

양성자가속기 연구센터 전력계통 고장진단 알고리즘 개발

문 경준*, 전 계포*, 이 석기*, 김 준연*, 정 우성**, 유 석대**

* 한국원자력연구원 양성자가반공학기술개발사업단, ** (주) 한국전력기술

Development of the Power System Fault Diagnostic Algorithm for the Proton Accelerator Research Center of PEPF

Kyeong-Jun Mun*, Gye Po Jeon*, Seok-Ki Lee*, Jun Yeon Kim*, W. Jung**, Suk-Tae Yoo**

* Korea Atomic Energy Research Institute, Proton Engineering Frontier Project ** Korea Power Engineering Company, INC

Abstract - This paper presents an application of power system fault diagnostic algorithm for the PEPF Proton Accelerator Research Center using neural network. Proposed fault diagnostic system is constructed by the radial basis function (RBF) neural network because it has the capabilities of the pattern classification and function approximation of any nonlinear function. Proposed system identifies faulted section in the power system based on information about the operation of protection devices such as relays and circuit breakers.

In this paper, parameters of the RBF neural networks are tuned by the GA-TS algorithm, which has the global optimal solution searching capabilities. To show the validity of the proposed method, proposed algorithm has been tested with a practical power system in Proton Accelerator Research Center of PEPF.

1. 서 론

전력계통 운용시 고장이 발생하면 계통 운전원은 계전기 및 차단기 관련 동작정보 및 경보로부터 해당 고장내용을 판단하고 계통복구를 위한 조사를 행한다. 그러나 실제계통 운전시에는 계전기 또는 차단기의 정보가 주변환경에 의해 불완전하든지 혹은 고장이 발생해도 실제로 해당 기기가 동작하지 않는 경우가 종종 발생한다.

전력계통 고장진단 문제에 관한 연구로서는 전문가의 지식을 기반으로 한 전문가 시스템(rules based expert system)[1]이 제안되었다. 그러나 이러한 전문가 시스템은 시스템 내에 해당 전력계통에 대한 정확한 기술이 필요하며 해당 시스템 내의 전문지식을 벗어난 문제는 해결할 수 없는 단점을 가진다. 최근에는 퍼지이론(fuzzy theory)[2], 신경회로망[3] 등의 지능시스템 기법(Intelligent system)을 전력계통 고장진단에 활용하는 방법이 널리 연구되고 있는 추세이다.

본 논문에서는 전력계통 운용시 발생한 고장에 따른 다중경보 신호를 분석하기 위하여 고장영역별로 동작하는 경보신호를 분류한 후 해당 패턴을 신경회로망으로 학습함으로써 전력계통 고장진단의 신뢰성을 높이고 진단의 유연성을 높이는 방법을 제시하였다. 전력계통 고장진단용 신경회로망으로는 일반적으로 다른 신경회로망에 비해 패턴분류 및 함수근사화 측면에서 우수한 성능을 나타내는 radial basis function (RBF) 신경회로망을 도입하였다. 또한 신경회로망 학습시에는 전역 최적해 탐색성능을 가지는 유전 알고리즘과 최적해로의 수렴속도 개선을 위한 타부 탐색법을 도입하는 방법을 제안하였다.

제안한 알고리즘의 유용성을 입증하기 위하여 양성자가속기 연구센터의 전력계통 고장진단에 제안한 알고리즘을 적용하였다. 그 결과 제안한 알고리즘은 계전기 및 차단기가 일부 오·부동작한 경우 및 다중고장의 경우에도 정확히 해당 고장구간을 검출함을 확인하였다.

2. 전력계통 고장진단 문제

전력계통에서 모선, 변압기, 피더 등에서 고장이 발생하면 해당 고장점과 연관된 계전기 및 차단기가 동작함으로써 적절한 차단기를 동작시켜 인입선로, 모선, 변압기 및 피더 등의 전력계통 고장구간을 건전구간과 분리하여 고장파급을 감소시킨다. 이 경우 해당 보호기기인 계전기 및 차단기가 정동작을 하게 되면 이에 따른 고장구간에 대한 정확한 판단 및 분리가 가능하다. 그러나 실제계통 운전시에는 계전기 또는 차단기의 정보가 통신 장애 등이 발생하여 전송되지 않아 불완전하든지 혹은 고장이 발생해

도 실제로 해당 보호기기가 동작하지 않는 경우가 종종 발생한다. 특히 여러 구간에서 동시에 고장이 발생하는 다중고장의 경우에는 운전원이 고장을 정확히 판단하고 복구하는 데 어려움이 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 불완전한 계전기 및 차단기 정보가 입력된 경우에 대해서도 해당 고장구간을 정확히 검출할 수 있는 고장검출 방법을 제안하였다.

3. 신경회로망을 이용한 전력계통 고장진단

본 논문에서는 효율적인 전력계통 고장진단 구현을 위해 신경회로망 중 패턴분류 및 함수근사화 측면에서 우수한 성능을 가지는 Radial Basis Function (RBF) 신경회로망[3, 4]을 도입하였다. 설계한 신경회로망은 전력계통 고장발생시 동작하는 보호기기인 계전기 및 차단기 정보를 입력 신호로 사용하여 해당 입력 정보에 대한 고장구간을 출력하는 기능을 가진다.

3.1 Radial Basis Function 신경회로망

본 논문에서는 전력계통 고장진단을 위해 패턴분류 및 함수근사화 측면에서 우수한 성능을 가지는 RBF 신경회로망을 도입하였다. 이 경우 RBF 신경회로망의 은닉층 뉴런의 출력 h 및 출력층 뉴런의 출력값 y 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_i = \exp(-\|x - u_i\|^2 / \sigma_i^2) \tag{1}$$

$$y_j = \sum_i h_i w_{ij} \tag{2}$$

여기서, x : 입력 벡터

u_i : i 번째 은닉층 뉴런의 중심 (center)

σ_i : i 번째 은닉층 뉴런의 분산 (spread)

y_j : j 번째 출력층 뉴런의 출력값

w_{ij} : i 번째 은닉층 뉴런과 j 번째 출력층 뉴런 사이의 가중치

이러한 RBF 신경회로망의 설계시 학습 과정에서는 각 은닉층(hidden layer) 뉴런의 중심 및 폭과 은닉층 뉴런과 출력층 뉴런(output layer)을 연결하는 가중치를 결정하여야 한다[3, 4].

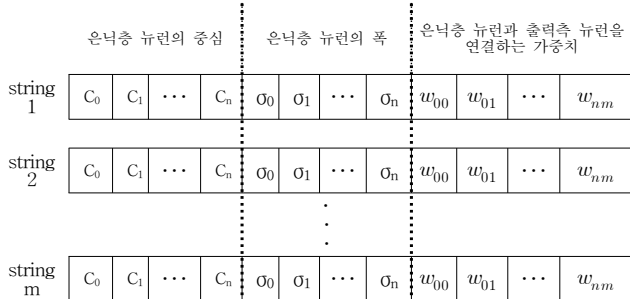
3.2 유전 알고리즘-타부 탐색법

GA[5]는 다양한 영역을 탐색하는 알고리즘으로 전역 최적해 근처까지는 빨리 수렴하나 확률적인 특성으로 전역 최적해를 찾는 데 많은 시간이 요구되고, TS[6]는 문제의 특성을 고려한 경험적 탐색이 용이하므로 빠른 수렴특성을 가지는 반면에 탐색과정 초기해의 영향을 크게 받으며, 국부 수렴한 경우 새로운 영역을 탐색하기 위한 다양화 과정에서 매우 많은 계산시간이 소요된다. 따라서 본 논문에서는 GA의 전역 최적해 탐색능력과 TS의 빠른 수렴특성을 이용한 향상된 최적해 탐색기법을 제안하였다.

제안한 알고리즘은 먼저 GA 연산을 일정 세대동안 수행한 후, GA 연산에 의해 구한 해가 개선되지 않을 경우, TS 연산을 적용함으로써 최적해 탐색성능을 향상시켰다. 본 논문에서는 GA 연산을 3회 수행한 후에도 최적해가 개선되지 않으면 TS 연산을 적용하였다. 즉 이 경우에는 GA의 각 스트링을 적합도가 우수한 순서대로 정렬한 후, 적합도가 우수한 상위 스트링에 대해 타부 탐색의 현재해로 설정한 후 일정 반복회수 동안 해당 스트링 주변영역에 대한 탐색을 수행하였다.

3.3 유전 알고리즘-타부 탐색법을 이용한 전력계통 고장진단용 신경 회로망 학습방법

전력계통 고장진단용 신경회로망을 설계할 경우, 해당 신경회로망의 뉴런관련 파라미터 및 가중치를 적절히 설계해야 하는 최적화 문제이다. 전력계통 고장진단 문제에 대한 GA의 스트링 구성은 각 은닉층 뉴런의 중심 C_i 및 폭 σ_i 와 은닉층 뉴런과 출력층 뉴런을 연결하는 가중치 w_{ij} 로 구성하였으며 이를 그림 1에 나타내었다.

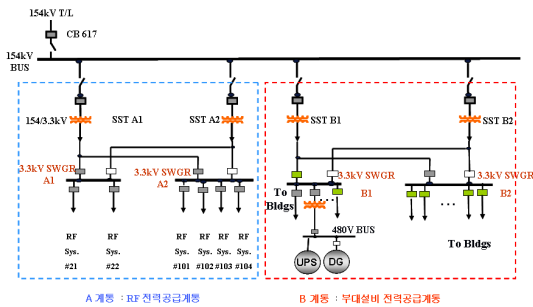


여기서, C_i : i번째 은닉층 뉴런의 중심 백터
 σ_i : i번째 은닉층 뉴런의 폭
 w_{ij} : i번째 은닉층 뉴런과 j번째 출력층 뉴런 사이의 가중치

<그림 1> Radial Basis Function 최적화를 위한 유전 알고리즘의 스트링 구성 방법
 <Fig. 1> String architecture for the optimization of the Radial Basis Function

4. 사례연구

제안한 전력계통 고장진단 방안의 유용성을 검증하기 위하여 PEFP의 설계중인 실제 전력계통에 적용하였다. 본 논문에서는 PEFP의 전력계통 중 1개소의 인입선로 및 154kV 모선, 4대의 154kV 피더, 변압기 및 3.3kV 모선, 35대의 3.3kV 피더에 대해 적용하였다. 제안한 방법에서 사용한 시뮬레이션 계수는 표 1과 같다. 사례연구로 임의로 선정한 구간에 고장을 발생시켜 제안한 방법의 고장진단 방안을 검토하였다.



<그림 2> PEFP 수전설비 계통도
 <Fig. 2> PEFP electric power system

<표 1> 시뮬레이션 계수
 <Table 1> Simulation Parameters

계수	GA				TS		α	β
	세대 수	해집단 수	교배 확률	돌연변이 확률	반복 회수	타부 리스트 길이		
설정값	200	1000	0.9	0.1	100	30	1000	1

그림 2에는 154kV 모선에서의 고장발생을 모의한 PEFP의 154kV/3.3kV 계통도를 나타내었다. 그림 2의 154kV 모선에서 고장이 발생한 경우 해당 고장을 진단하기 위해 동작한 계전기 및

차단기는 각각 487(모선 차동계전기), 427(과전류 계전기) 및 CB 617이다. 이 경우 본 논문에서는 해당 고장구간은 분리되었으나 해당 고장에 대해 동작해야 하는 계전기 487이 동작하지 않은 상태를 모의하였다. 그 결과 제안한 방법은 계전기 487이 동작하지 않은 경우에도 동작한 계전기 및 차단기 정보인 427, CB 617만을 제안한 신경회로망의 입력으로 이용하여 정확히 고장구간을 검출함을 확인하였다.

다음으로는 그림 2의 154/3.3kV 변압기 SST A1에서 고장이 발생한 경우를 모의하였으며, 이 경우 해당 고장진단을 위해 동작한 계전기 및 차단기는 487A (차동계전기), 151NA (3.3kV측 과전류 계전기) 및 6183, 6183-01B-1이다. 이 경우에는 해당 고장구간이 차단기 6183-01B-2가 동작하지 않아 정확히 분리되지 않은 상태를 모의하였다

제안한 방법은 차단기 6183-01B-2가 동작하지 않은 상태에서 동작한 계전기 및 차단기 정보를 제안한 신경회로망의 입력으로 이용하여 고장구간을 검출하였다. 그 결과 제안한 방법은 고장구간인 변압기 SST A1을 정확히 검출함을 확인할 수 있었다.

다음으로는 그림 2의 3.3kV 피더 두 대(RF Sys. #21, RF Sys. #104)에서 동시에 고장이 발생한 경우 해당 고장을 진단하기 위해 동작한 계전기 및 차단기는 RF Sys. #21 측의 50/51 및 CB 5181, RF Sys. #104 측의 450/451이 동작하고 RF Sys. #104 측의 50/51이 동작하지 않은 경우를 모의하였다. 이 경우에도 제안한 신경회로망은 두 고장구간을 정확히 검출함을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 전력계통에서 발생한 고장에 따른 다중경보신호를 분석하기 위하여 고장영역별로 동작하는 경보신호 중 계전기 및 차단기 데이터를 이용하여 해당 패턴을 신경회로망으로 학습함으로써 전력계통 고장진단의 신뢰성을 높이고 진단의 유연성을 높이는 방법을 제시하였다. 또한 고장진단 신경회로망의 파라미터 탐색 과정에서는 최적해 탐색성능 향상을 위해 전역 최적해 탐색성능을 가지는 유전 알고리즘과 최적해로의 수렴속도 개선을 위한 타부 탐색법을 결합한 GA-TS 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 TS의 빠른 수렴특성과 GA의 전역탐색 능력을 효과적으로 이용하여 전역 최적해 탐색성능 및 탐색속도를 개선하는 방법이다.

제안한 알고리즘의 유용성을 입증하기 위하여 PEFP 양성자가 속기 연구센터의 전력계통 고장진단에 제안한 알고리즘을 적용하였다. 그 결과 제안한 알고리즘은 계전기 및 차단기가 일부 오·부동작한 경우 및 다중고장의 경우에도 정확히 해당 고장구간을 검출함을 확인하였다

감사의 글

본 논문은 한국원자력연구원 양성자기반공학기술개발사업단의 "가속기 부대시설 건설공사관리" 과제에서 수행한 연구임

[참 고 문 헌]

- [1] Yann-Chang Huang, "Abductive Reasoning Network Based Diagnosis System for Fault Section Estimation in Power System," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 17, no. 2, pp. 369-374, April 2002.
- [2] Su Yu, Zhao Hai, Su Wei-ji, Wang Gang, Zhang Xiao-dan, "Fuzzy Reasoning Based Fault Diagnosis Expert System", *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing & Control*, pp. 613-pp.617, March, 2003
- [3] Hong-Tzer Yang, Wen-Yeau Chang, Ching-Lien Huang, "A New Neural Networks Approach to On-line Fault Section Estimation Using Information of Protective Relays and Circuit Breakers," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 9, no. 1, pp. 220-230, Jan. 1994.
- [4] Brian Carse, Anthony G. Pipe, Terence C. Fogarty and Terence Hill, "Evolving Radial Basis Function Neural Networks using a Genetic Algorithm", *IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 300 - pp. 305, 29. Nov. - 1. Dec., Dec. 1995
- [5] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, 1989.
- [6] F. Glover, "Tabu Search - Part 1", *ORSA Journal on Computing*, vol. 1, no. 3, pp. 190- 206, 1989.