

Multi-agent system을 이용한 배전계통 최적 보호시스템 연구

정광호, 민병운, 이승재, 최면송, 강상희
명지대학교 차세대전력기술연구소A study on An Optimal Protection System
for Power Distribution Networks by Applying Multi-Agent SystemK.H. Jung, B.W. Min, S.J.Lee, M.S.Choi, S.H.Kang
MyongJi University Next-Generation Power Technology Center

Abstract - In this paper, a protection system using Multi-Agent concept for power distribution network is proposed. Multi agent system consist of Feeder agent, OCR(Over Current Relay) agent, Recloser agent and Switch agent. An agent calculates and corrects its parameter by itself through communication with neighboring agents and its own intelligence algorithm. Simulations in a simple distribution network show the effectiveness of the suggested protection system.

Keywords: Multi-Agent System, Protection of distribution network, Communication

1. 서 론

정보화, 산업화로 인하여 산업용 수용가의 수 배전 계통에서는 전력공급에 대한 안정성, 신뢰성, 경제성 등을 요구하고 있다. 따라서 수 배전 계통을 최적으로 운용하고자 하는 배전계통 전력자동화 기술이 현재 세계적으로 널리 연구되고 있다. 이와 같은 맥락에서, 보호계전기는 전력계통의 각종 사고로부터 인명과 기계를 보호하는 안정성과 연속적인 전력공급을 보장하는 신뢰성을 보증하는 수단이 되어 왔으며 미래에는 전력 종합자동제어시스템을 주도할 핵심적인 역할을 하리라 기대된다.

전력계통의 보호시스템은 안전성을 최대한 확보하면서 사고 파급효과로 인한 전력공급의 중단을 최소화하고 동시에 설비의 효율성을 극대화해야 한다. 즉 보호시스템은 사고를 정확하게 감지하여 설비를 보호하도록 감도를 높여 부동작 하지 않아야 한다.

배전계통은 부하의 변동과 전원 피더의 절체 등으로 인한 운전상황에 따라 배전계통의 구성이 수시로 변한다. 그리고 현재의 배전계통은 과전류를 차단하는 보호시스템으로 보호되고 있으며 이 보호시스템에서 보호계전기는 정해진 전원의 공급조건 및 부하 운전조건과 특정한 고장상황만을 상정하여 정정하게 되므로 이러한 상정된 상황에서는 만족스러운 보호기능을 수행할 수 있으나 계통구성의 변경이나 운전상황의 변동 시에는 요구되는 보호기능을 충족시키지 못하는 경우가 발생한다.

본 논문에서는 서로 간에 통신이 되는 보호계전기로 이루어진 보호시스템에 최근 많은 연구가 진행 중인 멀티 에이전트 시스템을 응용하여 자율 최적 보호시스템을 구축하는 방법을 제시하였다. 이 보호시스템은 계통구성의 변경에 따라 보호계전기가 서로 간에 통신을 통하여 자율적으로 보호계전기의 정정값을 계산하여 정정하며 자기보호구간의 보호능력을 확보하고 각 계전기간의 상호 협조에 전체계통의 보호능력을 확보하여 계통의 최적으로 용이 가능하도록 한다. 본 논문에서 개발된 보호시스템은 간단한 배전계통에 대한 시뮬레이션을 통해 그 실용성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 Multi-Agent System

Autonomy, 내지는 Intelligence는 Agent의 특성 중 중요한 특징 중 하나이다. 이 중에서 Autonomy는 Agent와 일반 프로그램을 구별하는 제일 중요한 특징이다. Agent는 Autonomy를 가짐으로써 사용자의 지시, 혹은 추가적인 지시 없이 스스로 목적을 달성할 책임(goal-oriented)이 있고 스스로 활동(self-starting)하는 능력이 포함된다. Autonomy를 위해 Intelligence라는 특징이 추가되는데 이는 Knowledge base를 가지고 reasoning 및 planning을 할 수 있게 한다. 뿐만 아니라 작업을 수행하면서 새로운 사실에 대해 다음 작업에 적용할 수 있는 learning기능 또한 추가될 수 있다[1][2][3].

Multi-Agent System은 다양한 Agent 사이에 상호 작용으로 개개의 Agent가 이룰 수 있는 목적보다 더 크고 복잡한 문제를 해결할 수 있다[4].

Integration된 System에서만 가능했던 복잡하고 어려운 문제를 Decentralized된 시스템인 Multi-Agent System으로 분산되고, 독립적이고 지능적인 Agent의 상호협조로 해결할 수 있다[5].

Multi-Agent System은 시스템 변경 및 재설정이 쉽게 이루어진다. 현실에서는 개발된 소프트웨어나 하드웨어의 수명이 짧고 사용자의 요구도 다양하고 계통에 사용되는 부하의 변동이 다양하므로 적응성이 뛰어나고 재설정이 용이한 시스템을 필요로 하는데 Multi-Agent system은 이런 필요성을 충분히 만족시킬 수 있다[6].

2.2 배전 계통의 최적 보호 시스템

배전계통 최적보호 시스템은 계통보호의 역할을 담당하는 OCR Agent, Recloser Agent와 Source 임피던스의 변화를 감시하는 Feeder Agent 및 Switch Agent로 구성된다.

각 에이전트들은 자신의 정보를 주변의 Agent에게 전달함으로써 전체 계통보호능력을 확보하고 Agent 사이의 협조를 볼 수 있도록 구성되어 있다. 프로그램의 구현은 Visual C++로 구현하였다. 프로그램의 동작방식은 통신이벤트를 이용하여 계통변화를 인지하여 구동되도록 Event procedure방식으로 설계를 하였다.

2.3 Agent 설계

본 논문에서 설계된 에이전트들은 자기 정보와 이웃 정보를 가지고 있다. 자기 정보라는 것은 자신이 담당하고 있는 부하값과 피더와의 거리, 최대부하전류 및 픽업값을 자기 정보라 하고 이웃 정보는 자신과 연결된 에이전트의 주소와 ID 그리고 거리 정보를 이웃 정보라 한다. 단 Switch 에이전트는 픽업값이 없다.

모든 에이전트들은 자신과 연결된 에이전트가 상위 에이전트인지 하위 에이전트인지 항상 알고 있으며 자기 하위에 퓨즈가 연결되어 있을 때는 퓨즈 정보를 가지고 있다.

2.3.1 OCR Agent

OCR(Over Current Relay)Agent의 주목적은 측정된 전류를 픽업 전류와 비교하여 고장전류 유무 판별하여 계통을 보호하는 것이다. 픽업값은 최대부하전류의 200%로 산정하였다. 그림 1은 OCR Agent의 예이다.

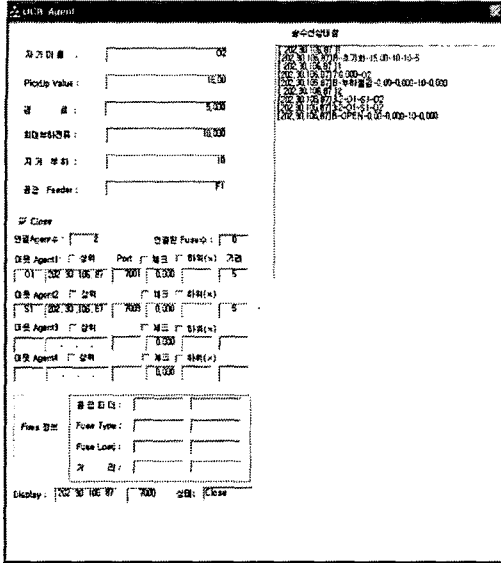


그림 1. OCR Agent 예

2.3.2 Recloser Agent

Recloser Agent 역시 주목적은 OCR 에이전트와 같으며, 픽업값은 정정률에 따라 최대부하전류의 280%로 산정하였다.

2.3.3 Switch Agent

Switch Agent는 보호 능력은 없고, 다만 자신의 하위 에이전트의 정보를 상위 에이전트에게 전달하는 역할만 한다.

2.3.4 Feeder Agent

Feeder Agent는 소스 임피던스를 요구하는 에이전트에게 응답으로 임피던스를 전달하는 것이 주목적이며 소스 임피던스가 변경 시에 하위 에이전트에게 변경된 임피던스 값을 전달하는 역할을 한다. 그림2는 피더 에이전트 예이다.

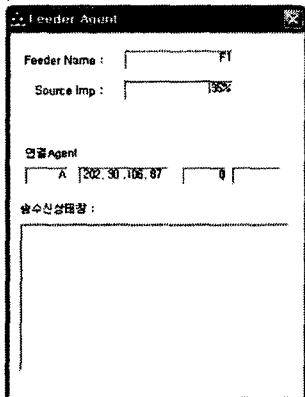


그림 2. 피더 에이전트 예

2.4 Agent 통신에 사용될 Keyword의 선정

에이전트 통신을 할 때 배전 계통 보호에 필요한 키워드를 표1에 정의하였다.

표1 Keyword

KEYWORD	CONTENT
OPEN	CB를 OPEN 시킨다.
CLOSE	CB를 CLOSE 시킨다.
Open_Reset	하위 에이전트가 Open 됨
Close_Reset	하위 에이전트가 close 됨
SOURCE_IMP RECEIVE	임피던스 값 수신
IL_MAX RECEIVE	최대 부하 전류 값 수신
IL_SELF CHANGE	자기 부하 값 변경
계통변경 OPEN	계통변경을 위한 OPEN 신호
계통 변경 CLOSE	계통변경을 위한 CLOSE 신호

선정된 키워드는 Agent의 상호협조를 위해 사용되는 경우는 모두 감안하여 선정하였다. 계전기 Agent 상의 통일된 Keyword를 정의함에 따라 향후 계통보호에 사용될 새로운 보호타입의 Agent 선정 시 사용할 수 있고 추가되는 Keyword의 타입 결정이 용이 할 수 있다.

3. 사례 연구

3.1 테스트 계통

사례 연구는 OCR 에이전트, Switch 에이전트 및 Recloser 에이전트가 각각 2대가 있고 퓨즈가 3개 있는 단순한 배전 계통을 선택하여 테스트 하였다. 그림 3은 사례 계통도이고 표 2는 에이전트의 초기 데이터 이다.

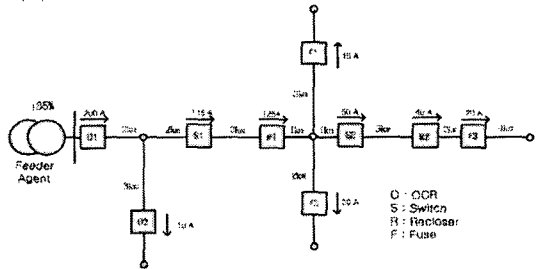


그림 3. 사례 계통도

표 2 에이전트 초기 데이터 [단위 A]

	O1	S1	R1	S2	R2	O2	F1	F2	F3
자기부하	45	20	40	10	20	10	15	20	20
최대부하	200	145	125	50	40	10	15	20	20
PickUp	400	.	350	.	112	20	.	.	.

3.1 고장 발생 시

그림 4은 R2 에이전트 보호 구역인 1 지점에서 고장 발생 시 신호 흐름도 이다. 고장 발생시 에이전트 행동 과정은 다음과 같다.

- R2 에이전트가 고장을 인지하여 OPEN 됨
- R2 에이전트는 상위 에이전트인 S2에게 open-reset 신호를 보냄
- S2는 최대부하전류에서 R2 부하를 빼고 재정점을 한 후 상위에이전트인 R1에게 부하 절감 신호를 보냄
- R1, S1 및 O1도 같은 동작을 수행한다.
- 최상위 에이전트인 O1까지 신호가 도착하면 모든 동작이 끝난다.

표 3은 1 지역에 고장이 발생한 후 각 에이전트들이 재정정한 결과 값을 보여주고 있다.

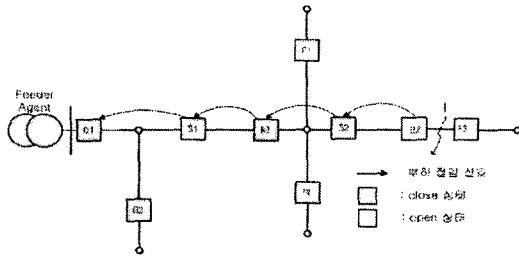


그림 4. 고장 발생 시 신호 흐름도
표 3 고장 발생 후 에이전트 데이터

	O1	S1	R1	S2	R2	O2
자기부하	45A	20A	40A	10A	OPEN	10A
최대부하	160A	105A	85A	10A		10A
PickUp	320A	-	238A	-		20A

3.2 투입 시

그림 5와 그림 6는 3.1에서의 사고가 제거되어 R2 에이전트가 CLOSE 될 때 신호 흐름도이다. 사고가 발생하였을 때는 먼저 open를 하고 주위 에이전트에게 open-reset 신호를 전달했지만, close 경우에는 먼저 close-reset 신호를 보내고 R2가 close 되었을 때 재정정이 필요한 모든 에이전트가 재정정이 끝난 후 실제 close 동작을 하게 된다. 에이전트 동작 수행 과정은 다음과 같다.

- R2 에이전트는 투입되기 전에 주위 에이전트에게 close-reset 신호를 보낸다.
- close-reset 신호에 대한 응답은 상위 에이전트인 S2만 응답하고 그 응답으로 임피던스 값을 보낸다.
- 임피던스를 받은 R2는 하위인 F3에게 보내야 하지만 퓨즈정보는 R2가 가지고 있기 때문에 F3 부하와 R2의 부하를 더하여 최대부하전류를 계산한 후 정정을 한 후 상위 에이전트인 S2에게 최대부하전류를 전달한다.
- S2는 스위치이므로 최대부하전류를 상위 에이전트 R1에게 전달하고 R1 → S1 → O1 → Feeder agent에게 전달한다.
- 최대부하전류를 받은 에이전트들은 각각의 정정률에 따라 재정정을 한다.
- 피더에이전트까지 최대부하전류가 전달되면 모든 에이전트가 재정정이 완료되었기 때문에 피더에이전트는 R2 에이전트에게 투입명령 신호를 보낸다.
- 투입 명령 신호를 받은 R2는 실제 투입을 한다.

표4는 R2 에이전트가 투입 된 후의 결과 값이다.

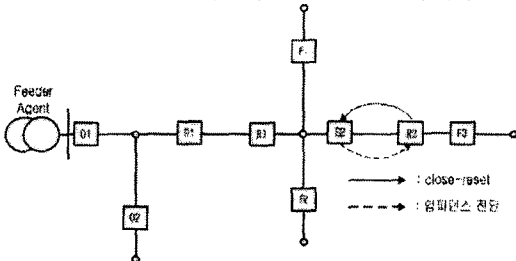


그림 5. R2 CLOSE 시 신호 흐름도 1

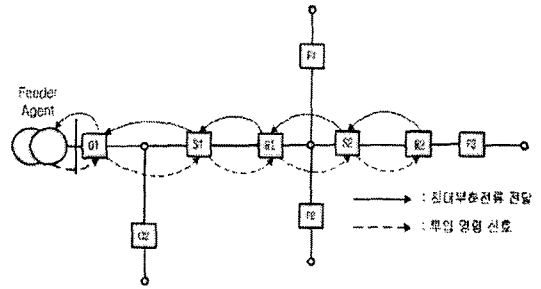


그림 6. R2 CLOSE 시 신호 흐름도 2
표 4 R2 재폐로 후 에이전트 데이터

	O1	S1	R1	S2	R2	O2
자기부하	45A	20A	40A	10A	20A	10A
최대부하	200A	145A	125A	50A	40A	10A
PickUp	400A	-	350A	-	112A	20A

4. 결 론

본 논문에서는 배전계통의 최적 보호를 위해 멀티에이전트 시스템을 적용하여 보호 시스템을 개발하였고 사례 연구를 통하여 멀티에이전트 시스템의 알고리즘을 검증하였다. 이 보호시스템은 현재의 디지털계통기에 자율성, 지능성, 통신기능을 추가하여 Agent로 만들고 이 에이전트의 협조로서 계통 변경 시에도 항상 최적 보호 기능을 감도록 하였다. Integration된 시스템에서 전체 계통의 보호를 위해서는 변경된 계통의 특성에 맞는 복잡한 알고리즘이 필요하고 모든 통신이 중앙에 집중되었으나 본 시스템은 Decentralized된 Agent간의 상호협조로 전체 시스템의 목적인 전체시스템의 최적보호능력을 확보할 수 있으며, 어떤 계통 변경에도 이 알고리즘이 사용될 수 있으므로 계통 변경이 빈번한 배전계통에 적합하다고 할 수 있다. 그리고 연결된 주위의 에이전트끼리만 통신하므로 통신부담이 상대적으로 적다고 할 수 있다. 추후 연구과제는 시간동작상 보호협조를 이룰 수 있도록 알고리즘을 개선하여 현실에 부합되고 보다 보호 능력이 뛰어난 보호시스템으로 개발하는 것이다.

[감사의 글]

본 연구는 과학기술부·한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] A Taxonomy for Autonomous Agents [http://www.msc.memphis.edu/franklin/AgentProg.html]
- [2] Intelligent Software Agent [http://retriever.cs.umbc.edu:80]
- [3] 최중민, "에이전트의 개요와 연구방향", 정보과학회지 제 15권, 제 3호, 1997
- [4] Oren Etzioni and Danniell S. Weld, "Intelligent agents on the internet : Fact, Fiction and Forecast", 1995
- [5] Nagata, T.; Sasaki, H. A multi-agent system for power system restoration, Power Engineering Society Winter Meeting, 2001 IEEE, Volume: 3, 2001 Page(s): 1359 -1364 vol.3
- [6] Azevedo, G.P.; Feijo, B.; Costa, M., Control centers evolve with agent technology, IEEE Computer Applications in Power, Volume: 13 Issue: 3, July 2000 Page(s): 48 - 53