

과전류 보호계전 시스템에의 Multi-Agent System 응용

장 중 구 민 병 운 이 승 재
명지대학교 전기정보제어공학부

Application of Multi-Agent System to Over Current Protective Relaying System

Choong-Koo Chang Byung-Un Min Seung-Jae Lee
Dept. of Elec. Eng. Myongji University

Abstract - This paper presents a Multi-Agent system for setting and coordination of overcurrent protective devices in the distribution system. The simulation model shows its feasibility in which KQML is used for communication among agents. The proposed system could make it possible to keep the protection system in the optimal state all the time.

1. 과전류 보호시스템과 Multi-Agent System

배전계통에는 계전기를 비롯한 리클로우저, 섹셔널라이저등 여러가지 과전류 보호기기가 설치되어 있으며 이들의 정정치는 계통의 전원조건 및 부하상태를 고려하여 일정 수준 이상의 보호기능을 갖도록 결정된다. 그러나 계통의 전원조건과 부하상태가 수시로 변함에 따라 보호능력도 변화하게 되며 때로는 요구되는 보호능력을 유지하지 못하게 된다.

본 논문에서는 배전계통에서 전원 및 부하조건의 변동 있을 경우 이에 따라 각 기기가 스스로 정정치를 조정하여 보호시스템이 항상 최적의 보호능력을 유지하도록 하는 Multi-Agent System을 제안한다.

Multi Agent System [1,2]은 자율기능을 가진 일련의 오브젝트들로 이루어진 시스템으로서, 개개의 오브젝트들은 시스템내의 주위환경으로부터 인식된 내용에 대하여 자율적으로 판단하고 그 결과로써 주변환경에 영향을 끼치는 작용을 한다. 이때 각각의 오브젝트는 인공지능(AI) 프로그램과 프로그램을 구동시키는 컴퓨팅 Device로 구성되며, Autonomous Intelligent Agent라고 칭하기도 한다.

Multi Agent System의 속성은 다음과 같다.

- Volume을 가지고 있는 공간(Environment)이 있다.
- 오브젝트들은 공간의 어느 지점에 위치하면서 다른 오브젝트와 관계한다.
- 오브젝트들 간에는 관계(Relations)를 가지고 있다.
- 각 각의 오브젝트는 자율적으로 기능을 수행하는 Operation 시스템을 가지고 있다.
- MAS 계(Universe)를 지배하는 규칙을 가지고 있다.

2. 보호기기 정정협조 MAS

본 연구에서 제안된 보호기기 정정협조 MAS 은 각 보호기기 Agent, 고장해석 Agent, 조정자 Agent 등으로 구성되어 있다. 보호기기 Agent 는 각 기기에 해당하며 이들은 자신의 정정및 이웃기기와의 협조를 책임지며 고장해석 Agent 는 고장해석 기능을 갖는다. 조정자 Agent 는 대상 계통의 보호능력을 일정 수준 이상으로 유지하도록 하는 책임을 갖는다. 보호기기 Agent 는 각 기기내 processor 에 위치하며 고장해석 및 조정자 Agent 는 제어소의 컴퓨터에 위치한다. 본 연구에서는 이들 상호간의 통신은 제어소를 통하여 하는 것으로 가정하였으나 보호기기 Agent 간의 통신은 직접 이루어지게 구성할 수도 있다.

제안된 MAS의 동작은 다음과 같다. 각 보호기기 Agent 는 상시 부하전류를 감시하고 있으며 부하전류가 일정량 이상의 변동이 있을 경우 자신의 보호능력과 이웃한 기기와의 협조능력 평가에 들어간다. 보호능력의 이상이 판정될 경우 이는 즉각 조정자 Agent 에 보고하게 된다. 보고를 받은 조정자 Agent 는 어느 기기를 재정정하는 것이 가장 효율적인가를 판정하여 해당 보호기기 Agent 에게 재정정 명령을 내리게 된다. 재정정 명령을 받은 Agent 는 새로운 정정치를 결정하게 되는데 이때 필요한 고장전류는 고장해석 Agent 에 요청하여 받게 된다. 이와같이 이루어지는 재정정은 종래 협조과정에서 나타날 수 있는 반복적 협조 확인노력을 크게 줄일 수 있다.

조정자 Agent 는 전체 계통의 평가를 행하는데 그 필요시점을 스스로 판단하여 각 기기 Agent 에게 평가 명령을 내려 각 Agent 의 결과를 받아 전체 보호능력을 종합 평가한다. 종합 평가는 Dempster-Shafer의 증거이론에 입각하여 Modified Dempster 결합물을 사용하여 구한다 [3].

제안된 MAS 는 그림 1에 보이는 계통을 대상으로 모의시스템에 구축되었으며, Agent간의 통신 프로토콜로서는 KQML[3]을 사용하였다. 그림 1에서 화면의 왼쪽은 모의 대상 계통과 Agent를 나타내고, 오른쪽은 OCR Agent(Agent1)의 Device Level 보호능력의 평가 결과를 보여준다.

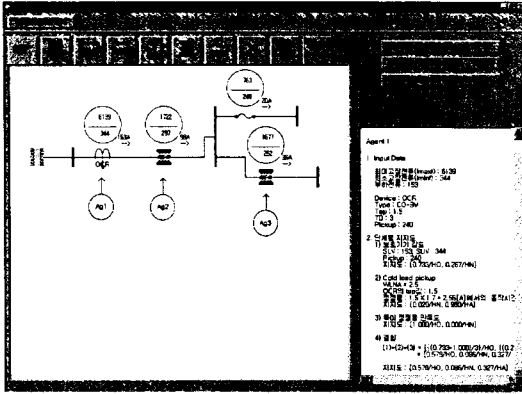


그림1. 보호 계전기 자율 정정 MAS 모의 화면.

3.1 보호 기기 Agent의 기능 및 구성요소

모의 계통은 과전류계전기 (OCR) Agent (Ag1)와 두 개의 리클로우저 Agent (Ag2, Ag3) 로 구성된다. 각 Agent 는 Evidence Level Evaluation Engine, Device Level Evaluation Engine 등 2개의 Engine을 갖으며, 아랫단의 리클로우저 Agent Ag2 는 Triple Level Evaluation Engine 또한 갖게된다 (그림 2). Evidence Level 은 감도, 속도등 여러 평가요소에서의 평가를 4가지 상태 - Violation, Alert, Normal, Optimal 상태등 - 에 속하는 정도를 산출하는 단계이다. Device Level 은 Evidence 레벨 평가 결과를 Dempster 의 결합률을 적용하여 보호기기의 종합 보호능력을 구하는 단계이다. Triple 레벨은 두 개의 기기와 그들로 구성된 pair 등 3개의 평가결과를 종합하는 단계이다. 여기서는 상호간의 통신이 필요한 OCR Agent Ag1과 리클로우저 Agent Ag2를 예로하여 설명을 한다.

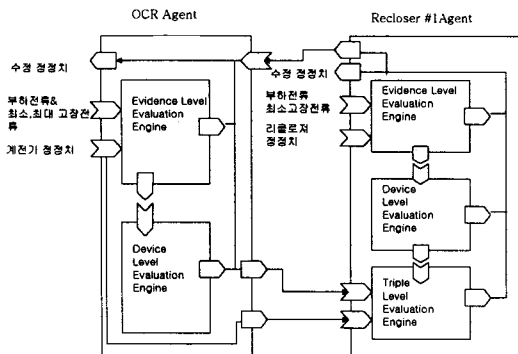


그림2. Agent 모듈의 구성 및 연결도

OCR Agent Ag1은 부하전류의 변동을 판단거나 또는 조정자 Agent 의 명령이 있을 경우, 보호감도, Cold load pickup, 특이 정정률 등 evidence 레벨[4]의 평가요소들에 대한 계전기의 보호능력과 이들을 결합한 device 레벨 평가를 행하게 된다. 아랫단 리클로우저 Ag2 에서도 Ag1 과 같은 device 레벨 평가를 하게 되며 Ag1 으로부터 정정치 및 동작시간등의 정보를 받아 pair-wise 평가를 한다. 두 Agent 의 Device Level 평가 결과 및

pair-wise 평가결과를 이용하여 Agent Ag2 에서는 Triple Level 의 평가를 실행한다.

이때 만약 평가 결과가 보호도 기준에 부합하지 않을 경우 (즉 violation state 일 경우) 에는 조정자 Agent 의 지시를 받아 스스로 적절한 정정값을 결정하여 해당 보호기기의 보호도 및 이웃한 기기와의 협조가 최적이 되도록 하는 자율적 책임을 진다. 협조 동작을 위하여는 기기의 시간-전류 특성이 필요한데 각 Agent 는 이 특성을 갖고 있으며 이로부터 동작시간등을 결정하는 기능을 갖고 있다. 각 Agent 의 필요한 입출력은 다음과 같다.

a) Agent Ag1/Ag2 Evidence level 평가

- Input Data (from source)
 - 과전류 계전기 정정치 (Ag1/Ag2)
 - 부하전류 (Ag1/Ag2)
 - 고장전류 (Fault Agent)
- Output Data (to Agent)
 - 요소별 평가결과 (sensitivity, cold load pickup, singular rule) (조정자 Agent)
 - (재) 정정치 (/Ag2, 조정자 Agent)
 - 동작시간 (/Ag2, 조정자 Agent)

b) Agent Ag1/Ag2 의 Device Level 평가

- Input Data (from source):
 - 요소별 평가 결과 (Ag1/Ag2)
- Output Data (to Agent):
 - Device level 평가 결과 (Ag2)

c) Agent Ag2 의 Triple Level 평가

- Input Data (from source):
 - Device level 평가 결과 (Ag1, Ag2)
- Output Data (to Agent):
 - Triple level 평가 결과 (조정자 Agent)

3.2 Multi Agent System의 통신

Multi Agent에게 요구되는 성능은 자율적인 처리능력과 더불어 다른 Agent들과의 협조(Cooperation), 협상(Negotiation), 문제해결(Conflict resolution) 능력 등이다. Agent들간의 통신은 Multiple Client/Server 환경을 구성하여 Client Agent가 특정 정보에 대한 조회를 Server Agent에 요청하면 Server Agent는 이에 대한 응답을 하는 방식을 채택하였다. Agent용 통신 프로토콜로서는 KQML을 사용하는 것으로 모의하였다. 아래에 KQML을 이용한 agent 간의 통신예를 보인다.

- 예1) 아랫단 최대고장전류에서의 과전류계전기의 동작 시간(cycle)을 리클로우저 Agent가 요청함
- ```
(ask-one
: sender Recloser Agent-02
: content (Delay Time-Imaxf? Cycle-Imaxf)
: receiver OCR Agent-01
: language CLIPS
: ontology OCR Delay Time-Imaxf)
```
- 예2) 과전류 계전기 Agent가 리클로우저 Agent에 동작 시간을 회신함

(tell

: sender OCR Agent-01  
: content(Cycle-Imaxf 95)  
: receiver Recloser Agent-02  
: language CLIPS

: ontology OCR Delay Time-Imaxf

예3) 과전류 계전기의 Device Level 평가 결과를 리클로우져 Agent가 요청함

(ask-one

: sender Recloser Agent-02  
: content (Singular protectability? Protectability-01)  
: receiver OCR Agent-01  
: language CLIPS  
: ontology OCR Singular Protectability)

예4) 과전류 계전기 Agent가 리클로우져 Agent에게 평가 결과를 회신함

(tell

: sender OCR Agent-01  
: content ( Protectability-01 0.578/Ho, 0.096/Hn, 0.327/Ha)  
: receiver Recloser Agent-02  
: language CLIPS  
: Ontology OCR Singular Protectability

#### 4. 평가결과

과전류 계전기 및 리클로우져1, 2의 초기 설정치(setting 1)을 가지고 Device Level의 지지도 및 Pair-wise Level의 지지도를 평가한 후 개별 보호 기기의 보호도와 보호 기기간의 보호 협조를 개선하기 위하여 보호기기를 재정정하여 (setting 2) 평가를 다시 수행한 결과를 그림3에 보인다. 여기서 보면 Device Level과 Pair-wise Level의 지지도가 향상된 것으로 알 수 있다.

| 3. 지지도 Device Level(Evidence Level 사고요구 D.C. 결함 결과) |           |          |          |          |
|-----------------------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Setting                                             | Component | Normal   | Alert    | State    |
| Setting 1                                           | OCR1      | 0.478/Ho | 0.336/Hn | 0.227/Ha |
|                                                     | Recloser1 | 0.463/Ho | 0.187/Hn | 0.334/Ha |
|                                                     | Recloser2 | 0.503/Ho | 0.320/Hn | 0.183/Ha |
| Setting 2                                           | OCR1      | 0.478/Ho | 0.336/Hn | 0.227/Ha |
|                                                     | Recloser1 | 0.681/Ho | 0.118/Hn |          |
|                                                     | Recloser2 | 0.718/Ho | 0.227/Hn |          |

| 4. 지지도 Pair-wise |                        |                     |          |          |                     |
|------------------|------------------------|---------------------|----------|----------|---------------------|
| Setting          | Coordination Time msec | Backup Reprt        | 상태       |          |                     |
| Setting 1        | OCR1-Recloser1         | 0.200/Ho   0.800/Hn | 0.252/Ho | 0.588/Hn | 0.811/Ha            |
|                  | Recloser1-Recloser2    | 0.395/Ho   0.611/Hn | 0.446/Ho | 0.556/Hn | 0.444/Ha   0.556/Hn |
|                  | OCR1-Recloser2         | 1.300/Ho   0.000/Hn | 0.242/Ho | 0.742/Hn | 0.527/Ha   0.527/Hn |
| Setting 2        | OCR1-Recloser1         | 0.200/Ho   0.800/Hn | 0.242/Ho | 0.742/Hn | 0.527/Ha   0.527/Hn |
|                  | Recloser1-Recloser2    | 0.722/Ho   0.278/Hn | 0.278/Ho | 0.722/Hn | 0.291/Ha   0.722/Hn |

그림3. MAS를 이용한 과전 계전기 보호도 평가 결과

본 모의 결과는 운전 환경하에서 각 보호기기의 보호 능력을 실시간으로 평가하고 그 결과에 따라 재정정을 통하여 시스템을 항상 높은 보호능력을 유지할 수 있음을 보여준다. 또한 이러한 기능들이 Agent의 자율적 기

능을 통하여 이루어 질 수 있음을 보여주고 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 MAS를 이용한 과전류 보호 계전시스템의 자율 조정 및 보호협조 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 모의 프로그램을 이용하여 그 효과를 보여주었다. 제안된 MAS시스템은 보호기기 Agent와 조정자 Agent, Fault Agent 등으로 구성되며, 자율적인 상호협동으로 최적의 보호기능을 유지할 수 있도록 한다.

향후 실 계통에의 적용을 위한 관련 H/W 및 S/W의 구체적인 연구가 필요하며 나아가 배전자동화 시스템에의 응용이 연구되어야 할 것이다.

#### 6. 참고문헌

- [1] Jacques Ferber, *Multi-Agent Systems, An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Addison-Wesely 1999.
- [2] Alper Caglayan and Colin Harrison, *Agent Sourcebook*, Wiley Computer publishing, 1997.
- [3] Seung-Jae Lee, Sang-Hee Kang, Hee-Chul Kim, Choong-Koo Chang, Sang-Tae Kim, A New Concept for Evaluation of Protection System of Distribution System, ICEE Conference & Seminar, Aug. 1999
- [4] Seung-Jae Lee, Sang-Hee Kang, Choong-Koo Chang, Sang-Tae Kim, Distribution System Protectability: The Evaluation Of Protecting Device Capability Based On Multi-Criteria With Uncertainty, 2000 IEEE PES WM Singapore.
- [5] Men-Shen Tsai, Conceptual Design of Distributed Rule Base Expert System for Distribution Automation, Intelligent System Application to Power Systems(ISAP99) April 4-8,1999, Rio de Janeiro, Brazil, pp402~406
- [6] Sarosh N. Talukdar, Eduardo Camponogara, Agent Cooperation : Distributed Control Applications, Intelligent System Application to Pauer Systems(ISAP99) April 4-8,1999, Rio de Janeiro, Brazil, pp297~302.