

# 다중 사용자 OFDM 시스템에서 효율적인 자원 활용을 위한 향상된 유전자 알고리즘 기반의 비트-부반송파 할당방법

학생회원 송 정 섭\*, 정회원 김 성 수\*\*, 장 갑 석\*\*\*, 종신회원 김 동 회\*\*\*\*\*

## Improved Genetic Algorithm Based Bit and Subcarrier Allocation Scheme for Efficient Resource Use in Multiuser OFDM Systems

Jung-sup Song\* *Student Member*, Sung-soo Kim\*\*, Kapseok Chang\*\*\* *Regular Members*  
Dong-hoi Kim\*\*\*\*\*° *Lifelong Member*

### 요 약

다중 사용자 OFDM 시스템에서 제한된 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 부반송파와 비트의 할당은 중요한 역할을 한다. 하지만 부반송파와 비트의 할당문제는 비선형적 문제로 모든 경우의 수를 계산하여 최적의 값을 얻기에는 사실상 불가능하다. 본 논문에서는 비선형적 문제의 효율적인 자원 활용을 위해서 새로운 유전자 알고리즘을 사용하였다. 논문에서 제안된 알고리즘은 기존의 정형화된 유전자 알고리즘보다 다양한 조합을 참고하여 해를 찾게 된다. 따라서 수치적 시뮬레이션 결과들을 통해서 기존의 알고리즘들과 제안된 알고리즘을 비교해 볼 때, 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘들보다 뛰어난 성능을 보임을 확인하였다.

**Key Words** : Genetic Algorithm, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Subcarrier-and-bit Allocation, Power Minimization

### ABSTRACT

In multiuser OFDM systems, subcarrier and bit allocation plays an important role for the efficient resource use. However, in multiuser adaptive allocation as a non-linear problem, it is impractical to compute all to get the best solution because of the complexity. We set the goal of minimizing the transmit power while satisfying the BER and minimum bits required to transmit through the highest fitness combination of subcarriers and users. The proposed improved genetic algorithm employs the diversity of adaptive allocation more than existing genetic algorithm. Therefore, from the numerical simulation results, we find that the proposed heuristic algorithm has more performance than the existing algorithms.

### I. 서 론

최근 무선 이동통신이 많은 관심을 받고 있으

며, 이로 인해 무선 이동통신의 수요 또한 급속한 증가를 보이고 있다. 무선 이동통신 기술의 중요한 관심사 중에 하나는 이렇게 급속하게 증가하

---

\* 강원대학교 전기전자공학부 학사과정(ongjs@kangwon.ac.kr), \*\* 강원대학교 산업공학과 부교수 (kimss@kangwon.ac.kr)  
\*\*\* 한국전자통신연구원 선임연구원 (schang@etri.re.kr), \*\*\*\* 강원대학교 전기전자공학부 조교수 (donghk@kangwon.ac.kr) (° : 교신저자)  
논문번호 : KICS2008-07-322, 접수일자 : 2008년 7월 21일, 최종논문접수일자 : 2008년 10월 6일

는 수요를 만족시키기 위해서 한정된 자원을 얼마만큼 효율적인 방법으로 사용하느냐 하는 것이다. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)은 고속의 병렬 데이터 전송 방식 중의 한 종류로 하나의 전송 대역폭을 다수의 부반송파로 나누어 직렬의 데이터 스트림을 병렬의 데이터 스트림으로 전송하는 기술로써 광대역의 고속 서비스에서 제한된 대역폭의 효율적인 사용과, 다중경로 페이딩(multipath fading) 환경에서 Inter-symbol Interference (ISI) 문제에 큰 장점을 가지고 있으며, 현재 유럽의 디지털 음성 방송(digital audio broadcasting), 지상파 디지털 방송(digital video broadcasting-terrestrial), 광대역 무선 접속 네트워크(broadband radio access network) 등의 많은 종류의 무선통신 서비스에서 뿐만 아니라 WLAN 통신에서도 사용되고 있다<sup>[1-2]</sup>.

송수신기가 순간의 채널 전송 환경을 알고 있다는 가정에서 적응형 변조 방식은 OFDM 시스템에서 현저한 성능 향상을 보이는 것은 많은 논문에서 보이고 있다<sup>[3-5]</sup>. 뿐만 아니라 단일 사용자 OFDM 시스템에서는 water-filling 알고리즘을 사용한 부반송파(subcarrier)와 비트(bit) 할당 방식은 전송 파워를 최소화 하는 방법으로 제시되고 있으나<sup>[6-7]</sup>, 다중사용자 OFDM 시스템에서는 이보다 훨씬 복잡한 절차가 필요하다. 이러한 부반송파와 비트 할당의 문제를 해결하는 한 가지 방법으로는 정적 채널 할당 알고리즘<sup>[8-9]</sup>을 예로 들 수 있다. 이러한 고전적인 할당방법들은 단순히 복수개의 서브채널(sub-channels)로 자원을 나누어 채널 이득 등의 채널 정보를 무시한 채 미리 정해진 전송 채널을 임의의 사용자에게 할당하므로 최적의 성능을 찾기에는 부적합하다.<sup>[1-3, 10]</sup>

이러한 부반송파와 비트 할당의 문제를 해결하는 또 다른 한 가지 방법은 동적 할당 방식이 있다<sup>[11-14]</sup>. 동적 채널 할당방법들은 일정한 주기 동안 수집된 채널 정보를 바탕으로 적응형 서브채널과 적응형 변조 방식을 사용하여 각각의 사용자에게 적절하게 서브채널을 할당 하여 자원의 효율성을 향상시킨다<sup>[1-3]</sup>. 대부분의 서브채널과 사용자간의 할당의 문제는 비선형적 문제로써 극심한 복잡성을 지니고 있기 때문에, 실시간으로 최적화된 조합을 찾기란 사실상 불가능한 일이다. 최적의 조합을 찾기 위한 차선의 방법으로 한계적 알고리즘(marginal algorithm)과 비례 알고리즘(rate algorithm)을 사용하고 있는데, 한계적 알고

리즘 방식은 각 사용자의 전송 데이터를 구성하는 전송 파워를 최소화 하여 전체 전송 파워를 줄이는 방식이고<sup>[11, 16-18]</sup>, 비례 알고리즘 방식은 최대의 데이터 전송률과 전송파워의 상황에서 각각의 사용자의 데이터 전송률을 최소화 하는 방식이다<sup>[12-13, 19]</sup>. Wong이 제안한 반복적 검색방법인 Lagrangian 알고리즘<sup>[11]</sup>을 통해서 최적의 값에 가까운 값을 찾을 수는 있지만, 비현실적인 복잡성은 여전히 문제가 된다. 이러한 접근방식의 알고리즘들은 복잡성이 큰 비선형적 문제로써 최적의 값을 찾아내기에는 적합하지 않다.

그러므로 본 논문에서는 비선형적 문제를 단순화하기 위해서 변조 방식이 채널환경에 따라서 고정되어 있다고 가정하고<sup>[16, 18]</sup> 발견적 할당 알고리즘(heuristic allocation algorithm)을 사용하여 효율적으로 최적의 가까운 값을 찾을 수 있는 알고리즘들을 제안한다. 이 논문의 주요 기여사항은 기존에 제안된 유전자 알고리즘에 수정함수 기법, 임의 선택 기법, 그리고 적응적 돌연변이 확률 변화기법 등의 기능을 추가한 발전된 유전자 알고리즘을 사용하여 효율적으로 더 좋은 수렴 값을 찾는 다는 것이다.

이 논문의 나머지 부분에서는 우선 시스템 모델에 대해서 살펴보고(II장), 개선된 유전자 알고리즘에 대해서 살펴보게 된다(III장). 다음으로 IV 장에서는 시뮬레이션 결과를 살펴보고, 마지막 V 장에서는 결론으로 구성이 된다.

## II. 시스템 모델

다중 사용자 OFDM 시스템의 구성도가 그림 1과 같다. 시스템 내에는  $K$  명( $k = 1, 2, 3, \dots, K$ )의 사용자가 있다고 가정하고,  $N$  개( $n = 1, 2, 3, \dots, N$ )의 가용한 부반송파가 존재한다고 가정하였을 때,  $k$ 번째 사용자가 한 OFDM 심볼을 통해 전송하는 비트수를  $r_k$ 라고 하였고 최소한  $R_k$  이상의 비트를 보내는 시스템으로 가정하였다. 또한,  $k$ 번째 사용자가  $n$ 번째 부반송파를 선택 했을 때 거리감쇠(path-loss), 섴도잉(shadowing), 그리고 선택적 주파수 감쇠(selective frequency fading) 등을 고려한 채널 환경  $\alpha_{k,n}$ 에 따라서 변조 방법이 달라지게 되는데, 변조 방법(BPSK, QPSK, 16QAM, 32QAM 등)에 따라서 부반송파에 할당되는 비트수  $C_{k,n}$  ( $M = 0, 1, 2, 3, \dots$ )이 변하게

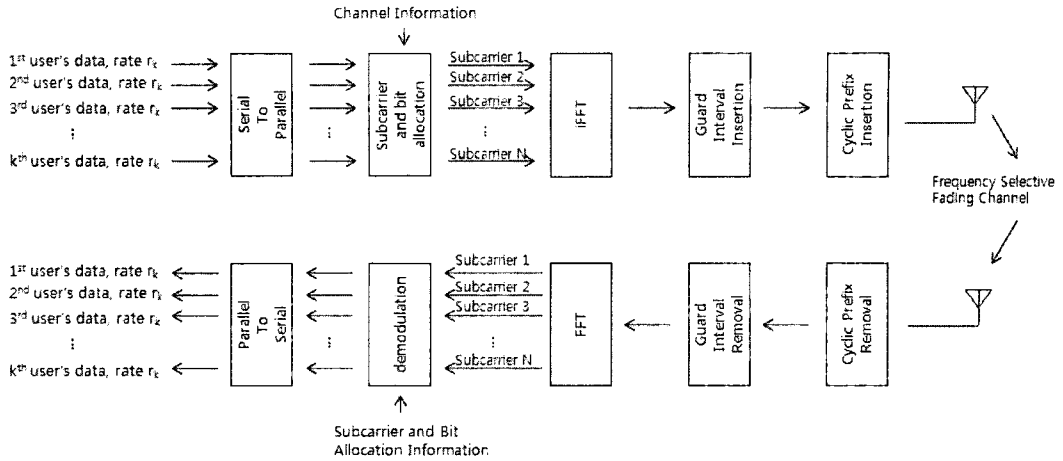


그림 1. 다중 사용자의 OFDM 시스템의 구성도

된다. 그러므로 사용자  $k$ 가 한 OFDM 심볼을 통해서 전송해야하는 비트수  $r_k$ 는

$$r_k = \sum_{n=1}^N C_{k,n} \quad (1)$$

와 같이 나타낼 수 있게 된다. 만약 송신기에서 파일럿 비트 등을 통해서 통신 환경을 완벽하게 알고 있다고 가정한다면, 사용자들을 부반송파에 시험적으로 할당해 봄으로써 부반송파와 사용자 간의 최적의 조합을 찾아낼 수 있게 된다.

본 논문에서의 최적의 조합이란 비트 에러 비율(bit error rate, BER)과 최소전송비트수  $R_k$ 를 만족하는 조건에서  $k$ 번째 사용자가  $n$ 번째 부반송파를 할당받았을 때의 전송 전력인  $p_{k,n}$ 들로 판단하게 된다.

$$p_{k,n} = \frac{f_k(C_{k,n})}{a_{k,n}^2} \quad (2)$$

수식 (1)에서  $f_k(\cdot)$ 는 목표 BER을 만족하는 수신 전력이 되고,  $f_k(C_{k,n})$ 은  $C_{k,n}$ 개의 전송 비트 수에 대한 BER을 만족하는 수신 전력으로, M-ary QAM 일때,<sup>[20]</sup>

$$f_k(C_{k,n}) = \frac{N_0}{3} [Q^{-1}(\frac{BER}{4})]^2 (2^{C_{k,n}} - 1) \quad (3)$$

와 같이 나타낼 수 있고, 수식에서  $N_0$ 은 single-side power spectrum density를 나타내고, 에러함수(error function)인  $Q(x)$ 는

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (4)$$

와 같이 정의할 수 있다.

여기서 사용자는 한 OFDM 심볼을 통해 전송해야하는 비트수에 따라서 복수개의 부반송파를 할당받을 수 있지만, 하나의 부반송파는 동시에 두 명이상의 사용자가 공유할 수 없다.  $n$ 번째 부반송파에는 하나의 OFDM 심볼 주기 동안 오직  $n$ 번째 사용자에게만 할당 되는데,  $n$ 번째 부반송파가  $k$ 번째 사용자에게 할당이 되었다면  $p_{k,n} = 1$  이 되고, 어떠한 사용자에게도 할당이 되지 않았다면  $p_{k,n} = 0$ 이 된다.

$$p_{k,n} = \begin{cases} 1 & \text{if } C_{k,n} \neq 0 \\ 0 & \text{if } C_{k,n} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

그러므로 다중 사용자 OFDM 시스템에서 한 OFDM 심볼 전체 전송 전력  $P_k$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_k = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K p_{k,n} p_{k,n} = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \frac{f_k(C_{k,n})}{a_{k,n}^2} \times p_{k,n} \quad (6)$$

그러므로 본 논문에서 부반송파와 비트 할당의 목적은 송신기에서 가지고 있는 채널 정보를 바탕으로 어떤 사용자가 전송해야하는 비트수를 한 OFDM 심볼을 통해 전송하기 위해서 적절한 부반송파들을 사용자들에게 할당함으로써 전체 전송전력이 최소가 되는 것이다

$$\min_{C_{k,n}, p_{k,n}} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \frac{f_k(C_{k,n})}{a_{k,n}^2} \times p_{k,n} \quad (7)$$

### III. 개선된 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘<sup>[21]</sup>은 더 뛰어난 개체가 도태된 개체보다 다음 세대로 유전될 가능성이 많다는 자연선택설적 관점에서부터 발전된 방법으로 비선형적(non-linear) 혹은 선형적(linear) 문제에서 빠른 시간 내에 최적의 값에 가까운 해를 찾아주기 위한 방법으로, 모든 경우의 수를 고려해 결과 값을 계산하는 것이 아니라, 세대가 흐름에 따라 반복적인 교배와 돌연변이를 통해서 평가 기준(fitness function)에 따라 최적에 가까운 값으로 점차 수렴하는 형식을 갖는다. 그러므로 사용자와 부반송파의 할당 같이 복잡도가 높은 비선형적 문제에서 제한된 시간 안에 최적에 가까운 값을 찾아주는 데 적합한 알고리즘이다. 기본적인 유전자 알고리즘의 동작방식으로는 그림 2<sup>[21]</sup>와 같이 정형화되어 있다. Wang이 제안한 유전자 알고리즘<sup>[15]</sup>은 기본적인 유전자 알고리즘에 서로 다른 소수의 고정된 돌연변이율을 적용하여 수렴속도를 가속화 하였다. 이러한 Wang이 제안한 유전자 알고리즘보다 효율적으로 제한된 시간 내에서 최적에 가까운 값을 찾아주기 위해서 본 논문에서는 QoS를 만족하지 않는 해에 대한 수정 함수(repair function)기법<sup>[22]</sup>과 임의 선택적 방법(random immigrants)<sup>[23]</sup>, 적응적 돌연변이 확률 변화(Adaptive Mutation Probability)<sup>[23]</sup> 등의 개선된 기법을 사용하였다.

#### Genetic Algorithm()

```

(
  initialization P(t);
  evaluate P(t);
  while
    P' = parentSelection P(t);
    recombine P'(t);
    mutation P'(t);
    P = parentSelection P, P'(t);
)
    
```

그림 2. 정형화된 유전자 알고리즘의 예

#### 3.1 초기화(Initialization)

초기화 작업은 유전자 알고리즘을 이용하여 해를 찾기 위한 처음 단계로서 첫 번째 부모염색체를 생성하게 된다. 우선 코딩과정을 통해서 임의의 사용자와 임의의 부반송파의 조합들을 찾게 된다. 조합의 다양성을 고려하여 임의의 조합을 사용한다. 조합의 표현은 그림 3과 같이 나타내었다. 첫 번째로 만들어진 조합은 식 (7)의 평가함

수에 따라 도태되는 조합들과 우월한 조합들로 평가가 되고, 평가 결과로 첫 번째 부모세대가 만들어진다.

1	2	3	...	N
①	②	③	...	④

그림 3. 유전자 알고리즘 조합의 표현

#### 3.2 교배(recombination)

첫 번째 부모세대가 만들어지면 부모세대의 두 염색체를 찾아서 교배를 시켜주게 되는데, 교배 방법은 crossover 방법을 사용한다. crossover 방법에도 문제에 따라서 단일점(one point), 이중점(two point), 다중점(multi point) crossover<sup>[21]</sup>등의 방법이 존재한다. crossover를 실행하기 위해서는 임의로 기준점을 선택하게 되는데, 단일점 crossover인 경우 선택된 하나의 기준점을 기점으로 해서 그림 4와 같이 두 부모염색체의 요소가 서로 바뀌게 된다. 이중점 crossover의 경우 그림 5와 같이 임의로 두 개의 기준점을 선택하게 되는데, 선택된 두 점을 기점으로 그림과 같이 두 염색체의 요소는 서로 교배된다.

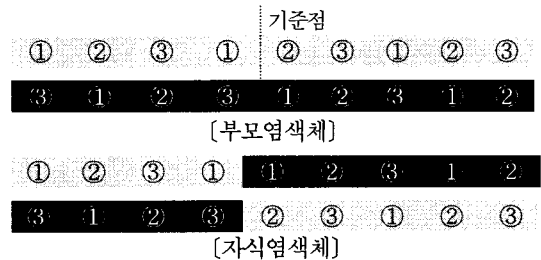


그림 4. 단일점 crossover의 예

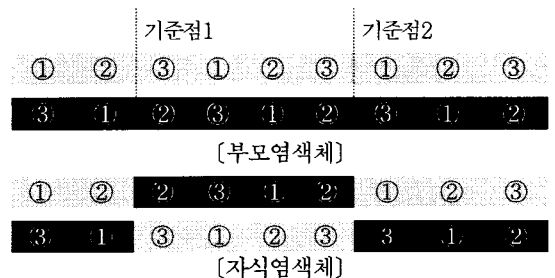


그림 5. 이중점 crossover의 예

#### 3.3 돌연변이(mutating)

돌연변이는 교배를 통해 새로 만들어진 부모염색체를 포함하여 부모세대의 한 염색체를 복사하여 새로운 자식 염색체를 만들어 내는 과정으로, 아주 작은 확률로 요소들을 임의로 변경해 주는 과정을 말한다. 돌연변이 과정은 그림 6과 같이 설명할 수 있다.

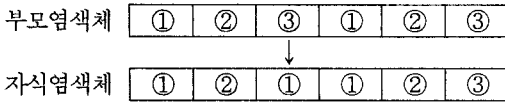


그림 6. 돌연변이 과정의 예

돌연변이 과정을 통해서 새로운 경우의 조합을 고려할 수 있게 되는데, 만약 돌연변이 되어 새로 만들어진 염색체가 이전 염색체보다 우월하다면 선택되어 다음세대에 영향을 주게 되고, 돌연변이의 출현으로 인해, 도태된 염색체는 더 이상 영향을 주지 못하게 된다.

3.4 평가 및 선택(Evaluation&Selection)

평가 과정은 평가함수(fitness function)에 의존하여 교배와 돌연변이 과정에 의해서 만들어지고 수정된 새로운 자식염색체들을 평가하는 것을 말한다. 만약 부모염색체가 P개가 있고, 자식 염색체가 O개가 있다면 평가 대상은 부모염색체 P와 자식염색체 O를 더한 P+O개의 염색체들을 대상으로 가장 좋은 염색체 P개를 다시 추려내어 다음 세대에서 부모염색체로서의 역할을 하게 된다.

3.5 수정 함수(repair function)

수정 함수는 조건식을 만족하지 못하여 적절하지 못한 해를 조건식을 만족하도록 수정하는 과정을 말한다. 교배과정과 돌연변이 과정을 거치고 나면, 부모 염색체가 수정이 되고 조합이 되어 새로운 자식 염색체가 만들어지게 된다. 이렇게 만들어진 자식 염색체는 여러 가지 경우의 상황을 고려하기 위해서 특별한 조건사항을 두지 않고 돌연변이와 교배 과정이 진행된다. 이렇게 제약 없이 교배와 돌연변이 과정이 일어나게 되면, 조건식이나 QoS 등을 만족하지 못하는 해가 만들어 지게 되는데, 이렇게 조건식을 만족하지 못한 해를 갖은 염색체들은 실질적으로 평가 대상에 포함되지 못한다. 하지만, 이러한 자식염색체들 또한 교배와 돌연변이 과정을 거쳐서 만들어진 것이므로 조건식을 만족하기 위해서는 추가적인 수정이 필요하다.

본 논문에서는 임의의 k 사용자가 한 주기의 OFDM 심볼을 통해서 전송하는 비트 수가  $r_k$ 라고 정의하였고 k 사용자의 최소전송비트 수  $R_k$ 를 평가함수의 조건식으로 두고 있다. 따라서 사용자 k의 전송비트 수( $r_k$ )가 요구된 최소전송비트 수 ( $R_k$ )보다 커야만 한다. 그림 7의 수정함수 흐름도와 같이 사용자 k의 전송비트 수( $r_k$ )가 요구된 최

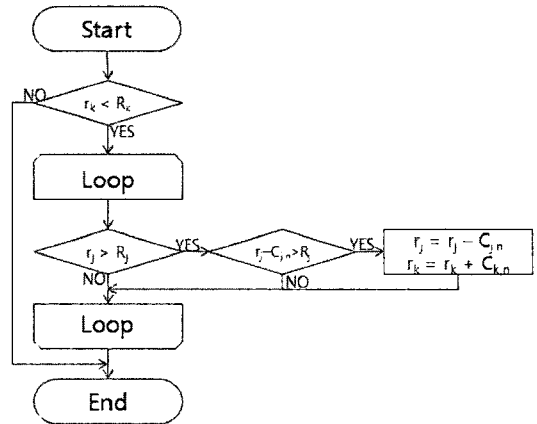


그림 7. 수정함수 흐름도

소전송비트 수( $R_k$ )보다 작은 경우, 즉  $r_k < R_k$ 의 경우에 최소전송비트 수보다 많은 비트를 보내는 다른 사용자 j를 찾게 된다. 따라서 사용자 j에 할당된 부반송파를 사용자 k에 재할당하기 위하여 사용자 j에 할당되어 있는 부반송파 n을 사용자 k에 재 할당함으로써 감소된  $r_j - C_{j,n}$  값이 j 사용자의 최소전송비트 수  $R_j$ 를 만족하는 경우에만 실질적으로 재 할당이 이루어진다. 결과적으로 사용자 j가 전송하는 전송비트 수  $r_j$ 는  $C_{j,n}$  만큼 감소하지만 사용자 k가 전송하는 비트 수  $r_k$ 는  $C_{k,n}$  만큼 증가하게 된다. 이러한 방법을 반복적으로 수행함으로써 전송조건을 만족하도록 하는 수정 함수를 사용하였다.

3.6 임의 선택 (random immigrant)

임의 선택 방법은 다음 세대를 위한 부모염색체의 선택을 할 때, 현재 당장에는 좋지 않지만, 나중에 좋아질 수도 있기 때문에 임의의 조합을 현재의 평가함수에 의존한 평가가 좋지 않더라도 다음 세대의 부모 염색체에 포함시키는 방법을 의미한다. 이렇게 좋지 않은 해를 다음 세대에 반영하는 이유는 세대의 다양성을 증가시켜 주기 위함으로, 다시 말하면, 더 다양하고 많은 경우의 해를 고려해 줌으로써 최적에 더 가까운 해를 찾기 위함이다. 이는 낙제 조작(the pluck operation)이라고도 하며, 이 방법이 더 좋은 성능을 보여준다는 결과가 발표되었다<sup>[24,25]</sup>.

3.7 적응적 돌연변이율 변화

적응적 돌연변이율의 변화는 부모염색체의 다양성에 따라서 돌연변이 확률을 조절하는 방식을

말한다. 돌연변이 과정을 통해서 지식 염색체를 만들 때, 작은 확률의 변화율로 부모염색체의 요소를 임의의 요소로 수정하게 되는데, 부모염색체가 같은 값을 계속 찾게 된다면, 돌연변이 확률은 낮아지게 된다. 이러한 돌연변이율을 변화시켜서 보다 다양한 해를 검색하는 방식은 Wang이 제안한 방식과 비슷하다. 하지만 Wang은 한 세대에서 찾은 최적의 해가 전 세대의 최적의 값과 비교했을 때, 몇 번 같은 값이 반복되는가에 따라 미리 정해놓은 소수의 변화율의 변화만을 보이지만, 본문에서 제안하는 적응적 돌연변이 변화율 방식은 전 세대와 이번 세대의 부모염색체의 다양성에 따라 동적인 돌연변이율을 적용한다. 즉, 이전 세대의 부모염색체와 현재세대의 부모염색체가 얼마나 다른가를 부모염색체의 다양성이라고 하고  $P_{av}$  라고 한다면,

$$P_{av} = 1 - \frac{\text{재선택된부모염색체의수}}{\text{선택된부모염색체의총수}} \quad (8)$$

위의 식과 같이 정의할 수 있고, 돌연변이 확률  $n_m$  은 식 (9)과 같이 정의되고, 그림 8과 같은 돌연변이율의 변화를 보여 준다.

$$n_m = 0.3 - 0.15 \times \frac{e^{6P_{av} - 3} - 1}{e^{6P_{av} - 3} + 1} \quad (9)$$

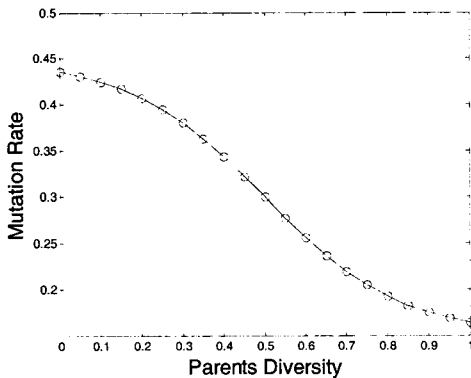


그림 8. 부모염색체의 변화에 따른 돌연변이율의 변화

#### IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 Wong이 제안한 Lagrangian 알고리즘<sup>[11]</sup>과 Wang이 제안한 개선되지 않은 유전자 알고리즘<sup>[15]</sup>, 그리고 논문에서 제안하는 유전자 알고리즘의 성능을 비교하였다. Greedy Approach

를 토대로 하고 있는 Lagrangian 방식은 채널 이득이 가장 큰 사용자부터 먼저 부반송파에 할당하는 방식으로 다중사용자 시스템의 조건에 맞게 두 가지의 제한식을 추가하여 다음과 같은 식을 기본으로 사용자에게 부반송파와 비트를 할당하게 된다.

$$P_T = \min_{\substack{r_{k,n} \in M_{p,k,n} \\ \rho_{k,n} \in [0,1]}} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \frac{\rho_{k,n}}{a_{k,n}^2} f_k\left(\frac{r_{k,n}}{\rho_{k,n}}\right) \quad (10)$$

subject to

$$R_k = \sum_{n=1}^N r_{k,n} \text{ for all } k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (11)$$

$$1 = \sum_{k=1}^K \rho_{k,n} \text{ for all } n \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (12)$$

또, Wang의 유전자 알고리즘은 정형화된 유전자 알고리즘에 한 세대에서 찾은 가장 좋은 하나의 해가 반복되는 횟수에 따라서 미리 정해놓은 소수의 돌연변이율을 변화시켜 적용한 방식만을 추가한 알고리즘이다. 반면, 본문에서 제안하는 개선된 유전자 알고리즘 방식은 수정함수, 임의선택, 적응형 돌연변이율 변화 등의 다양한 추가적인 기술들을 적용하였다.

전체 사용자의 수  $K$ 는 4~9명이고 부반송파의 수  $N$ 은 64개 한 OFDM 심볼당 전송되어야 하는 최소비트 수  $R_k$ 는 24비트로 하였다. 변조기법은 채널환경에 따라 4QAM, 16QAM, 64QAM을 사용하였고, 목표 BER은  $10^{-3}$ 으로 설정하였으며, 세대수는 300세대를 비교하였다. 유전자 알고리즘의 한 세대마다 100개의 지식염색체를 가지고 10개의 부모염색체를 가지게 되며, Wang의 유전자 알고리즘의 돌연변이율은 0.1을 시작으로 같은 값이 5번이 반복되면 0.2로 돌연변이율을 증가하고, 10번이 반복되면 0.4, 15번이 이상 반복되면 0.5로 증가하였다.

그림 9는 Lagrangian 알고리즘(Lagrangian), Wang의 유전자 알고리즘(Existing Genetic) 그리고 제안하는 개선된 유전자 알고리즘(Proposed Genetic)의 사용자 수의 변화에 따른 최소 전송 전력을 측정한 값이다. 자세한 파라미터는 언급한 내용과 같다. 시뮬레이션 결과, 사용자의 수가 변화함에 따라서, 4명일 때 1.2dBm에서 9명일 때는

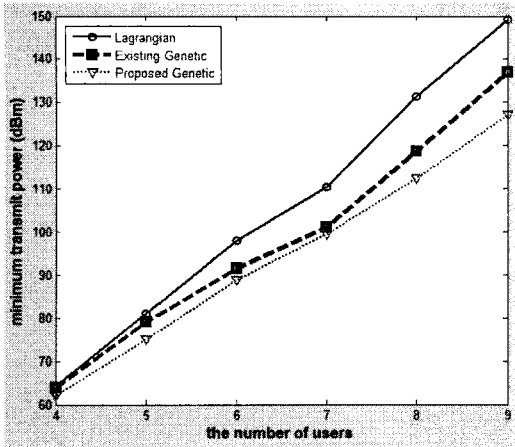


그림 9. 사용자수 변화에 의한 최소 전송 전력

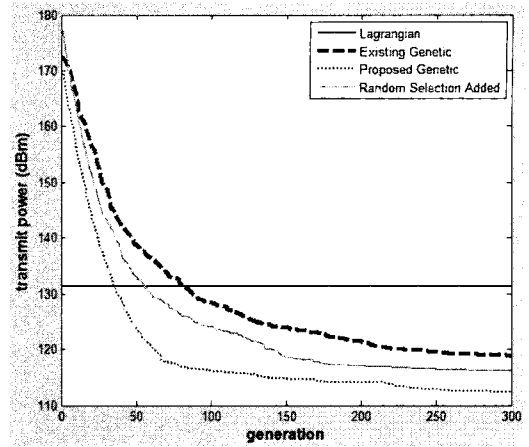


그림 11. 기존 유전자 알고리즘 + 임의선택 방법

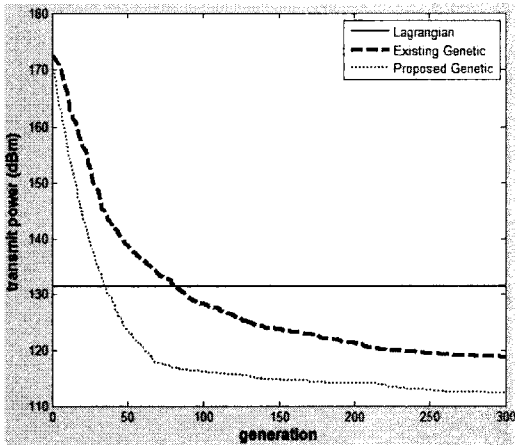


그림 10. 사용자 수  $K = 8$  일 때 총 전송전력

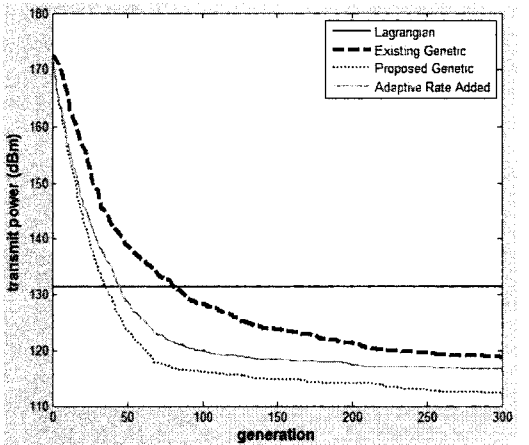


그림 12. 기존 유전자 알고리즘 + 적응형 돌연변이율 변화

22dBm의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 복잡도가 높을수록 유전자 알고리즘의 성능이 Wong이 제안한 Lagrangian 알고리즘보다 우수한 성능을 보이는 것을 의미할 뿐만 아니라, 제안된 유전자 알고리즘이 정형화된 기존의 유전자 알고리즘보다 뛰어난 것으로 나타났다.

그림 10은 위와 같은 조건에서 사용자가 8명일 때 유전자 알고리즘이 동작하여 수렴하는 것을 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 본 논문에서 제안하는 유전자 알고리즘이 기존의 정형화된 유전자 알고리즘보다 빠른 수렴과 더 낮은 전송파워를 갖는다. 이는 추가한 세 가지 추가적 기술 때문인데, 본 논문에서 제시한 세 가지의 추가적 기술들이(수정함수, 임의선택, 적응형 돌연변이율 변화) 어떠한 발전적 결과를 가져오는가를 살펴본 결과가 그림 11, 그림 12 그리고 그

림 13에서 설명된다.

그림 11은 기존 알고리즘에 임의의 선택 방법(Random Selection Added)만을 추가한 결과이다. 임의의 선택 방법을 적용한 결과를 살펴보면 기존의 알고리즘보다 빠른 수렴의 결과를 나타내고 또한 더 낮은 전송파워를 갖는 값을 찾을 수 있었다. 이는 현재에는 좋지 않지만 다음 세대에 좋은 영향을 줄 수 있는 임의의 값을 선택하므로 인해서 보다 다양한 값들을 검색할 수 있기 때문이다.

반면 그림 12를 살펴보면 적응형 돌연변이율의 변화(Adaptive Rate Added)만을 기존의 유전자 알고리즘에 추가한 값을 나타낸 그래프이다. 시뮬레이션 결과, 소수의 미리 정해놓은 돌연변이율을 적용할 때보다 동적인 변화율을 적용한 결과 수렴속도를 가속화하는 결과를 갖는다. 이는 세대가 진행됨에 따라 적절한 돌연변이율을 사용함에 따

라, 빠른 검색을 유도할 수 있기 때문이다. 즉, 초기에는 비교적 높은 돌연변이율로 다양한 값들을 검색하고, 세대가 진행할수록 낮은 돌연변이율로 좋은 값이 있을 것 같은 지역을 집중적으로 검색하기 때문이다.

마지막으로 그림 13을 살펴보면, 기존의 유전자 알고리즘에 수정함수(Repair Func Added)만을 추가하여 얻은 결과로 제안하는 유전자 알고리즘과 비슷한 값을 찾을 뿐만 아니라, 수렴속도 또한 기존의 유전자 알고리즘보다 더욱 가속화 된 것을 볼 수 있는데, 이는 유전자 알고리즘의 동작 중에 발생한 조건식을 만족하지 못하는 해들을 조건식을 만족하도록 수정하는 과정이 보다 다양한 값을 검색할 수 있는 기회를 주었기 때문이다.

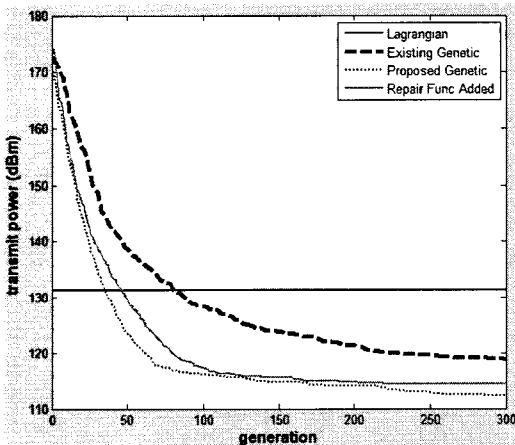


그림 13. 기존의 유전자 알고리즘 + 수정함수

## V. 결 론

본 논문에서는 다중 사용자 OFDM 시스템에서 요구되는 최소 전송 비트수와 BER을 만족하면서 전송전력을 최소로 하는 효율적인 유전자 알고리즘들을 제안하였다. 다중 사용자 OFDM 시스템에서 부반송파와 사용자 조합의 문제와 같이 비선형성을 갖고 있는 문제는 복잡도가 너무 크기 때문에 모든 해를 찾아보는 것은 비현실적이다. 따라서 모든 해가 아닌 우수한 해를 찾아주기 위해서 발견적 알고리즘인 유전자 알고리즘을 사용하는 것이 연구되었다. 본 논문에서는 기존의 정형화된 유전자 알고리즘보다 빠른 수렴과 더 낮은 전송파워를 갖게 하기 위하여 세 가지의 추가적 기술들이(수정함수, 임의선택, 적응형 돌연변이율

변화) 추가된 새로운 유전자 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 유전자 알고리즘이 기존의 Lagrangian 알고리즘보다 좋은 해를 찾을 수 있었을 뿐만 아니라 기존의 정형화된 알고리즘보다도 다양한 해를 고려하고 돌연변이율을 부모세대의 다양성에 따라 변화시켜 주었기 때문에 수렴속도의 향상과 더 좋은 값을 찾을 수 있음을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Bakhtiari, E. and Khalaj, B.H., "A New Joint Power and Subcarrier Allocation Scheme for Multiuser OFDM Systems", Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2003. PIMRC 2003. 14th IEEE Proceedings on, 1959- 1963 Vol.2, 7-10 Sept. 2003.
- [2] Guodong Zhang, "Subcarrier and Bit Allocation for Real-time Service Multiuser OFDM System", Communications, 2004 IEEE International Conference on, 2985- 2989 Vol.5, 20-24 June 2004.
- [3] Rohling, H. and Grunheid, R., "Performance of an OFDM-TDMA mobile communication system", Vehicular Technology Conference, 1996. 'Mobile Technology for the Human Race', IEEE 46th, 1589-1593 Vol.3, 28 Apr-1 May 1996.
- [4] Czulwik, A., "Adaptive OFDM for wideband radio channels", Global Telecommunications Conference, 1996. GLOBECOM '96. 'Communications: The Key to Global Prosperity, 713-718 Vol.1, 18-22 Nov 1996.
- [5] Rohling, H. and Gruneid, R., "Performance comparison of different multiple access schemes for the downlink of an OFDM communication system", Vehicular Technology Conference, 1997 IEEE 47th, 1365-1369 Vol.3, 4-7 May 1997.
- [6] T.M. Cover and J. A. Thomas, Elements of Information Theory, Wiley, New York, NY 1991
- [7] Thomas Starr, John M. Cioffi, and Peter J. Silverman, Understanding Digital Subscriber Line Technology, Prentice Hall PTR , 1999.
- [8] Jamali, S.H and Le-Ngoc, T., "Performance Comparison of Different Multiple Access Scheme for the Downlink for OFDM Communication System", Vehicular Technology, IEEE



- Transactions on, 505-515 Vol.41, Nov 1992.
- [9] R. Prasad, *OFDM Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [10] Reddy, Y.B. Gajendar, N. Taylor, Portia Madden, and Damian, "Computationally Efficient Resource Allocation in OFDM System: Genetic Algorithm Approach", *Information Technology*, 2007. ITNG '07. Fourth International Conference on, 36-41, 2-4 April 2007.
- [11] Cheong Yui Wong, Cheng, R.S. Lataief, K.B. Murch, and R.D., "Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit, and Power Allocation", *Selected Areas in Communications*, IEEE Journal on, 1747-1758 Vol.17, Oct 1999.
- [12] Yin, H. and Liu, H., "An Efficient Multiuser loading algorithm for OFDM-based broadband wireless systems", *Global Telecommunications Conference*, 2000. GLOBECOM '00. IEEE, 103-107 Vol.1, 2000.
- [13] Rhee, W. and Cioffi, J.M., "Increase in capacity of multiuser OFDM system using dynamic subcarrier allocation", *Vehicular Technology Conference Proceedings*, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st, 1085-1089 Vol.2, 2000.
- [14] Jiho Jang and Kwang Bok Lee, "Transmit Power Adaptation for Multiuser OFDM Systems", *Selected Areas in Communications*, IEEE Journal on, 171-178 Vol.21, Feb 2003.
- [15] Yongxue Wang, Fangjiong Chen, and Gang Wei, "Adaptive Subcarrier and Bit Allocation for Multiuser OFDM System Based on Genetic Algorithm", *Communications, Circuits and Systems*, 2005. Proceedings. 2005 International Conference on, 242- 246 Vol.1, 27-30 May 2005.
- [16] Cheong Yui Wong, Tsui, C.Y., Cheng, R.S., and Letaief, K.B., "A real-time subcarrier allocation scheme for multiple access downlink OFDM transmission", *Vehicular Technology Conference*, 1999. VTC 1999-Fall. IEEE VTS 50th, 1124-1128 Vol.2, 1999.
- [17] Kivanc, D. and Hui Liu, "Subcarrier allocation and power control for OFDMA", *Signals, Systems and Computers*, 2000. Conference Record of the Thirty-Fourth Asilomar Conference on, 147-151 Vol.1, 2000.
- [18] Inhyoung Kim, Hae Leem Lee, Beomsup Kim, and Lee, Y.H., "On the use of linear programming for dynamic subchannel and bitallocation in multiuser OFDM", *Global Telecommunications Conference*, 2001. GLOBECOM '01. IEEE, 3648-3652 Vol.6, 2001.
- [19] Munz, G., Pfletschinger, S., and Speidel, J., "An efficient water-filling algorithm for multiple access OFDM", *Global Telecommunications Conference*, 2002. GLOBECOM '02. IEEE, 681-685 Vol.1, 17-21 Nov. 2002.
- [20] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th Ed. New York:Mcgraw-Hill. 2000.
- [21] Man, K.F., Tang, K.S., and Kwong, S., "Genetic Algorithms: Concepts and Applications", *Industrial Electronics*, IEEE Transactions on, 519-534 volume 43, Oct 1996.
- [22] X. Hue, "Genetic algorithms for optimization: Background and applications", in *Proc. 1st NASA/DoD Workshop on Evolvable Hardware*, pp.76-84, 1999.
- [23] Lima, M.A.C., Araujo, A.F.R., and Cesar, A.C., "Adaptive Genetic Algorithm for Dynamic Channel Assignment in Mobile Cellular Communication Systems", *Vehicular Technology*, IEEE Transactions on, 2685-2696 Vol.56, Sept. 2007.
- [24] A.K. Tripathi, D.P. Vidyarthi, and A.N. Mantri, "A Genetic Task Allocation Algorithm for Distributed Computing System Incorporating Problem Specific Knowledge," *Int'l J. High Speed Computing*, Vol.8, No.4, pp.363-370, 1996.
- [25] J.J. Grefenstette, "Incorporating Problem Specific Knowledge into Genetic Algorithm," *Genetic Algorithm and Simulated Annealing*, Morgan Kaufman, 1987.

송 정 섭 (Jung-sup Song)

학생회원



2002년 2월~현재 강원대학교  
전기전자공학과 학사 과정  
<관심분야> 차세대이동통신시  
스템, 무선자원 관리 알고리  
즘 및 최적화

장 갑 석 (Kapseok Chang)

정회원



1994년 2월 한국항공대학교 공  
학사  
1999년 8월 한국정보통신대학  
교 공학석사  
2005년 8월 한국정보통신대학  
교 공학박사  
2005년 7월~현재 한국전자통신

연구원 선임연구원

<관심분야> 릴레이 시스템 최적화, Network Coding,  
간섭제거, MIMO 송수신, 스마트 안테나

김 성 수 (Sung-soo Kim)

정회원



1986년 2월 한양대학교 산업공  
학과 졸업  
1993년 7월 Univ. of Wisconsin-  
Madison MS  
1996년 5월 Arizona State Univ.  
Ph.D.  
1989년 7월~1991년 7월 삼성  
전자 기술기획실 주임

1996년 7월~1998년 2월 한국통신연구소 선임연구원  
1998년 3월~현재 강원대학교 산업공학과 부교수

<관심분야> Systems Optimization, Genetic Algorithm,  
Ant Algorithm, 이동통신

김 동 회 (Dong-hoi Kim)

중신회원

한국통신학회논문지 08-7 Vol.33, No.7 참조