

보안 기능을 고려한 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템

임일형, 임성일, 최면송, 홍석원, 이승재, 권성철, 이성우, 하복남
 영지대학교 전력연구원

Distributed Restoration System Considering Security based on Multi-Agent

Il Hyung Lim, Sung Il Lim, Myeon Song Choi, Sug Won Hong, Seung Jae Lee, Sung Chul Kwon, Sung Woo Lee, Bok Nam Ha
 Myongji University KEPRI

Abstract - 본 논문은 배전계통을 운영함에 있어서 배전자동화 시스템의 가장 중요한 기능인 정전복구 기능에 대해서 현재의 중앙집중 방식에서 분산형으로 보다 효율적인 처리를 위한 알고리즘을 제안하였다. 분산형으로 처리하기 위하여 단말장치들을 Intelligent 기능에 능동 자율 학습 기능을 보완할 수 있는 Multi-Agent 기법을 알고리즘에 도입하였다. 기존의 agent 기법을 응용한 연구는 적용 대상이 불분명한데 반해 본 논문에서는 적용 대상도 분명하고 현재 계통에도 바로 적용이 가능한 알고리즘을 제안하였다. 또한 Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템의 약점이라 할 수 있는 통신망 보안에 대해서 위협사태들을 분석하고, 이 위협들에 대한 보안알고리즘 적용방안을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 알고리즘들을 PC 기반으로 예제계통을 꾸며 그 성능을 입증하였다.

1. 서 론

전력IT 산업의 시작으로 인하여 전력기술만으로 불가능했던 부분들을 통신기술과 병합하면서 많은 문제들을 해결하고 있고 계통운영 효율을 개선해 나가고 있다. 여러 가지 전력IT 산업 분야가 있지만 그 중 배전자동화 시스템은 전력기술의 한계를 통신기술을 통하여 기존의 배전계통 운영 효율을 수십배 극대화 시킨 전력IT 산업의 결과물이다.[1]

배전자동화 시스템은 통신을 통하여 배전계통의 원격 감시 및 제어를 통해 운영하는 시스템이다. 그 중 가장 중요한 기능은 수용가의 안정된 전력 공급을 지원해주는 정전복구 기능으로 사고 발생 시 불필요한 정전구간을 최소화시켜 지속적인 전력공급의 안정화를 가져오고 있다. 이 기능만 해도 배전자동화 시스템 적용 전 평균 53.8분이 걸리던 정전복구를 평균 3.3분으로 줄일 수 있게 되면서 공급신뢰도를 향상시켰다.[2]

하지만 현재의 배전자동화 시스템은 중앙집중 방식의 통신망이 구성되어있기 때문에 배전계통의 수백개의 RTU들로부터 동시에 data를 취득함에 있어서 부하가 걸려 수초간의 delay가 존재한다. 따라서 FI정보를 통해 고장을 감지하는데 있어서도 최종적인 정보를 통해 확실하게 고장구간을 판단하기 위하여 FI 발생 시에도 다른 RTU들의 FI 정보를 확인하기 위하여 오퍼레이터가 기다렸다가 고장구간을 정확하게 판단한다. 이렇게 발생하는 단 몇 초의 지연시간은 수용가에게 있어서 작은 별 피해 없이, 크기는 수억원의 손실을 가져올 수도 있다.

또한 배전계통 정전복구 기능에 대한 agent 기술의 적용에 대한 많은 연구가 국외에도 진행되어 왔다. 하지만 이러한 연구들은 agent 기술의 적용에 대한 대상이 불분명하다는 단점이 있다.[3-4]

따라서 본 논문에서는 agent 기술의 적용 대상을 배전계통의 RTU로 정하고 Multi-Agent 개념을 도입하여 중앙으로 전송되는 data를 가지고 스스로 정보분석을 통해 상호간의 통신을 하여 고장구간을 판단하고 정전복구 기능을 수행하는 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템을 제안하였다.

또한 전력IT 산업에 따른 전력기술과 통신기술의 통합에 따라 발생할 수 있는 가장 중요하고 큰 문제인 통신보안 문제에 대하여 고려를 하였다. Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템은 CDMA 통신을 사용하는데, 자체적으로 정한 프로토콜들이 누설된다면 분산형 정전복구가 아닌 분산형 계통혼란을 가져올 수 있기 때문에 이에 대한 솔루션도 제안한다. 끝으로 본 논문에서는 Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 알고리즘과 보안알고리즘 적용방안의 타당성을 검증하기 위하여 PC를 통해 예제계통을 꾸미고 해당 알고리즘들의 성능을 검증하였다.

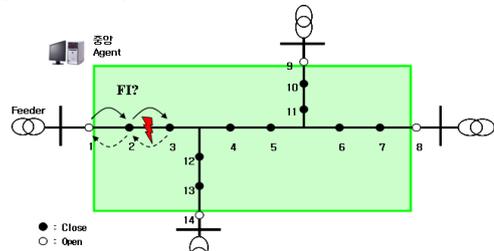
2. Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템

2.1 Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템 알고리즘

2.1.1 고장구간 검출단계

Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템 알고리즘은 크게 두 가지

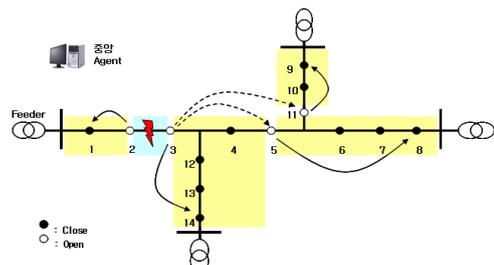
로 나누어 볼 수 있다. 첫째는 <그림 1>과 같은 고장구간 검출단계이다. 2번과 3번 node 사이에 고장이 발생을 하면 고장전류는 1번과 2번을 통해 흐를 것이고 FI 세팅시간이 지나면 FI 정보가 발생한다. 또한 1번을 Recloser가 가졌을 때 재폐로 시간 후에 trip이 되어 1,9,8,14에 걸친 정전구간이 발생할 것이다. Agent 개념이 도입된 이 node들 RTU들은 FI가 발생한 RTU들은 하단의 RTU에게 연락을 취하여 FI 경험유무를 묻고, FI가 발생한 2번과 발생하지 않은 3번 사이의 정보교환이 끝나면 스스로 2번 RTU와 3번 RTU들이 자신들 사이의 구간이 고장임을 쉽게 찾을 수 있다.



<그림 1> Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템의 고장구간 검출

2.1.2 분산형 정전복구 단계

고장구간을 검출하여 2번과 3번 RTU들이 자신들의 고장임을 인지하여 구간을 분리시키면, 불필요 정전구간에 전력을 공급하기 위한 정전복구 기능을 수행하게 된다. 사전에 각 구간별 고장에 따른 복구 solution을 학습한 agent 기법이 적용된 RTU들은 고장구간의 하단 RTU가 복구의 주체가 되어 각 RTU들에게 <그림 2>와 같이 복구 명령을 전송한다. 실현 화살표는 close 명령 전송이고 점선 화살표는 open 명령 전송이다.



<그림 2> Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템의 정전복구

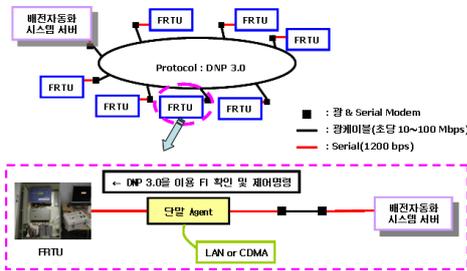
배전자동화 시스템에서 <그림 2>와 같이 복구를 수행하려면 스위칭 동작 소요 시간이 정전구간 판단 분리까지 포함해서 총 8회의 스위칭 동작시간이 소요되지만, Multi-Agent 기반 분산형 복구 시스템은 RTU들이 자율적으로 상호간의 정보교환과 명령을 통해 병렬적인 통신방법으로 4회 정도의 스위칭 동작 시간이 소요된다. 예를 들면 2번이 1번에게 명령을 전송할 때 동시에 3번이 5번에게 명령을 전송한 후, 3번이 11번에게 명령을 전송할 때 5번은 8번에게 명령을 동시에 전송한다. 따라서 분산형 정전복구 시스템은 기존의 배전자동화 시스템의 정전복구 기능보다 정전복구 소요시간이 그만큼 짧아진다.

2.2 배전자동화 시스템의 적용방안

본 논문에서는 agent 기술을 RTU라는 대상을 가지고 알고리즘을 개발하였다. 현재 배전지능화 과제에서 개발 중인 intelligent RTU의 내부에 이 알고리즘이 들어가면 보다 향상된 정전복구 능력을 가진 배전지

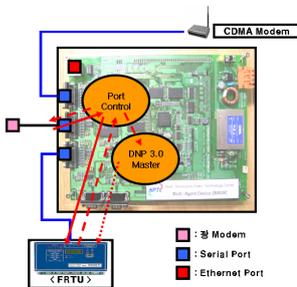
능화 시스템이 될 것이다.

하지만 현재 이미 설치되어있는 배전자동화 시스템의 RTU들은 serial port만 지원되는 기기들로, 현재까지 약 3만대가 설치되어 있다. 이들의 수명은 대략 10년 혹은 그 이상이 될 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템을 현재 배전자동화 시스템에 바로 적용이 가능하도록 Agent 단말장치(MASX)를 이용하여 적용하는 방안을 제시한다. 첫 째로 계통적용 구조이다.



<그림 3> 단말 agent 장치의 계통적용 구조

<그림 3>과 같이 Agent 단말장치는 RTU와 FEP간의 중계통신망 모델 사이에 위치한다. 중앙 서버로부터 오는 메시지는 그대로 통과시키고 RTU로부터 응답 메시지는 통과시키면서 감시를 한다. 이렇게 하면 새로운 RTU로 교체하지 않고도 RTU를 agent화를 시킬 수 있다. 둘째는 프로토콜을 포함하는 통신구조이다.



<그림 4> 단말 agent 장치의 통신적 구조

단말 agent가 RTU의 정보를 확인하거나 RTU를 통해 자동화제거기의 조작을 하려면 DNP 3.0 프로토콜을 <그림 4>와 같이 포함하고 있어야 한다. 또한 현재의 serial을 통한 1:1 통신방식을 감안한다면 단말 agent들 간의 통신할 수 있는 통신망이 필요하다. 본 논문에서는 전국 어디에서나 통신이 가능한 CDMA Modem을 사용하는 방식을 제안한다. 이는 Ethernet으로 적용도 가능하고 그 외의 통신을 사용하더라도 무방하나, 연구 사례연구를 위하여 CDMA Modem 사용방식을 채택하였다.

3. 분산형 정전복구 시스템 보안알고리즘 적용방안

보다 발전된 통신기술을 사용하고 통신에 대한 의존도가 높아지면서 중요하게 떠오르고 있는 것이 전력계통 통신망의 security이다. 특히 배전계통의 통신망은 수용가와 직접 연결되어있다는 특징 때문에 특히 더 중요하다. Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템의 자체 통신망이 CDMA Modem 또는 Ethernet 통신을 사용하여 정전복구의 효율을 높이고 있다. 하지만 누구든 마음만 먹으면 이 통신망에 접근이 가능하기 때문에 자칫 정전복구가 아닌 정전을 일으킬 수 있다. 그만큼 보안이 중요하다. 본 논문에서는 이러한 보안 위협에 대해 간단히 살펴보고 그 방안을 제시한다.

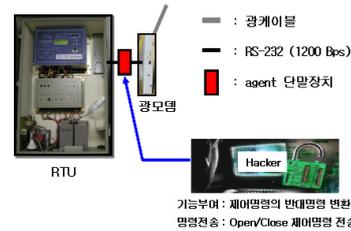
3.1 Security에 대한 국내의 동향

국내의 security에 대한 관심도는 증가하고 있다. 하지만 미국과 유럽에서는 이미 2000년대 초반부터 security에 대한 위협을 인지하고 전력계통 통신망에 대한 security 연구를 진행해나가고 있다. 미국에서는 conference에 세션을 따로 만들거나 tutorial을 개최하고 나라에서 security에 대한 내용의 법안이 만들어지기도 하였다. 유럽에서는 IEC에서 62210이라는 기술보고서를 통해 보안위협에 대해 언급하고 IEC 62351이라는 문서를 통해 IEC 61850, 60870, DNP 3.0 통신에 대한 security 표준화 작업을 수행하고 있다.

3.2 분산형 정전복구 시스템 통신망의 보안 위협

배전계통 통신망의 보안 위협은 크게 두 가지로 나누어볼 수 있다. 특정 목적을 위한 패킷의 입의수정 및 생성에 대한 위협이다. <그림 5>와 같은 시스템이라면 악의적 목적을 가진 해커가 특정 구역을 정전시킬

수 있다. 이 상황에서 오퍼레이터는 영문도 모르고 속수무책이 되어 계통의 혼란을 가져올 수도 있다.

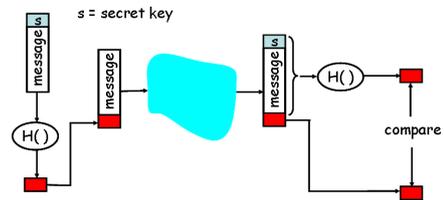


<그림 5> 단말 agent 장치의 보안 위협

3.3 분산형 정전복구 시스템을 위한 보안 알고리즘 적용방안

본 논문에서는 단말 agent 장치들의 보안위협에 대하여 새로운 암호화 알고리즘이 아닌 이미 통신분야에서 인증되어 사용되고 있는 암호화 알고리즘들을 가지고 어떤 암호화 알고리즘을 어떻게 적용할 것인지에 대한 적용 방안을 제시한다.

배전계통 운영기기의 MCU(Micro Controller Unit)의 연산처리능력이 빠르지 않기 때문에 비교적 연산량이 많이 필요한 RSA와 같은 비대칭 알고리즘의 사용은 빠른 응답을 요하는 시스템에서는 부적합하다. 또한 상호간의 전송 메시지 은닉에 대한 필요성이 없기 때문에 본 논문에서는 인증의 문제로 결론을 내린다. 따라서 인증에 주로 많이 사용되는 hash 알고리즘의 적용을 <그림 6>와 같이 제안한다.



<그림 6> Hash 알고리즘 적용방안

4. 사례연구

2장과 3장에서 제안한 알고리즘들을 실험실 환경에서 <그림 1>과 같은 예제계통을 가지고 <그림 2>와 같은 정전복구 결과를 내도록 꾸며 성능을 test한 결과 Ethernet 기반의 경우 2초 이내, CDMA Modem 기반의 경우 45초 이내로 모든 복구가 완료되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 agent 기반 연구들이 명확한 대상 없이 알고리즘만 제시했던 연구들에 비해 RTU라는 특정 대상에 agent 기술을 적용시킨 Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 알고리즘을 제시하였다. 또한 현재 배전자동화 시스템에 적용이 가능하도록 적용방안도 제시하였다. 끝으로 분산형 정전복구 시스템에서 취약점이 될 수 있는 보안위협에 대하여 인증의 방식으로 hash 알고리즘을 적용하여 통신보안을 하는 적용방안을 제시하였다. 실험실에서 예제계통을 대상으로 그 성능을 입증하였다.

감 사 의 글

본 연구는 산업자원부의 전력IT IDMS(Intelligent Distribution Management System) 과제와 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

[참 고 문 헌]

[1] 임성일, 임일형, 최면승, 이승재, 권성철, 하복남, "배전자동화 시스템의 복구기능 향상을 위한 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템", 대한전기학회 논문집, 56권 4호, 660-667, 2007.4
 [2] Jung, Geum-young Oh, Jae-hyoung Lee, Sue-muk Lee, Kook-No Kweon, Hyeok-Ryool, "Advanced Distribution Automation System of KEPCO", APAP2007, P526, 2007
 [3] Nagata, T., Sasaki, H., "A multi-agent approach to power system restoration", Power Systems, IEEE Transactions on , Vol 17, 457-462, 2002
 [4] Nagata, T., Tahara, T., Fujita, H., "An agent approach to power system distribution networks", ISCAS 2005 , Vol 5, 4737-4742, 2005