

# 유전자 알고리즘을 이용한 마이크로스트립 패치 배열 안테나의 부엽레벨 최적화

김동현<sup>o</sup>, 김영식

고려대학교 전파공학과 전파기술연구실

e-mail : 95radio@korea.ac.kr

## Sidelobe Level Optimization of Microstrip Patch Array using Genetic Algorithms

Dong-Hyun Kim, Young-Sik Kim

Dept. of Radio Sciences and Engineering, Korea University

### Abstract

In this paper, distances between elements are optimized for low sidelobe level (SLL) microstrip patch array using Genetic Algorithms. Genetic Algorithms are "global" numerical-optimization methods, it's advantages are very simple coding and fast optimization. This paper show how to optimize the maximum SLL using Genetic Algorithms. In the results, although mutual coupling is neglected, it's maximum SLL is 3.5 dB lower than Uniformly Spaced Array(distance=0.5  $\lambda$ ).

Key words : Sidelobe Level (SLL), Genetic Algorithms, Optimization

### I. 서론

마이크로스트립 배열 안테나는 인쇄 기술이 저가이고 제작이 쉬우며 부피가 작기 때문에 최근 수십 년간 광범위하게 응용되고 있다.

배열 안테나는 기본적으로 큰 전력이득과 지향성 방사패턴을 제공한다. 균일급전, 등간격 배열로 구현할 수 있으나 최대 부엽레벨(SLL)이 약 13.3dB이기 때문에[1] Radar, Directive Finding과 같은 Direction Application에는 부적합하다. 부엽레벨을 줄이기 위한 방법으로는 비균등급전, 등간격 배열을 사용할 수 있으나 급전부의 설계가 어렵고 주빔폭을 증가시키는 단점이 있다. 본 논문에서는 균일급전, 비균등 간격 배열의 소자간격을 최적화하여 부엽레벨을 최소화하는 방법을 제안하였다.

최적화 방법으로는 랜덤 탐색법(Random Search)

공액 경도법(Conjugate Gradient)이 보편적이다.

그러나 랜덤 탐색법은 느리고 국부 최적화 될 수 있는 단점이, 경도법은 국부 최적화 될 수 있고 목적함수(Cost Function)가 연속이고 미분가능 하여야 하며 경도를 구해야 한다는 단점이 있다. 하지만 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms)은 이들 단점을 극복한 최적화 방법으로 자연선택(Natural Selection)과 진화(Evolution)의 개념을 기본으로 한 광역 최적화법이다[2]. 유전자 알고리즘은 변수 자체가 부호화되어 작용하므로 변수가 제약조건을 갖는 경우에도 쉽게 적용이 가능하다. 이산, 연속, 불연속, 또는 혼합된 형태의 모든 목적함수에 대하여 병렬적으로 동시에 작용하여 결과를 얻는다[3]. 또한 목적 함수의 미분 가능성이 요구되지 않기 때문에 유전자 알고리즘은 잡음과 복잡한 함수에 대하여 매우 효과적이다.

2장에서는 방사소자 설계, 3장에서는 유전자 알고리즘을 이용한 8x1 배열 안테나의 부엽레벨 최적화, 4장에서는 3장의 결과를 토대로 한 모의실험 결과와

유전자 알고리즘 결과들을 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 방사소자 설계

유전자 알고리즘을 이용한 부엽레벨 최적화에 대한 연구는 주로 다이폴 안테나와 같이 H-plane 방사 패턴이 등방성인 경우에 한정되어 있었다[3,4]. 하지만 실제 배열 안테나에서는 마이크로스트립 패치 안테나를 많이 사용하게 된다. 이러한 이유로 본 논문에서는 사각패치 안테나를 방사소자로 선택하였다. 그림 1에서 본 논문에 사용된 사각패치 안테나의 구조를 나타내었다. 각 변수는  $L_1=10.5mm$ ,  $W_1=10.5mm$ ,  $L_2=5.47mm$ ,  $W_2=0.26mm$ ,  $W_3=1.56mm$  이며 기판은 Duroid 5880 ( $\epsilon_r=2.2$ ,  $h=20mil$ )을 사용하였다.

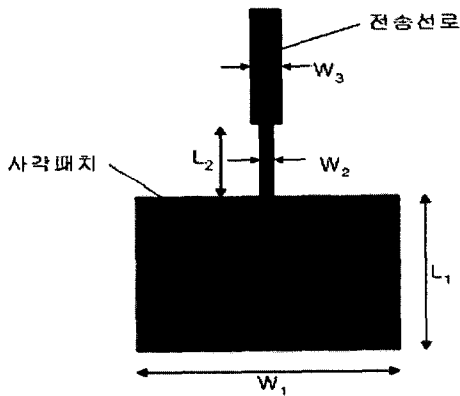


그림 1. 사각패치 안테나의 구조

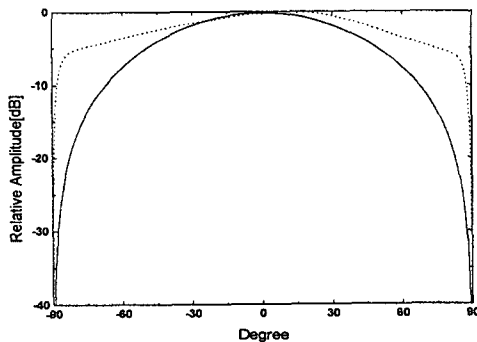


그림 2. 사각패치 안테나의 방사패턴 (실선 : H-plane, 점선 : E-plane)

모의실험 결과 9.23GHz에서 공진되었으며 방사소자의 방사패턴은 그림 2와 같다.

## III. 유전자 알고리즘을 이용한 8x1 배열 안테나 설계

유전자 알고리즘은 자연계의 진화현상에 착안하여, 특정 문제에 대한 궁극적인 해를 간단한 염색체 (Chromosome)와 같은 형태의 이진코드로 부호화한 후, 무작위로 선택된 염색체들로부터 시작된다. 목적함수에 의해 각각의 염색체들은 적합치(Cost)를 부여받고 적합치에 의해 순위가 정해지면 부모 염색체의 교배(Crossover)에 의해 자손 염색체가 만들어진다. 또한 돌연변이 과정은 염색체에 대하여 비트 단위의 변화를 무작위로 발생시킨다.

그림 3은 유전자 알고리즘의 순서도이다[2].

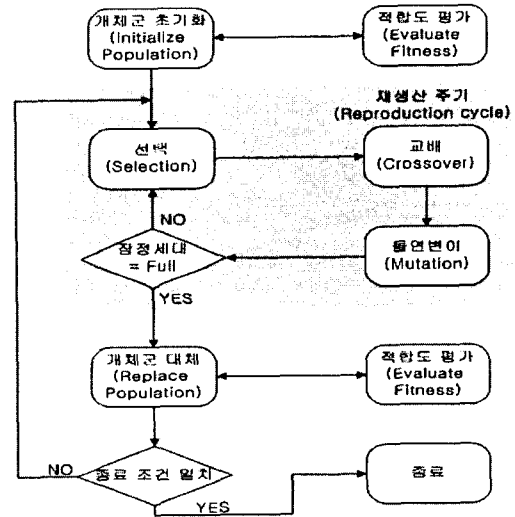


그림 3. 유전자 알고리즘 순서도

유전자(Gene)는 유전자 알고리즘에서 가장 기본적인 단위로서 변수를 이진코드로 변형한 형태이다. 본 논문에서 변수는 방사소자간의 간격으로  $N_{Gbit}=4bit$ 으로 인코딩 하였다. 방사소자간의 최소 간격은  $d_0=0.4\lambda$ , 유전자의 이진코드는  $b[n]$ 으로 나타낼 때 소자간의 실제 간격  $d_n$ 은 다음과 같이 주어진다(표 1).

$$d_n = d_0 + \sum_{n=1}^{N_{Gbit}} b[n]\Delta 2^{n-1} \quad (1)$$

단,  $\Delta=0.05\lambda$ 는 양자화(Quantization) 레벨이다.

유전자의 이진코드는 표 1의  $b[n]$ 중 랜덤하게 선택된다.

표 1. 유전자의 이진코드와 실제 간격

$b[n]$	$d_n$	$b[n]$	$d_n$
0000	$0.40\lambda$	1000	$0.80\lambda$
0001	$0.45\lambda$	1001	$0.85\lambda$
0010	$0.50\lambda$	1010	$0.90\lambda$
0011	$0.55\lambda$	1011	$0.95\lambda$
0100	$0.60\lambda$	1100	$1.00\lambda$
0101	$0.65\lambda$	1101	$1.05\lambda$
0110	$0.70\lambda$	1110	$1.10\lambda$
0111	$0.75\lambda$	1111	$1.15\lambda$

8x1 배열 안테나는 좌우 대칭이므로 유전자의 개수는  $N_G=4$ 개이고 각각은  $N_{Gbit}=4$ bit으로 인코딩되므로 염색체는  $N_{Cbit}=4*4bit=16bit$ 으로 인코딩된다. 이 경우 조합 가능한 염색체의 개수는  $2^{16}$  이 된다. 그림 3의 순서도에서 개체군 초기화 단계에서 생성되는 염색체의 개수는  $N_{Chro} = 10*N_G*N_{Gbit} = 160$  으로 하였다. 각각의 염색체는 아래와 같이 인코딩 된다.

$$\begin{aligned} \text{염색체} &= [ P_1 \ P_2 \ P_3 \ \dots \ P_{NG} ] \\ &= [ 000100101011 \ \dots \ 1001 ] \end{aligned}$$

다음 단계에서는 초기화된 개체군의 각 염색체에 대해 적합치를 부여하게 된다. 적합치 계산은 1장의 방사소자 패턴과 배열성분(AF)의 곱으로 전체 방사 패턴을 구하여 최대 부엽레벨의 값을 적합치의 기준으로 하였다. AF는 다음 식과 같이 주어지며 그림 4를 기준으로 하였다[5,6].

$$AF = 2 \sum_{n=1}^{N_G} a_n \cos(kd_i \cos \gamma + \beta)$$

$$\text{where } di_n = \sum_{k=1}^n d_k$$

$$a_n = 1, \beta = 0, k = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (2)$$

이때 x축 상의 배열 안테나 이므로

$$\cos \gamma = \sin \theta \cos \phi \quad (3)$$

단,  $\phi = 0^\circ$  이다.

개체군의 염색체별로 적합치가 부여되면 적합치 순으로 정렬하여 하위 염색체는 도태되어 소멸되고 상위순위의 염색체들은 부모염색체가 되어 교배를 통해 새로운 자손염색체들을 생성하며 소멸된 염색체를 대신하게 된다. 기존의 부모염색체와 새롭게 만들어진 자손염색체로 이루어진 새로운 개체군이 만들어지는 것이다. 새로운 개체군은 돌연변이를 통해 전체 염색

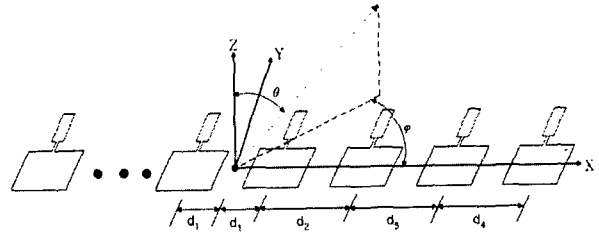


그림 4. 배열 안테나의 구조

체의 1/2은 염색체내의 1bit가 0→1 또는 1→0으로 바뀐다. 교배와 돌연변이를 거쳐 새롭게 탄생한 개체군은 다시 적합치를 평가하게 되고 이후의 과정을 순환하면서 진화해 나간다.

MATLAB로 코딩하여 100번의 반복 연산을 수행한 결과 그림 5와 같이 궁극의 해로 수렴함을 알 수 있다. 표 2는  $N_{Gbit}$ 와  $\Delta$ 를 달리 하였을 때의 결과이다. 그림 5의 경우 21번의 반복 연산 후 최적화 되었으며 이때의 최대 부엽레벨은  $-21.57dB$ 이다. 최적화된 소자간의 간격은 표 2에 나타내었다. 표 2는 동일한 변수 공간 ( $0.4\lambda \sim 1.15\lambda$ )이 되도록  $N_{Gbit}$ 와  $\Delta$ 를 변화시켰을 때의 최대 부엽레벨과 최소 수렴 기간을 나타내었다.  $N_{Gbit}$ 를 크게 하여 변수 공간을 작게 만들수록 최소 수렴 기간의 증가에 비해 최대 부엽레벨의 감소량이 작음을 알 수 있다. 이를 통해  $N_{Gbit}$ 을 크게 할수록 정교한 최적화가 가능하나 연산시간의 증가에 비해 최적화의 수준은 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

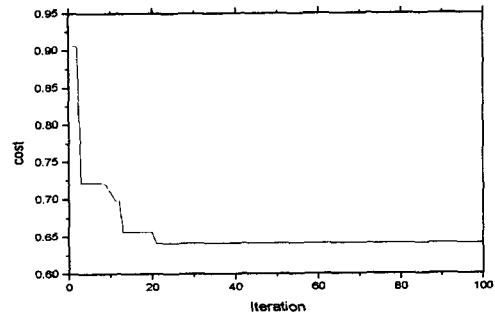


그림 5. 최소 적합치 변화

#### IV. 모의실험 결과

3장의 최적화 결과 중  $N_{Gbit}=4$ 인 경우의 최적화 결과를 이용하여 IE3D로 모의실험 결과와 균일급전, 비균등 간격 배열 안테나( $d=0.5\lambda$ )의 모의실험 결과를 그림 6에 나타내었다. 급전부에 의한 기생방사의

영향을 제거하기 위해 급전부는 제외시켰다. 최대 부엽레벨은 -17.04dB로 표 2의 결과에 비해 4.53dB 증가 하였다. 그 이유는 3장의 유전자 알고리즘 최적화에서는 상호결합(Mutual coupling)을 무시하였기 때문이다 [7]. 방사소자간의 상호결합의 영향으로  $\theta = 16^\circ$ 에서 부엽레벨이 증가되었다.

방사소자의 간격을  $0.5\lambda$  일정하게 하여 균일급전, 등간격 배열 안테나의 최대 부엽레벨과 비교 하였을 때 -13.54dB에 비해 3.5dB 향상되었다(그림 6). 유전자 알고리즘을 통한 최적화는 상호결합을 고려하지 않았지만 상호결합을 고려한 모의실험 결과와 비교해 보았을 때 약 4.53dB의 차이를 보였음에도 불구하고 균일급전, 등간격 배열 안테나에 비해 약 3.5dB 향상되었다.

표 2.  $N_{Gbit}$ 와  $\Delta$ 에 따른 최대 부엽레벨

$N_{Gbit}$	$\Delta$ ( $\lambda$ )	SLL (dB)	$d_n$ ( $\lambda$ )		최소수렴 기간
2	0.2000	-19.39	0.2500	0.5000 0.5000 0.9000	5
3	0.1000	-20.92	0.2500	0.6000 0.6000 0.9000	9
4	0.0500	-21.57	0.2500	0.5000 0.6000 0.8500	21
5	0.0250	-21.70	0.2500	0.5750 0.6000 0.9000	27
6	0.0125	-21.81	0.2500	0.5750 0.6125 0.9000	33

### V. 결론

배열 안테나 설계에 있어 전력 이득과 부엽레벨은 매우 중요한 사항이다. 부엽 레벨을 최소화 하기위해 비균등급전, 등간격 배열 안테나로 구현할 수 있으나 급전부의 설계가 어렵다는 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용한 방사소자의 간격을 최적화하여 부엽레벨의 최소화를 제시하였다. 상호결합을 고려하지 않았지만 균일급전, 등간격 배열 안테나에 비해 최대 부엽레벨이 3.5dB 향상 되었다. 간단하면서 광역 최적화를 가능하게 하며, 빠른 연산 속도를 보여주는 유전자 알고리즘은 본 논문의 부엽레벨 최적화뿐만 아니라 안테나 설계 전반에 적용될 수 있어 앞으로 다양한 응용이 기대된다.

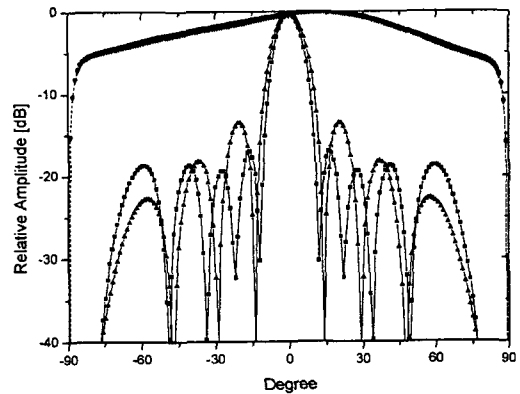


그림 6. 배열 안테나 방사패턴 모의실험 결과  
 (▲: H-plane(균일급전, 등간격 배열 안테나),  
 ▼: E-plane(균일급전, 등간격 배열 안테나),  
 ■: H-plane(균일급전, 비균등 간격 배열 안테나),  
 ●: E-plane(균일급전, 비균등 간격 배열 안테나)

### 참고문헌

- [1] Warren L. Stutzman and Gary A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, Inc. 1998
- [2] Yahya Rahmat-Sammil and Eric Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, John Wiley & Sons, Inc., 1999
- [3] Randy L. Haupt, "An Introduction to Genetic Algorithms for Electromagnetics", *IEEE Antennas and Propagation*, vol. 37, No. 2, pp. 7-15, April 1995
- [4] Randy L. Haupt, "Partial Nonuniform Spacing of Array Elements", *IEEE AP-S Int. Symp. Dig.* vol.3, pp. 1708-1711, June 1991
- [5] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, John Wiley & Sons, Inc. 1997
- [6] M. T. Ma and Professor-Adjoint of Electrical Engineering, *Theory and Application of Antenna Arrays*, John Wiley & Sons, Inc. 1973
- [7] John L. Allen, "A Simple Model for Mutual Coupling Effects on Patterns of Unequally Spaced Arrays", *IEEE Antennas and Propagation*, AP-15, No. 4, pp. 530-533, July 1967