

배전자동화 시스템에서의 Multi-Agent System 적용방안

임일형, 최면송, 이승재
명지대학교

Multi-Agent System Application Method in Distribution Automation System

Il Hyung Lim, Myeon Song Choi, Seung Jae Lee
Myongji University

Abstract - 본 논문은 전력IT 분야에 새롭게 큰 관심이 집중되고 있는 Multi-Agent System 적용에 대하여 배전자동화 시스템에서의 적용방안을 제안하고 있다. IBBB Working Group에서 Power System에 적용되는 Multi-Agent에 대한 연구를 진행하였다. 이 내용을 기반으로 배전자동화 시스템에서는 어떻게 Multi-Agent System이 적용되어야 하는지에 대한 방법을 제안하고 있다.

1. 서 론

최근 들어 전력분야에서 통신기술을 이용한 전력IT라는 이름으로 새로운 전력자동화 시스템에 대한 연구와 관심이 매우 높아져왔고, 연구도 활발히 진행되어왔다. 특히 최근 10여 년간 전력분야에 Multi-Agent의 개념을 도입하는 연구들이 진행되어왔다.

하지만 Multi-Agent의 개념은 컴퓨터공학에서 처음 만들어 진 것이고, 이에 대한 정확한 정의는 적용하는 사람마다 약간씩의 견해 차이를 보이고 있다.

특히 컴퓨터공학 분야가 아닌 타 분야에서 이 개념을 적용할 때에는 자기 자신 나름의 방식대로 정의하여 개념을 정의하는 경우가 다분하다. 이러한 경우는 전력분야에서도 마찬가지이다.

이러한 문제들 때문에 IEEE PES의 Intelligent System Subcommittee에서는 Working Group을 만들어서 전력분야에서의 Multi-Agent System에 대한 정의에 대하여 연구하여 발표하였다[1-2].

하지만 이 연구 결과는 전력분야에 대한 전체적인 큰 부분에 대하여 Multi-Agent의 개념만을 정의하고 있다. 이러한 개념을 기반으로 발전, 송전, 배전 분야에서 세밀하게 어떻게 적용하고, 어디에 적용할 것인지, 그리고 과연 적용과정과 결과가 과연 Multi-Agent의 개념을 따른 것인지에 대한 연구는 좀 더 세밀하게 진행되어야 한다고 본다.

따라서 본 논문에서는 IEEE PES의 Intelligent System Subcommittee에서 제안한 Multi-Agent의 개념을 바탕으로 배전자동화 시스템에는 Multi-Agent System이 어떤 개념으로 어떻게 적용되어야 하는지, 그리고 어디에 적용이 되어야 할지에 대하여 방법을 제안하려고 한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 Multi-Agent System에 대한 개념을 살펴보고, 이를 적용해온 사례들을 분석하여 장단점을 살펴본다. 3장에서는 이러한 사례들의 장단점을 토대로 보다 효율적이고 적합한 Multi-Agent System의 적용 방안을 제안하고 있다.

2. Multi-Agent System for Power Engineering Application

2.1 Multi-Agent System의 개념

모든 분야에 컴퓨터가 도입되면서 모든 시스템이 자동

화되고, 원격화 되어왔다. 이에 컴퓨터 공학 분야의 새로운 기술들이 응용되어 다양한 분야에 활용되고 있다. 특히 지능형 기술로부터 발전한 다양한 agent들의 집합인 Multi-Agent의 도입이 각광받고 있다.

전력분야에서도 Multi-Agent의 도입에 대해서 10여 년 이상 연구가 지속되어오고 있다. 하지만 기술의 발달과 현장 적용에 따른 신뢰도 확보 때문에 실용화는 아직 진행되고 있지는 않다.

전력분야에는 발전, 송전, 변전, 배전 등 여러 세부 분야로 나누어지는데, 각 분야에서 Multi-Agent 기법을 도입한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 이러한 개념을 도입하기 위해 자기 나름대로의 Multi-Agent에 대한 정의를 내리고, 정의된 개념에 따라 연구결과를 발표하여왔다.

하지만 전력분야 내에서 조차 정의되는 Multi-Agent에 대한 명확한 정의는 되어있지 않다. 이에 IEEE PES의 Intelligent System Subcommittee에서는 Working Group을 만들어 통일된 정의를 내렸다.

우선 간략하게 Multi-Agent를 정의하면 두세 개 이상의 agent를 또는 intelligent agent들의 집합이라고 정의하고 있다.

우선 agent는 어떤 환경에서 실존하며, 환경에 따라 자율적인(autonomous) 반응을 하는 것이라고 정의된다. Intelligent agent는 agent의 기본적인에 확장적인 개념을 담고 있는 것으로 탄력적인(flexible) 자율성(autonomy)을 가지는 것이라고 정의되어있다.

특히 intelligent agent는 다음 3가지의 특성을 가지고 있어야 한다. 그 세 가지는 Reactivity, Pro-activeness, Social ability이다. 간략하게 각각의 특성을 요약해보면 Reactivity는 환경에 따라 변화한다는 특징이다. Pro-activeness는 능동적인 태도를 가진다는 특징이다. 예를 들면 통신이 끊어지면 이를 중앙에 알려 통신을 다시 유지시켜 주도록 요청하는 자신성을 가진다. 끝으로 Social ability는 상호협조가 가능한 특징이다. 여러 다양한 다른 형태의 hardware나 software들 간의 상호협조가 가능해야 하는데, 이는 ACL(Agent Communication Language)을 통해서 가능하다.

이러한 정의를 통해서도 쉽게 알 수 있지만 기본적으로 독립적인 특성과 자율적인 특성, 그리고 다른 특성의 hardware나 software간의 상호간의 협조가 가능하도록 통신이 연결되어있는 시스템이라고 할 수 있다.

그 외에도 기본적으로 갖추어야 할 특징들이 있다. platform이 설계되어야 하며, toolkit이 만들어져야 한다. 또한 개념적으로만 설명되어있는 intelligent agent의 디자인이 설계되어야 하고, 통신 프로토콜이 정의되어야 한다. 또한 data의 표준화를 통해서 상호간의 협조가 가능해야 한다. 그리고 통신에 많은 의존도가 높고, 자기 독립적인 판단과 명령 권한이 있으므로 통신 보안에 대한 문제는 매우 중요시 되어야 한다. 끝으로

이러한 Multi-Agent System은 이동성이 기본적으로 제공되어야 한다.

이러한 특성들을 가지는 여러 agent 또는 intelligent들이 한꺼번에 들어있는 시스템을 Multi-Agent System이라고 정의하고 있다.

2.2 Multi-Agent System 적용의 기존 연구 분석

Multi-Agent System의 전력분야 적용에 대한 연구는 전세계적으로 많은 연구가 진행되어 왔다. 하지만 이러한 연구들은 실용화되는 거리가 먼 연구들이 많으며, 본 논문에서는 이러한 연구들에 대한 분석을 통해 전력분야, 특히 배전계통 운영을 위해서는 어떤 문제점이 있고 어떻게 해결하면 좋을 지에 대해서 제안할 것이다.

Multi-Agent의 적용에 대한 많은 연구들은 두 가지 특성을 가지고 있다. 첫 번째는 Multi-Agent의 적용 대상이 불분명하거나 현실 적용이 어렵다는 점이다. 두 번째는 Multi-Agent를 적용한 알고리즘에서 대부분의 동작은 BUS, switch, load 등 계통 내의 장비들이 동작을 하는 알고리즘인데, 자세히 살펴보면 판단과 제어는 결국 중앙에서 모든 것을 하고 있다[3].

이러한 연구들은 Multi-Agent를 전력분야에 적용한 초기의 연구라는 장점이 있다. 그리고 나름대로의 알고리즘의 타당성도 검증하고 있다. 또한 만약 현실화 된다면 전력분야의 운영에 있어서 큰 효율을 가져오게 될 것이다.

하지만 적용대상에 대한 문제가 가장 크다고 볼 수 있다. BUS를 agent화 시키고 switch를 agent화 시킨다고 했을 때의 개발 비용 및 신뢰도 면에서 문제가 고려되지 않았고, 통신은 어떻게 할 것인지, 프로토콜은 어떻게 할 것인지 등에 대한 세밀한 고려사항은 배제되어 있다. 단지 이런 환경이 된다면 이라는 가정을 가지고 알고리즘을 만들어내었다. 특히 부하는 어떻게 agent화 시킬지는 쉽게 감이 잡히지는 않는다[4].

만약 그러한 것들이 가능하다 해도 정작 agent화 된 장비들이 독립적인 판단을 하고 있지는 않은 것 같다. 어떠한 판단을 하려면 계통의 데이터를 계속하여 어떠한 판단을 하든지, 다른 agent들로부터 정보를 얻어야 하는데 대부분의 정보가 의한 판단은 중앙에서 수행하는 것과 같이 되어있다.

이에 본 논문에서는 이러한 Multi-Agent들의 전력분야에 적용된다고 할 때, 특히 배전자동화 시스템 기반의 배전계통 운영을 위해서는 Multi-Agent System의 적용 대상과 범위에 대하여 다루고 있다.

3. 배전자동화 시스템에서의 Multi-Agent System

3.1 Multi-Agent System의 적용을 위한 배전자동화 시스템의 환경

앞서 살펴본바와 같이 Multi-Agent System이 적용되려면 기본적인 물리적 시스템 환경이 갖춰져 있어야 한다. 우선 상호간의 정보교환 및 제어가 가능하도록 P2P 기반의 통신망이 갖춰져 있어야 한다.

Multi-Agent System은 자율적인 독립적 판단에 근거하므로, 이를 판단할 수 있도록 계속데이터가 필요하다. 계통의 상황에 맞추어 운영되어야 하므로 계속데이터를 취득할 수 있어야 한다.

중앙 중심이라면 굳이 Multi-Agent의 개념이 포함되지 않아도 된다. 좀 더 큰 그림을 그리기 위해 중앙의 서버간의 통신을 통해 상호연계로 인한 계통운영이 아니라면 중앙의 간섭은 최소화 되어야 한다.

이러한 특성들을 미루어볼 때 Multi-Agent 시스템이 적용되기 위한 배전자동화 시스템의 환경은 많은 부분에서 충족시켜지고 있다. 이미 중앙의 DAS 서버와 단말장치인 FRTU 또는 Recloser간의 통신망이 구축되어있고, FRTU와 Recloser는 각각 계통의 데이터를 취득하여 중앙의 DAS 서버로 전송해주는 역할을 하고 있다.

하지만 아직 Multi-Agent의 개념이 적용되기 전이라 완벽한 환경을 가지고 있지는 않다. 우선 중앙과 단말간의 1:1 통신이 이루어지고 있으며, P2P 기반의 통신망은 구축되어있지 않다.

또한 중앙에서 모든 정보를 취득하여 판단하고, 단말에 각각 필요한 명령을 전송하는 구조로 되어있다. 따라서 중앙 집중형태이다.

또한 Multi-Agent가 적용되었을 때의 완전한 자율적 판단에 의한 운영을 맡기기에는 신뢰성이 매우 부족하다. 전력계통을 운영함에 있어 1%의 오류 가능성에 따라 계통의 혼란이 야기될 수 있기 때문에, 이러한 신뢰성 검증에 대한 부분도 필요할 것이다.

3.2 배전자동화 시스템에 Multi-Agent System을 적용을 위한 방법

3.1절에서 살펴본바와 같이 배전자동화 시스템은 Multi-Agent System을 적용하기 위한 좋은 구조를 가지고 있으나, 바꾸어야 할 부분도 많이 존재한다. 이러한 환경적 문제를 고려한 적용방안을 제안한다.

Multi-Agent System의 가장 큰 장점은 융통성있는 자율성이라고 할 수 있다. 중앙의 간섭 없이 환경을 고려하여 적절한 대처를 자율적으로 수행하는 것이다. 이를 위해서는 환경적 면과 구조적 면을 제안한다.

우선 환경적인 면을 살펴보면, 우선 적용대상이 분명해야 한다. 앞서 살펴본바와 같이 BUS나 부하를 agent화 시킨다는 것은 가능하겠지만 적용이 어려울 뿐만 아니라, 활용할 수 있는 데이터에 한계가 존재할 것이다. 따라서 본 논문에서는 배전계통 내에 설치되어있는 FRTU와 Recloser에 Multi-Agent의 개념을 도입할 것을 제안한다.

이들은 이미 통신기능을 탑재하고 있고, 각각이 계통의 상황을 계속하기 때문에 계통 상황의 판단이 가능하다. 또한 연결되어있는 자동화스위치의 제어권함을 가지고 있기 때문에 가장 적합한 장치라고 할 수 있다.

그리고 가장 중요한 것은 통신망이 바뀌어야 한다. 현재의 통신망은 1:1로만 통신이 가능하다. 이러한 구조가 지속되어야 한다면 배전자동화 시스템의 효율 면에서 만 따져볼 때 Multi-Agent를 도입하는 것보다 중앙의 DAS 서버에 intelligent를 적용하는 것이 훨씬 더 용이하고 수월할 것이다.

하지만 배전계통은 수용가와 직접 연결되어있는 구조로써, 다른 전력분야보다 직접적이고 복잡한 구조로 되어있기 때문에, 중앙 DAS 서버의 intelligent화 보다는 Multi-Agent System을 적용하는 것이 훨씬 더 효율적이 될 것이다.

<표 1> 2006년까지의 Multi-Agent 관련 논문 편수

구분	Conference	Journals
Protection	2	5
Modeling & Simulation	7	16
Distributed Control	11	15
Monitoring & Diagnostics	6	6

이러한 주장은 <표 1>에서 나타내는 기존의 Multi-Agent 개념이 적용된 논문들의 분야구분 표를 보면 쉽게 알 수 있다. 가장 많은 것이 분산 제어이다. 이는 복잡하면 복잡할수록 Multi-Agent에 대한 적용이 필요하다는 것을 보여주고 있다.

따라서 본 논문에서는 1:1 통신이 아닌 n:n 통신이 가능하도록 P2P 기반의 통신망으로 배전자동화 시스템의 통신망이 변경되는 것을 제안한다. 방법은 어렵지 않

다. 현재 광-to-serial로 되어있는 모뎀을 광-to-LAN 모뎀으로 바꾸고, 장비에 LAN converter를 연결하거나 배전자동화 시스템에서 개발한 LAN port를 지원하는 장비들로 교체하면 된다. 이에 따른 알고리즘은 이 장비들의 firmware의 업데이트를 통해서 적용이 가능해진다.

우선 이러한 환경이 갖추어진다면 앞서 설명한 기본적인 요구사항을 제공되어야 하는 Multi-Agent System의 기본 기능들은 새로운 연구를 통해 쉽게 정의될 수 있다. 배전자동화 시스템 기반의 platform 설계, 통신프로토콜 정의, data base의 표준화, 그리고 통신망에 대한 security 적용 등이다.

Platform 설계는 배전자동화 시스템 자체의 platform과 특성에 준하여 개발되기 어렵지 않을 것이고, data base는 새롭게 변화하는 IEC 표준화에 따라 CIM 기반으로 설계되면 된다. 그리고 통신프로토콜은 LAN 기반의 통신망이 구축된다면 선택의 폭은 매우 넓고 다양해질 것이고, 유력한 것이 IEC 61968/61970 등이다. 앞으로 보안은 배전자동화 시스템 통신망에 적용되는 국가기간망이라 아무나 할 수 없다. 하지만 보안 방법의 선정 시에는 배전자동화 시스템의 특성에 따른 효율적인 보안 기술을 고려하면 효율적인 시스템이 만들어질 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 전력분야에 Multi-Agent System 적용을 위해 IEEE PES의 Intelligent System Subcommittee에서는 Working Group에서 정의한 Multi-Agent System에 대한 개념을 알아보았다.

이 개념에 근거하여 기존에 연구되어왔던 Multi-Agent System의 적용 연구들의 장단점을 분석하였다.

분석된 결과를 바탕으로 배전자동화 시스템에 Multi-Agent System이 적용되기 위한 구체적인 적용 대상 및 적용방법, 그리고 필요한 세부사항들의 대략적인 방법까지 세밀하게 제안하였다.

이러한 지속적인 연구를 통해 Multi-Agent System 기반의 배전계통 운영 기술은 머지않아 현실화가 될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 에너지자원 인력양성 사업의 전력IT 인력양성사업 지원으로 수행되었으며(전력IT 인력양성 사업센터), 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

[참 고 문 헌]

- [1] McArthur, S.D.J., Davidson, E.M., Catterson, V. M., Dimeas, A.L., Hatziaegyriou, N.D., Ponci, F., Funabashi, T., "Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications-Part I: Concepts, Approaches, and Technical Challenges", Power Systems, IEEE Transactions on, Volume 22, Page(s): 1743 - 1752, Nov. 2007
- [2] McArthur, S.D.J., Davidson, E.M., Catterson, V. M., Dimeas, A.L., Hatziaegyriou, N.D., Ponci, F., Funabashi, T., "Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications-Part II: Technologies, Standards, and Tools for Building Multi-agent Systems", Power Systems, IEEE Transactions on, Volume 22, Page(s):1753 - 1759, Nov. 2007
- [3] T. Nagata, H. Sasaki, "A Multi-Agent Approach to Power System Restoration", IEEE Transactions on, Volume 17, Page(s):457-462, May. 2002
- [4] T. Nagata, H. Nakayama, M. Utatani, and H. S

asaki, "A Multi-Agent approach to power system normal operation", IEEE General Meeting, Chicago, Volume 3, Page(s):1582-1586, Jul. 2002