

유전자 알고리즘을 이용한 톤 삽입 PAPR 감소 기법

준회원 박순규*, 정회원 최주평*, 이원철*

Genetic Algorithm based Tone Injection PAPR Reduction

Soonkyu Park* *Associated Member*, Joo-pyoung Choi*, Won-cheol Lee* *Regular Members*

요약

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템을 포함한 다중 반송파 시스템에서 발생하는 PAPR(Peak to Average Power Ratio)을 감소시키기 위해 특정 톤 위치에 새로운 톤을 삽입하는 톤 삽입 기법은 성상도를 확장하여 최대 신호 전력을 감소시키는 기법이다. 이 기법은 추가적인 오버헤드 전송으로 인한 전송률 손실이 없다는 장점이 있는 반면, 최적의 PAPR 감소 성능을 얻기 위한 삽입 톤 결정을 위해 많은 탐색 연산량을 필요로 하는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 기존의 톤 삽입 기법에 유전자 알고리즘을 적용하여 삽입 톤을 결정함으로써 탐색 연산량을 낮출 수 있는 새로운 유전자 알고리즘 기반의 톤 삽입 기법을 제안한다. 모의 실험을 통하여 제안한 유전자 알고리즘 기반의 톤 삽입 방법이 낮은 탐색 연산량으로도 기존 방법의 PAPR 성능에 근사할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : OFDM, PAPR, Tone Injection, Genetic Algorithm

ABSTRACT

Tone injection scheme has been known as one of PAPR(Peak to Average Power Ratio) reduction methods deployable to multi-carrier system like OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing). The basic idea in tone injection scheme is to enforce the constellation size larger so that each of original constellation points is mapped into the preassigned distinct points. Along the accomplishment of tone injection, it needs great amount of computations to search out not only an appropriate frequency but a phase. Although there is no loss of transmission rate is expected because of no need to send the overhead, the tone injection scheme has not been preferable due to its enormous computations. To alleviate the amount of complexity, this paper proposes the GA(Genetic Algorithm) based tone injection scheme such that its complexity is reduced comparing with that of the conventional method. The simulation results show that the proposed GA based tone injection scheme approaches the PAPR performance associated with the conventional exhaustive search method at the expense of low computations.

1. 서론

최근 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 같은 다중 반송파 전송 방식은 주

파수 선택 페이딩 채널에 대해 강인한 특성과 고속 전송이 가능함에 따라 xDSL, IEEE 802.11 및 IEEE 802.16 계열의 표준 전송 방식으로 사용됨은 물론이고 4세대 이동통신의 핵심 물리계층 전송 기

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10578-0) 및 정보통신부 21세기 프론티어 연구개발사업 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천기술 개발사업의 지원으로 수행되었음.

* 숭실대학교 정보통신공학과 통신 및 신호처리 연구실({soonkyupark, pyoung424}@amcs.ssu.ac.kr, wlee@ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-10-452, 접수일자 : 2008년 10월 14일, 최종논문접수일자 : 2008년 11월 11일

술로 인식되고 있다^[1]. 하지만 다중 부반송파를 동시에 전송함에 있어 전송부의 시간영역에서 부반송파간의 합으로 인해 최대 전력 대 평균 전력의 비가 증가하는 현상이 발생하게 된다. 이러한 PAPR(Peak to Average Power Ratio) 증가는 고전력 증폭기(High Power Amplifier; HPA)에서 넓은 폭의 동작 범위를 요구하여, 결국 전력 소비 및 송수신기 구성 비용이 상승하게 되는 문제점을 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 PAPR 감소 기법에 대한 효과적인 PAPR 감소를 위한 신호처리 기법이 요구되며 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다^{[2],[3]}.

클리핑 기법은 임계치를 초과하는 전력의 신호를 잘라내어 PAPR을 줄이는 기법으로 구현방법이 간단한 이점이 있으나 신호의 왜곡이 발생하여 비트 오류(Bit Error Rate; BER) 성능 저하를 초래하는 단점이 있다^[4]. 또한 주파수 및 시간 영역에서 다수의 위상 시퀀스를 추가적으로 곱하여 PAPR을 줄이는 SLM(Selective Mapping) 기법과 PTS(Partial Transmit Sequence) 기법은 최적의 위상 시퀀스를 결정하는데 있어 많은 탐색 연산량을 요구하고 전송 시 위상 시퀀스 정보를 동시에 전송해야 함에 따라 전송률 저하의 문제점이 발생한다^{[5],[6]}. J. Tellado가 제안한 톤 삽입 (Tone Injection)^[7] 기법은 임의의 톤의 성상도를 확장하여 PAPR을 감소시키는 기법으로 신호 전송 시 추가적인 정보 전송에 따른 전송률 저하의 문제점은 없지만 성상도를 확장시키기 위한 톤의 수 및 확장 방향의 가짓수에 따라 최적의 PAPR을 유도하는 삽입 톤의 탐색을 위한 연산량이 지수적으로 증가하는 문제점이 존재한다. 본 논문에서는 PAPR 감소 기법인 톤 삽입 기법에서 최적의 삽입 톤을 찾기 위한 탐색 연산량을 줄이기 위해 유전자 알고리즘^[8] 기반 톤 삽입 기법을 제안한다. 이러한 유전자 알고리즘을 톤 삽입 기법에 적용하여 삽입 톤을 결정하면 최적의 톤 삽입 기법이 갖는 PAPR 감소 성능과 비교하여 적은 횟수의 탐색으로도 최적의 전역 탐색 결과에 근접한 PAPR 감소 성능을 가질 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 일반적인 톤 삽입 기법에 대해 설명한다. III장에서는 제안하는 유전자 알고리즘 기반의 톤 삽입 기법에 대해 설명하고 IV장에서 모의실험을 통해 성능을 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 일반적인 톤 삽입 기법 소개

일반적으로 OFDM 신호는 $\Delta f = 1/NT_s$ 의 주파수 간격으로 이루어진 N 개의 직교 부반송파에 의해 전송되며 전송신호 $x(t)$ 는 식 (1)로 표현한다.

$$x(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi f_k t}, \quad 0 \leq t \leq NT_s \quad (1)$$

이 때, X_k 는 k 번째 부반송파를 통해 전송되는 변조 심볼을 나타내며, f_k 는 변조 심볼 X_k 를 전송하기 위한 k 번째 부반송파 주파수로 $f_k = k\Delta f$ 로 정의된다. 또한, 식 (1)의 신호 $x(t)$ 를 변조 심볼 간격 T_s 단위로 $t = NT_s$ 로 샘플링 한 이산 시간에서 N 개의 부반송파를 갖는 임의의 m 번째 OFDM 심볼의 신호는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$x^m[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k^m e^{j2\pi kn/N}, \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (2)$$

톤 삽입 기법은 신호 성상도의 크기를 확장하여 PAPR을 줄이는 방법으로 식 (2)의 변조 심볼 집합 $\mathbf{X}^m = [X_0^m, X_1^m, \dots, X_{N-1}^m]$ 중 임의의 톤 $X_{k_0}^m$ 의 성상도를 일정 거리만큼 이동시켜 기존의 성상도 위치를 새로운 등가 위치로 재배치한다. 이 때, 임의의 톤 $X_{k_0}^m$ 의 성상도 위치가 새로운 등가 위치로 이동하는 것은 k_0 의 톤 위치에 새로운 톤을 삽입하는 과정을 의미한다. 식 (2)에서 새로운 톤이 삽입된 신호 $\bar{x}^m[n]$ 은 식 (3)과 같다.

$$\bar{x}^m[n] = x^m[n] + c^m[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \bar{X}_k^m e^{j2\pi kn/N} \quad (3)$$

식 (3)에서 $\bar{X}_k^m = X_k^m + C_k^m$ 이고, $C_k^m = p_k^m D + jq_k^m D$ 이다. 이 때, C_k^m 은 k 번째 부반송파에 삽입할 톤을 의미하며 -1, 1 혹은 0의 값을 갖는 p_k^m 와 q_k^m 에 따라 S 개의 방향으로 톤이 확장 된다. 그림 1은 16-QAM 변조 신호의 성상도에서 C^m 이 삽입되었을 때 임의의 톤 A가 p_k^m 와 q_k^m 에 따라 가질 수 있는 모든 등가 위치를 표현한 예이다. 그림 1에서 각 성상위치에 표현한 괄호 안의 값은 (p_k^m, q_k^m) 를 나타낸다. 신호의 성상위치를 이동시키기 위해 확장 거리 D 의 값을 적절하게 설정하여 신호를 전송하게 되면 수신단에서 모듈로 연산을 통해 전송 신호와 동일한 신호를 얻을 수 있다.

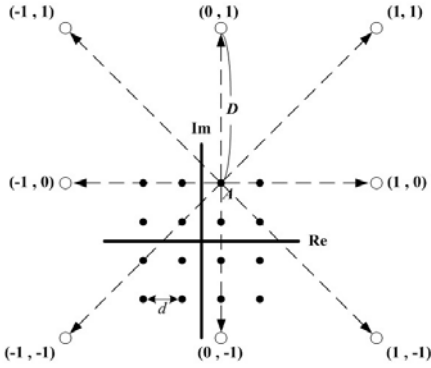


그림 1. 16-QAM 변조방식을 이용한 톤 삽입 기법의 예

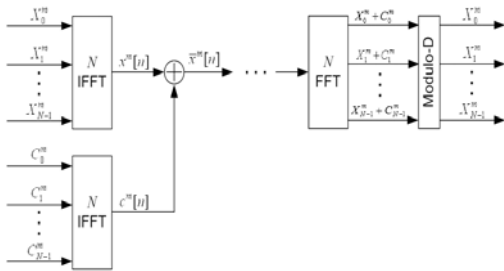


그림 2. 톤 삽입 기법을 위한 송·수신단 구조

이러한 톤 삽입 기법은 송·수신단에서 확장 거리 D 가 사전에 약속되어 추가적인 오버헤드 전송을 요구하지 않고 그림 2와 같이 수신단에서 모듈로 연산을 통해 복구가 가능하다는 장점이 있다. 이때, 확장 거리 D 는 식 (4)로 정의함으로써 기존의 성상도와 중복되지 않는 등가 위치로 이동이 가능하므로 BER 성능의 열화를 방지할 수 있다. 다만 이는 기존 신호의 크기를 변화하는 방법이므로 QAM 변조방식을 사용한 경우에서만 응용이 가능하고 신호 크기 상승으로 인한 전송 전력 상승의 문제점이 발생한다⁷⁾.

$$D = \rho d \sqrt{M} \tag{4}$$

식 (4)에서 d 는 QAM 변조를 위한 최소거리이며 M 은 변조 레벨을 나타낸다. ρ 는 새롭게 결정되는 등가 위치가 기존의 성상도의 결정 영역에 영향을 주지 않게 하기 한 조건, 즉 $\rho \geq 1$ 을 만족하는 임의의 실수 값을 갖는다.

식 (3)톤 삽입된 신호 $\bar{x}^m[n]$ 의 PAPR은 식 (5)와 같이 시간 영역에서 계산되며 \bar{x}^m 가 최적의 PAPR을 갖기 위해서는 적절한 $c^m[n]$ 을 결정해야 한다.

$$PAPR\{\bar{x}^m[n]\} = \frac{\max\{|x^m[n] + c^m[n]|^2\}}{E\{|x^m[n] + c^m[n]|^2\}} \tag{5}$$

만약, 이러한 과정이 주파수 영역에서 수행된다면 C^m 값의 변화에 따라 식 (5)의 PAPR을 얻기 위해 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)과정이 요구된다. 이는 최적의 PAPR을 유도하는 삽입 톤 C^m 을 결정하기 위한 삽입 톤의 위치 k_0 및 해당 위치에서의 확장 방향 $p_{k_0}^m$ 과 $q_{k_0}^m$ 에 대한 탐색 연산뿐만 아니라 이와 동일한 횟수의 IFFT 연산이 요구된다. 따라서 식 (6)과 같이 IFFT 과정 거친 시간 영역의 신호 $c^m[n]$ 을 이용하여 최적의 PAPR을 찾아야 한다. 이 때, 식 (6)의 $p_{k_0}^m$ 과 $q_{k_0}^m$ 를 그림 1과 같이 변경하면 k_0 번째 톤 위치에서 주파수 영역 상의 성상도 확장과 같은 결과를 얻을 수 있기 때문에 한번의 IFFT 과정으로도 다양한 C^m 에 따른 \bar{x}^m 의 PAPR 계산과 동일한 효과를 얻을 수 있다.

$$c_{k_0}^m[n] = \frac{D}{N} \{p_{k_0}^m \cos(2\pi k_0 n/N) - q_{k_0}^m \sin(2\pi k_0 n/N)\} + \frac{jD}{N} \{q_{k_0}^m \cos(2\pi k_0 n/N) + p_{k_0}^m \sin(2\pi k_0 n/N)\} \tag{6}$$

톤 삽입 기법은 삽입하는 톤의 개수가 많을수록 PAPR 감소 효과가 커지지만 최적의 PAPR을 갖는 삽입 톤을 결정하기 위한 조합수가 증가하는 단점이 있다. 이때의 최적의 삽입 톤 결정에 필요한 탐색 연산량은 전체 부반송파의 개수(N), 삽입할 톤의 수(K) 그리고 성상도 확장에 사용되는 등가위치 수(S)를 이용하여 식 (7)로 표현할 수 있다⁷⁾.

$$\binom{N}{K} S^K \approx (NS)^K \tag{7}$$

III. 유전자 알고리즘을 이용한 톤 삽입 기법

3.1 일반적인 유전자 알고리즘 최적화 방법

유전자 알고리즘은 탐색과 최적화 문제 해결을 위한 알고리즘으로 진화론의 적자생존과 자연선택의 유전학에 근거한 적응 탐색 기법이다⁸⁾. 이는 다양한 최적화 분야에 적용되어 왔으며 기존의 연구를 통해 복잡한 조합문제에서 효율적인 탐색이 가능하고 최적의 해에 가까운 해를 구할 수 있다는 장점이 있다^{8),9)}. 일반적으로 유전자 알고리즘에서는 새로운 개체(chromosome)를 만들기 위해 교배(Crossover), 돌연변이(Mutation), 재생산(Reproduction)의 3가지 유

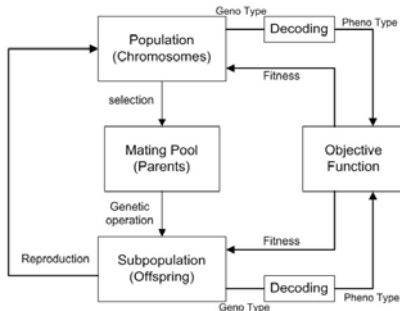


그림 3. 유전자 알고리즘의 유전과정

전과정을 거치게 되며 그 절차는 그림 3과 같다. 이 때 사용되는 변수의 형태는 크게 유전형(Genotype)과 표현형(Phenotype)의 두 가지 형태를 사용한다. 먼저 유전형 변수는 유전과정의 편의를 위해 변수들을 이진화 인코딩하여 표현하는 형태로 대부분의 유전 과정에서 사용된다. 반면에 표현형은 실제의 변수 형태로 표현하는 방법으로 주로 적합도의 계산과 해 집합을 표현하기 위해 사용된다.

유전자 알고리즘은 임의의 다수의 개체를 유전형 형태로 표현하여 개체군(Population)을 생성하는 것으로 시작한다. 개체군에 속한 각각의 개체들은 표현형으로 바뀌어 최적화 목적에 따른 적합도를 평가 받게 되고 적합도 값에 따라 확률적으로 부모개체로 선택(Selection) 된다. 선택된 부모개체들은 교배, 돌연변이의 유전과정을 통해 새로운 개체를 생성하게 되고 새롭게 생성된 개체들은 다시 적합도 평가를 받게 된 후 적합한 개체들이 재생산된다. 이러한 과정은 사전에 설정된 세대 수 만큼의 반복이 이루어지게 된다¹⁰⁾.

3.2 유전자 알고리즘의 톤 삽입 기법에 적용방안

앞서 설명한 바와 같이 일반적인 톤 삽입 PAPR 감소 기법은 최소의 PAPR을 가질 수 있는 방향으로 성상도를 확장시키는 삽입 톤을 찾기 위해서 많은 탐색을 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 톤 삽입 PAPR 감소 기법의 삽입 톤 결정을 위해 소요되는 탐색 연산량을 줄이기 위해 유전자 알고리즘을 사용하여 적절한 삽입 톤의 위치 및 확장 방향을 결정한다. 이 때, 적절한 톤 삽입 위치 및 이에 따른 성상도의 확장 방향을 결정하기 위해 유전자 알고리즘에서 사용되는 기본적인 개체의 구성은 그림 4와 같다.

모든 개체는 N 개의 부반송파 중 임의의 K 개 삽입 톤이 갖는 톤 위치와 S 개의 등가위치 중 각 삽

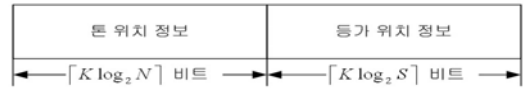


그림 4. 톤 삽입 기법에 유전자 알고리즘을 적용하기 위한 개체의 구성

입 톤이 갖는 임의의 등가위치를 이진화 된 정보로 표현한다. 예를 들어 64개의 부반송파를 사용하는 OFDM 시스템에서 10번째 톤 위치에 $+D$ 만큼 성상도 확장을 유도하는 삽입 톤은 001010001의 형태를 갖는 개체로 변환된다. 이 때, 성상도 확장을 통한 등가 위치 정보는 그림 1의 등가 위치를 색인 번호로 구분하고 이를 이진화 하여 사용한다. 일반적인 톤 삽입 기법에서는 삽입 톤의 개수가 늘어남에 따라 최적의 PAPR을 결정하는 톤을 찾기 위한 탐색 연산량이 크게 증가한다. 하지만 유전자 알고리즘에서 삽입 톤의 개수가 늘어나게 되면 단지 개체를 구성하기 위한 비트의 할당량만이 증가하기 때문에 톤의 개수에 독립적인 탐색 연산량으로 최적의 PAPR을 갖는 다수의 삽입 톤을 찾을 수 있다. 즉, 톤 삽입 기법에 유전자 알고리즘을 적용하게 되면 1개의 톤을 삽입 할 경우와 다수의 톤을 삽입하는 경우의 연산량이 동일한 장점을 얻을 수 있다.

그림 5는 제안하는 유전자 알고리즘 기반의 톤 삽입 PAPR 감소 기법의 처리 흐름도를 나타내고 있다. 먼저, 개체의 초기화를 위해 그림 4와 같은 형태의 개체를 설정된 개체군의 크기(P)만큼 랜덤하게 발생시키고 각 개체에 대한 PAPR을 식 (5)를

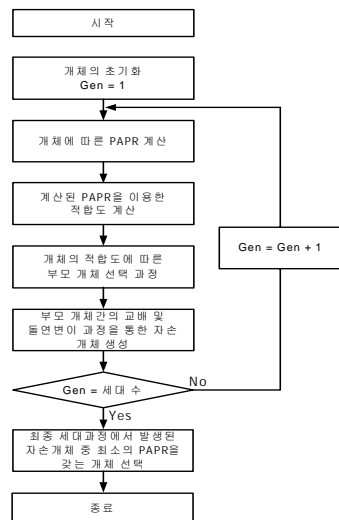


그림 5. 제안한 기법의 처리 흐름도

통해 계산한다. 각 개체에 대해 계산된 PAPR은 적합도 함수를 통해 PAPR 감소의 목적에 따른 적합도로 계산 된다. 본 논문에서 개체의 적합도를 평가하기 위한 함수는 식 (8)과 같이 전역 탐색을 통한 톤 삽입 기법에서 가질 수 있는 충분히 낮은 PAPR을 기준으로 개체가 갖는 PAPR 간의 비율을 통해 개체의 최소 PAPR에 대한 접근 정도로서 정의하여 PAPR 감소의 목적에 대한 적합성을 평가한다. 이때, 제곱을 통해 낮은 적합도를 갖는 개체는 더욱 낮은 값을 가지므로써 상대적으로 우수한 적합도를 갖는 개체에 대한 강조가 가능하다.

$$f_{\min PAPR}^{(i,g)} = \left(\frac{TH.PAPR}{PAPR(i,g)} \right)^2, i=1, \dots, P, g=1, \dots, G \quad (8)$$

식 (8)의 TH.PAPR은 전역 탐색을 통해 결정된 톤을 삽입하여 얻을 수 있는 기준 PAPR값으로 CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)를 기준으로 PAPR이 임계값보다 클 확률이 약 99%에 해당하는 값으로 설정하였다. PAPR(i,g)은 유전자 알고리즘의 g세대에서 i번째 개체가 가지는 PAPR을 의미한다.

각 개체 별로 적합도가 결정되면 이에 따라 부모 개체를 선택하게 된다. 선택과정은 높은 적합도를 갖는 개체 즉, 낮은 PAPR을 가질 수 있는 삽입 톤 정보가 높은 확률로 부모개체로 선택되게 된다. 마지막으로 선택된 부모개체를 이용하여 교배 및 돌연변이 과정을 통해 개체군 크기만큼의 자손 개체를 생성한다. 생성된 자손개체군은 다음 세대과정에서의 부모개체군으로 대체된다. 이러한 과정은 설정된 세대 수(G) 만큼 반복됨에 따라 개체들의 적합도값이 수렴하게 되고 이는 곧 최적의 PAPR에 근접하는 삽입 톤 정보를 얻을 수 있음을 의미한다. 최종 세대 과정이 끝난 후 얻어진 개체군 내에서 식 (9)를 통해 m번째 심볼에 대한 삽입 톤 정보(T_{opt}^m)를 결정하게 된다.

$$T_{opt}^m = \underset{i}{\operatorname{argmax}} \{ f_{\min PAPR}^{(i,G)} \}, i=1, 2, \dots, P \quad (9)$$

IV. 모의실험

유전자 알고리즘 기반 톤 삽입 기법의 PAPR 감소 성능을 평가하기 위해 최적의 PAPR을 갖는 기존의 톤 삽입 기법과 비교 하였다. 성능 평가를 위

한 모의실험에서 사용된 OFDM 시스템은 64개의 부반송파를 사용하였고 16-QAM 변조방식을 사용하여 오버샘플링을 하지 않은 총 100,000개의 OFDM 심볼을 이용하였다. 정상도의 확장을 위해 사용된 식 (4)의 D에서 $\rho=1$ 로 설정하였다. 또한 유전자 알고리즘을 위해 60%의 교배확률(P_c)과 0.2%의 돌연변이 확률(P_m)을 사용하였다. 모든 실험 결과의 ‘Original’은 아무런 처리 없는 원신호의 PAPR을 의미하며 ‘Optimum’은 전역 탐색을 통해 결정된 톤 삽입 기법을 사용한 경우의 PAPR을 의미한다.

그림 6은 1개의 톤을 삽입 했을 때($K=1$)의 PAPR 감소 성능을 비교한 실험결과로 그림 6(a)에서 각각 20, 40, 60개의 다양한 개체군 크기 ($P=20,40,60$) 와 공통적으로 5세대의 세대 수 ($G=5$)를 설정하여 개체군에 따른 PAPR 감소 성능을 비교하였다. 또한 그림 6(b)는 공통의 20개체 ($P=20$)를 이용하여 각각 5, 10, 15세대 ($G=5,10,15$)의 세대과정을 통해 PAPR 감소 성능

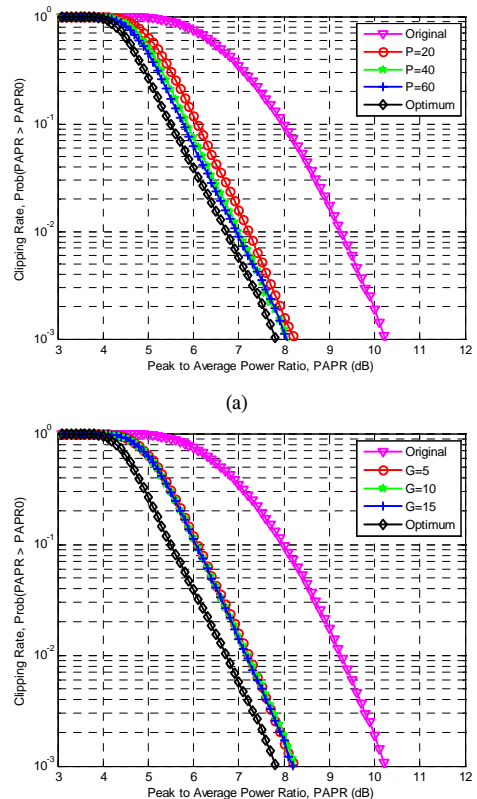
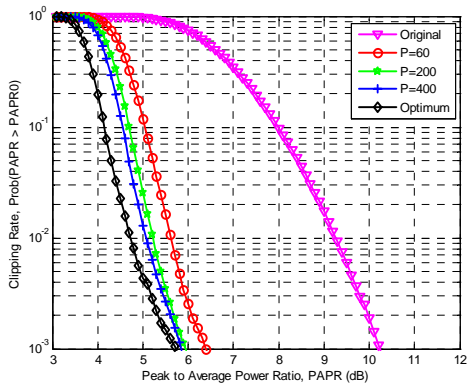


그림 6. 톤 수 $K=1$ 이고, (a)세대 수 $G=5$ 로 고정하고 개체 수 P 를 변화시킨 경우, (b) 개체 수 $P=20$ 으로 고정하고 세대 수 G 를 변화시킨 경우에 대한 성능 비교

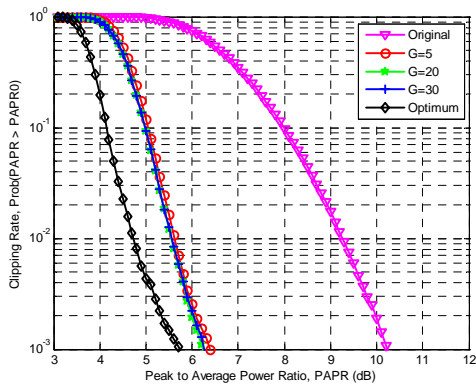
을 비교하였다.

그림 7은 2개의 톤을 삽입 했을 때($K=2$)의 PAPR 감소 성능을 나타내고 있으며 그림 7(a)에서 유전자 알고리즘의 개체군 크기에 따른 성능 비교를 위해 5세대의 세대 수($G=5$)를 이용하여 60, 200, 400개의 개체를 갖는 개체군($P=60, 200, 400$)으로 실험하였고 그림 7(b)에서는 60개체($P=60$)를 통해 5, 20, 30세대과정($G=5, 20, 30$)에 따른 PAPR 감소 성능 비교는 실험을 진행하였다.

그림 8에서는 유전자 알고리즘의 확률적인 연산 방식에 따른 성능의 편차를 평가하기 위해 1개의 톤을 삽입 한 경우($K=1$), 40개의 개체($P=40$)를 갖는 개체군을 5번 세대 과정($G=5$)을 거쳐 총 10 번의 반복적인 모의실험을 통해 각각 최대, 평균, 최소의 PAPR 감소 성능을 산출하였다. 실험 결과를 통해 최대, 평균, 최소 성능이 거의 동일함에 따라 충분한 신뢰도를 가짐을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 7. 톤 수 $K=2$ 이고, (a)세대 수 $G=5$ 로 고정하고 개체 수 P 를 변화시킨 경우, (b) 개체 수 $P=60$ 으로 고정하고 세대 수 G 를 변화시킨 경우에 대한 성능 비교

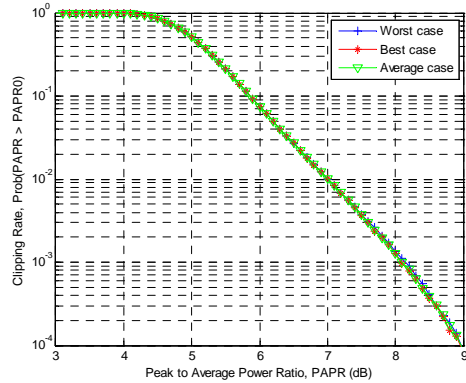


그림 8. 교배확률 $P_c=60\%$, 돌연변이 확률 $P_m=0.2\%$, 삽입 톤 수 $K=1$, 개체 수 $P=40$, 세대 수 $G=5$ 일 때 성능 변화

표 1. 알고리즘 별 PAPR 탐색 연산 횟수 비교 (Clipping Rate = 10-3)

	삽입 톤 결정을 위한 전역 탐색에 필요한 연산량 ⁷⁾	원신호 PAPR 감소량	제안한 유전자 알고리즘 기반 톤 삽입 기법 탐색에 필요한 연산량	원신호 PAPR 감소량
$K=1$	$\binom{64}{1} \times 8 = 512$	2.4dB	$P=60, G=5$ $60 \times 5 = 300$	2.2dB
$K=2$	$\binom{64}{1} \times 8^2 = 129,024$	4.4dB	$P=400, G=5$ $400 \times 5 = 2,000$	4.3dB

위의 실험 결과들을 바탕으로 톤 삽입 기법은 톤의 개수가 증가할수록 PAPR 감소 성능이 향상됨을 알 수 있었고, 동일한 개수의 톤을 삽입하였을 때, 유전자 알고리즘은 비슷한 연산량을 기준으로 세대 과정보다 개체군의 크기에 많은 영향을 받는 것을 확인 할 수 있었다. 다만, 유전자 알고리즘의 랜덤 탐색으로 인해 최적화 성능에 한계가 존재하기 때문에 일정 크기의 개체군 이상이 되면 개체군 크기를 증가하여도 성능의 변화가 나타나지 않음을 알 수 있다.

또한 다양한 실험에서 사용된 조건을 바탕으로 최적의 PAPR 감소 성능에 따른 연산량을 표 1에서 비교했을 때, 1개의 톤을 사용한 경우에는 최적의 톤 삽입 기법에 비해 약 60%의 탐색 연산량으로 최적의 PAPR 감소량에 0.2dB 못 미치는 결과를 보였으며 2개의 톤을 사용했을 때는 약 1.6%의 탐색 연산량으로 최적의 PAPR에 0.1dB 모자란 결과를 보였다. 이를 통해 유전자 알고리즘을 사용하게 되면 적은 탐색 연산량으로도 효과적으로 PAPR을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 OFDM 시스템의 PAPR 감소를 위해 낮은 탐색 연산량을 갖는 유전자 알고리즘을 적용한 톤 삽입 기법을 제안하였다. 톤 삽입 기법은 추가적인 오버헤드 전송으로 인한 전송률 저하가 없는 장점이 있는 반면, 최적의 삽입 톤을 찾기 위한 전역 탐색과정에서 많은 탐색 연산량을 필요로 한다. 제안하는 기법은 기존의 톤 삽입 PAPR 감소 기법 동작에 필요한 탐색 연산 과정을 위해 유전자 알고리즘을 적용하였으며, 적합도 함수를 설정하여 개체군 크기와 세대 수에 따라 제안한 기법의 PAPR 성능과 탐색에 필요한 연산량을 도출하였다. 모의실험 결과, 동일한 탐색 연산량에서 성능의 향상을 위해서는 많은 개체들로 이루어진 개체군을 사용하는 것이 유리함을 알 수 있다. 또한 삽입 톤의 개수의 증가에 따라 지수적으로 증가하는 기존의 톤 삽입 기법의 탐색 연산량에 비해 낮은 연산량으로도 최적의 PAPR 감소 성능에 근접한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] R. van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House Publishers, 2000.

[2] R. Prasad, *OFDM for Wireless Communications Systems*, Artech House Publishers, 2004.

[3] S. H. Han and J. H. Lee, "An Overview of Peak-to-Average Power Ratio Reduction Techniques for Multicarrier Transmission," *IEEE Wirel. Commun.*, pp.56 - 65, Dec. 2005.

[4] X. Li and L. J. Cimini, Jr., "Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM," *IEEE Commun. Lett.*, Vol.2, No.5, pp.131-133, May 1998.

[5] R. W. Bauml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping," *IEEE Electr. Lett.*, Vol.32, No.22, pp.2056-2057, Oct. 1996.

[6] L. Ciminim Jr. and N.Sollenberger, "Peak-to - average power ratio reduction of OFDM signal using partial transmit sequences," *IEEE Commun. Lett.*, Vol.4, No.3, pp.86-88, Mar. 2000.

[7] J. Tellado, Peak to average power reduction for

multicarrier modulation, Ph.D. Thesis, Stanford University, Sep. 1999.

[8] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.

[9] K. S. Tang, K. F. Man, S. Kwong and Q. He, "Genetic Algorithms and their Applications," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.22-37, Nov. 1996.

[10] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithm in search, optimization and machine learning*, Addison Wesley Publishers, 1989.

박 순 규 (Soonkyu Park)

정회원



2007년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
2007년 3월~현재 숭실대학교 정보통신학과 석사과정
<관심분야> OFDM, 유전자 알고리즘, Cognitive Radio, 통신신호처리

최 주 평 (Joo-pyoung Choi)

정회원



1999년 안양대학교 공학사
2001년 숭실대학교 공학석사
2003년 숭실대학교 공학박사 수료
2003년~2006년 새턴정보통신(주) 정보통신연구소 선임연구원
2006년~현재 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정
<관심분야> OFDM, 상황인지 기술, 이동통신시스템, 적응 빔형성 기법

이 원 철 (Won-cheol Lee)

정회원



1986년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
1988년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
1994년 New York Polytechnic Univ. Electronic Eng. 박사
1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수
<관심분야> OFDM, Cognitive Radio, SDR 기술, Position Location based on UWB, CDMA2000/WCDMA, Smart Antenna