

변형된 GA-SPW에 의한 OFDM의 새로운 PAPR 감소 기법

A New Method of PAPR Reduction in OFDM Systems Using Modified GA-SPW

김 성 수 · 김 명 제

Sung-Soo Kim · Myoung-Je Kim

요 약

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템은 다수 부반송파들의 중첩 현상으로 인해 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) 문제를 가진다. 기존의 제안된 GA-SPW(Genetic-Sub-block Phase Weighting) 기법은 하나의 OFDM 심볼에서 부 블록 수를 증가시켜 PAPR 감소 성능을 향상시키고, 부 블록 수에 따라 지수적으로 증가하는 위상 탐색량을 유전자 알고리즘을 이용하여 개체군과 세대수에 고정시켜 감소시켰다. 본 논문에서는 더 적은 탐색량으로 주어진 부 블록에서 최적에 가까운 PAPR 감소 성능을 얻기 위해 기존의 GA-SPW 기법에 새로이 변형된 유전자 알고리즘을 적용한다. 제안된 기법의 성능과 계산량의 우수성을 모든 부 블록과 위상수에 따른 모든 탐색을 하는 일반적인 탐색 방법, iterative flipping 그리고 기존의 GA-SPW와 시뮬레이션과 결과의 분석을 통하여 나타내었다.

Abstract

An OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system has the problem of the PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) due to the overlapping phenomena of many sub-carriers. The previously proposed GA-SPW(Genetic Sub-block Phase Weighting) method not only improved the reduction of PAPR as the number of sub-blocks increases in an OFDM symbol but also decreased the number of calculations involved in the iterative phase searching yields to depend on the number of population and generation by using genetic algorithm not on the number of sub-blocks and phase elements. In this paper, we propose the modified GA-SPW method in order to improve the performance and to decrease the complexity. It is shown that the proposed modified GA-SPW method achieves the significant performance and the reduction of search complexity comparing to the ordinary technique, iterative flipping and previously proposed GA-SPW by the experimental results and analysis.

Key words : OFDM, PAPR, SPW, GA

I. 서 론

OFDM 시스템은 4세대 통신 시스템에서 제공해야 할 여러 서비스를 제공하는 무선 전송 기술로서 멀티패스 페이딩에 강하고, 간단한 등화기 구조를

가지므로 고속 이동 수신 환경에서 우수한 성능을 발휘한다. 또한, 상호 직교성을 갖는 복수의 부반송파(sub-carrier)를 사용하므로 주파수 이용 효율이 높고 고속의 데이터 전송이 가능하다. 송·수신단에서 이러한 복수의 부반송파를 변·복조하는 과정은 각

「이 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2006).」

충북대학교 전기공학과(Department of Electrical Engineering, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20060816-096

· 수정완료일자 : 2006년 10월 19일

각 IDFT와 DFT를 수행한 것과 같은 결과가 되어 IFFT와 FFT를 사용하여 고속으로 구현할 수 있다^{[1],[2]}.

다중 반송파를 사용하는 OFDM 시스템은 많은 수의 직교 부반송파에 신호를 실어서 보내는 데 IFFT를 통과한 출력 신호의 크기가 동일한 위상으로 더해질 경우 순간적으로 매우 높은 전력을 가지게 되어 PAPR 문제가 발생한다. OFDM 시간 영역 신호는 PAPR이 단일 반송파 방식보다 크게 나타나는 단점이 있다. PAPR이 크면 일정한 크기의 word-length를 갖는 ADC(Analog to Digital Converter)와 DAC(Digital to Analog Converter)에서 큰 양자화 잡음을 발생시켜 신호 품질을 저하시키며 복잡성을 증가시키고, 비선형 소자를 통과할 때 증폭기가 포화 영역에서 동작하게 되어 통신 채널에 비선형 왜곡(nonlinear distortion)이 발생하게 되므로 RF 전력 증폭기의 효율을 감소시킨다. 이러한 비선형 왜곡을 줄이기 위해 선형 HPA(High Power Amplifier)를 사용하거나 충분한 back-off을 해야 하지만 가격과 전력 효율 측면에서 적절하지 않아 직접적인 해결방안이 되지 않는다^[3].

PAPR를 감소시키기 위한 기법 중에 대표적인 위상회전 방식에는 SLM(Selective Mapping)과 PTS(Partial Transmit Sequences) 기법이 있다. 기존의 SLM 기법은 동일한 입력신호에 위상 변화를 주어 여러 개의 통계적으로 독립적인 심볼을 만들고 가장 낮은 PAPR을 갖는 심볼을 전송하는 방법이며, PTS 기법은 OFDM 심볼을 구성하는 전체 데이터 심볼을 중첩되지 않는 부 블록으로 나누고 각각의 부 블록 별로 IFFT 연산을 한다. IFFT된 신호의 PAPR이 최소가 되도록 하기 위해 각 부 블록에 위상요소를 곱하여 가장 낮은 PAPR을 갖는 신호를 탐색하여 전송하는 기법이다. 위 두 가지 방법은 스펙트럼 왜곡 없이 효과적으로 PAPR을 감소시킬 수 있으나 부 블록 수에 맞는 여러 개의 IFFT를 사용하므로 시스템의 복잡도가 크게 증가하는 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 개선한 기법이 SPW 기법이다. SPW 기법은 OFDM 심볼을 여러 개의 부 블록으로 나누고, 부블록 별로 위상요소를 곱해 서로 더하고, IFFT 한 후 가장 낮은 PAPR을 갖는 신호를 위상 요소와 함께 전송하는 기법이다^[4]. 이러한 기법들은 하나의 OFDM 심볼 안에서 부 블록의 수와 위상 요소의 수가 많을수록 PAPR 감소 성능이 증가한다는 장점이 있는 반

면, 탐색 복잡도도 함께 증가한다는 단점이 있다. 이런 탐색량에 대한 단점을 해결하기 위해 제안된 기존의 GA-SPW 기법에서는^[5] 최소의 PAPR을 얻을 수 있는 최적의 위상요소를 찾기 위해 최적화 기법 중의 하나인 유전자 알고리즘을 SPW에 적용함으로써 일반 PAPR 감소 기법보다 더 적은 탐색량을 가지고 일반적인 SPW 기법의 PAPR 감소 성능에 가까운 PAPR 감소 효과를 얻을 수 있었다. 하지만, 아직까지 탐색의 복잡도가 높으며, 최적의 성능과 조금 차이가 있다. 그 이유는 기존의 GA-SPW에서 적용된 유전자알고리즘은 다음 세대를 구성하기 위해 1점 교배를 사용하는데, 부모세대의 적합도가 교배 후의 자식 세대의 적합도보다도 좋더라도 다음세대를 교배 연산자를 통한 자식 세대로 구성하였기 때문이다. 이것은 항상 향상된 결과를 가져오는 것이 아니므로 해를 찾는 탐색 시간이 길어지며 탐색량도 많아지고 또한 찾고자 하는 해에서 멀어지게 되는 결과도 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 그러한 점을 개선하기 위해 2점 교배 후 부모 자식간 적합도 비교 검사를 하여 만약 부모의 적합도가 더 좋다면 교배 연산자를 사용하지 않고 부모 세대를 그대로 자식 세대로 복제하는 기법을 제안한다. 이러한 변형된 GA-SPW 기법 또한 보다 좋은 PAPR 감소 성능을 얻기 위해 부 블록과 위상 요소의 수를 증가시켜도 위상 탐색량이 처음에 정한 개체군(population)과 세대(generation)수에 고정되어 더 이상 증가하지 않기 때문에 성능과 복잡도 면에서 우수하다. 또한, 기존의 GA-SPW 기법보다 더 적은 탐색량으로 더 좋은 PAPR 감소 성능을 얻고, 동일한 탐색량으로는 주어진 부 블록의 수에서 최적에 가까운 PAPR 감소 성능을 보인다는 것을 모의 실험 결과를 통하여 살펴볼 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 OFDM 시스템의 특성과 OFDM의 개념에 대해 살펴보고, 3장에서는 기존의 PAPR 감소 기법인 SPW에 대해 살펴보았다. 4장에서는 GA-SPW 기법에 변형된 유전자 알고리즘을 이용한 새로이 제안된 기법을 살펴 보고, 5장에서는 모의 실험을 통해 제안된 기법의 우수성을 보이며, 마지막으로 결론을 맺는다.

II. OFDM 통신 시스템

N개의 부반송파로 구성된 기저 대역 OFDM 신호

$x(t)$ 는 식 (1)과 같다.

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

$X_k = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$, T 는 OFDM 심볼 주기

OFDM 신호에서 신호의 최대치와 평균치의 비로 정의되는 PAPR은 식 (2)와 같다.

$$PAPR = 10 \log_{10} \frac{\text{Max}|x(t)|^2}{E[|x(t)|^2]} \text{ (dB)} \quad (2)$$

여기서, $E[\cdot]$ 는 기대값이다.

IFFT에 입력되는 데이터는 일반적으로 i.i.d(independent and identically distributed) 성질을 갖는 랜덤 신호로 간주할 수 있으므로 부 반송파의 수 N 이 충분히 크다면 변조된 신호는 중심 극한 정리에 의하여 $x(t)$ 의 실수부와 허수부는 모두 평균이 0이고, 분산이 1/2인 Gaussian 확률 밀도 함수를 갖는 랜덤 신호가 된다. 따라서 실수부와 허수부를 각각 제공하고 더한 후 제공근을 취한 값은 레일리(Rayleigh) 분포를 가지며 크기 신호를 제공하여 구한 신호의 전력 $|x(t)|^2$ 의 분포는 평균이 0이고 자유도가 2인 chi-square 분포가 된다. 중첩된 부 반송파에서 최대 전력을 찾기 위해 샘플링된 값들이 서로 무상관이라 가정하면, PAPR이 특정 임계값 $PAPR_0$ 를 초과할 확률을 CDF(Cumulative Distribution Function)로 식 (3)과 같다^[6].

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

과도 샘플링을 한 N 개의 부 반송파에 대한 분포를 과도 샘플링을 하지 않은 aN 개의 부 반송파에 대한 분포로 근사화 할 수 있다고 가정하면, 식 (4)와 같다.

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

따라서, OFDM 신호의 PAPR에 대한 CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)는 식 (5)와 같다.

$$\Pr(PAPR > PAPR_0) = 1 - (1 - \exp(-PAPR_0))^{aN} \quad (5)$$

일반적으로 과도 샘플링을 한 OFDM 신호에 대해서 $a=2.8$ 이 적합하다고 알려져 있다^[5].

III. SPW 기법

부반송파 수가 N 이라고 하면 입력 데이터 블록은 식 (6)과 같다.

$$X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T \quad (6)$$

이 데이터 블록을 인접 분할 방법(adjacent sub-block partitioning method)을 이용하여 식 (7)과 같이 총 개의 부 블록으로 나눈다.

$$\begin{aligned} X_{(1)} &= [X_{1,0}, X_{1,1}, \dots, X_{1,n}, 0_{1,n+1}, \dots, \\ &\quad 0_{1,N-1}]^T \\ &\vdots \\ X_{(M)} &= [0_{M,0}, \dots, 0_{M,N-n-1}, \\ &\quad X_{M,N-n}, X_{M,N-n+1}, \dots, X_{M,N-1}]^T \end{aligned} \quad (7)$$

$$n = \frac{N}{M} - 1, \quad N = \text{부 반송파수}, M = \text{부 블록수}$$

$X_{(m)}$ 을 m 번째 부 블록에 할당된 신호라고 하면, $X_{(m)}$ 을 식 (8)과 같이 다 더하면 입력 데이터 블록이 된다.

$$X = \sum_{m=1}^M X_{(m)} = \begin{bmatrix} X_{(1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & X_{(2)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & X_{(M)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

각 부 블록에 크기가 1이고 위상 차(φ^w)가 $(w \times 360) / W$, ($w=1, 2, \dots, W$)도인 가중치 요소,

$$p_m = e^{j\phi^w}, \quad m=1, 2, \dots, M,$$

$$W \text{는 허용한 위상 factor의 수} \quad (9)$$

p_m 를 각 부 블록에 곱한다.

$$p = [p_1, p_2, \dots, p_M] \quad (10)$$

각 부 블록들은 가장 작은 PAPR 값을 갖기 위해 가중치 요소 p 와 곱한다. 주파수 영역의 전송신호는 식 (11)과 같다.

$$\begin{aligned} X'(p) &= \sum_{m=1}^M p_m \cdot X_{(m)} \\ &= \begin{bmatrix} X_{(1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & X_{(2)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & X_{(M)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_M \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 p_m 은 m 번째 블록의 가중치 요소이다.
 $X(p)$ 를 L 배 과도 샘플링 하기 위해, 데이터 블록 $X(p)$ 에 $(L-1)N$ 개의 zero-padding을 한다. LN 점 IFFT 한 신호 $x'(p)$ 는,

$$x'(p) = IFFT\{X'(p)\} \\ = IFFT\left\{\sum_{m=1}^M p_m \cdot X(m)\right\} = \sum_{m=1}^M p_m \cdot x(m) \quad (12)$$

그러므로, 식 (2)의 PAPR을 감소하기 위해서는 PAPR 감소 성능을 최소로 만들어 주는 적절한 위상 요소를 찾아야 한다. 일반적으로 위상 요소의 집합은 다음과 같다.

$$P = \{e^{j2\pi w/W} | w = 0, 1, \dots, W-1\},$$

W 는 허용한 위상 요소의 수 (13)

일반적인 SPW 기법은 최적의 위상 요소를 찾기 위해 W^M 만큼의 탐색을 하게 된다.

SPW 기법의 기본 구조는 그림 1과 같다^[4]. 그림 1에서 볼 수 있듯이 SPW 기법은 하나의 IFFT로 구현할 수 있어 시스템의 복잡도를 낮출 수 있다는 장점을 가지고 있다.

IV. 제안된 변형된 GA-SPW 기법

4.1 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 다윈의 적자 생존의 이론을 기본 개념으로 하고 있다. 탐색에 각 개체의 적합도를 이용하며, 암묵 탐색을 하므로 다른 부가적인 지식을 요구하지 않는다. 결정론적 규칙이 아닌 확률적 연산자를 사용하여 수행되므로 다른 최적화 기법에 비해 전역 해를 구할 가능성이 높으며 다른 여러 탐색 방

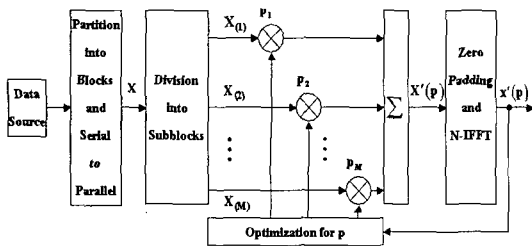


그림 1. SPW OFDM의 블록 다이어그램
 Fig. 1. A block diagram for SPW OFDM.

법에 비하여 효율적이다^{[8]~[10]}. 유전자 알고리즘에서 새로운 개체를 만들어 내기 위한 유전 연산으로는 선택, 우성인자 선택, 복제, 교배 및 돌연변이를 사용한다.

4.2 기존의 GA-SPW 기법

참고문헌 [6]에서 제안된 GA-SPW에서는 0과 1의 문자 조합 형태의 염색체(chromosome)로 해를 표현한다. 각 부 블록 당 고려하는 위상 요소가 $P=[1, j, -1, -j]$ 이므로, 이에 대응하는 각 염색체는 $1 \rightarrow 00, j \rightarrow 01, -1 \rightarrow 11, -j \rightarrow 10$ 과 같이 구성된다. 이러한 염색체로 개체군을 구성하면 유전인자가 나열되어 있는 것과 같은 형태를 갖추기 때문에 새로운 다음 세대의 개체군을 만들어 내기 위한 선택, 복제, 교배 및 돌연변이가 가능하게 되며, 교배 및 돌연변이 등을 할 때 다양한 조합이 가능한 장점이 있다. 참고문헌 [6]에서 새로운 자손을 생성시키기 위하여 사용한 선택 기법은 식 (14)를 이용한 각 개체의 적합도에 근거한 roulette wheel selection이고, 이러한 선택 기법에 의한 선정된 부모 세대를 1점 교배 연산자를 통하여 다음 자식 세대를 생성한다. 또한, 돌연변이 연산자를 사용하여 지역해에 빠지는 것을 방지한다. 이러한 방식으로 일정한 세대 동안 반복 시행한 후 나온 가장 좋은 적합도를 가지는 개체를 해로 선택한다.

$$F(x'(b)) = \frac{1}{10 \log_{10} \frac{\text{Max}|x'(b)|^2}{E[|x'(b)|^2]}} \quad (14)$$

평가치가 높은 개체들을 선택해 나가면 세대가 진행될수록 평가치가 높은 해 집단을 얻을 수 있게 된다. 평가치는 PAPR을 목적 함수로 갖는 적합도를 구하는 식 (14)를 이용하여 구한다. 일정한 세대를 진행시킨 후에 알고리즘을 종료한다.

4.3 제안된 변형된 GA-SPW 기법: 변형된 유전자 알고리즘의 SPW에의 적용

기존의 GA-SPW에서 적용된 유전자 알고리즘은 다음 세대를 구성하기 위해 1점 교배를 사용하는데, 교배 후의 자식 세대의 적합도가 부모 세대의 적합도보다 나빠도 다음 세대를 교배 연산자를 통한 자식 세대로 구성한다. 이것은 최적해를 탐색하는 경

우, 항상 향상된 결과를 가져오는 것이 아니므로 해를 찾는 탐색 시간이 길어지며 탐색량도 많아지고 또한 찾고자 하는 해에서 멀어지게 되는 결과도 발생한다. 이러한 점을 개선하기 위해 본 논문에서는 2점 교배 후에 부모 자식간 적합도 비교 검사를 추가하여 만약 부모의 적합도가 더 좋다면 교배 연산자를 사용하지 않고 부모 세대를 그대로 자식 세대로 복제하는 기법을 제안한다.

변형된 유전자 알고리즘을 사용하여 최적의 PAPR을 가지는 위상 요소를 탐색하기 위해 앞서 설명한 방법들을 적용하여 단계별로 정리하면 다음과 같다.

단계 0: 초기 parameters의 선정 - 개체들의 수, 세대의 수, 엘리티즘의 수, 교배율, 돌연변이율 등을 설정한다.

단계 1: 초기 모집단의 생성 - 개체수 만큼의 각기 다른 개체들을 랜덤하게 생성한다.

단계 2: 현 세대수가 최대 세대수보다 작으면 단계 3으로 이동, 그렇지 않으면 단계 13로 이동한다.

단계 3: 각 개체를 위상 요소로 변환한다.

단계 4: 적합도 계산 - 각 개체의 적합도를 평가한다.

단계 5: 최소의 PAPR을 선택한다.

단계 6: 각 위상 요소를 다시 개체로 변환한다.

단계 7: Roulette wheel을 적용한 선택 방식으로 부모 세대를 선정한다.

단계 8: 2-point 교배연산자를 사용하여 단계 7에서 선택된 부모 세대로부터 자식 세대를 생성한다.

단계 9: 생성된 자식 세대의 적합도를 계산한다.

단계 10: 부모 세대와 자식 세대의 적합도를 비교하여 부모 세대의 적합도가 자식 세대의 적합도보다 크면 부모 세대를 그대로 자식 세대로 복제하고, 자식 세대의 적합도가 부모 세대의 적합도보다 크다면 자식 세대를 다음 세대로 만든다.

단계 11: 생성된 자식 세대에 돌연변이를 발생시킨다.

단계 12: 단계 2로 이동한다.

단계 13: 부분 탐색 기법을 사용하여 선정된 해의 주변을 정밀하게 탐색한다.

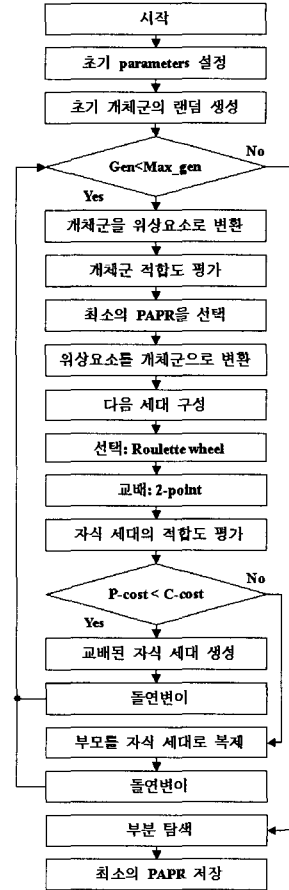


그림 2. 제안된 변형된 유전자 알고리즘 순서도(Gen: 현 세대, Max_gen: 최대 세대, P-cost: 부모세대의 적합도, C-cost: 자식세대의 적합도)

Fig. 2. Flow chart of the proposed genetic algorithm (Gen: present generation, Max_gen: maximum number of generation, P-cost: fitness of parents, C-cost: fitness of children).

단계 14: 단계 13에 의해 탐색된 위상 요소에 의한 최소의 PAPR을 저장한다.

간단히, 본 논문에서 제안하는 변형된 유전자 알고리즘을 이용한 새로운 SPW 기법의 전체 구성은 그림 2와 같은 순서도로 설명할 수 있다.

본 논문에서 제안한 그림 2의 유전자 알고리즘 순서도는 그림 1에 있는 SPW 기법의 블록 다이어그램의 위상 요소 최적화(optimization) 부분에 해당한다.

V. 시험 결과 및 해석

본 논문에서 사용한 PAPR 저감 성능 평가를 위한

시뮬레이션 조건은 다음과 같다. 변조 방식으로는 QPSK를 사용하고, 전체 부 반송파의 수를 $N=64$ 로 하였다. 위상 요소의 수는 넷이며, 사용한 위상은 $P=\{1, j, -1, -j\}$ 이다. 전체 64개의 반송파를 각각 8개의 부 반송파로 이루어진 8개의 부 블록으로 나누었고, 정확한 PAPR 감소 성능을 보기 위해 4배 과도 샘플링^[7]을 사용했다. PAPR CCDF를 그리기 위해 100,000개의 랜덤한 OFDM 심볼을 발생시켰다. 시뮬레이션에 사용한 유전자 알고리즘의 조건은 표 1에 나타낸 바와 같다.

변형된 유전자 알고리즘을 사용한 GA-SPW에 의한 PAPR CCDF 그래프는 그림 4와 같다.

그림 3에서 보면 기존의 제안된 GA-SPW 기법에 비해 절반의 탐색량을 가지는 변형된 유전자 알고리

표 1. 유전자 알고리즘 설계 조건
Table 1. Simulation parameters for GA.

세대수 (generation)	1, 5, 10	개체군수 (population)	100
선택 (selection)	적합도에 따른 룰렛 휠 (roulette wheel selection)	교배율 (crossover rate)	1.0
교배점 (crossover point)	2-point	돌연변이율 (mutation rate)	0.05
부분검색법 (local search)	반복기법 ^[11] (iterative flipping)	부분검색수	$W \times M = 32$ W : 위상수, M : 부 블록수

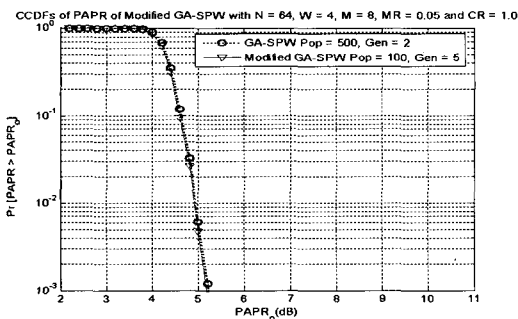


그림 3. 기존의 GA-SPW 기법과 변형된 GA-SPW 기법을 사용한 경우의 PAPR 값의 CCDF
Fig. 3. CCDFs of PAPR of using previously GA-SPW and modified GA-SPW technique.

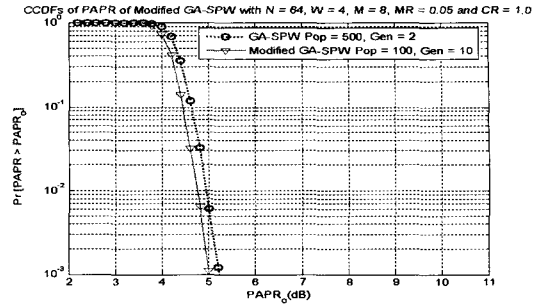


그림 4. 기존의 GA-SPW 기법과 변형된 GA-SPW 기법을 사용한 경우의 PAPR 값의 CCDF
Fig. 4. CCDFs of PAPR of using previously GA-SPW and modified GA-SPW technique.

즘을 적용시킨 GA-SPW 기법이 조금 나은 성능을 보이고, 그림 4에서 보면 동일한 탐색량일 때는 0.2 dB 정도 더 나은 성능을 가짐을 알 수 있다.

그림 5에서 보면 변형된 유전자 알고리즘을 사용하는 GA-SPW 기법이 세대가 1세대로부터 10세대까지 진행될수록 더 좋은 PAPR 감소 성능을 가짐을 알 수 있다.

부 블록 수 M 과 각 부 블록에 고려하는 위상 요소 수 W 가 주어질 때 위상 요소 탐색 방법에 따른 탐색 계산량은 표 2에 나타난 바와 같다.

표 2의 계산량과 그림 6의 PAPR 감소 성능을 보면, 부 블록수 M 이 커지게 되면 일반적인 탐색 기법의 경우, 최적의 PAPR 감소 성능을 보이지만, 부 블록의 수에 비례하여 지수적으로 위상 탐색 계산량이 증가하는 단점이 있다. 반복 기법의 경우에는 계산

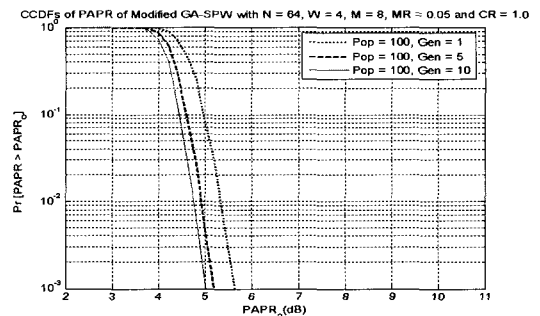


그림 5. 변형된 GA-SPW 기법을 사용한 경우, 세대에 따른 PAPR 값의 CCDF
Fig. 5. CCDFs of PAPR of using modified GA-SPW technique with different generations.

표 2. 최적의 위상 요소 탐색 방법 간의 계산량 비교
Table 2. The comparison of complexity in the search method for optimal phase factor.

특성 기법	계산량	성능 비교 (PAPR 0.1 % 기준)	매개변수
일반 (ordinary)	$W^{M-1}=4^{8-1}=16384$	4.90 dB	M=8, W=4 M: 부블록수 W: 위상수 Pop: 개체군수 Gen: 세대수
반복 (iterative flipping)	$M \times W=8 \times 4=32$	6.8 dB	
유전자 (genetic)	$Pop \times Gen=500 \times 2=1000$	5.30 dB	
변형된 유전자 (modified genetic)	$Pop \times Gen=100 \times 10=1000$	5.00 dB	

본 논문에서는 기존의 GA-SPW 기법보다 더 적은 탐색량으로 주어진 부 블럭에서 최적에 가까운 PAPR 감소 성능을 얻기 위해 기존의 GA-SPW 기법에 새로이 변형된 유전자 알고리즘을 적용하였다. 변형된 유전자 알고리즘은 부모 자식간 적합도 비교검사를 추가하여 부모 세대의 적합도가 자식 세대의 적합도보다 더 좋다면 교배 연산자를 사용하지 않고 부모 세대를 자식 세대로 복제하는 것이다. 이러한 변형된 유전자 알고리즘을 GA-SPW에 적용하였을 때 제안된 기법이 모든 부 블럭과 위상수에 따른 모든 탐색을 하는 일반적인 탐색방법, iterative flipping 그리고 기존의 GA-SPW와 비교할 때 더 나은 PAPR 감소 성능과 더 적은 탐색량을 가짐을 시뮬레이션 결과를 통하여 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] L. J. Cimini Jr., "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing", *IEEE Trans. on Communications*, vol. com-19, pp. 665-675, Jul. 1985.
- [2] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come", *IEEE Communications Magazine*, vol. 28, no. 5, pp. 5-14, May 1990.
- [3] 유흥균, 유희진, "OFDM 전송방식에서 새로운 효과적 PAPR 감소 기법", 충북대학교 논문집, 2002년 8월.
- [4] H. G. Ryu, K. J. Yoon, "A New PAPR Reduction Scheme: SPW(Subblock Phase Weighting)", *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol. 48, pp. 81-89, Feb. 2002.
- [5] R. van Nee, *OFDM Wireless Multimedia Communications*, Boston, MA: Artech House, 2000.
- [6] 김성수, 김명제, 기종해, "유전자 알고리즘을 적용한 SPW에 의한 새로운 OFDM 시스템 PAPR 감소 기법", 한국전자과학회논문지, 16(11), 2005년 11월.
- [7] C. Tellambura, "Computation of the continuous-time PAR of an OFDM signal with BPSK subcarriers", *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, pp. 185-187, May 2001.

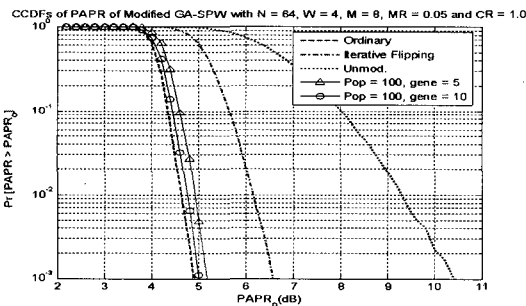


그림 6. 여러 가지 감소 기법과 변형된 GA-SPW 기법을 사용한 경우의 PAPR 값의 CCDF
Fig. 6. CCDFs of PAPR of using modified GA-SPW and previously proposed techniques.

량은 굉장히 작지만, 일반적인 탐색 기법의 성능에 비교해 볼 때 굉장히 나쁘다. 기존의 제안된 유전자 알고리즘은 반복 기법보다는 탐색 계산량이 많지만, 일반적인 기법의 PAPR 감소 성능에는 더 가깝다. 변형된 유전자 알고리즘을 사용하면 일반적인 유전자 알고리즘과 같은 탐색 계산량으로 거의 최적이 가까운 성능을 가짐을 알 수 있다. 또한, 부 블럭 수를 증가시켜도 반복 탐색 계산량이 초기에 정하여준 개체군수와 세대수에 고정되어 위상 탐색의 계산량이 항상 일정한 것은 변함이 없다.

VI. 결 론

[8] K. S. Tang, K. F. Man, and Q. He, "Genetic algorithms and their applications", *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 13, pp. 22-37, Nov. 1996.

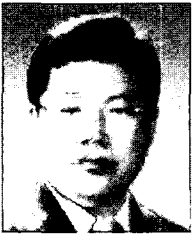
[9] M. Srinivas, L. Patnaik, "Genetic algorithms: a survey", *IEEE Computer*, 1994.

[10] L. Davis, *Handbook of Genetic Algorithms*, Van

Nostrand Reinhold, 1991.

[11] L. I. Cimini, Jr., N. R. Sollenberger, "Peak-to-average power ratio reduction of an OFDM signal using partial transmit sequences", *IEEE Comm. Lett.*, vol. 4, pp. 86-88, Mar. 2000.

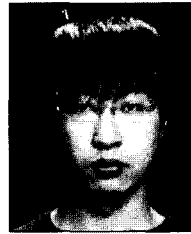
김 성 수



1997년 12월: University of Central Florida (공학박사)
1999년 3월~2001년 8월: 우석대학교 전기공학과 조교수
2001년 9월~현재: 충북대학교 전기공학과 부교수
[주 관심분야] 신호처리, 통신이론,

인공지능

김 명 제



2005년 2월: 충북대학교 전기 전자 컴퓨터공학부 (공학사)
2005년 3월~현재: 충북대학교 전기공학과 석사과정
[주 관심분야] 디지털 통신, 인공지능, 통계 신호처리, OFDM