

System matrix를 사용한 고장진단 전문가 시스템

심국진*, 김건중*, 함완근**, 추진부**, 오성현***
*충남대학교, **한전기술연구원, ***에너지연구소

A Fault Diagnosis Using System Matrix In Expert System

K.J. Sim*, K.J. Kim*, W.K. Ham**, J.B. Chu**, S.H. Oh***
*Chung Nam National Univ., **KEPCO Research Center, ***KAERI

Abstract

This paper deals with the expert system using network configuration and input information composed of protective relays and tripped circuit breakers. This system has knowledgebase independent on network dimension because network representation consists of the type of the matrix. Therefore, the knowledge of network representation is simplified, the space of knowledge is reduced, the addition of facts to the knowledge is easy and the expansion of facts is possible.

In this paper, the network representation is defined to system matrix. This expert system based on the system matrix diagnoses normal, abnormal operations of protective devices as well as possible fault sections. The brach and bound search technique is used: breadth first technique mixed with depth first technique of primitive PROLOG search technique. This system will be used for real time operations.

This expert system obtains the solution using the pattern matching in working memory without no listing approach for rule control. This paper is written in PROLOG, the A.I. language.

Introduction

전문가 시스템은 복잡한 문제 영역에서 전문가의 추론과 같은 computer program이다. 이 system은 대개 좁은 영역의 응용에 있어서 전문가가 행하는 추론을 진행 시킨다. 또한 이 system은 특

정한 영역의 knowledge를 가지고 문제를 해결한다. 따라서 전문가 시스템은 knowledge-based system이라고도 한다. 이러한 전문가 시스템의 적용 분야중 널리 알려진 것이 진단 시스템으로 전력계통에서는 고장진단이 전문가 시스템을 적용한 대표적인 것이다. 고장이 발생했을때 다른 power system에 영향을 미치지 못하도록 보호계전기가 감지하여 차단기를 동작시키게 함으로써 고장구간을 분리 하도록 되어 있다. 따라서 보호계전기와 차단기의 동작 상태로서 고장구간을 알아낼 수 있다. 또한 보호계전기의 오동작 또는 차단기의 오동작이 생기면 후비보호 계기들이 동작하게 되어 있으므로 후비보호 계기들에 의해 고장구간과 계기들의 오동작을 알 수 있다. 따라서 적절한 network의 표현과 계기들의 동작에대한 input information으로 knowledgebase를 구성 함으로써 고장을 진단할 수 있다.

이 논문은 network의 표현에 있어서 incident matrix와 유사한 system matrix를 구성하여 system modeling을 간편화 하였으며 전문가의 경험과 논리계를 규칙적으로 전개하기 용이하도록 하였다. 다음으로 동작relay와 trip된 차단기의 단순화된 신호가 input information으로 구성되어 위의 system matrix와 함께 전문가가 추론을 행하는 것과 유사하게 고장을 진단한다.

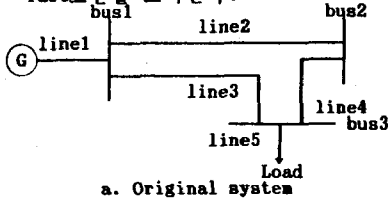
Knowledge base

본 전문가 시스템의 knowledge base는 network에 대한 개념적인 knowledge인 system matrix와 계기들의 동작정보에 대한 fact와 전문가의 추론기능과 같은 rule로 이루어져 있다. 따라서 추론기전은 위의 knowledgebase에 있는 rule에 기초하여 추론 전략을 세워 해를 찾는다.

본 전문가 시스템에서는 power system의 knowledge가 database에 fact와 rule로서 저장되는 데 크게 세가지로 나누어 진다.

Database 1. System matrix

System matrix란 system configuration에 대한 본 논문의 새로운 정의로서 이는 system에 대한 fact표현이다. power system은 node와 branch로서 정의되어질 수 있다. node는 bus를 나타내고 branch는 line을 나타낸다. 아래 그림에 system configuration과 node와 branch에 의한 표현과 이의 fact표현을 보여준다.



a. Original system

line number	1	2	3	4	5
from bus	0	1	1	2	3
to bus	1	2	3	3	0

b. System matrix

con_line(1,0,1).
con_line(2,1,2).
con_line(3,1,3).
con_line(4,2,3).
con_line(5,3,0).

c. Fact representation of system matrix

Fig 1. Representation of system configuration

위 그림에서 node의 숫자는 bus number를 나타낸다. 여기서 zero는 load나 generator에 연결된 것을 나타낸다. 또한 system matrix에서의 from bus의 zero는 generator와 연결된 line을 나타내고 to bus의 zero는 load와 연결된 line을 나타낸다. 위의 database에서 fact의 표현은 다음과 같다. con_line(<line number>,<from bus number>,<to - bus number>).

Database2. Knowledge of operating relay and tripped circuit breaker

이 논문에서는 정량적이고 통합적인 수준의 relay정보를 취급하기 위해서 line relay, bus relay, breaker failure relay의 세가지 종류로 relay를 단순화 하였다. 위의 relay중 back up relay는 line relay의 zone에 대한 표현으로 구분이 가능하므로 별도의 표시가 필요하지 않다.

relay(<bus number>,<line number>,<zone>).

여기서 <bus number>는 relay가 연결된 bus의 number이고, <line number>는 relay가 연결된 line의 number이고, <zone>은 zone을 나타낸다.

bus_relay(<bus number>).

각 bus에는 bus relay가 각각 존재하므로 위에서와 같이 표현할 수 있다. 여기서 <bus number>는 bus의 number이다.

breaker_failure_relay(<bus number>).

보호계전기가 고장을 감지하였으나 breaker가 동작하지 않았을때 breaker failure relay가 동작한다. 여기서 <bus number>는 bus의 number이다. 다음에 trip된 circuit breaker에 대한 표현은 다음과 같다.

circuit_breaker(<bus number>,<line number>).

각 bus와 line사이에 breaker가 항상 존재함으로써 위의 표현은 trip된 circuit breaker의 fact표현으로서 단순화된 circuit breaker의 input정보이다. 여기서

<bus number>는 circuit breaker가 연결된 bus의 number를 나타내고, <line number>는 circuit breaker가 연결된 line의 number를 나타낸다.

Database3. Heuristic knowledge and inference rules

여기서 가정된 고장은 다음과 같다.

- Line faults
- Bus faults
- Breaker failures
- Miss relays

line의 고장에 있어서 주보호 계전기의 동작과 후비보호 계전기의 동작이 있으며 차단기의 정상동작과 차단기의 부동작에 따르는 breaker failure relay의 동작이 있다. bus의 고장에 있어서도 마찬가지 이다. 각각의 rule들에 대하여 몇가지만 상세히 설명하면 다음과 같다.

1. line사고시 보호계전기와 차단기가 모두 정상 동작 하였을 경우
 relay(Bus_number1,Line_number1,Zone),
 circuit_breaker(Bus_number1,Line_number1),
 relay(Bus_number2,Line_number2,Zone),
 circuit_breaker(Bsu_number2,Line_number2).

위의 relay들과 circuit breaker들의 정보에서 Line_number1과 Line_number2가 서로 같으면 그 line에서 사고가 발생하여 보호계전기와 차단기가 정상동작 하였음을 알 수 있다.

2. line사고시 circuit breaker가 동작하지 않았을 경우

```

relay(Bus_number1,Line_number1,Zone),
circuit_breaker(Bus_number1,Line_number1),
relay(Bus_number2,Line_number2,Zone),
breaker_failure_relay(Bus_number2),
circuit_breaker(Bus_number2,Line_number3).
    
```

breaker failure relay가 동작 하였으므로 Bus_number2에 연결된 breaker가 동작하지 않았음을 알 수 있고 system matrix에서 Bus_number2에 연결된 line을 보고 동작해야될 circuit breaker들을 찾을 수 있다. 또한 Line_number1과 Line_number2가 같으므로 그line에서 사고가 발생하여 한쪽 circuit breaker가 동작하지 않았고 후비보호 circuit breaker가 동작 하였음을 추론해낼 수 있다.

3. line사고시 보호계전기가 동작하지않아 후비보호 계전기가 동작하였을 경우

```

relay(Bus_number1,Line_number1,zone1),
circuit_breaker(Bus_number1,Line_number1),
relay(Bus_number2,Line_number2,zone2),
circuit_breaker(Bus_number2,Line_number2).
    
```

위에서 zone1이 동작한 Line number1에 연결된 bus number를 system matrix에서 찾으면 Bus_number1과 Bus_number1'를 찾을 수 있다. 이 중 Bus_number1'에 Line_number1과 Line_number2가 연결되어 있음을 확인 한다. 다음으로 Line_number1의 relay는 zone1이 동작하였고 Line_number2의 relay는 zone2가 동작 하였으므로 Line_number1에서 사고가 발생하였고 relay(Bus_number1',Line_number1,Zone)이 동작하지 않았음을 추론할 수 있다.

4. bus사고시 보호계전기와 차단기가 모두 정상동작 하였을 경우

```

bus_relay(Bus_number),
circuit_breaker(Bus_number,Line_number1),
circuit_breaker(Bus_number,Line_number2).
    
```

bus relay가 동작 하였으므로 bus사고로 생각하고 system matrix에서 Bus_number에 연결된 line number들이 Line_number1, Line_number2이므로 circuit_breaker(Bus_number,Line_number1), circuit_breaker(Bus_number,Line_number2)는 모두 정상 동작 하였으며 breaker의 fail은 없다. 따라서 Bus_number에서 사고가 발생하여 보호계전기와 차단기가 정상동작 하였음을 알 수 있다.

5. bus사고시 보호계전기가 동작하지 않아 후비보호 계전기가 동작하였을 경우

```

relay(Bus_number1,Line_number1,zone2),
relay(Bus_number2,Line_number2,zone2),
circuit_breaker(Bus_number1,Line_number1),
circuit_breaker(Bus_number2,Line_number2).
    
```

System matrix에서 Line_number1과 Line_number2가 공통으로 연결된 bus number인 Bus_number를 찾는다. 위에서 각각의 relay의 zone2가 동작 하였으므로 Bus_number에서 사고가 발생하여 bus_relay(Bus_number)가 동작하지 않고 후비보호 계전기와 차단기들이 동작 하였음을 추론할 수 있다. 이때 Bus_number에 연결되어 있는 Line_number1과 Line_number2에서, Bus_number근처에서 사고가 일어났을 때도 위와같은 입력정보를 가지므로 line 사고에 관한 rule을 탐색함으로써 line사고도 추론해낼 수 있다.

다음 그림에서는 inference engine이 이 세가지 종류의 database를 이용하여 어떻게 추론 하는가를 설명하는 expert system의 개념을 보여준다.

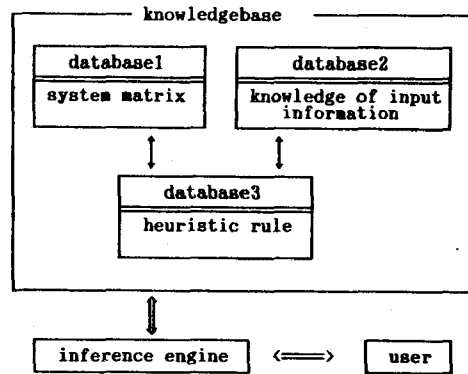


Fig3. Concept of knowledge based system

Search

이 system에서의 탐색은 PROLOG고유의 깊이우선 탐색을 사용하고 있다. 이에 대한 설명을 위하여 탐색공간을 좀더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

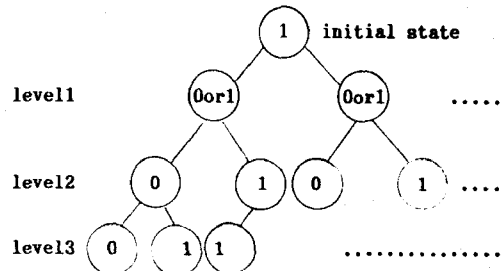


Fig4. Search space

여기서 zero는 branch의 사건이 발생하지 않은 것을 나타내고 1은 branch의 사건이 발생한 것을 나타낸다. branch는 각 사건을 나타내는데 단계별로 설명하면 다음과 같다.

Initial state에서 level1의 state로의 branch들은 사고구간에 대한 가정들을 나타낸다. 사고구간은 line이나 bus또는 transformer등이 될 수 있다. 따라서 level1의 state가 0이면 branch의 사고가 발생하지 않은것을 나타내고 1이면 branch의 사고가 발생한것을 나타낸다. 다음의 level1의 state에서 level2의 state로의 branch들은 circuit breaker의 failure여부를 나타내는 가정으로 level2의 state가 0이면 failure가 발생하지 않았으며 1이면 failure가 발생한것을 나타낸다. level2의 state에서 level3의 state로의 branch들은 계전기의 정상동작, 오동작에 대한 가정들을 나타낸다. 따라서 level3의 state가 0이면 정상동작이고 1이면 오동작임을 나타낸다. Inference engine은 먼저 input정보에서 각 branch에대한 level1의 state를 결정하게 되는데 heuristic rule들에 의하여 1이면 다음 level로의 탐색을 계속하고 0이면 그 방면으로의 탐색을 중지하게 된다. 따라서 level1의 state결정에 있어서는 길이우선 탐색이 행하여 진다. 다시 heuristic rule에 의해 branch의 level2의 state가 결정되고 결정된 state에서 사고상태에 따라 level3의 state를 결정하게 된다. 따라서 level2, level3의 탐색은 나비우선 탐색이고 각각의 level사이의 탐색에 있어서는 길이우선 탐색이 적용된다. 한편 input정보에 따라 level1의 여러 state들이 1이 될 수 있으며 이때는 각각의 state들에서 나비우선 탐색과 길이우선 탐색을 계속한다. 따라서 모든 state의 탐색에 있어서 최적우선 탐색이 행하여 진다. initial state에서 level3의 state까지 탐색을 마치면 각각의 state값들을 모아서 하나의 고장을 진단하게 된다.

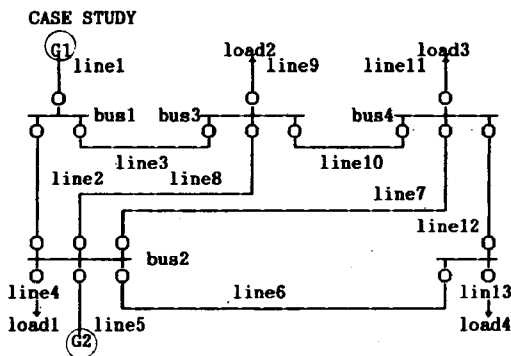


Fig6. Study System

Case1.

```
input alarm
-> relay(1,3,1).
   relay(3,3,1).
   circuit_breaker(1,3).
   circuit_breaker(3,3).
```

```
output
-> FAULT ==> LINE 3
```

Case2.

```
input alarm
-> relay(1,3,1).
   relay(3,3,1).
   breaker_failure_relay(3).
   circuit_breaker(1,3).
   circuit_breaker(3,8).
   circuit_breaker(3,9).
   circuit_breaker(3,10).
```

```
output
-> FAULT ==> LINE 3
----- missed breaker -----
breaker connected with bus 3 and line 3
```

Conclusion

이 논문에서는 system matrix를 이용하여 고장을 진단하는 전문가 시스템을 구현 하였다. 새로운 system matrix의 정의는 network dimension의 계속적인 확산에 따르는 knowledge의 첨가를 용이하게 하였다. 또한 프로그램 기법에 있어서 list의 처리가 없고 database를 체계적으로 구성하여 각각 독립적으로 지식체계를 구축할 수 있다. 또한 계전기의 오동작과 차단기의 오동작도 system matrix를 통해서 진단할 수 있다.

탐색에 있어서는 길이우선 탐색에 나비우선 탐색을 가미하여 PROLOG고유의 후진추론 방식을 행하였으며 최적우선 탐색으로 가능한 모든 종류의 해를 구하도록 하였다.

Reference

- [1] Y.M. Park, W.K. Ham, 'An Expert System for Fault Diagnosis Using Alarm Information', MS Theses, S.N.U. 1989.2
- [2] Y.M. Park, J.W. Jang, 'Development of Knowledge Based Expert System for Power System Fault Diagnosis', MS Theses, S.N.U. 198 2.2
- [3] Chihiro Fukui, Junzo Kawakami, 'An Expert System for Fault Section Estimation Using Information from Protective Relays and Circuit Breakers', IEEE Vol.PWRD-1, No.4, October 1986