

# IoT 기반 화재 탐지 시스템에서 지도 학습을 활용한

## Fault Detection 기술

김남호<sup>o</sup>, 홍충선<sup>\*</sup>  
 경희대학교 컴퓨터공학과  
 {knm1471, cshong}@khu.ac.kr

### Fault Detection Mechanism using supervised Learning in fire detection system based on IoT

Namho Kim<sup>o</sup>, ChoongSeon Hong<sup>\*</sup>  
 Department of Computer Science and Engineering, Kyung Hee University

#### 요 약

최근 다양한 IoT 디바이스들이 등장함으로써 국내외 IoT 시장 규모가 증가함에 따라, 수많은 IoT 디바이스들로 구성된 IoT 네트워크에 대한 효율적인 관리 기술이 요구되고 있다. 제어 엔지니어링의 접근방법 중 Fault Detection and Isolation 기술은 오류의 발생 시기 식별 및 오류 유형과 위치를 찾아내는 기술이다. Fault Detection and Isolation 기술은 센서 값의 장애 패턴을 인식하거나 측정값과 예측값의 불일치를 분석하는 방법으로 나눌 수 있다. 따라서 본 논문에서는 화재 감지 시스템에서의 지도학습 기반 Fault Detection and Isolation 기술을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 지도학습 방법 중 하나인 선형 회귀 모델을 활용하여 실효율도와 온도 센서 값을 통해, 화재를 예측하거나 Fault 상황을 Detection 한다.

#### 1. 서 론

최근 다양한 IoT 디바이스들이 등장함에 따라, 국내외 IoT 시장 규모가 향후 10년 동안 최대 5배 이상 성장할 것으로 예상하고 있다.[1] 이렇듯 IoT 시장 규모의 성장과 수많은 IoT 디바이스들로 인하여 IoT 네트워크에 대한 효율적인 관리 기술이 요구되고 있다. 본 논문에서는 기존의 네트워크 매니저로부터의 관리 시스템이 아닌 자율적인 IoT 디바이스들의 관리를 위해 디바이스로부터 수집되는 정보를 바탕으로 Fault Detection, Isolation 하는 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 Fault 상황 자율 인지 기술은 지도 학습을 기반으로 하여 현재 IoT 디바이스의 장애를 분류, 장애상황 발생 시 Isolation하는 기법이다. 본 논문의 2장에서는 기계학습 기법 중 하나인 지도학습에 대해 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 시나리오와 시스템 구조를 명시한다. 그리고 4장에서는 지도학습을 적용한 자율적인 장애 상황 Isolation 기법을 제안한다. 5장에서는 지도 학습 기반 Fault Detection, Isolation 기술의 적합성을 확인하고 끝으로 6장에서는 결론 및 향후 연구방향에 대하여 논한다.

#### 2. 관련연구

##### Fault detection and isolation

장애 상황 인지 및 격리는 오류의 발생 시기 식별 및 오류 유형과 그 위치를 찾아내는 제어 엔지니어링의 하위 필드다. 장애 상황을 식별하는 방법은 크게 두 가지 방법이 있다. 먼저 센서 값의 장애 패턴을 직접 인식하는 방법과, 예측 값과 실제 센서 값 사이의 불일치 분석 방법이 있다.[2]

##### 선형회귀

선형 회귀는 종속 변수  $y$ 와 한 개 이상의 독립 변수  $x$ 와의 선형 상관관계를 모델링하는 회귀분석 기법이다. 만약 값을 예측하기 위해 선형 회귀를 사용하는 경우, 먼저 데이터에 적합한 예측 모델을 개발한다. 그리고 개발한 선형 회귀 식을 사용해  $y$ 가 없는  $x$ 값에 대해  $y$ 를 예측하기 위해 사용 할 수 있다.[3]

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

수식 (1)은 단순선형회귀모형을 나타낸다. 여기서  $y$ 는 반응변수,  $\beta_0$ 와  $\beta_1$ 은 각각 절편과 기울기이고,  $\epsilon$ 는 모형의 오차 값을 나타낸다.

#### 3. 시나리오 및 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 시스템 구조는 그림 1과 같다.

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0190-16-2017, IoT 기기의 물리적 속성, 관계, 역할 기반 Resilient/Fault-Tolerant 자율 네트워크 기술 연구) \*Dr. CS Hong is the corresponding author

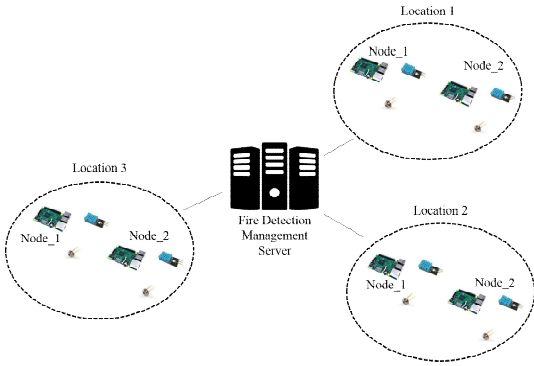


그림 1. System Model

본 시스템은 하나의 관리 서버와 화재 탐지를 위한 수많은 IoT 디바이스들이 연결되어있다. 관리 서버는 각각의 IoT 디바이스들의 위치 정보를 알고 있다고 가정한다. 각 위치마다 보다 정확한 화재 감지를 위해 2개 이상의 온도센서와 습도센서가 존재한다. 각 센서들 중 한 개의 센서는 값을 측정하여 관리 서버로 전송하지만, 실제 화재를 탐지하는 경우에는 사용되지 않는다. 화재 감지 IoT 디바이스들의 자율적인 관리를 위해 관리 서버는 IoT 디바이스로부터 전달받은 데이터를 기반으로 장애 상황을 식별한다. 장애 상황이 발생한 경우, 장애를 Isolation 하는 방법은 다음 장에서 다루도록 한다.

4. 지도 학습 기반 Fault Detection 및 Isolation 기법

Fault Detection 및 Isolation을 하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

**Algorithm** Fault Detection and Isolation

*BEGIN*

- 1: *if H(Humidity Sensor value) receive*
- 2:     *Calculate He*
- 3:     *Add He in training data set*
- 4:     *Select Optimal y(regression model)*
- 5:     *loop per each temperature sensor*
- 6:     *Compare S(temperature value) with y*
- 7:     *if S > |y-ay|*
- 8:         *if He < 0.6 also |S'-S| < 2ε*
- 9:         **Fire Detection**
- 10:        *else*
- 11:        **Fault Detection and Isolation**
- 12:        *else*
- 13:        **No Fault**

*END*

먼저 관리 서버는 Fault Isolation을 위해 기계학습 기법 중 하나인 지도 학습을 통해 장애 상황을 판별할 수 있는 임계 값을 설정해야한다. 그림 1 상 표기된 Node\_1

로부터 전달받은 측정값을 기반으로 관리서버는 단순선형회귀모델을 구성한다. 이 때의 관리서버는 선형 회귀 모델을 위해 x값을 실패 습도로, y값을 측정된 센서의 값으로, 그리고 ε 값은 센서의 오차율로 선정한다.

1)

관리 서버는 종속 변수인 x값인 실패 습도의 값을 측정한다. 실패 습도는 실제로 측정된 습도가 아닌 1주일 정도의 상대 습도 값을 나타낸다. 실패습도는 다음과 같은 식을 통해 얻어진다.[4]

$$He = (1 - r) \sum_{i=0}^n r^i H_i \tag{2}$$

여기서 r은 가중치를 의미하며 r값은 1보다 작은 값이다.  $H_i$ 값은 i일 전 평균 상대습도를 나타낸다. 관리 서버는 각 위치 별 습도센서로부터 평균 상대 습도 값을 계산하고, 현재의 실패습도 값을 계산한다.

2)

계산된 실패습도 값과 현재 온도 센서 값을 통해 관리 서버는 실패습도에 따른 온도 센서 측정값 Training Data set을 구성한다. 관리 서버는 Training Data set을 기반으로 산점도를 작성한다. 작성된 산점도 상에 두 변수의 평균  $E[X]$ ,  $E[Y]$ 값과의 교차점을 통해 회귀선을 찾는다. 그림 2는 산점도와 회귀선을 나타낸다.

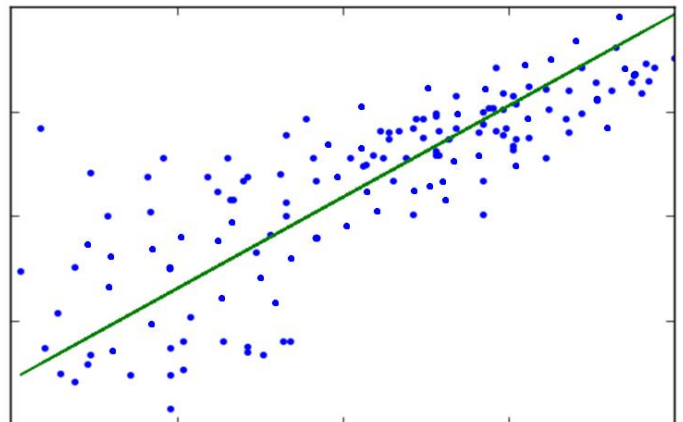


그림 2. regression line

그러나  $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i$  를 만족하는 각 x에 대한 y의 선형 모델은 다수의 그래프가 형성된다. 이에 따라 예측 값의 오차를 줄여, 최적의 예측 값을 나타내는 그래프를 선정할 필요가 있다. 따라서 관리서버는 회귀 오차의 제곱 값의 합이 최소가 되는 표본 회귀선을 찾는 최소제곱법을 활용하여 최적의 그래프를 산출한다.[5]

$$\min \sum_{i=1}^n (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i))^2 \tag{2}$$

식 (2)는 최적의 최소 제곱직선을 구하는 식이다.  $\beta_0$ 와  $\beta_1$  값에 의해 식 (2)의 최솟값이 결정되기 때문에 관리 서버는 먼저  $\beta_0$ 와  $\beta_1$  값을 계산한다. 계산과정은 다음과 같다.

$$\begin{cases} 0 = \frac{\partial(2)}{\partial\beta_1} = \sum 2(y_i - \beta_0 - \beta_1 x)(-x_i) \\ 0 = \frac{\partial(2)}{\partial\beta_0} = \sum 2(y_i - \beta_0 - \beta_1 x)(-1) \end{cases} \quad (3)$$

식 (2)의 최솟값을 구하기 위해 편미분 값이 0이 되어야 함을 이용한다. 계산의 결과로 다음과 같은 값을 도출 할 수 있다.

$$\beta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y)(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad \beta_1 = \bar{y} - \beta_0 \bar{x} \quad (4)$$

계산된  $\beta$ 값들을 이용하여 관리서버는 최적의 최소 제곱직선을 확립하고, 이에 따라 관리 서버는 최적의 기댓값을 예측할 수 있다.

관리 서버는 이와 같은 과정을 통해 실효습도( $x$ )에 따른 온도 센서의 기댓값( $y$ )을 식별할 수 있다. 식별된 기댓값과 현재의 온도 센서 값과의 차이를 확인한 관리 서버는 다음과 같이 크게 두 가지 경우를 고려하여 Fault 상황을 Detection 및 Isolation 한다.

- 1)  $S < |Y - \alpha Y|$   
만약, 온도 센서 값( $S$ )이 임계치보다 작은 값이라면, 관리 서버는 센서가 정상적으로 동작하고 있다고 판단한다.
- 2)  $S > |Y - \alpha Y|$   
만약, 온도 센서 값( $S$ )이 임계치보다 큰 값이라면, 관리서버는 실효습도와 같은 위치에 설치된 다른 센서 값( $S'$ )를 확인한다. 만약  $He$  값이 0.6 미만이고,  $S'$  값이  $S$ 값과의 차이가  $2\epsilon$ 미만이면, 화재 발생으로 판단한다. 이를 제외한 경우는 해당 센서의 Fault 상황을 감지, Isolation을 위한 조치를 취한다.

### 5. 성능평가

제안하는 Fault Isolation 기술을 활용한 시스템을 5대의 라즈베리파이를 활용하여 구축하였다. 각각의 라즈베리파이는 온도 센서 및 습도 센서를 연결하였다. 그림 3은 실제 센서 데이터 값을 기반으로 온도 센서 값과 실효습도 값의 회귀 분석 결과이다.

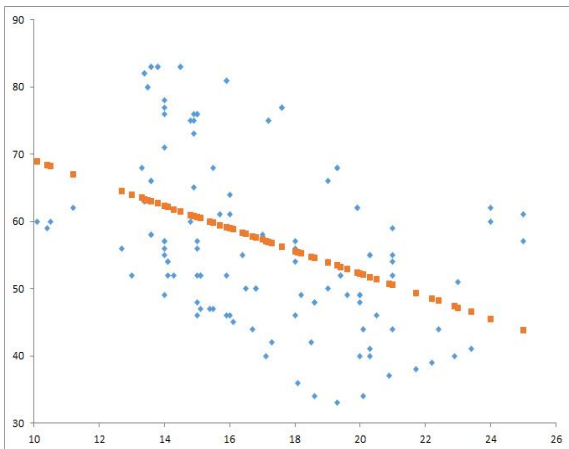


그림 3. Regression Analysis Result

회귀 분석 결과를 기반으로 실제 화재 상황 및 Fault 상황을 가정하여 Fault Detection을 확인하였다. Fault 상황을 재현하기 위해 라즈베리파이는 실제 센서 값이 아닌 센서의 최대,최소 출력 값을 전달하도록 하였다. 실제 테스트 결과 Fault Detection은 80%정도로 탐지할 수 있었다. 이는 Training Data set의 보다 정확한 예측 값을 식별하기위한 data sampling 과정과 보다 많은 Training Data set을 확보한다면 보완 될 수 있을 것으로 예상된다.

### 6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 IoT 기반 화재 탐지 시스템에서 Fault 상황에 대해 자율적으로 관리할 수 있는 지도 학습을 활용한 Fault Isolation 기술을 제안하였다. 제안하는 화재 탐지 시스템에서의 Fault Isolation 기술은 화재 발생에서 주요한 변수인 실효습도에 따른 온도 값을 예측하고 실제 센서 데이터 값과의 연산을 통해 Fault 상황을 Detection 및 Isolation한다. 제안하는 기법은 실제 센서 값들을 Training Data Set으로 설정하고 최소제곱법을 활용하여 보다 정확한 예측 값을 기대할 수 있고, 그에 따라 Fault 상황을 보다 자율적이고 정확하게 Detection 및 Isolation 할 수 있다.

향후 연구로는 본 논문에서 제안하는 시스템과 SDN(Software Defined Network) Controller 등과 결합하여, Fault 상황을 Detection 및 Isolation 할 뿐 아니라, 네트워크 관리 기술을 통해 사물을 제어하는 기술에 대해서 연구할 것이다.

### 7. 참고문헌

- [1] "IoT 현황 및 주요 이슈", 한국소프트웨어기술진흥협회
- [2] Linear regression, [https://en.wikipedia.org/wiki/Linear\\_regression](https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_regression)
- [3] Fault detection and isolation, [https://en.wikipedia.org/wiki/Fault\\_detection\\_and\\_isolation](https://en.wikipedia.org/wiki/Fault_detection_and_isolation)
- [4] 이광호, "인간과 기후환경", 시그마프레스, 2016, 242-243
- [5] Raymond R. Shoultz, W. Mack Grady, Steve Helmick, "An Efficient Method for Computing Loss Formula coefficients Based Upon The Method of Least Squares", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-98, No. 6, 1979