

OR-AND 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크를 이용한 태양광 발전 출력 예측 시스템 개발

Development of Photovoltaic Output Power Prediction System using OR-AND Structured Fuzzy Neural Networks

김 해 마 로*, 한 창 욱*, 이 돈 규*★

Haemaro Kim*, Chang-Wook Han*, Don-Kyu Lee*★

Abstract

In response to the increasing demand for energy, research and development of next-generation energy is actively carried out around the world to replace fossil fuels. Among them, the specific gravity of solar power generation systems using infinity and pollution-free solar energy is increasing. However, solar power generation is so different from solar energy that it is difficult to provide stable power and the power production itself depends on the solar energy by region. To solve these problems in this paper, we have collected meteorological data such as actual regional solar irradiance, precipitation, temperature and humidity, and proposed a solar power output prediction system using logic-based fuzzy Neural Network.

요 약

현재 계속해서 늘어나는 에너지 수요량에 대해 세계적으로 화석연료를 대체할 차세대 에너지의 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 그 중, 무한정, 무공해의 태양에너지를 사용하는 태양광 발전 시스템의 비중이 커지고 있지만, 일사량에 따른 발전량 편차가 심해 안정된 전력공급이 어렵고 전력 생산량 자체가 지역별 일사량에 의존하는 문제가 존재한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 실제의 지역별 일사량, 강수량, 온도, 습도 등의 기상데이터를 수집하여 로직 기반의 퍼지 뉴럴 네트워크를 이용한 태양광 발전 출력 예측 시스템을 제안하였다.

Key words : logic-based fuzzy neural networks, genetic algorithm, photovoltaic system, prediction, OR-AND

1. 서론

현재 전 세계적으로 사용하는 주 에너지원은 한정된 매장량과 그 사용에 따라오는 환경오염 등의 문제를 가지고 있는 화석연료이다. 이를 해결하고자 하는 대안으로 새로운 청정에너지원 즉, 신재생

에너지에 대한 많은 투자 및 연구가 진행되고 있으며, 풍력, 태양광, 태양열, 지열, 조력 등 여러 가지 재생 에너지 중 태양광 발전 연구가 가장 활발히 진행 중이다. 태양광 발전은 태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 기술로 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생하는 태양전지를 이용

* Dept. of Electrical Engineering, Dong-Eui University

★ Corresponding author

E-mail : donkyu@deu.ac.kr Tel : +82-51-890-1666

Manuscript received Mar. 12, 2019; revised Mar. 18, 2019; accepted Mar. 26, 2019.

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.

한 발전 방식으로, 무한정, 무공해의 태양에너지를 이용하기 때문에 친환경적이며 무인화가 가능하다는 이점을 가지고 있으나, 일사량에 따른 발전량 편차가 심하고, 설치장소가 한정적이며 초기 비용이 비싸다는 단점이 있다.

본 논문에서는 퍼지 뉴럴 네트워크(fuzzy neural network)를 이용한 태양광 발전 출력 예측 시스템을 제안하고자 한다. 퍼지 뉴럴 네트워크 방식은 퍼지로지학과 뉴럴 네트워크 각각의 장점을 결합한 방식으로 여러 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있다[1-3]. 하지만 퍼지로지학의 입력 수와 소속함수의 수가 증가함에 따라 퍼지 규칙의 수가 기하급수적으로 증가하게 되고, 이에 따라 최적화되어야 할 파라미터 수도 증가하게 되면서 지역 극소점에 당면하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 로직 기반의 OR 뉴런과 AND 뉴런을 사용한 OR-AND 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크[4-5]를 사용하였다. 기존 방식에 비해 로직 기반의 퍼지 뉴럴 네트워크는 전체 입력 중에서 영향력이 큰 소수의 입력만을 선택하여 사용하므로 파라미터 수의 증가를 막을 수 있으며, 최적화시 지역 극소점에 당면하는 문제를 해결할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 로직 모델을 이용한 퍼지 뉴럴 네트워크를 통해 일사량, 강수량, 온도, 습도 등의 기상데이터에 따른 태양광 발전량을 예측하는 모델을 개발하고자 한다.

II. 본론

로직을 기반으로 한 퍼지 뉴럴 네트워크 구조에서 AND 뉴런과 OR 뉴런의 연산과정이 가장 중요한 부분이다. 입력층과 은닉층, 은닉층과 출력층의 연결 강도 및 가중치를 AND 뉴런과 OR 뉴런의 연산과정이 결정하기 때문이다. AND 뉴런과 OR 뉴런으로 구성된 로직 기반 모델의 기본 구조를 해석하기 위한 수식은 아래와 같이 표현된다[6].

$$y = AND(x;w) = T_i^n(w_i s x_i) \quad (1)$$

식(1)은 AND 뉴런의 연산방법을 나타낸다. AND 뉴런은 비선형 상의 논리 구조로 입력 x 와 출력 y 로 구성되며 w 는 n 차원의 연결 강도 벡터를 나타내고, 's'와 'T'는 각각 s -norm과 t -norm을 나타

낸다. 각각의 입력 x_i 는 대응되는 연결 강도 w_i 와 or 형태로 연산되고, 그 결과가 t -norm에 의해 and 형태로 결합되어 진다. s -norm과 t -norm의 순서를 바꿔 OR 뉴런을 아래와 같이 쉽게 얻을 수 있다.

$$y = OR(x;w) = S_i^n(w_i t x_i) \quad (2)$$

OR 뉴런에서 입력은 연결 강도와 and 형태로 연산되고, or 형태로 결합된다. AND 뉴런의 경우 연결 강도 w_i 의 값이 작을수록 대응하는 입력 x_i 와 밀접한 관련성을 가진다. $w_i = 1$ 일 때, AND 뉴런으로 x_i 의 입력 연결은 없는 것과 같다. 기준을 0.5로 했을 때, $w_i > 0.5$ 이면 연결이 제거된 것과 같으며, 그 반대의 경우는 연결이 존재하는 즉, 연결 강도가 0인 것과 같다. x 와 w 가 $[0, 1]$ 의 2진 값만 가질 경우의 AND 뉴런은 논리 AND 게이트와 같이 동작한다. OR 뉴런의 경우 연결 강도 w_i 의 값이 클수록 대응하는 입력 x_i 의 관련성이 높다. 즉, $w_i = 0$ 이면 OR 뉴런에 x_i 입력 연결이 없는 것과 같다. $w_i < 0.5$ 인 경우 이 연결은 제거된 것과 같으며 그 반대의 경우 연결 강도가 1인 것과 같다. x 와 w 가 $[0, 1]$ 의 2진 값만 가질 때의 OR 뉴런은 논리 OR 게이트와 같은 동작을 한다.

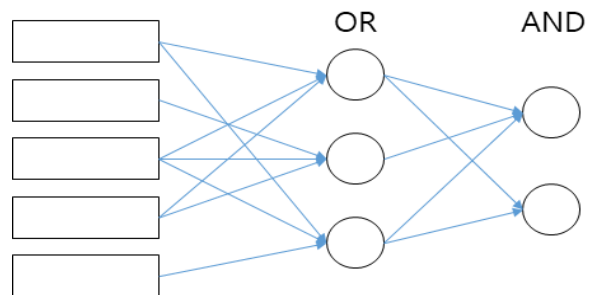


Fig. 1. Basic structure of OR-AND fuzzy neural network.
그림 1. OR-AND 퍼지 뉴럴 네트워크의 기본 구조

그림 1에서 OR 뉴런에 연결되는 1에 가까운 연결 강도와 AND 뉴런으로 연결되는 0에 가까운 연결 강도는 필수적인 입력에 해당하게 되어 뉴런에 영향이 미치게 된다. 이처럼 로직 기반 모델을 사용할 때 수많은 연결망에서 불필요한 연결을 효과적으로 제거하여 최적화된 결과를 얻을 수 있게 된다. 또한 OR-AND 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크는 적은 수의 퍼지 규칙이 큰 영역을 커버하므로 기존

의 AND-OR 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크 보다 적은 수의 규칙으로 향상된 결과를 얻을 수 있다[4].

본 논문에서는 OR-AND 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크에 임의의 지역에서 수집한 기상데이터 중 일사량, 습도, 온도, 강수량 등의 데이터를 태양광 발전량 예측에 대한 변수로 사용하였다. 입력변수로 사용되는 값들은 평균 일사량 $s(n)$, $s(n-1)$, $s(n-2)$, $s(n-3)$, 표준편차 $e(n)$, $e(n-1)$, $e(n-2)$, $e(n-3)$, 출력 $P(n-1)$, $P(n-2)$ 이며, 입력변수에 대한 출력 값은 현재의 발전출력 $P(n)$ 으로 나타낸다. 여기서 얻은 입력변수를 소속함수를 통하여 소속도로 변환하여 사용하게 된다. 일반적인 퍼지 뉴럴 네트워크의 경우 많은 입력변수를 가지게 되면 모델의 복잡도가 높아져서 최적의 모델을 찾기가 쉽지 않으므로, 사용된 모델은 구조를 간단하게 하여 적은 입력변수만 사용하는 이점을 가지는 OR-AND 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크를 사용하였다. 실험을 위한 데이터는 실제 태양광 발전기를 설치 운용하여 가장 좋은 시기의 데이터를 실험에 사용하는 것이 가장 정확하고 좋은 방법이지만 태양광 발전 설비 운용은 현실적으로 어려워 NSRDB(national solar radiation database)에서 제공하는 미국 태양광 발전 지역의 기상 및 태양 복사 조도 데이터를 토대로 태양광 발전의 출력량을 예측해 보았다. 수집된 2017년 1월부터 12월까지의 1년간 데이터를 30분 간격으로 정렬한 17520개의 데이터 중에서 3분의 2는 학습용 데이터로 사용하였고, 3분의 1은 테스트 데이터로 사용하였다. 본 데이터를 이용한 모델은 1시간 이후의 평균 발전출력량을 예측하는 것을 목적으로 하였다. 모델의 학습을 위해 우선 유전 알고리즘[7]을 이용하여 최적의 입력 및 2진의 연결 강도를 구했으며, 유전 알고리즘으로 최적화된 2진 연결 강도들을 $[0, 1]$ 구간에서 경사학습법(Gradient descent method)을 통해 미세학습을 수행하였다. 모델 최적화에 사용된 파라미터 값들은 실험을 통해 얻은 최적의 조합으로 선택하였고, C언어를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 본 실험에서는 유전 알고리즘과 경사학습법을 이용하여 모델을 최적화하고 결과를 도출하여 트레이닝 데이터와 테스트 데이터를 실제의 값과 비교해 오차의 정도를 확인하고 오차를 줄이는 방법을 연구하였다.

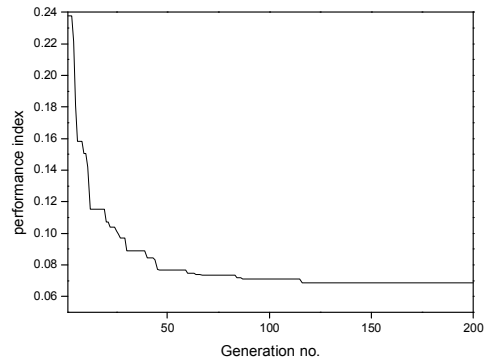


Fig. 2. Learning results using genetic algorithm.
그림 2. 유전 알고리즘을 이용한 학습 결과

그림 2는 유전 알고리즘을 이용한 모델의 학습 결과를 나타내었다. 학습 결과 전체 입력 중에서는 은닉층으로 연결되는 최적의 부분 입력들이 선택되었고 2진의 연결 강도들이 최적화된다.

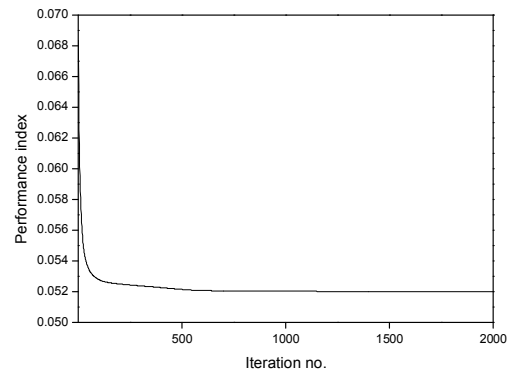


Fig. 3. Learning results using gradient descent method.
그림 2. 경사학습법을 이용한 학습 결과

그림 3은 유전 알고리즘으로 최적화된 2진 연결 강도들을 경사학습법을 이용해 미세 학습한 결과를 보여주고 있으며, 유전 알고리즘으로 학습된 모델이 더 미세하게 학습되고 있음을 알 수 있다. 알고리즘 성능 평가는 식(3)과 같이 학습된 결과와 목표값이 평균적으로 얼마나 차이가 나는지를 판단하는 방법으로 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 사용하였다. RMSE는 값이 작을수록 예측이 더 정확하다는 것을 나타내며, 알고리즘 성능 평가 결과 트레이닝 데이터의 경우 0.052 테스트 데이터의 경우 0.059의 오차가 도출되었고, 이는 실제 출력값과 최적화된 모델에 데이터를 입력하여 출력된 결과값을 비교하여 나타낸 오차이다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (3)$$

F_i : 예측모델에 의한 예측값 O_i : 실제값
 N : 데이터의 수

III. 결론

본 논문에서는 일사량에 따른 발전량의 편차가 심하고, 안정된 전력공급이 어렵고, 전력 생산량 자체가 지역별 일사량에 의존한다는 문제점을 지닌 태양광 발전시스템에 적용하고자 태양광 발전 출력을 예측할 수 있는 모델을 제안하였다. 예측모델은 OR-AND 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크를 사용함으로써 기존의 퍼지 뉴럴 네트워크의 최적화 파라미터 수의 증가로 인해 발생하는 문제를 보완하였다. 시뮬레이션은 NSRDB에서 지원하는 미국 태양광 발전소 지역의 기상데이터 중 일사량, 강수량, 온도, 습도 데이터를 변수로 하여 사용하였으며, 유전 알고리즘과 경사하수법을 이용하여 모델을 최적화하였다. 최적화된 모델의 성능을 평가한 결과 제안된 모델이 태양광 발전 출력 예측에 적용될 수 있음을 보였다. 향후 연구과제로는 본 논문에서 수행한 실험을 바탕으로 OR-AND 구조의 퍼지 뉴럴 네트워크 예측모델의 정확도를 증가시키는 연구가 수행되어야 할 것이다.

References

[1] Loftii A Zadeh, "Fuzzy set," *Information and control*, Vol 8, pp. 338-353, 1956.
 [2] C.-T. Lin, C.S.G Lee, "Neural-network-based fuzzy logic control and decision system," *IEEE Transaction on Computers*, Vol 40, pp. 1320-1336, 1991. DOI: 10.1109/12.106218
 [3] Lofti A Zadeh, "Fuzzy logic, neural networks, and soft computing," *Communications of the ACM*, Vol 37, pp. 77-85, 1994. DOI: 10.1145/175247.175255
 [4] Jong-Jin Kang, "A Study on Fuzzy Neural Networks using Union-based Rule Antecedents," *Master thesis, Dong-Eui University(DEU)*, 2013.
 [5] Gyu-Young Park, "Design of OR-AND structure

Fuzzy Neural Networks using Fuzzy C-Means and Its Applications," *Master thesis, Dong-Eui University(DEU)*, 2014.

[6] Wiltold Pedrycz, Patrick Chi Eung Lam, Armando F. Rocha, "Distributes Fuzzy System Modeling," *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN. AND CYBERNETICS*, Vol. 25. No.5. 1995.

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

BIOGRAPHY

Haemaro Kim (Member)



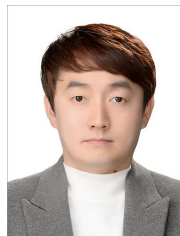
2016 : BS degree in Electrical Engineering, Dong-Eui University.
 2018 : MS course in Electrical Engineering, Dong-Eui University.

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.

Don-Kyu Lee (Member)



2002 : BS degree in Electrical Engineering, Pusan National University.
 2004 : MS degree in Electrical Engineering, Pusan National University.
 2007 : PhD degree in Electrical Engineering, Pusan National University.
 2008~ : Professor in Electrical Engineering, Dong-Eui University.