

퍼지 분류기를 이용한 지능형 차단 시스템 개발

성화창*, 주영훈**, 박진배*

연세대학교 전기전자 공학과*, 군산대학교 전자 정보 공학과**

Development of Intelligent Diagnosis System using Fuzzy Classifier

Hwa Chang Sung*, Young Hoon Joo**, Jin Bae Park*

Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University*,

School of Electronic and Information Engineering, Kunsan National University**

Abstract - 본 논문에서는 저압 배선 진단 시스템 구축을 위한 퍼지-베이지안 분류기 기반 지능형 차단 시스템 개발을 목표로 한다. Time-Frequency Domain Reflectometry (TFDR)방법이 바탕이 되어 도선의 이상 상태를 측정하게 되며, 진단 부분에서 받은 정보를 능동적으로 해석하고 이상 유무에 따른 차단 역활을 수행하는 시스템 개발이 최종 목표이다. 제안하고자 하는 분류 알고리즘은 퍼지-베이지안 분류 알고리즘을 중심으로 구성되며, 분류하고자 하는 도선의 이상상태인 damage, open 그리고 short에 대한 분류 기준을 마련하고자 한다. 또한, 실제 저압 배선에서 얻어진 데이터를 바탕으로 퍼지 분류 규칙의 생성 및 분류 알고리즘 생성을 구체화 하여 좀 더 나은 성능의 분류기를 개발하고자 하는 것이 본 논문의 목표이다.

1. 서 론

과학이 이루어낸 수많은 성과 중 우리 삶과 가장 밀접한 관련을 지니고 있는 것이 바로 전기이다. 대부분의 일상생활이 전기와 관련되어 이루어지고 있을 정도로, 우리에게 친숙하면서도 편리한 존재이다. 그러나 안정성에 있어서 심각한 주의가 요구 되는 것 또한 전기이다. 매년 전기 사고를 통한 경제적 손실은 상당하며, 특히 인명과 관련되어 있다는 점에서는 많은 주의를 요구한다. 문제는 전기가 배선을 타고 각 전기기기를 작동시키게 되는데, 우리의 주의를 배선의 이상 유무까지 판단하기는 쉽지 않다는 점이다. 실제 전기 사고의 대부분을 차지하고 있는 합선, 누전 등의 경우는 배선 자체의 결함으로써 발생하는 경우 허다하다. 이러한 점이 바로 배선의 이상 유무를 미리 파악할 수 있는 알고리즘 개발의 필요성을 나타내어 준다.

현재 배선 진단 알고리즘으로 시장에 통용되고 있는 대표적인 것은 시간 반사파 계측법 (Time Domain Reflectometry: TDR) 과 주파수 반사파 계측법 (Frequency Domain Reflectometry: FDR) 이다. 이 둘은 각각 시간과 주파수 영역에서 반사파를 이용한 도선의 이상 정도를 파악하는 알고리즘이다. 이 둘의 장점을 모아 제안된 것이 시간-주파수 반사파 계측법 (Time-Frequency Domain Reflectometry: TFDR) 으로 통신선 상에서의 실험을 통해 알고리즘의 우수성을 이미 나타내었다 [1-2]. 이와 같은 TFDR 알고리즘을 이용하여 저압 배선 이상 진단 시스템을 구축하는 시도가 연구되고 있다.

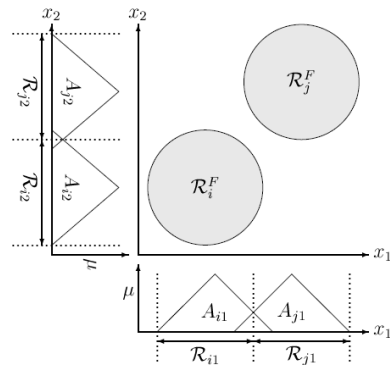
본 논문에서는 구축된 저압 배선 이상 진단 시스템의 한 파트인 지능형 차단 시스템에 대한 이론을 제안하고자 한다. 지능형 차단 시스템이란, TFDR 알고리즘을 바탕으로 구축된 저압 배선 이상 진단 시스템에서 얻어진 데이터를 바탕으로 하여 해당 저압 배선의 이상 유무가 어떠한지를 분류하는 시스템이다. 논문 [6]에서는 통신선 상에서의 데이터를 바탕으로 퍼지 분류기를 설계하여 분류 역활을 수행하였다. 본 논문에서는 실제 저압 배선에서 얻어진 데이터를 바탕으로 지능형 차단 시스템을 구축하게 된다. 특히, 기존의 퍼지 분류기의 한계를 보완하고자 퍼지-베이지안 분류 알고리즘을 이용하였으며, 이를 통해 좀 더 나은 결과를 얻을 수 있게 된다.

2. 퍼지-베이지안 분류 알고리즘

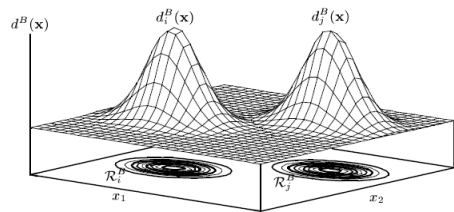
2.1 퍼지 모델 기반 분류기

퍼지 모델을 기반으로 한 많은 분류기가 존재하지만, 비선형 지점을 효율적으로 해석하는 Takagi-Sugeno (T-S) 퍼지 모델 기반 분류 시스템이 가장 대표적이다. 그 구체적인 식은 다음과 같다 [3-4].

$$R_i : \text{IF } x_i \text{ is } A_{i1} \text{ and ... and } x_m \text{ is } A_{im} \text{ THEN } y_i = i \quad (1)$$



<그림 1> 퍼지 분류기 결정 영역 R_{i_1} 과 R_{i_2}



<그림 2> 베이지안 분류기 결정 영역 R_{i_1} 과 R_{i_2}

여기서 $R_i, i \in I_m = \{1, 2, \dots, m\}$ 는 i 번째 퍼지 규칙을 의미하며, $x_j, j \in I_n = \{1, 2, \dots, n\}$ 는 j 번째 변수이며, $A_{ij}, (1, j) \in I_m \times I_n$ 는 퍼지 집합을 의미한다. 다음과 같은 판별 함수를 통한 퍼지 집합들의 결합 법칙으로의 변환은 다음과 같이 나타내어진다.

$$w_i = \mu_{A_{i1}} \times \dots \times \mu_{A_{in}} \quad (2)$$

여기서 μ_{A_j} 는 멤버쉽 함수 (membership function)를 나타낸다. 여기서 w_i 값은 R^n 이라는 실수 공간을 다음의 결정 영역 R_1, \dots, R_m 으로 나누는 역활을 한다. 아래의 세 관계를 만족한다면, 특정 벡터 x 는 클래스 $C_{i_1}, i_1 \in I_m$ 에 속하게 된다. 그 관계란 아래와 같다.

$$w_{i_1} > w_{i_2}, \quad \forall i_2 \neq i_1, \quad i_2 \in I_m \quad (3)$$

2.2 베이지안 분류기

베이지안 분류기의 경우는 확률 기반 시스템으로 구성된다. 이전 확률 $P(x)$ 와 조건부 확률 $P(x|C_i)$ 을 사용하게 되며, 다 변수 가우시안 (Gaussian) 모델 기반 베이지안 분류기는 다음과 같은 판별 함수를 지니게 된다.

$$d_i(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_i|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x-m_i)^T \Sigma_i^{-1}(x-m_i)} P(C_i) \quad (4)$$

여기서 x 는 n 개의 행을 지닌 벡터이며, m_i 는 평균 벡터를 Σ_i 는 공분산을 의미하며, $C_i, i \in I_m = \{1, \dots, m\}$ 는 i 번째 클래스를, $|\Sigma_i|$ 와 Σ_i^{-1} 는 각각 행렬 식의 determinant와 그의 역행렬을 의미한다. 베이스안 분류 기준은 다음과 같이 나타내어진다.

$$d_{i_1}(x) > d_{i_2}(x), \forall i_2 \neq i_1, i_2 \in I_m \quad (5)$$

특히 아래 그림에서 볼 수 있듯이, d_{i_1} 와 d_{i_2} 의 영향으로 R_{i_1} 와 R_{i_2} 가 나누어지는 것을 볼 수 있다.

2.3 퍼지-베이스안 분류기

앞 절에서 각각 퍼지 분류기와 베이스안 분류기에 대해 살펴보았다. 퍼지 분류기의 경우 결정 영역에 대한 구분이 용이하다는 장점이 있으며, 베이스안 분류기의 경우 외란에 강하다는 점과 구현이 쉽다는 장점이 있다. 그러나 퍼지 분류기는 멤버십 함수의 한계로 인하여 다루고자 하는 데이터의 수가 많을수록 성능이 현격히 떨어지게 된다. 반면, 베이스안 분류기의 경우 조건부 확률 $P(x|C_i)$ 의 정의와 계산이 매우 난해한데, 이는 확률을 기반으로 하는 베이스안 분류기인 만큼 그 영향은 지대하다 [5].

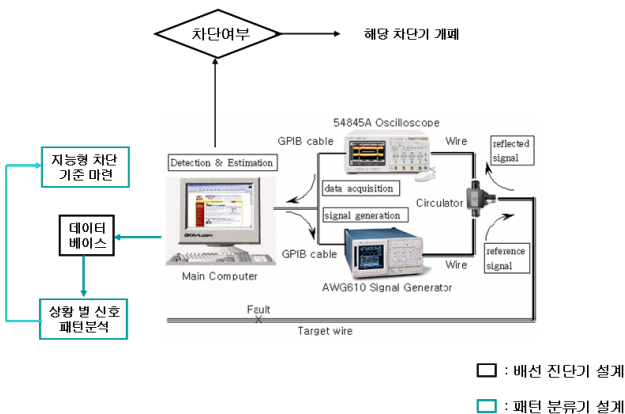
이와 같은 단점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 퍼지-베이스안 분류기를 나타내고자 한다. 제안된 분류기는 다음의 세 가지 과정 (Initializing -> Pruning -> Tuning)의 세 과정으로 설계된다. 각각의 설계 과정은 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 다입력 다출력 (Multi-input Multi-output) 퍼지 모델을 이용하여 초기 퍼지-베이스안 분류기를 설계한다.
2. 퍼지 함수의 분석을 통하여 특성 변수들을 제거한다.
3. 분류 되지 않은 특성 벡터들의 세부적인 조정이 이루어지게 된다.

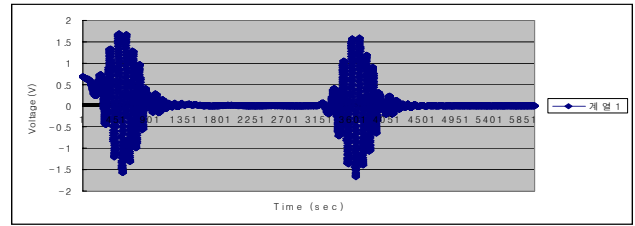
여기서 설계된 퍼지-베이스안 분류기를 바탕으로 하여 우리가 구현하고자 하는 지능형 차단 시스템의 분류 기준 마련 및 규칙 생성을 하게 된다. 그 구체적인 과정은 다음 절에서 소개 될 예정이다.

3. 지능형 차단 시스템 구성

그림 3에서 알 수 있듯이, 지능형 차단 시스템은 크게 두 파트로 나누어진다. 첫 번째 파트는 배선 진단에 관계된 부분으로, TFDR을 이용한 저압 배선 이상 진단 시스템의 PXI 모듈 부분이다. 배선 이상 진단은 시간-주파수 영역에서 탐색이 가능한 TFDR 알고리즘을 기본으로 하여 이루어지며, 메인 서버와의 연계를 통해 실시간으로 저압 배선의 이상 정보를 주고받게 된다. 두 번째 파트는 배선 진단 파트에서 얻어진 정보를 바탕으로 하여 배선 이상 정보를 분석하고 분류하는 파트이다. 대상 도선에 대한 신호가 메인 컴퓨터에 저장되며, 이는 데이터베이스 형식의



<그림 3> 지능형 차단 시스템 개요



<그림 4> 저압 배선 (50m) 상에서의 open 실험

로 저장된다. 저장된 신호를 바탕으로 하여 각 상황별 신호의 분류가 수행되며, 이때 사용되는 분류기는 2장에서 제안한 퍼지-베이스안 분류기를 사용하게 된다.

그림 4는 실제 50m 저압 배선 상에서 TFDR 진단 알고리즘을 이용하여 실험된 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 두 개의 변화폭이 측정되며, 두 번째 지점에서 분류 기준이 측정된다. 즉, 도선의 이상 정도는 두 번째 지점에서의 변화 폭이 어느 정도인가에 따라 다르게 나타나며, 이는 통신선 상에서의 실험 [6]에서도 비슷한 경향을 보여 왔다. 앞으로 실험될 damage의 상태, open 및 short의 경향에 따른 퍼지-베이스안 모델 기반 분류 기준을 마련할 예정이며, 이를 통해 지능형 차단 시스템을 구축하고자 하는 것이 본 논문의 최종 목표이다.

4. 결 론

본 논문에서는 퍼지-베이스안 알고리즘을 이용한 지능형 차단 시스템을 구축하였다. TFDR 알고리즘을 기본으로 하여 저압 배선 이상 진단 시스템이 개발 되었으며, 개발된 진단 시스템과의 연계성을 바탕으로 하여 지능형 차단 시스템을 제안하였다. 진단 시스템에서 얻어진 데이터는 퍼지-베이스안 분류기를 통해 이상 정도에 따른 분류가 수행되었다. 좀 더 많은 상황에 대한 데이터 분석을 통해 저압 배선의 이상 정도를 명확히 하고자 하는 것이 앞으로의 연구 계획이다.

[참 고 문 헌]

본 논문은 전력 산업 연구 개발 사업으로 수행되었습니다. (과제번호: R-2006-1-229)

[참 고 문 헌]

- [1] Y. J. Shin, T. S. Choe, C. Y. Hong, E. S. Song, J. G. Yook, and J. B. Park, "Application of time-frequency domain reflectometry for detection and localization fault on a coaxial cable." IEEE Trans. Instrumentation and measurement, vol. 54, no. 6, 2005.
- [2] 최덕선, 광기석, 윤태성, 박진배, "시간-주파수 반사파 계측 방법을 이용한 전송선로의 결함 위치 추정," 대한 전기학회 논문지 9월호 pp. 521-530, 2005.
- [3] M. H. Kim, J. B. Park, W. G. Kim and Y. H. Joo, "Identificatio of T-S fuzzy classifier via linear matrix inequalities." LNAI 3809, pp. 1134-1137, 2005.
- [4] H. Roubos and M. Setens, "Compact transparent fuzzy models and classifiers through iterative complexity reduction." IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 9, pp. 516-524, 2001.
- [5] D. W. Kim, J. B. Park, and Y. H. Joo, "Design of fuzzy rule-based classifier: pruning and learning." LNAI 3613, pp. 416-425, 2005.
- [6] 성화창, 박진배, 소제윤, 주영훈, "퍼지 분류기 기반 지능형 차단 시스템." 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, vol. 17, no. 4, pp. 534-539, 2007.