

# 무선 메쉬 네트워크 환경에서 빠른 빔형성을 위한 개선된 유전알고리즘

이 동 규\*, 안 중 민\*, 박 철\*\*, 김 한 나\*\*, 정 재 학<sup>o</sup>

## Modified Genetic Algorithm for Fast Beam Formation in Wireless Network

Dong-kyu Lee\*, Jong-min Ahn\*, Chul Park\*\*, Han-na Kim\*\*, Jae-hak Chung<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 메쉬 네트워크의 이동노드에 대해 기존의 유전알고리즘을 이용한 빔형성과 같은 성능을 가지면서 빠른 수렴속도를 가지고 지역해에 빠지지 않는 개선된 유전알고리즘을 제안한다. 제안한 빔형성 유전알고리즘은 빠른 수렴속도를 얻기 위해서 교배과정에서 적합도가 높은 염색체의 일정비율을 추출하고 지역해에 빠지는 것을 방지하기 위해 하위 염색체로 교배에 사용하였다. 그리고 적합도 측정용 빔형성의 기준 빔패턴을 가우시안 함수를 이용하여 수렴속도를 더욱 빠르게 하였다. 전산모의 실험을 통하여 제안한 빔형성 유전알고리즘이 기존의 빔형성 유전알고리즘 방식과 비교하여 약 20%의 빠른 수렴속도가 향상되었음을 보였다.

**Key Words** : Wireless mesh network, genetic algorithm, beamforming, optimization, fitness value

### ABSTRACT

This paper proposes a modified genetic algorithm that has the same beamforming performance and a fast convergence speed using general genetic algorithm in order to form a beam for the mobile node in a mesh network. The proposed beamforming genetic algorithm selects a part of chromosome a high fitness value in mating process to obtain fast convergence speed, and rest part of chromosome with longer fitness value in order to avoid local solution. Furthermore, the reference beam pattern with Gaussian shape reduces additional convergence speed. Simulation shows that the convergence speed of proposed algorithm improves 20% compared with that of conventional beamforming genetic algorithm.

### I. 서 론

무선 메쉬 네트워크(Wireless mesh network)는 고정된 유전 네트워크에 의존하지 않고 무선망을 이용하여 네트워크를 구축하는 기술이다. 메쉬 네트워크를

구성하기 위해 물리계층은 안정적으로 링크를 유지해야 한다.

메쉬 네트워크의 무선망을 이용하여 이동하는 노드들의 정보교환을 할 경우에 한 링크가 끊어지면 라우팅을 통하여 다른 경로로 정보를 전달하게 된다<sup>[1]</sup>. 이

\* 본 논문은 민군겸용기술사업(Dual Use Technology Program)의 지원을 받아서 작성되었습니다.

• First Author : Inha University Department of Electronic Engineering, estimable@naver.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : Inha University Department of Electronic Engineering, jchung@inha.ac.kr, 종신회원

\* 인하대학교

\*\* 한국전자통신연구원

논문번호 : KICS2015-07-218, Received July 13, 2015; Revised September 8, 2015; Accepted September 8, 2015

런 무선 메쉬 네트워크가 안정적으로 운용되기 위해서는 물리계층의 링크 성능을 높이는 것이 필요하다<sup>[2,3]</sup>. 그리고 노드들이 이동할 경우 이동노드에 대해 빔형성을 유지시켜야 한다. 이를 위해 빠른 연산이 가능하면 다른 노드에 간섭을 주지 않도록 원하는 패턴을 가지는 빔형성 기법이 필요하다.

일반적인 지연-합, MVDR 빔형성 방법보다 유전알고리즘을 통한 빔형성 방법이 좋은 주빔이나 부빔의 빔패턴을 보인다<sup>[3]</sup>. 그러나 유전알고리즘의 경우 안테나의 빔형성 벡터를 구하는데 시간이 많이 소요된다. 또한 파라미터의 설정 값과 선택, 교배, 변이의 방법에 따라 지역해에 빠질 수 있는 단점이 있다. 이러한 점을 극복하기 위해 대표적인 진화론적 알고리즘인 입자무리 최적화(Particle swarm optimization:PSO), 유전알고리즘(Genetic algorithm:GA), 침입 잡초 최적화(Invasive weed optimization:IWO)의 특성을 결합한 알고리즘도 사용되었고 교배와 변이의 방법이 변화를 주어 위의 단점을 해결하고자 하였다<sup>[4,5]</sup>.

본 논문에서는 기존의 유전알고리즘을 이용한 빔형성과 같은 성능을 가지면서 수렴속도가 빠른 유전알고리즘 빔형성 기법을 제안한다. 유전알고리즘의 교배 방법을 통해 추출할 때 상대적으로 우성인 염색체에 비중을 주면서 열성의 염색체도 사용하여 수렴속도를 향상시키고 지역해에 빠지지 않게 한다. 그리고 적합도 계산에 사용할 기준 빔패턴 형성과정에서 가우시안 가중치 기준 빔패턴을 사용함으로써 수렴속도를 추가적으로 개선한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기본적인 빔형성 기법에 대해 장단점과 유전알고리즘에 대해 설명하고 III장에서는 제안된 유전알고리즘과 제안된 기준 빔패턴에 대해 설명한다. IV장에서는 전산 모의 실험을 통하여 기존의 유전알고리즘과 제안된 유전알고리즘의 성능 실험을 하였고 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

### 2.1 빔형성 기법

무선 메쉬 네트워크에서 각 노드들이 이동하는 경우 이동하는 노드들의 다양한 위치에 서로 일정한 성능을 유지시켜 주는 방법이 필요하다. 360°에 걸쳐 균일한 빔형성을 제공하기 위해 원형 배열 안테나를 사용하였다<sup>[6]</sup>. 만일 노드들의 위치가 인접하게 붙어있을 경우 노드들의 링크를 안정적으로 연결하기 위해 다중 빔에 대한 각 노드의 신호 대 간섭 비가 최대화되

도록 빔형성 벡터를 빠르게 연산해야 한다.

빔형성 방법으로는 지연-합 빔형성, null-steering, MVDR 빔형성 기술 등 여러 가지 빔형성 기술이 있다. 지연-합 빔형성 기법은 빔형성 벡터를 간편한 연산을 통해 구할 수 있는 장점이 있지만 간섭 신호의 제거가 용이하지 않다.

다수의 간섭신호가 존재하는 상황에서 간섭신호를 최소화하는 가중치를 구하는 방법인 null-steering 빔형성 기술이 있다. 수신단에서 가진 다수의 간섭신호에 대한 방향 정보를 이용하여 간섭 신호를 제거한다. 두 노드가 인접한 경우 간섭제거가 효율적으로 이루어지지 않는다. 또한 null-steering 빔형성 기술은 신호 대 간섭 잡음비를 최대화 하는 것을 고려하지 않는 단점을 가지고 있다.

이 단점을 극복하고자 MVDR 빔형성 기술이 개발되었다. MVDR 빔형성은 간섭신호를 최소화시키며 주빔을 최대화시키는 방법이다. 그러나 MVDR 빔형성 기술은 풀-랭크 역행렬 때문에 높은 복잡성을 요구하는 단점을 가지고 있다.

### 2.2 유전알고리즘 빔형성

유전알고리즘은 안테나 빔형성에 대해 기존 빔형성 방법보다 향상된 주빔과 nulling 빔패턴을 보여준다<sup>[7]</sup>. 유전알고리즘을 통하여 다중 안테나의 빔형성을 할 경우 안테나 각각의 빔형성 벡터를 얻어야 한다. 그러므로 안테나 개수가 한 염색체 안에 들어있는 유전자의 수를 의미한다. 유전 알고리즘의 기본절차는 그림 1과 같이 진행된다.

그림 1에서 선택 방법은 토너먼트 방식, 룰렛 휠 방식, 순위 방식, 적합도 비례 방식이 사용되어 왔다. 교배방식으로는 단일 교배, 두점 교배, 랜덤 교배 방식이 있으며 변이방식으로는 일정 변이, 가우시안 변이,

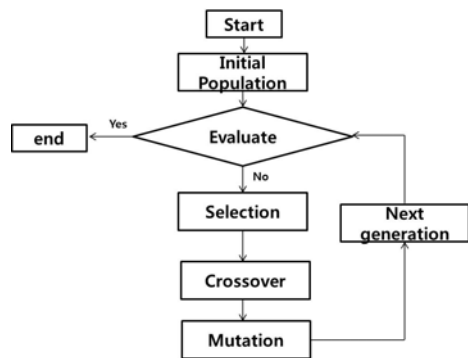


그림 1. 유전알고리즘 순서도  
Fig. 1. Flowchart of genetic algorithm

복수 일정 번이 방식 등이 있다<sup>[8]</sup>. 선택, 교배, 변이의 방식 각각의 장단점을 가지고 있다<sup>[9]</sup>. 기존의 빔형성 유전 알고리즘은 변수의 설정과 방법의 차이에 따라 수렴속도에 차이가 나타나게 되고 잘못하면 지역해에 빠질 수 있다<sup>[10]</sup>. 이러한 방법을 해결하고자 여러 가지 변형된 방법이 발전되어왔다. 적합도를 기준으로 상대적으로 우성인 상위 일정부분의 염색체를 가져가고 나머지는 상위 염색체에서 교배를 통하여 추출 후 다음세대에 넘기는 방식<sup>[11]</sup> 그리고 적합도 측정을 주빔의 방향, 방사 패턴, 부엽의 최대크기로 나누어서 비용함수를 설정하여 총 비용함수 값이 가장 작은 것을 택하여 성능을 향상시키는 방법이 있다<sup>[12]</sup>.

### III. 제안된 유전알고리즘을 이용한 안테나 빔형성 벡터 추출 방식

무선 메시 네트워크 환경에서는 노드들의 위치가 수시로 바뀌고 빠른 시간 안에 빔형성을 하여 정보를 전달하기 위해서 빠르게 빔형성 벡터를 얻어야 한다. 본 논문에서는 유전알고리즘을 통한 빔형성 기법에서 빔형성 벡터를 얻는데 수렴속도를 기존보다 줄이는 방법을 제안한다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 교배를 통해 나온 자녀세대를 추출하는 과정에 우성인자에게 가중치를 주고 열성인자의 수를 조절하는 방법이다. 제안한 알고리즘의 방식은 상대적으로 우성인 염색체를 가져오는 비율을 선택하고 열성 염색체를 적은 수로 선택함으로써 기존 유전알고리즘보다 수렴속도를 향상시키고 열성 유전자 선택에 의한 염색체의 다양성으로 인해 지역해에 빠지는 것을 방지할 수도 있고 수렴속도도 빠르게 하였다. 그리고 변이 과정에서는 전 세대의 적합도를 이용함으로써 빠른 최적화 값을 갖도록 한다.

그림 2의 교배, 변이과정 전에 선택과정에서 선택 방법은 룰렛 휠 방식을 사용하였다. 룰렛 휠 방식의 선택과정은 적합도가 높은 개체가 선택될 확률이 많고 적합도가 낮은 개체가 선택 될 확률이 상대적으로 낮은 방식이다. 룰렛 휠 방식은 낮은 개체가 선택될 확률이 상대적으로 낮더라도 여러 세대를 거치는 과정에서 선택될 수 있는 확률이 있기 때문에 염색체의 다양성을 유지할 수 있다.

본 논문에서 수렴속도 개선과 지역해에 빠지는 것을 방지하기 위한 제안된 유전알고리즘에서 그림 2의 ①번 부분은 교배 과정이다. 우선 염색체 별 적합도를 측정하여 좋은 형질 순으로 정렬한 뒤 다음 상위 일정 비율을 다음 세대에 보내고 재생산되어 차지하는 남

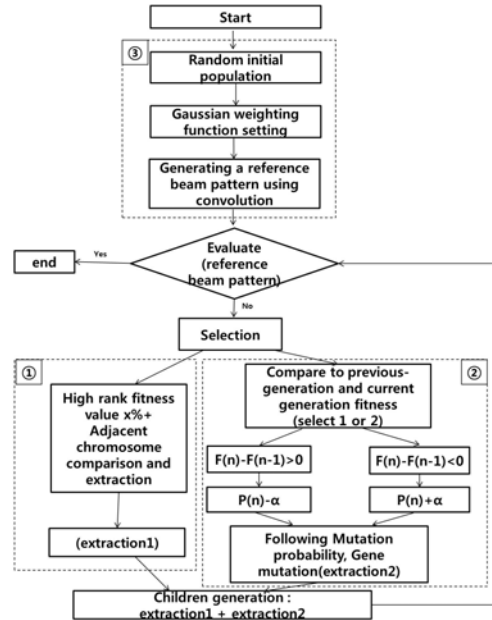


그림 2. 제안된 유전알고리즘 순서도  
Fig. 2. Flowchart of proposed genetic algorithm

은 인구수에서 정렬해놓은 인접 유전자와의 순위를 비교하여 남은 교배에서 할당된 다음 세대의 인구수를 채워 넣는다. 이로써 상위 우성인 염색체 부분을 추출함으로써 빠른 수렴속도를 보일 수 있으며 남은 인구수 자리에 상대적으로 열성인 염색체도 간헐적으로 배치함으로써 지역해에 빠지는 것도 방지할 수 있다.

$$F(n-1) < F(n) \rightarrow P(n) - \alpha \quad (1a)$$

$$F(n-1) > F(n) \rightarrow P(n) + \alpha \quad (1b)$$

여기서  $P(n)$ 은  $n$ 세대에서 유전자가 변이될 확률이며  $\alpha$ 는 확률변화 값으로 매 세대별로 변하게 된다.  $F(n)$ 은 적합도로서 적합도 판단은 원하는 빔패턴과 각 세대의 염색체로 얻은 빔패턴의 차이를 이용하여 구한다. 즉 두 패턴의 차이의 값이 작을수록 좋은 빔패턴을 가짐을 의미한다. 식(1a),(1b)와 같은 방법으로 전 세대의 유전자와 현 세대의 유전자의 적합도 값을 비교하여 동적 변이되는 확률을 바꿔주면서 안테나 각각의 빔형성 벡터를  $P(n)$ 의 확률로 유전자를 변화시킨다.

수렴속도를 보다 빠르게 하기 위해서 유전알고리즘의 적합도 판별 가중치를 변경하는 방법을 제안한다. 그림 2의 ③은 빔형성에서 유전 알고리즘을 이용하여 원하는 빔패턴을 생성하는 부분이다. 각 세대에서 얻

은 염색체 안에 유전자의 빔형성 벡터를 통한 빔패턴을 얻고자 하는 기준 빔패턴과의 차이를 이용하여 적합도를 구한다. 안테나p 의해 빔형성되는 모양과 유사하도록 가우시안 가중치 패턴을 설정함으로써 적합도 비교시 수렴속도를 빠르게 하였다.

본 논문에서 사용된 기준 빔패턴 방식은 주빔과 nulling되는 빔의 위치와 가우시안 함수와의 합성곱을 이용하여 구한다.

식(2a)와 식(2b)는 주빔과 nulling시키는 벡터를 나타내었다. A는 주빔의 각도이고, B는 nulling 시킬 부분의 각도를 나타낸다.

$$A = \{A_1(\theta_1), A_2(\theta_2), \dots, A_i(\theta_i), A_I(\theta_I)\} \quad (2a)$$

$$B = \{B_1(\theta_1), B_2(\theta_2), \dots, B_j(\theta_j), B_J(\theta_J)\} \quad (2b)$$

주빔에서 A>0인 가중치를 주고 nulling시킬 부분은 B<0인 가중치를 주면 식(3)과 같이 빔 형성 패턴을 구할 수 있다.

$$W(\theta) = \begin{cases} A(\theta_i) & (A > 0, \text{main } 0 \leq i \leq 2\pi) \\ 0 & \text{otherwise} \\ B(\theta_j) & (B < 0, \text{illing } 0 \leq j \leq 2\pi) \end{cases} \quad (3)$$

빔형성 패턴과 가우시안 함수 M<sub>G</sub>의 합성곱을 구하면 기존의 사각형태의 기준 빔패턴보다 곡선형태 기준 빔패턴을 사용하여 실제의 빔패턴에 가까운 빔패턴을 얻는다. 논문에서 사용한 가우시안 함수 M<sub>G</sub>는 식(4)와 같다.

$$M_G(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

여기서 μ는 빔패턴에서 nulling시키는 부분과 주빔의 범위의 중간 값이다. σ<sup>2</sup>은 nulling시키는 범위에 따라 값을 조절한다. 합성곱의 결과 M(θ)는 식(5)와 같이 얻는다.

$$M(\theta) = W(\theta) * M_G[\text{dB}] \quad (5)$$

위와 같은 유전알고리즘을 사용하여 얻은 빔형성 벡터와 원하는 빔패턴과 어느정도 일치하는지 확인하기 위해 적합도를 측정한다. 적합도 측정은 0도부터 2π의 적분 값 차이로 빔 패턴과 기준 빔패턴의 차이를 측정하여 계산한다. 적합도 값 구하는 식은 식(6)

과 같다.

$$f^g(k) = \int_{\theta \in [0, 2\pi)} (10 \log_{10} BF^g(\theta) - M(\theta)) d\theta \quad (6)$$

식(6)에서 f는 적합도 함수이다. g는 유전알고리즘의 g번째 세대 수 이고, k는 유전알고리즘의 각 세대 수의 k번째 염색체를 의미한다.

주빔과 nulling시키는 부분을 형성시키는 부분의 가우시안 가중치의 합성곱으로 구하였기 때문에 제안된 빔형성 유전알고리즘의 수렴속도는 증가하게 된다. 다음 전산 모의 실험에서 결과를 보인다.

#### IV. 전산 모의 실험

본 장에서는 기존의 유전알고리즘 방식과 본 논문에서 제안한 유전 알고리즘 방식의 빔형성 성능은 동일하나 수렴속도 향상정도를 측정하는 실험을 하였다. 그리고 제안한 유전알고리즘에서 교배의 추출방법의 변화와 기준 빔패턴의 변화 두가지를 나누어 실험을 진행하였으며 마지막으로 두가지 방법을 모두 합친 제안한 유전알고리즘을 실험하여 수렴속도의 향상을 보이는 실험을 하였다.

첫 번째 실험은 기준 유전알고리즘을 통해 얻은 빔형성의 성능과 본 논문에서 제안한 알고리즘으로 생성된 빔형성의 성능의 차이가 없음을 보였다. 두 번째 실험은 기존방법보다 제안한 방법의 교배의 추출방법에 차이에 따라 수렴시 세대수를 측정하였고 세 번째 실험은 교배의 추출방법의 변화를 주지 않고 기준 빔패턴의 차이에 따른 수렴시 세대수를 측정하였다. 네 번째 실험은 본 논문에서 제안한 것의 교배의 추출 방법과, 기준 빔패턴의 변화 두가지를 모두 포함하여 최적의 상위 추출 비율을 찾는 실험을 하였다. 이것을 통하여 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 방식보다 수렴속도가 향상됨을 보였다.

실험에 사용되는 안테나 수는 4개이며 반송 주파수는 2.2GHz를 사용하였다. 원형 배열 안테나의 지름은 36cm이며 안테나의 간격은 7cm로 설정하였다. 실험에 사용되는 안테나 수가 4개이기 때문에 유전알고리즘에서 염색체군 안에는 4개의 유전자로 구성하였으며 유전자 각각은 안테나 각각의 빔형성 벡터를 의미한다.

첫 번째 실험은 기준 유전알고리즘을 통해 얻은 빔형성과 제안한 유전알고리즘을 통해 얻은 형성을 비교하는 실험을 하였다. 빔은 30도의 위치를 주 빔으로

한 경우 부분적으로 nulling할 부분을 설정하여 그림 3의 (a)는 기존의 유전알고리즘을 통하여 생성된 빔패턴이고 그림(b)는 제안된 유전알고리즘을 통하여 생성된 빔패턴이다. 두 빔형성은 차이가 작으며 즉, 빔형성 성능의 결과에는 차이가 없음을 알 수 있다.

두 번째 실험으로 교배 전 추출과정에서 기존 방법으로는 상위 일정비율을 추출하고 나머지는 추출한 것 중에서 단일 교배하는 방식과, 본 논문에서 제안한 상위 일정비율을 추출하고 나머지는 염색체에서 일정 비율 균등하게 추가 추출하는 방식을 비교실험 하였다. 적합도를 측정할 기준 빔패턴은 기존의 직각형태의 패턴을 사용하였다.

표 1은 상위 추출 비율에 따라 기존 방법에 사용된 교배 방법과 본 논문에서 제안한 방법의 교배 방법에 따른 유전알고리즘의 수렴시 세대수 값을 측정한 결과이다. 수렴시 세대수의 값이 작을수록 빠르게 최적화 값에 수렴한 것을 의미한다. 유전알고리즘 과정을 통해 빔패턴을 얻는 과정의 시행횟수를 여러번하여 나온 결과를 평균한 값이다. 표 1의 결과를 보면 기존 방법의 교배과정의 추출방식에 비해 본 논문에서 제안한 방식의 경우가 추출 비율에 따라 최대 10.26%까

표 1. 상위 추출비율 기준 방법과 제안한 방법 비교(일반 기준 빔패턴 사용)

Table 1. Higher extraction rate general method, proposed method compare(use to general base beam pattern)

method higher extraction (%)	general method +crossover (number)	proposed method + crossover (number)	Improved convergence ratio of proposed methd(%)
50	54.6	49	10.26
45	50.8	47.2	7.09
40	47.9	46.1	3.76
35	48.9	46.3	5.32
30	5	53	0
25	54.5	54.9	0.73

지 빠르게 수렴하는 결과를 얻었다.

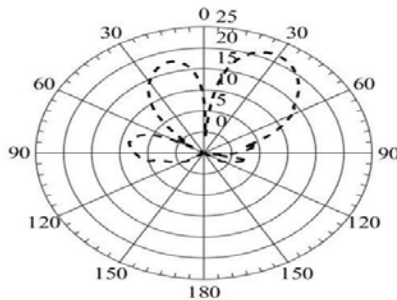
세 번째 실험으로 유전알고리즘의 일반적인 교배방식인 scattered 교배 방식을 사용하였다. 일반 기준 빔패턴과 본 논문에서 제안한 기준 빔패턴을 하였을 때의 세대수의 수렴 정도를 측정한 결과이다. 수렴 시행 횟수를 여러번하여 기준 빔패턴의 차이에 따른 평균과 표준편차를 나타내었다. 기존의 직각형태의 기준 빔패턴을 하였을 경우보다 본 논문에서 제안한 가우시안 형태의 기준 빔패턴을 하였을 때 3세대가 줄어든 5.5%의 향상된 수렴속도를 얻을 수 있다.

네 번째 실험으로는 본 논문에서 제안한 가우시안 형태의 기준 빔패턴을 사용하였을 때 상위 추출 비율의 변화를 주어 가장 빠른 수렴속도를 갖는 비율을 찾는 실험을 하였다. 그 결과는 그림 4에 나타내었다.

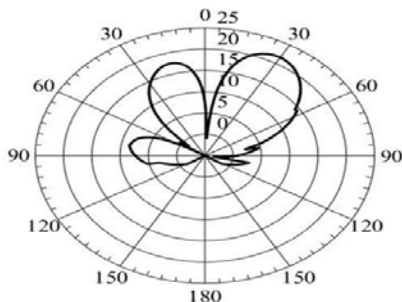
그림 4의 결과를 보면 전체적으로 직각형태의 기준 빔패턴보다 본 논문에서 제안한 가우시안 형태의 기준 빔패턴을 사용하였을 때 수렴속도가 빨랐다. 또한, 가우시안 형태의 기준 빔패턴과 상위 35%를 추출 후 나머지를 인접 염색체와 순위를 비교하여 나열하였을 경우에 가장 빠른 수렴속도를 보였다. 이때 본 논문에

표 2. 일반 기준 빔패턴, 제안된 기준 빔패턴의 수렴속도 비교 Table 2. Speed of general reference beam pattern and proposed beam pattern

	general reference beam pattern	proposed reference beam pattern	Improved convergence ratio of proposed method(%)
average (generations)	55	52	5.5
standard deviation	7.42	6.07	18



(a) existing genetic algorithm beampattern



(b) proposed genetic algorithm beampattern

그림 3. 기존 유전알고리즘과 제안된 유전알고리즘의 빔패턴 비교 Fig. 3. Beampattern using existing genetic algorithm and proposed genetic algorithm

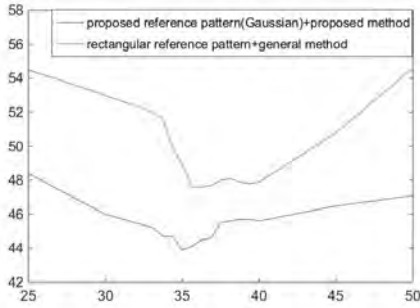


그림 4. 제안된 유전알고리즘과 기준 빔패턴 모두 사용하였을 경우의 상위추출 비율별 수렴시 세대수  
 Fig. 4. Using all proposed genetic algorithm and reference beam pattern upper extraction rate by convergence

서 제안한 방법이 기존보다 최대 20%의 빠른 수렴속도를 보였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크의 이동하는 노드에 대해 기존의 유전알고리즘을 이용한 빔형성과 같은 성능을 가지면서 빠른 빔형성 벡터를 얻는 유전알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 수렴속도와 지역 해의 빠지는 것을 개선하기 위해 교배에서 자녀세대를 추출할 때의 적합도가 좋은 염색체의 일정 비율로 좋은 형질을 가져가고 나머지 인구수에 간헐적으로 염색체를 사용하였다. 그리고 가우시안 형태의 기준 빔패턴을 이용함으로써 최적화한 값을 얻기까지의 수렴속도를 줄였다. 전산 모의 실험을 통해 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 유전알고리즘 방법과 동일한 빔형성 성능을 얻으면서 최대 20%의 빠른 수렴속도를 보였다.

### References

[1] S. Park, C. Park, H. Kim, and J. Chung, "Beamforming power allocation method of multiple nodes with UCA for increasing SIR," *J. KICS*, vol. 40, no. 1, pp. 16-22, Jan. 2015.

[2] I. Akyildiz and X. Wang, "A survey on wireless mesh networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, no. 9, pp. 23-30, Sept. 2005.

[3] Y. Cho, H. Jeong, D. Kim, and K. Ryu, "Trajectory information-based routing protocol for mobile mesh router in wireless mesh

networks," *J. KICS*, vol. 36, no. 11, pp. 912-923, Aug. 2011.

[4] Y. Y. Bai, S. Xiao, C. Liu, and B. Z. Wang, "A hybrid IWO/PSO algorithm for pattern synthesis of conformal phased array," *IEEE Trans. Antennas Propaga.*, vol. 61, no. 4, pp. 2328-2332, Apr. 2013.

[5] K. Chae and S. Yoon, "A transmission parameter optimization scheme based on genetic algorithm for dynamic spectrum access," *J. KICS*, vol. 38, no. 11, pp. 938-943, Nov. 2014.

[6] S. T. Van, G. Kwon, K. Hwang, J. Park, S. Kim, and D. Kim, "GA-enhanced dual-band aperiodic linear dipole array with low sidelobe level," *J. KICS*, vol. 37, no. 12, pp. 1296-1092, Dec. 2012.

[7] J. Kim, D. Kim, S. Kim, H. Yang, C. Cheon, and Y. Chung, "Optimization of subarray configurations in linear array antenna using modified genetic algorithm," *J. Korea Electromagnetic Eng. Soc.*, vol. 23, no. 2, pp. 187-195, Feb. 2012.

[8] K. K. Yan and Y. Lu, "Sidelobe reduction in array-pattern synthesis using genetic algorithm," *IEEE Trans. Antennas Propaga.*, vol. 45, no. 7, pp. 1117-1122, Jul. 1997.

[9] M. Srinivas and L. M. Patnaik, "Genetic algorithm : A survey," *Computer*, vol. 27, no. 6, pp. 17-26, Jun. 1994.

[10] B. Zhu, W. Cheng, L. Li, and L. Zhou, "Low sidelobe wide nulling for linear antenna array with an improved genetic algorithm assisted beamforming," in *Proc. Int. Conf. IEEE Circuits Syst.*, vol. 2, pp. 953-957, Guilin, China, Jun. 2006.

[11] K. Hyun, K. Jung, and K. Eom, "Beam control method of multiple array antenna using the modified genetic algorithm," *The Inst. Electron. Inf. Eng.*, vol. 44, no. 2, pp. 153-159, 2007.

[12] C. Seong, J. Lee, I. Han, H. Ryu, K. Lee, and D. Park, "Study on pattern synthesis of conformal array antenna using enhanced adaptive genetic algorithm," *J. Korean Inst.*

*Electromagnetic Eng. and Sci.*, vol. 25, no. 5,  
pp. 592-600, May 2011.

**이 동 규 (Dong-kyu Lee)**



2014년 2월 : 인하대학교 전자  
공학과 졸업  
2014년 3월~현재 : 인하대학교  
전자공학과 석사과정  
<관심분야> 이동통신, 빔포밍,  
Beyond 4G

**안 종 민 (Jong-min Ahn)**



2015년 2월 : 인하대학교 전자  
공학과 졸업  
2015년 3월~현재 : 인하대학교  
전자공학과 석사과정  
<관심분야> 이동통신, 빔포밍,  
Beyond 4G

**박 철 (Chul Park)**



2007년 12월 : WiBro시스템 개  
발 및 표준화 연구  
2013년 6월 : LTE-Advance 및  
관련 응용 연구  
현재 : 이동형 무선메쉬 백홀  
기술 연구(한국전자통신연구  
원 선임연구원)

<관심분야> 전자공학, 통신공학

**김 한 나 (Han-na kim)**



2008월 2월 : 영남대학교 전자  
공학과 졸업  
2010년 2월~현재 : 영남대학교  
정보통신공학과 석사  
2010년 7월~현재 : 한국전자통  
신연구원 무선 응용연구부  
연구원

<관심분야> OFDM 기반 시스템

**정 재 학 (Jae-hak Chung)**



1988월 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 학사 졸업  
1990년 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 석사 졸업  
2000년 : University of Texas  
at Austin 전기전산 학과 박  
사 졸업

2000년~2001년 : Post doctoral fellow, University  
of Texas at Austin

2001년~2005년 : 삼성종합기술원 수석연구원

2005년~현재 : 인하대학교 정교수

<관심분야> Cognitive radio, 차세대 무선 이동 통  
신, MIMO-OFDM, UWB, Cross layer 설계