

대규모 SCADA 시스템을 위한 실시간 전문가 시스템의 설계

고윤석*, 이기서**

남서울대학교 전자공학과*, 광운대학교 제어계측공학과**

The Design of the Real-Time Expert System for the Large-Scale SCADA System

Yun-Seok Ko*, Kee-Seo Lee**

Namseoul University*, Kwangwoon University**

Abstract - 본 연구에서는 시스템의 대규모 SCADA 시스템들에 효과적으로 적용될 수 있는 전문가 시스템을 설계한다. 전문가 시스템의 추론기관은 직관적 추론 기능과 논리적 추론기능이 연동되도록 설계한다. 직관적 추론기능은 패턴인식구조로, 논리적 추론기능은 휴리스틱에 근거한 심층추론을 통해 시스템 이벤트별로 다양한 시간제약조건을 만족하는 시스템 제어전략을 결정함과 동시에, 지식 생성자의 역할을 할 수 있도록 다중 추론구조로 설계한다.

정상 또는 비상상태시 주어진 운영목적이 얻어질 수 있도록 시스템을 재구성하기 위해 수십 또는 수백개의 제어대상 디바이스를 설치한다. 표 1은 대규모 SCADA 시스템들에 대한 감시제어 대상을 설명한다.

표 1. 대규모 시스템의 감시제어 대상

| 시스템 | 계측대상 | 운영목적 | 제어대상 |
|-----|---|------------------------------------|------------|
| 전력 | 차단기 상태 모선전압, 전류 | ▽손실 최소화 ▼계통 안전도 ▼공급신뢰도 | 차단기 |
| 배전 | 차단기 상태 개폐기 상태, 감지기 상태 모선전압, 전류 | ▽손실 최소화 ▽부하분담 균등화 ▼공급신뢰도 | 차단기 계폐기 |
| 철도 | 전철기 상태 계도상태 신호기 상태 | ▽수송을 최대화 ▼안전도 최대화 | 전철기 신호기 |
| 가스 | 밸브 상태 개스압 | ▽개스압 균등화 ▼개스누출 최소화 ▼중단지역 최소화 | 밸브 |
| 송유 | 밸브 상태 유압 | ▽유압 균등화 ▼누유지역 최소화 | 밸브 |
| 수도 | 밸브 상태 수압 | ▽개스압 균등화 ▼누수 최소화 ▼단수지역 최소화 | 밸브 |

1. 서론

전력, 철도, 가스 시스템들과 같은 대규모 시스템들은 일반 수용가들에게 에너지나 교통편의등을 제공하기 위해 도심지등, 수용가 지역을 직접적으로 그리고 아주 폭넓게 경유한다. 따라서, 이들은 경유지역의 건설, 화재, 교통사고, 수용가 신설, 보수유지 그리고 자연재해등으로 인해 막대한 인명피해는 물론 심각한 경제적 손실, 환경오염 문제를 발생시킨다.

시스템 사업자들은 이와 같은 비상상태시 사고파급효과를 최소화하기 위해 SCADA 시스템을 도입, 운용하고 있다. 일반적으로, SCADA 시스템은 다수개의 타스크들에 의해 수집되는 정보로부터 시스템의 상태를 표시, 진단하고 비상시, 시스템 안전도를 확보하기 위해 제어대상을 실시간으로 제어함으로써 사고파급효과를 최소화할 수 있는 실시간 제어전략 수립기능이 요구된다. [1-3] 그러나, 이들 시스템들에 대한 실시간 제어전략들은 시스템상에서 제어가능한 디바이스들에 대한 조합 최적화 문제에 속하기 때문에 대규모 시스템에 대한 시스템 재구성 전략을 실시간으로 결정하는 것은 안전도 측면에서 사실상 불가능하다. [4-5]

이와같은 문제를 해결하기 위해서 전력 SCADA, 배전 SCADA, 그리고 파이프 라인 SCADA등 대규모 시스템에 대한 전문가 시스템들이 실시간 제어전략으로 발표되었다. [6-7] 전문가 시스템은 휴리스틱 규칙에 근거하여 대규모 탐색공간에 대한 탐색시간을 최소화하고, 비상시 사례중심적으로 신속한 대응전략을 제시함으로써 시스템의 안전도를 확보할 수 있는 실시간 제어전략으로 유용하게 적용될 수 있다. 그러나, 이들 시스템들은 시스템의 구조변경 빈도가 다르고 실시간 제약조건과 운영목적이 서로 상이할 수 있기 때문에 이들에 효과적으로 적용될 수 있는 전문가 시스템의 설계문제는 쉽지 않다.

따라서, 본 연구에서는 시스템의 구조변경 빈도가 다르고 실시간 제약조건과 운영목적이 서로 상이할 수 있는 대규모 SCADA 시스템들에 효과적으로 적용될 수 있는 전문가 시스템이 설계된다.

2. SCADA 시스템 운영환경

배전 시스템, 철도 시스템 등 대규모 시스템들은 트리 또는 네트워크 구조로 설계되는데, 시스템의 상태를 실시간으로 감시하기 위해 네트워크상에 감지기가 설치되며

시스템 사업자들은 정상상태시 시스템 운영목적에 따라 시스템을 최적하게 운영하고 비상상태시 그 사고파급효과를 최소화하기 위해 컴퓨터 감시 제어 시스템이라 불리는 SCADA 시스템을 도입, 운용하고 있다. 시스템 운영자들은 SCADA 시스템 운영환경하에서 계측된 디바이스 상태나 동적 값들로부터 시스템의 상태를 판단한다. 정상상태의 경우, 전력, 배전, 가스 시스템과 같이, 부하에 따라 네트워크의 아날로그 계측치가 변화하는 시스템들은 시스템을 최적하게 운영하기 위해서 주기적인 네트워크 재구성이 이루어질 수 있다. 그러나, 철도 시스템과 같은 특수한 경우는 필요성이 요구되지 않으나, 안전도 측면에서 높은 신뢰성이 요구된다. 반면에, 시스템의 상태가 비상상태로 확인되면 시스템 운영자들은 신속하고 정확하게 시스템 재구성 전략을 수립함으로써 시스템의 안전성을 확보해야 한다. 이때, 비상인 경우는 차단기가 트립되거나, 개스압의 현저한 변화가 있는 경우 또는 레도이상이나 전철기, 신호기가 정상적으로 제어되지 않는 경우등이다. 그림 1은 SCADA 시스템의 구성요소들과 각 요소들간의 상호관계 그리고 그 운영환경을 보인다. 그림에서 DCS나 FEP는 분산제어를 위해서 도입된 보오드 레벨 컴퓨터로서 시스템의 신뢰도 요구에 따라 다양한 하드웨어 구조를 가지며 분산제어 개념을 실현한다. 특히, 철도 시스템의 경우는 승객의 안전을 보장하기 위해서 고도의 신뢰도가 보장될 수 있도록 설계

되어야 한다.

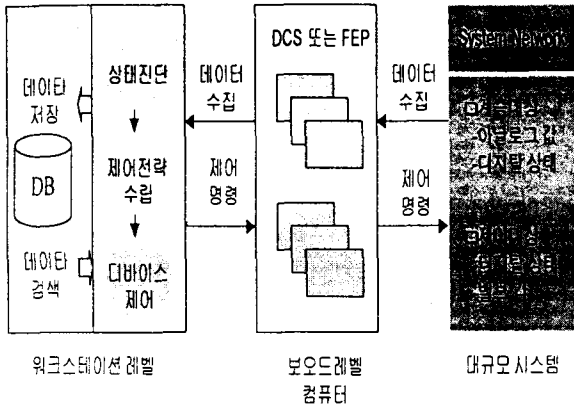


그림 1. SCADA 시스템 운영환경

3. 전문가 시스템 설계

추론기관은 그림 2에 보인바와 같이, 대규모 시스템 상에서 발생할 수 있는 다양한 시스템 이벤트들에 대한 제어전략을 다양한 탐색전략, 다양한 운영목적하에서 추론할 수 있도록 통합된 추론구조로 설계한다.

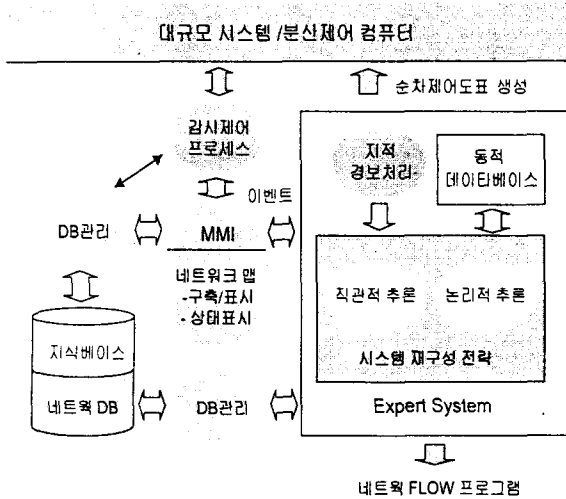


그림 2. 전문가 시스템 설계

3.1 직관적 추론

직관적 추론부는 이벤트 발생시 실시간 시스템과 미리 구축된 지식베이스내의 다량의 시스템을 비교하여, 목표상태와 동일하거나 또는 가장 유사한 시스템을 직관적으로 추론할 수 있도록 설계한다. 유사한 패턴은 패턴인식 기법에 의해서 탐색될 수 있도록 설계한다.

1) 패턴매칭 규칙

지식베이스내의 동일한 패턴을 확인하기 위한 규칙이며 식 (1)로 표시된다.

$$\text{if } e \rightarrow p \text{ and } s \rightarrow o \text{ then } c \rightarrow z \quad (1)$$

식 (1)은 "만약, 시스템의 이벤트가 p이고 목표 시스템

이 o이면, 제어전략은 z이다"를 의미한다. 따라서, 이벤트가 발생하면 패턴 매칭 규칙에 의해 시스템 재구성을 위한 제어전략 z를 얻을 수 있다.

2) 패턴인식 규칙

지식베이스내에 목표 시스템과 가장 유사한 시스템을 확인하기 위한 규칙이다.

$$\text{if } e \rightarrow p \text{ and } \max(s \cong o) \text{ then } c \rightarrow z \quad (2)$$

정상 또는 비정상상태의 목표 시스템과 지식베이스내의 시스템을 선택된 상태변수들의 집합으로 정의하면 가장 유사한 패턴은 식 (2)로 표시되는 최소거리 판별법에 의해서 탐색될 수 있다. 식 (2)는 "만약, 시스템의 이벤트가 p이고 목표 시스템이 o와 가장 유사하면 제어전략은 z이다"를 의미한다. 규칙 (2)에서 패턴인식에서 유사성의 정도는 식 (3)으로 표시되는 유클리디언 거리 d에 의해서 판별된다.

$$d_i = [w_1(s_{1i} - o_{1i})^2 + \dots + w_n(s_{ni} - o_{ni})^2]^{1/2} \quad (3)$$

식 (3)에서, s_{ki} 는 지식베이스내에 기 구축된 i번째 패턴의 k번째 요소이며, o_{ki} 는 목표 시스템의 k번째 요소이다.

3.2 논리적 추론

논리적 추론에 의한 시스템 재구성 결정 문제는 초기 시스템 구성 정보로부터 출발하여 다단계 디바이스 탐색 과정을 통해 시스템 운용제약조건을 만족하는 새로운 시스템 구성을 얻는 디바이스들에 대한 조합 최적화 문제이다. 따라서, 데이터 구동방식의 탐색트리 구조로 표시

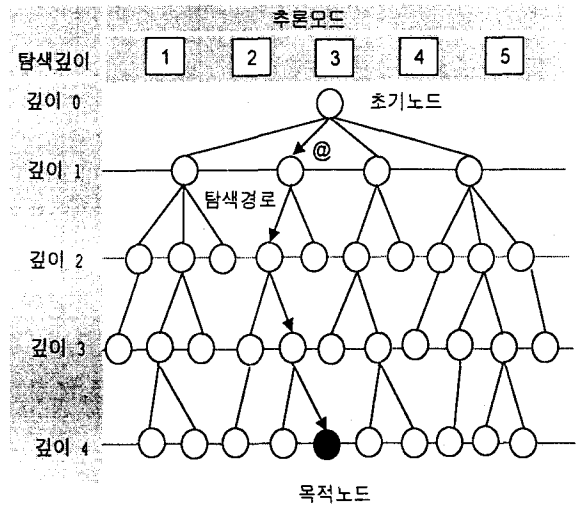


그림 3 논리적 추론을 위한 탐색트리구조

할 수 있다. 논리적 추론을 위한 탐색트리는 노드와 분기로 구성된다. 그림 3은 시스템 재구성을 위한 탐색트리를 보이는데, ○는 탐색노드들, ●는 목표노드(최종 시스템 재구성)를 나타낸다. @는 탐색 브랜치의 최리스트 비용을 나타낸다. 본 연구에서는 대규모 시스템 이벤트들의 다양한 시간제약조건과 운영목적을 만족할 수 있도록 논리적 추론을 위해 ① 최선우선탐색, ② 준 최적 탐색법, ③ 너비반복 탐색, ④ 반복트리 탐색, ⑤ 탐색너비/시간제한 탐색등 다중 추론 모드로 설계한다.

4. 적용 사례

본 연구에서는 배전 SCADA 시스템에 대한 적용 예를 통해 제안된 추론기능의 유효성과 그 적용방법을 설명한다.

4.1 배전 시스템 모델

배전계통은 수직상 구조로 설계되며, 전력공급 신뢰도를 확보하기 위해, 다분할 다연계 구조로 설계된다. [11] 또한, 농어촌 지역의 선로는 가공선로로 구성되나, 도심 지역의 선로는 대부분이 지중계통이거나 가공계통을 일부 포함하는 혼재된 계통구성을 보인다. 그림 4는 대표적인 배전계통 모델을 보인다.

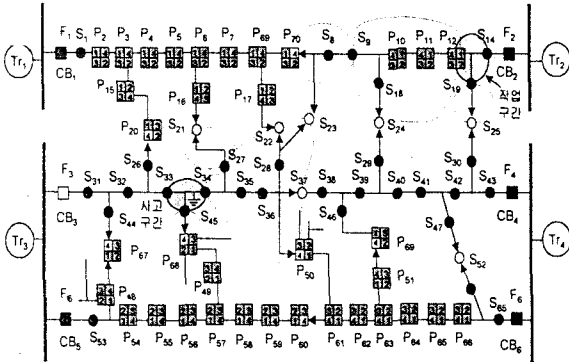


그림 4. 대표적인 배전계통 모델

Case 1) 선로 F3상의 사고정전 이벤트

표 2 사고정전 이벤트에 실시간 제어전략

| n. | 제어목적 | SW ID | 제어모드 | 개폐기 타입 |
|----|--------|-------|------|--------|
| 1 | 고장구간분리 | S33 | off | GAS개폐기 |
| 2 | 고장구간분리 | S34 | off | GAS개폐기 |
| 3 | 고장구간분리 | S45 | off | GAS개폐기 |
| 4 | 공급 재개 | CB3 | on | 차단기 |
| 5 | 정전 절체 | P68.4 | on | PAD개폐기 |
| 6 | 정전 절체 | S27 | off | GAS개폐기 |
| 7 | 정전 절체 | S21 | on | GAS개폐기 |
| 8 | 정전 절체 | S22 | on | GAS개폐기 |

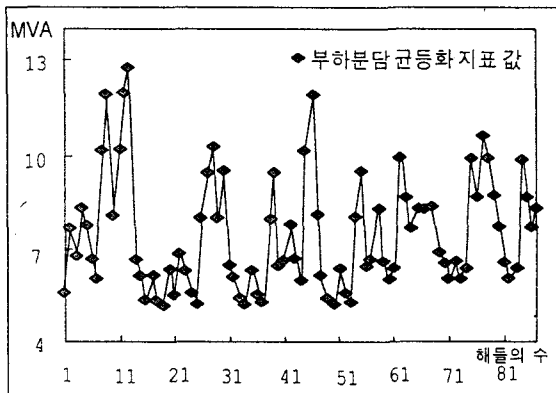


그림 5 시스템 재구성 전략들

그림 5는 가능한 모든 조합들중에서 최선우선 탐색모드에서 얻어진 실시간 해의 정도를 보인다. ◆는 가능한 제어전략들에 대한 시스템 부하분담 균등화 지표를 나타내는데, 첫번째 해, 즉 실시간 시스템 제어전략이 준 최적에 속하는 해임을 보인다.

5. 결론

본 연구에서는 시스템의 구조변경 빈도가 다르고 실시간 제약조건과 운용목적이 서로 상이할 수 있는 대규모 SCADA 시스템들에 효과적으로 적용될 수 있는 전문가 시스템의 구조를 설계하였다. 전문가 시스템의 추론기관은 대규모 SCADA 시스템의 운용제약조건을 효과적으로 지원할 수 있도록 직관적 추론 기능과 논리적 추론기능이 연동되도록 설계하였다.

다음, 배전 SCADA 시스템에 대한 적용결과와 평가를 통해 시간제약조건을 서로 달리하는 다양한 시스템 이벤트들에 대해서 다중 탐색전략에 따라 합리적인 제어전략을 실시간적으로 수립할 수 있음을 확인하였다.

끝으로, 본 연구결과는 차후, 철도의 전차연동장치 분야에 적용될 계획이다. 전차연동장치는 배전 SCADA에 비해 시스템의 구조변화가 비교적 적은 분야이지만 고도의 신뢰도와 안전도가 요구되는 분야이다. 따라서, 직관적 추론과 논리적 추론 기능의 연동 추론은 물론, 특수한 사례를 지식베이스화 함으로써 비상시 사고파급 효과를 최소화 할 수 있도록 설계되어야 하겠다.

(참고 문헌)

- [1] T. W. Kay, "Microcomputer-Based SCADA at Commonwealth Edison Company", IEEE Computer Applications in Power, pp. 4-8, April 1988.
- [2] R. J. Landman and B. Louie, "Fiberoptic SCADA System Safeguards Underground Distribution Network", IEEE Computer Applications in Power, pp. 39-44, April 1992.
- [3] W. J. Ackerman and W. R. Block, "Understanding Supervisory Systems", IEEE Computer App. in Power, pp. 37-40, Oct. 1992.
- [4] W. B. Gevarter, "Expert System : Limited but Powerful", IEEE Spectrum, pp. 39-45, August 1993.
- [5] R. P. Schulte and G. B. Sheble, "Artificial Intelligence Solutions to Power System Operating Problems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 2, No. 4, pp. 920-926, November 1987.
- [6] S. Moriguchi, T. Taniguchi, et. al., "A Large-Scale SCADA System with Real-Time Knowledge-Based Functions", ESAP, pp. 21-27, July 1989.
- [7] E. Chen and H. Ebenhoh, "The Implementation and Evoution of a SCADA System for a Large Distribution network", IEEE Trans. on Power System, Vol. 7, No. 1, pp. 320-326, Feb. 1992.
- [8] C. H. III Heywood, "Pipe Line SCADA Systems : Yesterday, Today, Tomorrow", Pipe Line Ind. Vol. 67, No. 2, pp. 46,48,50, Aug.1987.
- [9] A. Wike, "SCADA : Western European Style", Pipe Line Ind., Vol. 64, No. 5, pp 19-20, May 1986.
- [10] K.M. Tsang, C. S. Chang, "Expert System in Station Management in Mass Transit. Railway Corporation", Hong Kong Engineer Vol. 21, No. 3, pp. 11-13,15, March 1993.
- [11] 고윤석, 김호용, 장정태, 하복남, 이기서의 1인, "효율적 휴리스틱에 근거한 실시간 배전 SCADA 전문가 시스템", 전기학회논문지, Vol. 46 No.4, pp.461-467, 1995년.