

전력계통 사고시 보호 시스템의 순차정보를 이용한 고장진단법

노명균, 홍상은

순천향대학교 정보기술공학부

Fault Diagnosis in Power Systems using the Time Sequence Information of Protection System

Myong-Gyun Rho, Sang-Eun Hong

Division of Information Technology Engineering, College of Engineering,
Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

요 약

최근 산업의 핵심 에너지원을 공급하고 있는 전력회사의 운영에서, 계통 사고시 대량의 경보 신호 발생으로 인하여 운전원의 혼란을 가져오게 되어, 사고후 복구시간의 지연을 초래하는 문제로 인한 해당 산업체의 손실이 대형화하는 추세이다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하는 방안으로 사고시 보호시스템의 순차정보를 이용하여 단시간에 고장진단을 수행함으로써, 고장의 원인 파악과 정확한 고장 발생지점 정보를 운전원에게 제공할 수 있는 방법을 제안하고 있다. 고장진단 기법은 고장 발생의 불확실성을 고려한 보호시스템의 모델링 방법과 퍼지 페트리넷 기법을 개발하여 적용하였다. 본 연구에서 개발한 방법을 사례연구를 통하여 모델 계통에 적용하고 그 유효성 여부를 확인한 결과 만족할 만한 성과를 얻을 수 있었다. 특히 보호시스템의 오동작이나 부동작 등의 불확실한 정보를 처리하는 데 본 연구에서 개발한 퍼지 페트리넷 기법이 탁월한 성능을 발휘하므로 실제의 대형 전력계통에 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 또한 본 방법은 SCADA로부터 전송되는 실시간 데이터의 온라인 처리도 가능하므로 그 유용성은 아주 높다고 볼 수 있다.

1. 서 론

전력계통이 광대화되고 복잡화됨에 따라, 계통에 사고가 발생했을 때 그 사고지점과 사고원인을 찾는 것은 숙련된 작업자에 이루어지고 있으나 즉각적인 대응을 하기에는 많은 시간이 걸리게 된다. 또한, 보호 시스템 자체의 오동작 또는 부동작으로 인한 불확실 정보로 인하여 단순한 논리로 고장부위 및 원인을 판별하는 데에는 많은 어려움이 따른다. 이에 대한 해결 방법으로 지금까지 전문가 시스템, 패턴인식, 인공지능, 신경 회로망 등을 이용한 여러 가지 방법을 개발한 바 있으나 고장진단을 위한 방대한 양의 데이터 처리와 계산시간 때문에 커다란 효과를 얻지 못하고 있다.

일반적으로, 전력계통의 특성은 연속적인 시

스템으로 구성되어 있지만, 보호시스템에 동작의 관점에서 살펴볼 경우, 이산사건 시스템으로 규정될 수 있다. 보호시스템은 전력계통의 고장에 기인하여 동작하는 것이므로 고장 자체가 정상적인 상태에서 비정상적인 상태로의 전환을 의미이다. 이러한 고장이 발생하는 경우 전력계통의 보호기기들은 이산적인 동작을 통해서 고장부분을 시스템과 분리시키는 동작을 하게 된다.

본 논문에서는 고장시 보호 시스템의 이산적인 동작과 시스템 자체의 불확실성에 대한 효과적인 모델링 방법으로 페트리넷을 이용한 전력계통 보호시스템의 모델링방법과 보호장치의 불확실한 동작정보라는 결과를 통해서 역으로 고장부위 및 원인을 판단하는데 있어서 퍼지 페트리넷을 사용하는 방법을 제안하였다.

2. 퍼지 페트리네트(FPN)

2.1 일반 페트리네트

일반 페트리네트는 플레이스, 트랜지션 등 다음과 같은 다섯 원소로 구성한다.

$$PN=(P, T, I, O, M_0)$$

페트리네트는 트랜지션의 점화에 의해 동작된다. 이때, 마킹의 이동에 의한 상태천이는 선형 대수로 정리할 수 있다

2.2 퍼지 페트리네트(FPN : Fuzzy Petri Net)

1) FPN의 기본 개념

FPN의 기본적인 개념은 일반 페트리네트로부터 얻을 수 있으며, 그래프 형태로 플레이스와 트랜지션, 이 둘을 연결하는 아크로 이루어져 있다. 일반 페트리네트와 다른점은 플레이스에 놓이는 토큰이 0, 1, 2 등의 정수가 아닌 '0'에서 '1'사이의 값을 갖고, 트랜지션은 '0'에서 '1'사이의 값을 갖는 CF(Certainty Factor), 그리고 λ (threshold)와 관계한다는 점이다.

FPN은 9가지 원소를 갖는 구조로 표현한다.

$$FPN = (P, T, D, I, O, CF, M)$$

여기서,

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$$

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\} : \text{명제의 유한집합}$$

d_i : 플레이스 p_i 의 명제

$$I = P \rightarrow T, O = T \rightarrow P$$

$$CF = [cf_1 \ cf_2 \ \dots \ cf_m]^T : \text{Certainty Factor 벡터}$$

cf_i : 트랜지션 t_i 의 Certainty Factor

$$cf_i \in [0, 1]$$

$$M = [m_1 \ m_2 \ \dots \ m_n]^T : \text{토큰벡터}$$

m_i : 플레이스 p_i 에 존재하는 토큰값

$$m_i \in [0, 1]$$

본 논문에서는 고장 정보로부터 고장을 진단하기 위한 어떠한 연결 관계를 설정하기 위하여 Fuzzy Production Rule(FPR)을 도입한다. FPR은 두 명제의 퍼지관계를 설명하는 물이며 FPR은 FPN으로 나타낼 수 있다.

2) FPR 유형별 FPN 표현

- Type 1 : 그림1 (a)와 같이 FPN으로 모델링

$$\text{IF } d_j \text{ THEN } d_{k1} \text{ and } d_{k2} \text{ and } \dots \text{ and } d_{kn} \text{ (CF= } \mu_j \text{)}$$

- Type 2 : 그림1 (b)와 같이 FPN으로 모델링

$$\text{IF } d_{j1} \text{ or } d_{j2} \text{ or } \dots \text{ or } d_{jm} \text{ THEN } d_k \text{ (CF= } \mu_j \text{)}$$

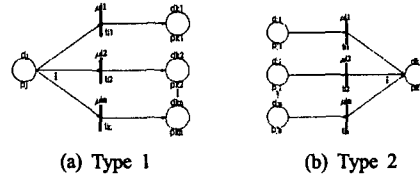


그림 1. 퍼지 페트리네트 모델

3) FPN의 상태천이방정식

불확실 정보처리를 위한 FPN은 다음과 같은 상태천이방정식으로 계산할 수 있다.

$$M(t+1) = P \cdot [(Q \cdot M(t)) \odot CF]$$

3. 모델링

전력계통의 관련 설비 즉 모선, 선로, 계전기, 차단기 등의 상태는 플레이스로, 계전지와 차단기의 동작은 트랜지션으로 표현한다. 플레이스에 토큰이 존재한다면 토큰값의 정도만큼 각 모선사고, 선로 사고, 계전기 리셋, 차단기 트립의 가능성을 의미한다.

3.1 FPN을 이용한 보호시스템의 모델링

본 연구에서는 그림 2와 같은 시스템을 FPN의 모델링 대상으로 사용하고 있다. 모든 계전지의 동작 논리를 이용하여 그림 2의 예를 각 구역별로 모델링하면 그림 3과 같다.

그림 3의 각 모델에 포함되어 있는 트랜지션에 관련된 CF값은 사고발생시 보호기기들의 부정확한 동작을 고려하여 통계적으로 나타낸 값이다.

- 선로 보호계전기인 경우 CF
 - i) 주 보호계전기와 관련된 CF값은 0.8.
 - ii) 1차 후비보호계전기와 관련된 CF값은 0.7.
 - iii) 2차 후비보호계전기와 관련된 CF값은 0.55.

- 모선 보호계전기인 경우

모선에 연결된 선로의 수 또는 모선의 불확실성 등을 고려하여 CF값을 설정한다.

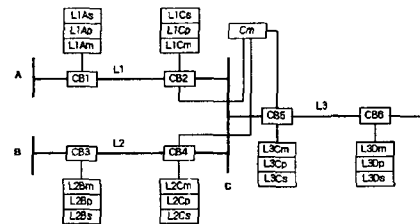


그림 2. 예제 시스템

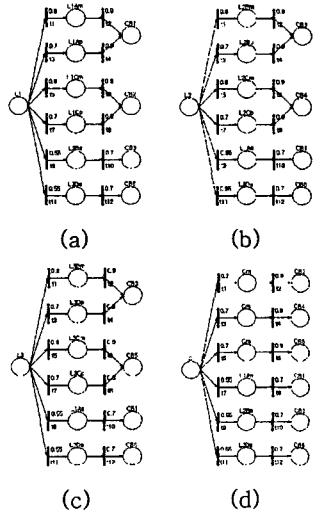


그림 3. 그림2의 퍼지 페트리넷

3.2 역방향 FPN을 위한 대우명제화

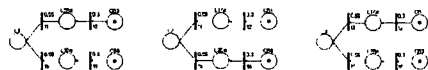
고장정보를 이용하여 고장진단을 위해 역방향성을 갖는 퍼지 페트리넷 모델을 다시 설계해야 한다. 이는 룰의 대우명제화를 이용함으로써 가능하다.

우선 그림 3에서 계전기와 차단기사이의 룰형태인 "IF A Then B (CF=0.7)"을 "IF A Then \bar{B} (CF=0.3)"로 바꾸고, 모델을 역으로 나타내기 위해 대우명제화를 시킨다.

- 대우명제화 과정은 다음과 같다.
- i) Type 1형태로 되어있는 구역과 계전기 사이의 연결관계는 Type 2형태로 바꾸어 준다. 이때 각각의 트랜지션과 관련된 CF는 변함없다.
 - ii) Type 2형태로 되어있는 계전기와 차단기 사이의 연결관계는 Type 1형태로 바꾸어 준다. 이때 각 트랜지션과 관련된 CF는 변함없다.

4. 사례 연구

사례 연구는 그림 2의 예제 시스템을 대상으로 하였다. 고장 발생은 다음과 같이 상정하였다. 모선 C에서 사고가 발생하여 모선 주 보호 계전기인 C_m 이 동작하여, CB2, CB4, CB5를 트립시키려 하였으나 CB2, CB4는 트립실패, 각각에 대한



(a) 선로 L1 (b) 선로 L2 (c) 선로 L3
그림 4. 각 선로의 간략 FPN 모델

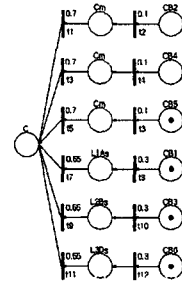


그림 5. 모선 C의 FPN 모델

후비 보호로서 L1As와 L2Bs가 동작하여 CB1과 CB3가 트립되었다. 이로써 사고 구역을 건전구역으로부터 분리시켰으나 L3Ds가 오동작하여 CB6가 트립되었다. 이때 각 선로의 FPN 모델과 모선 C의 FPN 모델링은 그림 4 및 그림 5와 같다. 사례 연구 시뮬레이션 결과는 표 1과 같다. 결과적으로 모선 C에서 사고가 발생했을 가능성이 가장 크다. 이는 사고발생구역과 같으며, 정확한 고장진단결과를 얻었다고 평가할 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 결과

사고예상 구역	구역의 최종 마킹	우선순위
C	0.07	1
L1	0.165	2
L2	0.165	2
L3	0.165	2

5. 결 론

본 논문에서는 불확실하고 부정확한 정보를 갖는 이산사건시스템의 모델링 방법으로 FPN을 이용, 전력계통의 보호시스템 고장진단에 적용하였다. FPN을 사용에 따른 장점은 다음과 같다.

- 1) 각 구역별 모델의 일정한 형태를 모듈화 할 수 있어, 전력계통이 수시로 변하는 경우에 효과적 대처 가능.
- 2) 간단한 행렬 계산식만으로 사고 진단이 가능.
- 3) 모든 룰을 검색, 비교하여 고장진단하는 전문가 시스템의 추론연진과 비교하여, 단시간내에 사고를 진단.
- 4) Graphical한 표현이 가능하여 시스템의 구조 파악이 쉬워 모델링할 때 설계자의 실수를 방지.

6. 참고문헌

A. Konar, K.mandal, Uncertainty Management in Expert Systems Using Fuzzy Petri Nets, IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering,8(1),1996.