdot N} \quad (6)$$

이와 같이 다수 부반송파를 이용하는 OFDM 시스템에서 부반송파가 시간 영역에서 합쳐지면 Peak 전력 값이 큰 폭으로 상승하여 PAPR 값이 큰 폭으로 증가한다.

3. PAPR 저감 기법

3.1 SLM (Selective Mapping) 방식

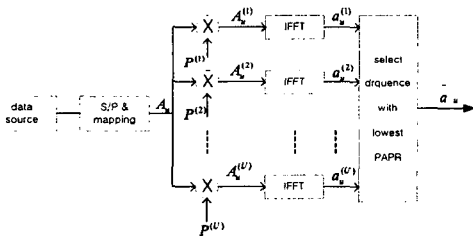


그림 3. SLM OFDM 송신 구성도

OFDM은 고속의 데이터 열을 낮은 전송율의 데이터 열로 나누고, 이들을 동일한 주파수간격을 갖는 직교 부반송파를 사용하여 동시에 전송하는 방식이다. 낮은 전송율을 갖는 부반송파의 심벌 구간은 증가하게 되므로 다중경로 지연확산의 영향이 감소한다. 주파수 다중화는 변조기에서 IFFT를 사용하여 이루어지며, 이진 데이터는 부반송파에 매핑된다. OFDM 심벌구간 u 에서의 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 이러한 관계는 식 (7)로 표현되며, 간단히 $a_u = IFFT[A_u]$ 로 표현된다.

$$a_{u,p} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} A_{u,i} e^{-\frac{j2\pi p i}{N}}, \quad p=0, \dots, (N-1) \quad (7)$$

이후 $a_{u,p}$ 가 전송된다. OFDM 심벌구간 u 에서의 이산시간 PAPR을 새롭게 정의 하면 식 (8)과 같다.

$$PAPR = \frac{\text{peak power}}{\text{average power}} = \frac{\max |a_{u,p}|^2}{E[|a_{u,p}|^2]} \quad (8)$$

여기서, $E[\]$ 는 평균을 나타낸다. 한편 랜덤하게 발생된 N -carrier OFDM 심벌의 PAPR 가 임계치 $PAPR_0$ 보다 클 확률은 다음과 같이 근사화되며, 이것은 식 (9)로 표현된다. 다른 표현으로 CCDF (complementary cumulative distributed function) 라 부른다.

$$Pr(PAPR > PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^N \quad (9)$$

식 (9)는 oversampling을 고려하지 않은 값이고 oversampling을 고려하면 식 (10)이 된다.

$$Pr(PAPR > PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^{\beta N} \quad (10)$$

SLM 기법은 동일한 입력 데이터 시퀀스에 대하여 위상이 다른 위상 시퀀스를 곱하여 U 개의 서로 다른 데이터 시퀀스를 생성한 후, 이중에서 가장 낮은 PAPR을 가지는 시퀀스를 선택하여 전송하는 기법이다. U 개의 독립적인 전송신호 $a_u^{(u)}$ 는 동일한 정보신호이며, 이중 가장 작은 PAPR을 갖는 \tilde{a}_u 정보신호가 선택되어 전송된다. OFDM 심벌 PAPR이 임계치 $PAPR_0$ 보다 클 확률은 다음과 같이 근사화 된다[14].

$$Pr[PAPR > PAPR_0] = (1 - (1 - e^{-PAPR_0})^N)^U \quad (11)$$

서로 다른 U 개의 임의의 고정된 벡터는 $P^{(u)} = [P_0^{(u)}, \dots, P_{N-1}^{(u)}]$ 이며, 여기서 $P_r^{(u)} = e^{j\phi_r^{(u)}}$, $\phi_r^{(u)} = [0, \pi]$, $v, u=0, 1, 2, \dots, (N-1)$ 이다. 부반송파 벡터 A_u 는 U 개의 벡터 $P^{(u)}$ 와 곱해지고 U 개의 서로 다른 부반송파 벡터 $A_u^{(u)}$ 가 생성된다. 이때 모든 U 개의 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.

3.2 심벌 그룹핑 기법

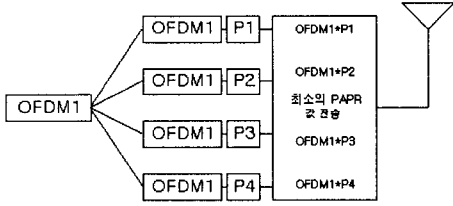


그림 4. SLM 기법의 블록도

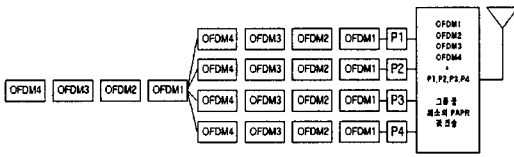


그림 5. 심벌 그룹핑 SLM 기법

그림 4는 SLM에 의한 송신기 구성도이다. 기존의 SLM 방식은 부반송파 벡터 하나당 스크램블 코드를 U개의 IFFT 취한 값과 비교하여 최소의 PAPR 값을 전송하는 방식이다. 그림 5와 그림 6은 심벌 그룹핑에 의한 PAPR 감소 기법이다. 본 논문에서 제안한 심벌 그룹핑 기법은 스크램블 코드수 * 부반송파 그룹수 (U * M) 개의 PAPR 값을 비교하여 최소의 PAPR 값을 전송할 수 있다. 즉, PAPR 값을 최소화하기 위하여 PAPR 값을 선택할 수 있는 선택의 폭이 넓어졌다. 물론 전송하는 부가정보 수는 U개이지만 M개로 그룹화함으로써 U*M개를 비교할 수 있다. 표 1에서 $A_{u,M}$ 은 부반송파 벡터이고 $P^{(U)}$ 는 스크램블 코드를 의미한다. 이때 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 $\max(\text{IFFT}[P^{(U)} \times A_{u,M}^{(U)}])$ 이라 하고 이 최대 값을 비교하여 최소가 되는 그룹을 전송한다. 이때 스크램블 코드의 U개의 부가정보만을 전송하지만 U*M 개의 중에 최대 값

을 제외시킬 수 있다. 물론 최대값 이외의 중간 값에 대해서는 최적화할 수는 없지만 PAPR에서 문제가 되는 PAPR MAX 값을 감소시킬 수 있다. 표 2는 PAPR 값이 측정될 때 최대 값을 찾는 방법을 예를 들어 설명하고 있다. 일단 4개의 OFDM 심벌($A_{v,1} \sim A_{v,4}$)을 그룹으로 선택한 다음 심벌을 4개의 코드($P^1 \sim P^4$) 중 하나를 선택하여 PAPR을 구한 다음 제거해야 할 최고의 PAPR 값을 저장하고 이중 PAPR 값이 제일 큰 것을 가지고 있는 그룹을 제거하고 최소가 되는 그룹을 전송하면 더미데이터는 2bit 인데 반에 비교 검색은 4bit를 전송한 16가지를 비교할 수 있다.

그림 4는 일반적인 SLM 기법 중 4개의 코드($P^1 \sim P^4$)를 적용한 것을 설명한 것이다. OFDM 1심벌을 다른 코드를 적용하기 위해 4개를 복사하고 각각을 $P^1 \sim P^4$ 적용한 것 중 가장 작은 것을 전송하는 것이다. 이때 더미 데이터는 4개를 비교했으므로 2bit를 전송한다.

그림 5는 심벌 그룹핑 기법을 설명한다. OFDM 심벌 4개(OFDM1~OFDM4)를 그룹화 하여 4개의 심벌을 스크램블 코드($P^1 \sim P^4$) 하나만 적용시키는 것이다. 이렇게 하면 송신에서는 16가지의 PAPR을 측정해야하나 전송시 4개의 더미 데이터만을 전송하면 된다. 그러나 16개의 PAPR값 중에서 비교하는 것이기 때문에 PAPR 성능이 개선될 수 있음을 알 수 있다.

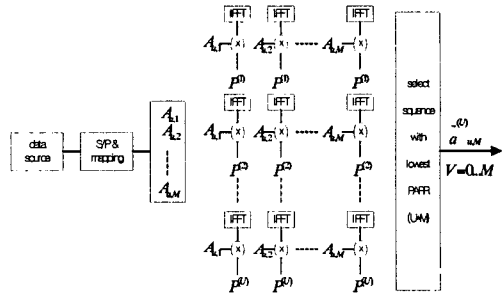


그림 6. 심벌 그룹핑 송신기 구조

표 1. 심벌 그룹핑의 IFFT 출력 값

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

표 2. U=4, M=4일 경우

그룹 코드 \	OFDM1	OFDM2	OFDM3	OFDM4	최대 PAPR 값
P 1	6	6	8	7	8
P 2	7	7	9	6	9
P 3	5	7	6	6	7
P 4	5	9	8	7	9

4. 시뮬레이션 결과 및 검토

본 장에서는 OFDM 시스템의 심벌 그룹핑 방식에 의한 PAPR 저감 성능을 MATLAB 을 사용하여 검증하였다. 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 끝에다 1을 붙여 주기가 128이 되도록 하였다.

그림 7은 스크램블 코드수를 1, 4, 16개를 사용하였을 때의 CCDF (complementary cumulative distributed function)의 성능 그래프를 나타낸 것이다. 여기서 U는 스크램블 코드수를 나타낸다. 따라서 U=1 일 때는 순수한 OFDM 신호를 의미하여 더미 데이터는 0bit 이고 PAPR 비교횟수도 없다. U=4 일 때는 더미 데이터 수는 2bit 이고 PAPR 비교 횟수는 4회이다. U=16 일 때는 더미 데이터 수는 4bit이고 비교 횟수는 16회이다. 그림 7을 살펴보면 심벌의 PAPR이 임계치 $PAPR_0$ 보다 커질 확률 P 가 10^{-3} 일 때, U=1인 경우와 U=4인 경우의 성능은 약 2.5dB 정도 개선되는 것을 알 수 있고 U=16 일 때는 약 3.5dB 성능이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 그림 7에 의하여 U값이 증가할수록 시스템의 PAPR 계산 량은 증가하나 PAPR 성능은 개선된다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 스크램블 코드 수를 4개로 고정하고 OFDM 심벌들을 1, 2, 3개로 그룹핑 했을 때의 시뮬레이션 결과이다. 여기서 M은 심벌들의 그룹 수를 의미한다. M=1 일때는 일반 SLM 기법과 같고 M=2 일 때는 전송되는 더미 데이터는 SLM 기법의 반으로 줄고 M=3 일 때는 전송되는 더미 데이터는 SLM 기법의 1/3 로 줄어든다. 그러나, 성능은 일반 SLM 기법보다는 약간 감소하지만 심벌 그룹핑하여 잉여 더미 데이터 만큼 스크램블 코드를 사용하여 PAPR 값의 비교횟수를 늘린다면 송신측의 계산량은 증가하나 PAPR 성능이 개선되는 것을 그림 8의 결과로 알 수 있다. 그림 8을 살펴보면 시스템의 성능이 10^{-3} 인 지점에서 차가 0.25dB 되는 것을 알 수 있다.

그림 9는 U=4, 16, 64를 사용하고 M=1, 2, 3을 사용하여 동일한 부가 정보 데이터 수에 따른 CCDF 시뮬레이션 결과이다. 그림 9는 심벌 그룹핑에 의한 잉여 더미 데이터를 이용하여 스크램블 코드를 증가시킨다면 계산량은 증가하나 PAPR 성능이 상당히 개선된다는 것을 보여준다.

그림 10은 SLM 기법과 심벌 그룹핑 기법을 비교한 것이다. SLM은 U=4 를 사용하고 M=1을 사용하여 시뮬레이션 하였고 심벌 그룹핑은 U=4, 8, 16으로 하고 M=4로 고정하여 사용함으로써 시스템의 복잡성과 PAPR 성능을 비교, 분석하였다. 그림 10은 부가 정보에서의 스크램블 코드의 증가에 의한 코드의 감소와 시스템의 계산과의 관계를 보여 주고 있다. 그림 10은 U=8, M=4일 때의 결과로 10^{-3} 에서 스크램블 코드 수가 2배 이상 증가한다면 SLM 기법과 비교했을 때 성능은 같고 더미 데이터는 반으로 감소하는 것을 알 수 있다.

그러므로 그림 8 ~ 그림 10의 시뮬레이션 결과로부터 심벌 그룹핑에 의해 전송되는 더미 데이터를 줄일 수 있고 잉여 더미 데이터를 이용하여 PAPR의 계산을 늘린다면 CCDF 성능 개선을 기대할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서 제안한 기법의 시뮬레이션 성능분석 결과 부 반송파 심벌들을 그룹화 함으로써 부가정보 데이터를 줄일 수 있고, 부가정보 데이터를 심벌 당 사용한 개수만큼 스크램블 코드를 사용한다면 시스템의 계산량과 복잡도는 다소 증가하지만 PAPR 성능을 개선할 수 있었다. 또한, 부반송파 심벌들을 그룹화 하여 사용할 때 시스템의 복잡도와 PAPR 성능 간에는 서로 상관관계가 있으므로 시스템의 특성 및 요구 사항을 고려하여 설계한다는 것을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] R. Nee and A. 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 ration", 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. 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. Muller and J. 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. Bauml, R. Fischer, and J. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping" IEE Electronics Letters, vol. 32, no. 22, pp. 2056-2057, Oct. 1996.
- [9] R. W. Chang, "Synthesis of band-limited orthogonal signals for multichannel data transmission," Bell System Tech. J., vol. 46, pp. 1775-1796, Dec. 1966.
- [10] B. Saltzberg, "Performance of an efficient parallel data transmission system," IEEE Commun. Tech., vol. COM-15, pp. 805-811, Dec. 1967.
- [11] A. Jones, T. Wilkinson, and S. Barton, "Block coding scheme for reduction of peak to mean envelope power ratio of multicarrier transmission schemes", Electronics Letters, vol. 30, no. 25, pp. 2098-2099, Dec. 1994.
- [12] R. Nee and A. Wild, "Reducing the peak-to-average power ratio of OFDM," IEEE 48th Vehicular Technology Conference (VTC' 98), vol. 3, pp. 2072-2076, 1998.
- [13] H. Saeedi, M. Sharif, and F. Marvasti "Clipping noise cancellation in OFDM systems using over sampled signal reconstruction," IEEE Communications Letters, vol. 6, pp. 73-75, Feb. 2002.
- [14] R. Nee, OFDM Wireless Multimedia Communication. Boston, Loncon: Artech House, 2000.

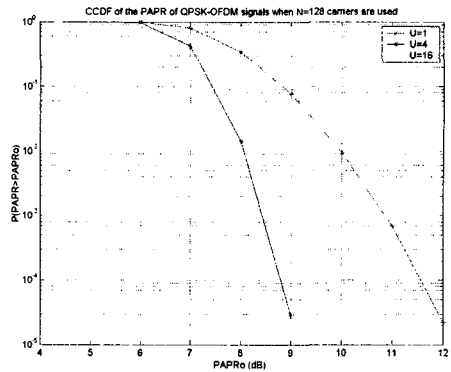


그림 7. U=1,4,16 일 때 CCDF

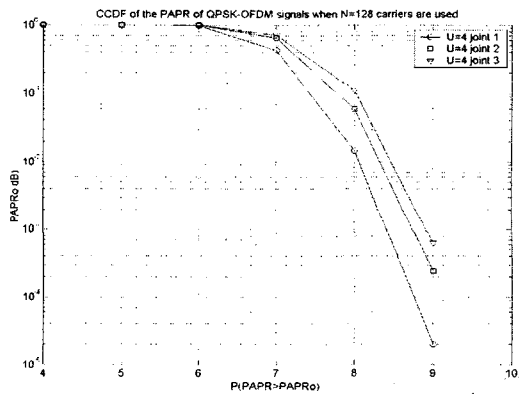


그림 8. U=4 M=1,2,3 일 때 CCDF

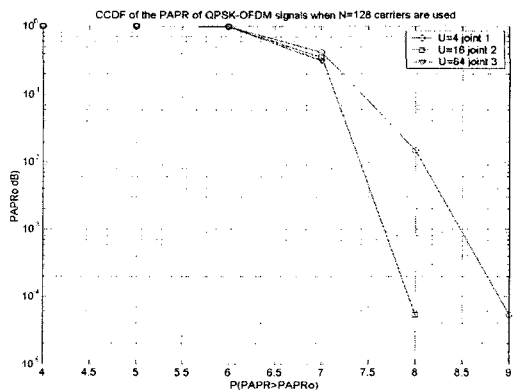


그림 9. U=4 M=1,2,3 일 때 CCDF

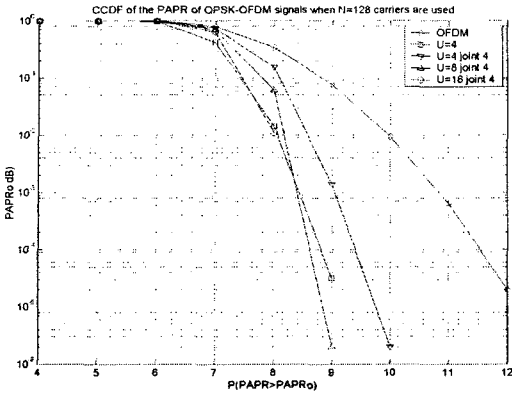


그림 10. U=4인 SLM과 U=4,8,16 M=4 CCDF



오 창 현

1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)

1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)

1990년 2월 - 1993년 9월 : 한진전자(주) 기술연구소 근무

1993년 10월 - 1999년 2월 : 삼성전자(주) CDMA 개발팀 근무

1999년 3월 - 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수

관심분야 이동통신, 무선통신, 무선 멀티미디어통신

최 익 념

2002년 2월 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 (공학사)

2002년 3월 - 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과

관심분야 : 이동통신, 무선멀티미디어통신

손 성 칸



1979년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)

1992년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)

2000년 2월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사)

1979년 5월 - 1980년 8월 : 한국전자통신(주) 근무

1980년 8월 - 1985년 10월 : 동아건설산업(주) 근무

1985년 10월 - 1998년 5월 : (주)데이콤 근무

1998년 5월 - 2003년 10월 : 하나로통신(주) 근무

2003년 11월 - 현재 : 하나로통신 강동고객센터

관심분야 : 초고속 인터넷, 이동통신, 무선멀티미디어통신