

개선된 부분 초기화 유전자 알고리즘을 이용한 광대역 전파흡수체 설계

이동근*, 남기진**, 이상설*

*한양대학교 전자통신공학과 **두원 전문대학교 전자통신과

Design of the Broad-band EM Absorber Using the Improved Partial Initialization Genetic Algorithm

Lee Dong Geun*, Nam Gi Jin**, Lee Sang Seol*

*Dept. of Elec Comm. Eng., Hanyang Univ **Dept. of Elec. Comm., Doowon. Juni. Coll.

요 약

광대역 주파수 상에서 외부로부터 입사하는 전자파를 산란시키지 않고 유전체 내부에서 흡수시키기 위해 유전체를 다층으로 배열하여 전파 흡수체를 최적 설계하고자 한다. 수직 및 여러 각도로 전파가 입사하는 경우 각 유전층의 두께, 유전 상수, 손실 탄젠트 등의 설계변수를 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화한다. 다극함수에서의 부분 초기화 유전자 알고리즘의 성능 향상을 위해 부분 초기화율, 부분 초기화 시점, 스케일 인자의 변화에 따른 성능을 비교, 개선하여 흡수체 설계에 적용하였다.

1. 서 론

전파 흡수체는 항공기 및 선박의 레이더 추적방지 및 전자 장치의 불요 전자파 흡수, 안테나 측정용 위한 무반사실 등의 여러 분야에 사용되는 중요한 전파환경 기술이다. 이러한 응용을 위해 두께가 얇고 가벼우며 광대역의 전자파를 흡수하는 물질에 대한 연구가 오래 전부터 진행되어왔다.

과거에는 Salisbury 또는 Jaumann 스크린[1]과 같은 흡수체가 고안되었고, 최근에 최적 제어 방법[2-3]을 이용하여 다층 유전체의 두께, 무게 등을 최소화 하면서 주어진 주파수 대역에 대하여 흡수체를 설계하는 방법이 제시되었다. 여러 최적화 방법 중에서 유전자 알고리즘[3-4]은 다른 최적 제어 방법에 비하여 초기치의 영향을 받지 않으며, 미분이 불가능하거나 미분이 복잡한 함수에도 적용할 수 있다. 또한 잠재적 해들의 집합에 동시에 작용하여 하나 이상의 해를 찾아내며, 다른 알고리즘에 비하여 프로그램이 용이하다는 장점이 있다[4]. 그러나 목표함수가 다극함수(Multi-modal function)인 경우에 단순 유전자 알고리즘은 그 성능이 떨어져 알고리즘 성능 향상을 위해 밀집인자 모델(Crowding factor model)[4], 격투 알고리즘(Struggle algorithm)[5]과 같은 변종 알고리즘이 제안되고 있다.

본 연구에서는 외부로부터 들어오는 전자파를 산란시

키지않고 유전체 내부에서 흡수시키는 광대역 전파 흡수체를 설계한다. 각 유전체 층의 두께, 유전율, 손실 탄젠트 등의 설계 변수를 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화한다. 또한 복소 유전율을 다양한 주파수의 함수로 가정하고, 광대역 전파 흡수체를 설계한다. 또한 다극함수에서의 유전자 알고리즘의 성능향상을 위해 제시된 부분 초기화 방법[6]에서 부분 초기화율, 부분 초기화 시점, 스케일 인자의 변화에 따른 알고리즘의 성능을 비교, 개선하여 흡수체 최적 설계에 적용한다.

2. 다층 유전체의 반사계수

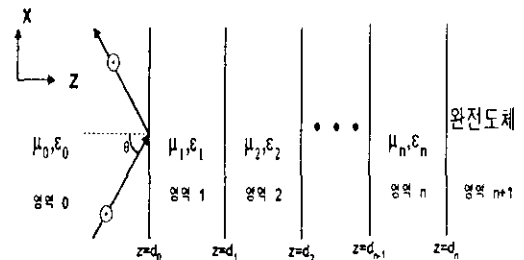


그림1 다층 유전체의 구조와 TE 입사파

그림1과 같이 $z = d_0, d_1, \dots, d_n$ 에서 경계를 갖는 다층 등방성 유전체에 평면파가 입사한다고 가정하고, 유전체가 비자성체이면서 선형, 균일하나 손실이 있으면 TE입사파의 반사계수는 $R = \frac{A}{B_0}$ 이고, 연속 분수식 형태로 표

현된다. 여기서 $\frac{A_n}{B_n}$ 은 다음과 같다[6].

$$\frac{A_n}{B_n} = e^{-2r_n d_n} \frac{A_{n+1} e^{\gamma_{(n+1), d_n}^*} + R_{(n+1)}^{TE/TM} B_{n+1} e^{-\gamma_{(n+1), d_n}^*}}{R_{(n+1)}^{TE/TM} A_{n+1} e^{\gamma_{(n+1), d_n}^*} + B_{n+1} e^{-\gamma_{(n+1), d_n}^*}} \quad (1)$$

$$= \frac{e^{-2r_n d_n}}{R_{(n+1)}^{TE/TM}} + \frac{\left(1 - \frac{1}{R_{(n+1)}^{TE/TM}}\right) e^{-2(\gamma_{(n+1), r_n})x}}{\frac{1}{R_{(n+1)}^{TE/TM}} e^{-2r_{n+1} d_n} + \frac{A_{n+1}}{B_{n+1}}}$$

3. 개선된 부분 초기화 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 자연계의 진화 현상에 기본을 둔 계산 모델로, 한 어떤 특정 문제에 대한 잠재적 해를 간단한 염색체와 같은 형태의 자료 구조로 부호화한 후, 중요한 정보를 보존하기 위해 이 자료 구조에 재결합 연산자를 적용한다. 유전자 알고리즘은 보통 한 개체군을 무작위로 발생시킴으로써 시작한다. 한 개체는 자신의 염색체를 갖고, 성능 지수(적합도)에 따라 재생산 기회를 할당 받는다. 따라서 목표 문제에 대한 양호한 해를 갖는 염색체는 많은 재생산 기회를 갖게 되고, 열등한 해를 갖는 염색체는 기회가 적어지는 방식으로 점차적으로 최적 해에 접근해 가는 방식을 취한다. 유전자 알고리즘은 염색체들을 최적화하는 과정에서 선택, 재생산, 돌연변이, 전위 등의 연산자를 사용한다.

목적함수가 단극 함수(unimodal function)인 경우에는 위의 알고리즘은 훌륭한 성능을 보이지만, 다극함수인 경우에는 심한 성능 저하를 보인다. 다극 함수에서는 탐색공간 중에 극값이 여러 곳에 산재해 있으므로 최적치를 구하기 위해서는 개체군에 다양한 염색체들이 존재해야 한다. 개체군의 다양성 유지를 위한 방법으로 De Jong, S. Mahfoud, Harik, Goldberg, Grüninger[5] 등이 다양한 방법을 제시하였다. 이러한 방법들은 탐색공간이 너무 넓지 않을 때, 즉 최적화 시킬 변수가 많지 않을 때 아주 뛰어난 성능을 보이나, 함수체 설계와 같이 변수가 많고 탐색공간이 넓을 때에는 초기화에서 발생하는 개체군의 탐색공간이 전체 탐색공간의 일부만을 포함하므로 최적치가 그 부분 탐색공간에 존재 하지 않으면 돌연변이에 의지하게 되고, 따라서 그 성능이 저하된다.

다양성 유지를 위해서 재생산 단계에서 제약을 가하는 위의 방법들과는 달리 개체군 부분 초기화 방법은 수렴 판정 결정 절차에서 제약을 가한다. 일반적으로 알고리즘이 특정한 값에 수렴하여 반복이 계속되어도 더 이상 새로운 값을 찾아내지 못하면 대개 정해진 반복수(최대 허용 반복수)에서 알고리즘을 정지시키고, 알고리즘을 처음부터 다시 실행한다. 그러나 부분 초기화법에서는 최대 허용 반복수에 비하여 훨씬 적은 반복 횟수에 알고리즘이 특정한 값에 수렴하면 개체군중 적합치가 높은 일부분을 남기고 나머지 염색체들을 임의로 교체시킨다. 이렇게 함으로써 지금까지의 가장 좋은 염색체를 생존시켜 이미 얻은 정보 중 좋은 정보를 다음 세대에 전해 주면서, 새로운 탐색공간으로 탐색을 계속하여 다극 함수에서의 성능 저하를 극복한다.

부분 초기화 방법은 크게 세가지 인자에 의해서 그 성능이 영향을 받는다. 첫째는 부분 초기화율, 즉 기존의 개체

군 중의 얼마를 부분 초기화하는가 하는 것이고, 둘째로 부분 초기화 시작점, 즉 알고리즘이 얼마만큼 진행 된 후에 부분 초기화를 하는가이고, 셋째로 선형 스케일링을 할 때 그 기울기, 즉 스케일 인자의 값을 얼마로 하는가이다.

각 인자의 변화에 따른 부분 초기화 알고리즘의 성능을 비교 하기 위해서 시험함수로 아래와 같은 힐리 함수(Hilly function)를 사용한다. 알고리즘의 성능판단은 힐리 함수의 최고치의 99% 이상인 값을 찾아 낼 때까지의 알고리즘 반복수로 판단한다.

$$z(x, y) = 10 \left[e^{\frac{|x|}{30}} \left\{ 1 - \cos \left(\frac{6}{\pi} \pi x^2 \right) \right\} + e^{\frac{|y|}{30}} \left\{ 1 - \cos \left(\frac{6}{\pi} \pi y^2 \right) \right\} \right] + 2e^{\frac{(b-x)^2 + (b-y)^2}{30}}$$

$$b = \left(\frac{5}{6} 100^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

3.1 부분 초기화율

그림 2와 그림 3은 부분 초기화율의 변화에 따른 알고리즘의 성능을 나타낸다. 부분 초기화율을 약 상위 1%-5%만을 남기고 수행시켰을 때는 비슷한 성능을 보이고, 상위 5% 이상을 남기고 수행시켰을 때는 초기화율이 감소함에 따라 알고리즘의 성능이 떨어짐을 볼 수 있다.

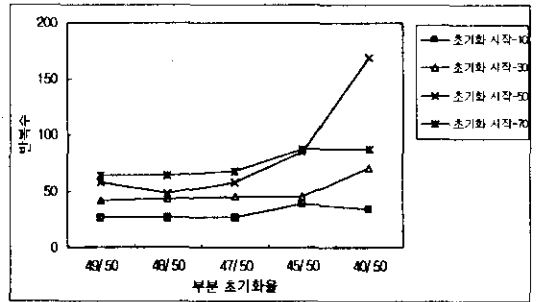


그림 2 부분 초기화율에 따른 알고리즘 성능 (개체군 크기 : 50)

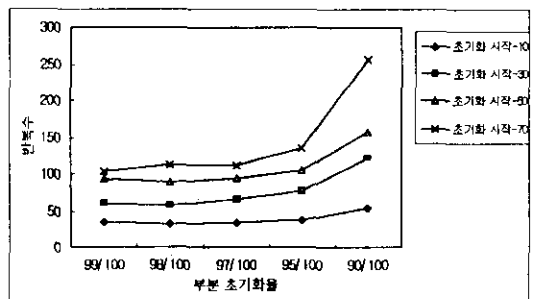


그림 3 부분 초기화율에 따른 알고리즘 성능 (개체군 크기 : 100)

3.2 부분 초기화 시점

얼마동안 알고리즘이 최적치가 아닌 특정한 값에 수렴을 할 때, 부분 초기화를 하나에 따라 알고리즘의 성능은 크게 달라진다. 힐리 함수와 같이 변수가 2개이고, 탐색 공간이 그리 크지않을 경우에는 그림 4와 같이 부분 초기화의 시작점이 빠를수록 (약 5에서) 알고리즘의 성능이 향상된다. 그러나, 그림 5에서와 같이 전자파 흡수체 설계(변수 12개)와 같이 변수가 많고 탐색 공간이 클 경우에는 알고리즘이 10회에서 20회 정도 국부 최적치에 수렴할 때 실시하면 가장 좋은성능을 보인다.

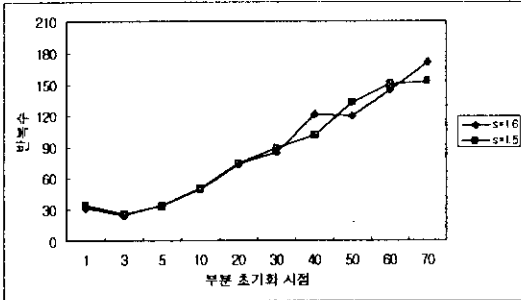


그림 4 부분 초기화 시점에 따른 알고리즘 성능 (힐리 함수)

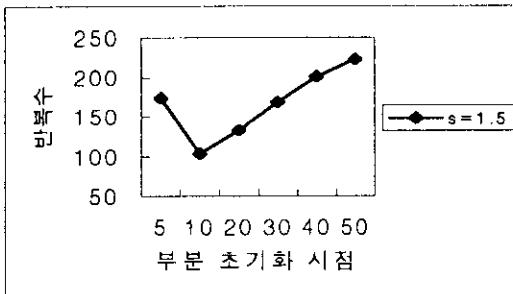


그림 5 부분 초기화 시점에 따른 알고리즘 성능 (전파 흡수체)

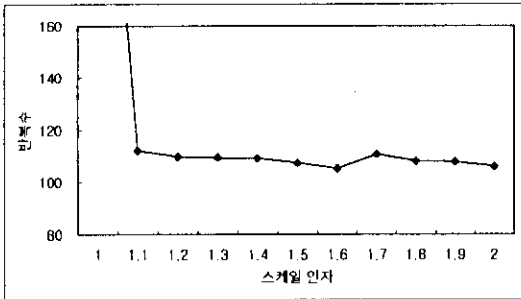


그림 6. 스케일 인자의 변화에 따른 알고리즘 성능비교

3.3 스케일 인자

선형 스케일에서 선형 인자 S는 개체군 중에서 가장 높은 적합치를 갖는 부모 염색체가 다음 세대에 얼마만큼의 자손을 생산할지를 결정하는 인자이다. 선형인자 S가 클수

특 현 세대의 개체군 중에서 가장 높은 적합치를 갖는 염색체가 다음 세대에서 더 많은 자손을 생산하게 된다. 그림 6에서 보듯이 부분 초기화 유전자 알고리즘에서 스케일 인자, S값이 1.1-2.0의 범위에서 알고리즘의 성능은 크게 차이가 나지 않으나 1.4-1.6 사이의 값을 가질 때 알고리즘의 성능이 가장 좋게 나타난다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

이 장에서는 앞에서 언급한 알고리즘을 이용하여 4개의 층으로 이루어진 전파 흡수체를 설계한다. 알고리즘의 목적함수는 식(1)로부터 다음과 같이 정의된다.

$$Q = \int_{f_{min}}^{f_{max}} |R|^2 df \quad (3)$$

광대역 흡수 물질 개발이 가능하도록 설계변수에 제약을 두어 주파수 대역 5~20GHz에 걸쳐 수직 입사하는 TE파에 대하여 반사전력을 계산하였다. 이때 반사전력이 1%이내이면 양호한 것으로 판정한다.

본 논문에서는 기존의 유전체의 상대 유전율과 손실 탄젠트의 주파수 특성을 참고로 하여 표1과 같이 크게 2가지의 형태의 물질로 나누었다.

물질	$\epsilon_r(f)$	$\tan\delta(f)$
LF	$\epsilon_r(f) = \epsilon_r(f_{max}) + a - \frac{af}{f_{max}}$	$\tan\delta(f) = \tan\delta(f_{min}) + b - \frac{bf}{f_{min}}$
	a=0.35	b=0.05
RF	$\epsilon_r(f) = \epsilon_r\left(\frac{f_{max}}{f}\right)^a$	$\tan\delta(f) = \tan\delta(f_{min})\left(\frac{f_{min}}{f}\right)^b$
	a=0.55	b=0.55

표1. 상대 유전율과 손실 탄젠트의 주파수 특성

전파 흡수체의 층 수를 4로 고정하고 표 1의 물질을 혼합하여 표 2와 같이 2가지 흡수체를 설계하였다.

층수	마들 1)	마들 2)
1	LF I)	LF I)
2	LF ii)	LF I)
3	RF I)	RF I)
4	RF ii)	RF I)

표2. 흡수체 각 층의 구성 물질

마들 1)과 마들 2)는 전파 흡수체를 여러 물질을 혼합하여 흡수체를 설계한 경우이다. 그림 6, 7과 표 4는 마들 1)과 마들2)의 반사전력과 설계치를 나타낸다.

그림 6과 그림 7을 비교하면 흡수체를 하나의 물질로만 설계하는 경우보다 여러 물질을 혼합하여 설계할 때 흡수체의 두께가 얇아짐을 알 수 있다. 하나의 물질만으로 설계하는 경우는 물질의 상대 유전율과 손실 탄젠트가 주파수의 함수인 경우에 두께가 더 얇아진다.

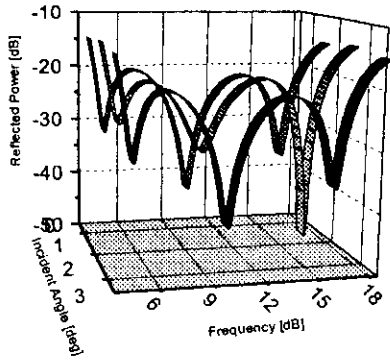


그림 7. 마들 1)의 반사전력

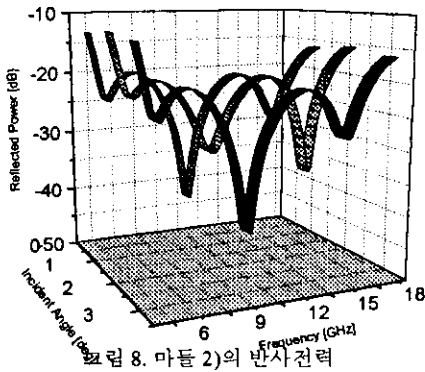


그림 8. 마들 2)의 반사전력

층 번호	그래프 1			그래프 2		
	ϵ_r	두께	$\tan \delta$	ϵ_r	두께	$\tan \delta$
1	7.904	0.44	0.128	4.907	1.06	0.311
2	3.855	3.39	0.997	4.986	3.39	0.997
3	24.955	0.03	0.010	27.482	0.03	0.009
4	1.1474	0.01	0.004	30.462	0.14	0.041
평균반사전력 (입사각 30)		0.99%		0.99%		

표 3. 마들 1), 2)의 설계치 및 평균반사전력(단위 mm)

제 5 장 결 론

완전 도체위에 코팅된 다층 유전체의 반사계수를 연속 분수식 형태로 구하고 유전자 알고리즘을 이용하여 전파 흡수체를 설계하였다. 층의 수는 4로 하였고, 5~20GHz 주파수 대역에 대하여 0°~30°로 입사하는 전자파에 대하여 1% 이하의 반사전력 값을 찾기 위하여 각 층의 유전체의 두께, 상대 유전율, 손실 탄젠트를 최적화하였다.

상대 유전율과 손실 탄젠트가 주파수에 대하여 변화할 때 변하지 않는 경우보다 더 얇은 흡수체를 설계할 수 있고, 주파수 특성이 다른 여러 물질을 혼합할 때 더 얇은 흡수체를 설계할 수 있다.

다극 함수(multi-modal function)에 대하여 유전자 알고리즘의 성능향상을 위해 반복과정 중 개선된 개체군 부분 초기화 방법을 적용하였고, 부분 초기화율, 부분 초기화 시점, 스케일 인자의 변화에 따른 알고리즘의 성능을 비교, 개선하였다.

참고 문헌

- [1] X. Knot, X. Schaeffer, and X. Tuley, *Radar Cross Section*, Dedham, MA: Artech House, 1986,
- [2] J. Pesque, D. Bouche, and R. Mittra, "Optimization of Multilayered antireflection coatings using an optimal control method," *IEEE Trans. MTT*, vol. 40, pp. 1789-1796, Sept. 1992
- [3] E. Michielssen, J. M. Sajer, S. Ranjithan, and Mittra, "Design of lightweight, broad-band microwave absorbers using genetic algorithms," *IEEE Trans.MTT*, vol. 41, pp. 1024-1031, Jul 1993
- [4] E. D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1989
- [5] Thomas Grüninger, David Wallace, "Mutimodal Opimization using Genetic Algorithm", MIT, sep.14. 1996
- [6] 이동근, 남기진, 이상철, "다층 손실 유전체를 이용한 광대역 전파 흡수체 설계", 대한 전자공학회 논문지, 제34권 D편 제3호, p17-24, 1997년 3월