

# 선형 배열 안테나에서 수정된 유전 알고리즘을 이용한 부배열 구조 최적화

## Optimization of Subarray Configurations in Linear Array Antenna Using Modified Genetic Algorithm

김준호 · 김두수\* · 김선주\* · 양훈기 · 천창을\*\* · 정용식

Jun-Ho Kim · Doo-Soo Kim\* · Seon-Ju Kim\* · Hoon-Gee Yang ·  
Chang-Yul Cheon\*\* · Young-Seek Chung

### 요 약

본 논문에서는 유전 알고리즘에 기반하여 선형 위상 배열 안테나에서 합성 빔의 부엽 세기를 최소화하기 위한 부배열 구조 최적화 기법을 제안한다. 부배열 구조의 최적 설계 시 부배열 구성에 적용이 가능하도록 유전 알고리즘의 연산을 수정하였다. 제안된 부배열 설계법을 이용하여 40개의 배열 소자를 갖는 선형 배열 안테나에서 합성 빔 및 제밍에 대한 적응 신호 처리 후의 부엽 세기를 최소로 하는 불규칙 구조의 16개로 구성된 부배열 구조를 설계하였고, 규칙적인 부배열 구조에서의 최대 부엽 세기보다 약 10 dB 감소된 부엽 세기를 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we propose the optimization of subarray configurations for linear array to minimize the side lobe level (SLL) in sum beam pattern based on the genetic algorithm. The operations of genetic algorithm are modified to be applied to subarray configurations. Using the proposed method, we construct subarray structure with 16 irregular subarray elements from 40 linear array elements to minimize the SLL in sum beam pattern in case of applying the adaptive beamforming(ABF) to suppress the jamming power, whose the SLL is 10 dB lower than that of regular subarray configuration.

Key words : Subarray, Genetic Algorithm, Side Lobe Level

### I. 서 론

목표물의 탐지, 추적 등에 사용되는 능동 위상 배열(Active Phased Array)에 의한 고성능 레이더는 배열 소자의 수가 수천 개에 이르기 때문에, 레이더 요구 성능의 저하 없이 다양한 빔을 형성하기 위해서는 각 배열 소자에 대해 ADC(Analog to Digital con-

verter) 및 디지털 신호 처리 기법에 기반한 디지털 빔 형성(digital beamforming)을 적용하면 좋으나, 계산량 및 시간의 문제로 인해 실제 운용상의 어려움이 있다. 따라서 다수의 배열 소자들을 소수의 부배열(subarray)로 재구성한 후 다양한 다중 빔을 형성하는 기법이 최근 활발하게 연구되고 있다. 이렇게 생성된 부배열의 수는 디지털 빔 형성을 위한 변수의

「이 연구는 국방과학연구소의 위탁연구과제의 지원으로 연구되었음.」

광운대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Kwangwoon University)

\*국방과학연구소(Agency for Defence Development)

\*\*서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부(Department of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul)

· 논문 번호 : 20111018-129

· 교신저자 : 정용식(e-mail : yschung@kw.ac.kr)

· 심사일자 : 2011년 12월 5일 · 수정완료일자 : 2011년 12월 23일

수가 크게 감소하여 실시간 제어를 가능하게 하지만, 원하는 성능의 빔을 생성하기가 쉽지 않다. 또한, 부배열은 각 배열 소자들을 RF 합성기(combiner) 등을 이용한 하드웨어 구조이기 때문에 레이더의 운용 중 구조변경이 어렵다. 특히 규칙적인 구조의 부배열 구성은 그레이팅 로브(grating lobe) 등을 초래하여 레이더 성능 저하의 원인이 되기도 한다<sup>[1]</sup>. 그러므로 부배열 구성단계에서 충분히 레이더의 운용 모드가 고려된 목적 함수를 설정하여 그 성능을 만족하도록 하는 부배열 구성에 대한 최적화 연구가 필요하다.

본 논문에서 적용한 유전 알고리즘을 사용하여 부배열 최적화를 수행한 논문으로 Ansell은 MOGA(Multi-Objective Genetic Algorithm)를 사용하여 부배열 구조 최적화와 배열 소자 가중치를 동시에 최적화하였다<sup>[2]</sup>. 그리고 이를 통해 빔 패턴의 부엽 세기가 향상됨을 보였고, Golino는 ECM(Electronic Countermeasures) 성능을 최적화하였다. 하지만 몇몇 부배열 설계 결과가 주어졌지만, 어떠한 배열 조건이 사용되었는지는 구체적으로 언급되어 있지 않다<sup>[3]</sup>. 그리고 Hu Hang은 Ansell의 방법과 비슷하지만, 배열 소자의 가중치는 고정된 상태에서 부배열 구조만을 최적화하였다<sup>[4]</sup>. 하지만 대부분의 기 발표된 논문들은 부배열로 구성된 배열 안테나에서 부배열 가중치 추정을 위한 최적화에 대하여 다루고 있다.

본 논문에서는 부배열 구성에 적합하도록 수정된 유전 알고리즘을 이용하여 선형 배열 안테나로부터 부배열 구조로 구성하는 최적화 알고리즘을 제안한다. 이에 수반되는 부배열을 구성하는 규칙 및 수정된 유전 알고리즘 연산을 제안한다. 이때 사용된 목적 함수는 부배열을 이용한 합성 빔(sum beam)에서 부엽 세기의 최소화가 된다. 또한, 운용 목적에 따라 다중 빔 구성을 위한 디지털 빔 형성을 수행하고 재밍 억압을 위한 적응 빔 형성(adaptive beamforming)도 동시에 고려하였다.

## II. 유전 알고리즘 및 배열 안테나 구조

### 2-1 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 적자 생존과 자연 도태의 원리를 바탕으로 정립된 최적화 알고리즘이다. 공학 분야에

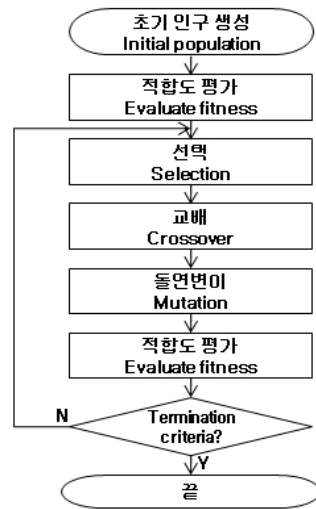


그림 1. 유전 알고리즘의 흐름도  
Fig. 1. Flow chart of genetic algorithm.

서는 Goldberg에 의해 가스 송수관에 대한 최적 설계가 최초로 시도된 이래 많은 발전이 있었다<sup>[5]</sup>.

유전 알고리즘은 자연 진화의 법칙을 일반 최적화 문제에 적용한 것으로 설계 영역에 다수의 개체를 분포시켜 목적 함수 값과 제약 조건의 위반 정도에 따라 각 개체에 적합성(fitness)을 부여하고, 적합성이 클수록 다음 단계인 교배와 돌연변이의 과정에 참여할 확률을 크게 하여 점차 전체 개체들은 좋은 방향으로 탐색이 진행된다. 그림 1은 유전 알고리즘에 대한 개요를 나타낸 그림이다.

유전 알고리즘에서는 이전의 세대에서 발생된 개체들 중에서 적합도가 뛰어난 개체들의 성질을 다음 세대로 전달하기 위해 교배 및 돌연변이 연산을 수행한다. 하지만 이러한 연산은 부배열 구성에 바로 적용이 어렵기 때문에 본 논문에서는 기존의 유전 알고리즘 연산 일부를 수정하여 적용하였다.

#### 2-1-1 수정된 교배(Crossover) 연산

교배 연산은 두 개체 사이의 염색체 교환을 통해서 새로운 개체를 생성하는 연산으로, 기존의 대표적인 교배 연산은 일점 교배(one-point crossover)와 이점 교배(two-point crossover) 등이 있는데, 본 논문에서와 같이 인접한 배열 소자들을 하나의 부배열로 구성하는 문제에 있어서는 적합하지 않기 때문에 그림 2와 같이 수정된 교배 연산을 적용하였다.

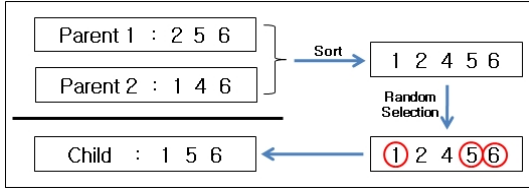


그림 2. 수정된 교배 연산  
Fig. 2. Modified crossover operation.

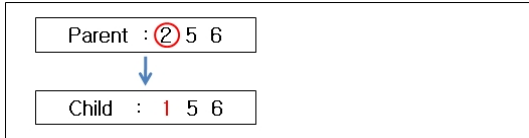


그림 3. 수정된 돌연변이 연산  
Fig. 3. Modified mutation operation.

교배하기 위한 이전 세대에서 발생된 두 개체의 유전자를 중복되지 않게 나열한 후 이 중에서 임의의 유전자를 선택하여 다음 세대의 개체로 결정된다. 그림 2는 이에 대한 예시이다.

그림 2에서 각 숫자는 부배열 결합의 중심이 되도록 선정된 배열 소자의 번호이다. 이와 같은 수정된 교배 연산을 통해 각 배열 소자의 위치를 나타내는 유전자가 중복되어 나타나지 않게 되며, 순서대로 나타나는 효과를 얻을 수 있다.

### 2-1-2 수정된 돌연변이(Mutation) 연산

돌연변이 연산은 염색체 상의 어떤 유전자 값을 다른 대립 유전자와 바꾸어 넣어 새로운 개체를 생성하는 국소적인 무작위 탐색의 한 종류이다.

본 논문에서 적용한 수정된 돌연변이 연산은 멀티 포인트에서의 돌연변이 연산을 바탕으로 하여, 선택된 이전 세대의 유전자와 중복되지 않는 범위 내에서 임의의 유전자로 바뀌게 된다. 그림 3은 이에 대한 예시이다.

그림 3에서 각 숫자는 부배열 결합의 중심이 되도록 선정된 배열 소자의 번호이다. 이와 같은 수정된 돌연변이 연산을 통해 각 배열 소자의 위치를 나타내는 유전자가 중복되어 나타나지 않으면서 집단의 다양성을 유지시킬 수 있게 된다.

### 2-2 부배열 안테나 구조

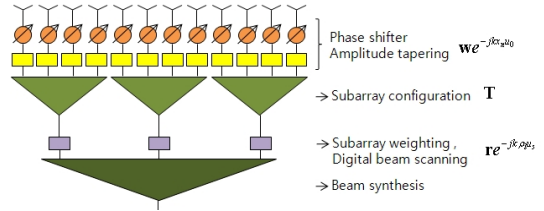


그림 4. 배열 안테나 및 부배열 구성  
Fig. 4. Array antenna and subarray configuration.

그림 4는 위상 배열 안테나에서 부배열 구조에 대한 개념을 나타낸다.

각 배열 소자에 부엽 세기를 낮추기 위하여 tapering이 적용되고 빔 조향을 위한 위상천이기(phase shifter)가 구성된다. 그리고 부배열 구성은 RF 합성기를 이용하여 수신 신호가 각 부배열 포트에 합산이 된 후, 각 부배열의 출력들은 ADC 채널을 거쳐 디지털 신호로 변환이 된다. 이러한 디지털화된 부배열의 출력신호에 운용 목적에 적합한 빔 형성을 위한 가중치가 적용된 후, 신호를 합하여 최종적인 빔을 형성하게 된다<sup>[6],[7]</sup>.

이때 각 배열 소자에 적용되는 tapering은 일반적으로 Taylor weighting이 사용된다. 이는 부배열의 설계와 독립적으로 배열 안테나에서 원하는 수준의 부엽 세기를 만족시키기 위한 과정이다.

부배열 구조는 부배열의 위상 중심에 가상 배열 소자가 있고, 그 부배열의 패턴에 대응하는 가상 배열 소자의 패턴이 있는 것처럼 생각할 수 있다. 따라서 빔 패턴은 아래와 같이 계산될 수 있다<sup>[8]</sup>.

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{l=1}^L f_l(\theta, \phi) \cdot f_{super}(\theta, \phi) \quad (1)$$

부배열의 집합인 배열 안테나를 superarray라고 할 수 있으며, superarray의 가상 배열 소자가 되는 소자 패턴(element pattern), 즉 부배열의 빔 패턴을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$f_l(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^{N_l} w_n e^{ik\{x_n(u-u_0)+y_n(v-v_0)\}} \quad (2)$$

$$u_0 = \sin\theta_0 \cos\phi_0 \quad (3)$$

$$v_0 = \sin\theta_0 \sin\phi_0 \quad (4)$$

$N_l$ 은  $l$ 번째 부배열에 속하는 배열 소자의 개수이고,  $w_n$ 은  $n$ 번째 배열 소자의 가중치(Taylor weighting)이고,  $x_n, y_n$ 은  $n$ 번째 배열 소자의 위치이며,  $k$ 는  $\frac{2\pi}{\lambda}$ 이다.

또한, superarray의 패턴은 아래와 같다.

$$f_{super}(\theta, \phi) = \sum_{l=1}^L r_l e^{ik\{\rho_{l,x}u + \rho_{l,y}v\}} \quad (5)$$

여기서,  $\rho_{l,x}$ 와  $\rho_{l,y}$ 는  $l$ 번째 부배열의 위상 중심이고,  $r_l$ 은 부배열의 출력에 적용되는 가중치이다. 이 때 다중 빔을 위한 부배열 가중치  $r_l$ 은 해당 방향으로 빔 조향을 하기 위한 phase 부분을 포함한 복소수로 표현이 될 수 있다.

일반적으로 원하는 빔 패턴의 특성(부엽 세기 및 지향 방향)과 그에 대응하는 amplitude 및 phase를 알고 있기 때문에 적절한 부배열 가중치를 적용할 경우 다양한 목적에 맞는 빔을 형성할 수 있다.

하지만, 위와 같은 부배열 구성에서 규칙적인 부배열 구조를 갖는 경우 부배열의 위상 중심 간의 간격이 반 파장보다 크기 때문에 그레이팅 로브가 발생하여 높은 부엽 세기를 갖게 된다. 이 때, 부배열 구조를 불규칙적으로 구성하게 되면 이러한 grating effects를 줄일 수 있다. 또한, 부분적인 배열 소자에 앞서 제시한 tapering을 적용하면 superarray에서 규칙성을 완화시키는 효과 또한 볼 수 있다. 따라서 최적화된 부배열의 배열 형태는 불규칙적인 형태로 제시될 수 있다.

### III. 부배열 구성 방법

일반적으로 고성능 레이더에 사용되는 능동 위상 배열 안테나에서는 수천 개가 넘는 배열 소자들로 구성되어 있기 때문에 적절한 수의 부배열로 구성하여 디지털 신호 처리를 하는 것이 바람직하다. 따라서 본 논문에서는 다양한 목적 함수에 맞는 부배열을 구성하는 방법을 제안한다.

우선 초기 인가로 전체 배열 소자 중 목표로 하는 부배열 개수만큼의 임의의 배열 소자가 선택이 된다. 그리고 이 배열 소자들을 중심으로 정해진 규칙에 의해 주변 배열 소자들과 결합하여 목표로 하는 수만큼의 부배열로 구성할 수 있다. 이를 위해서는

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

그림 5. 부배열 결합 규칙의 예  
Fig. 5. An example of subarray combination rule.

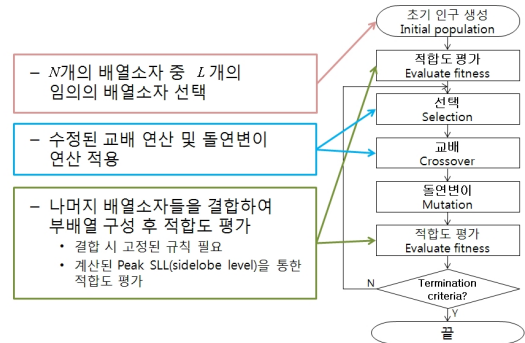


그림 6. 부배열 구성을 위한 흐름도  
Fig. 6. Flow chart for subarray configuration.

전체 배열 소자들 중에서 선택되지 않은 배열 소자들이 초기 인가로 선택된 배열 소자들을 중심으로 결합되는 규칙이 필요하다.

그림 5는 결합 규칙을 설명하기 위한 것으로 각 숫자는 배열 소자의 번호를 나타낸다. 만일 6, 11번이 선택이 되었다면 이들을 중심으로 주변의 선택되지 않은 배열 소자가 결합하게 된다. 그 중 주변에 선택된 배열 소자가 있는 2, 5, 7, 10, 12, 15번 배열 소자가 우선 순위를 갖게 되고, 이 중에서도 Taylor weighting 값이 작은 순서로 선택된 배열 소자(6, 11)와 결합된다. 이 때 7, 10번과 같이 주변에 선택된 배열 소자가 2개 이상 있는 경우에는 선택된 배열 소자 중 Taylor weighting 값이 가장 유사한 소자와 결합하게 된다. 이러한 식으로 선택되지 않은 배열 소자가 없을 때까지 반복하여 부배열을 구성하게 된다.

본 논문에서는 그림 6과 같은 방식으로 부배열 결합 규칙에 의해 일정한 개수의 부배열로 구성을 한 후, 이를 바탕으로 적합도를 평가하게 된다.

### IV. 설계 목적 및 시뮬레이션 결과

4.1 설계 목적에 따른 적합도 평가 함수 설정

디지털 빔 형성의 장점 중 하나는 수신된 신호를 이용하여 신호 처리를 통해 다양한 목적의 빔을 형성할 수 있다는 점이다. 따라서 여러 방향을 향하는 다수의 수신 빔을 형성하여 탐지 및 추적 성능을 향상시킬 수 있다. 하지만 부배열 구성에 따라 이러한 디지털 신호 처리 기법을 통한 성능이 크게 좌우되기 때문에, 최적의 부배열 구성을 함에 있어서 적절한 목적을 설정해야 한다. 본 논문에서는 최적의 부배열 구성을 위해 다음과 같은 목적이 고려되었다.

- 부배열 단계에서의 Digital beam scanning 및 Interference suppression 후의 sum beam에서의 부엽 세기의 최소화

이에 대한 부배열 단계에서 적응 빔 및 다중 빔 형성은 그림 7과 같이 표현될 수 있다.

수신된 재머 및 잡음 정보를 통해  $K$ 개의 유한한 샘플을 통해 추정된 공분산 행렬(covariance matrix)

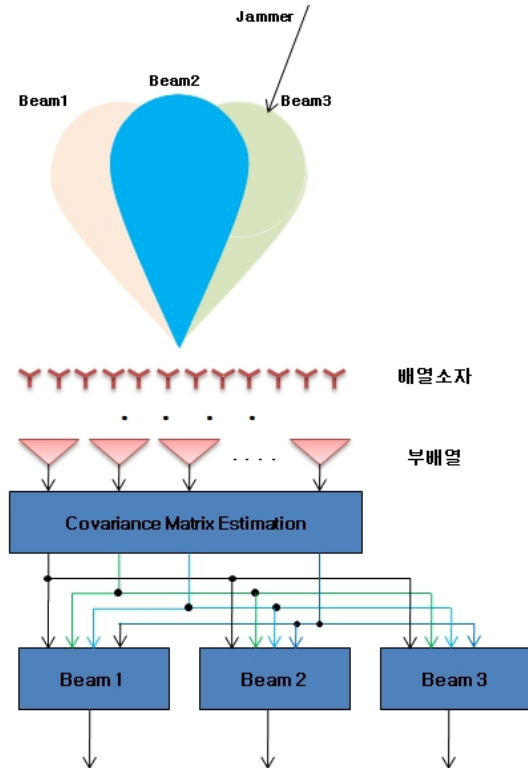


그림 7. 부배열 단계에서 ABF 및 다중 빔  
Fig. 7. ABF and multiple beams at subarray level.

은 아래와 같다.

$$Q = \frac{1}{K} \sum_{t=1}^K x(t)x^H(t) \tag{6}$$

이 때,  $x(t)$ 는 training data로 재머와 잡음에 대한 정보를 가지고 있다.

Full array의 경우 빔 형성기의 출력을  $y$ 라고 할 때,  $N$ 개의 배열 소자로 구성된 배열 안테나의 출력은 다음과 같다.

$$y = w^H z \tag{7}$$

$z$ 는 각 배열 소자에 수신된 신호이고,  $w$ 는 적응 빔 형성을 위한 가중치이다. 이 때 적응 빔 형성을 위한 가중치는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$w_{opt} = Q^{-1} a(\theta_0) \tag{8}$$

하지만 부배열 구성에서의 적응 빔 형성을 위해서는 각 배열 소자가 아니라 각 부배열의 출력을 통해 적응 빔 형성을 위한 가중치를 얻어야 한다. 따라서 이러한 경우 추정된 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$\tilde{Q} = \frac{1}{K} \sum_{t=1}^K \tilde{x}(t)\tilde{x}^H \tag{9}$$

$\tilde{Q}$ 와  $\tilde{x}$ 는 각각 부배열 단에서의 공분산 행렬 및 training data를 의미한다.

빔 형성기의 출력을  $y$ 라고 할 때,  $L$ 개의 부배열을 가진 배열 안테나의 출력은 다음과 같다.

$$y = w_{sub}^H \tilde{z} \tag{10}$$

이 때, 부배열 구성에서의 적응 빔 형성을 위한 가중치는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$w_{sub} = \tilde{Q}^{-1} m \tag{11}$$

$m$ 은 각 부배열 단계에 적용되는 가중치로 단순히 sum beam을 위한 가중치, 부배열 단계에서의 difference beam 및 다중 빔 등 목적에 맞는 적절한 부배열 가중치를 적용할 수 있다.

본 논문에서 고려하는 목적 함수로 사용될 적합도 평가 함수는 다음과 같다.

$$F_1 = \sum_{\Delta\theta_i} |SLL_{cal}(\theta_i) - SLL_{desired}(\theta_i)| \tag{12}$$

식 (12)의 적합도 평가 함수  $F_1$ 은 부배열 단계에서 합성된 다중 빔에 대해서 부엽 세기의 최소화를 목적으로 적용되었고, 또한 단일 재머에 대해서 재머의 위치에 적절한 깊이의 null을 생성하면서 최대 부엽 세기 또한 낮추기 위한 목적으로 적용되었다. 위의 식에서  $\Delta\theta_i$ 는 주엽 주변의 부엽 영역에서 재머가 입사하는 방향이다.

### 4-2 해석 모델 및 조건

본 논문에서 제안된 방법을 통해 성능 분석을 하기 위해 40개의 배열 소자들로 구성된 선형 배열 안테나를 16개의 부배열로 설계를 수행하였다.

각 배열 소자는 isotropic한 소자로 가정하였고, 배열 소자간의 간격은 반 파장이며, 배열 소자 단계에서는  $-35$  dB Taylor weighting이 적용되었다. 부배열 단계에서는  $1.5$  HPBW(Half Power Beam Width)만큼의 digital scanning을 위한 부배열 가중치 및 적응 빔 형성을 위한 부배열 가중치가 적용되었다.

최적의 16개의 부배열 구성을 얻기 위해 유전 알고리즘을 통해 600개의 인구수를 통해 600세대에 대하여 반복 수행되었다. 선택(Selection)은 stochastic uniform 방식이고, 1 %의 돌연변이 확률을 갖는다.

### 4-3 설계 결과 및 분석

목표로 하는 부엽 세기는  $-30$  dB로 설정하였고, 부배열 가중치는 HPBW의 1.5배 만큼 지향한 후 재머가 부엽 영역에 있을 때 적응 빔을 형성하도록 계산되었다. 따라서 앞 절에서 설명한 적합도 평가 함수를 통하여 다중 빔 및 적응 빔 형성 후 낮은 부엽 세기를 갖는 부배열 구성을 목표로 하였다. 재머에 대한 적응 빔 형성 시 SNR은 20 dB, JNR(Jammer-to-noise ratio)은 40 dB의 상황을 고려하였다.

본 논문에서 제안된 방법을 통해 위의 적합도 평가 함수에 따라 표 1과 같이 각 부배열별 배열 소자

표 1. 적합도 평가 함수에 따른 부배열 구성

Table 1. Subarray configurations according to the fitness functions.

적합도 평가 함수	각 부배열에 속하는 배열 소자의 개수
$F_1$	6 3 3 1 1 2 1 2 2 1 2 2 2 2 4 6

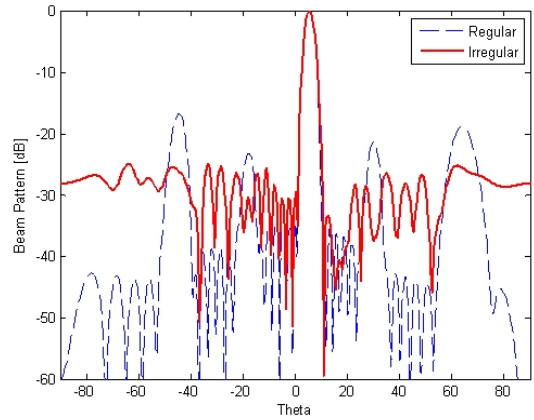


그림 8. 규칙적인 부배열 구성과 설계된 부배열 구성 ( $F_1$ )에서의 빔 패턴 비교

Fig. 8. Comparison of beam patterns between regular and optimized subarray configuration based on  $F_1$ .

의 수를 얻을 수 있다.

그림 8은 적합도 평가 함수  $F_1$ 에 의해 설계된 부배열 구조와 규칙적인 부배열 구조에서의 빔 패턴을 비교한 것이다. 규칙적인 부배열 구성을 한 경우에는 부배열 단계에서 HPBW의 1.5배만큼 빔 조향한 후 최대 부엽 세기가 약  $-15$  dB이지만, 적합도 평가 함수  $F_1$ 에 의해 얻어진 불규칙적인 부배열 구조에서는 약  $-25$  dB로 부배열 구조 최적화를 통해 10 dB의 크기 만큼의 성능 향상을 보인다.

그림 9, 그림 10은 각각 재머가  $-10^\circ$ ,  $13^\circ$ 에 있을

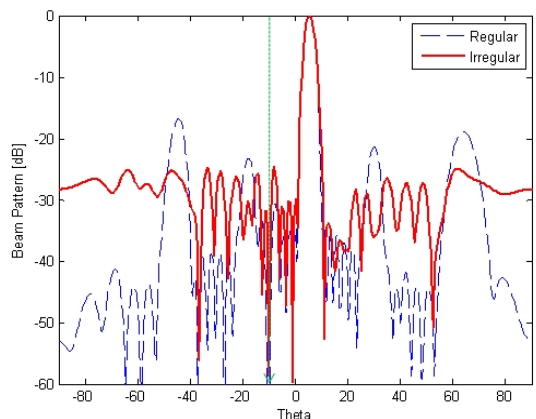


그림 9.  $F_1$ 에 따른 부배열 구성과 규칙적인 부배열 구성에서의 빔 패턴( $\theta_i = -10^\circ$ )

Fig. 9. Comparison of beam patterns between subarrays with  $F_1$  and regular subarrays( $\theta_i = -10^\circ$ ).



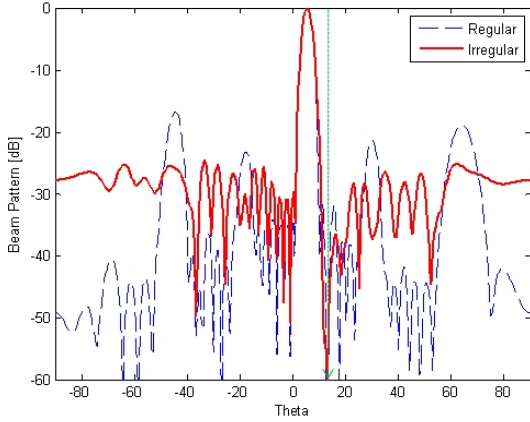


그림 10.  $F_1$ 에 따른 부배열 구성과 규칙적인 부배열 구성에서의 빔 패턴( $\theta_i=13^\circ$ )  
 Fig. 10. Comparison of beam patterns between subarrays with  $F_1$  and regular subarrays( $\theta_i=13^\circ$ ).

경우의 적응 빔 패턴으로 역시 규칙적인 부배열 구성에 비해 부엽 세기가 약 10 dB 낮음을 확인할 수 있다.

그림 11과 그림 12는 위에서 설계된 부배열 구조에서의 성능을 확인하기 위하여 재머가  $62^\circ$ 에 있을 경우 규칙적인 부배열 구조에서의 적응 빔 패턴과 비교한 것이다. 그림 12를 통해 비교적 부엽 세기가 높은 방향에서의 재머에 대해 적응 빔 형성 후에도 규칙적인 부배열 구성에서는  $-10$  dB까지 부엽 세기가 높아졌음에 비해 설계된 구조에서의 최대 부엽 세기는  $-20$  dB로 안정적인 빔 패턴을 볼 수 있다.

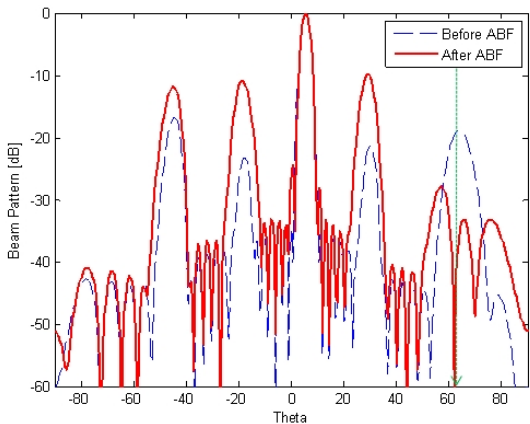


그림 11. 규칙적인 부배열 구성에서의 적응 빔 패턴 ( $\theta_i=62^\circ$ )  
 Fig. 11. The adapted beam patterns of regular subarrays( $\theta_i=62^\circ$ ).

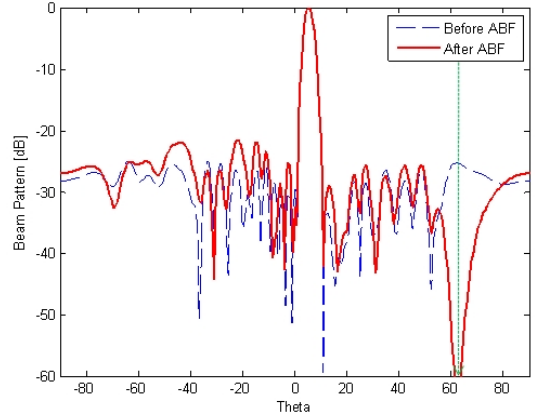


그림 12.  $F_1$ 에 따른 부배열 구성에서의 적응 빔 패턴 ( $\theta_i=62^\circ$ )  
 Fig. 12. The adapted beam patterns of subarrays with  $F_1$ ( $\theta_i=62^\circ$ ).

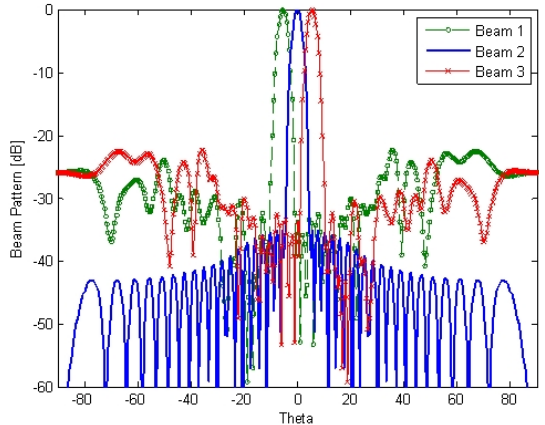


그림 13.  $F_1$ 에 따른 부배열 구성에서 다중 빔 형성 ( $-1.5$  HPBW,  $0$  HPBW,  $1.5$  HPBW)  
 Fig. 13. Multiple beams using the optimized subarray with  $F_1$ ( $-1.5$  HPBW,  $0$  HPBW,  $1.5$  HPBW).

그림 12의 결과를 통해서 불규칙적으로 설계된 부배열 구성이 규칙적인 부배열 구성에 비해 부엽 세기가 낮은 다중 빔 및 적응 빔을 형성할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 위의 부배열 구조를 통해 그림 7에서와 같이 다중 빔 및 재머가 있을 경우, 이에 대한 적응 빔을 형성할 경우 그림 14와 같은 빔 패턴을 얻을 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 선형 배열 안테나에서 유전 알고

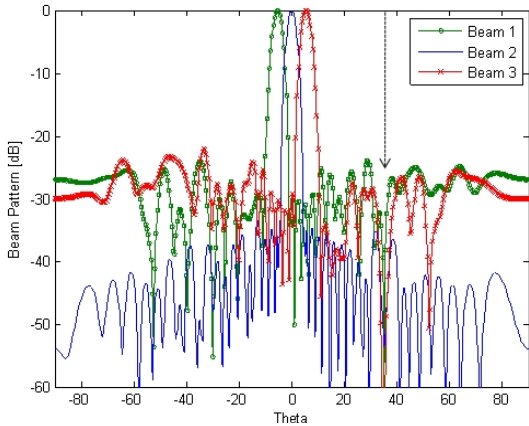


그림 14.  $F_1$ 에 따른 부배열 구성에서 다중 빔 및 적응 빔 형성( $\theta_i=35^\circ$ )

Fig. 14. Multiple and adaptive beams using the optimized subarray with  $F_1(\theta_i=35^\circ)$ .

리즘을 이용하여 부배열 구조를 최적화하는 방법을 제안하였고, 부배열 구조 최적화를 위한 적합도 평가 함수를 통해 얻어진 부배열 구조에 대한 빔 패턴을 확인하였다. 부배열 구조 최적화를 위한 적합도 평가 함수로는 부배열 가중치에 의해 빔 조향을 하였을 경우에도 낮은 부엽 세기가 보장되도록 적용하였고, 결과에서도 규칙적인 부배열 구조에서의 최대 부엽 세기와 비교하였을 때 약 10 dB 정도의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한, 부배열 가중치에 의한 빔 조향 및 재머에 대한 적응 빔 형성 시에도 규칙적인 부배열 구조에서의 부엽 세기보다 약 10 dB 감소된 빔 패턴을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 방법은 real coded encoding 방식을 사용하여 binary encoding 방식에 비해 표현이 쉽도록 하였고, 부배열 결합의 중심이 되는 배열 소자의 위치 기반의 염색체 구성을 통해 적은 수의 염색체 표현으로 부배열 설계가 가능하다.

본 논문에서 제안한 최적화 알고리즘은 선형 배열 구조뿐만 아니라 평면형 배열 구조에도 적용이

가능하도록 확장성이 보장되어 평면형 배열 안테나에서도 목적에 맞는 적절한 적합도 평가 함수를 적용할 경우, 원하는 성능을 만족시킬 수 있는 부배열 구조를 설계할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] U. Nickel, "Subarray configurations for digital beamforming with low sidelobes and adaptive interference suppression", *Proc. IEEE International Radar Conf.*, pp. 714-719, 1995.
- [2] D. W. Ansell, E. J. Hughes, "Use of multi-objective genetic algorithms to optimize the excitation and subarray division of multifunction radar antennas", *IEEE Multifunction Radar and Sonar Sensor Management Techniques*, pp. 8/1-8/4, 2001.
- [3] G. Golino, "A genetic algorithm for optimizing the segmentation in subarrays of planar array antenna radars with adaptive digital beamforming", *IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*, pp. 211-216, Oct. 2003.
- [4] Hu Hang, "Optimizing the architecture of planar phased array by improved genetic algorithm", *International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications*, pp. 676-679, 2007.
- [5] R. L. Haupt, S. E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*, Wiley-Interscience, 2004.
- [6] W. Wirth, *Techniques Using Array Antennas*, The Institution of Electrical Engineers, 2001.
- [7] Robert. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, Artech House, 2005.
- [8] U. Nickel, "Properties of digital beamforming with subarrays", *Proc. International Conference on Radar(CIE '06)*, pp. 1-5, Oct. 2006.



김 준 호



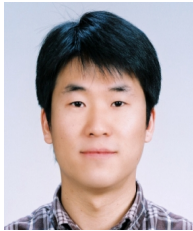
2010년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)  
2010년 3월~현재: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)  
[주 관심분야] 레이더 신호 처리, 능동 위상 배열 레이더

양 훈 기



1985년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1987년 2월: SUNY at Buffalo ECE (공학석사)  
1992년 2월: SUNY at Buffalo ECE (공학박사)  
1993년 3월~현재: 광운대학교 전자공학과 교수  
[주 관심분야] 무선 통신 시스템, UWB, RFID, 스펙트럼 공학, 레이더 신호 처리

김 두 수



2001년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
2006년 2월: 포항공과대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
2006년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원  
[주 관심분야] 위상 배열 안테나, 안테나 제어 시스템, 최적화 알고리즘

천 창 울



1983년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)  
1992년: University of Michigan, Ann Arbor (공학박사)  
1992년~1995년: 강원대학교 전기공학과 조교수  
1995년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 교수  
[주 관심분야] RF, RF Power Amplifier, EMC, 레이더 신호 처리

김 선 주



1986년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)  
1988년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)  
1988년 3월~현재: 국방과학연구소 책임연구원  
[주 관심분야] 반도체 송수신 모듈 설계, 능동 위상 배열 레이더 시스템 설계, 항공기 레이더

정 용 식



1989년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
1991년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)  
2000년 8월: 서울대학교 전기공학부 (공학박사)  
2003년 2월: Syracuse대학교 Post Doctor  
2003년 3월~2006년 2월: 명지대학교 통신공학과 조교수  
2006년 3월~현재: 광운대학교 전자공학과 부교수  
[주 관심분야] 전자파 수치 해석, 안테나, EMI/EMC, 레이더 신호 처리