

# 비행체 표적식별을 위한 트리 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크 설계

## Design of a Tree-Structured Fuzzy Neural Networks for Aircraft Target Recognition

한 창 옥\*

Chang-Wook Han\*

### Abstract

In order to effectively process target recognition using radar, accurate signal information for the target is required. However, such a target signal is usually mixed with noise, and this part of the study is continuously carried out. Especially, image processing, target signal processing and target recognition for the target are examples. Since the field of target recognition is important from a military point of view, this paper carried out research on target recognition of aircraft using a tree-structured fuzzy neural networks. Fuzzy neural networks are learned by using reflected signal data for an aircraft to optimize the model, and then test data for the target are used for the optimized model to perform an experiment on target recognition. The effectiveness of the proposed method is verified by the simulation results.

### 요 약

레이더를 통한 표적식별을 효과적으로 처리하기 위해서는 표적에 대한 정확한 신호 정보가 필요하다. 그러나 이러한 표적 신호에는 잡음이 섞여 있는 경우가 일반적이며, 이 부분에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 표적에 대한 이미지 처리, 표적신호처리, 표적식별 등이 그 예라 할 수 있겠다. 군사적 측면으로 볼 때 표적식별 분야가 중요하므로 본 논문에서는 트리 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크를 이용하여 비행체 표적식별에 대한 연구를 수행하였다. 비행체에 대한 반사파 데이터를 활용하여 퍼지 뉴럴 네트워크를 학습시켜 모델에 대한 최적화를 수행하였고, 최적화된 모델에 표적에 대한 테스트 데이터를 입력하여 표적식별에 대한 실험을 수행하여 그 결과를 통해 제안된 방법의 효용성을 검증하였다.

*Key words* : aircraft target recognition, fuzzy logic, neural networks, fuzzy neural networks, genetic algorithm

### 1. 서론

예로부터 각국의 전쟁에 있어 중요한 것은 적에 대한 위치 정보이다. 적에 대한 위치 정보를 획득하여 그 정보를 바탕으로 전쟁에 필요한 전략을 효

과적으로 세울 수 있었다. 위치 정보를 얻기 위해서 많은 사람, 불, 동물과 같은 도구 및 방법을 통해 정보를 주고받았다. 그러나 현대의 전쟁에서는 인공위성, 레이더 등과 같은 전자 장비를 통해서 비교적 쉬운 방법으로 위치 정보를 획득 할 수 있

\* Dept. of Electrical Engineering, Dong-Eui University

★ Corresponding author

E-mail : cwhan@deu.ac.kr Tel : +82-51-890-1665

Manuscript received Nov. 24, 2020; revised Dec. 23, 2020; accepted Dec. 23, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

고, 이 정보를 통해 표적에 대한 식별이 이루어지고 있다. 표적을 식별하기 위해서는 레이더에서 전파를 송신하여 표적에서 반사되는 신호를 통해 표적을 식별하게 되며, 이때 신호에 잡음이 섞이게 된다. 잡음의 원인으로는 구름과 같은 기후, 지형에 따른 잡음 등이 있다. 원하지 않은 잡음으로 인하여 표적식별의 정확성이 떨어지는 상황에서 기존 시스템의 경우 잡음을 제거하는 시스템을 구성하거나 레이더의 송신신호 전파를 지형 및 기후를 고려하여 다르게 사용하는 방법들이 현재 사용되고 있다. 잡음을 제거하는 시스템을 구성할 경우 그에 따른 추가 비용이 발생하게 되며, 레이더의 송신신호 전파를 상황에 맞게 다르게 송신할 수 있으나, 각 전파의 특성상 문제점이 발생할 수 있다. 파장이 긴 저주파를 사용할 경우 전파의 감쇄가 작고 먼 곳까지 탐지할 수 있으나, 표적의 정밀한 측정이 불가능하며 파장이 짧은 고주파를 사용할 경우 공기 중에 흡수 또는 반사되기 쉽기 때문에 감쇄가 커서 먼 곳까지 탐지하지 못하지만 표적의 정밀한 측정이 가능하다. 이러한 문제들로 인해 시스템의 표적식별 성능이 저하될 수 있을 것이다. 표적식별 성능이 저하되었다는 것은 군사적인 측면에서 적에 대한 정보가 불확실해지는 것이다. 그러므로 이러한 문제점을 해결하기 위해 표적식별에 대한 많은 연구가 수행되어져 왔다[1-3]. 반사파 자체의 잡음에 의한 성능 저하 문제를 해결하고자 본 논문에서는 트리 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크 시스템을 활용하였다. 제안된 시스템을 활용하기 위해 잡음이 섞인 표적신호를 이용해 시스템을 학습시켰다. 학습으로 최적화된 시스템의 표적식별 성능을 확인하고자 검증용 데이터를 이용해 제안된 시스템의 효용성을 검증하였다.

## II. 본론

### 1. 트리 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크

퍼지 모델의 궁극적인 목표는 데이터를 논리적으로 명확한 모델 구조로 변환시키는 것이며, 이것은 로직에 기반한 뉴런을 사용하여 모델을 구성함으로써 달성될 수 있다. AND/OR 퍼지 뉴런은 이러한 요건을 충족시키는 기본 logic processing 요소이다[4]. AND 퍼지 뉴런은  $n$  개의 입력,  $\mathbf{x}[0,1]^n$ 을 출력  $y$ 를 도출해 내는 비선형 logic processing 요

소이며, 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$y = \text{AND}(\mathbf{x}; \mathbf{w}) = T_{i=1}^n(w_i s x_i) \tag{1}$$

여기서  $w$ 는  $[0, 1]$ 의 값을 가지는 학습 가능한  $n$  차원의 연결강도(weights) 벡터이고, “s”와 “T”는 각각 s-norm과 t-norm을 나타낸다. 각각의 입력  $x_i$ 는 대응하는 연결강도와 or 형태로 연산되고, 그 결과가 t-norm의 도움으로 and 형태로 결합되어진다. 여기서 우리는 t-norm과 s-norm의 순서를 바꾸어 줌으로써 OR 퍼지 뉴런을 간단히 얻을 수 있다.

$$y = \text{OR}(\mathbf{x}; \mathbf{w}) = S_{i=1}^n(w_i t x_i) \tag{2}$$

OR 퍼지 뉴런에서 입력은 연결강도와 and 형태의 연산을 수행한 후 or 형태로 결합되어진다. 본 논문에서는 t-norm과 s-norm으로 각각 product와 probabilistic sum을 이용한다. 즉,  $(a \ t \ b) = a * b$ 의 형태가 되고  $(a \ s \ b) = a + b - a * b$ 가 된다.

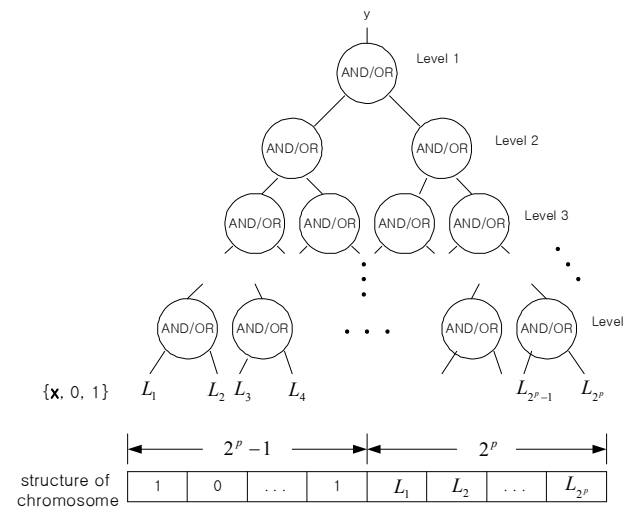


Fig. 1. Basic structure of the proposed network.

그림 1. 제안된 네트워크의 기본 구조

이러한 특징을 가지는 AND/OR 퍼지 뉴런을 이용하여 본 논문에서는 트리 구조의 새로운 형태의 퍼지 뉴럴 네트워크를 개발하였다. 그 기본 구조는 그림 1에서 보는 바와 같이 AND/OR 퍼지 뉴런이 트리 구조로 연결되어 있고 최하단의 뉴런으로만 선택된 입력이 가해지게 된다. 유전 알고리즘(genetic algorithms : GA)[5]은 각 노드의 AND 또는 OR 뉴런을 선택하고 최하단의 입력도 선택하여 트리 구조의 전체적인 global structure를 구성하였다.

즉, 각 노드에 해당하는 유전자의 값이 “0”이면 AND, “1”이면 OR 뉴런을 선택하게 되고, 최하단의 입력들  $L$ 은 전체 입력  $\mathbf{x}$ 와  $\{0, 1\}$  중에서 선택이 된다.  $\{0, 1\}$ 의 값을 추가로 가지게 한 이유는 AND/OR 퍼지 뉴런의 특성을 이용하여 모든 형태의 로직을 구현할 수 있게 하기 위해서이다. 즉, 트리 구조의 특정 노드들을 제거시켜서 출력  $y$ 의 논리식이 원하는 값이 될 수 있게 하는 것이다. 그리고 각 노드로의 입력을 연결하는 연결강도는 그 노드에 선택된 뉴런이 AND이면 “0”, OR이면 “1”로 두어 모두 연결되도록 할 것이다.

본 모델에서 고려되어야 할 유일한 파라미터는 Level의 수이다. 그러므로 실제 문제에 응용 시 적당한 범위 내에서 Level을 변화시키며 그 결과를 관찰하여 최적의 Level 수와 global structure를 찾게 하였다. 물론 최하단의 입력이 다루는 문제에 따라 2개 이상이 될 수도 있으며, 이는 추가로 고려되어야 할 파라미터가 된다. 그림 1은 출력이 하나인 경우만을 나타내었는데, 만약 출력의 퍼지 분할의 개수가 3이면, 그림 1과 같은 구조가 3개가 되어야 한다. 물론 그에 따른 유전 알고리즘에서의 유전자(chromosome) 길이도 3배가 될 것이다. 제안된 모델을 기본 구조로 하여 파라미터들(예: Level, 최하단 입력의 수 등)을 다양하게 변화시켜가며 그 성능을 관찰해 볼 것이다.

이러한 global structure가 유전 알고리즘에 의하여 구해지면, 지역 탐색 알고리즘을 이용하여 각 노드 입력으로의 연결강도를 학습하여 global structure를 더욱 미세학습 시킬 수 있을 것이다. global structure의 연결강도들은 “0” 또는 “1”의 값을 가지지만 지역 탐색 알고리즘은 이 연결강도들을  $[0, 1]$ 의 범위 안에서 미세 학습시켜서 그 정확도를 증가시킬 수 있다.

이러한 미세 학습을 위한 방법으로는 경사학습법(gradient-based learning)과 강화학습법(reinforcement learning)이 가장 대표적이다. 본 논문에서 제안한 AND/OR 퍼지 뉴런으로 구성된 트리 구조의 퍼지 뉴런 네트워크는 경사학습법을 이용하여 미세학습을 수행할 수 있으나, 유전 알고리즘으로 최적화된 global structure는 매 실험 시 다르게 나타날 수 있으므로 그 때마다 새로운 경사학습법을 계산하여야 한다. 그러므로 본 논문에서는 연결강도의 미세학습을 위해 강화학습법을 사용하였다. 강화학습

법은 유전 알고리즘으로 찾아낸 global structure가 바뀌어도 각 결과 구조의 연결강도들을 알 수 있으므로 이것을 바탕으로 강화학습을 수행할 수 있다. 본 논문에서 사용한 강화학습법은 랜덤 신호기반 학습(random signal-based learning : RSL)으로 [6]에서 이미 퍼지 제어를 성공적으로 학습하였으므로 그에 대한 설명은 생략하기로 한다.

## 2. 실험 및 결과분석

본 논문에서 제안된 모델을 검증 및 응용하기 위하여 표적 식별을 위한 데이터의 모델링을 수행하였다. 이미 발표된 논문에서 AND/OR 퍼지 뉴런을 이용한 모델이 데이터 마이닝에 성공적으로 적용되었으며[4], 제안된 트리 구조의 모델도 표적 식별의 모델링에 성공적으로 적용될 수 있으리라 기대된다. 표적 식별을 위해서는 단축거리 무반향실에서 F4, F14, F16, F117, F22, Mig29의 여섯 개의 축소모형에 대해 기 측정된 반사파 데이터[1]를 본 실험에 이용하였다. 여섯 개의 축소 모형에 대하여 -90에서 90까지의 관측각에서 0.5도의 간격으로 반사파를 측정하였다. 이중 절반은 학습용(training)으로 절반은 학습된 모델의 검증용(testing)으로 사용하였다. 잡음에 대한 영향을 알아보기 위해 잡음을 첨가하여 서로 다른 SNR에서 기 측정된 데이터들도 고려하였다.

최적화를 위해 사용된 파라미터들은 실험을 통해 구해졌으며, 그 값들은 아래와 같다.

- 개체군 수 : 500
- 세대 수 : 200
- 교차 확률 : 0.8
- 돌연변이 확률 : 0.01
- 랜덤 신호 기반 학습의 학습율 : 0.01
- 랜덤 신호 기반 학습의 반복수 : 500

그림 2는 제안된 모델을 이용하여 유전 알고리즘으로 학습한 결과이고, 그림 3은 유전 알고리즘으로 학습된 결과 모델을 랜덤 신호기반 학습법으로 미세 학습한 결과이다. 소속 함수는 입출력 모두 3개의 Gaussian 함수를 사용하였고, 실험 데이터는 비행체 구분정보, 관측각, 8개의 반사파 특징 값으로 구성되며 40dB의 잡음을 가진다. 그림 2와 3에 나타난 성능 평가지수는 processing core에서 출력된 소속 함수 레벨의 값과 실제 원하는 출력과의

차이를 나타내는 것으로 mean squared error(MSE) 값이다. 그림 2와 3에서 보는 바와 같이 유전 알고리즘으로 학습된 모델을 랜덤 신호기반 학습법을 이용하여 연결강도를 미세 조정함으로써 그 정확도를 더욱 높였다.

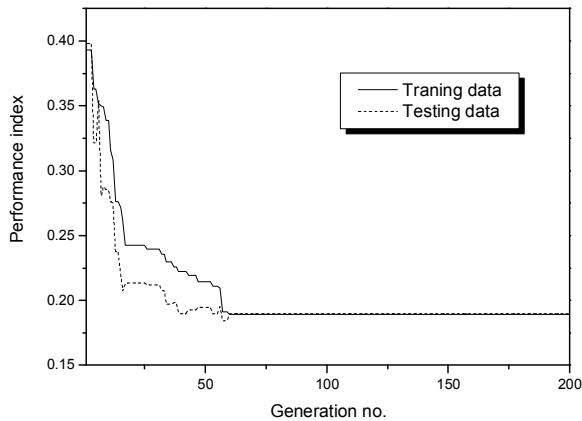


Fig. 2. Learning result of genetic algorithms.  
그림 2. 유전 알고리즘에 의한 학습 결과

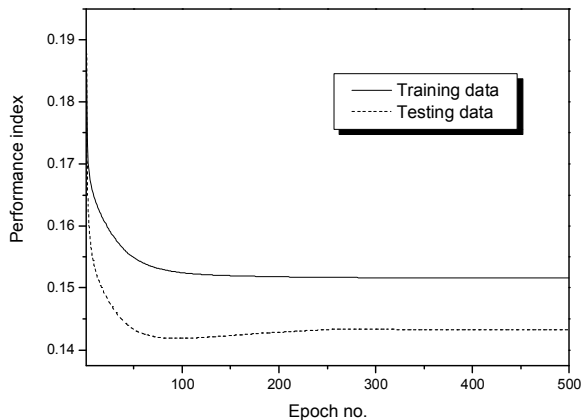


Fig. 3. Learning result of random signal-based learning.  
그림 3. 랜덤 신호기반 학습에 의한 미세 학습 결과

소속 함수 레벨의 결과를 비퍼지화(defuzzi-fication)하여 비행체를 구분하였을 때 학습용 데이터에 대한 구분율은 89.3%, 검증용 데이터에 대한 구분율은 89.5%로 각각 나타났으며, 그 결과를 표 1에 나

Table 1. Aircraft classification rate after GA optimization and RSL refinement using training and testing data.

표 1. 학습용과 검증용 데이터를 이용한 유전 알고리즘과 랜덤 신호기반 학습 후의 비행체 구분율

	Training	Testing
GA optimization	88.7%	88.8%
RSL optimization	89.3%	89.5%

타내었다. 이 결과는 30번의 독립된 실험을 평균한 것이며, 학습용 데이터뿐만 아니라 검증용 데이터에 대해서도 좋은 결과가 도출되었다.

### III. 결론

본 논문에서는 AND/OR 퍼지 뉴런으로 구성된 트리 구조의 새로운 퍼지 뉴럴 네트워크 모델을 유전 알고리즘과 랜덤 신호기반 학습을 이용하여 개발하였고, 이를 표적식별을 위한 신호 데이터 모델링에 적용하여 그 유용성을 실험적으로 검증하였다. 본 실험의 결과는 논문에 발표된 기존의 모델을 이용하여 표적 식별을 위한 데이터가 유효하게 모델링 될 수 있는지 확인하기 위해 실험을 수행한 것으로, 여러 가지 많은 경우의 데이터들 중에서 시험적으로 하나만 선택하여 데이터 처리 후 모델링을 수행하였다. 그러므로 표적식별에 관련된 심도 깊은 기초 지식을 얻기 위한 관련자료 검토와 나머지 모든 데이터들에 대한 특징 벡터 추출 등과 같은 과정들이 필요하며, 이후 제안된 모델에 처리된 데이터들을 적용하여 그 결과를 고찰해야 할 것이다.

### References

- [1] D. K. Seo, K. T. Kim, H. T. Kim, "Wide-Angle Radar Target Classification with Subclass Concept," *The Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol.13, no.8, pp.777-782, 2002. DOI: 10.2528/PIER03060301
- [2] C. Xu and H. Duan, "Artificial bee colony (ABC) optimized edge potential function (EPF) approach to target recognition for low-altitude aircraft," *Pattern Recognition Letters*, vol.31, no.13, pp.1759-1772, 2010. DOI: 10.1016/j.patrec.2009.11.018
- [3] A. Zyweck and R. E. Bogner, "Radar target classification of commercial aircraft," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, vol.32, no.2, pp.598-606, 1996. DOI: 10.1109/7.489504
- [4] W. Pedrycz, M. Reformat, and C. W. Han, "Cascade architectures of fuzzy neural networks," *Fuzzy Optimization and Decision Making*, vol.3,

no.1, pp.5-37, 2004. DOI: 10.1109/7.489504

[5] D. E. Goldberg, *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.

[6] C. W. Han and J. I. Park, "Design of a Fuzzy Controller using Random Signal-based Learning Employing Simulated Annealing," *Proc. of the IEEE Conference on Decision and Control*, Sydney, Australia, pp.396-397, 2000.

DOI: 10.1109/CDC.2000.912794

---

## BIOGRAPHY

---

### **Chang-Wook Han** (Member)



1994 : BS degree in Electronic Engineering, Yeungnam University.

1996 : MS degree in Electronic Engineering, Yeungnam University.

2002 : PhD degree in Electronic Engineering, Yeungnam University.

2008~ : Professor in Electrical Engineering, Dong-Eui University.