

퍼지 논리를 이용한 병렬 유전 알고리즘

안영화[†] · 권기호^{**}

요약

유전 알고리즘은 자연 선택과 유전적 성질에 기반을 둔 알고리즘으로 기존 방법으로는 쉽게 해결할 수 없는 어려운 문제에서도 성공적으로 적용되었다. 기존의 유전 알고리즘은 해 집단이 큰 경우 시간이 많이 걸리는 문제점이 있다. 병렬 유전 알고리즘은 이러한 문제를 해결하기 위하여 제안된 기존의 유전 알고리즘의 확장이라 할 수 있다. 병렬 유전 알고리즘에서 중요한 요소는 이주와 유전 연산으로 이를 적절하게 설계함으로써 좋은 결과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 퍼지 논리를 이용하여 기존의 병렬 유전 알고리즘을 개선하고자 한다.

키워드 : 유전 알고리즘, 퍼지 논리, 병렬 유전 알고리즘

Parallel Genetic Algorithm using Fuzzy Logic

An Younghwa[†] · Kwon keyho^{**}

ABSTRACT

Genetic algorithms(GA), which are based on the idea of natural selection and natural genetics, have proven successful in solving difficult problems that are not easily solved through conventional methods. The classical GA has the problem to spend much time when population is large. Parallel genetic algorithm(PGA) is an extension of the classical GA. The important aspect in PGA is migration and GA operation. This paper presents PGAs that use fuzzy logic. Experimental results show that the proposed methods exhibit good performance compared to the classical method.

Key Words : Genetic Algorithm, Fuzzy Logic, Parallel Genetic Algorithm

1. 서론

GA는 다윈의 진화 이론에 기초한 탐색 알고리즘으로 1975년 John Holland에 의해 소개되었다[1]. GA는 많은 응용 분야에서 복잡한 문제를 해결하는 데 성공적으로 사용되었다. GA는 다른 최적 알고리즘과 상이하게 병렬로 해 집단에 작용하며, 경쟁 과정을 통하여 진화한다. 또한 보다 개선된 해를 얻기 위하여 자연선택 방법과 재조합 방법을 이용한다.

GA는 초기에 임의로 생성한 해 집단을 가지는 데, 각 해는 부호화되고 적합도 함수에 의해 평가된다. 진화 과정은 반복적으로 유전 연산을 수행하여 종료 조건을 만족할 때까지 해를 찾는다. 이와 같이 해 집단은 자연 선택의 형태로 진화를 겪는다. 새로운 염색체 집단은 연속적인 반복을 통하여 만들어 진다. 최적 해를 구하는 데 있어서 GA의 효율성은 해 집단의 크기에 의해 결정되지만, 반면 계산 시간은 해 집합의 크기가 커질수록 증가하는 GA의 공통적인 문제

점을 갖고 있다.

오랫동안 다수 연구자들은 탐색과정에 걸리는 시간을 감소시키고 지역 해에 빠지는 것을 피하기 위하여 노력하였다. 즉, GA를 지역 탐색 기법들과 결합시켜 GA를 향상시키도록 노력하였다. 이와 같은 접근 방법은 어떤 문제에서는 GA보다 더 빨리 해를 찾고 있음을 보여주었다[2-4].

한편, PGA는 유전적 다양성을 가지면서 탐색능력을 개선하고 탐색 시간을 감소시키기 위하여 개발되었다. PGA는 GA의 병렬 계산 능력을 이용하여 이러한 문제점들을 해결하고 있다. GA를 병렬화하기 위하여 자주 사용되는 방법은 해 집단을 여러 개로 나누어 사용하는 것이다. 이와 같은 방법은 작은 해 집단이 큰 해 집단보다 더 빨리 해에 수렴한다는 것이다. 그러나 일반적으로 해 집단의 크기를 감소시키면 또한 지역 해로 수렴하기 쉽다. 이러한 문제점을 피하기 위하여 해 집단은 종종 몇 개의 염색체들을 자연 집단에서 이주시키는 것과 같이 알고리즘을 진행 중에 교환시킨다. 많은 연구자들은 지역 해에 빠지는 것을 피하고 전체적 최적 해를 상실할 확률을 감소시키기 위하여, 안정한 부 집단을 유지하고 부 집단의 다양성을 향상시키기 위하여 노력을 해왔다[5-8].

[†] 정회원 : 강남대학교 컴퓨터미디어공학부 교수

^{**} 정회원 : 성균관대학교 정신통신학부 교수
논문접수 : 2005년 11월 30일, 심사완료 : 2006년 2월 17일

본 논문에서는 자연 선택 개념과 퍼지 논리를 결합한 PGA를 제안한다. 특히, 자연 선택 개념을 가지고 부 집단에 이주의 기회를 제공한다.

2장에서는 PGA에 관하여 간략히 설명하고, 3장에서는 퍼지 논리 및 본 논문에서 적용한 방법에 관해 논의한다. 4장에서는 NP 문제에 제안한 방법을 적용하고, 마지막으로 5장에서 연구결과 및 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 병렬 유전 알고리즘(PGA)

GA는 정보를 병렬처리 할 수 있는 이점을 가진 알고리즘이다. 그러나 해 집단이 작으면 지역 해에 빠질 수 있는 타고난 특성은 문제를 해결하는 데 애로점이 되고 있다. 따라서 매우 큰 해 집단을 가지면 이러한 문제점을 해결할 수 있다. 그러나 큰 해 집단은 각 해의 적합도 평가와 관련된 많은 계산 시간이 요구되어 알고리즘을 비효율적으로 만든다. PGA는 기존 GA의 확장으로 처리시간을 단축하고 지역 해에 빠지는 것을 감소시키는 이점을 가지고 있다. 본 논문은 섬 모델을 적용한다. 섬 모델(island model)이란 해 집단을 여러 해 부집단으로 나누고 이 해 부집단들이 독자적으로 각각의 독립 상태에서 여러 세대를 진화하는 것을 말한다. 각 부 집단은 이 기간 중에 GA 연산을 행하고 어떤 일정한 세대 후에 여러 개의 염색체를 서로 교환한다. 이를 이주라 부른다. 교환된 염색체의 수, 이주를 위한 염색체의 선택방법, 그리고 이주 계획들은 유전적 다양성이 부 집단에서 발생할 수 있는 가를 결정하고 부 집단간의 정보교환을 결정한다.

PGA는 기존 GA에 비해 계산시간의 감소는 물론 더 작은 목적함수의 평가가 요구됨을 보여주었다[9, 10]. 이주를 위한 염색체의 선택에는 일반적으로 임의의 선택 방법과 적합도 기반 선택 방법이 사용된다. 본 논문에서는 임의의 선택 방법을 사용하였다. 그리고 부 집단 사이에 염색체의 이주구조에 있어서는 비 제약 이주, 환 이주, 이웃 이주 등이 있는데, 비 제약 이주를 사용하였다. 기존 방법과의 차이는 이주에 참여하는 부 집단으로부터 구성된 이주자 집단 가운데서 이주자를 선택하는 것이다. 이것은 자연 선택방법을 통하여 부 집단을 선택함을 의미한다. 즉, 좋은 부 집단만이 이주에 참여할 수 있다. 따라서 선택된 부 집단만이 이주의 기회를 가지며, 부 집단들은 또한 자신의 염색체를 가질 수 있다.

GA에서 전통적으로 사용되고 있는 이진 표현은 다차원, 높은 정확도를 가진 수치문제에서 적용할 때는 어떤 결함을 가지고 있다. 이러한 문제들에 대하여 GA는 성능의 저하를 가져올 수 있다. 그리고 이러한 이진 표현은 정밀한 지역 탐색을 수행하는 데 어려움이 있다. 유전형 공간에서 해밍 거리는 정확히 표현형 공간의 지역성을 반영하지 않을 수 있다. 이와 같이 이진 표현은 탐색 과정을 원래 문제보다 더욱 복잡하게 만든다. 또한 이진 스트링을 표현형으로 나타낼 때, 돌연변이는 계산 시간을 증가시키는 경향이 있다[11, 12].

따라서 본 논문에서는 문제 공간에 개념적으로 가장 가까운 부동 소수점 표현을 사용하고자 한다. 비록 부동 소수점

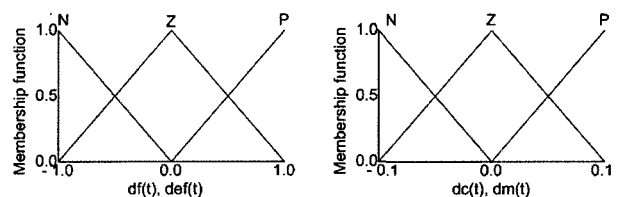
표현이 이진 표현의 경우와 달리 이론적인 토대는 부족하지만 실수 값을 갖는 최적화 문제에서는 좋은 결과를 가져옴을 경험적으로 보여주었다. 물론 부동 소수점 표현이 문제를 해결하는 방법론에 있어 필수적이지는 않지만, GA 연산자 정의의 단순성과 GA 자체의 보다 나은 성능을 얻기 위하여 사용되었다.

3. 퍼지 논리의 응용

퍼지 이론은 지금까지 흥미있는 연구 분야가 되어 왔다. 구체적인 이론적 배경의 부족에도 불구하고 퍼지 이론의 많은 성공적인 응용이 제어[13], 모델링[14], 분류[15] 등 다양한 분야에서 보고되고 있다. 대부분의 경우 성공의 열쇠는 인간의 사고방식과 유사한 퍼지 이론의 능력이었다. 일상생활에서 발생할 수 있는 퍼지 이론의 예는 요리 조리법, 차를 주차시키는 지침 등이다. 퍼지 이론의 개념적 중요성은 인간이 부정확하고, 불확실한, 그리고 부분적으로 사실인 경우에도 어떤 결정을 하고, 그에 따라 행동하는 것을 모방하는 사실에서 나온다. 그러나 더 중요한 점은 퍼지 이론이 본래 퍼지인 많은 기본적인 개념을 정의하는 보다 더 실제적인 방법을 제공하는 점이다. 1990년대에 이전 성공적인 예들에서도 불구하고, 이 분야에서 대부분의 작업들을 특징지우는 학습능력의 결여는 학습능력을 가진 퍼지 이론의 연구에 관심을 가져왔다. 두 가지 가장 성공적인 접근 방법은 하이브리드 방법으로 다른 기법들, 즉 신경망과 진화 알고리즘, 그리고 학습능력을 가진 퍼지 시스템[16]들이다. 뉴러 퍼지시스템[17] 과 유전 퍼지시스템[18]은 이러한 노력의 가장 성공적인 결과로 볼 수 있다. 유전 퍼지시스템에 관한 다수의 논문들은 GA를 이용하여 퍼지 시스템의 규칙을 자동 생성하는데 공헌하였다.

본 논문에서는 GA 연산자에 초점을 두기로 한다. 교배와 돌연변이 확률은 GA의 성능에 가장 중요한 역할을 한다. 그러므로 GA 연산 중 교배 연산자와 돌연변이 연산자의 확률을 변화시키는 것은 이주 방법에서는 물론 지역 해에 빠지는 것을 방지할 수 있다.

퍼지 논리의 입력은 $df(t)$ 과 $def(t)$ 로서 $df(t)$ 는 평균 적합도의 변화이고 $def(t)$ 는 $df(t)$ 의 변화이다. 출력은 교배와 돌연변이 확률이다. 퍼지 입력과 출력의 언어변수는 N(negative), Z(zero), 그리고 P(positive)이다. (그림 1)은 입력과출력의 소속 함수를 나타낸 것이다. 비 퍼지화에 필요한 출력, 즉 실제 값은 추론 규칙을 구현하여 얻어진다. 추론 방법은 현재 많은 논문들에서 사용하고 있는 맘다니 방법을 사용하고 비 퍼지화는 무게 중심법을 사용한다. 사용된 총 규칙은 9 개이다.



(그림 1) (a) 입력 소속 함수 (b) 출력 소속 함수

4. 실험 결과 및 고찰

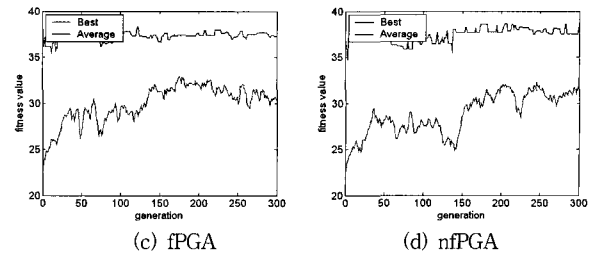
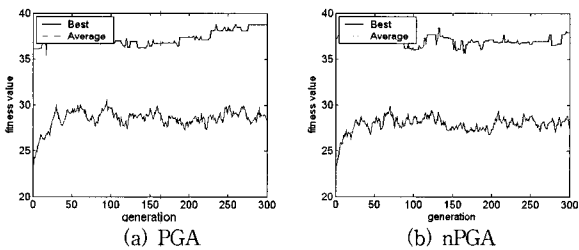
기존의 방법과 제안한 여러 가지 알고리즘들을 실험, 비교하기로 한다. 즉 기존 PGA, 자연 선택 개념을 도입한 PGA(nPGA), 퍼지 논리를 적용한 PGA(fPGA), 그리고 자연 선택 개념과 퍼지 논리를 적용한 PGA(nfPGA)이다.

시험 함수를 선택하는 것은 용이하지 않다. 그 이유는 시험 함수에 의해 나타내는 어떤 특정한 성질들은 일반적인 성능을 표현하지 않기 때문이다. 실생활에서 마주치는 많은 문제들은 거의 NP 문제들이다. 이러한 문제들은 큰 탐색공간과 많은 지역 해의 존재로 GA에서도 매우 어려운 문제이다. 여기서는 시험함수로 [1]에서 제시한 NP 문제를 선택하였다.

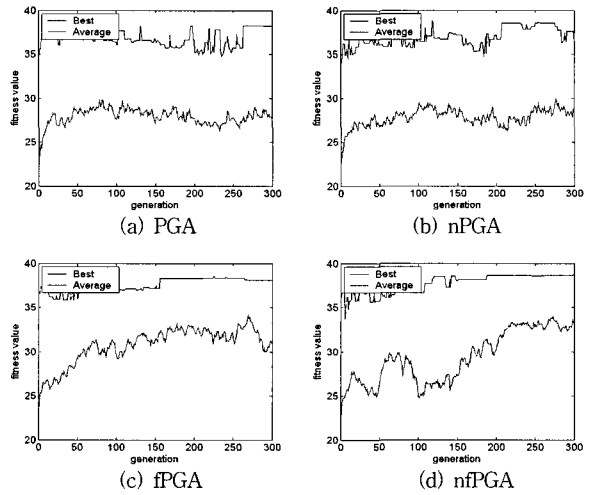
$$f(x_1, x_2) = 21.5 + x_1 \sin(x_1 \cdot 4.0 \cdot \pi) + x_2 \sin(x_2 \cdot \pi \cdot 20)$$

여기서, $x_1 = [-3.0, 12.1]$, $x_2 = [4.1, 5.8]$

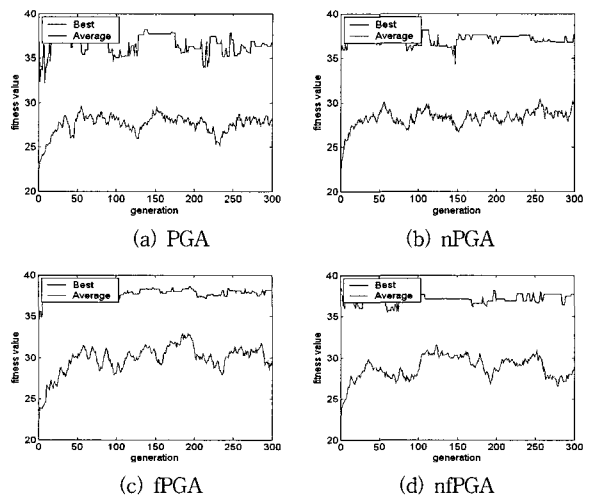
이 실험에서 사용된 파라미터는 세대수 300, 개체 크기 300, 부 개체 크기 30, 이주 확률 0.8, 교배 확률 0.5, 돌연변이 확률 0.1, 그리고 이주구간은 5, 10, 20, 300이다. 4가지 알고리즘 PGA, nPGA, fPGA, 그리고 nfPGA가 실험되었다. (그림 2)~(그림 5)는 각각의 이주구간에서 각 알고리즘의 최대, 평균 적합도 값을 보여준다. 지역 해로 빠졌다 탈출하는 현상이 fPGA, nfPGA에서 관측되었다. 이러한 현상은 이주구간을 변화시켰을 때도 기존의 PGA와 nPGA의 경우에는 항상 관측되지는 않았다. <표 1>은 세대 300에서 최대 및 평균 적합도 값을 보여준다. 실험에서 가장 좋은 결과는 이주구간이 5일 때, fPGA에서 발생하였다. 이러한 현상은 또한 이주 구간에 따라 제안된 알고리즘들의 성능이 변화한다는 것을 보여준다. 실험 결과는 대부분의 알고리즘들이 이주구간이 5, 10에서 좋은 결과를 가짐을 보여준다. 이것은 모든 알고리즘에서 이주구간을 적게 할 때 성능을 향상시킬 수 있음을 의미한다. 그리고 이주를 통하여 염색체의 다양성을 증가시켜 지역 해를 피할 수 있음을 보여준다. 제안된 모든 알고리즘들은 기존의 PGA보다 더 나은 결과를 가진다.



(그림 2) 이주구간이 5일 때, 각 알고리즘들의 최대, 평균 적합도



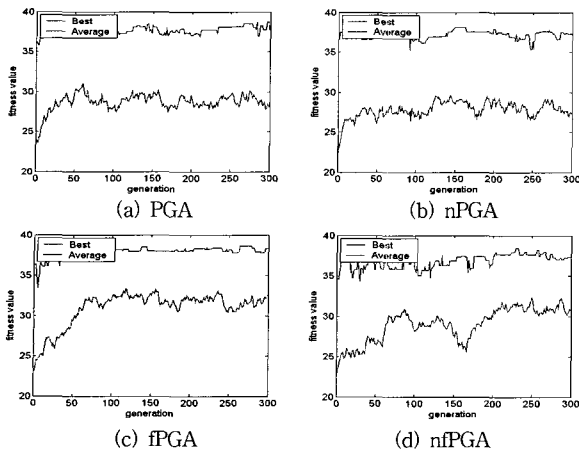
(그림 3) 이주구간이 10일 때, 각 알고리즘들의 최대, 평균 적합도



(그림 4) 이주구간이 20일 때, 각 알고리즘들의 최대, 평균 적합도

<표 1> 300세대에서 최대 및 평균 적합도 값

알고리즘	이주구간:5		이주구간:10		이주구간:20		이주구간:300	
	최대값	평균값	최대값	평균값	최대값	평균값	최대값	평균값
PGA	36.4780	29.3017	37.7675	28.9854	36.6760	28.7544	36.7686	29.7552
nPGA	38.1534	29.0923	38.2932	29.2094	37.3232	28.8213	37.3979	27.2330
fPGA	38.5646	33.6080	38.6533	30.1552	37.8502	31.1580	37.7595	30.2925
nfPGA	38.0158	32.4295	37.5753	31.8114	37.9830	31.3499	38.0939	31.6551



(그림 5) 이주구간이 30일 때, 각 알고리즘들의 최대, 평균 적합도

5. 결 론

본 논문에서는 자연 선택 개념과 퍼지 논리를 적용한 여러 가지 PGA를 제안하였다. 제안된 방법을 기존의 PGA와 비교하기 위하여 NP 문제에 적용하였다. 지역 해로 빠지는 것이 PGA와 nPGA에서 관측되었다. 그러나 fPGA와 nfPGA에서는 이를 빠져나오는 것이 관측되었다. 이러한 현상은 퍼지 알고리즘의 적응 능력 때문이다. 즉 퍼지 알고리즘이 교배 확률과 돌연변이 확률을 지속적으로 변화시켜 지역 해로부터 쉽게 빠져나오게 한다.

실험에서 중요한 관측은 알고리즘의 성능이 부 개체군과 이주 구간에 따라 변화한다는 것이다. 이것은 부 개체군과 이주구간을 적절하게 조절함으로써 더 나은 해를 얻을 수 있기 때문에 매우 중요하다. 본 논문에서는 이주 구간이 5 일 때 좋은 결과들을 얻었다. 또 다른 중요한 관측은 퍼지 알고리즘이 GA의 성능을 개선할 수 있음을 보여준다. 여기서 개체군의 크기, 이주 참여 확률, 그리고 부 개체군의 크기는 논의되지 않았다. 실험 결과는 제안된 방법들이 기존 방법보다 바람직한 결과를 가져옴을 보여주고 있다. fPGA와 nfPGA의 용이한 구현은 이 알고리즘들이 실제 문제에 적용할 경우 더욱 매력적이게 한다.

참 고 문 헌

[1] Z. Michalewicz, Genetic algorithms+Data Structure =Evolution Programs, Springer Verlag, New York, 3rd ed.,1995.
 [2] R.Yang and I.Douglas, "Simple genetic algorithm with local tuning: Efficient global optimization technique," J.Opti. Theor. Appli., Vol.98, No.2, pp.449-465, Aug., 1998.
 [3] K.H. Liang, X.Yao, and C.Newton, "Combining landscape approximation and local search in global optimization," proc. 1999 IEEE Int. Congr. Evolutionary Computation, pp.1514- 1520. 1999.
 [4] R. Salomon, "Evolutionary Algorithms and gradient search: Similarity and differences," IEEE Trans. Evol. Comput., Vol.2, pp.45-55, July, 1998.
 [5] M.Munetomo, Y.Takai and Y.Sato, "An efficient migration scheme for subpopulation based asynchronously parallel genetic

algorithms," in Proc 5th Int. Conf. Genetic Algorithms, S. Forest, Ed. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, pp.649, 1993.
 [6] W.M. Spears, "Simple subpopulation schemes," in Proc. 3rd Ann. Conf. Evolutionary Programming, San Diego, CA, pp.296-307, 1994.
 [7] H.C.Braun, "On solving travelling salesman problems by genetic algorithms," Parallel Problem Solving from Nature, Springer Verlag, pp.129-133, 1990.
 [8] B. Porter and E. Xue, "Niche evolution strategy for global optimization," in Proc. 2001 Int. Congr. Evolutionary Computation, Piscataway, NJ, pp.1086-1092, 2001.
 [9] I. Gondra and M.H. Samadzadeh, "A Coarse-grain Parallel Genetic Algorithm for finding Ramsey Numbers," Proc. of 2003 ACM symp. on applied computing, pp.2-8, 2003.
 [10] G.Guanqi and Y.Shouyi, "Evolutionary Parallel Local Search for Function Optimization," IEEE trans. sys. man, and cyber, Vol.33, No.6, pp.864-876, Dec., 2003.
 [11] S.Smith, "The simplex method and evolutionary algorithms," in Proc. 1998 IEEE Int. Conf. Evolutionary Computation, pp.799-804, 1998.
 [12] Z.Michalewicz and C.Z.Janikow, "A Genetic Algorithm for Numerical Optimization Problems with Linear Constraints," Communications of ACM, Dec., 1996.
 [13] L.P.Holmblad and J.J. Ostergaard, "Control of a cement kiln by fuzzy logic techniques," in Proc. 8th IFAC Conf., Kyoto, Japan, pp.809-814, 1981.
 [14] W.Pedrycz, Fuzzy Modelling: Paradigm and Practice, Kluwer Academic Press, Dordrecht,1996.
 [15] Z.Chi, H.Yan, and T.Phan, Fuzzy Algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition, Word Scientific, Singapore, 1996.
 [16] O.Cordon, and et al., "Ten years of genetic fuzzy systems: current framework and new trends," Fuzzy sets and systems, pp.5-31, 2004.
 [17] R.Fuller, Introduction to Neuro-Fuzzy Systems, Physica Verlag, Wurzburg, 1999.
 [18] L.Sanchez, T.Shibata, L.Zadeh, Genetic Algorithms and Perspectives, World Scientific, Singapore, 1997.



안 영 화

e-mail : yhan@kangnam.ac.kr
 1975년~1990년 성균관대학교 전자공학과
 (학사, 석사, 박사)
 1983년 3월~1990년 2월 해군사관학교
 전자공학과 교수
 1999년 8월~2001년 7월 강남대학교
 학술정보처장

2002년 3월~2003년 2월 Florida State University 방문교수
 1990년 3월~현재 강남대학교 컴퓨터미디어공학부 교수
 관심분야: 정보보호, 네트워크 보안, 유전 알고리즘

권 기 호

e-mail : khkwon@skku.ac.kr
 1975년 2월 성균관대학교 전자공학과(공학사)
 1988년 2월 서울대학교 전자공학과(공학박사)
 1987년 3월~현재 성균관대학교 정신통신학부 교수
 관심분야: 유전 알고리즘, 퍼지이론, 카오스이론