APSO 알고리즘을 이용한 센서노드용 원형편파 안테나 최적설계

김군태* · 강성인 · 오승훈 · 이정혁 · 한준희 · 장동혁 · 오초 · 김형석*

*중앙대학교

An Optmival design of Circularly Polarization Antenna for Sensor Node using Adaptive Particle Swarm Optimization

Koon-Tae Kim* · Seong-In Kang · Seung-Hun Oh · Jeong-Hyeok Lee · Jun-Hee Han · Dong-Hyeok Jang · Chao Wu · Hyeong-Seok Kim*

*Chung-Ang University

E-mail : andorr@naver.com, Kimcaf2@cau.ac.kr

요 약

본 논문에서는 센서노드용 원형편파 안테나의 설계하였다. 확률론적 방법인 Particle Swarm Optimization(PSO) 알고리즘과 Adaptive Particle Swam Optimization(APSO) 알고리즘을 구현하고 성능비교를 통해 안테나 최적설계에 적합한 알고리즘을 결정하였다. PSO는 41번, APSO는 27번의 계산 결과 수렴을 하였다. 두 알고리즘 모두 최적설계에서 목표값을 모두 만족을 하였으나 수렴도에서 APSO가 빠르게 수렴한 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, an improved designed of the circularly polarization antenna for sensor node. Stochastic optimization algorithms of Particle Swarm Optimization (PSO) and Adaptive Particle Swam Optimization(APSO) are studied and compared. To verify that the APSO is working better than the standard PSO, the design of a circularly polarization antenna is shows the optimized result with 27 iterations in the APSO and 41 iterations in th PSO.

키워드

Sensor node, Antenna, Optimization, Particle swarm optimization, Adaptive PSO, Circulary polarization

Ⅰ. 서 론

최근 유비쿼터스 홈 네트워크 시스템, 센서 네트워크 시스템 등 센서 노드를 활용한 네트워크 시스템의 개발이 활발히 진행되고 있다. 센서 네트워크 시스템에서 사용되는 센서노드들은 항시 센서 정보를 수집하고 정보를 상위 통합 서버로 전송하게 된다. 센서노드에서 일반적인 평면형 패치 안테나의 경우 설계 변수가 매우 단순하여 설계가 용이하다. 하지만 센서노드들은 상위 서버에서 선형편파로 전송되어 오는 전파 신호를 어느 방향에서도 받아야하기 때문에 원형 편파 안테나 설계가 필요하다. 원형편파 안테나 설계는 안테나 설계변수의 증가와 설계의 복잡성을 갖게 된다[1]. 다양한 설계변수로 구성된 안테나의 설계를 체계적이고 신뢰성 있는 설계하기 위해서 최적화 알고리즘을 적용한 최적 설계가 필요하다[2].

최적화 알고리즘 중에서 확률론적 방법은 자연계의 생태 현상이나 움직임을 모방한 알고리즘으로 구현이 쉽고 전역최소점을 찾을 가능성이 높다는 장점을 가지고 있다[3]. 그중에서 Particle Swarm Optimization(PSO) 알고리즘은 곤충의 집

단이 서로의 정보를 공유하여 집단으로 움직이는 방법을 사용하여 다목적함수의 최적화에 적용성이 우수한 솔루션으로 보고되고 있다[4]. 그러나 PSO 알고리즘도 설계자의 경험에 의해 가속도 상수와 가중치 상수를 결정해야하는 문제가 있다. PSO의 단점을 보안하고 장점을 극대화하려는 변형 알고리즘 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[5]~[6]. 변형 알고리즘 중에서 현재 상태의 상황을 판단하여 가중치 상수와 가속도 상수를 변화 시키는 Adaptive PSO(APSO) 알고리즘이 최근에 연구되었다[7].

본 논문에서는 센서노드에 활용할 수 있는 원형편파 안테나의 설계하였다. 확률론적 방법인 PSO 알고리즘과 APSO 알고리즘을 구현하고 성능비교를 통해 안테나 최적설계에 적합한 알고리즘을 결정하였다. 또한 구현된 알고리즘을 전자장 해석 프로그램과 연계하여 안테나를 최적설계 알고리즘의 성능 비교를 검증하였다.

II. Adaptive Particle Swarm Optimization

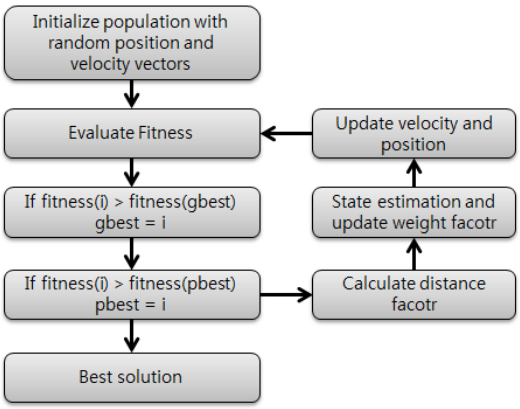

그림 1. APSO 알고리즘 순서도

APSO는 PSO 알고리즘에서 변형된 알고리즘으로 빠른 수렴속도를 얻기 위해서 개발된 알고리즘이다. 기본적인 알고리즘 흐름 및 위치 업데이트 방식은 동일하지만 PSO 알고리즘에 각 particle의 위치에 따른 탐험(exploration), 개발(exploitation), 수렴(convergence), 도약(jumping out) 의 4가지 경우의 조건을 추가한 알고리즘이다. 각 추가된 경우에 따라서 속도 업데이트 과정의 가속도 계수를 변화를 시켜서 수렴속도를 개선한 알고리즘이다. 그림 1은 APSO 알고리즘을 간략히 나타내고 있다[7].

1) 초기화

해석 공간에서 최적의 위치에 대한 검색을 시작하려면 각 particle은 무작위의 초기속도로 가지고 임의의 장소에서 시작된다. 초기에 시작되는 각 particle의 위치는 유일한 위치 정보를 갖고 있기 때문에 각 particle의 위치는 P_{best}가 된다. 그럼 다음 초기 위치의 정보 중에서 첫 G_{best}가 결정된다.

2) 가속도 업데이트

(2-1) 거리 인자 계산

우선 각 particle과 G_{best} 위치의 거리를 계산한다. 그리고 가장 큰 거리 차와 가장 근소한 거리 차의 정보를 바탕으로 현재 G_{best}가 위치한 곳의 정보를 구분한다. 이를 거리 인자로 하고 식 2에 의해 결정된다.

$$f = \frac{d_g - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \tag{1}$$

(2-2) 가속도 상수 제어

식 1에 의해 결정된 거리 인자를 바탕으로 현재 상태를 구분하게 된다. 상태는 탐험, 개발, 수렴, 도약의 4가지로 구분되며 각각의 경우에 따라 가속도 상수를 증가감소(±0.1)와 약간증가감소(±0.05) 하게 된다.

① 탐험 : c_1 증가, c_2 감소

$$S_1 = \begin{cases} 0 & 0 \le f \le 0.4 \\ 5\times f - 2 & 0.4 \le f \le 0.6 \\ 1 & 0.6 \le f \le 0.7 \\ -10\times f + 8 & 0.7 \le f \le 0.8 \\ 0 & 0.8 \le f \le 1 \end{cases} \tag{2}$$

② 개발 : c_1 약간증가, c_2 약간감소

$$S_2 = \begin{cases} 0 & 0 \le f \le 0.2 \\ 10\times f - 2 & 0.2 \le f \le 0.3 \\ 1 & 0.3 \le f \le 0.4 \\ -5\times f + 3 & 0.4 \le f \le 0.6 \\ 0 & 0.6 \le f \le 1 \end{cases} \tag{3}$$

③ 수렴 : c_1 약간증가, c_2 약간증가

$$S_3 = \begin{cases} 1 & 0 \le f \le 0.1 \\ -5\times f + 1.5 & 0.1 \le f \le 0.3 \\ 0 & 0.3 \le f \le 1 \end{cases} \tag{4}$$

④ 도약 : c_1 감소, c_2 증가

$$S_4 = \begin{cases} 1 & 0 \le f \le 0.7 \\ 5\times f - 3.5 & 0.7 \le f \le 0.9 \\ 0 & 0.9 \le f \le 1 \end{cases} \tag{5}$$

(2-3) 가중치 상수 제어

(2-1)에서 계산된 거리 인자를 이용하여 가중치 상수도 업데이트를 달리한다. 적응형 가중치 상수 계산은 식 6에 의해 계산된다.

$$w(f) = \frac{1}{1 + 1.5e^{-2.6f}} \in [0.4, 0.9] \tag{6}$$

3) 속도 업데이트

현재의 위치 정보 및 속도 정보를 바탕으로 G_{best}와 P_{best}의 위치 정보를 이용하여 다음 속도가 업데이트 된다. particle의 속도는 G_{best}와 P_{best}의 상대적 위치에 따라 변경된다. 식 7을 이용하여 다음 속도를 얻을 수가 있다.

$$\begin{aligned} v_n(i+1) = {} & w(i) \cdot v_n(i) \\ & + c_1 \cdot r_1 \cdot (P_{best,n}(i) - x_n(i)) \\ & + c_2 \cdot r_2 \cdot (G_{best,n}(i) - x_n(i)) \end{aligned} \tag{7}$$

여기서 $v_n(i)$는 각 입자의 속도이고 $x_n(i)$는 각 입자의 위치를 나타낸다. 그리고 $w(i)$는 초기속도 가중치이며 c_1과 c_2는 각 입자가 P_{best}와 G_{best}로 향하는 확률적인 가속의 가중치를 표현한다. r_1과 r_2는 각각 0과 1사이의 랜덤변수이다.

4) 위치 업데이트

갱신된 속도를 바탕으로 현재위치 정보를 업데이트 하게 된다. 식 8을 이용하여 다음 위치의 정보를 얻을 수가 있다.

$$x_n(i+1) = x_n(i) + v_n(i+1) \tag{8}$$

$$x_n^{\min} \leqq x_n(i+1) \leqq x_n^{\max}$$

이후 업데이트 된 위치 정보에서의 문제의 해를 계산하고 2)의 과정에서 다시 시작하여 반복 수행하게 된다. 최종 적으로 G_{best}의 결과가 목표로 하는 문제의 해에 만족하거나 일정 수렴조건 이내에 만족했을 경우 최적화 과정이 끝나게 된다.

III. 원형편파 안테나 최적설계

본 논문에서 설계된 안테나는 원형편파 특성을 갖으면서 소형화 설계를 하였다. 그림 2는 개발된 안테나의 초기 모델이다.

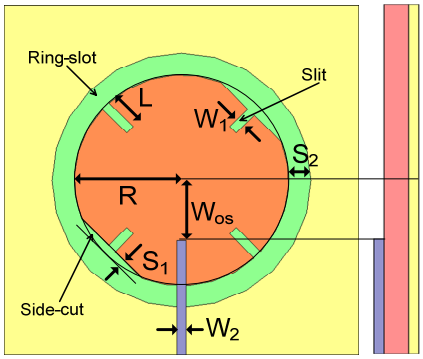

그림 2. 원형편파 안테나의 초기설계 모델

TM_{11} 모드로 동작하는 원형 패치 안테나는 안테나의 공진주파수가 원형 패치의 지름에 의해서 결정된다. 반면에 링슬롯 형태의 원형 패치 안테나는 공진주파수가 링슬롯의 원주 길이로 결정되기 때문에 소형화 설계가 가능하다. 추가적인 안테나 소형화 설계로 내부 원형 패치에 슬릿을 삽입하여 링슬롯의 원주길이를 증가시키게 설계하였다.

원형패치 안테나에 원형편파 특성을 얻기 위해서 내부 원형패치의 일부를 제거하여 타원형의 모양이 되도록 설계하였다. 패치면의 일부제거는 선형편파인 원형패치 안테나를 원형편파를 갖도록 해주는 역할을 한다.

원형편파 안테나의 설계는 3D 구조물의 전자장 해석 프로그램 통해 해석하고 설계한다. 하지만 설계변수에 따라 안테나 특성의 변화는 비선형적이며 설계목표에 맞게 설계하기란 쉽지가 않기 때문에 최적화 알고리즘을 이용하여 설계한다. 따라서 전자장 해석 프로그램의 해석 횟수를 최소화 할 수 있어야만 설계 시간의 단축을 할 수 있다. 이는 최적화 알고리즘의 수렴속도가 좌우하게 된다. 따라서 최적화 알고리즘의 수렴속도 비교는 매우 중요한 성능비교 항목이 된다.

본 논문에서 일반적인 PSO와 변형 APSO 알고리즘을 이용하여 최적설계를 수행하고 APSO 알고리즘의 성능을 검증하였다. 안테나는 사용 목적의 공진주파수로 설계되고 원형 편파 특성을 나타내야하기 때문에 반사계수와 축비의 특성을 바탕으로 목적함수를 정의하였다.

그러나 안테나의 설계에서 하나의 공진주파수를 목표로 설계할 경우 사용 주파수대역을 만족하지 못할 수 있다. 따라서 일정 대역폭을 기준으로 하여 함수를 정의하고 최적 설계하는 것이 더욱 유용하다[8]. 대역폭으로 정의된 함수는 식 9에 나타내었다.

$$F_t = F_1 + F_2 + A_f \tag{9}$$

$$F_1 = \int_{f1}^{f_2} (s_i - s_1)^2 df \quad \text{if} \quad s \geqq s_1$$

$$F_2 = \int_{f3}^{f_4} (s_i - s_2)^2 df \quad \text{if} \quad s \leqq s_2$$

$$A_f = (A_i - A_t)^2\big|_{f=2.45GHz} \quad \text{if} \quad A_i \geqq A_t$$

여기서 F_1, F_2, A_f는 각각 공진대역, 저지대역, 축비의 목적함수를 나타낸다. 각 대역의 목표값을 만족할 경우 0으로 정의하고 만족 못할 경우는 목적함수를 계산하게 된다. 공진대역과 저지대역의 주파수는 각각 $f_1 = 2.2GHz$, $f_2 = 2.6GHz$, $f_3 = 3.0GHz$, $f_4 = 8GHz$ 이고 $s_1 = -12dB$, $s_2 = -8dB$, $A_t = 3dB$ 이다. 공진대역과 저지대역에서는 0.01GHz 단위로 샘플링 하였다.

식 9과 같은 목적함수를 바탕으로 PSO와 APSO를 MS excel의 Visual Basic으로 구현하고 상용 전자장 해석 프로그램 HFSS와 연계하여 최적 설계를 수행하였다. 최적화에 사용된 PSO와 APSO의 particles의 개수는 총 10개 이며 5개의 설계변수를 최적 설계 하였다.

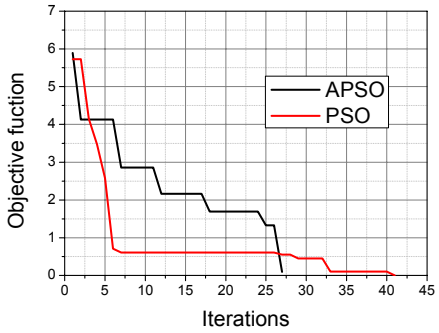

그림 3. 목적함수의 수렴도

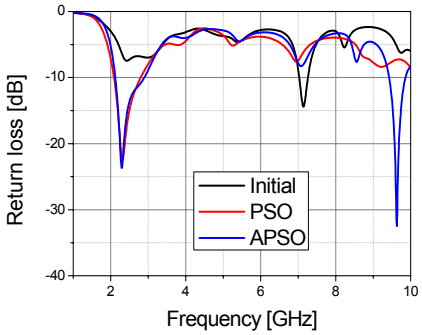

그림 4. 안테나 공진주파수 최적설계 결과

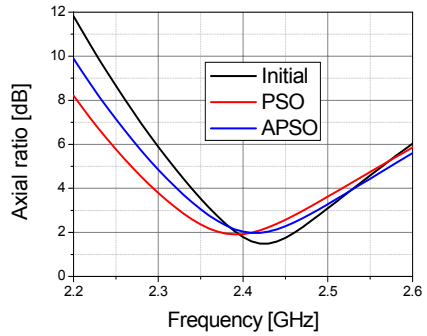

그림 5. 안테나 축비 최적설계 결과

표 1. 안테나 설계변수 최적설계 결과

	R	S_1	S_2	W_1	W_2	W_{os}	L
Initial	14	2	0.8	1.5	1	3	4
PSO	14.69	2.49	0.69	1	1	1	2.43
APSO	14.26	2.31	0.5	1	1	2.08	3.2

최적설계 결과 PSO와 APSO는 각각 41번과 27번의 반복계산 결과 그림 3에서와 같이 목적함수가 수렴하였다. 두 알고리즘 모두 목표 공진대역, 저지대역을 만족하였으며 축비는 2.45dB, 2.28dB로 원형편파 특성을 나타내는 3dB 기준을 모두 만족하였다. 그러나 그림 3의 목적함수 결과에서 보듯이 APSO가 PSO보다 빠른 수렴속도를 보이는 것을 알 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 센서노드용 원형편파 안테나를 APSO 알고리즘을 이용하여 최적설계 하였다. 구현된 알고리즘을 전자장 해석 프로그램과 연계하여 안테나를 최적설계하고 일반 PSO 알고리즘과의 비교를 통해서 성능을 검증하였다.

기본 알고리즘에서 가중치 상수 및 가속도 상수 제어가 빠른 수렴속도를 얻을 수 있는 매우 중요한 요소이며 변형 알고리즘 개발에 핵심 요소라 할 수 있다. 향후 변형 알고리즘 개발은 가중치 상수와 가속도 상수 제어 방법 및 정보 수집 방법 연구가 이루어 질 것으로 사료된다.

PSO는 41번, APSO는 27번의 계산 결과 수렴을 하였다. 두 알고리즘 모두 최적설계에서 목표값을 모두 만족을 하였으나 수렴도에서 APSO가 빠르게 수렴한 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] Yu-Jiun Ren and Kai Chang, “5.8-GHz Circularly Polarized Dual-Diode Rectenna and Rectenna Array for Microwave Power Transmission”, IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol. 54, No. 4, pp. 1495-1502, 2006.

[2] K.-T. Kim, J.-H. Ko, K. Choi, and H.-S. Kim, "Robust Optimum Design of PIFA for RFID Mobile Dongle Applications", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 47, No. 5, pp. 962-965, May. 2011.

[3] J-N Kim, H-B. Lee, C-Y. Cheon, H-S. Kim, H-K. Jung, S-Y. Hahn, “A Study on Numerical Design Schemes of Waveguide Component Using Vector Finite Element Method,” The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 44, No. 9, pp. 1219~1227, 1995.

[4] J. Robinson, Y. Rahmat-Sami, “Particle Swarm Optimization in Electromagnetics,” IEEE Trans. on Antenna and Propagation, vol. 52, no. 2, pp. 397-407, Feb. 2004.

[5] N. Jin, Y. Rahmat-Samii, “Hybrid Real-Binary Particle Swarm Optimization (HPSO) in Engineering Electromagnetics,” IEEE Trans. on Antenna and Propagation, vol. 58, No. 12, pp. 3789-3794, Dec. 2010.

[6] T. O. Ting, M. V. C. Rao, C. K. Loo, “A Novel Approach for Unit Commitment Problem via an Effective Hybrid Particle Swarm Optimization,” IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 23, No. 1, pp. 294-301, Feb. 2006.

[7] Z-H Zhan, J. Zhang, Y. Li, H. S-H. Chung, “Adaptive Particle Swarm Optimization,” IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics Part B, vol. 39, No. 6, pp. 1362-1381, Dec. 2009.

[8] K.-T Kim, J.-H. Ko, K. Choi, H.-S. Kim, “Optimum Design of Wideband Bandpass Filter with CSRR-Loaded Transmission Line using Evolution Strategy”, IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 48, No. 2, pp. 811-814, 2012.