전기화재 예방과 신속 감지를 위한 추론기반 지능형 수배전반 시스템 구현 연구

(Implementation of a Inference based Intelligent Distribution Panel System for Prevention and Fast Detection of Fire caused by Electricity)

박찬엄* · 김경동 · 이승철 · 양원영
(Chan-Eom Park · Kyung-Dong Kim · Seung-Chul Lee · Won-Young Yang)

Abstract

With the fast growing number of skyscrapers and large ultrahigh apartment complexes, the concerns on fire caused by electricity also grow. Among about 30,000 fires recorded annually, roughly one third of them are known to be caused by electricity. If one of such high and densely populated buildings or apartments catches a fire, the consequence can potentially be quite catastrophic. However, with the rapid development of the techniques in the fields of communications and computers, electric power distribution systems for such buildings and apartments have been largely digitalized in recent years. More detailed informations on the operating status are now available, which enables more sophisticated monitoring and early detection of potential fire caused by electricity.

In this paper, we present an inference technique that can be used as one of the basic techniques in building intelligent distribution panel systems that can effectively monitor, prevent and detect the occurrence of fire caused by electricity. The technique can accommodate production rules in linguistic expressions on high abstraction levels. Fire finding strategies can be easily modified to provide more effective countermeasures. Simulation results show that inference capabilities and thus the capability of fire monitoring in power distribution panel systems can be significantly enhanced with our approach.

1. 서 론

최근 전자기술, 컴퓨터 및 통신 기술의 발달로 인한 각종 Plant 및 대형 빌딩의 전기 설비의 첨단 자동화가 가능해 짐에 따라 전기설비에서도 설비의 고 기능화, 고 신뢰도화, 소형화 및 표준화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1] 수배전 설비분야에서도 양질의 전력을 공급하고 과부하 및 누전, 단락사고 등에 의한 전기화재 사고에 대처하기 위한 많은 기술들이 개발되고 있으며 그로 인해 기존 아날로그 방식의 유도형 수배전반의 단점을 보완한 디지털 보호계전기 기반의 전자화 및 일체형 수배전반의 수요가 급증하고 있는 추세이다. 수배전반의 상태를 모니터링하고 분석하기 위한 정보의 대부분이 디지털 화 됨에 따라 이를 바탕으로 전력품질의 이상검출 뿐만 아니라 수배전 설비자체의 유지 보수에 관련된 문제들에 대해서도 보다 효과적으로 있게 대처할 수 있는 계기가 마련되었다.

또한 전력 수용가에 고품질의 전력을 공급하고 편리하고 안정적인 전기설비 및 기기의 유지보수를 통해 합리적인 전기 에너지의 사용을 위한 전기에너지의 원격 관리 시스템들의 적용도 확대되고 있다.

본 논문에서는 수배전반의 구조에 관한 정보를 기반으로 설비운영상태의 이상 유무를 판단하고 대처할 수 있는 지능 시스템 구현의 기초가 되는 JESS(Java Expert System Shell)를 이용한 지식기반 추론기법에 대하여 논의하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 지식기반 시스템

기존의 수배전 시스템에서 미흡했던 부하예측 및 사고 발생 시 신속한 대처와 사고기록을 통한 원인분석은 전자화 수배전 시스템 및 원격 관리 시스템의 적용으로 많은 부분 가능해졌으나 특히 전기로 인한 화재발생의 예방을 위해서는 사고의 원인요소를 미리 예측하여 적절한 조치를 제시할 수 있는 지능시스템이 필요하다.

본 시스템에 적용한 지식기반 시스템은 수배전반 시스템의 구성정보, 계측기정보, 계전기정보와 실시간 계측 및 센서를 포함한 각종 기기의 상태정보 등을 가지고 있으며 이를 기반으로 추론을 하고 결과를 제시하는 Rule 기반의 JESS 추론기관을 가지고 있다. 수배전반 시스템의 구성정보를 바탕으로 각각의 Feeder에 설치되어 있는 센서 및 보호계전기들의 상태를 모니터링 하여 추론을 통해 전력품질의 수준을 판정하고 적합한 조치를 내리게 된다.

2.2. 추론기관의 구성

본 시스템에서 사용된 JESS추론 기관은 Sandia National Laboratory의 Ernest Friedman-Hill 에 의해 개발되었으며 JAVA로 구현되었기 때문에 JAVA 응용 프로그램과의 연계를 쉽게 할 수 있다는 특징을 가지고 있다. JESS의 추론방식 및 Rule 구성을 위한 Syntax는 전문가 시스템 구현에 많이 적용되었던 CLIPS (C Langage Integrated Production System)를 기반으로 하고 있다. [2]

JESS 추론기관의 구성요소를 간단히 살펴보면 다음과 같다.

1) Fact : 구성된 Rule을 집행하기 위한 데이터로써 작업메모리(Working Memory)내에 포함되어 있다. 본 논문에서 예시로 제시한 수배전반 시스템에서 설비 구성 정보 ,전압, 전류 및 역률 그리고 차단기와 계전기의 상태정보 등이 이에 해당한다.

2) Rule : 주어진 Fact들을 가지고 추론을 할 수 있는 지식의 표현이며 사용자가 임의로 업데이트 할 수 있고 집행된 Rule의 결과 또한 Fact로 추가될 수 있다.

3) Template : slot을 이용하여 다양한 Facts들을 분류하는데 사용한다. 본 논문에서 예시로 제시한 수배전반 시스템의 구조에 대한 가상모델을 구현하는 방법으로 사용하였다.

2.3. JESS를 이용한 가상모델 구현

실제 수배전반 시스템 운용에 대한 추론을 하기 위해 수배전반 시스템의 구조를 JESS를 이용하여 가상 모델화 하였다. 그림1은 주변압기 2차 측에 10개의 분기 Feeder가 연결된 수배전반 예시 결선도를 나타낸다.[3]

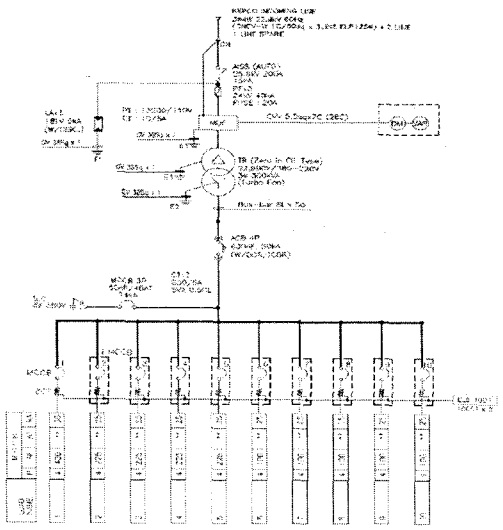

그림 1 . 수배전반 시스템 단선 결선도

Fig 1 . Distribution Panel System Diagram

그리고 그림 2에 Template 구조를 이용한 수배전반 가상모델의 예를 나타내었다. 그림 2에서 slot 으로 나타낸 것들은 보호계전기 및 계측기기 등 수배전반을 구성하고 있는 기기들에 대한 정보로써 같은 기기들을 구분하기 위한 명칭, 설치된 위치를 표현할 수 있는 연결점 등이 나타나 있는 것을 알 수 있다.

가상모델은 실제 수배전반 시스템의 구조와 일치하며 구조를 구성해주는 메인 프로그램을 통해 추론 기관과 연계됨으로써 추론기관이 정확한 진단을 하고 결과를 도출할 수 있게 해주는 기능을 한다.

```
**********************************************************
*                    Distribution Panel                  *
**********************************************************
(Template of Distribution-Panel-System " Distribution System Information
   (slot Major-Device  ; " Device name and connection point "
        (Device-Name, Connected-Node-Number ))
   (slot Feeder        ; " Feeder number and connection point "
        (Feeder-Number, Connected-Node-Number ))
   (slot Load-Group    ; " Load group name and connection point "
        (Load-Group-Name, Connected-Node-Number ))

(Facts List of Distribution-Panel-System
   (Distribution-Panel-System
     (Major-Device (MOF, Node2 and Node3 )  ; " Metering Out Fit "
                   (TR-1, Node4 and Node5 )  ; " Transformer "
                   (ACB-1, Node6 and Node7 )) ; " Air Circuit Breaker "
                                 :
   )

   (Distribution-Panel-System
     (Feeder  (Feeder-1,  Node1 and Node2 ))
              (Feeder-2,  Node3 and Node4 ))
              (Feeder-3   Node5 and Node6 ))
                                 :
   )

   (Distribution-Panel-System
     (Load-Group  (Load-group1,  Subfeeder1 ))
                  (Load-group2,  Subfeeder2 )))
                                 :

))
```

그림 2 . 수배전반 시스템의 가상모델

Fig 2 . Structure Model of Distribution Panel System

2.4. Rule을 이용한 운영상태 추론

수배전 시스템의 운영상태 추론을 위한 Rule은 조건을 나타내는 LHS (Left Hand Side) 과 결론을 나타내는 RHS (Right Hand Side)로 구성되어 있다. 즉 Fact 리스트에 LHS에서 사용할 해당 Fact가 존재할 경우 조건이 만족되어 RHS인 결론을 내릴 수 있는 구조로 되어 있다. 이때 LHS를 만족하는 Fact가 존재하지 않을 경우에는 해당 Fact를 확인하기 위한 역방향 추론(Backward chaining)이 트리거 된다.

수배전반 시스템에 대한 가상모델을 기반으로 옥내 배전 시스템의 이상여부 감시 및 이상발견 시 적합한 대처방안 제시를 위한 지식을 표현하는 방안의 하나로 Rule을 사용한다. Rule은 지능시스템 구현 대상이 되는 수배전 시스템이 바뀌어도

쉽게 적응시키기 위하여 가능한 한 그 값을 반복 치환해가며 적용할 수 있는 변수들로 구성된다. 이때 변수 값이 Fact로써 이미 주어져 있을 경우에는 그 값을 치환되고 아직 Fact 값으로 주어지지 않았을 경우에는 그 변수 값을 추론하기 위한 역방향 추론이 트리거 된다. Rule의 집행은 크게 3가지 원인으로 시작된다. 첫째 주기적으로, 둘째 계전기나 차단기동작 등의 이벤트의 발생 시 그리고 셋째로 외부로부터의 문의 또는 요구 사항에 대한 답변이 필요할 때 각각 집행된다. 연속적으로 수집되어 들어오는 각종계측 및 상태 데이터들을 기초로 주기적으로 집행되는 Rule중 최상위 추상 레벨 Rule의 예를 들면 아래와 같다.

Rule1.) Feeder의 전류가 높은 편이면 해당 Feeder의 우선순위가 낮은 부하부터 차단하여 전류를 정상으로 회복시킨다.

Rule2.) Feeder에서 누설전류가 발생하면 해당 Feeder 경로에 따라 온도상승과 연기발생여부를 점검한다.

```
*************************************************************
*                The Rules for Current state analysis       *
*************************************************************
(defrule Current -state-check
     (Current (I_InputVal $?crt-data-list))
 => (check-crt-state ? crt-data-list))

(defrule crt-state-stable
     (and (Compare_result ?comp_result&: (<= ?comp_result ?count_1))
     (Compare_result ?comp_result&: (>= ?comp_result ?count_2)))
 => (assert (current-state-stable)))

(defrule crt-state-unstable
     (or (Compare_result ?comp_result&: (> ?comp_result ?count_1))
     (Compare_result ?comp_result&: (< ?comp_result ?count_2)))
=> (assert (current-state-unstable)))

*************************************************************
*                The arithmetic of feeder current           *
*************************************************************
(deffunction check-crt-state ($?crt-data-list)
 (bind ?current_1 (nth$ 1 ($?crt-data-list))
 (bind ?i ?current_1)
 (bind ?comp_result 0)
    ( if (< ?reference ?i) then
        (bind ?comp_result (+ ?comp_result 1))
      else
        (if (> ?reference ?i) then
           (bind ?comp_result (- ?comp_result 1))
        else
          (if (= ?reference ?i) then
             (bind ?comp_result (+ ?comp_result 0)))))
             (bind ?current_2 (rest$ ($?crt-data-list))
               (foreach ?n ?current_2
                 (if (< ?reference ?n) then
                   (bind ?comp_result (+ ?comp_result 1))
                 else
                   (if (> ?reference ?n) then
                      (bind ?comp_result (- ?comp_result 1))
                    else
                      (if (= ?reference ?n) then
                         (bind ?comp_result (+ ?comp_result 0))))))
                 (assert (Compare_result ?comp_result)))
```

그림 3 . Rule의 최하위 추상레벨 표현

Fig 3 . Expression of Low-Level Abstraction Rule

상기 Rule 1에서 Feeder는 Feeder 리스트로 대치되며 Feeder 내의 각 Feeder가 순차적으로 대입되어 집행된다. 전압과 전류의 안정 상태 여부는 다시 이를 확인하기 위한 Rule들의 집행을 통해 이루어진다. 전압의 안정 상태를 확인하는 Rule은 그 결론부에 전압이 안정이라는 assert를 하는 Rule이 된다. 추상레벨로 표현된 단어들은 이러한 Rule들의 집행을 통해 점차 구체화 되어가며 그 의미가 해석된다. 최하위 레벨의 Rule에서는 전류의 정상 상태를 판별하기 위한 상세한 기준이 명시되고 이때는 기준이 Fact로써 확인되지 않으면 함수(Function)로 구현된다. 그림 3에 전류의 상태를 판정하는 Rule을 최하위 추상레벨로 표현한 예를 보였다.

3. 시뮬레이션 및 추론결과

추론기관을 이용한 수배전반 시스템의 운용상태 판단을 위해 과전류 및 누설전류의 상태 변화를 시뮬레이션을 통해 구성하였다. 그림 4에서 시뮬레이션 프로그램으로는 National Instrument사의 LabVIEW를 사용하였다.

그림 4는 데이터 수집을 나타내기 위한 시뮬레이션 프로그램으로 전류 값 생성 및 수배전 라인에서 발생할 수 있는 누설전류 값을 생성하여 메인 프로그램의 circular 버퍼에 값을 보내준다. 버퍼에 저장된 값은 추론을 하기 위한 데이터이며 JESS에서 엑세스하여 추론하고 결과를 나타낸다.

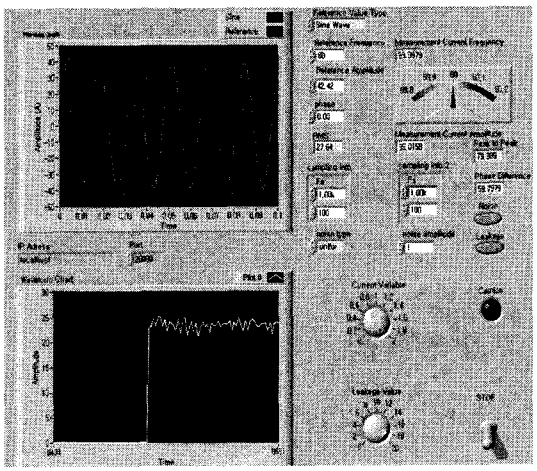

그림 4 . 데이터 수집 시뮬레이션

Fig 4 .Data Acquisition Simulation

그림 5는 circular buffer 및 JESS 추론기관이 내장되어 있는 JAVA 프로그램으로 circular buffer에 저장된 값을 바탕으로 전류의 상태를 추론을 통하여 판단하고 현재 전류의 값에 따라 취해야 할 조치에 대한 결과를 나타낸다.

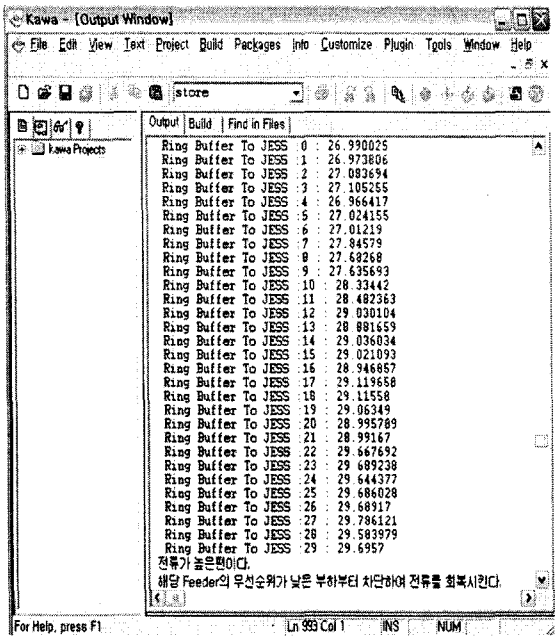

그림 5 . 전류 상태 판별 룰의 추론 결과
Fig 5 . Inference Result of Rules for Distinguish Current State

4. 결 론

효과적인 화재발생 감시 지능형 수배전반 시스템 구현을 위한 기법으로 JESS 추론기관을 이용한 방법을 제시하였으며 수배전반 시스템의 가상 모델 구현 및 Rule의 표현, 집행을 통한 추론을 수행하였다. 입력데이터들을 바탕으로 설비의 운영 상태에 대한 다양한 상위 추상레벨의 언어적 표현을 위하여 퍼지 로직의 적용을 검토하고 있으며 입력데이터의 관리는 수집빈도와 데이터의 중요도에 따라 critical 및 non-critical 데이터로 구분하여 각기 따로 circular 버퍼 자료구조를 개발하여 수행하였다. 상세적인 Rule의 구현 및 자유로운 chaining기법에 대하여 계속적인 연구가 필요하다.

현재 추상적 Rule을 사용자 기준으로 쉽게 표현할 수 있도록 하기 위한 semantic primitive 적용기술, 필요 센서 데이터들의 무선 수집 기술, 본 지능시스템 연구결과를 전기 화재발생 감시 및 대처 지능 배전반 시스템에 편리하게 적용키 위한 GUI (Graphic User Interface) 환경의 구성 및 원격보고 및 감독을 위한 웹기반 정보교환 기술에 관한 연구가 진행 중이다.

〔감사의 글〕

본 연구는 서울시의 신기술 연구개발 지원사업에 의하여 수행되고 있는 과제임.

참 고 문 헌

〔1〕 LS 산전, "GPAM-GMAC제안서(K)__(2)__2004년08월__staff
〔2〕 JESS, the Rule Engine for Java platform, http://herzberg.ca.sandia.gov/jess
〔3〕 단선결선도, 단독면 일반형, http://kdpower.co.kr
〔4〕 Ernest Friedman-Hill, "JESS IN ACTION", Manning, 2003
〔5〕 Joseph Giarratano, Gary Riley, "EXPERT SYSTEM: Principles and Programming", PWS Publishing Company, 1998