

니칭 유전 알고리즘을 이용한 어레이 안테나의 방사패턴 합성

Beam Forming of Array Antenna Using Niching Genetic Algorithm

강노원, 이정엽, 정현교 · 서울대학교 전기컴퓨터공학부
천창울 · 서울시립대학교 전기전자공학부

No-Weon Kang, Jung-yeop Lee, Hyun-Kyo Jung · School of Electrical Engineering, Seoul National University
Chang-Yul Cheon · Department of Electronics, University of Seoul

ABSTRACT

Recently, mechanically beam-steering microstrip patch array antenna using MEMS technology is developed and tested. In this paper as an application of developed antenna, new radiation pattern synthesis method for beam-steering antenna without phase-shifter is proposed, and applied to synthesis of desired beam shape. Niching genetic algorithm using Restricted Competition Selection (RCS) is used for radiation pattern optimization. This approach can be applied to design of array antenna for meet EMC standard and through proposed method specific beam shapes can be synthesized.

최근 기계적으로 빔을 움직일 수 있는 마이크로 스트립 패치 배열 안테나가 MEMS 기술을 이용해서 제작되고 시험되었다. 본 논문에서는, 제작된 안테나의 적용 예로써 위상변위기를 사용하지 않는 새로운 어레이

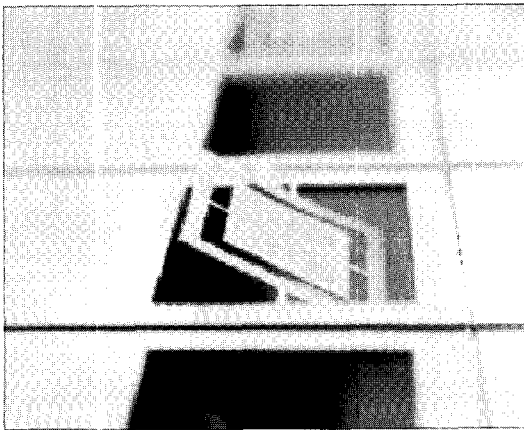
안테나의 방사패턴 합성방법을 제안하고, 제안된 방법을 원하는 빔 형상합성에 적용하였다. 방사패턴 형상의 최적화에는 Restricted Competition Selection (RCS)를 이용한 니칭 유전 알고리즘을 이용하였다. 또한 이러한 방식의 접근은 EMC 표준에 대처하기 위한 배열 안테나의 설계 시에도 적용이 가능하며, 제안된 방법을 이용하여 특정한 빔 형상들에 대한 합성이 가능하다.

I. 서론

현대사회는 정보화 사회라고 할 수 있을 정도로, 현대인은 정보의 홍수 속에서 살고 있다. 세계적으로 매 순간 새로운 정보가 생산되고 있고 생산된 모든 정보는 지구 곳곳 어는 곳으로든 거의 순간적으로 전송되어 모든 사람들에게 공급되고 있다. 이에 따라 대량 무선정보의 전송이 필요하다. 스마트 안테나는 고효율을 가지므로 대량 무선정보의 전송에 대처할 수 있으므로 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 스마트 안테나 시스템의 경우에는, 각 단위 안테나의 전류크기와 위상을 제

어해서 배열 안테나의 필요한 방사패턴을 생성하며, 위상을 제어하기 위해서는 고가의 위상변위기 (Phase Shifter)가 필요하다. 위상변위기는 보통 높은 삽입손실을 가지며, 이로 인해 시스템의 신호 대 잡음비(SNR)의 열화가 일어난다는 문제점을 가지고 있다.

최근의 MEMS (Micro Electro-Mechanical System)기술을 이용하여, 일괄공정(Batch Process)으로 저비용의 기계적으로 움직이는 2차원 마이크로 스트립 패치 배열 안테나가 개발되었다 [1]. 이 안테나는 기계적으로 안테나를 회전시킴으로써 2차원으로 빔의 방향을 조절할 수 있다(그림 1). 본 논문에서는 이 움직이는 안테나의 한 응용으로서, 안테나의 위상을 제어하는 대신, 안테나 빔의 회전각도(tilt angle)를 제어하는 방식으로 원하는 방사패턴(radiation pattern)을 합성하는 방법을 제안한다. 이 방법을 이용하면 고가의 위상변위기가 없이 원하는 빔 형상을 만들어 낼 수 있으며, 어레이 팩터에 의한 이득의 감소가 없으므로, 우수한 SNR 특성을 얻을 수 있다.



[그림 1] MEMES 기술을 이용해 제작된 움직이는 마이크로 스트립 패치 안테나 [1].

본 논문에서는, 1차원 움직이는 선형 배열 안테나(linear array antenna)를 이용하여 위상변위기 없이 빔 형상을 합성할 수 있는 가능성을 제시한다. 지금까지 제안된 대부분의 빔 형상 설계기법들은 최적화 기법을 사용하나, 일반적으로 단일 목적에 대해서만 최적화를 수행한다 [2][3]. 그러나 본 논문에서는 RCS (Restricted Competition Selection)[4] 를 이용한 니칭(Niching) 유전 알고리즘을 채택하여 Cosecant 또는 Sector빔 형상 등의 원하는 빔 형상을 가지며, 이득이 최대로 되는 전류의 크기 및 회전각도(tilt angle) 등을 선택하였다.

II. 본 론

1. 니칭 유전 알고리즘

실제 최적화 문제는 가능한 변수 범위(feasible domain) 안에 설계자의 목적에 부합하는 여러 개의 최적해를 가지고 있는 경우가 대부분이다. 특히 배열 안테나 설계 [5]-[7], 어레이 안테나의 방사패턴 최적화 [8]-[11] 등의 문제에서 이와 같은 여러개의 최적해를 가진다는 것이 알려져 있다.

최근 들어 한 개 이상의 최적해를 가지는 문제를 해결하기 위해서 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 기법을 다중 최적화 기법(MOT's : Multimodal Optimization Techniques)라고 하며, 이 방법은 다중 목적함수 또는 단일 목적함수를 가진 문제에 모두 적용 가능하다. 일반적인 다중 목적함수의 최적화 방법은 목적함수의 가중치를 부여하여 단일 목적함수로 치환

하는 방법이다. 그러나 마이크로 웨이브 소자를 다중 목적 최적화를 이용해서 설계하는 데에는 몇 가지 문제가 있다. 첫 번째로, 가능한 설계 영역내의 다른 보조 영역(sub-domain)에 존재하는 여러 개의 목적함수는 서로 다른 민감도를 가지므로 특정한 기능함수를 사용한 경우 설계자의 선호도를 나타내지 못할 가능성이 있다. 또 한 가지의 문제점은 열적 문제나 신뢰성, 제작의 편의성 등의 문제점을 다중 목적함수로 규정하기가 매우 어렵다는 점이다.

따라서 본 논문에서는 가장 중요한 제한 조건만을 고려하여 목적함수를 정의하고, 전역 최적해 뿐만이 아니라 국부 최적해 또한 우수 후보군(elite set)에 저장하는 최적화 방법을 이용하였다. 이 우수 후보군을 또 다른 제약조건을 고려하여 후처리(postprocess)함으로써 설계자의 경험 및 기타 제약조건을 고려하여 최적의 해를 선택하는 것이 가능하다.

본 논문에서의 최적화 대상은 Coscant 나 Sector 빔 형상과 같은 방사 패턴이다. 일반적으로 설계자의 목적에 부합하는 방사 패턴을 합성하기 위한 여러 개의 최적해가 존재한다. 기존의 유전 알고리즘은 자연진화의 법칙인 적자생존, 자연도태의 원리를 토대로 하며 교배와 변종의 과정을 통해 최적의 해를 찾아간다. 그러나 다중목적함수 최적화의 문제에 있어서는 다른 피크에 해당하는 스키마타(schemata) 사이의 경쟁을 제한할 수 없으므로 genetic drift 현상에 의해 하나의 전역 최적점으로서만 수렴하게 되므로 유전 알고리즘은 다중목적함수 최적화 성능이 결여된다. 이러한 기존의 유전 알고리즘의 특성에 생태계의 니체(Niche) 개념을 도입하여 탐색공간에서 여러 해를 병렬적으로 찾을 수 있도록 제안된 방법을 통틀어 니

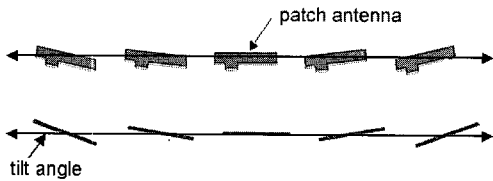
칭 유전 알고리즘이라 한다.

잘 알려진 니칭 기법으로는 Sharing과 Crowding이 있다. 적합도(fitness) Sharing의 경우는 다른 많은 개체가 그 근처에 있는 경우에는 개체의 적합도가 감소하며, 따라서 유전 알고리즘은 개체집단(population)의 다양성을 유지 할 수 있다. 그러나 Sharing방법에 기반한 알고리즘들은 공통적으로 니체(Niche) 반경을 미리 설정해 주어야 하며 전 영역에 걸쳐서 니체 반경은 일정하게 설정된다. 이것은 함수의 형태를 어느 정도 알고 있어야 적절한 니체 반경을 줄 수 있고 이런 가정 하에서 알고리즘들이 정상적으로 동작한다는 것을 뜻한다. 또한 전 영역에서 일정한 니체 반경을 피크사이의 거리가 일정치 않은 문제에는 적용하기가 어렵다는 단점이 있다. 개선된 Crowding (DC : deterministic crowding)은 동일 니체의 부모세대와 자식 세대간의 경쟁을 도입함으로써 부모세대와 자식세대간의 2가지 가능한 토너먼트(tournament)중 더 유사한 부모와 자식끼리 경쟁하도록 하는 것이다. 그러나 이 방법은 다른 니체 사이의 경쟁을 막을 방법이 없다. 따라서 Restricted Competition Selection [4]가 도입되었다.

RCS방법은 탐색영역에서 서로간의 거리가 니체 반경 이내인 개체들의 적합도를 비교하여 승자의 적합도는 그대로 유지하고 패자의 적합도는 '0'으로 지정한다. 이렇게 함으로써 같은 니체의 내에서는 적합도가 가장 큰 하나의 개체만이 자식 세대로 전달되고, 다른 니체의 개체는 비록 적합도가 작더라도 선택된다. 위의 기법외에 최적화 과정 중에 탐색된 국소 최적점을 유지하기 위해 엘리트 집합(elite set)을 도입하였다.

2. 방사패턴의 합성

안테나가 기울어졌을 때, 단위 안테나의 방사 패턴은 기울어진 각도 만큼 이동하게 되며, 단위 안테나사이의 상호 결합(mutual coupling) 효과를 고려하지 않는 경우에는, 다음과 같이 기울어진 단위 안테나의 방사패턴을 단순히 더함으로써 총 방사패턴을 구할 수 있다. 기본적인 1차원 배열 안테나의 구성을 [그림 2]에 나타내었다. $exp(jwt)$ 의 표기 방법을 이용하면, 총 방사 패턴 $F(\theta)$ 는 다음의 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 2] 마이크로 스트립 움직이는 배열 안테나

$$F(\theta) = \sum_{n=1}^N I_n e^{j(n-1)kd \cos \theta} f_n(\theta, \xi_n) \quad (1)$$

ξ 는 원하는 회전각도, I_n 은 n 번째 단위 안테나의 전류의 크기 f_n 은 단위 안테나의 방사패턴이다.

최적의 회전각도를 찾기 위해서, RCS GA 알고리즘이 이용되었다. 본 논문에서는 등 간격을 가진 9개의 단위 움직이는 안테나에 대해서 위의 알고리즘을 적용하였으며, 각 단위 안테나사이의 거리는 0.5λ 로 하였다. MEMS 공정으로 만들어진 움직이는 안테나의 경우에는, 구조적인 문제로 인하여 최대 회전각도가 제한되므로 회전각도를 $[-45^\circ \sim 45^\circ]$ 로 제한하였다.

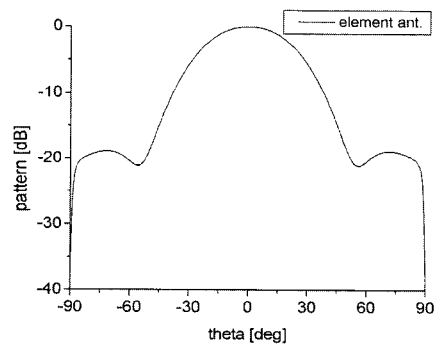
목적함수는 다음과 같이 결정하였다.

$$f(\theta) = \sum_{\theta=-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |F(\theta) - f_d(\theta)| \quad (2)$$

$f_d(\theta)$ 는 cosecant 빔 패턴 혹은 sector빔 패턴과 같은 합성하고자 하는 방사패턴이다. 위의 목적함수를 최소화 함으로써 원하는 빔의 형상을 합성할 수 있다.

<표 1> 최적화 후 선택된 전류의 크기와 회전 각도

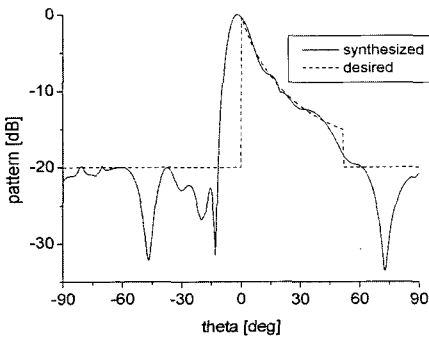
Antenna No.	Sector		Cosecant	
	I_n [A]	ξ [deg]	I_n [A]	ξ [deg]
1	0.9	39.0	0.5	29.2
2	0.5	-42.3	0.7	-16.3
3	0.9	-42.3	2.1	10.9
4	1.5	32.1	2.5	23.5
5	2.5	-1.7	2.5	29.2
6	1.4	-26.4	1.1	2.9
7	0.5	-22.3	0.5	3.4
8	0.6	-45.3	1.7	2.7
9	0.9	-41.3	0.5	-45.3



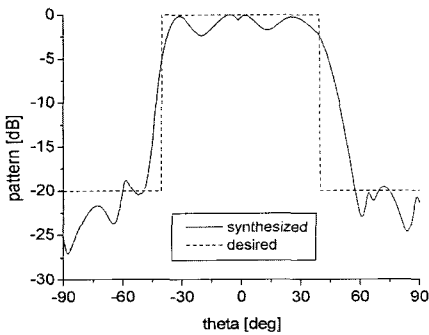
[그림 3] 단위 움직이는 안테나의 방사 패턴

최적화를 수행한 후, RCS GA 알고리즘은 각 우수 후보군에 대한 안테나의 회전각도와 전류의 크기를 제공한다. 이 우수 후보군 중에서 적절한 빔 형상 및 이득을 가지는 최적의 해를 선택할 수 있다. 최적화 수행 결과 얻어

진 최적해를 <표 1>에 나타내었다. 이 최적해의 경우 최대, 최소 전류의 비율은 약 5배 정도되었다. [그림 4]와 [그림 5]에 합성된 cosecant 빔 패턴과 sector 빔 패턴을 나타내었다. 이 결과는 기계적으로 움직이는 안테나를 이용하여 위상변위기 없이 원하는 안테나의 빔 형상을 합성할 수 있다는 것을 나타낸다.



[그림 4] 합성된 cosecant 방사 패턴



[그림 5] 합성된 sector 방사 패턴

III. 결 론

본 논문에서 위상변위기를 사용하지 않고 기계적으로 움직이는 안테나를 사용하여 원하는 빔형상을 합성할 수 있는 가능성을 제시하였다.

선형 어레이 안테나의 최적 합성 방법으로써 Restricted Competition Selection 유전 알고리즘을 도입하여 단일 탐색 알고리즘의 한계를 극복하였다. 또한 제안된 방법을 이용하여 설계자의 경험과 원하는 제약조건 등을 유연하게 적용시킬 수 있다는 것을 보였다.

■ 참고문헌

- [1] C. W. Baek, S. Song, C. Cheon, Y. K. Kim, and Y. Kwon : 2-D Mechanical Beam Steering antenna fabricated using MEMS technology, *IEEE MTT-S Digest*, 2001, pp. 211-214
- [2] O. M. Bucci, G. Mazzarella : Reconfigurable Arrays by Phase-Only Control, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol.49, No.7, pp. 919-925, July,1991
- [3] J. S. Kumar, A. Chakraborty, and B. N. Das : Scanning of Cosecant Beams Generated by a Tilted Planar Array of Nonisotropic Radiators, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol.39, No.6, pp. 919-925, June,1991
- [4] D. H. Cho, H. K. Jung, T. K. Chung, C. G. Lee : Design of a short-time rating interior permanent magnet synchronous motor using a niching genetic algorithm, *IEEE Trans. Magnetics*, Vol.36, No.4, pp. 1936-1940, July 2000
- [5] Z. Altman, R. Mittra and A. Boag : New designs of ultra-wide band communication antennas using a genetic algorithm, *IEEE Trans. Antennas and*

- Propagation*, Vol. 45, No. 10, pp. 1494-1501, October 1997
- [6] E. A. Jones and W. T. Joins : Design of yagi-uda antennas using genetic algorithms, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 45, No. 9, pp. 1386-1392, September 1997
- [7] L. Alatan, M. I. Aksun, K. Lelbibioglu and T. Biland : Use of computationally method of moments in the optimization of printed antennas, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 47, No. 4, pp. 725-732, April 1999
- [8] K. Yan and I. Lu : Sidelobe reduction in array-pattern synthesis using genetic algorithm, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 45, No. 7, pp. 1117-1122, July 1997
- [9] L. Marcus and L. Vaskelainen : Optimisation of synthesized array excitations using array polynome complex root swapping and genetic algorithms, *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, Vol. 145, No. 6, pp. 460-464, December 1998.
- [10] F. J. Ares-Pena, J. A. Rodriguez Gonzalez, E. Villanueva-Lopez and S. R. Pengarajan : Genetic algorithms in the design and optimization of antenna array patterns, , *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 49, No. 3, pp. 506-510, Match 1999
- [11] D. Marcano and F. Duran : Synthesis of antenna arrays using genetic algorithms, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 42, No. 3, June 2000.

저자 소개



강 노 원

1991년 서울대 전기공학부 졸업.
1994년 동 대학원 전기공학부 졸업
(석사)
1994-1999년 LG산전(주) 연구소
근무
1999년 ~ 현재 동 대학원 전기공
학부 박사과정
Tel: 02-880-7262
E-mail : airgap1@snu.ac.kr



정 현 교

1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업
1984년 동 대학원 전기공학과 졸업
(공학)
1987년-1989년 뉴욕 Polytechnic
Univ. 객원 교수
1984년-1993년 강원대 전기공학과
부교수. 현재 서울대 전기
공학부 교수
Tel : 02-880-7242
E-mail : hkjung@snu.ac.kr



이 정 업

2000년 서울대 전기공학부 졸업
2002년 동 대학원 전기공학부 졸업
(석사)
2002년~ 현재 동 대학원 전기공학
부 박사과정
Tel: 02-880-7262
E-mail : ridley@elecmech.snu.ac.
kr



천 창 율

1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업
1985년 동 대학원 전기공학과 졸업
1992년 Michigan, Ann Arbor 전
기공학과 (공학) 졸업. 현
재 서울시립대 전기전자공
학부 교수
Tel : 02-2210-2442
E-mail : changyul@uos.ac.kr