

EMTP-MODELS를 이용한 Multi-Agent System 기반의 동기탈조 검출 알고리즘 구현

論 文

57-4-1

Implementation of Out-of-Step Detection Algorithm based on Multi-Agent System using EMTP-MODELS

李秉炫* · 呂相敏† · 李瑜珍** · 成魯珪** · 金喆煥***

(Byung-Hyun Lee · Sang-Min Yeo · You-Jin Lee · No-Kyu Sung · Chul-Hwan Kim)

Abstract - The protection against transient instability and consequent out-of-step condition is a major concern for the utility industry. Unstable system may cause serious damage to system elements such as generators and transmission lines. Therefore, out-of-step detection is essential to operate a system safely. Also, a multi-agent system is one that consists of a number of agents, which interact with one another. Multi-agent systems(MAS) can offer the flexibility and the adaptability to the previous algorithm. In this paper, the detection algorithm of out-of-step is designed by multi-agent system and implemented by EMTP-MODELS. To verify performance of the proposed algorithm based on multi-agent system, simulations by EMTP have been carried out.

Key Words : Multi-Agent System, Agent, Out-of-step detection, EMTP

1. 서 론

전력 부하의 성장은 전력을 수송하는 전력 계통망을 복잡하게 만들어 여러 가지 중대 사고가 초래할 가능성이 과거보다 증가하게 되었다. 이는 필연적으로 전력계통의 안정도를 저해하는 요소로 작용하므로 전력계통 전체의 안정도의 중요성은 더욱 커지고 있다.

동기탈조 현상이란, 일반적으로 전력계통은 평형을 유지하지만, 부하변동, 계통의 고장, 스위칭 현상 등의 갑작스런 외란에 의해서 계통의 평형상태가 깨지면서 일부 시스템의 위상각이 커져 동기가 불일치되고, 이에 따라 선로 양단의 계통 전원이 동요하게 되는 현상을 말한다. 고장과 같은 계통의 외란에 의해 발전량과 부하량 간의 평형 상태가 깨지게 되면 발전기와 전동기 간의 입출력 차가 생기고 이 차에 의해서 회전자가 가속하고 감속하면서 새로운 평형점에서 운전하게 된다. 그러나 회전자는 발전기나 전동기의 관성에 의해서 평형점으로 빠르게 안정해지지 않고 한동안 평형점을 중심으로 상차각이 상하로 동요하게 된다. 따라서, 동기탈조 현상이 발생하는 동안의 전압, 전류는 전원의 위상차에 의해서 진동하며, 위상차의 변화 정도에 따라 stable swing 과 unstable swing으로 구분할 수 있다. 계통 안정도에 크게 영향을 미치는 동기탈조를 검출하기 위한 기존의 동기탈조 검출 알고리즘은 피상 임피던스 영역 통과만을 고려하여

검출하고 있기 때문에, 정확한 계통을 고려한 정확한 검출이 어렵고, 또한 빠른 계통의 동요에는 정확히 검출하지 못하여 계전기가 오동작 또는 부동작하는 경우가 발생하고 이에 따라, 계통의 안정도를 더욱 악화시키는 문제점이 있었다. 따라서, 계통의 과도 안정도 평가를 통해, 외란이 계통에 미치는 영향을 고려하여 적절한 보호 동작을 수행하는 계통의 안정도를 고려한 동기탈조 검출이 필요하다[1-3].

멀티에이전트 시스템이란, 자율적으로 동작하는 에이전트들로 구성되어, 에이전트 간의 상호작용을 통하여 어떠한 목적을 달성하기 위해 구축된 시스템이다. 멀티에이전트 시스템은 보호 계전 시스템에서 요구되는 자동적인 계전기의 보호 동작, 계통 변화에 효과적으로 유연하게 대처할 수 있는 계전기의 적응성, 그리고 보호 협조 시에 고려될 수 있는 계전기의 사회성(Social ability)을 만족시킬 수 있는 특징을 갖고 있다[4].

본 논문에서는 멀티에이전트 시스템의 특징을 도입하여 보다 능동적이고 지능적인 멀티에이전트 기반의 동기탈조 검출 알고리즘을 제안하고자 한다. EMTP-MODELS를 사용하여 멀티에이전트 기반의 동기탈조 검출 알고리즘을 구현하고, 모델 계통에 적용하여 모의를 수행할 것이다.

2. Impulsive Frequency

전압 신호의 주파수 편이를 이용한 언급한 동기탈조 검출 알고리즘은 각 주파수를 순시 전압 신호를 이용하여 추정한다[5]. 사용되는 추정 방법은 어떤 짧은 주기 동안에 신호의 페이저 값이 시간에 따라 변화하는 정도를 이용한다. 이러한 방법에 의해 계산된 주파수를 순시 주파수(instantaneous frequency)라 한다. 이 방법은 전력 계통의 동적인 변화에 뛰어난 응답 특성을 갖는다. 그러나 순시 주파수 추정 방법은 측정을 위한 짧은 주기 동안에, 어떠한 외란에 의해 변화

* 學生會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 工碩

† 교신저자, 正會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 博士課程

E-mail : harc@chollian.net

** 學生會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 碩士課程

*** 終身會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2007年 9月 7日

最終完了 : 2008年 1月 9日

한 입력 신호의 위상 혹은 크기의 변화에 대해 민감한 반응을 보인다. 이러한 일시적인 변화는 발전기 회전자의 속도와 무관하기 때문에, 순간적인 주파수 변화는 제어 혹은 보호 방법에서 고려되지 않아야 한다.

따라서 본 논문에서는 고조파 성분을 이용한 과도 상태 검출 기법[6-7]을 이용하여, 고조파 성분의 합이 미리 설정된 threshold 값을 초과하면 blocking signal을 생성하는 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 방법에서 계산되는 고조파 성분은 threshold 값이 주파수 변화의 민감도에 영향을 미치지 않으며, 전력 계통의 과도 상태 검출에 뛰어난 파라미터이기 때문에 신뢰성이 높다.

다음 식의 DFT 변환 공식을 이용하면 순시 전압 신호의 고조파 성분을 구할 수 있다.

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) W_N^{nk} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1)$$

여기서, $W_N = e^{-j(2\pi/N)}$ 이며, n 은 고조파 성분의 차수를 나타낸다.

그리고 고조파 차수는 샘플링 주기의 1/2로 제한된다. 다음 식은 고조파 성분 크기의 합이다.

$$H_{sum} = \sum_{k=2}^{N/2} |X(k)|$$

3. Agent 이론을 이용한 동기탈조 검출 알고리즘의 구현

3.1 동기탈조 검출 에이전트의 구현 조건

상술된 알고리즘을 에이전트(Agent)로 구현하기 위해서는, 먼저 에이전트의 개념에 부합하는 조건을 갖추고 있어야 한다. 따라서, 에이전트가 동작할 수 있는 환경은 접근이 용이해야 하며, 에이전트는 발전기의 전압 신호를 자동적으로 인식하고, 자동적으로 조건 판단을 할 수 있어야 한다[4]. 판단 과정에서 필요한 것은 다음과 같다.

- ① 전압 신호를 이용하여 각 주파수와 각 주파수의 변화율을 계산할 수 있어야 한다.
- ② 각 주파수의 변화율을 저장함으로써 변화율의 현재 값과 이전 값을 가지고 있어야 한다(혹은 값 대신에 값에 대한 부호 판정 결과를 가지고 있어도 가능하다).
- ③ ②번 과정에서 저장된 값을 이용하여 동기탈조를 판정할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 발전기의 전압 신호는 EMTP MODELS에 발전기 전압 신호를 입력시킴으로써 자동적으로 인식하도록 구현하였으며, EMTP-MODELS 내부에 조건 판단을 위한 알고리즘을 삽입하여 Agent 기능을 구현하였다.

3.2 Intelligent 동기탈조 검출 에이전트의 구현 및 통신

기존의 Agent 개념에서 Intelligent를 추가로 고려할 경우, Agent가 Intelligence를 갖는 조건은 다음과 같다[4].

- ① Reactivity : Intelligent Agent는 그들이 속한 환경을 지각할 수 있고, 그들의 설계 목적을 충족시키기 위하여 시간에 대한 환경의 변화에 응답할 수 있다.
- ② Pro-activeness : Intelligent Agent는 그들의 설계 목적을 충족시키기 위하여 술선함으로써(by taking the initiative) 목표 지향적 행동(goal-directed behavior)을

보일 수 있다.

- ③ Social Ability : Intelligent Agent는 그들의 설계 목적을 충족시키기 위하여 다른 에이전트들과의 상호 동작을 할 수 있다.

상술된 내용 중 목표 지향적 행동은 사람이 목표를 이루기 위하여, 이전 상태와 이후 상태를 포함하는 어떠한 과정을 서술하는 것과 유사하다. 본 논문에서는 목표를 동기탈조 검출, 그리고 과정을 검출 알고리즘에 대응시킴으로써 Pro-activeness의 특성을 만족시켰다고 가정하였다. 또한 다른 조건들을 만족시키기 위해서, 동기탈조 검출 알고리즘에서 수행되는 역할을 맡는 에이전트가 다른 에이전트들과 상호 동작을 통해서 동기탈조를 판단하거나, 자신의 판단 결과를 타 에이전트에게 알릴 수 있는 형식을 갖도록 설계한다.

상술된 설계 방법과 3.1절에서 서술된 구현 조건을 고려하여 Intelligent 동기탈조 검출 에이전트의 내부 구성 요소를 서술하면 다음과 같다.

- ① Sensor : 감지 장치를 의미하며, 여기서는 전압 신호의 입력에 반응하여야 함을 의미한다.
- ② Rule base : 기본적인 수학 공식 혹은 규칙을 의미하며, 여기서는 전압 신호를 처리하기 위한 연산 방법 및 통신 규칙을 제공한다.
- ③ Memory : 연산된 값 혹은 통신 내용을 저장하는 기능을 담당한다.
- ④ Detection Algorithm : 동기탈조 검출 알고리즘 방법이 여기에 포함된다.
- ⑤ Communicator : 다른 에이전트들과의 통신을 하는 데 사용된다. 통신이 필요한 경우로는, 다른 에이전트로부터 정보를 받아서 동기탈조 검출을 수행하거나, 혹은 동기탈조 검출 시에 다른 에이전트에게 검출되었음을 알리는 등을 고려할 수 있다.
- ⑥ Decision-making Processor : ①~⑤의 요소들을 이용하여 입력된 값을 연산하고, 저장하며, 저장된 이전 값과 현재 값 등을 이용하여 Communicator의 동작을 결정하는 부분이다. 동기탈조 검출 에이전트는, 동기탈조 상태의 검출 그 자체가 목적이 있으므로 환경을 변화시키는 어떠한 동작은 다른 에이전트와의 통신을 통하여 간접적으로 영향을 미치는 것만이 가능하다.

상술된 바에 따라 구축된 Intelligent 동기탈조 검출 에이전트의 구조 및 환경과의 관계는 다음 그림 1과 같다. 화살표의 방향은 어떠한 내부 요소 간의 관계가 단방향성인가, 혹은 양방향성인가를 의미한다.

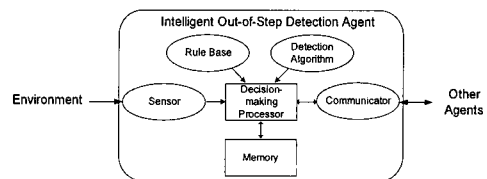


그림 1 Intelligent 동기탈조 검출 에이전트의 구조
Fig. 1 Structure of Intelligent out-of-step detection agent

그림 1과 같이 구축된 에이전트는 입력 값으로 환경에서 제공되는 전압 신호 변수와 다른 에이전트로부터 받는 정보

들이 있다. 다른 에이전트로부터의 정보는 어떤 상태의 알림 혹은 판단에 필요한 정보의 요청 등이 포함될 수 있다. 센서 혹은 Communicator에 의해 보내진 정보는 Rule base에 의해서 선처리되고, 처리된 정보는 Memory에 저장된 정보와 함께 Detection Algorithm에 의하여 동기탈조를 검출하는 데 사용된다.

Multi-Agent 시스템 기반의 동기탈조 검출 알고리즘은 각 기능별 Agent의 수정, 확장에 의한 기능의 확장 등이 가능하며, 타 Agent와의 통신을 통한 각종 기능 협조 등이 용이하다. 또한 타 Agent와의 통신, 지능적 연산, 처리, Agent 구성의 유연성 등에 의하여 외부적인 외란, 즉 오류가 포함된 데이터의 수신, 일부 통신상의 지연, 오류 등에 대하여 강인하게 대처할 수 있다. 또한 데이터 수신 범위를 하나의 Agent로 한정하지 않고 여러 Agent로부터 데이터를 수신할 수 있으므로, 보다 신뢰성 있는 동작을 얻을 수 있다. Multi-Agent 시스템 기반의 동기탈조 검출 알고리즘은 그림 3에서 보인 바와 같이 Communicator의 기능에 의해 타 Agent 및 타 Multi-agent system과 통신하며, 각 위치에서의 전압, 전류 정보 및 각 Agent의 동작 상태 등의 데이터들을 공유할 수 있다. 이는 동기탈조 검출 Agent 간의 통신만이 아니라 주파수 계전 Agent, 거리 계전 Agent 그리고 차동 계전 Agent 등의 Agent와의 통신을 포함하며, 이러한 통신을 통해 각 Agent 간의 동작 협조를 수행한다. 다음 그림 2는 동기탈조 검출 Agent와 타 Agent 간의 통신 및 동작 협조를 보인다.

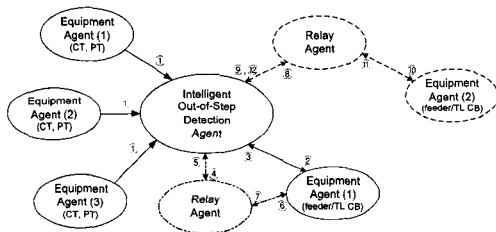


그림 2 Agent 간의 통신 및 동작 협조

Fig. 2 Communication and Co-operation among Agents

- ① 전압, 전류 정보 전달
- ② 동기탈조 검출시 트립 요청
- ③ 트립 수행 여부(성공/실패) 알림
- ④ 전력동요 검출시 트립 저지 요청
- ⑤ 트립 저지 수신 여부 알림
- ⑥ Relay Agent 동작에 따른 트립(또는 트립 저지) 요청
- ⑦ 트립(또는 트립 저지) 여부 알림
- ⑧ ③의 통신 내용이 트립 실패인 경우, 다른 Relay Agent에 Backup Protection을 위한 협조 요청
- ⑨ 트립 요청 수신 여부 알림
- ⑩ Backup Protection을 위한 트립 요청
- ⑪ 트립 수행 여부(성공/실패) 알림
- ⑫ Backup Protection의 수행 여부(성공/실패) 알림

그림 2에서 보인 바와 같이 본 논문에서 제안한 알고리즘은 독립적으로 수행되지 않고, 다양한 Agent들과의 통신에 의한 정보 교환을 통해 동작한다. 전압과 전류를 수신하여 ① 동기탈조 검출 Agent에서의 판단 결과에 따라 동기탈조가 검출(②)되면 타 Agent로 검출 사실을 전송함으로써, 각 Agent 간의 협조 동작에 의한 차단기 트립(③)이 이루어

지게 되며, 전력 동요가 발생(④)한다면 관련된 Agent에 해당 정보를 전송하여 불필요한 차단기 트립을 방지(⑤~⑦)할 수 있다. 또한 동기탈조 검출에 의해 차단기 트립을 수행한 결과 트립에 실패(③)한 경우, 타 계통에의 파급을 막기 위해 다른 Relay Agent와의 통신(⑧)을 통하여 다른 영역에서의 차단기 트립을 수행(⑨~⑫)할 수 있다.

Intelligent 동기탈조 검출 에이전트의 구성 요소는 EMTP MODELS 내의 프로그램 코드들과 대응 된다. 상세히 열거하면 다음과 같다. 먼저 Sensor는 [(EMTP 전압 값)을 (MODELS 입력 값)에 대입]하는 방법으로 구현되었다. 또한 Rule base에는 pre-filtering 및 post-filtering에 사용되는 Low Pass Filter 그리고 신호의 기본파 추출을 위한 DFT(Discrete Fourier Transform), 시간에 대한 미분 방법이 포함되었다. 그리고 Detection Algorithm은 전압의 주파수 편이를 이용한 동기탈조 검출 알고리즘에 의해 구현되었다. Communicator의 통신으로는 동기탈조 검출 신호가 구현되었다. 마지막으로 Memory는 MODELS 내의 변수 추가로서 구현하였다.

3.3 지능형 동기탈조 검출 에이전트의 Practical Reasoning

에이전트의 Practical Reasoning (실제적 추론) 과정은 에이전트의 행동과 직결되는 추론이다. 즉, 에이전트가 무엇을 해야 하는지 생각하는 과정을 의미한다. 따라서 동기탈조 검출 에이전트의 추론 과정은 현재 환경의 상태에 대하여 에이전트가 취할 수 있는 행동 중에 에이전트의 본래 목적에 가장 적합하게 하는 행동을 선택하는 과정이라고 할 수 있다. 본 논문에서 변수 B는 Belief를, D는 Desire를, I는 Intention을 의미한다. π 는 에이전트의 Plan(에이전트의 행동 과정)을, α 는 Plan 중의 행동을, ρ 는 지각 대상을 의미한다 [4]. 동기탈조 검출 알고리즘을 이용한 Practical Reasoning은 다음과 같다.

먼저 인지 가능한 환경 상태(ρ)와 Belief(B)와 Desire(D)의 집합(=Intention(I)의 집합) 및 Plan들(π)의 집합을 정의한다.

- ρ : 정상 주파수 상태, 비정상 주파수 상태, 동기탈조 상태
- B : 정상 상태, 과도 상태, 전력 동요 상태
- D(=I) : 비정상 주파수 상태 감지, 전력 동요 감지, 동기탈조 감지
- π : 비정상 주파수 상태 검출, 동기탈조 검출

다음은 여러 Practical reasoning 함수 중 본 논문에서 정의한 *brf*, *filter*, *plan* 함수의 설명이다.

초기 Belief의 상태에 따라 입력되는 신호에 대해서 새로운 Belief를 생성하는 조건은 *brf* 함수에 따라 결정된다. 다음 표 1에서 *brf* 함수를 입력 값(B(old), ρ)과 결과 값(B(New))을 이용하여 나타내었다.

brf 함수에 의해 생성된 Belief 값은 *filter* 함수에 의해서 새로운 Intention을 생성한다. 정상 상태에서는 정상 상태 감지의 Intention만을, 과도 상태에서는 정상 상태 감지 혹은 각 주파수 및 각 주파수의 변화율을 계속적으로 추정하도록 동작하는 동기탈조 감지의 Intention을, (고장 제거 이후의) 전력 동요 상태에서는 감지의 Intention만을 생성한다.

다음 표 2에서, *filter* 함수를 입력 값(B, I (D는 생각))과 출력 값(I)을 이용하여 나타내었다. 새롭게 생성된 Intention

은 Belief와 함께 Plan을 생성한다. 다음 표 3에서 *plan* 함수를 입력 값(B, I)과 출력 값(π)으로 나타내었다.

다음 그림 3은 비정상 주파수 상태 검출 Plan과 동기탈조 검출 Plan에서의 에이전트의 Plan 순서도이다.

표 1 brf 함수

Table 1 brf function

brf 함수		
B (Old)	ρ	B (New)
정상 상태	정상 주파수 상태	정상 상태
	비정상 주파수 상태	과도 상태
	동기탈조 상태	전력 동요 상태
과도 상태	정상 주파수 상태	정상 상태
	비정상 주파수 상태	전력 동요 상태
	동기탈조 상태	전력 동요 상태
전력 동요 상태	정상 주파수 상태	정상 상태
	비정상 주파수 상태	전력 동요 상태
	동기탈조 상태	전력 동요 상태

표 2 filter 함수

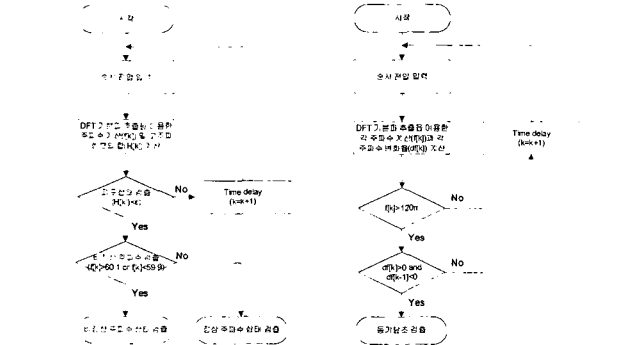
Table 2 filter function

filter 함수		
B	I (old)	I (New)
정상 상태	비정상 주파수 상태 감지	비정상 주파수 상태 감지
	전력 동요 감지	비정상 주파수 상태 감지
	동기탈조 감지	비정상 주파수 상태 감지
과도 상태	비정상 주파수 상태 감지	전력 동요 감지
	전력 동요 감지	전력 동요 감지
	동기탈조 감지	동기탈조 감지
전력 동요 상태	비정상 주파수 상태 감지	동기탈조 감지
	전력 동요 감지	동기탈조 감지
	동기탈조 감지	동기탈조 감지

표 3 plan 함수

Table 3 plan function

plan 함수		
B	I	π
정상 상태	비정상 주파수 상태 감지	비정상 주파수 상태 검출
	전력 동요 감지	-
	동기탈조 감지	-
과도 상태	비정상 주파수 상태 감지	-
	전력 동요 감지	-
	동기탈조 감지	동기탈조 검출
전력 동요 상태	비정상 주파수 상태 감지	-
	전력 동요 감지	-
	동기탈조 감지	동기탈조 검출



(a) 비정상 주파수 상태 검출 Plan (b) 동기탈조 검출 Plan
(a) Abnormal frequency detection Plan (b) Out-of-step detection Plan

그림 3 에이전트 Plan 순서도
Fig. 3 Flowchart of agent Plan

그림 3의 내용을 설명하면 다음과 같다. 그림 3(a)는 비정상 주파수 상태 검출 Plan의 순서도로서, 순시 전압 값을 입력 받아 주파수 및 고조파 성분의 합을 계산한다. 계산된 고조파 성분의 합이 일정한 threshold 값을 초과하면, 과도 상태로 판정하고 일정한 시간 지연 후 다시 처음으로 되돌아간다. 그리고 과도 상태가 아니면서 비정상 주파수 값을 가지게 되면(59.9~60.1[Hz]), 비정상 주파수 상태를 검출한다. 그 반대의 경우에는 정상 주파수 상태를 검출한다. 그림 3(b)는 동기탈조 검출 Plan의 순서도이다.

4. 동기탈조 검출 에이전트의 EMTP 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 방법

본 논문에서는 제안하고자 하는 멀티에이전트 기반의 동기탈조 검출 알고리즘을 실제 구현하기에 앞서 알고리즘의 성능 및 동작을 검증하기 위하여 사용자가 직접 알고리즘을 구현할 수 있는 기능을 제공하고 있어, 전력계통의 모의만이 아닌 알고리즘을 프로그래밍하고 모의할 수 있는 전자기 과도현상 해석 프로그램인 EMTP-MODELS를 사용하여 모델 계통을 구성하고, 제안된 알고리즘을 적용하였다.

전압의 주파수 편이를 이용한 동기탈조 검출 알고리즘의 검증을 위해 시뮬레이션에 사용된 계통은 다음 그림 4와 같다. 계통 전압은 345kV이고, 동기발전기 G1이 연결된 BUS 1에서 BUS 2를 향하여 조류가 흐르고 BUS 1에 Relay A가 연결되어 있을 때 BUS 1과 BUS 2사이의 Line 2의 50km 지점에서 고장을 발생시켜 20주기 후 Line 2를 차단하였다.

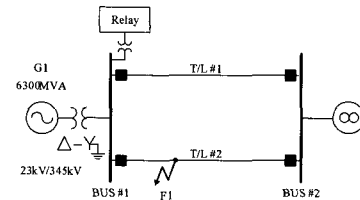


그림 4 모델 계통
Fig. 4 Model System

4.2 시뮬레이션 결과

4.2.1 impulsive frequency 검출 없이 동기탈조 검출 알고리즘을 수행하였을 때

다음 그림 5는 발전기 위상각을 나타낸 것이다.

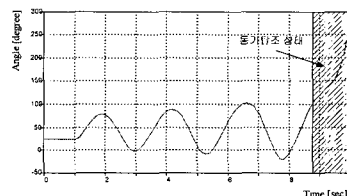


그림 5 발전기 G1의 위상각
Fig. 5 Angle of Generator G1

동기탈조 시에는 위상각이 진동하지 않고 시간에 따라 계속적으로 증가하는 형태를 갖는다. 따라서 그림 5와 같이 8 초 이후에 시뮬레이션 한 계통에 동기탈조가 발생하였음을 위상각의 궤적을 통하여 인식할 수 있다.

다음 그림 6은 DFT 기법과 추출에 의해 추출된 각 주파수와 발전기 주파수를 나타낸 그래프이다.

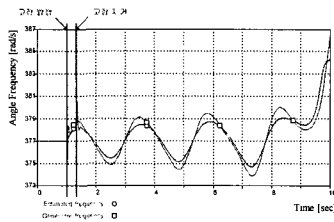


그림 6 추정된 각 주파수와 실제 발전기 주파수
Fig. 6 Estimated angle frequency and actual generator frequency

그림 6에 의해, 고장 발생 및 고장 제거 시와 같은 스위칭 현상이 각 주파수의 추정 곡선에서 impulsive frequency를 발생시키는 것을 알 수 있다. impulsive frequency는 동기탈조 검출에서 각 주파수의 미분 값의 부호를 변화시키는 원인이 될 수 있다.

다음 그림 7은 동기탈조 검출 신호이다.

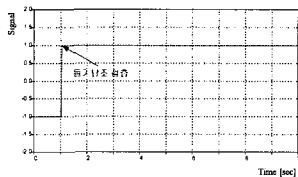


그림 7 동기탈조 검출 신호
Fig. 7 Signal of out-of-step detection

고장 발생 시, 과도현상에 의한 impulsive frequency가 발생하여 추정 각 주파수 및 주파수 변화율이 오차를 갖고, 그로 인하여 잘못된 동기탈조 검출 신호를 발생시키는 것을 알 수 있다. 따라서 계통 외란은 전압 신호에 일시적인 과도현상을 발생시키는 원인을 제공하고, 결과적으로 동기탈조 검출 알고리즘의 신뢰성을 떨어뜨리는 원인이 된다.

4.2.2 계통 정보를 고려하여 동기탈조 검출 알고리즘을 수행하였을 때

다음 그림 8은 계산된 고조파 크기의 합과 blocking signal을 나타낸 그래프이다. per-unit 값을 계산하기 위한 기본 값은 정상 상태에서의 기본파의 크기를 사용하였으며, Threshold 값은 0.1[p.u.]로 설정하였다. 또한, blocking signal의 발생 시간은 10주기로 설정하였다. Block signal이 발생되는 동안에는 Belief의 값이 변화하지 않는다.

다음 그림 9는 동기탈조 검출 에이전트의 내부 변수(B, I)를 나타낸 그래프와 에이전트의 Plan이다. 초기 B, I의 값은 정상 상태 및 비정상 주파수 상태 감지로 설정하였다. Belief와 Intention의 값에 따른 내용은 다음과 같다. 에이전트 내부의 함수 동작 시간을 고려하여 각 함수의 동작에 필요한 소요 시간은 1[ms]로 설정하였다. 그림 9와 같이 Blocking 신호가 1이 아닌 상태에서 비정상 주파수 상태 검출에 의하여 Belief가 과도 상태로 인식되고, 과도 상태 인식 후에는 전력 동요 상태로 갱신된다. Intention은 Belief가 과도 상태에서 전력 동요 감지로 변화하고, 전력 동요 감지 이후 전력 동요 상태인 Belief에 의해 동기탈조 감지로 변화한다. 동기탈조 감지로 변화함과 동시에 Plan은 비정상 주파수 상태 검출에서 동기탈조 검출로 변화하게 된다.

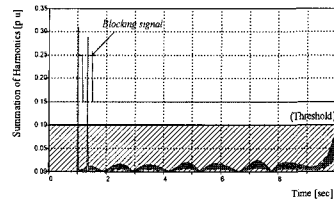


그림 8 계산된 고조파 크기의 합과 block signal
Fig. 8 Summation of harmonics and block signal

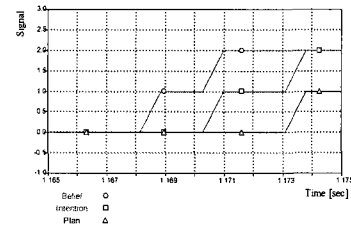


그림 9 동기탈조 검출 에이전트의 Belief, Intention, Plan
Fig. 9 Belief, Intention, Plan of out-of-step detection agent

B : 정상 상태=0, 과도 상태=1, 전력 동요 상태=2
I : 비정상 주파수 상태 감지=0, 전력 동요 감지=1, 동기탈조 감지=2
π : 비정상 주파수 상태 검출=0, 동기탈조 검출=1

다음 그림 10은 동기탈조 검출 신호이다.

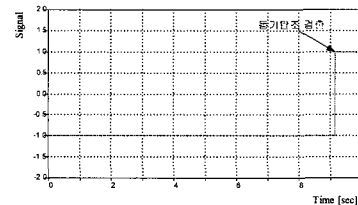


그림 10 동기탈조 검출 신호
Fig. 10 Signal of out-of-step detection

동기탈조 검출 Plan이 설정된 이후에 동기탈조 검출 알고리즘이 동작하므로 고장과 같은 계통 외란 및 계통 변화는 알고리즘에 영향을 주지 않는다. 따라서 동기탈조의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서 제안한 동기탈조 검출 에이전트는 기존의 알고리즘을 에이전트 이론을 이용하여 새롭게 구현한 것으로 기존의 알고리즘과 달리 새로운 에이전트 내부 변수들 (Belief, Intention)의 집합 및 brf, filter, plan 함수를 정의함으로써 실행 중에도 끊임없이 에이전트의 동작 방법을 변화 시킴으로써 환경의 변화에 따라서 적응적으로 동작할 수 있다. 또한, 기존의 알고리즘에 비하여 계통 상태 변화 및 동작 상태를 더욱 명확하게 표현하는 것이 가능하다.

이와 같이 전술한 멀티 에이전트 시스템의 특징 중 하나인 통신과 인공지능 기법을 활용하면 보다 대규모의 알고리즘에 적용할 수 있다. 한 가지 예로써 유연송전시스템 (FACTS)에 적용한다고 가정하면, FACTS의 운전에는 여러 지점의 신호에 흐르는 조류를 파악하여 여유 용량을 계산하는 것과 동시에 부하의 변화에 대한 예측 등이 포함된다. 이와 같은 부분을 멀티 에이전트 시스템에 접목한다고 하면 다음과 같이 정리할 수 있다. 먼저 여러 지점에 분포된 장

치 에이전트를 통하여 현재 선로의 조류를 측정하고, 통신을 통해 FACTS 에이전트에 해당 정보를 전송한다. FACTS 에이전트는 퍼지 추론 기관과 전문가 시스템이 접목된 인공지능 엔진을 내장하고, 수집된 자료 및 선로별 송전가능 용량, 부하량 등을 고려하여 각 선로에 배분되어야 할 최적의 용량을 계산하게 된다. 또한 고장과 같은 계통상의 큰 변화에 대한 상황을 고려하는 것과 동시에 본 논문에서 제시한 알고리즘에 의해 동기탈조를 미연에 검출하여, 차단되어야 할 또는 재배분되어야 할 부하량을 고려한다. 그 후 계산된 결과를 토대로 제어되어야 할 설비들에 보내질 제어 명령을 생성한다. 생성된 제어 명령은 통신을 통하여 각 제어 에이전트에 전달되어 각종 무효전력 보상 설비 등과 같은 장치에이전트를 제어함으로써 선로에 흐르는 조류를 조절하게 된다. 이러한 과정을 통해 멀티 에이전트 시스템에 의한 유연하고 적응적인 FACTS 시스템을 구현할 수 있다.

또한 현재 저자들은 위와 같은 멀티 에이전트의 장점을 더욱 부각시키고 활용하기 위하여 현재 멀티에이전트 시스템 기반의 주파수 계전 알고리즘, 재폐로 계전 알고리즘 등의 보호계전 기법에 대한 연구를 진행 중에 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

참 고 문 헌

- [1] A. Mechraoui, D.W.P. Tomas, "A New Blocking Principle with Phase and Earth Fault Detection during Fast Power Swings for Distance Protection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, pp. 1242-1248, July, 1995.
- [2] V. Centeno, A. G. Phadke, A. Edris, J. Benton, M. Gaudi, G. Michel, "An Adaptive Out-of-Step Relay", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, pp. 61-71, Jan., 1997.
- [3] N. V. Kosterev, V. P. Yanovsky, D. N. Kosterev, "Modeling of Out-of-Step Conditions in Power System", IEEE Trans. on Power System, Vol. 11, No. 2, pp. 839-844, May, 1996.
- [4] Michael Wooldridge, "An Introduction to MultiAgent Systems", John Wiley & sons. Ltd.
- [5] 소광훈, "과도안정도를 고려한 동기탈조 검출 알고리즘에 관한 연구", 석사학위 청구 논문, 성균관대학교, 2003.
- [6] P.J. Moore, J.H. Allmeling, A.T. Johns, "Frequency Relaying Based on Instantaneous Frequency Measurement", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 4, pp. 1737-1742, October 1996.
- [7] C.H. Kim, J.Y. Heo, R.K. Aggarwal, "An Enhanced Zone 3 Algorithm of a Distance Relay using Transient Components and State Diagram", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, pp. 39-46, January 2005.

저 자 소 개



이 병 현 (李秉炫)

1982년 10월 6일생. 2005년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2005년~2007년 동 대학원 정보통신공학부 졸업(공석), 차세대전력기술연구센터

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-290-7955

E-mail : shsh540@naver.com



여 상 민 (呂相敏)

1976년 7월 21일생. 1999년 성균관대 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공석). 2001년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-290-7955

E-mail : harc@chollian.net



이 유 진 (李瑜珍)

1983년 4월 25일생. 2007년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2007년~현재 동 대학원 정보통신공학부 석사과정

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-290-7955

E-mail : angelico83@naver.com



성 노 규 (成魯珪)

1982년 11월 13일생. 2007년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2007년~현재 동 대학원 정보통신공학부 석사과정

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-290-7955

E-mail : nokyu82@naver.com



김 철 환 (金喆煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 전력IT인력양성센터 센터장

Tel : 031-290-7124

Fax : 031-290-7179

E-mail : hmwkim@daum.net