

저압 배선 이상 진단을 위한 지능형 차단 시스템 구축

Development Intelligent Diagnosis System for Detecting Fault of Transmission Line

성화창* · 박진배* · 주영훈**

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

* 연세대학교 전기전자공학과

** 군산대학교 전자정보공학부

요 약

본 논문에서는 저압 배선 진단 시스템 개발에서 핵심 파트 중 하나인 지능형 차단 시스템 구축을 목표로 한다. 제안된 진단 시스템은 TFDR (Time-Frequency Domain Reflectometry) 알고리즘을 바탕으로 하여 실제 전압이 흐르는 배선에 대해 이상 거리 측정을 하게 된다. 그리고 배선으로부터 얻은 정보를 바탕으로 배선 이상의 종류를 분석하는 것이 지능형 차단 시스템의 목표이다. 효율적인 분석을 위해, 본 논문에서는 퍼지-베이지안 (Fuzzy-Bayesian) 알고리즘을 바탕으로 하여 시스템을 구성하였다. 실제 저압 배선에서 실험된 데이터를 바탕으로 한 실험을 통해 제안된 기술의 우수성을 입증하고자 한다.

키워드 : 지능형 차단 시스템, TFDR (Time-Frequency Domain Reflectometry), 퍼지-베이지안(Fuzzy-Bayesian) 알고리즘.

Abstract

In this paper, we present the development of an intelligent diagnosis system for detecting faults of the transmission line. Based on the TFDR (Time-Frequency Domain Reflectometry), the fault detecting performs to measure the location of fault line. We analyze the reflected signal which is sent from the wire detecting system and classify the fault type of the wires by using intelligent diagnosis system. In order to analyze effectively, we construct the intelligent diagnosis system which is based on the fuzzy-bayesian algorithm. Finally, we provide the simulation results which are performed at transmission line to evaluate the feasibility and generality of the proposed method in this paper.

Key Words : Intelligent diagnosis system, TFDR (Time-Frequency Domain Reflectometry), Fuzzy-Bayesian algorithm.

1. 서 론

해마다 전기 관련 사고는 증대되고 있으며, 그 피해 규모 역시 커지고 있다. 그러나 이런 실태에도 불구하고, 문제 해결을 위한 구체적인 방안으로는 예방 안전 교육을 제외하고는 뚜렷한 대책이 없다는 것이 문제이다. 주목할 사실은 전기 사고 발생 원인의 대부분이 전기 전자 시스템에서의 배선 및 전선 상태와 관련 있다는 사실이다. 이와 같은 사실에 주목하여, 배선의 이상 상황에 대한 검증 및 관리를 통해 전기 사고를 방지하고자 하는 노력 및 연구가 진행되고 있다 [1-3]. 그중에서도 반사파를 기반으로 한 도선의 이상 지점 측정 방식은 구현이 어렵지 않다는 점과 정확성 면에서 만족할 만한 성과를 보여 주기에 흔히 사용되고 있다 [1-2].

일반적으로 반사파를 이용한 특정 도선의 이상 측정을 하기 위해 시간과 주파수가 활용된다. TDR (Time Domain Reflectometry)과 FDR (Frequency Domain

Reflectometry)로 명명된 이 기술은 각각 시간과 주파수를 활용해 도선의 이상 지점을 측정하게 된다. 문제는 지금까지 대부분의 실험이 전력이 흐르지 않는 사선 혹은 통신선에서 이루어진 실험이라는 점이다. 실제 전력이 흐르는 전선의 경우 전력이 시스템에 많은 부담을 주며 외부 환경의 영향에 매우 민감하기 때문에 정확한 측정이 어렵다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 두 가지 방식의 장점을 결합한 TFDR (Time-Frequency Domain Reflectometry)이 제안되었으며, 앞선 두 방법에 비해 도선의 이상 거리 측정에서 뛰어난 성능을 보여 줄 뿐만 아니라 저압 배선에서도 실험이 가능하다는 것이 입증 되었다.

TFDR의 경우 그 자체로 매우 민감한 알고리즘이기 때문에 우리가 원하는 배선 이상에 관한 정보만이 아니라 배선이 가지는 자잘한 오류 등에 대해서도 보고를 하게 된다. 이와 같은 특성은 알고리즘 적으로 최상이지만, 실제 구현에 있어서는 우리가 필요한 정보를 분류할 수 있는 기준 마련이 필요하다. 이를 위해 제안 된 것이 지능형 차단 시스템으로, 이미 통신선 상의 실험 데이터의 분류를 통해 우수한 성능을 보여 주었다 [3]. 그러나 여기서 사용된 퍼지 분류기의 경우 심한 비선형성을 가진 지점에 대해서는 좋은 성능을 보이지 못하기도 한다 [4-7].

접수일자 : 2008년 4월 4일

완료일자 : 2008년 7월 30일

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

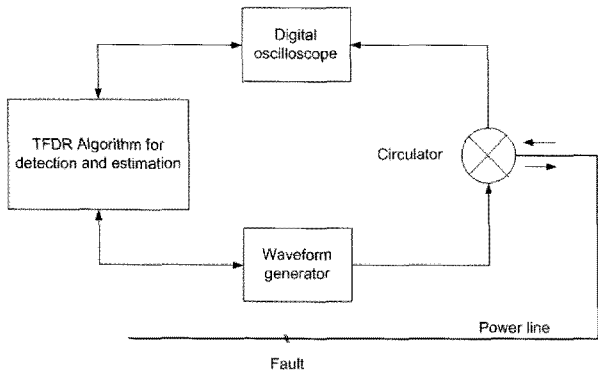


그림 1. TFDR system 구성도.
Fig. 1. The block diagram for TFDR system.

본 논문에서는 [3]에서 제안된 알고리즘의 확장 및 전력 선 데이터에서의 적용을 통해 좀 더 발전된 지능형 차단 시스템 개발을 목표로 한다. 그림 1에서 보여지는 TFDR 시스템을 통해 전력선 상에서 얻어진 데이터를 correlation 시켰을 때 얻어진 반사파 분석을 통해 분류 지점을 결정하게 되며, 이를 통해 분류 규칙을 생성하게 된다. 분류 대상은 크게 일반 배선, 부하가 걸린 배선, 이상 배선 세 가지로 나뉘게 된다. 그리고 논문 [3]에서 사용된 퍼지 분류기를 보완하기 위해 확률적 특성에 기반 한 베이시안 (Bayesian) 분류기를 퍼지 분류기와 결합한 퍼지-베이시안 분류기를 활용하였다. 이를 통해 좀 더 극심한 비선형 결정 지점에 대해서도 우수한 성능을 보이게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성 된다. 2장에서는 배선 진단 시스템 및 지능형 차단 시스템에 대한 개요를 다루게 된다. 3장에서는 본 논문에서 사용된 퍼지-베이시안 분류기에 대한 소개가 이루어지며, 4장에서는 실제 전력선에서 실험된 데이터를 바탕으로 한 분류 실험을 보여 주게 된다. 5장에서는 결론을 제시하며 본 논문을 마무리 하게 된다.

2. 지능형 차단 시스템

지능형 차단 시스템이란 배선 진단 시스템으로 얻은 정보를 능동적으로 해석하고 이상 유무에 따른 분류를 수행하는 것을 말한다 [3]. 그림 2에서 보여 지는 것이 지능형 차단 시스템의 개요를 나타내준다. 논문 [3]에서는 전력이 흐르지 않는 통신선 상에서의 지능형 차단 시스템을 통한 이상 분류가 이루어 졌으며, open, short, fault 세 가지 이상 상황에 대한 분석이 수행되었다. 그러나 실제 전력선에서는 다양한 변수가 존재하기 때문에 배선 진단 시스템부터 새롭게 설계해야 하며, 지능형 차단 시스템 구축을 위해서도 새로운 분류 기준 마련이 필요하다.

그림 3에서 보여 지는 것이 이번에 새롭게 설계된 배선 진단 시스템 및 지능형 차단 시스템이다. 그림 2와의 차이는 220V 라는 전력이 인가되었다는 점이며, 이는 배선 진단 시스템 및 지능형 차단 시스템이 많은 변수를 낳게 된다. 기존의 통신선에서와는 달리 전력이 인가되었을 경우 시스템에 직접 미치는 영향을 고려해야 하며, 220V 가정용 전력이 인가되었다고 가정 했을 때, 내부에 흐르는 주파수의 영향이 TFDR 시스템에 영향을 주기 때문에 이를 고려한 입력 신호 및 시스템 구성이 필요하다. 또한, 전력이 인가되었다는 말은 그 전력을 사용하는 부하라는 변수가 존재하기

때문에, 앞선 분류 상황 (open, short, fault)외에 새로운 분류 특성 및 기준이 필요하다. 즉, 기존의 이상 상황이 부하가 걸렸을 때 어떠한 변화를 가지는지에 대한 분석 역시 새롭게 필요한 것이다. 이에 대한 효과적인 분류를 위해 다음 장에서 퍼지-베이시안 분류기를 소개하고자 한다.

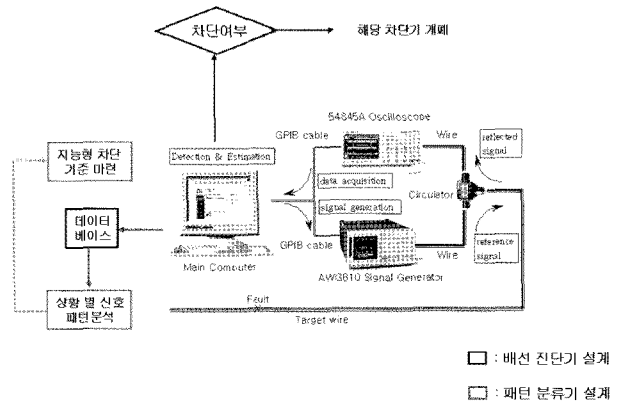


그림 2. 지능형 차단 시스템.
Fig. 2. Intelligent Diagnosis System.

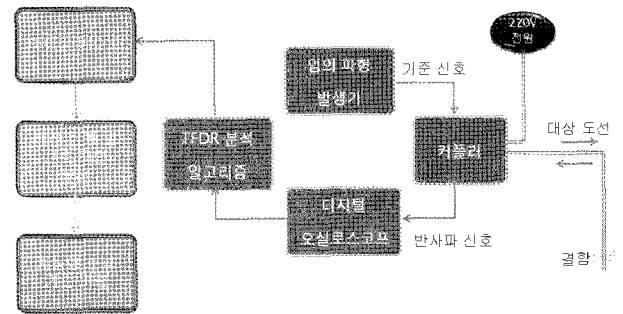


그림 3. 전력선에서의 배선 진단 시스템.
Fig. 3. Fault monitoring system for transmission line.

3. 퍼지-베이시안 분류기

본 논문에서는 전력선 상에서 실험된 데이터를 바탕으로 한 지능형 차단 시스템을 구축하게 되며, 이 시스템은 분류기를 바탕으로 하여 구성된다. 우선 흔히 사용되는 두 분류기 - 퍼지 분류기와 베이시안 분류기에 대한 특성에 대해 간략히 살펴보도록 하자.

3.1 퍼지 분류기

대표적인 퍼지 분류기는 다음과 같이 나타내어진다.

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

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

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

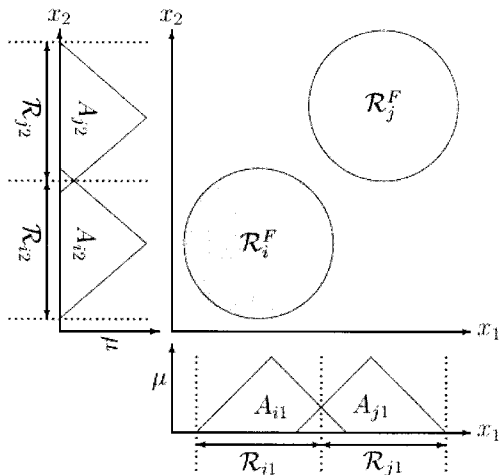


그림 4. 퍼지 분류기에서의 결정 영역 R_{i_1} 과 R_{i_2} .
 Fig. 4. The decision regions R_{i_1} and R_{i_2} of the fuzzy classifier.

여기서 $\mu_{A_{ij}}$ 는 멤버쉽 함수를 의미한다. ω_i 의 역할은 R^n 이라는 실수 공간을 다음의 결정 영역 R_1, \dots, R_m 로 나누게 된다. 그러므로 아래 식 (3)을 만족하게 된다면, 특정 벡터 x 는 다음 클래스 C_{i_1} , $i_1 \in I_m$ 에 속하게 된다. 그 해당 조건은 아래와 같다.

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

퍼지 이론을 통한 패턴 분류는 [0, 1]의 구간에서 정의되는 퍼지 집합 A_{ij} 가 i 번째 결정 영역 R_i 에 관한 정보를 주기 때문에 R 에 대한 분석이 매우 용이하다. 예를 들어 그림 4를 보면, 결정 영역 R_{i_1} 과 R_{i_2} 는 A_{i_1} 과 A_{i_2} 안의 R_i^F 에 대해 나타내고 있으며, 결정 영역 R_{j_1} 과 R_{j_2} 는 A_{j_1} 과 A_{j_2} 안의 R_j^F 를 나타낸다. 이와 같이 각 영역에 대한 구분이 명확하게 나타나기 때문에, 결정 영역에 대한 정확하고도 쉬운 분석이 가능하다. 이와 같은 장점을 활용한 지능형 차단 시스템 구성이 [3]에서 이루어졌으며, 이는 통신선 상에서의 데이터 분석에 이용되었다.

3.2 베이시안 분류기

베이시안 분류기의 경우는 확률 기반 시스템으로 구성되어 있다. 이전 확률 $P(x)$ 와 조건부 확률 $P(x|C_i)$ 을 사용하여, 다 변수 가우시안 (Gaussian) 모델 기반 베이시안 분류기를 구성하게 되며, 아래와 같은 판별 함수를 가지게 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 공분산 (covariance)를 의미하며, C_i , $i \in I_m = \{1, \dots, m\}$ 는 i 번째 클래스를, $|\Sigma_i|$ 와 Σ_i^{-1} 는 각각 행렬식과 그의 역행렬을 의미한다. 베이시안 분류기의 구분 기준은 다음과 같이 나타내어진다.

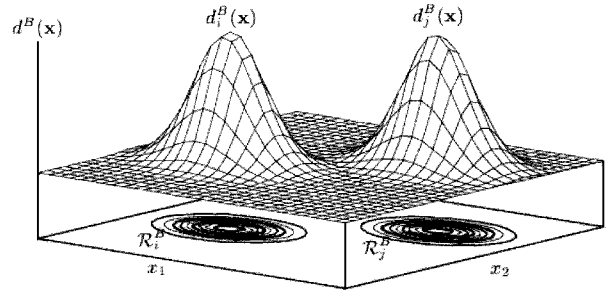


그림 5. 베이시안 분류기에서의 결정 영역 R_{i_1} 과 R_{i_2} .
 Fig. 5. The decision regions R_{i_1} and R_{i_2} of the Bayesian classifier.

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

특히, 그림 5에서 볼 수 있듯이, d_{i_1} 와 d_{i_2} 의 영향으로 인하여 R_{i_1} 과 R_{i_2} 가 나누어지는 것을 볼 수 있다. 베이시안 분류기의 장점은 외란에 강하다는 점과 구현이 용이하다는 점이다.

3.3 퍼지-베이시안 분류기

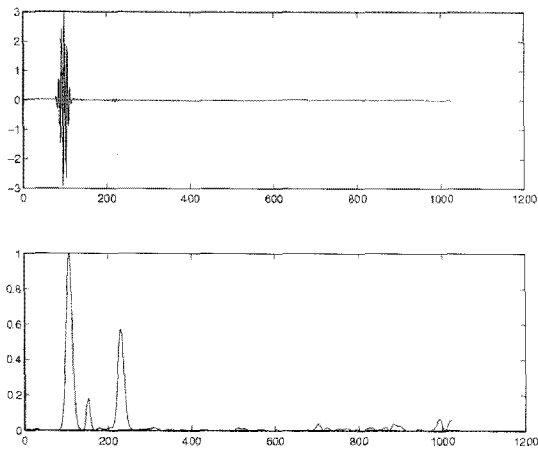
앞서 살펴본 퍼지 분류기와 베이시안 분류기는 각각의 분류기로서 역할을 하지만, 다음과 같은 단점을 지니고 있다. 우선 퍼지 분류기의 경우 다루는 데이터의 분류 기준이 복잡하거나, 차원이 높을 경우 제 성능을 발휘하지 못하게 된다. 또한 퍼지 분류기의 구성은 멤버쉽 함수를 통해 이루어지는데, 구현될 수 있는 멤버쉽 함수의 수는 한정되어 있다. 이에 반해 베이시안 분류기의 경우는 조건부 확률 $P(x|C_i)$ 를 기반으로 하여 분류기가 구성 되는데 이에 대한 정의와 계산이 어려우며, 분류기의 바탕이 되는 가우시안 곡선을 일반적인 경우라 상정하기 어렵다.

이와 같은 단점을 보완하기 위하여 두 분류기의 특성을 결합한 퍼지-베이시안 분류기가 제안되었으며, 다음의 세 단계를 통해 분류기가 구성된다 [6].

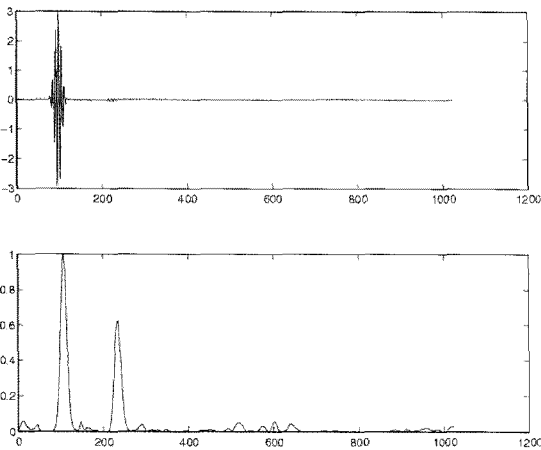
1. 다변수 다출력 (Multi-input Multi-Output: MIMO) 퍼지 모델을 이용하여 초기 퍼지-베이시안 분류기를 설계하게 된다.
2. 퍼지 함수의 분석을 통하여 특성 변수들을 제거한다.
3. 분류 되지 않은 특성 벡터들의 세부적인 조정이 이루어지게 된다.

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 전력 선 상에서 실험된 데이터 값을 기준으로 하여, 퍼지-베이시안 분류기를 활용한 지능형 차단 시스템을 구성하게 된다. 오실로스코프로부터 획득한 신호의 데이터 값들은 '*.csv'파일 형태로 시간 값과 전압값을 나타내는 두 개의 열벡터로 구성되며, 이를 TFDR 알고리즘을 통해 correlation 하게 되면 우리가 원하는 분류 지점을 찾아 낼 수 있다. correlation된 결과를 나타내는 것을 그림 6에서 확인 할 수 있다.



(a) 50m open에서의 correlation 결과



(b) 50m Load (Fan) correlation 결과

그림 6. 시간 주파수 상호상관관계.

Fig. 6. The relation of time and frequency.

전체 실험은 크게 부하와 정상 상황 비교 및 이상 상황을 가정한 두 경우에 대해 수행하게 된다.

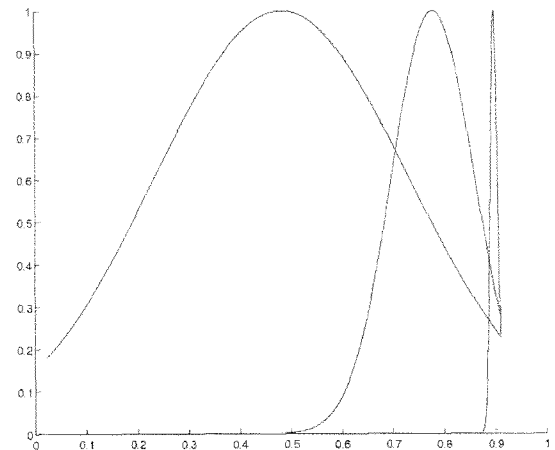
4.1 부하가 고려된 전력선 상에서의 실험

실험 구성은 아래 표 1과 같다.

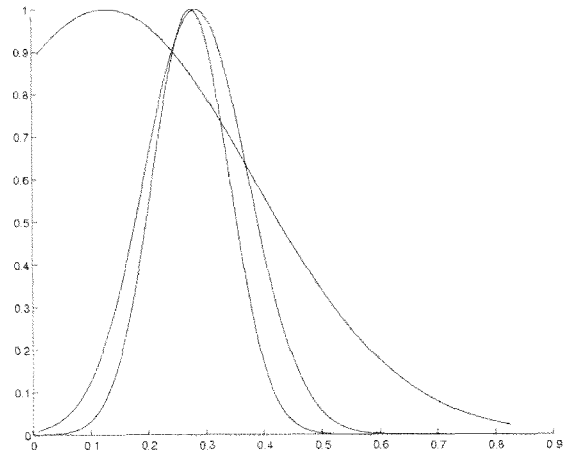
표 1. 실험 구성.

Table 1. The construction of simulation.

구성요소	설정
전력선 종류	저압 배선 (VCTF 1.5)
도선 길이	50 m
기준 신호 주파수	10 - 20 MHz
실험 데이터 수	30
도선 상황	Open / Load (Fan) / Short



(a) 규칙 R_1 의 멤버십 함수



(b) 규칙 R_2 의 멤버십 함수

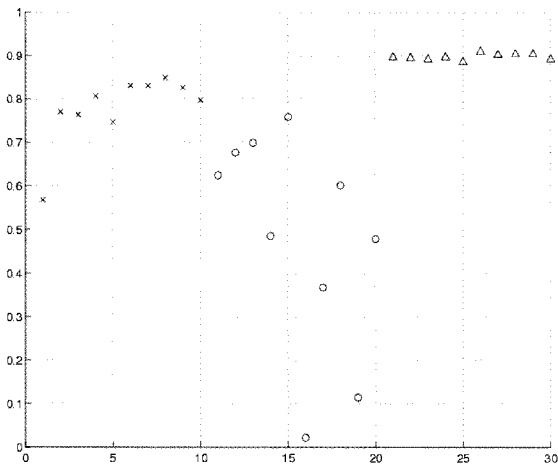
그림 7. 도선 이상 분류를 위한 멤버십 함수.

Fig. 7. Membership function for classification.

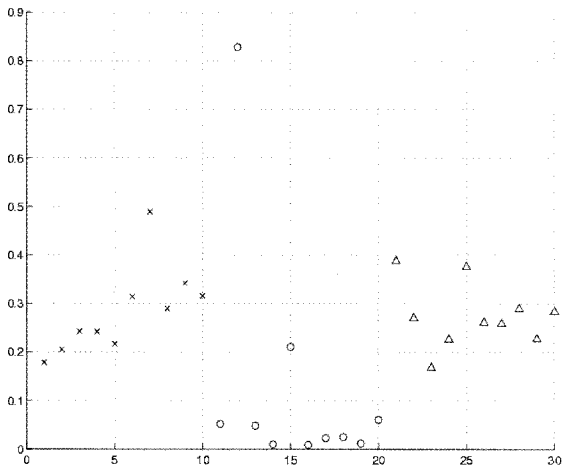
퍼지-베이지안 분류기를 통한 퍼지 규칙은 2개가 생성되었으며, 그림 7의 (a)와 (b)는 각각 생성된 규칙을 바탕으로 한 멤버십 함수를 나타낸다. 그림 7. (b)의 멤버십 함수 구성에 있어서는 도선의 이상 상황 구분이 open/load(선풍기)/short 세 가지로 구성되어 있기 때문에, short 지점과 load 지점에 있어 큰 차이가 없으므로 발생하는 상황으로, 분류에는 전혀 이상이 없다. 멤버십 함수를 통한 분류 결과는 아래 그림 8과 같다.

4.2 이상 상태 고려된 전력선 상에서의 실험

앞선 4.1에서의 실험과 달리 이번 실험에서는 도선의 이상 상태가 고려된 상황에서의 지능형 차단 시스템 구성을 나타내게 된다. 도선의 이상 상황은 크게 두 가지로 설정하게 되며, 이를 정상 상황과의 비교를 통해 분류 기준을 마련하게 된다.



(a) 기준 신호에 따른 분류

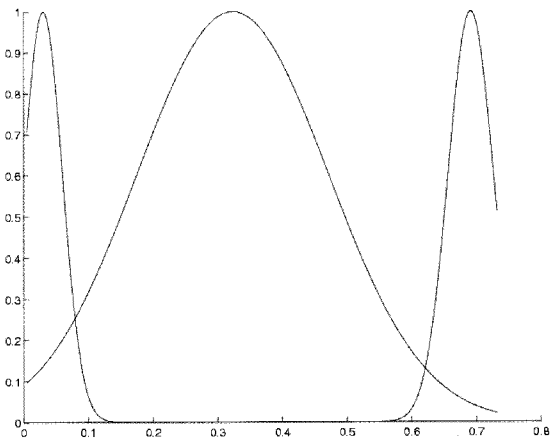


(b) 설정 신호에 따른 분류

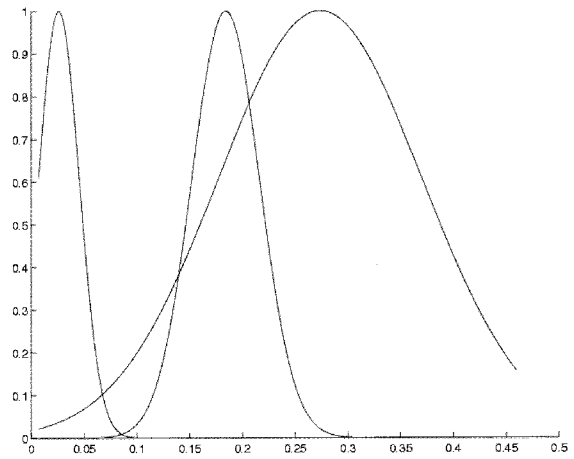
그림 8. 신호 데이터의 패턴.

Fig. 8. Pattern of signal data.

(‘x’: Open, ‘o’: Load (Fan), ‘Δ’: Short)



(a) 규칙 R_1 의 멤버쉽 함수



(b) 규칙 R_2 의 멤버쉽 함수

그림 9. 도선 이상 분류를 위한 멤버쉽 함수.

Fig. 9. Membership function for classification.

표 2. 실험 구성.

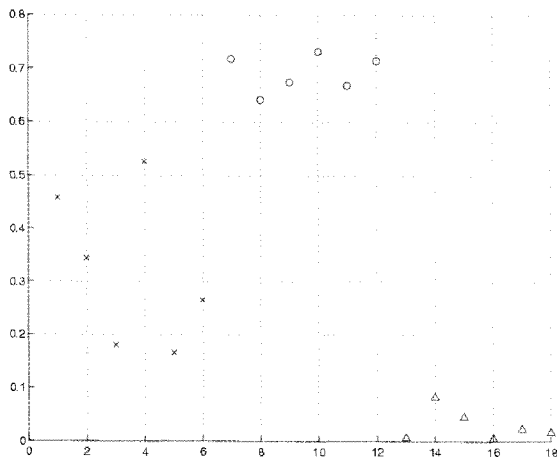
Table 2. The construction of simulation.

구성요소	설정
전력선 종류	저압 배선 (VCTF 1.5)
도선 길이	50 m
기준 신호 주파수	10 - 20 MHz
실험 데이터 수	18
도선 상황	정상 / One-side water / Two-side water

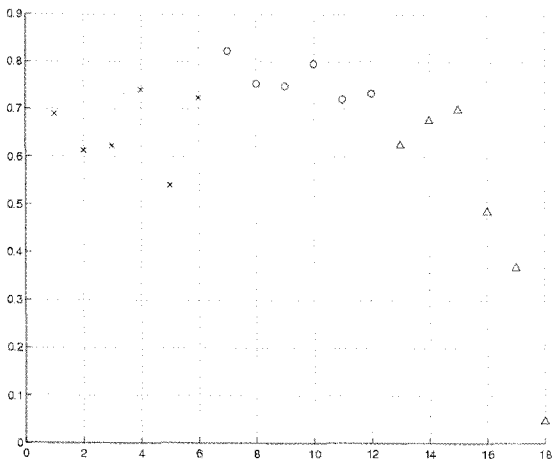
앞에서와 마찬가지로 퍼지-베이시안 분류 알고리즘을 바탕으로 한 2개의 퍼지 규칙이 형성 되며, 각각의 멤버쉽 함수가 그림 9에 나타나 있다. 이를 기반으로 하여 분류된 결과는 그림 10에서 나타나게 된다.

5. 결 론

본 논문에서는 저압 배선에서의 이상 진단을 위한 시스템 구축의 일환으로서 지능형 차단 시스템 개발을 수행하였다. TFDR 알고리즘을 통하여 전력이 흐르는 배선에서의 이상 위치를 파악하게 되며, 얻어진 신호를 분석함으로써 어떤 이상 상태인지를 분석하게 된다. 효율적인 분석 및 분류를 위하여 퍼지-베이시안 알고리즘에 바탕한 분류기를 설계하였으며, 실제 전력선으로부터 얻어진 데이터의 분류를 통하여 제안된 기법의 우수성을 증명하였다. 다양한 도선 상황에 대한 적용 가능성의 검토를 통해 보다 발전된 알고리즘으로 구축하고자 하는 것이 앞으로의 목표이다.



(a) 기준 신호에 따른 분류



(b) 설정 신호에 따른 분류

그림 10. 신호 데이터의 패턴.

Fig. 10. Pattern of signal data.

(‘x’: Two-side water, ‘o’: One-side water, ‘Δ’: Standard)

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, Dec. 2005.

[2] 최덕선, 광기석, 윤태성, 박진배, "시간-주파수 반사파 계측 방법을 이용한 전송 선로의 결함 위치 측정," 대한전기학회 논문지 9월호, pp. 521-530, 2005.

[3] 성화창, 박진배, 주영훈, 소제윤, "퍼지 분류기에 기반 한 지능형 차단 시스템 구축," 퍼지 및 지능 시스템 학회 논문지, vol. 17, no. 4, pp. 534-539, 2007.

[4] M. Setnes, and H. Roubos, "GA fuzzy modeling and classification: complexity and performance," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 8, pp. 509-522, 2000.

[5] Y. H. Joo, H. S. Hwang, K. B. Kim, and K. B. Woo, "Linguistic model identification for fuzzy system," Electron. Letter. vol. 31, pp. 330-331, 1995.

[6] D. W. Kim, J. B. Park, and Y. H. Joo, "Fuzzy Classifier with Bayes Rule Consequent," Lecture Notes in Artificial Intelligent (LNAI), vol. 3809, pp. 1130-1134, 2005.

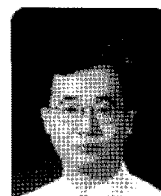
[7] H. Roubos, M. Setnes, "Compact transparent fuzzy models and classifiers through iterative complexity reduction," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 9, no. 4, pp. 516-524, 2001.

저 자 소 개



성화창(Hwa Chang Sung)
 2005년 8월 : 연세대학교 공학사
 2007년 2월 : 연세대학교 공학석사
 2007년 3월~현재 : 연세대학교 전기 전자 공학과 박사과정

Phone : 02-2123-2773
 Fax : 02-362-4539
 E-mail : casfirspear@control.yonsei.ac.kr



박진배(Jin Bae Park)
 제 18권 3호(2008년 6월호) 참조



주영훈(Young Hoon Joo)
 제 18권 3호(2008년 6월호) 참조