

전력계통 고장진단을 위한 논리기반 전문가시스템의 하드웨어 구현

박영문
서울대학교 전기공학부

정규완
서울대학교 전기공학부

Hardware Implementation of a Logic Based Expert System for Power System Fault Diagnosis

Young Moon Park
Seoul National Univ.

Jung Queue Wan
Seoul National Univ.

Abstract - Logic Based Expert System (LBES) has the advantage of real-time inference. This paper shows a LBES for fault diagnosis of power system and proposes the hardware implementation of LBES. Besides, having a power system topology in memory chip, proposed system is apt to be applicable to other system with low changing cost.

있다[3]. 본 절에서는 논리기반 전문가 시스템의 지식표현 방법을 살펴보고, 이를 하드웨어로 구현하는 방법을 설명한다.

1. 서 론

전력계통 내에서 사고가 발생하면, SCADA 시스템을 통하여 정보가 제어센터로 유입되고, 시스템 관리자는 이 정보로부터 고장을 진단하고 복구에 필요한 작업을 수행한다. 그러나, 사고의 과급효과로 인해 짧은 시간에 많은 정보가 유입되면, 관리자가 모든 정보를 처리하여 고장지역을 판단하는 것은 매우 어려운 일이며, 따라서 긴급상황에 대한 복구작업이 늦어지고, 막대한 손실이 유발될 수 있다. 전력계통에의 전문가시스템의 적용은 이러한 문제를 해결하는데 좋은 결과를 보여왔다[1][2]. 그러나, 여러 적용사례들은 특정한 지역에서의 경험을 바탕으로 한 규칙을 이용하기 때문에, 다른 지역에서 기존의 시스템을 이용하는 것이 용이하지 않고, 시스템의 규모가 커지는 경우 추론에 걸리는 시간이 길어지게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 논리기반(Logic Based)의 규칙을 일반적인 시스템에 적용할 수 있도록 구성하였고, 이를 하드웨어로 구현함으로써 추론을 실시간으로 처리할 수 있음을 보였다.

2.1 논리기반 전문가시스템의 지식표현

명제논리로 표현된 전문가의 지식은 적절한 논리연산을 통하여 하나의 논리식으로 표현할 수 있다. 예를 들어, 사건 A, B, C, D와 이로부터 얻게되는 결론 G에 관계되는 전문가의 지식이 다음과 같은 규칙으로 표현된다면,

$$A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \cdot D \rightarrow G \quad (1)$$

(1)의 규칙은 항상 참이므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A' + B = 1, B' + C = 1, C' + D' + G = 1 \quad (2)$$

로빈슨(Robinson)의 비교흡수정리(resolution rule)[4]를 이용하면 (2)식으로부터 다음의 비교흡수(resolvent)를 구할 수 있다.

$$A' + C = 1, B' + D' + G = 1, A' + D' + G = 1 \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)으로부터 결론 G에 관한 식 (4)을 얻을 수 있고, 이 식은 새로운 지식의 형태 (5)로 해석될 수 있다.

$$(C \cdot D + B \cdot D + A \cdot D)' + G = 1 \quad (4)$$

$$C \cdot D + B \cdot D + A \cdot D \rightarrow G \quad (5)$$

식 (5)의 형태를 살펴보면 각 사건들의 논리곱의 논리합으로 표현되어 있고, 이는 조합논리회로로 쉽게 구현 가능함을 보이고 있다.

2.2 전력계통의 고장진단을 위한 규칙

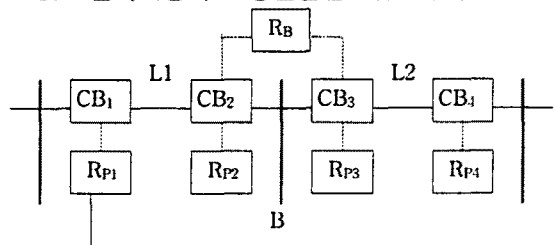


그림 1. 전력계통의 부분적 모형

2. 본 론

논리기반 전문가 시스템은 전문가의 지식을 논리식으로 표현하여 추론에 걸리는 시간을 단축시킬 수 있고, 하드웨어로 구현이 용이하다는 장점이

그림 1은 모선 하나와 두 개의 선로로 구성된, 전력계통의 일부를 표현한 모형을 보인다. 각 구성요소의 기호는 다음과 같은 의미를 갖는다.

- R_B : 모선 주보호 계전기
- R_{Pn} : 선로 주보호 계전기
- CB_n : 차단기

모형의 고장진단을 위한 규칙은

- 규칙 1) $R_B \cdot CB_2 \cdot CB_3 \rightarrow B$
- 규칙 2) $R_{P1} \cdot CB_1 \cdot R_{P2} \cdot CB_2 \rightarrow L1$
- 규칙 3) $R_{P3} \cdot CB_3 \cdot R_{P4} \cdot CB_4 \rightarrow L1$

으로 표현된다. 규칙 1은 주보호 계전기가 모선 양단의 차단기를 작동시킨 경우 모선고장임을 보이고, 규칙 2, 규칙 3은 선로양단의 차단기를 선로 주보호 계전기가 작동시킨 경우에 각 선로의 고장임을 도출해낸 결과이다. 본 모형은 문제를 간단히 하기 위해 후비보호 문제와 각 계전기의 오, 부동작을 고려하지 않은 경우이고, 이는 규칙의 보충을 통해서 해결할 수 있다. 이 경우 규칙의 수는 현저히 증가하게되나, 앞 절에서 보인 비교흡수정리를 통해서 규칙들의 연쇄추론 결과를 이용하면, 목적 사건은 일반 사건들의 논리곱의 논리합형태로 표현할 수 있다[3].

이 모형을 전체 계통중 정보가 유입되는 부분에 적용함으로써 적절한 고장진단을 수행할 수 있다.

2.3 규칙의 하드웨어 구현

위의 모형에서 도출된 규칙들을 조합논리회로로 표현하면 그림 2와 같다.

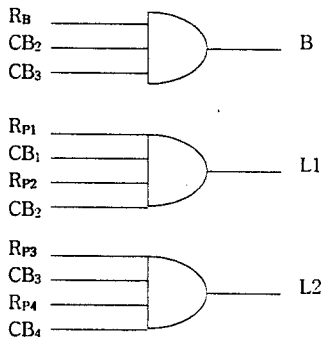


그림 2. 규칙의 조합논리회로 구현

각 회로의 입력은 SCADA 시스템으로부터 들어오는 계전기와 차단기의 정보들이고 이로부터 모형의 모선과 양단 선로의 고장을 진단할 수 있다. 이 회로는 다음 절에서 보이는 전체 시스템중 추론회로의 내부회로가 된다.

2.4 전체 하드웨어 구성

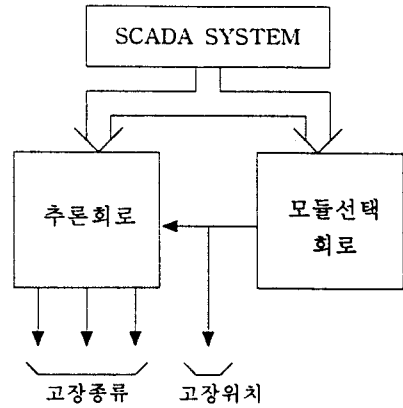


그림 3. 전체 하드웨어 구성

SCADA 시스템으로부터는 각종 계전기와 차단기의 상태가 입력되고, 모듈선택 회로에서는 이 정보로부터 고장의 위치를 파악하여 전체 시스템중 필요한 모듈만을 진단할 수 있도록 한다. 추론회로는 모듈선택 회로로부터의 신호를 이용하여, SCADA로부터 들어오는 많은 정보중 선택된 모듈의 고장 진단에 필요한 정보만을 취하여 결론을 출력한다.

2.4.1 모듈선택 회로

모듈선택 회로는 동작한 차단기들의 정보로부터 고장진단을 필요로 하는 모듈을 선별하여, 추론회로가 해당 모듈에 속하는 계전기와 차단기의 정보를 적절히 입력받도록 한다. 그림 4의 차단기만으로 표현된 간략한 계통도에서 살펴보면, 개개의 차단기와 그 차단기를 포함하는 모듈을 열거하면 표 1과 같이 표현된다.

표 1. 모듈선택 표

차단기	모듈 번호
CB0	M1, M3
CB1	M1, M3
CB2	M1, M2, M4
CB3	M1, M2, M4
CB4	M2
CB5	M2
CB6	M3, M4
CB7	M3, M4

모듈선택 회로는 동작한 차단기로부터의 입력을 받아 위의 표에서 해당 모듈번호를 순차적으로 추론회로에 보낸다.

2.4.2 추론회로

추론회로는 입력된 사건들로부터 고장을 진단하는 부분과 많은 모듈중 선택된 하나의 모듈에 속하는 사건들만을 선별적으로 입력받는 부분으로 구성

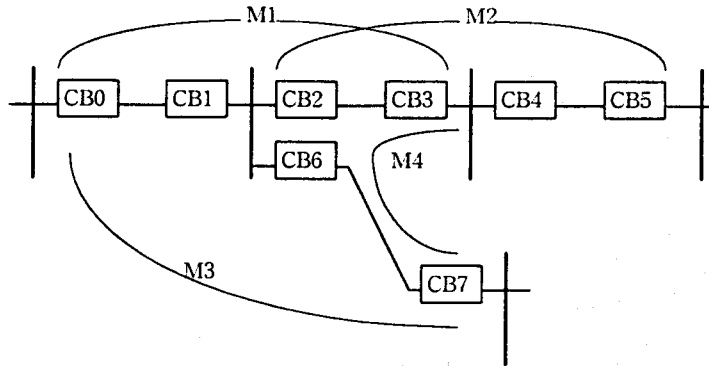


그림 4. 간략화된 모의 송전 계통도

된다.

표 1을 모듈을 기준으로 재구성하여 표 2를 만들 수 있고, 모듈선택 회로로부터 받은 모듈번호를 이용하여 각 추론 논리회로의 입력을 결정할 수 있다.

표 2. 계전기/차단기 멀티플렉싱 표

모듈번호	CB ₁ 입력	CB ₂ 입력	CB ₃ 입력	CB ₄ 입력
M1	CB0	CB1	CB2	CB3
M2	CB2	CB3	CB4	CB5
M3	CB0	CB1	CB6	CB7
M4	CB3	CB2	CB6	CB7

이를 논리식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 CB_1 &= M1 \cdot CB_0 + M2 \cdot CB_2 + M3 \cdot CB_0 + M4 \cdot CB_3 \\
 CB_2 &= M1 \cdot CB_1 + M2 \cdot CB_3 + M3 \cdot CB_1 + M4 \cdot CB_2 \\
 CB_3 &= M1 \cdot CB_2 + M2 \cdot CB_4 + M3 \cdot CB_6 + M4 \cdot CB_6 \\
 CB_4 &= M1 \cdot CB_3 + M2 \cdot CB_5 + M3 \cdot CB_7 + M4 \cdot CB_7
 \end{aligned}$$

2.4 하드웨어 구현

추론 회로는 규칙의 보완, 수정에 따른 회로의 변경을 쉽게 수용할 수 있고, 많은 수의 개별소자들을 줄여 하드웨어 구현시 용이성을 얻을 수 있도록 FPGA 칩을 사용해서 회로설계를 했고[5], 모듈선택 회로는 RAM에 표 1의 값을 매핑시켰다. SCADA 시스템으로부터의 입력은 IBM PC를 이용한 인터페이스로 처리를 하였다.

3. 결 론

논리기반 전문가시스템은 전문가의 지식을 논리식의 형태로 표현하여 사건의 관측과 동시에 추론이 이루어짐으로써 실시간 추론을 가능하게 하며, 하드웨어로 구현이 용이한 장점이 있다.

본 논문에서는 이러한 장점을 이용하여 전력계통의 고장진단에 논리기반 전문가시스템을 적용하였고, 이를 하드웨어로 구현함으로써 더욱 빠른 추론을 보장했다. 또한 전력계통의 토폴로지를 메모리 칩에 구현함으로써 적은 비용으로 다른 지역에서도

같은 시스템을 이용할 수 있는 장점이 있다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었음

(참 고 문 헌)

- [1] J.R. McDonald, G.M. Burt, D.J. Young, "Alarm Processing and Fault Diagnosis Using Knowledge Based Systems for Transmission and Distribution Network Control," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 3, August 1992
- [2] J.P. Bernard, D. Durocher, "An Expert System for Fault Diagnosis Integrated in Existing SCADA Systems," IEEE Trans. on Power System, Vol. 9, No. 1, Feb. 1994
- [3] Y. M. Park, G. W. Kim, and J. M. Sohn, "A New Logic-Based Alarm Analyzer for On-Line Operational Environment," IEEE PES Winter Meeting, Baltimore, January, 1996
- [4] J. Giarratano and G. Riley, Expert Systems Principles and Programming, pp142-147, PWS Publishing Company, 1994
- [5] Lattice Data Book, Lattice Semiconductor Corp., 1994