

An Architecture for Managing Faulty Sensing Data on Low Cost Sensing Devices over Manufacturing Equipments

Yuna Chae[†] · Changi Kim[†] · Haram Ko[†] · Woongsup Kim^{††}

ABSTRACT

In this study, we proposed a monitoring system for identifying and handling faulty sensing stream data on manufacturing equipments where low-cost sensors can be safely used. Low cost sensors will lessen the cost of implementing distributed monitoring system, but suffer from sensor noises and inaccurate sensed data. Therefore, a distributed monitoring system with low cost sensors should identify faulty signal data as either of sensor fault or machine fault, and filter out faulty signals from sensing fault. To this end, we adopted a fourier transform based diagnostic approach mixed with a weighed moving averaging method, in order to identify faulty signals. We measured how effective our approach is and found out our approach can filter out one-third faulty signals from our experimental environment. In addition, we attached wireless communication modules to reduce sensor and network installation cost. To handle massive sensor data efficiently, we employed unstructured data format with NoSQL based database.

Keywords : Manufacturing Equipment, Monitoring, Unstructured Data, FFT, Faulty Signal, NoSQL

전문 설비의 이상신호 처리를 위한 저비용 관제 시스템 구축

채유나[†] · 김창규[†] · 고하림[†] · 김웅섭^{††}

요 약

본 연구에서는 공장 내부의 설비의 동작의 이상 유무를 저가의 센서를 사용하여 모니터링하고 이를 확인할 수 있도록 하는 시스템을 구현하였다. 저가의 센서들은 저렴한 비용으로 넓은 장소에 다량의 기기들에 설치할 수 있다는 장점을 가지지만 센서의 오작동 및 센서의 정확성 문제로 정확한 감시와 확인이 어려워진다는 단점을 가진다. 따라서 저가의 센서를 사용하게 되면 생산설비에서 발생하는 데이터로부터 이상 값을 구분하여 이상상황에 대한 센서의 오작동인지 또는 설비의 고장인지 여부를 판단하고 이를 알람을 통해 확인할 수 있는 모니터링 시스템이 필수로 구축되어야 한다. 본 연구에서 우리는 저가의 센서들에서 감지된 정상 범위를 벗어나는 데이터 값에서 센서의 오작동과 설비의 고장여부를 구분할 수 있는 시스템을 구현하였으며 이를 위해 우리는 가중이동 평균법과 푸리에 변환 기반 신호 검증 시스템을 혼합한 시스템을 설계 구현하였다. 이를 통해 설비에서 정상범위를 벗어나는 값들이 감지되는 경우 이들을 기기의 이상과 센서의 이상 상황으로 구분할 수 있도록 하였으며 실험결과 전체 이상 신호 값 중에 1/3에 해당하는 부분을 센서의 이상 상황으로 분류 정상처리하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 우리는 모니터링 시스템의 구축 비용 절감을 위해 정보를 무선통신으로 전송하도록 하였으며 작동 센싱 정보들을 비정형 데이터로 구현 처리하도록 하여 다수의 센서에서 수집된 대규모의 정보들을 효율적으로 처리할 수 있도록 하였다.

키워드 : 전문설비, 모니터링, 비정형 데이터, FFT, 이상신호, NoSQL

1. 서 론

제 4차 산업혁명의 시대가 도입되면서 공장시설의 생산 및

제조기업의 산업 및 생산 환경이 급격히 변화되고 있다[1, 2]. 4차 산업혁명 시대에서는 고객의 수요에 즉각적으로 대응할 수 있으며 안전하고 신뢰성 높은 생산 환경의 구축을 필수로 한다[3]. 안전하고 신뢰성 높은 생산환경을 구축하기 위해서는 다수의 설비들을 동시에 모니터링하고 제어하기 위해 시스템이 요구된다. 고객의 수요에 맞는 안정적인 생산환경을 확보하기 위해서는 결합이 있는 생산설비를 사전에 파악하고 효율적인 설비 관리를 위한 최적의 제어를 실시간으로 조치할 수 있도록 하는 시스템을 필요로 하기 때문이다[4]. 이에 따라 산업용 생산 설비 및 공장시설의 다수의 설비들을 모니터링하고 제어하여 시스템의 유지관리의 필요성이 더욱 더

* 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 SW중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음(과제번호: 2016-0-00017).

** 이 논문은 2017년도 한국정보처리학회 추계학술발표대회에서 “전문 설비의 고장여부를 판단하기 위한 관제 시스템의 설계와 구현”의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.

[†] 비 회 원 : 동국대학교 정보통신공학과 학사

^{††} 정 회 원 : 동국대학교 정보통신공학과 부교수

Manuscript Received : December 18, 2017

First Revision : January 23, 2018

Accepted : January 28, 2018

* Corresponding Author : Woongsup Kim(woongsup@dongguk.edu)

부각되고 있다[5, 6].

그러나 현재 보급되는 제어 시스템은 정확한 관계 기능을 위해 고가의 정밀한 센서가 필요하며 이러한 센서의 도입은 높은 비용을 요구하게 된다. 공장시설의 경우 넓은 면적을 가지고 있으며 많은 수의 기기를 운영하고 있어 이들의 정상 동작 여부를 모두 확인 할 수 있도록 하기 위해서는 다수의 센서가 필요한데 이를 수많은 설비에 장착하기 위해서는 비용상 많은 부담이 된다. 따라서 공장 내의 다양한 위치에 저가의 센서를 활용한 설비 제어 시스템의 도입이 매우 필요하다.

하지만 저가의 센서의 경우에 센서를 통해 읽어오는 데이터 값의 정밀성과 그 값에 대한 정확성에 문제가 생긴다. 이는 시스템의 신뢰성에 영향이 끼치게 되는 문제를 발생시킨다[7]. 또한 다수의 센서집단을 운용함에 따라 데이터양이 급격하게 증가하는데 이를 처리하기 위한 데이터 전송 및 저장에 대한 시스템 구축비용이 많이 들 수 있으며 따라서 다량의 센싱 데이터를 효율적으로 처리할 수 있어야 한다[8, 9].

본 연구에서 우리는 저가의 센서를 활용하는 생산설비에서 발생하는 데이터로부터 이상 신호를 구분하여 이상상황에 대한 오류여부를 판단하고 이를 알람을 통해 확인할 수 있는 모니터링 시스템을 설계하였다. 우리가 제안한 시스템을 통해 저가의 센서의 활용도와 신뢰성을 높여 저비용 고 신뢰성의 관계 시스템 구현이 가능하도록 하였다.

우선 컨베이어 벨트 같은 전문설비를 대상으로 센서와 통신모듈을 부착하여 온도, 소리 및 진동 데이터를 취득 전송할 수 있도록 하였으며 저가의 센서를 통해 취득된 데이터에서 발생하는 이상 신호를 보정하기 위한 방법을 고안하였다. 센서에서 취득한 신호는 무선통신 모듈을 통하여 비정형 데이터 형식으로 서버컴퓨터로 전송된다. 이러한 센싱 정보들은 센서의 수가 증가할수록 그 크기가 기하급수적으로 증가할 수밖에 없는데, 우리는 이러한 상황에 대응하기 위해 빅데이터 용 비정형 데이터베이스를 사용하여 효율적으로 데이터를 처리할 수 있도록 하였다. 다음으로, 센싱된 데이터를 실시간으로 확인 할 수 있는 시각화와 이상 수치에 대한 오류 여부를 보정하여 설비의 오류 여부까지 판단할 수 있는 시스템을 설계하였다. 이상 신호를 보정하기 위해서 우리는 특정 주기 내에 탐지된 이상 신호의 수와 정상 신호의 수를 비교하여 이상상황을 판단하는 방법과 Fast Fourier Transform (FFT)를 혼합한 방법을 고안하여 이상 신호가 발생했을 경우, 이상 신호가 센서의 잘못으로 생긴 이상 신호인지 또는 기기의 잘못된 동작에서 발생한 이상신호인지를 파악할 수 있도록 하였다. 해당설비가 고장이라고 판단되는 경우 웹을 통해 경고 알람을 전송하고 해당 설비의 위치와 근거가 되는 데이터를 통해 상태를 확인할 수 있다.

또한 우리는 센싱된 정보를 NoSQL을 사용하여 비정형으로 전송, 저장할 수 있도록 하여 센싱 정보 처리의 확장성과 유연성을 높였으며 효율적인 정보 처리가 가능하도록 하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 연구에서 활용한 빅데이터 분석을 위한 MongoDB, 비교시스템으로 상황정보 모니터링 시스템 그리고 통신을 위한 무선 네트워크

연구에서의 최근 동향과 적용 사례들을 보이고 있다. 3장에서는 센서를 활용한 고장진단 시스템에 대한 설계내용과 우리의 접근방법을 설명한다. 4장에서는 우리가 제안한 시스템에 대한 실험 결과를 보이며 우리가 제안한 시스템이 어떻게 실제 기기에 적용 활용되는 지를 보이고 있다. 마지막 5장에서는 최종적으로 본 연구로부터의 결론과 향후 연구방향에 대해 기술한다.

2. 배경 기술

2.1 MongoDB

NoSQL은 SQL로 대표되는 기존의 관계형 모델 데이터베이스와 반대되는 개념이다. 관계형 데이터베이스와는 달리 NoSQL 데이터베이스는 각 데이터 특성에 맞는 고유의 데이터 모델을 가질 수 있으며 따라서 데이터의 특성에 따른 데이터 확장에 용이하다[10]. 그중 MongoDB는 문서 지향 데이터베이스이다. MongoDB는 임베디드 된 문서 및 배열을 사용하여 단일 레코드에서 존재하는 복잡한 계층 관계를 JavaScript Object Notation(JSON) 형태로 표현할 수 있으며, 자동화된 샤딩(Sharding)으로 기능 손실이 없는 수평적 확장이 가능하며 확장성이 좋고 입출력 성능이 우수하며 비정형 데이터와 더불어 다양한 데이터를 수용할 수 있다. 따라서 방대한 양의 데이터에서 관리 비용이 낮아지며 사용 편의성이 좋아진다[11]. MongoDB는 복잡한 데이터 유형을 저장하기 위한 Bson(Binary JSON) 데이터 구조와 강력하고 복잡한 질의 언어를 지원하며, 이미지나 비디오 같은 대량 데이터에 빠른 접근이 가능하다. 따라서 MongoDB를 사용하는 경우 센싱정보를 스트림화시켜 전송하고 저장하는 것이 쉽게 구현된다. 본 연구에서 우리는 다양한 설비에 설치된 다양한 센싱 정보를 처리하기 위해 구조적 DB보다는 확장성이 용이한 비구조적 DB가 효율적인 센싱 데이터 처리에 적합하다고 판단하여 MongoDB를 사용하여 센싱 정보가 저장되도록 구현하였다.

2.2 유비쿼터스 네트워크를 활용한 상황정보 모니터링 시스템

유비쿼터스 네트워크를 활용한 상황정보 모니터링 시스템은 무선 노드의 센싱 기술을 이용하여 상황을 감지하는 시스템이다[12]. 이 시스템은 일반적으로 지능형 센서로 불리는 제한된 자원을 가지는 작은 하드웨어 안에 CPU와 통신 및 센싱 모듈을 갖는다. 유비쿼터스 시스템 내에서의 센서들은 데이터 처리 기능, 통신 기능 및 센싱 기능을 갖춘 자율적인 컴퓨팅 단말 기능을 수행할 수 있도록 설계된다. 센서로부터 수집된 데이터는 데이터베이스가 있는 PC에 전송되어 저장한다[3]. 일반적인 센서 시스템은 대형의 고가 센서를 사용하여 유선으로 사용자에게 직접 연결되고 데이터를 수집하는 형태로 설계가 되어 있지만 본 연구에서는 저가의 센서를 사용하기 때문에, 센서 환경에서 발생할 수 있는 오류에 대한 정제 기능을 추가하여 사용자들의 사용 목적에 맞도록 설계하였다.

유비쿼터스 센서 네트워크를 사용하게 되면 센서의 설치 간격에 대한 제한이 적어지므로 기존 통신보다 다양하고 자유롭게 센서들을 설치할 수 있다는 장점이 있다[13]. 유비쿼터스 센서 네트워크에서는 사용자 상황 정보나 조도나 온도 정보를 센서를 활용하여 획득하고 AD-hoc 네트워크를 통해서 서버로 센싱 정보를 수집하며 TinyOS와 같은 활용해 작은 크기의 OS를 활용하여 데이터를 분석한다[14, 15]. 여기서 센서로부터 수집된 자료들을 분석하여 파악할 수 있는 정보를 상황 정보라고 하며, 이를 통해 실시간으로 정보를 정확하게 생성하여 스스로 주변 환경 상황을 인식하고 맞춤형 예측 서비스를 제공해 줄 수 있다[16].

2.3 IoT 용 무선센서 네트워크

IoT용 무선센서 네트워크는 수많은 센서 노드로 구성된 네트워크이다[17]. IoT용 무선센서 네트워크에서는 물리적 사물에 센서를 부착하고 센서에 정보통신 기술을 결합하여 지능형 시스템을 구현한다. 소리, 진동 등을 감지하는 다양한 센서들이 네트워크로 연결되어 상황 모니터링 및 관리에 활용된다[18]. 무선 네트워크는 유선 네트워크에 비해 다양한 환경변수를 고려할 때 확장성 효율성을 가지고 있어 센서 기술과 접목하여 IoT환경을 구축하는 핵심기술로 작동한다[19].

일반적으로 센서 노드의 하드웨어는 전원 및 전원 관리 모듈, 센서, 마이크로컨트롤러, 무선 송수신기 등으로 이루어져 있다. 먼저 전원 모듈은 시스템에 안정적인 전력을 제공한다. 센서는 환경이나 장비의 소리, 진동 등 화학적 신호를 전기 신호로 변환시킨다. 마이크로 컨트롤러는 센서에서 데이터를 수신하여 필요한 정보를 처리한다. 마지막으로 무선 송수신기는 물리적 통신을 수행하는 기능을 가진다.

그러나 센서 네트워크 기술을 대규모의 센서에 적용하는 것은 무리가 있다. 센서 네트워크는 대부분 폐쇄형 아키텍처와 결합하여 설계되기 때문에 적용환경이 한정적이다. 따라서 제 3자 (third-party) 자원을 통합하는데 효율적이지 못하다. 따라서 센서 정보를 공유하거나 데이터를 센서 네트워크 내부에서 통합하여 처리할 수 있도록 시스템을 구축하여야 한다[20, 21].

3. 관제 시스템 설계

3.1 센싱 정보

센싱 정보는 감지대상 설비의 현재 상태를 파악하기 위한 자료로 따라서 고장여부를 판단하기 위한 시스템에서 중요한 정보가 된다[22, 23]. 본 연구에서 제안한 실험에서는 온도 및 소리 센싱 데이터를 감지하여 지정 설비의 현재 상태를 인식하도록 한다. 감지된 센싱 정보는 센서 보드를 거쳐 통신 모듈을 통해 센싱된 데이터를 웹서버와 하드웨어 서버로 전달하여 저장한다. 본 연구에서의 센서 보드는 아두이노와 라스베리파이를 결합하여 구현하였으며 여기에 무선 모듈을 연결하여 무선으로 센싱정보가 DB 서버에 전달할 수 있도록 구현하였다. DB서버에 저장된 센싱 데이터는 웹 서버에서 제공

하는 실시간 및 고장진단 그래프에 반영된다. 실시간 그래프에서는 실시간으로 감지되는 대상 설비의 상황정보를 꺾은선 그래프로 표현하여 설비의 현재 상태를 파악할 수 있도록 하였다. 고장진단 그래프에서는 시간을 입력하도록 설정하여 해당 시간의 50초 전후 구간의 센싱 데이터를 꺾은선 그래프로 출력하여 대상설비의 고장여부를 판단하도록 하였다.

3.2 예측 시스템 구성

설비에서 측정된 센싱 값이 정상범위를 벗어나게 되면 설비의 고장 여부를 판단할 수 있도록 오류의 이상 수치를 설비의 이상으로 발생한 이상수치 인지 아니면 센서의 오류로 발생한 이상수치 인지를 구분해내야 한다. 이상수치를 처리하는 방법에는 현재 다양한 방법이 존재한다. 패턴이 없는 센싱 데이터의 경우 간헐적인 이상수치를 탐지하는 방법을 사용하고 있다. 간헐적인 이상수치를 탐지하는 방법에는 통계 분포를 활용하는 통계기반 접근법, 블록 꺾질의 경계에 있는 데이터를 이상수치로 탐지하는 깊이 기반 접근법, 주변 데이터들 사이의 거리를 측정하여 이상수치를 판별하는 거리 기반 접근법등이 있다[24-26].

본 연구에서는 센싱 정보들의 데이터들을 실험해서 통계 분포를 분석하여 활용하는 통계기반 접근법 중의 하나인 가중 이동평균법을 활용한다. 가중이동평균법과 함께 푸리에변환 방법을 통하여 주변 상황에 대한 값들을 포함시켜 탐지의 정확성을 높이고자 한다. 가중이동평균법은 단순 이동 평균법이 모든 데이터에 동일한 가중치를 부여하여 평균을 산출하는데 반해, 최근의 데이터에 더 큰 가중치를 부여하여 평균치를 구하고 이 평균값을 차기의 예측 값으로 사용한다. 그 이후 예측 값과 측정값이 차이가 나게 되는 경우에 푸리에 트랜스폼을 통해서 이상수치가 있는 값들의 모임을 분류해 낸다.

이 방식을 활용한 이상수치 탐지 방법 절차는 3가지 단계로 이루어진다. 1단계에서는 가중이동평균 분석을 통한 이상치 판별, 그 값들의 푸리에 분석을 통한 이상수치 값의 분류, 알람 알고리즘을 통한 이상값 분석 및 탐지로 이루어진다.

```

1 while(read sensor data) do
2   if(value is detected as outlier) then
3     increase error_count
4     decrease non-error_count
5   else
6     if(overlap of error_count) then
7       increase non-error_count
8       if(overlap of non-error_count) then
9         decrease error_count
10      else
11        reset non-error_count
12  if(overlap of error count) then
13    return alert and inform faulty location
    
```

Fig. 1. The Proposed Faulty Signal Handling Algorithm Used in Step 3

3.3 설비의 오류와 센서의 오류를 탐지하는 알고리즘

본 연구에서는 3단계의 센서 정보처리 과정을 거쳐 설비의 오류와 센서의 오류를 분류하였다.

먼저 1단계 과정에서는 센서값들의 평균값을 측정한다. 평균값 측정은 슬라이딩 윈도우 방식을 이용한다. 1초 간격으로 새로운 센싱 정보를 받고 정해진 윈도우 사이즈만큼 센싱 데이터를 불러온다. 이 때 윈도우 사이즈와 정상적인 값으로 인식되는 데이터 값의 구간은 각 설비마다 상이하게 설정이 가능하며 해당 설비의 값들의 사전 분석으로 정할 수 있다. 또한 각 설비의 위치나 계절 등에 따라서 변경되는 환경적 변수들도 기기와 기기가 동작하는 환경의 특성에 맞게 설정을 할 수 있다..

1단계 과정을 거친 후 얻어진 평균값이 정상적으로 판단되는 구역을 벗어나는 경우 2단계와 3단계 과정을 수행한다, 2단계에서는 주어진 슬라이딩 윈도우에 포함되어 있는 값들을 푸리에변환을 한다. 만약 윈도우 내의 값들 간의 차이가 적고 비슷하다면 푸리에 변환을 통한 값들이 주파수 별(x축)로 적은 차이를 가지는 값을 가질 것이다. 그러나 값들 간의 차이가 크다면 결과 값들 간의 차이 또한 매우 클 것이다. 이를 통해 평균값 외의 이상 수치를 가지고 있는 윈도우를 분류해 낼 수 있다.

3단계는 2단계와 무관하게 1단계에 이어서 윈도우 내의 값들의 평균을 계산한다. 3단계에서는 Fig. 1에서 제시된 알고리즘을 활용한다. Fig. 1의 알고리즘은 1단계에서 측정한 시간 구간에서의 값들 중에 정상적인 값들과 비정상적인 값들의 수를 비교하여 정상적인 값에 비해 비정상적인 값이 많다면 설비의 오류로 그렇지 않다면 센서의 오류로 판단 기기는 정상으로 동작하는 것으로 판별하는 알고리즘이다. 알고리즘의 2번째 줄의 outlier detection은 슬라이딩 윈도우 안에서의 값들의 평균을 계산하고 그 평균값을 기준으로 사전에 설정된 임계치의 범위를 넘는 값이 인식된 경우에 센서 값을 outlier로 판단 3.4 번째 작업을 실행시킨다.

최종적으로 2단계와 3단계에서 모두 오류 상황으로 인식된다면 이는 기기의 오류로 판별한다. 만약에 2단계에서의 인식 결과와 3단계에서의 인식 결과가 다르다면 이는 센서의 오류로 판단하여 시스템을 따로 알림 메시지를 만들지 않는다.

배터리 부품 생산 라인에서 만들어지는 소리 값을 수치화한 것을 4장의 Fig. 5의 노이즈가 들어간 그래프라고 할 때, 그 수치는 1단계에 따라 Fig. 5의 부드러운 그래프로 변화한다. 2단계에서는 푸리에변환을 통해 Fig. 4에서와 같이 이상 수치를 판단, 걸러내게 된다. 마지막으로 3단계에서는 주변 수치에 따른 변화 등에 따른 오류를 판단하기 위해 Fig. 1의 알고리즘을 이용하여 지속적인 오류에 가중치를 두어 계산하게 된다. 만약 2단계와 3단계 모두 오류로 판정한다면 해당 신호는 기기의 오류로 판정하게 된다. 보다 자세한 사항은 4장에서 기술한다.

아두이노에 부착된 센서로 부터 센싱된 데이터는 라즈베리파이로 전송된다. 라즈베리파이는 센싱된 데이터를 JSON 포맷으로 변환한 후 와이파이를 이용하여 무선통신으로 서버

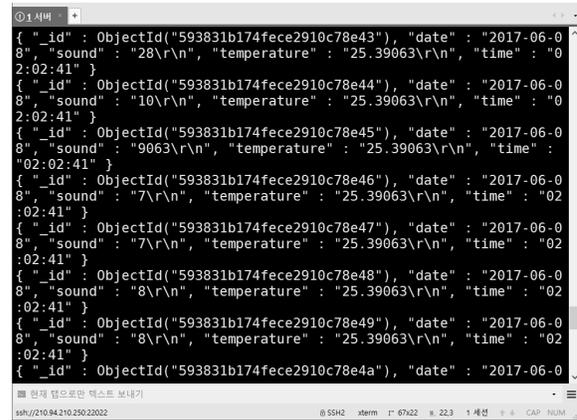


Fig. 2. Sensing Streaming Data Collected from Sensors. Data is Structured and Written in JSON Format

에게 변환된 값을 MongoDB가 있는 DB서버로 전송한다. 라즈베리파이는 Fig. 2와 같은 JSON 포맷으로 데이터가 전송 저장된다.

DB서버는 실시간으로 데이터를 저장하여 웹서버가 데이터에 접근할 수 있도록 한다. 웹서버는 데이터 값을 스트리밍 형식의 데이터로 변환, 라인 차트로 사용자에게 그 결과를 보여준다(Fig. 3).



Fig. 3. Web Dashboard Displaying Sensor Information. Sensor Data from Multiple Sensors are Displayed Together to Show Current Environment's Status. Right Side Panel is used for Device Setting

4. 실험 및 결과

본 연구에서 제안한 설비의 고장여부를 판단하기 위한 구축환경의 구성은 Table 1과 같다.

본 연구에서는 배터리 제조회사의 컨베이어벨트 주변에 소리 센서와 온도 센서를 위치시키고 컨베이어 벨트 주변의 센서 정보에서 이상여부를 판단하도록 하여 이상여부가 판단되면 알람을 주도록 하였다. 본 연구에서 온도센서는 LM35, 소리센서는 S120-LM386이 사용되었으며, 일반적으로 제조공장에서 소리나 온도의 경우 큰 변화를 가지지 않기 때문에 소리를 지르거나 얼음팩을 접촉시켜 센서에 임의의 변화 값을 주어 이상상황을 발생시키고 센서에서 값을 측정하여 데이터의 변화를 확인하는 방법을 사용하여 제안된 방법이 이상 상황 여부를 정확히 감지할 수 있는 지를 실험하였다.

센싱된 값들은 MongoDB에 저장되며 다양한 센서들과 환경 요소들을 반영할 수 있도록 하기 위해 확장성이 높은 JSON 포맷으로 센싱값들과 기타 정보들을 저장하였다. Fig. 3은 실시간으로 날짜, 시간, 소리, 온도 센서 값을 JSON형태에 맞게 저장되는 것을 보여주고 있다. 센서들의 특성상 센싱되는 데이터가 도량형이 아니므로, 변화가 중요한 온도 센서의 경우에는 도량형으로 수치 변환을 해주었다.

Table 1. Experimental Environment for Diagnostic Monitoring System

Category	Component	Description	
Hardware	sensor type	Temperature, Sound	
	module	Arduino, RaspberryPie	
Software	OS	CentOS 6.9	
	Web Server	Apache http server	
	Language		Python for Rasberry Pie Module
			html for web server
			php for web server
			Jquery for web server
		C for Arduino	
DB	MongoDB		

본 연구에서는 웹서버에 전송된 센싱 데이터 값들의 이상 수치를 판단하기 위해 슬라이딩 윈도우 크기를 10초로 잡았으며 초당 1개의 데이터를 수집하므로 10개의 소리와 온도 데이터를 사용하였다. 소리의 오류 판단 범위는 ± 20 , 온도는 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 잡았다. 이 소리 데이터 값들은 해당 설비의 값을 푸리에 변환을 통해 얻어낸 결과이다. 그 결과는 Fig. 4에서 볼 수 있다. 푸리에 변환 시에 이상수치가 존재 하지 않는다면 1, 2번 같이 값들의 크기 차이가 크지 않다. 그러나 50이나 -10같은 이상수치가 존재한다면 3, 4번같이 차이가 매우 크다. 이 때 가장 큰 값과 가장 작은 값(일반적으로 0)의 차이가 1 이상부터 오류라고 판정했고 그 값들을 이용해 오류 판단 범위를 설정해 주었다.

이 결과를 사용하여 Fig. 1에 제시된 알고리즘에 따라 본 연구에서 실행한 Fig. 5의 소리 데이터의 신호는 Fig. 6과 같이 변하게 된다. outlier를 감지하도록 하는 임계치 값은 이번 실험에서는 1.0로 잡고 1.0을 초과하는 값에 대해서 이상치로 판단 오류신호 감지 모듈을 동작시키도록 하였다.

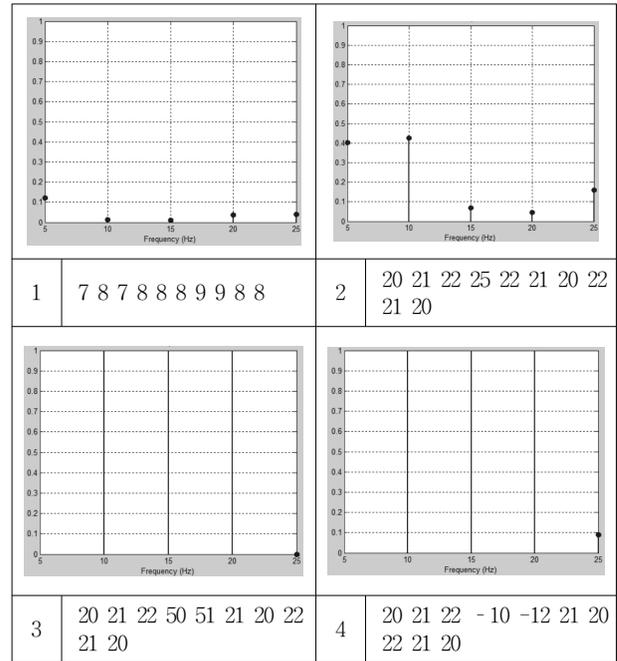


Fig. 4. Detecting Errors Using Fourier Transform. 10 Sensor Data in a Sliding Window is Selected and Checked Whether Data is in Abnormal Status Using Fourier Transform

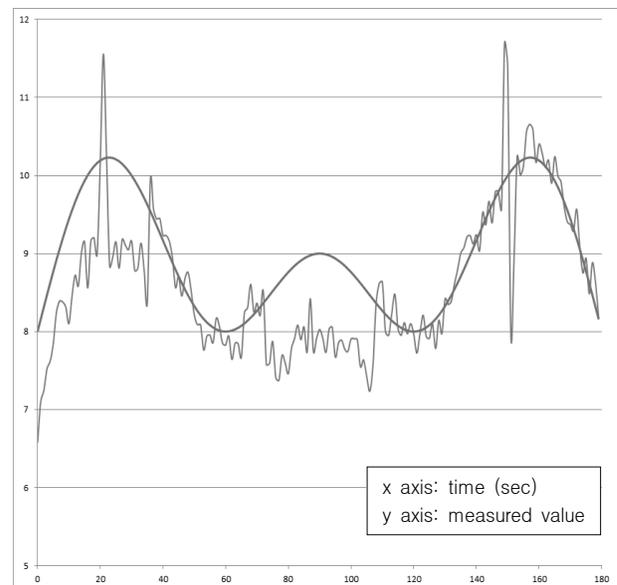


Fig. 5. Comparison Between a Guide Signal Patterns from Weighed Averaging Method and Real Data Signals. A Guide Signal Patterns Shows Smoothed Data Variation. Real Data Signals has Noises and Fluctuations due to Sensor Error and Equipment Malfunctions

실제 센서를 통해 수신된 정보는 Fig. 5의 노이즈가 들어간 그래프이며, 센서를 통해 수신한 센싱 값을 가중평균법을 사용하여 변환시킨 것이 Fig. 5의 부드러운 모양의 선이 된다. Fig. 5의 노이즈 신호 역시 슬라이딩 윈도우 크기를 줄이고 가중평균법을 통해 표현하면 Fig. 6의 노이즈가 들어간 그래프처럼 나타나게 된다.

Fig. 6에서 본 연구에서 고안한 시스템의 에러 판단 알고리즘(Fig. 1)에 따라 0~20초까지는 기준치보다 값이 낮은 탓에 에러가 중첩되어 이상 상황을 알리게 된다. 22초에 정상 신호가 수신되어 에러 카운터가 줄어들게 되지만 다시 40초 전까지 이상 신호가 수신되어 이상상황을 알려준다. 40초부터 정상 신호를 수신하여, 점층적으로 에러 카운터가 줄어들게 되어, 43초 부근부터는 이상상황이 종료되게 된다. 이와 마찬가지로 70초~115초 부근에서 이상상황이 감지되고 115초부터 180초까지는 정상적으로 작동한다. 이 때 150초 부근에서는 에러 카운터가 없는 상황에서 이상신호가 수신되어 에러 카운터의 값이 늘어나게 되지만, 충분히 에러 카운터가 중첩되지 않기 때문에 설비의 고장이 아니라 센서 자체의 오류나 통신상의 오류로 판단하여 정상신호를 수신하고 있다고 알려준다.

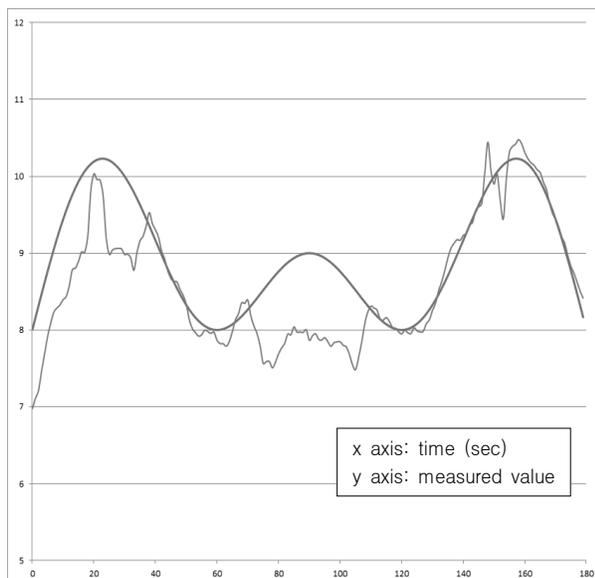


Fig. 6. Comparison Between a Guide Signal Patterns from Weighted Averaging Method and Smoothed Real Data Signals

현재 빅데이터 및 IoT환경에서 다양한 관제 시스템이 구현되어 있으며[27, 28] 본 연구에서 제안한 시스템과의 비교는 Table 2와 같다. [27]은 센서들을 사용하여 환경을 관제하는 시스템으로서 전체적인 구조는 우리가 제안한 시스템과 비슷하지만 센서의 오작동에 대한 부분은 제시하지 않고 있다. [28]의 경우 우주선의 방대한 센서의 동작 정보를 빅데이터 프레임워크를 사용 패턴을 분석하는 기능을 제공하고 있으나 방대한 센서의 정보를 정형 구조의 자료형식을 사용하고 있어 센서 활용의 확장성에 한계를 보이고 있다.

Table 2. Comparison Between Our Approach and [27, 28]

	System in [27]	System in [28]	Our Approach
DB	Hadoop and hive	Any	NoSQL, MongoDB
Data format	JSON, Log file	Various, Structured Format	BSON, unstructured
data display	Display in screen	Display in screen	Alarm and screen display
Connection	Wired	Wireless	Wi-Fi
Detecting malfunction	×	Support Analysis on data patterns.	O
data visualization	O	O	O

5. 결론

본 연구에서 우리는 저가의 센서를 설치한 전문설비의 센싱 정보를 무선통신으로 전송한 후 센싱 정보의 데이터를 시각화하고, 센서의 오작동 또는 기기의 고장여부까지 판단하여 사용자에게 알림 기능을 제공하는 시스템을 개발하였다.

본 연구의 시스템은 실시간으로 전달되는 대상 설비의 상황 정보를 저장해야 하므로 빅데이터 표현에 효과적인 MongoDB를 이용하였고, 해당 정보는 JSON형태로 저장을 시켜 센싱 데이터 처리의 확장성을 높였으며 다양한 센서의 현장 및 대상 설비의 환경변수에 따라 센서 종류 확장에 효율성이 있다. 또한 대상의 고장여부가 판단될 때, 해당 센싱 보드의 위치 및 경고 알림기능을 통해 사용자에게 해당정보를 전달한다.

본 연구를 통하여 적은 비용으로 공장 및 전문설비를 관제하는 높은 신뢰성, 안정성을 가지는 시스템을 구축할 수 있었다. 또한 우리가 제안한 방법은 빠른 연산이 가능하도록 구성이 되어 있으며 슬라이딩 윈도우 내의 자료만 처리를 하기 때문에 처리에 필요한 자료의 개수가 적어 소형 컴퓨팅 기기를 사용하여도 실시간 데이터의 처리가 가능하다는 장점을 가진다. 특히 수집된 센싱 값은 NoSQL 형식의 데이터로 전환 저장을 할 수 있도록 하여 다양한 센서의 활용과 저장에 용이하도록 하였다.

향후 과제로는 저 비용 센서에서 센서의 오류 탐지외에 높은 신뢰도를 유지하면서 센서의 정밀도를 높일 수 있도록 하는 방법을 고안하는 것이 필요하다고 판단된다.

References

- [1] GMA 7.21: Industrie 4.0 Service Architecture Basic Concepts for Interoperability. VDI/VDE 2016.
- [2] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy and Plattform, Industrie 4.0, "Ergebnispapier - Aspekte der Forschungsroadmap in den Anwendungsprozessen." [Online]. Available: <https://www.plattform40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/anwendungsszenarienauf-forschungsroadmap.pdf?blob=publicationFile&v=14>.

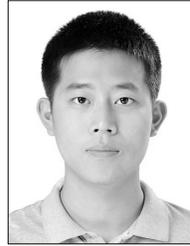
- [3] DIN, "Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0)," 2016.
- [4] F. Zhang, M. Liu, Z. Zhou, and W. Shen, "An IoT based online monitoring system for continuous steel casting," *IEEE Internet of Things Journal*, Vol.3, No.6, pp.1355-1363, 2016.
- [5] J. Lee, E. Lapira, B. Bagheri, and H. A. Kao, "Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment," *Manufacturing Letters*, Vol.1, No.1, pp.38-41, 2013.
- [6] G. Xiong, F. Zhu, X. Liu, X. Dong, W. Huang, S. Chen, et al., "Cyberphysical-social system in intelligent transportation," *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, Vol.2, No.3, pp.320-333, 2015.
- [7] D. Chen, "A methodology for developing service in virtual manufacturing environment," *Annual Reviews in Control*, Vol. 39, pp.102-117, 2015.
- [8] F. Tao, Y. Cheng, L. D. Xu, and L. Zhang, "CCIoT-CMfg: cloud computing and internet of things-based cloud manufacturing service system," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol.10, No.2, pp.1435-1442, 2014.
- [9] C. Yang, W. Shen, T. Li, and X. Wang, "A hybrid framework for integrating multiple manufacturing clouds," *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, Vol.86, No. 1, pp.895-911, 2016.
- [10] P. Colombo and E. Ferrari, "Enhancing MongoDB with Purpose-Based Access Control," *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, Vol.14, No.6, pp.591-604, 2017.
- [11] S. Khan, and V. Mane, "SQL support over MongoDB using metadata," *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol.3, No.10, pp.1-5, 2013.
- [12] S. V. Volvenko, D. Ge, S. V. Zavjalov, A. S. Gruzdev, A. V. Rashich, and E. L. Svechnikov, "Experimental wireless ultra wideband sensor network for data collection," *2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS)*, pp.965-970, 2017.
- [13] C. Yang, D. Puthal, S. P. Mohanty, and E. Kougianos, "Big-Sensing-Data Curation for the Cloud is Coming: A Promise of Scalable Cloud-Data-Center Mitigation for Next-Generation IoT and Wireless Sensor Networks," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, Vol.6, No.4, pp.48-56, 2017.
- [14] A. Gnana Soundari and V. L. Jyothi, "Self organized intelligent node for decision making in sensor network," *The Third International Conference on Science Technology Engineering & Management (ICONSTEM)*, pp.315-317, 2017.
- [15] K.-W. Lee and C.-G. Sung, "An Implementation of Context Data Monitoring System based on Ubiquitous Sensor Network," *Journal of The Korea Society of Computer and Information (JKSCI)*, Vol.11, No.5, pp.259-265, 2006.
- [16] Suan Lee, Jinho Kim, Sung-Hyun Shin, and Si-Byung Nam, "Implementation of Storage Manager to Maintain Efficiency Stream Data in Ubiquitous Sensor Network," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, pp 259-265, 2006.
- [17] Seong Ho Choi, Hyung-Kun Park, Yun Seop Yu, "Design and Implementation of Ubiquitous Sensor Network System for Monitoring the Bio-information and Emergency of the Elderly in Silver Town," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, Vol.8, No.2, pp.219-222, 2010.
- [18] Beomjun Park and Joon Cheol Kwon, "RFID/USN and Ubiquitous-City Information System," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.22, No.7, pp.81-90, 2005.
- [19] L. M. Ni, "China's national research project on wireless sensor networks," *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC'08)*, p.19, 2008.
- [20] Tae Su Kim, Dong Uk Kim, and Yong-seok Kim, "Low Overhead System Monitoring Based on SNMP for Embedded Systems," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol.43, No.3, pp.1-9, 2006.
- [21] T., Arici, and Y. Altunbasak, "Adaptive sensing for environment monitoring using wireless sensor networks," In *Wireless Communications and Networking Conference, 2004. WCNC. 2004 IEEE (Vol.4, pp.2347-2352)*. IEEE.
- [22] Joon-Tae Oh and Gyu-Sik Kim, "Environmental Sensor Monitoring System of Subway Stations Using USN," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol.48, No.3, pp.60-66, 2011.
- [23] Tae-Yun Chung, Han-Su Chung, Hyung-Bong Lee, Lae-Jeong Park, and Jung-Ho Moon, "Implementation of A Remote Fire Monitoring System Based on Bidirectional USN," *Journal of Embedded Systems and Applications*, Vol.2, No.2, pp.107-115, 2007.
- [24] Wan-Ki Kim and Jeong-Hun Choi, "Development of a Monitoring System Authoring Tool for USN," *Journal of Embedded Systems and Applications*, Vol.2, No.2, pp.101-106, 2007.
- [25] Yejin Hong, Eunhee Nah, Yongwhan Cheong, and Yangwoo Kim, "Outlier Detection Based on MapReduce for Analyzing Big Data," *Journal of Internet Computing and Services*, Vol.18, No.1, pp.27-35, 2017.
- [26] Woo Hyung Choi, Hyun Sook Whang, and Chang Soo Kim, "The Study on the Design of the Integrated Monitoring System of Facilities in Data Center," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.19, No.4, pp.909-916, 2015.

- [27] M. H. Berlian, T. E. R. Sahputra, B. J. W. Ardi, L. W. Dzatmika, A. R. A. Besari, R. W. Sudibyoy, and S. Sukaridhoto, "Design and implementation of smart environment monitoring and analytics in real-time system framework based on internet of underwater things and big data," *2016 International Electronics Symposium (IES)*, pp.403-408, 2016.
- [28] X. Zhang, P. Wu, and C. Tan, "A big data framework for spacecraft prognostics and health monitorin," *2017 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Harbin)*, pp.1-7, 2017.



채 유 나

<http://orcid.org/0000-0003-3028-9282>
e-mail : codbsk07@dongguk.edu
2018년 동국대학교 정보통신공학과 학사
관심분야 : IoT, 소프트웨어공학



김 창 규

<http://orcid.org/0000-0003-0569-7778>
e-mail : keg9503@gmail.com
2018년 동국대학교 정보통신공학과 학사
관심분야 : IoT, 소프트웨어공학



고 하 램

<http://orcid.org/0000-0003-0474-2434>
e-mail : jjycoco@naver.com
2018년 동국대학교 정보통신공학과 학사
관심분야 : IoT, 소프트웨어공학



김 웅 섭

<http://orcid.org/0000-0002-0528-7026>
e-mail : woongsup@dongguk.edu
1998년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)
2001년 University of Pennsylvania(MSE)
2006년 Michigan State University(Ph.D)
2007년~현 재 동국대학교
정보통신공학과 부교수
관심분야 : 소프트웨어공학, 웹 서비스, 온톨로지, 컴퓨터 알고리즘