

전력계통 운용상태의 신속한 판단을 위한 정보수집 및 추론기법에 관한 연구

박찬엄, 홍창호, 이승철, 문운철

A Study on Information Collection and Inference Technique for Fast Evaluation of Power System Operation State

Chan-Eom Park, Chang-ho Hong, Seung-Chul Lee, Un-Chul Moon

**Abstract** - This paper presents an information collection and a novel inference technique for evaluation of power system operation state. In most developing countries, power demands are steadily increasing and consequently power systems are becoming larger and more complicated. In addition, power system deregulations further complicate the power system operational tasks, which are resulted in prevailing wide area blackouts worldwide.

In this paper, we proposed an effective information collection and operating state evaluation methods using a knowledge-based system. The RTS-79 24 bus system is used as a test system. The power system model is composed with JESS templates and included in the knowledge-base as a part of fixed facts. Dynamic informations are collected from various analysis results and actual operational data. Inferences are performed with rules expressed with terms in different abstraction levels. Future research will be concentrated on intelligent contingency selections for preventing wide area blackouts.

1. 서 론

대부분의 개발도상국의 경우 지속적인 전력수요의 증가로 인해 전력계통은 점차 대형화, 복잡화되어 가고 있는 추세이고 전력계통의 민영화에 따른 다양한 운용주체들의 참여에 따라 정확히 계통 운용 상태를 파악하고 효과적으로 상정사고를 선택하고 해석 및 대처하는 것이 점차 어려워지고 있다. 이를 위하여 전력 시스템에 인공지능 기술을 도입, 적용하려는 노력들이 많이 행해져왔다[1]. A. Hariri [1]와 Tamer Abdelazim [2]은 퍼지와 신경망 이론의 적용을 통해 학습능력을 갖춘 power system stabilizer에 대한 연구를 제안하였고 J. C. Tan [3]과 Yu Yuehai [4], Emmanouil Styvaktakis [5]등은 전력 시스템에서 발생한 고장파급방지 및 고장 진단, 이벤트의 분류와 분석을 위한 전문가 시스템을 제안하였으며 T.Nimura [6]와 Louis Wehenkel [7]은 전력 시스템의 security를 평가, 분석키 위한 퍼지로지과 신경망이론을 이용한 기계학습기법에 대하여 기술하였다. 계통의 운용 상태를 판단하기 위해서는 다양한 정보의 효과적인 관리 및 활용과 운용경험을 나타내는데 편리한 같은 언어적 표현을 사용하여 추론을 수행할 필요가 있다. 본 논문에서는 이를 위한 지식기반 구성기법과 필요한 추론들을 독립적인 프레임에 의해 수행시키고 이를 취합하여 전력계통의 운용 상태를 지능적으로 판단하고 결론을 제시할 수 있는 지식기반 시스템에 대하여 논의 하였다.

2. 본 론

2.1 지식기반 시스템 구성

전력조류계산, 안정도 해석, 상정사고 해석 등을 통해 전력계통의 운용 상태에 관한 데이터들을 수집 할 수 있으나 실제 운용 상태를 파악하고 평가하는 작업은 경험 많은 운전원이 수행하여야 한다. 더구나 상정사고 해석 등을 하기위한 사고 가능성 평가 및 해석결과에 대한 적합한 대책을 실시간에 효과적으로 제시하기 위해서 다양한 운용데이터를 기반으로 지능적으로 추론을 할 수 있는 지능 시스템의 필요성이 요구된다.

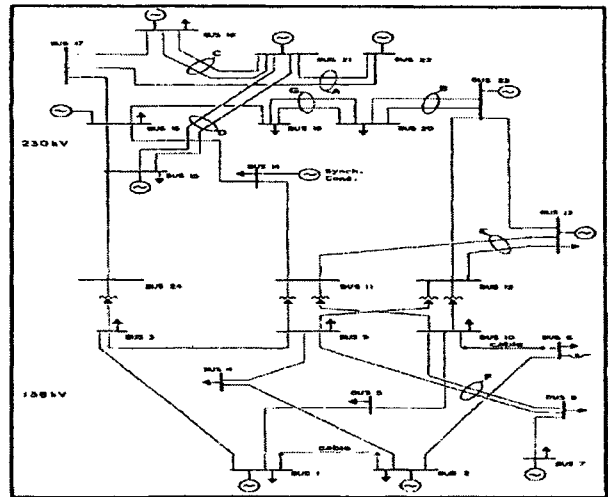
본 연구에서 제안하는 지식기반 시스템은 계통의 구성정보 및 조류계산을 통한 모선과 T/L의 상태를 판별하기 위한 수치정보와 보호계전기정보, 차단기정보등을 수용하는 지식베이스와 이를 기반으로 추론을 하고 결과를 제시하는 Rule 기반의 JESS추론기관[8][9]으로 구성되어 있다.

2.2 운용 상태 정보수집

전력계통 운용상태의 정보수집의 일환으로 모선, T/L, 발전기 및 부하와 같은 계통의 구성요소를 표현하고 추론을 위한 지식베이스를 구성함에 있어 본 시스템에서는 JESS의 template 구조를 이용하여 실제 계통과 같은 형태를 가지는 가상모델을 구현하였다.

다음에 나타난 그림1은 전력계통 신뢰도 해석을 위한 IEEE 표준 시스템

인 RTS-79(24-BUS)시스템[10]을 나타내며 그림 2는 template를 이용한 이 시스템의 가상모델의 일부를 보였다.



〈그림 1〉 IEEE RTS-79 (24-BUS) System

그림 2는 그림 1에 나타나 있는 24-Bus 시스템과 동일한 구조로 이루어져 있으며 각 모선과 모선 사이를 연결하는 T/L과 모선에 연결된 발전기들이 표현되어 있다. 이 중에서 한 예로 모선정보는 모선의 번호와 이름, 용량과 같은 정적 데이터와 전압의 크기와 위상각, 상정사고 및 조류계산결과에 따라 통해 변화하는 동적 데이터 등의 추론을 위한 기본데이터로 구성된다. 그리고 모선정보와 유사하게 T/L설비와 발전설비 및 부하에 대한 상세 정보도 구성된다.

```

*****
IEEE RTS-79 (24-Bus) SYSTEM
*****
( Template of Power-System " Power System Information
  ( slot Bus-Information ; " Bus Number and Connected Line "
    ( Bus-Number, Connected-Line-ID )
  ( slot T/L-Information ; " Line Number and Connection point "
    ( T/L-Number, Connected-Bus-Number )
  ( slot Generator-Information ; " Generator Number and Connection point "
    ( Generator-Number, Connected-Bus-Number )
  ( slot Load-Information ; " Load Number and Connection point "
    ( Load-Number, Connected-Bus-Number )

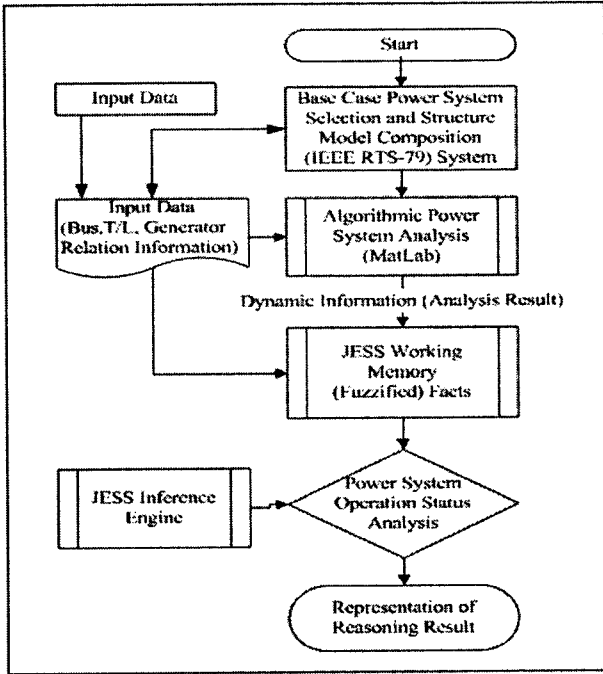
( Fact List of Power-System
( Power-System
  ( Bus-Information ( Bus-1, L1, L2, L3 )
    ( Bus-2, L4, L5 )
    ( Bus-3, L6, L7 )
  )
  )
( Power-System
  ( T/L-Information ( L1, Bus-1, Bus-2 )
    ( L2, Bus-1, Bus-3 )
    ( L3, Bus-1, Bus-5 )
  )
  )
( Power-System
  ( Generator-Information ( Gen-1, Bus-1 )
    ( Gen-2, Bus-2 )
  )
  )
( Power-System
  ( Load-Information ( Load-1, Bus-1 )
    ( Load-2, Bus-2 )
  )
  )
)
    
```

〈그림 2〉 IEEE RTS-79 (24-BUS) System의 Structure 구성 모델

### 2.3 운용 상태의 추론

Template를 이용한 가상모델을 기반으로 전력계통 운용상태의 추론은 그림 5에 나타난 흐름도와 같이 진행된다.

그림 5의 흐름도에서 조류계산 및 추론 프로그램들은 자바를 기반으로 하고 스레드로 구현되어 있으며 메인 프로세스에 의해 관리된다. 메인 프로세스가 실행되면 우선 기본케이스에 해당하는 시스템을 선택하고 이에 따라 저장되어 있는 모선 및 T/L 데이터 파일을 기반으로 조류계산을 위한 스레드를 생성하여 조류계산을 수행 하게 된다. 계산 결과는 작업 메모리에 입력되어 새로운 Fact를 구성하고 퍼지화의 필요성이 있는 데이터의 퍼지화 과정이 이루어진다. 이렇게 생성된 Fact들을 기반으로 추론엔진을 가진 스레드들은 독자적으로 Rule을 기반으로 하여 경우에 따라 전 방향 또는 후 방향 추론을 하여 그 결과를 나타내고 새로운 Fact로 추가함과 동시에 취해야 할 조치를 제시한다.



〈그림 3〉 전력계통 운용상태 추론 흐름도

### 2.4 상이한 추상레벨 Rule들의 구성

다음은 전력시스템의 추론을 위해 구성된 최상위 추상레벨 Rule의 한 예이다.

**Rule.** 각 모선의 전압의 크기와 위상각의 크기가 정상이고 각 Line의 Power Flow가 정상이면 계통운용 상태는 안정 상태이다.

상기 Rule에서 "모선의 전압의 크기와 위상각의 크기가 정상이다" 와 "각 Line의 Flow가 정상이다"로 나타난 언어적 표현은 퍼지집합으로 구성하였고 조류계산을 통해 얻어진 모선의 전압과 위상각 그리고 Line의 Power Flow 데이터를 기반으로 각각의 모선과 T/L의 데이터를 반복적으로 치환하여 모든 모선과 T/L의 상태를 추론하였다. 위에서 기술한 최상위 Rule을 증명할 하위 Rule들의 구성 예를 그림6에 기술하였다.

### 3. 결 론

IEEE RTS79 시스템에 대해 JESS의 Template 구조를 이용한 가상모델을 구성하였으며 조류계산을 통한 계통운용 정보를 기초로 이의 언어적 표현을 위해 퍼지모집을 적용하였고 퍼지표현을 이용한 Rule을 바탕으로 추론을 실행하였다. 계통에 대한 정확한 추론결과를 얻기 위해서 추후 날씨정보, 현재 안정도 해석결과와 과부하정보를 반영하기 위한 시스템을 구성하고 있다. 또한 계통 운용의 상태를 시각적으로 표현하기 위한 GUI(Graphic User Interface)구현 및 해당 Rule을 구체화하고 쉽게 표현하기 위한 Semantic Primitive에 대한 연구가 진행 중이다.

### [감사의 글]

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-B-203)주관으로 수행된 과제임.

```
(defrule initialize
(initial-fact)
=>
(load-package arc fuzzy jess FuzzyFunctions)
(*BusVtgVar1* addTerm "Medium" (new arc fuzzy.LeftLinearFuzzySet 0.95 1.0))
(*BusVtgVar2* addTerm "Low" (new arc fuzzy.RightLinearFuzzySet 0.95 1.0))

(assert (BusVtgVar1 (new arc fuzzy.FuzzyValue ?BusVtgVar1 "Medium")))
(assert (BusVtgVar2 (new arc fuzzy.FuzzyValue ?BusVtgVar2 "Low")))
(assert (UnstableCount ?UnstableCount*))
)

(defrule Bus-Voltage-State1
(PowerMismatch (BusNo ?BN) (VoltageMag ?VM))
(BusVtgVar1 ?BV1)
(BusVtgVar2 ?BV2)
?x <- (PowerMismatch (BusNo ?BN) (VoltageMag ?VM)(AngleDegree ?AD)
(Load_PVal ?LP) (Load_QVal ?LQ)(Gen_PVal ?GP)
(Gen_QVal ?GQ)(Injected ?IN)(VoltageState ?VS))
=>
(bind ?floatValVtg (float ?VM))
(bind ?member ?floatValVtg)
(bind ?membership1* (?BV1 getMembership ?member))
(bind ?membership2* (?BV2 getMembership ?member))
(printout t ?membership1* " " ?membership2* crlf)
(bind ?PowerMismatch1* (assert (PowerMismatch1 (BusNo ?BN)(VoltageMag ?VM)
(AngleDegree ?AD)(Load_PVal ?LP) (Load_QVal ?LQ)
(Gen_PVal ?GP)(Gen_QVal ?GQ)(Injected ?IN)
(VoltageState ?VS))))))

(Compare-Membership)
(retract ?x)
)

(defrule Bus-Voltage-State2
(UnstableCount ?USC.&(- ?USC 0))
=>
(assert (Bus-State "The state of all buses is Stable"))
(printout t "The state of all buses is Stable" crlf)
)

(defrule Bus-Voltage-State3
(UnstableCount ?USC.&(> ?USC 0))
=>
(assert (Bus-State "The state of any buses is Unstable"))
)

```

〈그림 4〉 최하위 추상레벨 Rule의 표현

### [참 고 문 헌]

- [1] A. Hariri, O.P. Malik, "A Fuzzy Logic Based Power System Stabilizer with Learning Ability", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 11 No. 4, pp. 721-727, December, 1996
- [2] Tamer Abdelazim, "An Adaptive Power System Stabilizer Using On-line Self-learning Fuzzy Systems", *Power Engineering Society General Meeting, IEEE*, Vol 3, pp. 1715 - 1720, 13-17 July, 2003
- [3] J. C. Tan, P. A. Crossley, P. G. McLaren, P. F. Gale, "Application of Wide Area Backup Protection Expert System to Prevent Cascading Outages", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 17, No. 2, pp. 375-380, April, 2002
- [4] Yu Yuehai, Bai Yichuan, Xi Guofu, X, u Shiming, Luo Jianbo "Fault Analysis Expert System for Power System", 2004 International Conference on Power System Technology - POWERCON 2004 Singapom. pp. 21-24, November, 2004
- [5] Emmanouil Styvaktakis, Math H. J. Bollen, Irene Y. H. Gu, "Expert System for Classification and Analysis of Power System Events", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 17, No. 2, pp. 423-428, April, 2002
- [6] T. Niimura, H. S. Ko, H. Xu, "Machine Learning Approach to Power System Dynamic Security Analysis", *Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES*, Vol. 2, pp. 1084-1088, October, 2004
- [7] Louis Wehenkel, "Machine-Learning Approaches to Power-System Security Assessment", *IEEE EXPERT*, Vol. 12, Issue 5, pp. 60-72 Sept.-Oct. 1997
- [8] Ernest Fridman-Hill, *JESS IN ACTION*, Manning, 2003
- [9] 박찬업, 홍창호, 이승철, 문운철, "지능형 수배전반 시스템 구현을 위한 지식기반 추론기법에 관한 연구" 대한전기학회 전력기술부분회 추계학술대회 논문집, pp.67-69 11, 2005
- [10] Cliff Grigg, Peter Wong, Paul Albrecht " The IEEE Reliability Test System-1996 ", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 14, NO. 3, pp. 1010-1020, August, 1999