

위상 배열 안테나의 패턴 합성을 위한 개선된 유전 알고리즘

정진우*

Improved Genetic Algorithm for Pattern Synthesis of Phased Array Antenna

Jin-Woo Jung*

요약

위상 배열 안테나를 이용한 적응형 빔 형성 시스템의 패턴 합성을 위한 개선된 유전 알고리즘을 제안하였다. 제안된 유전 알고리즘은 지역 최적화 문제를 해소하기 위해 종의 다양성을 확보하는 후천적 형질 획득 절차를 추가한 알고리즘이다. 제안된 유전 알고리즘의 성능을 이진으로 구성된 그림에 적합한 유전자 배열을 찾는 문제를 통해 검증하였다. 그리고 주 빔과 2개의 패턴 널 합성 문제 해소 성능을 기반으로 적응형 빔 형성 시스템에 적합함을 확인하였다.

ABSTRACT

An improved genetic algorithm was proposed for pattern synthesis of an adaptive beam forming system using phased array antennas. The proposed genetic algorithm is an algorithm that adds acquired characteristics procedure to solve local optimization using the diversity. The performance of the proposed genetic algorithm is verified through the problem of finding a suitable chromosome for a picture composed of binary. And it is confirmed that it is suitable for the adaptive beam forming system based on the performance problem of combining main beam and two pattern nulls.

키워드

Genetic Algorithm, Lamarckism, Adaptive Beam Forming, Phased Array Antenna
유전 알고리즘, 용불용설, 적응형 빔 형성, 위상 배열 안테나

1. 서론

적응형 빔 형성 시스템은 통신을 위한 전파의 입사 각도에는 주 빔(Main Lobe)을 위치시키고, 간섭신호 원의 입사 각도에는 널(Null)을 위치시켜 통신품질을 유지하는 시스템이다[1-4].

일반적으로 적응형 빔 형성 시스템은 위상 배열 안테나를 통해 구현된다. 위상 배열 안테나는 배열된 각

방사소자에 급전되는 신호의 위상을 제어하여 빔을 형성할 수 있다[5].

위상 배열 안테나를 이용하여 주 빔만을 형성하기 위한 위상 천이 값들의 조합은 배열 안테나 이론을 통하여 쉽게 산출할 수 있다. 그러나 널을 동시에 형성하기 위한 위상 천이 값들의 조합은 쉽게 산출하기 어려울 뿐만 아니라 최적의 조합을 위한 경우의 수가 많아, 최적의 빔 형성을 위한 시간이 많이 소요된다.

* 교신저자 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과
• 접수일 : 2018. 03. 08
• 수정완료일 : 2018. 03. 27
• 게재확정일 : 2018. 04. 15

• Received : Mar. 08, 2018, Revised : Mar. 27, 2018, Accepted : Apr. 15, 2018
• Corresponding Author : Jin-Woo Jung
Dept. of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University,
Email : crazytis@hanmail.net

유전 알고리즘(Genetic Algorithm)은 다양한 분야에서, 다 변수의 최적화 문제를 해소하는데 많이 사용되어 왔다[6-9]. 유전 알고리즘은 다윈(Darwin)의 진화론을 기반으로 유전자의 선택(Selection), 교배(Crossover), 그리고 돌연변이(Mutation) 연산을 통해 최적의 변수를 탐색하는 알고리즘이다[6].

선택은 유전 형질에 따른 품질 결과를 기반으로 각 세대에 우수한 유전 형질을 갖는 개체를 남게 하는 연산이고, 교배는 각 개체의 형질을 교환하여 후속 세대에 우수한 형질을 배양하는 연산이다. 따라서 선택과 교배는 세대에 따른 개체군의 평균 품질을 증가시킨다. 돌연변이는 개체의 유전자 일부를 변화시키는 연산으로 개체군의 다양성을 증가시켜 변수 탐색 공간을 증가시키는 연산이다.

유전 알고리즘은 지역 최적화 문제를 갖고 있다. 이는 개체군의 유전 형질이 선택과 교배에 의해 전역 최적화가 아닌 영역에서 확립화 되면서 나타나는 문제이다. 지역 최적화 문제는 개체군의 다양성을 증가시키는 돌연변이 연산에 의해 해소할 수 있으나, 최적화를 위한 변수가 많은 경우에는 많은 시간이 소요된다.

위상 배열 안테나의 경우, 최적화를 위한 변수가 많기 때문에 상기 지역 최적화 문제가 높은 확률로 발생하게 된다. 따라서 적응형 빔 형성을 위해 많은 시간이 소요되게 되어 통신 품질 향상의 기대치가 낮아지게 되는 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는 적응 빔 형성 시스템의 성능을 향상시키기 위한 개선된 유전 알고리즘을 제안하였다. 제안된 유전 알고리즘은 일반적인 유전 알고리즘에 라마르키즘(Lamarckism, 용불용설) 이론을 추가한 알고리즘이다. 라마르키즘은 라마르크(Lamarck)가 제안한 진화생물학 이론이다[10]. 이는 개체의 생애 동안 환경에 적응한 결과로 획득한 유전 형질이 후대에도 유전되어 진화 된다는 이론으로 종의 다양성이 발생하는 원리를 설명하기에 적절한 이론이다.

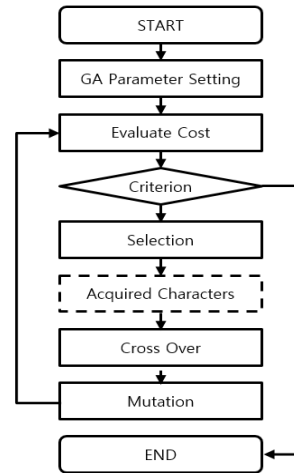


그림 1. 개선된 유전 알고리즘 흐름도
Fig. 1 Flow chart of improved genetic algorithm

본 논문에서 제안한 유전 알고리즘과 제안된 유전 알고리즘이 적용된 적응형 빔 형성 시스템의 성능 분석에 대한 상세한 내용은 다음 장에 기술하였다.

II. 개선된 유전 알고리즘

제안된 유전 알고리즘은 그림 1과 같이 일반적인 유전 알고리즘에 ‘후천적 형질 획득’ 절차를 추가한 유전 알고리즘이다.

후천적 형질 획득 절차는 특정 세대가 선택된 후 특정 개체의 후천적인 노력 혹은 적응을 통해 우수한 형질을 획득하고, 교배를 통하여 후속 세대에 유전 정보를 반영시켜야하기 때문에 그림 1과 같이 ‘선택’과 ‘교배’ 사이에 위치 시켰다.

본 논문에서 후천적 형질 획득은 선택된 개체군 내 최고의 평가를 받는 개체의 유전 정보 일부를 후천적 형질 획득을 위해 선택된 개체의 유전자에 반영하는 것으로 정의하였다. 이는 동일 세대 내 우수한 개체를 참고하여 특정 개체가 후천적인 노력에 의해 형질을 변화시키는 것을 모의한 것이다.

더불어, 참고한 유전 정보는 후천적 형질 획득을 위해 선택된 개체의 유전자 배열 중 임의의 장소에 반영하도록 하였다. 이는 개체군의 다양성을 더욱 증가시키기 위한 것이다. 예를 들면, 높은 장소의 먹이 활동을

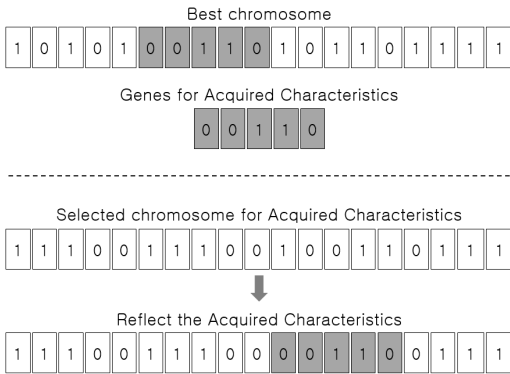


그림 2. 후천적 형질 획득 절차
Fig. 2 Procedure of acquired characteristics

평가 결과로 정의 할 때, 개체군 내 최고의 평가를 받은 기린을 보고 신체의 일부를 늘리는 유전 정보를 참고하여 특정 개체가 다리를 늘리는 후천적 노력을 하게 되면, 평가 결과가 개선될 뿐만 아니라 종의 다양성을 더욱 증가시킬 수 있기 때문이다.

그림 2는 후천적 형질 획득의 주요 절차를 보여준다. 후천적 형질 획득은 다음과 같은 세부 절차를 갖는다.

- (1) 선택된 개체군 내, 최고 개체 유전정보 확인
- (2) 최고 개체 유전 정보 일부 선택
- (3) 후천적 형질 획득을 반영한 개체 선택
- (4) 선택된 개체의 유전 정보 교체
- (5) 후천적으로 변경된 유전 정보 평가
- (6) 개체 진화

III. 개선된 유전 알고리즘 성능

제안된 유전 알고리즘의 성능 비교 확인을 위해 이진으로 표현된 그림을 적합성 함수로 한 최적화 문제를 예로 들었다. 그림 3은 제안된 유전 알고리즘의 성능 확인을 위한 적합성 함수(Fitness Function)를 보여준다.

제안된 유전 알고리즘의 성능 확인을 위해 후천적 형질 획득 절차를 제외한 일반적인 유전 알고리즘의 결과와 비교하였으며, 이때 공통적인 유전 알고리즘 조건은 다음과 같이 동일하게 설정하였다.

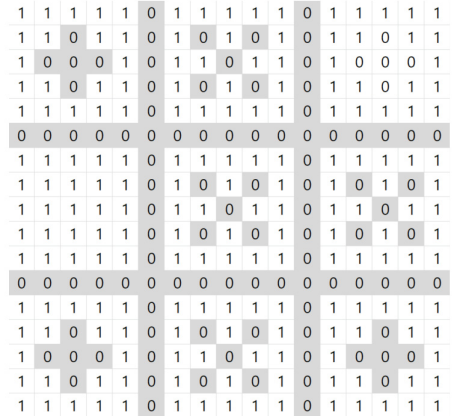


그림 3. 적합성 함수
Fig. 3 Fitness function

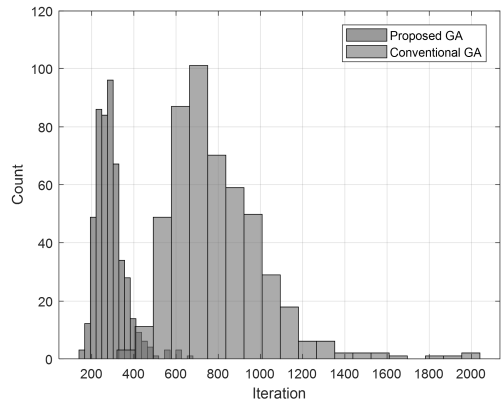
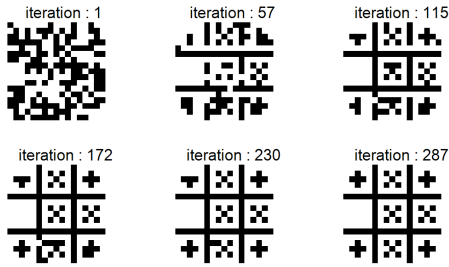


그림 4. 종료 세대수 기반 모의실험 결과
Fig. 4 Simulated results on iteration

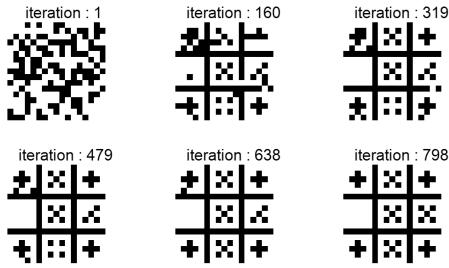
- 유전 정보 : 289 개의 이진 유전자
- 초기 생성 인구 수 : 100
- 종료 조건 : 100 % 일치
- 선택 : 순위 기반 룰렛 휠 (Roulette Wheel)
- 교배 : 1점 교배
- 돌연변이 : 전체 유전자의 5 % 변경

공통적인 유전 알고리즘 이외, 본 논문에서 추가된 후천적 형질 획득 절차를 위한 연속된 참고 유전자의 길이는 전체 유전자 길이의 10 % 로 설정하였다.

그림 4는 제안된 유전 알고리즘과 일반적인 유전 알고리즘을 500회 수행했을 때의 최종 종료 세대수 (Iteration)를 보여준다.



(a) Proposed genetic algorithm
(a) 제안된 유전 알고리즘



(b) Conventional genetic algorithm
(b) 일반적인 유전 알고리즘
그림 5. 세대 별 유전 정보

Fig. 5 Chromosome according to number of iteration

분석 결과 제안된 유전 알고리즘과 일반적인 유전 알고리즘의 종료 조건의 평균 세대 수는 각각 288.8 회와 793.5회로, 제안된 유전 알고리즘의 경우 최적화를 더욱 빠르게 수행하였음을 알 수 있다.

그림 5는 제안된 유전 알고리즘과 일반적인 유전 알고리즘의 평균 종료 세대수와 유사하게 종료된 모의 실험의 세대별 유전 정보를 보여준다.

그림 4와 5에서 확인할 수 있듯이, 제안된 유전 알고리즘의 경우 후천적 형질 획득 절차에 의해 전역 최적화를 위한 수렴 속도가 빠를 뿐만 아니라 지역 최적화 문제도 빠르게 해소함을 알 수 있다.

IV. 적응형 빔 형성 적용 분석

제안된 유전 알고리즘의 적응형 빔 형성 시스템 적용 가능성을 확인하기 위해 요구 지향각에 주 빔을 형성하고 2개의 널을 형성하는 위상 배열 안테나의 위상 천이 조합을 찾는 문제를 분석하였다. 이때, 위상 배열 안테나의 구조와 빔 형성을 위한 조건은 표 1과 같다.

표 1. 위상 배열 안테나 및 빔 형성의 조건
Table 1. Condition of phased array antenna and beam forming

Number of elements	32
Phase shifter ctrl. Bit	4
Distance between elements	0.5 λ
Desired beam angle	45 deg.
Desired null angle #1	5 deg.
Desired null angle #2	- 5deg.

상기 조건에 의해 유전자의 길이는 방사소자의 길이와 위상 천이기 Bit 수의 곱인 128로 설정하였다. 이외의 유전 알고리즘의 조건은 3장과 동일하게 설정하였다. 표 1의 빔을 형성하기 위한 위상 배열 안테나의 AF는 주 빔의 요구 조향각에서 최댓값을 갖고, 널들의 요구 조향각에서 최솟값을 가져야 한다. 이를 이용하여 유전 알고리즘의 비용함수를 수식 (1)과 같이 각 널에서 AF의 평균값을 분모에 두고 주 빔에서의 AF값을 분자에 두어 비용함수가 최대가 되는 위상 천이값을 찾으려 하였다. 더불어 분모가 0이 되어 비용함수가 무한대가 되는 것을 방지하기 위해 분모에 1을 더하였다. 이에 따라 본 유전 알고리즘은 비용함수가 1에 가까운 위상 천이값을 산출하게 된다.

$$\text{cost} = \frac{AF(\theta_m)}{0.5[AF(\theta_n^1) + AF(\theta_n^2)] + 1} \quad (1)$$

$$AF(\theta) = \frac{1}{N} \sum_n^N \exp[j\beta d_n \sin(\theta) + j\alpha_n] \quad (2)$$

여기서, θ_m 은 주 빔의 각도, θ_n^1 과 θ_n^2 는 각 널의 각도, N 은 배열된 방사소자 수, β 는 전파상수, d_n 는 각 방사소자의 위치, 그리고 α_n 는 빔 형성을 위한 각 방사소자의 위상 천이 값으로 본 문제에서 최적화해야 하는 변수이다.

제안된 유전 알고리즘의 성능 분석을 위해 종료 세대수를 150로 설정한 후, 모의실험을 30번 수행하였다. 그림 6은 상기 설정에 따른 각 모의실험의 세대수 별 비용 함수의 결과와 30회 수행에 따른 평균 비용 함수를 보여준다.

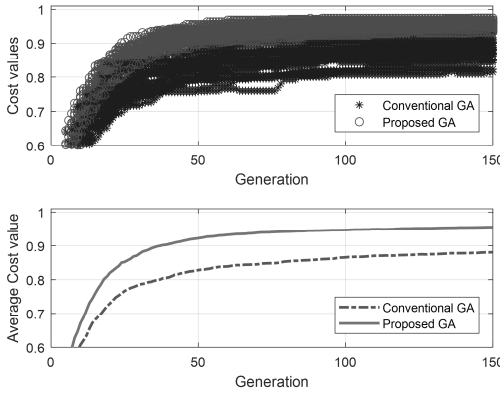
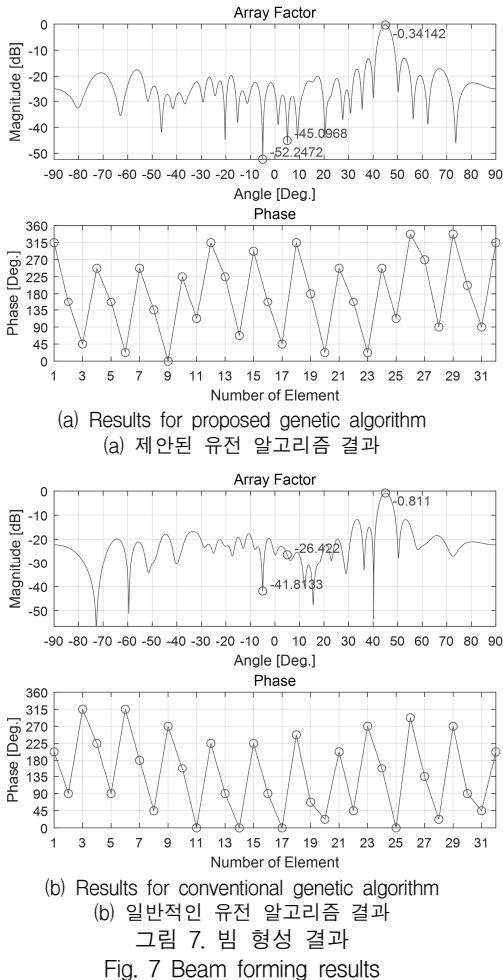


그림 6. 세대 별 평가 결과
Fig. 6 Cost according to number of generation



제안된 유전 알고리즘의 경우 150회의 세대수에 따라 평균 0.96의 비용 함수 값을 갖는 위상 천이 조합을 산출하였으며, 일반적인 유전 알고리즘의 경우 평균 0.88의 비용 함수 값을 갖는 위상 천이 조합을 산출하였다.

그림 7은 각 유전 알고리즘의 평균 비용 값에 따른 위상 천이 조합과 각 조합에 해당하는 Array Factor를 보여준다. 동일한 세대수 기준, 제안된 유전 알고리즘은 요구 되는 주 빔의 각도에서 손실이 -0.3 dB 이고, 요구되는 각 널에서 -52 dB 와 -45 dB 의 특성을 나타냈다. 일반적인 유전 알고리즘의 경우, 주 빔의 손실이 -0.8 dB 이고 각 패턴 널에서 -41 dB 와 -26 dB 의 특성을 나타냈다. 분석 결과 제안된 유전 알고리즘은 빔 형성을 위한 위상 천이 조합을 우수한 비용 값을 빠르게 산출할 수 있음을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 적응형 빔 형성과 같이 빠르게 최적의 위상 천이 조합을 산출해야 하는 시스템을 구현하기 위한 개선된 유전 알고리즘을 제안하였다. 제안된 유전 알고리즘은 종의 다양성을 확보하기 위해 라마르크즘을 모의한 후천적 형질 획득 절차를 일반적인 유전 알고리즘에 추가한 알고리즘이다. 본 논문에서 제시한 위상 배열 안테나의 빔 형성을 위한 최적화 수행 결과, 제안된 유전 알고리즘은 개체군의 다양성 확보에 의해 일반적인 유전알고리즘 보다 빠르게 우수한 위상 천이 조합을 산출할 수 있을 뿐만 아니라, 지역 최적화 현상도 개선할 수 있음을 확인하였다. 제안된 유전 알고리즘은 적응형 빔 형성 이외에 빠른 최적화를 위한 다양한 분야에도 적용 가능할 것으로 사료된다.

References

- [1] N. D. Moghadam, H. Bakhshi, and G. Dadashzadeh, "Joint closed-loop power control and adaptive beam forming for wireless networks with antenna arrays in a 2D urban

environment," *Wirel. Sensor Netw.*, 2010, pp. 869-878.

- [2] Y.Yoon, Lance M. Kaplan, S. Oh, and Janmes H. McClellan, "Pruned multiangle resolution fast beam forming," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2008, 2008, pp. 1-15.
- [3] J. Mun and S. Hwang, "Input signal Model Analysis for Adaptive Beamformer," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 3, 2017, pp. 433-438.
- [4] S. Hwang, S. Kim, and C. Park, "TMPS Interference Suppression Based on Beamforming," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 180-185.
- [5] R. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*. Boston: Artech House, 1994.
- [6] J. H. Holland, *Adaption in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor: Univ. Michigan Press, 1975.
- [7] D. Pham and D. Karaboga, *Intelligent Optimization Techniques, Genetic Algorithms, Tabu Search, Simulated Annealing and Neural Networks*. New York: SpringerVerlag, 2000.
- [8] Z. Michalewicz, *Genetic Algorithm+Data Structures=Evolution Programs, 2nd extended ed.* New York: Springer-Verlag, 1994.
- [9] L. Pan and H. Zheng, "A Simplex-Genetic Hybrid Approach for the Classification of Image Textures," *IEEE, '2005 International conference on Neural Networks and Brain*, Beijing, China, vol. 2, 2005, pp 1192-1196.
- [10] J. B. Lamarck, *Philosophie Zoologique*. London: Macmillan and Co. Ltd., 1914.

저자 소개

정진우(Jin-Woo Jung)



2005년 전남대학교 정보통신공학과 졸업 (공학사)

2007년 전남대학교 대학원 전자정보통신공학과 졸업 (공학석사)

2011년 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)

2012년 ~ 2017년 국방과학연구소 선임연구원

2017년 ~ 2018년 1월 국립전파연구원 공업연구사

※ 관심분야 : 안테나, 위상배열안테나, 적응형 빔 형성 알고리즘