

## 향상된 적응형 유전 알고리즘을 이용한 컨포멀 배열 안테나의 빔 합성 연구

### Study on Pattern Synthesis of Conformal Array Antenna Using Enhanced Adaptive Genetic Algorithm

성철민 · 이재덕 · 한인희\* · 류홍균\*\* · 이규송\*\* · 박동철

Cheol-Min Seong · Jae-Duk Lee · In-Hee Han\* · Hong-Kyun Ryu\*\* · Kyu-Song Lee\*\* · Dong-Chul Park

#### 요 약

본 논문에서는 2차 함수 곡선의 회전체 곡면 위에 있는 배열 안테나의 빔 합성을 위한 Enhanced Adaptive Genetic Algorithm(EAGA)을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 더 빠른 수렴 속도와 더 낮은 비용함수 값을 얻기 위해 Adaptive Genetic Algorithm(AGA)과 Invasive Weed Optimization(IWO)을 결합시켰다. 각 안테나 소자의 급전 크기와 위상의 최적화된 값은 EAGA를 통해 구하였으며, 이 결과를 통해 EAGA가 컨포멀 배열 안테나의 패턴 합성 알고리즘으로써 AGA보다 더 우수함을 보였다.

#### Abstract

This paper proposes an enhanced adaptive genetic algorithm(EAGA) dedicated to pattern synthesis of array antenna which conforms to a curved surface of rotation with quadratic function. EAGA combines adaptive genetic algorithm(AGA) with invasive weed optimization(IWO) for the faster convergence and the lower cost value of the cost function. The amplitude and phase of each excited weighting factor are optimized to meet the required goals using EAGA. The EAGA results indicate that the proposed algorithm is superior to AGA when applied to the problem of conformal array antenna pattern synthesis.

Key words: Adaptive Genetic Algorithm, Enhanced Adaptive Genetic Algorithm, Conformal Array Antenna, Pattern Synthesis, Invasive Weed Optimization

#### I. 서 론

컨포멀 안테나는 공기역학적 또는 유체역학적으로 형성된 곡면 위에 바로 부착된 안테나로 이러한 안테나는 항공기, 기차, 배, 자동차까지 빠르게 이동하는 다양한 물

체의 표면에 적용할 수 있기 때문에, 그 필요가 증가하고 있다<sup>[1]</sup>. 특히 현대 항공전에서는 레이더 및 전자장비의 기능적 요구는 물론, 뛰어난 공기역학적 성능도 요구되고 있어 컨포멀 안테나는 더 큰 주목을 받고 있다<sup>[2]</sup>.

일반적으로 컨포멀 배열 안테나는 배열소자의 위치에

「본 논문은 국방과학연구소의 위탁연구과제(UD110100 ED)로 수행되었습니다.」

충남대학교 전자전과정정보통신공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

\*에너지(Microwave Technologies Group)

\*\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received January 27, 2014 ; Revised March 12, 2014 ; Accepted March 24, 2014. (ID No. 20140127-010)

· Corresponding Author: Dong-Chul Park (e-mail: dcpark@cnu.ac.kr)

따라 동일 위상 파면에 이르는 위상 지연(phase delay)과 각 소자의 법선 방향(normal direction)이 서로 다르기 때문에, 각각의 소자가 원하는 배열 안테나의 패턴에 서로 다르게 영향을 주게 된다. 따라서 컨포멀 배열 안테나의 최적화된 패턴 합성은 배열 안테나 연구의 주요한 목적 중 하나이다.

현재 지역 최적화 알고리즘<sup>[3]</sup>과 전역 최적화 알고리즘<sup>[4]</sup>을 포함하는 다양한 패턴 합성 기법들이 연구되고 있다<sup>[5]</sup>. 특히, 자연의 생물학적 혹은 생태학적인 방법에서 유래된 진화론적 알고리즘은 간단한 동작 구조와 높은 효율성 및 안정성을 가지므로 컨포멀 배열 안테나의 다중 비선형 해를 찾는 문제에서 더 많은 관심을 받고 있다<sup>[6]</sup>. 대표적인 진화론적 알고리즘에는 Particle Swarm Optimization(PSO)<sup>[7]</sup>, Genetic Algorithm(GA)<sup>[8],[9]</sup>, 그리고 Invasive Weed Optimization(IWO)<sup>[10]</sup> 등이 있다. 또한, 각 알고리즘의 단점을 보완하기 위해 여러 알고리즘의 특성이 결합된 알고리즘도 사용되고 있다<sup>[11]</sup>.

일반적인 GA에서는 일정한 확률로 유전자 재결합 및 변이가 이루어지는 반면에 Boeringer<sup>[9]</sup>의 AGA(Adaptive Genetic Algorithm)에서는 비용함수 값에 따른 가변 확률을 통해 빠른 수렴 속도와 개선된 최적화 값을 얻을 수 있다. 하지만 AGA에서도 엘리트 선택 기법을 사용하기 때문에 높은 차수의 해를 구하는 문제에서는 선수렴되는 단점이 존재한다.

따라서 본 논문은 컨포멀 배열 안테나의 패턴 최적화 문제에서 AGA의 단점을 극복하고자 EAGA(Enhanced AGA)를 제안하였다. 제안된 알고리즘은 전체적으로 AGA와 동일한 과정을 가지나, 최적화 값을 개선시키기 위해 IWO의 기법을 적용하였다. IWO<sup>[10]</sup>에서는 비용함수 값에 따라 3가지 후보군으로 나누어, 비용함수 값이 좋지 않은 후보군의 재생산을 통해 더 다양한 후보군을 다음 세대로 전달해 준다. 이러한 방법을 통해 AGA가 선수렴되는 문제를 해결하고자 하였다. 또한, 더 빠른 수렴을 위해 반복횟수에 따라 후보군의 크기를 변화시켰다. 따라서 제안된 알고리즘은 IWO와 AGA의 장점을 결합하고자 하였으며, 기본적인 동작은 AGA의 순서를 따른다. 본 논문에서는 제안된 EAGA의 우수성을 보이기 위해 수렴 속도와 비용함수 값, 그리고 합성된 패턴을 AGA의 것과 비교분석하

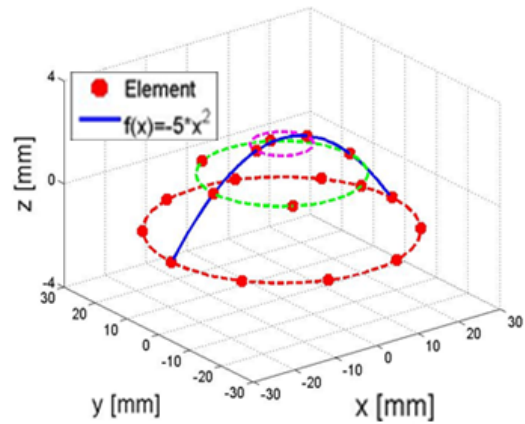


그림 1. 간략화된 컨포멀 배열 안테나 구조  
Fig. 1. Simplified conformal array antenna structure.

였다.

## II. 컨포멀 배열 안테나의 패턴 함수

본 연구팀은 2차 함수로 이루어진 실린더 형태의 곡면이 있을 때 이 곡면 위에 놓여진 위상 배열 안테나의 빔 조향을 연구 결과를 발표한 바 있다<sup>[12]</sup>. 본 논문에서는 방위각(azimuth angle)과 고각(elevation angle)을 동시에 빔 조향하는 문제를 다루기 위해 참고문헌 [12]의 곡면을 회전시켜 그림 1과 같은 컨포멀 안테나를 고려하였다.

회전체를 고려하기 전, 그림 1에서 회전체의 축을 포함하는 한 단면(여기서는  $f(x) = 5x^2$ 의 곡선)을 지나는 실선 위에 배열된 안테나의 패턴 함수를 살펴보자. 이 실선 위의  $i$ 번째 소자에서 파면까지의 위상은 식 (1)로 표현된다. 이때 원거리장 패턴은 식 (2)와 같으며, 이 식에서  $FP$ 는 원거리장 패턴을 의미하고,  $EP$ 는 방사소자의 패턴을 의미한다<sup>[12]</sup>.

$$\gamma_i = kr_i = kR_i \cos(\psi_i) \quad (1)$$

$$FP(\theta) = \sum_i^N EP_i(\theta) a_i e^{j(kr_i(\theta) + \beta_i)} \quad (2)$$

$k$  = 파수(wave number)

$\theta$  = 원거리장 방향

$R_i$  = 원점에서  $i$ 번째 소자까지의 거리

$\psi_i$  =  $i$ 번째 소자와 원거리장 방향 사이의 각

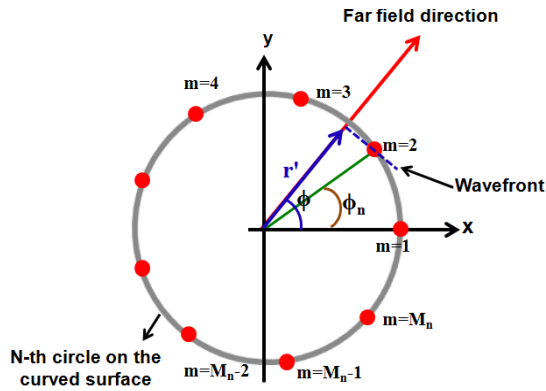


그림 2. n번째 원 위의 원형 배열에서의 위상  
Fig. 2. Phase of a circular array on the n-th circle.

- $N =$  소자의 개수
- $EP_i =$  i번째 소자의 방사패턴
- $a_i =$  i번째 소자에 인가되는 급전의 크기
- $\beta_i =$  i번째 소자에 인가되는 급전의 위상

다음으로 회전체 위에 배열된 안테나의 패턴함수를 살펴보자. 회전체 축을 지나는 곡선 위의 i번째 소자가 z 축을 중심으로 회전하였을 때, 이 궤적은 하나의 원을 만든다. 그 원을 n번째 원이라 하고, 이 원 위에 M개의 소자가 동일한 각도로 배열되었다고 하자. 이 n번째 원 위에 배열된 소자는 그림 2와 같고, 각 소자의 위상은 식 (3)에 나타낸 원형 배열 안테나의 위상과 같다<sup>[1]</sup>.

$$\begin{aligned} \gamma_{n,m} &= kr_n(\theta)r_m'(\phi) \\ &= kr_n(\theta)\cos\{\phi - (m-1)\phi_n\} \end{aligned} \quad (3)$$

$\phi_n =$  n번째 원 위의 두 개의 인접한 소자 사이의 각도

따라서 회전체 형태의 컨포멀 안테나의 패턴 함수는 식 (4)와 같으며, 이 식에서  $A_{nm}$  은 식 (5)와 같다. 또한, 원하는 빔 조향 방향( $\theta_s, \phi_s$ )을 위한 급전 위상( $\beta_{nm}$ )은 식 (6)에 의해 계산할 수 있다.

$$FP(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} [EP_{nm}(\theta, \phi)A_{nm}] \quad (4)$$

$$A_{nm} = a_{nm}e^{j[kr_n(\theta)\cos\{\phi - (m-1)\phi_n\} + \beta_{nm}]} \quad (5)$$

$$\beta_{nm} = -kr_n(\theta_s)\cos\{\phi_s - (m-1)\phi_n\} \quad (6)$$

### III. 비용 함수

본 논문에서 사용될 비용함수는 그림 3과 같이 3 가지 부분으로 구성된다. 첫 번째 비용함수는 그림 3(a)와 같이 합성된 패턴의 빔 방향( $\theta_p, \phi_p$ )이 원하는 조향 방향( $\theta_s, \phi_s$ ),

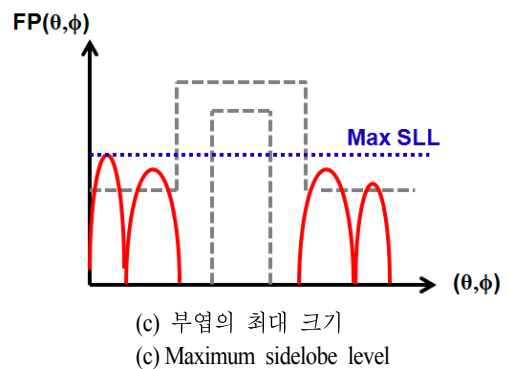
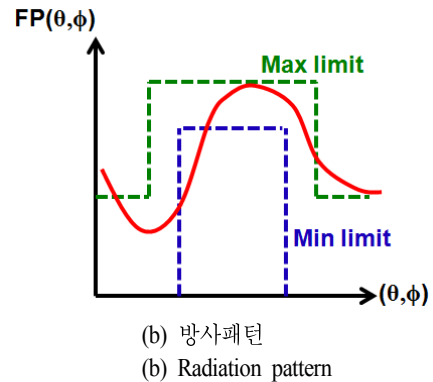
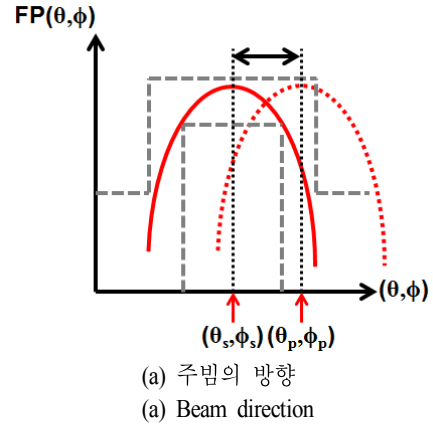


그림 3. 비용함수의 세 부분  
Fig. 3. Three parts in cost function.

$\phi_s$ )과 근접해 있는가를 평가하며, 그 값은 식 (7)에 의해  $(\theta_p, \phi_p)$ 와  $(\theta_s, \phi_s)$  사이의 각도 차이를 나타내며,  $Cost$  1으로 표시하였다. 두 번째 비용함수는 그림 3(b)와 같이 합성된 패턴을 Max limit과 Min limit으로 구성된 원하는 마스크와 비교한다. 만약 합성된 패턴이 Min limit과 Max limit 사이에만 존재한다면, 식 (8)의  $Cost$  2는 0이 된다. 반면에 합성된 패턴이 Max limit보다 크거나 Min limit보다 작으면  $Cost$  2는 증가하게 된다. 마지막으로 그림 3(c)에 나타낸 세 번째 비용함수는 합성된 패턴의 부엽의 최대 크기(maximum sidelobe level)와 원하는 부엽의 크기 차를 식 (9)에 의해  $Cost$  3로 평가된다.

일반적으로  $Cost$  2는 모든 원거리장 영역에서 그 값이 평가되므로  $Cost$  1과  $Cost$  3보다 값이 크다. 따라서 식 (10)에 표현된 총 비용함수에서는 세 비용함수 사이의 균형을 위해, 각 세부 비용함수에 일정한 가중치,  $w_1, w_2, w_3$ 을 곱하였다. 총 비용함수의 값을  $Cost$ 로 나타내었으며, 그 값이 작을수록 합성된 패턴이 원하는 패턴과 더 근접해 있다.

$$Cost1 = \left| \sqrt{(\sin\theta_p \cos\phi_p)^2 + (\sin\theta_p \sin\phi_p)^2} - \sqrt{(\sin\theta_s \cos\phi_s)^2 + (\sin\theta_s \sin\phi_s)^2} \right| \quad (7)$$

$$Cost2 = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \max(|FP(\theta_n, \phi_m)| - |FP_{max\ limit}(\theta_n, \phi_m)|, 0)^2 + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \max(|FP_{min\ limit}(\theta_n, \phi_m)| - |FP(\theta_n, \phi_m)|, 0)^2 \quad (8)$$

$$Cost3 = \max(SLL - SLL_{desired}, 0) \quad (9)$$

$$Cost = w_1 Cost1 + w_2 Cost2 + w_3 Cost3 \quad (10)$$

#### IV. Enhanced Adaptive Genetic Algorithm(EAGA)

GA<sup>[8]</sup>는 교배와 변이 과정을 통해 재생산이 이루어지는데, 일정한 교배의 수나 변이 확률을 미리 정하여 알고리즘이 수행된다. 하지만 이와 같은 교배와 변이 과정은 각각의 반복 과정에서 비용함수 값에 상관없이 수행된다.

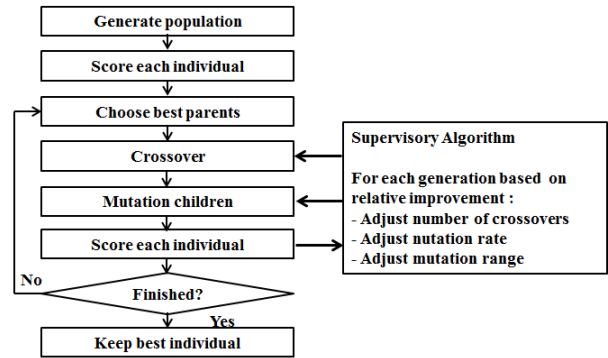
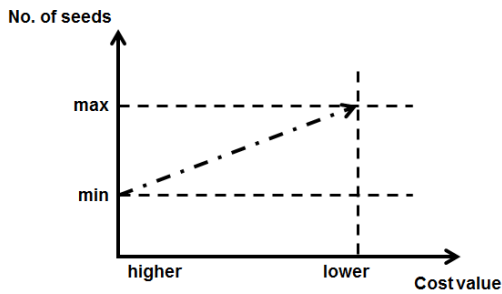


그림 4. Adaptive genetic algorithm(AGA)의 순서도  
Fig. 4. Flow chart of adaptive genetic algorithm.

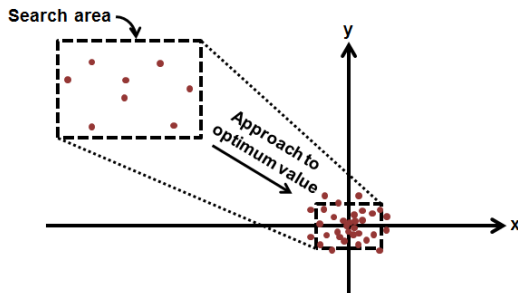
이는 비용함수 값이 좋은 경우에도 변이를 많이 일으킬 수도 있고, 비용함수 값이 좋지 않을 경우에도 교배를 많이 일으켜 더 좋지 않은 자손을 생산해낼 수 있어 결론적으로 알고리즘의 수행 속도를 저하시킬 수 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 Boeringer는 그림 4와 같은 adaptive genetic algorithm(AGA)을 제안하였다<sup>[9]</sup>. AGA는 교배와 변이 과정에서 비용함수 값에 따라 교배의 수, 변이의 확률, 변이의 범위와 같은 각 과정에서 필요한 값을 하나의 값이 아닌 정의된 범위 안에서 능동적으로 선택할 수 있도록 하였다.

AGA는 GA에 비해 수렴 속도와 최적화 값을 개선시켰지만, 여전히 우수 유전자를 가진 부모군을 통해 자손을 생성하므로 지역해에 빠져 선수렴될 가능성이 높다. 따라서 이를 개선하기 위해 IWO(Invasive Weed Optimization)를 살펴보았다<sup>[10]</sup>.

IWO는 잡초의 군체 형성(colonization) 특성을 기반으로 하는 최적화 알고리즘이다. 선택, 재생산 및 분산과정을 거친다는 것이 GA의 방식과 유사하지만, 다음 두 가지 주요한 특성은 다르다. 하나는 그림 5(a)와 같이 비용함수 값이 낮아짐에 따라 종자(seed)로 선택되는 후보(부모 군)의 수를 증가시키는 것이고, 다른 하나는 그림 5(b)처럼 알고리즘이 진행됨에 따라, 비용함수 값이 작은 최적화된 값에 도달할수록 탐색 영역(자손이 생성될 수 있는 공간)을 줄이고, 대신 후보군의 수를 늘려 해에 근접한 다수의 후보군을 확보하는 것이다. 그림 5(b)는  $f(x, y) = 0$ 의 해 영역을 보여주고 있으며, 원점을 최적의 해



(a) 종자 생산 절차  
(a) Seed production procedure



(b) 2차원 영역에서의 탐색 영역 및 후보군 수의 변화  
(b) Variation of search area and number of populations in a 2-dimensional region

그림 5. IWO의 특성  
Fig. 5. Characteristics of IWO.

로 가정했을 때를 예시한 것이다.

본 논문에서 제안된 EAGA는 IWO에서의 종자와 전체 후보군의 생산 절차를 AGA에 적용시켰다. IWO에서 사용된 탐색 영역의 변화는 AGA에서 변이의 범위로 이미 변이의 범위로 적용하고 있기 때문에 추가적인 적용은 하지 않았다. 제안된 알고리즘의 동작을 그림 6에 나타내었다. 각 세대는 비용함수 값에 따라 best 후보군, better 후보군, 그리고 worst 후보군으로 분류된다. best 후보군은 다음 세대로 직접 재생산되며, better 후보군은 AGA에 의해 개선된 후 다음 세대로 전달된다. worst 후보군은 자체 후보군의 비용함수 값이 좋지 않기 때문에 개선된 better 후보군과 함께 AGA를 수행 후 다음 세대로 전달된다. 여기서 worst 후보군을 이용한 재생산은 worst 후보군이 일부의 우성적 특성을 가졌을지 모르기 때문에, 다시 한번 기회를 줌으로써 더 다양한 후보군 생성과 우성 유전자의 전달을 유도한다.

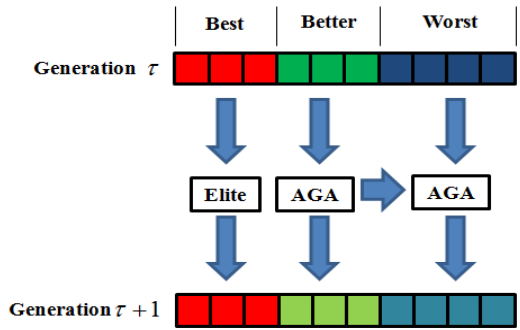


그림 6. 향상된 적응형 유전 알고리즘의 동작  
Fig. 6. Operation of EAGA.

### V. 컨포멀 배열 안테나의 시뮬레이션 결과

본 장에서는 제안된 EAGA와 기존 AGA의 MATLAB 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 각 안테나 소자의 가중치는 정규화된 6 비트 증폭기와 8 비트 위상변위기를 통하여 조정하였다.

#### 5-1 컨포멀 안테나 배치와 단일 소자의 패턴

그림 1은 2차 함수의 회전체에 부착된 배열 안테나의 모형을 간략화한 그림이다. 그림 1에서 곡선은  $f(x) = -5x^2$ 로 정의된 2차 함수이며, 점선 위에 놓여진 점은 각 방사소자의 중심이다. 세 가지 점선으로 표시된 원은 그 중심이 z축 위에 있으며, 동일한 원 위에 있는 각 소자는 동일한 z 값을 갖는다. 위로부터 첫 번째 원은 2개의 소자를 배열되어 있으며, 두 번째 원은 6개의 소자가 배열되어 있고, 마지막 원은 10개의 소자가 배열되어, 총 18개의 방사소자가 배열되어 있다. 각 원은 15 GHz에서  $0.56 \lambda_0$ 의 간격을 갖는다.

배열된 소자의 방사 패턴은 등방향성 특성을 갖지 않고, 원형 마이크로스트립 패치를 모사하기 위해 식 (11a), (11b), 그리고 (11c)를 통해 구현하였다<sup>[13]</sup>. 이 식에서  $J_0$ ,  $J_2$ 는 각각 베셀 1종 함수의 0차와 2차 값이며,  $r$ 은 원형 마이크로스트립 패치 안테나의 패치 반지름이다. 본 논문에서는  $r = 0.18 \lambda_0$ 로 설정하였다.

$$E_\theta = -j [J_0(kr \sin \theta) - J_2(kr \sin \theta)] \cos \phi \quad (11a)$$

$$E_\phi = j [J_0(kr \sin \theta) + J_2(kr \sin \theta)] \sin \phi \cos \theta \quad (11b)$$

$$E = \sqrt{|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2} \quad (11c)$$

### 5-2 두 알고리즘의 성능 비교

일반적으로 알고리즘의 성능은 수렴 속도와 비용함수 값으로 평가된다. 먼저 AGA와 EAGA의 전역 최적화 성능을 평가하기 위해, 초기 소자의 급전 가중치를 랜덤하게 설정한 뒤 알고리즘을 수행하였다. 이때 식 (10)에서  $w_1 = 5$ ,  $w_2 = 0.3$  그리고  $w_3 = 1.5$ 로 설정하였다. AGA의 경우, 전체 후보군을 60개로 하였으며, EAGA의 경우는 초기 후보군을 40개로 하고, 반복횟수가 증가함에 따라 후보군을 70개로 증가시켰다. 두 경우에서 후보군×반복 횟수를 동일하게 설정하여 동작시간을 같게 하였다. 본문에서 나타난 비용함수 값은 10회의 독립시행을 통해 얻은 평균값이며, 구현된 패턴은 평균값에 근접한 비용함수 값을 갖는 경우의 패턴으로 도시하였다.

그림 7은 원하는 빔 조향 방향이  $(\theta_s, \phi_s) = (15^\circ, 0^\circ)$ 일 때, 반복횟수에 따른 비용함수 값을 보여준다. EAGA의 경우 worst 후보군의 재생산 기법을 사용하므로, 초기 수렴 속도는 AGA의 경우보다 느리다. 하지만, 약 10회의 반복 이후에는 EAGA의 경우가 AGA의 경우보다 더 빠른 속도를 보이며, 최적화된 비용함수 값 역시 더 낮다. 그림 8에서는 EAGA와 AGA를 이용하여 최적화된 급전을 이용한 정규화된 패턴과 계산된 급전을 사용하였을 때의

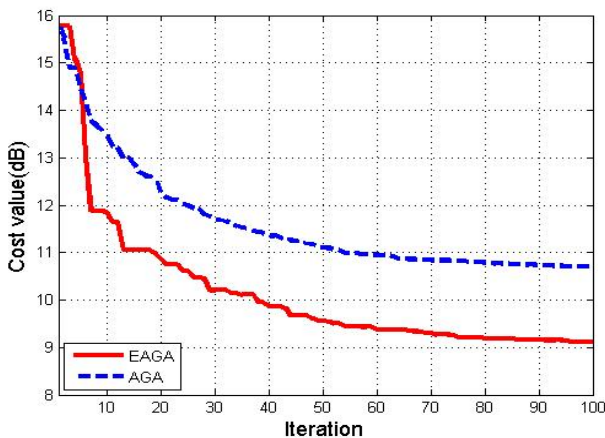


그림 7. 랜덤한 초기 후보군 경우의 비용함수 평균값  
Fig. 7. Average cost values in case of the initial random population.

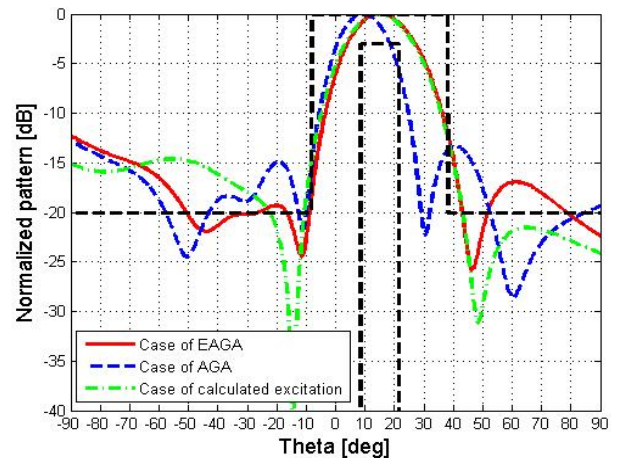


그림 8. 그림 7 경우의 정규화된 패턴  
Fig. 8. Normalized patterns in case of Fig. 7.

정규화된 패턴을 보여준다. 여기서 계산된 급전은 급전의 크기는 테일러 분포를 가지며, 급전의 위상은 식 (6)에 의해 얻어진다.

AGA의 주빔은 약  $\theta = 8^\circ$ 이지만 EAGA의 주빔은 원하는 방향인  $\theta = 15^\circ$ 를 향한다. 부엽의 크기 역시 EAGA의 경우가 AGA의 경우보다 더 낮음을 보여준다. 하지만 두 알고리즘의 최적화된 패턴은 검은색 점선으로 표시된 원하는 Max limit과 Min limit 안에 있지 않다. 따라서 원하는 limit을 만족하는 패턴을 합성하기 위해 계산된 급전을 초기 후보군으로 설정하고, 그림 7의 환경과 동일한 조건의 시뮬레이션을 통해, 두 알고리즘의 수렴 속도 및 최적화된 값을 비교하였다.

그림 9는 원하는 빔 조향 방향이  $(\theta_s, \phi_s) = (15^\circ, 0^\circ)$ 일 때, 반복횟수에 따른 비용함수 값을 보여준다. 그림 7과 마찬가지로 EAGA의 초기 수렴 속도는 AGA의 경우보다 느리지만 약 20회의 반복 이후에는 EAGA의 경우가 AGA의 경우보다 더 빠른 속도를 보이며, 최적화된 비용함수 값 역시 더 낮음을 보여준다. 이것은 EAGA의 지역 최적화 성능이 AGA보다 더 우수함을 나타낸다.

그림 10을 보면 EAGA와 AGA의 패턴 모두 원하는 limit 내부에 잘 위치하고 있으며, 부엽의 크기도 계산된 급전의 경우보다 더 낮음을 보여준다. 물론 EAGA의 빔 조향 방향도 AGA의 경우보다 원하는 방향에 더 적합하였다. 그림 11은 EAGA를 사용하였을 때의 정규화된 3D

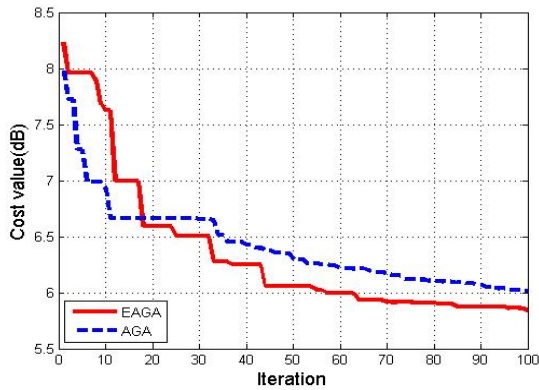


그림 9. 계산된 급전 후보군 경우의 비용함수 값  
 Fig. 9. Average cost values in case of the calculated excitation population.

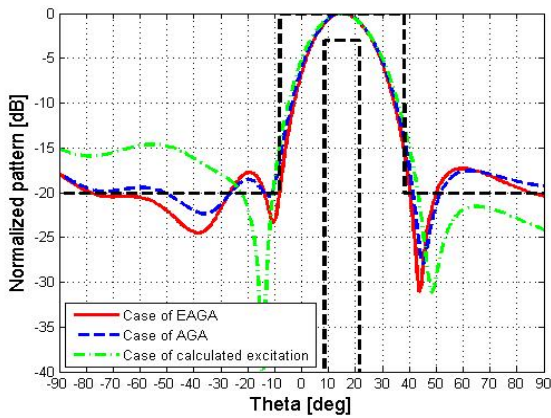


그림 10. 그림 9 경우의 정규화된 패턴  
 Fig. 10. Normalized patterns in case of Fig. 9.

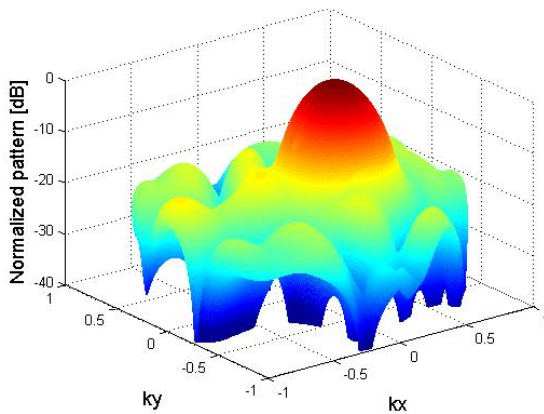
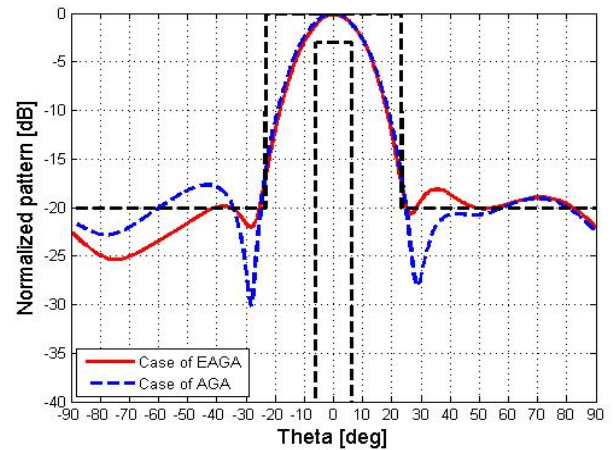


그림 11. EAGA 경우의 정규화된 3D 패턴  
 Fig. 11. Normalized 3D patterns of EAGA case.

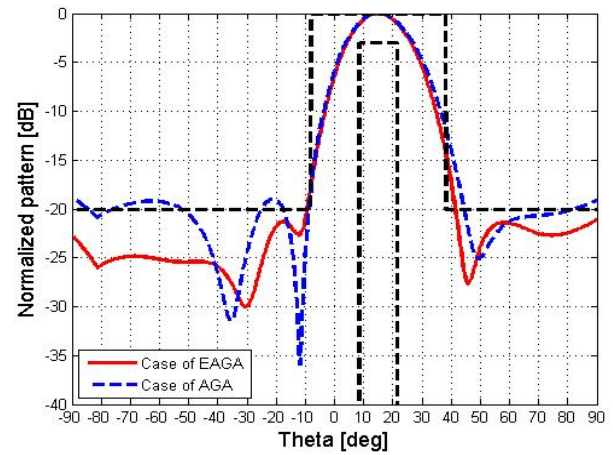
패턴이다. 부엽은 설계 조건에 따라 충분히 낮은 크기를 가짐을 확인할 수 있다. 여기서  $k_x = \sin\theta\cos\phi$ ,  $k_y = \sin\theta\sin\phi$ 이다.

### 5-3 다른 방향에서의 패턴 시뮬레이션

다른 방향에서도 패턴의 합성이 잘 이루어지는지 확인해 보기 위해 위와 동일한 조건에서 시뮬레이션된 EAGA와 AGA의 패턴을 비교하였다. 그림 12는 원하는 빔 조향 방향이  $(\theta_s, \phi_s) = (0^\circ, 0^\circ)$ 일 때와  $(\theta_s, \phi_s) = (15^\circ, 30^\circ)$



(a) 원하는 방향이  $(\theta_s, \phi_s) = (0^\circ, 0^\circ)$ 일 때  
 (a) Case of  $(\theta_s, \phi_s) = (0^\circ, 0^\circ)$



(b) 원하는 방향이  $(\theta_s, \phi_s) = (15^\circ, 30^\circ)$ 일 때  
 (b) Case of  $(\theta_s, \phi_s) = (15^\circ, 30^\circ)$

그림 12. 다른 방향에서의 정규화된 패턴  
 Fig. 12. Normalized patterns for different directions.

일 때의 정규화된 패턴이다. 이 패턴으로부터 EAGA를 통해 얻은 최적화 결과가 AGA의 경우보다 원하는 값에 더 근접해 있음을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 컨포멀 배열 안테나의 패턴 합성을 위한 EAGA를 제안하였으며, 그 과정을 나타내었다. 제안된 알고리즘은 수렴 속도와 최적의 비용함수 값을 개선하기 위해 AGA와 IWO의 장점을 결합하였다. 제안된 알고리즘을 사용하여, 2차 함수의 회전체 위에 배열된 컨포멀 안테나의 패턴을 합성하였으며, 합성된 패턴이 설계 조건을 충족함을 보였다.

이러한 결과는 본 논문에서 제안된 알고리즘이 컨포멀 배열 안테나의 패턴 합성에 유효함을 나타내며, 향후 다양한 곡면에서의 패턴 최적화에 효율적인 방법으로 사용될 것으로 기대된다.

## References

[1] Lars Josefsson, Patrik Persson, *Conformal Array Antenna Theory and Design*, John Wiley and Sons, 2006.

[2] T. E. Morton, K. M. Pasala, "Pattern synthesis of conformal arrays for airborne vehicles", *IEEE Aerospace Conference*, pp. 1030-1039, Mar. 2004.

[3] S. Sun, Y. Gong, and Z. Gou, "Optimum transmission beam forming on phase-only antenna arrays", *IEEE International Conference on Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions, Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions*, vol. 2, pp. 1041-1044, Jul. 2002.

[4] B. H. Wang, Y. Guo, Y. L. Wang, and Y. Z. Lin, "Frequency-invariant pattern synthesis of conformal array antenna with low cross-polarisation", *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 2, no. 5, pp. 442-450, 2008.

[5] R. Karimzadeh, M. Hakkak, A. Haddadi, and K. Forooghi, "Conformal array pattern synthesis using the weighted alternating reverse projection method considering mutual coupling and embedded-element pattern effects",

*IET Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 6, no. 6, pp. 621-626, 2012.

[6] J. L. Guo, J. Y. Li, "Pattern synthesis of conformal array antenna in the presence of platform using differential evolution algorithm", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 9, pp. 2615-2621, Sep. 2009.

[7] D. Mandal, A. K. Bhattacharjee, and S. P. Ghoshal, "Swarm intelligence based synthesis of concentric circular antenna array for broadside radiation", *Second International Conference on Emerging Applications of Information Technology*, pp. 369-372, Feb. 2011.

[8] Chuan hua Kang, Min hai Pan, De Ben, and Shu feng Gong, "Pattern synthesis of millimeter wave seeker using genetic algorithms", *International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology*, vol. 4, pp. 1-3, May 2012.

[9] Daniel W. Boeringer, Douglas H. Werner, and David W. Machuga, "A simultaneous parameter adaptation scheme for genetic algorithms with application to phased array synthesis", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 1, pp. 356-371, Jan. 2005.

[10] A. R. Mehrabiana, C. Lucasc, "A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization", *Ecological Informatics*, vol. 1, no. 4, pp. 355-366, Dec. 2006.

[11] Yan-Ying Bai, Shaoqiu Xiao, Changrong Liu, and Bing-Zhong Wang, "A hybrid IWO/PSO algorithm for pattern synthesis of conformal phased arrays", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 4, pp. 2328-2332, Apr. 2013.

[12] Cheol-Min Seong, Myung-seok Kang, Cheol-Soo Lee, and Dong-Chul Park, "Conformal array pattern synthesis on a curved surface with quadratic function using adaptive genetic algorithm", *2013 Asia-Pacific Microwave Conference*, pp. 167-169, Nov. 2013.

[13] F. Zhao, X. Ke, T. T. Liu, H. Y. Qi, L. Chai, and J. J. Mao, "Adaptive dynamic meta particle swarm opti-



mization algorithm and application in 3D power pattern synthesis for conformal arrays", *International Confe-*

*rence on Microwave and Millimeter Wave Technology*, vol. 5, pp. 1-5, May 2012.

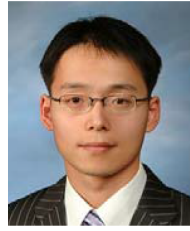
성 철 민



2008년 8월: 충남대학교 전자전과정정보통신공학과 (공학사)  
 2011년 2월: 충남대학교 전자전과정정보통신공학과 (공학석사)  
 2011년 3월~현재: 충남대학교 전자전과정정보통신공학과 전파공학전공 박사과정

[주 관심분야] 위상 변위기, 배열 안테나, 패턴 합성 알고리즘

류 홍 균



2005년 2월: 목원대학교 정보통신공학과 (공학사)  
 2007년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2012년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)  
 2012년 10월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원  
 [주 관심분야] 안테나

이 재 덕



2012년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
 2012년 9월~현재: 충남대학교 전파공학석사과정  
 [주 관심분야] 배열 안테나

이 규 송



1989년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)  
 1991년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2010년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1991년 2월~현재: 국방과학연구소 책임

연구원  
 [주 관심분야] 초고주파 능동 및 수동회로 설계, 방향탐지 시스템, 전자전 시스템

한 인 희



1997년 2월: 충남대학교 물리학 (이학사)  
 1997년~2001년: 극동통신 선임  
 2002년~현재: 엠티지 이사  
 [주 관심분야] 위상변위기, 배열 안테나, 광대역 안테나

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1976년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)  
 1984년 12월: University of California, Santa Barbara (공학박사)  
 1977년~1978년: Ruhr University, Bochum,

Germany 방문교수  
 1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairman  
 1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairman  
 2000년~2001년: 한국전자과학회 회장  
 2005년~2007년: 대덕 Wireless 포럼 회장  
 1976년~현재: 충남대학교 전파공학과 교수  
 [주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Components, Antennas, EMI/EMC