

전문가 시스템에서의 system matrix를 이용한 정전 및 비정전 구간 인식

○
 함 환근 *, 추 진부 *, 김 건중 **, 심 국진 **, 조 한형 **
 * 한전기술연구원 , ** 충남대학교

The Recognition of Energized & Deenergized System Using System Matrix in Expert System

○
 W.K. Ham * , J.B. Chu * , K.J. Kim ** , K.J. Sim ** , H.H. Jo **
 * KEPCO Research Center , ** Chung Nam National Univ.

Abstract.

This paper deals with the expert system for power system recognition of energized and deenergized system using circuit breaker information. The basic idea is isolating the system with the system matrix representing the system configuration and the status of the circuit breakers. The knowledge base is composed of these isolated systems and decision rules. The isolated system with the sources is recognized as the energized system and the system without the source as the deenergized system. The rules use the system matrix and the the inference scheme is simplified in a great deal. Above all, the overall searching labor of the rules is independent on the system size and it is possible to expand into the real system and the real time restoration can be carried out easily. The expert system is written in PROLOG.

Introduction.

전력계통이 더 커지고 복잡화됨에 따라 계통상태를 파악하는 것이 점점 더 어려워지고 있다. 진보된 computer기술은 power system에서의 여러가지 조작과 제어를 수행하고 있다. 따라서 이러한 진보된 computer기술에 기초한 전력계통의 자동화는 가지없는 관심사가 되었다. 그러나 고장발생시 전력계통에 대한 복구는 자동화하는데 많은 어려움이 있으므로 수동작으로 행해지고 있다. 이는 과거의 computer program이 기본적인 구조와 sequential program의 한계로 실제적인 추론기능을 수행하는

데 많은 어려움이 있기 때문이다. 따라서 특정한 문제 영역에서 전문가의 추론과같은 기능을 수행하는 computer program인 전문가 시스템을 통한 복구는 전력계통의 중요한 연구과제가 되었다. 이러한 복구의 자동화를 위한 첫번째 조치로서 차단기 정보를 이용하여 계통의 분리상태를 판단하는 것이 중요하게 되었으며 계통분리 상태의 판단은 고장진단 전문가 시스템과 병행하여 이루어진다.

Knowledge base.

본 전문가 시스템에서의 knowledge base는 입력된 정보와 전력계통의 모델을 간편화한 system matrix를 database1에 저장하고 계통상태를 인식하기 위한 논리적인 rule이 database3에 저장되며 database1과 database3를 사용하여 집합적 개념을 저장하는 database2로 구성되어진다. 그러므로 추론기준은 database1과 database3를 사용하여 추론을 행하여 database2를 구성하고 구성된 database2로부터 database3의 rule을 사용하여 원하는 최종의 해를 제공한다. 다음의 그림은 위에서 설명한 전문가 시스템의 개념을 보여준다.

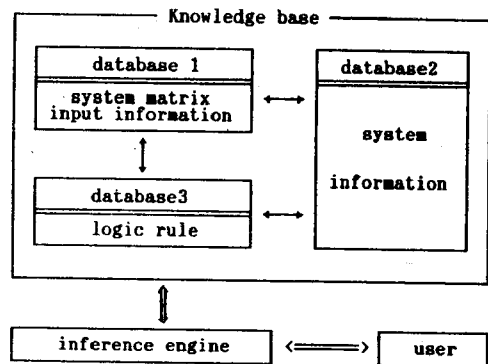


Fig 1. Concept of expert system.

Database1. System matrix and input information.

System matrix는 system configuration에 대한 정의로 system의 fact표현이다. 전력계통은 bus를 node로 line을 branch로 표시할 수 있다. 이때 generator에서는 나가는 방향으로 하고 load에서는 들어오는 방향으로 정하는 것으로 한다. node의 숫자는 bus number를 나타내고 branch의 숫자는 line number를 나타내며 bus number중 0은 generator나 load를 나타낸다. 다음은 위의 정의에 대한 간단한 예를 보여준다.

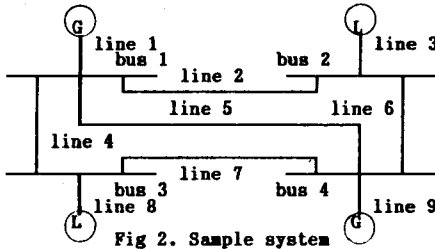


Fig 2. Sample system

System matrix에 대한 database에서의 fact표현은 다음과 같다.

con_line(<line number>,<from bus number>,<to bus number>).

여기서 <line number>는 line의 번호를 나타내고, <from bus number>는 시작 bus의 번호를 나타내며 <to bus number>는 끝나는 bus의 번호를 나타낸다.

line	1	2	3	4	5	6	7	8	9
from	0	1	2	1	1	4	4	3	0
to	1	2	0	3	4	2	3	0	4

a. System matrix

con_line(1,0,1).
 con_line(2,1,2).
 con_line(3,2,0).
 con_line(4,1,3).
 con_line(5,1,4).
 con_line(6,4,2).
 con_line(7,4,3).
 con_line(8,3,0).
 con_line(9,0,4).

b. Fact representation of system matrix

Fig 3. Representation of system configuration

다음으로 database1에는 차단기에 대한 입력정보가 저장되는데 trip된 차단기는 bus와 line사이에 존재하므로 trip된 차단기에 대한 표현은 다음과 같다.

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

여기서 <bus number>는 차단기가 연결된 bus number를 나타내고 <line number>는 차단기가 연결된 line number를 나타낸다.

Database2. System information.

System information에는 계통의 상태를 인식하기 위한 집합적 개념들이 저장되는데 이 집합적 개념들은 지식베이스에 fact로서 저장된다. 집합적 개념들은 database1의 system matrix와 동작원 차단기 정보로부터 추론기관에 의해 얻어지는 계통상태에 대한 정보로서 system matrix에서 인식된 각 element로부터 isolated system, full system, energized system, deenergized system 으로 구성된다. element들은 source, bus, line, load, breaker들로 구성된 계통의 요소들이다. 그리고 isolated system은 차단기의 동작상태에 따라 나누어진 독립된 element들의 집합체이다. full system은 모든 isolated system들을 모아놓은 것이며 이는 original system에 대한 표현이다. 또한 isolated system들중에서 source가 연결되어 있는 것들을 모아놓은것이 energized system이다. 위에서 정의한 system들의 fact표현은 다음과 같다.

isolated_system(<index>,<element set>,<circuit breaker set>).

여기서 <index>는 isolated_system의 고유 번호이고, <element set>는 독립된 계통에 속하는 element들의 집합이다. 그리고 <circuit breaker set>는 독립된 계통에 속하는 trip된 circuit breaker들의 set이다. 또한 element set는 bus, line, generator, load set의 순서로 나누어진다.

energized_system(<isolated_system index set>).

여기서 <isolated_system index set>는 source가 연결되어있는 isolated_system의 index집합이다.

deenergized_system(<isolated_system index set>).

여기서 <isolated_system index set>는 source가 연결되어 있지않는 isolated_system의 index집합이다.

full_system(<two system set>).

여기서 <two system set>는 energized system의 index set과 deenergized system의 index set를 모아놓은 것이다. 다음그림은 위의 fact표현에 대한 예를 보여준다.

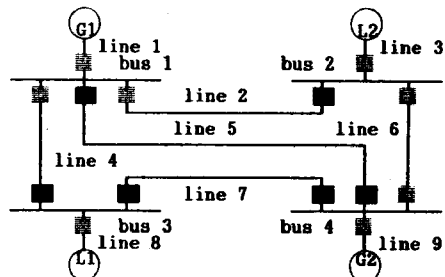


Fig 4. Example system

위의 example system은 모두 5개의 isolated_system으로 나누어 지는데 이를 표현하면 다음과 같다.

isolated_system (1, [[1],[1,2,4],[1],[]], [(1,5),(3,4),(2,2)]).

isolated_system (2, [[3],[8],[],[1]], [(3,4),(3,7)]).

isolated_system (3, [[],[7],[],[]], [(3,7),(4,7)]).

isolated_system (4, [[1],[5],[],[]], [(1,8),(4,5)]).

isolated_system (5,[[2,4],[3,6,9],[2],[2]], [(2,2),(4,5),(4,7)]).

energized_system([1,5]).

deenergized_system([2,3,4]).

full_system([1,5],[2,3,4]).

database2의 system information은 동작된 차단기의 입력정보가 변하면 database3의 logic rule에 의해 새로운 지식베이스로 변화된다.

Database 3. Logic rules.

Logic rule은 system matrix와 입력정보로 database2의 system information을 제공하는 것으로 지식베이스에는 계통 분리상태 인식을 위해 다음의 rule들이 포함된다.

Rule 1. 입력된 차단기 정보중 임의로 선택하여 선택된 차단기가 붙어 있는 Bus를 먼저 탐색하고 line을 나중에 탐색한다. 이때 탐색된 경로는 삭제한다. 한편 여러개의 line이 있으면 임의로 선택하여 탐색한다.

Rule 2. 탐색도중 generator, load 혹은 다른 차단기에 의해 차단된 곳에 이르면 그 방향으로의 탐색을 중지한다.

Rule 3. 탐색도중 generator 즉 source가 있으면 이 isolated system은 energized system에 포함시키고 source가 없으면 deenergized system에 포함 시킨다.

Rule 4. 임의로 선택된 차단기에 의한 탐색이 끝나면 이 차단기는 삭제하고 또다시 동작한 임의의 다른 차단기를 선택하여 위의 과정을 되풀이 한다.

위의 rule들은 모두 추론 기관에 의해 system matrix 상에서 이루어진다. 다음 그림은 위의 rule들의 적용예를 도식적으로 설명해 주고 있다.

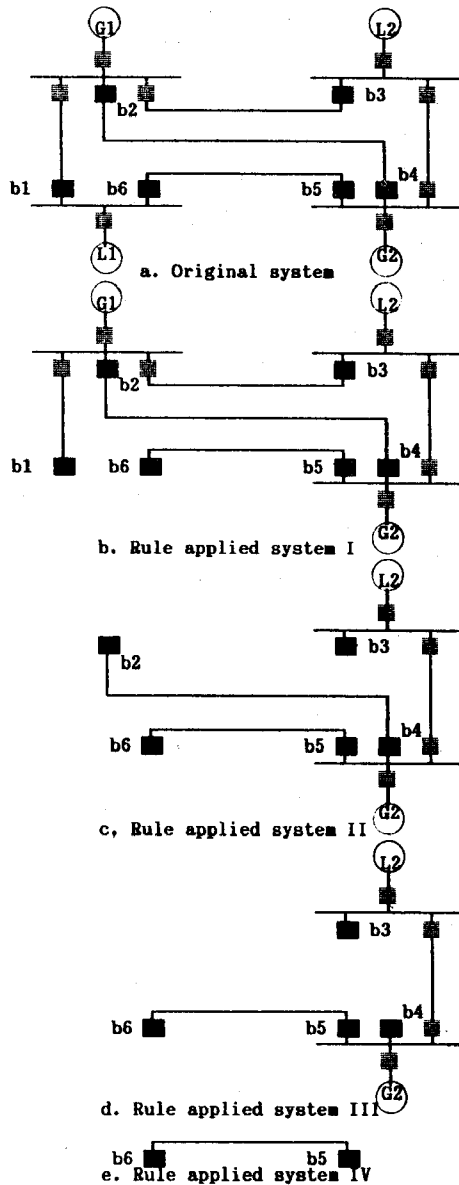


Fig 5. Application of rules

Search

이 system에서의 탐색은 PROLOG 고유의 깊이우선 탐색을 사용하고 있다.

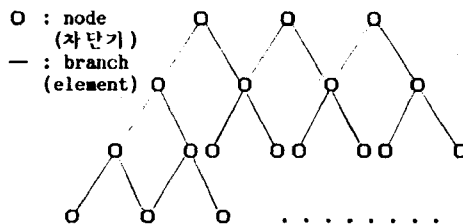


Fig 6. Search space.

위 그림에서 node는 차단기를 나타내고 branch는 element들을 나타낸다. 추론기론은 동작된 차단기에 의해 연결된 element들과 이 element에 연결된 차단기들을 길이 우선 탐색에 의해 탐색공간을 탐색하다가 load, generator 또는 동작된 차단기에 이르면 탐색을 중지하여 이제까지 탐색한 element들과 동작한 차단기들을 하나의 isolated system으로 구성한다. 따라서 위 그림에서 마지막 node는 동작된 차단기가 되며 연결되지 않은 branch는 generator 또는 load가 된다.

CASE STUDY

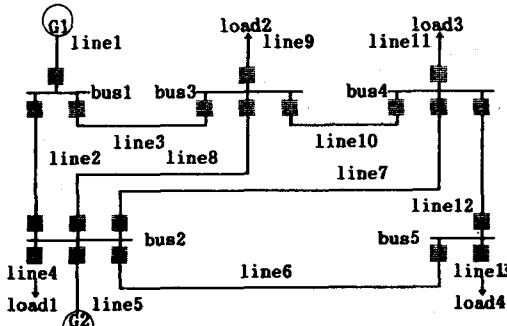


Fig 7. Study system.

Case1.

```
input information
-> circuit_breaker(1,3).
   circuit_breaker(2,2).
   circuit_breaker(3,8).
   circuit_breaker(4,10).
   circuit_breaker(4,12).
   circuit_breaker(5,6).

output
-> isolated_system (1, [[1],[1,2],[1],[1]], [(1,3),(2,2)]).
   isolated_system (2, [[2,4],[4,5,6,7,8,11],[2],[3]], [(2,2),(3,8),(4,10),(4,12),(5,6)]).
   isolated_system (3, [[3],[3,9,10],[1],[2]], [(1,3),(3,8),(4,10)]).
   isolated_system (4, [[5],[12,13],[1],[4]], [(4,12),(5,6)]).
   energized_system ([1,2]).
   deenergized_system ([3,4]).
   full_system ([1,2],[3,4]).
```

Case2.

```
input information
-> circuit_breaker(1,2).
   circuit_breaker(2,4).
   circuit_breaker(2,7).
   circuit_breaker(3,8).
   circuit_breaker(3,10).
   circuit_breaker(5,12).

output
-> isolated_system (1, [[1,3],[1,3,9],[1],[2],[1],[1,2),(3,8),(3,10)]).
   isolated_system (2, [[2,5],[2,5,6,8],[2],[4]], [(1,2),(2,4),(2,7),(2,8),(5,12)]).
```

```
isolated_system (3, [[],[4],[1],[1]], [(2,4)]).
isolated_system (4, [[4],[7,10,11,12],[1],[3]], [(2,7),(3,10),(5,12)]).
energized_system ([1,2]).
deenergized_system ([3,4]).
full_system ([1,2],[3,4]).
```

Conclusion

본 문에서는 차단기 정보를 사용하여 system matrix로부터 계통 분리 상태를 인식함으로써 정전구간 및 비정전구간을 판단하는 전문가 system을 구현 하였다. 그리고 이 전문가 시스템을 study system에 적용하여 계통의 확장 및 파손시간 복구의 적용에의 가능성을 입증하였다. 또한 PROLOG 고유의 길이 우선 탐색을 간편화된 system matrix에 적용하여 효율적 판단을 용이하게 함으로서 빠른 해답을 얻을 수 있다.

Reference

- [1] W.K. Ham, 'An Expert system for Fault Diagnosis Using Alarm Information', MS Theses, S.N.U. 1989.2
- [2] J.H. Lee, 'A Rule-Based Approach to Recognition of System Separation Using Information on Circuit Breaker', MS Theses, S.N.U. 1989.2
- [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
- [4] Herman Amelink, Anthony M. forte, Robert P. Guberman, 'Dispatcher Alarm and Message Processing', IEEE Vol.PWRS-1, No.3, August 1986
- [5] Sarosh N. Talukdar, Eleri Cardozo, Ted Perry, 'The Operator's Assistant-An Intelligent, Expandable Program for Power System Trouble Analysis', IEEE Vol.PWRS-1, No.2, August 1986
- [6] Bruce F. Wollenberg, 'Feasibility Study for an Energy Management System Intelligent Alarm Processor', IEEE Vol.PWRS-1, No.2, May 1986
- [7] Sasan Mokhtari, Jagjit Singh, Bruce Wollenberg, 'A Unit Commitment Expert System', IEEE Vol.3, No.1, February 1988