
2024 년 전기

초소형 MCU 와 IMU 센서를 활용한 온 디바이스 Anomaly Detection 구현



개요

최근 들어 산업 환경에 기계학습 및 데이터 과학 기술을 적용하는 사례가 증가하고 있다. 대부분의 제조업체는 지난 수십 년간 생산성을 극대화하는 방향으로 발전했다. 한편으로는 제조업체의 생산 설비의 고장으로 발생하는 상태 이상 (Anomaly) 로 인해 막대한 경제적인 손실이 발생할 우려가 있다. 따라서 제조업체는 생산성을 최대화하기 위해 상태 이상을 줄이는 방향으로 새로운 방법을 찾고 있다.

아직 제조업체가 최적화하지 못한 중요한 자산 중 하나는 바로 공장 산업 데이터, 즉 자체 데이터셋이다. 이때까지의 제조업체들은 엄청난 양의 데이터를 생성했으나 이를 산업 현장에 바로 활용하지 못했다.

그러나 컴퓨팅 성능과 AI 기반 분석이 비약적으로 발달하면서 해당 데이터 셋에 대한 상태 이상을 조기에 발견하고 프로세스를 최적화하는 방법을 찾게 되었다. 이런 데이터 분석은 상태 이상을 발견하는 것뿐만 아니라 이전에 알지 못했던 문제들, 예를 들어 프로세스 내부에 숨겨진 병목 현상이나 수익성 없는 생산 라인 같은 것을 밝혀내는 것에서도 큰 두각을 드러내고 있다.

목차

1. 과제 배경 및 목표

1 - 1. 과제 배경

1 - 2. 목표

2. 현실적 제약 사항 및 대책

2 - 1. Anomaly Dataset 부족 문제

2 - 2. 초소형 MCU 의 제한된 딥러닝 구현 환경

2 - 3. MCU 구동 환경에 따른 이상치 측정 가능성

3. 시스템 구조

3 - 1. 모델 학습 구조

3 - 2. 임베디드 시스템 구조

4. 연구 일정 및 역할 분담

4 - 1. 추진 체계 및 일정

4 - 2. 구성원 역할 분담

5. 참고 문헌

² Valerio Dilda, Lapo Mori, Olivier Noterdaeme, and Christoph Schmitz, “Manufacturing: Analytics unleashes productivity and profitability”, McKinsey&Company, 2017.08.14, [Manufacturing: Analytics unleashes productivity and profitability | McKinsey](#)

데이터셋을 이용해 공정 시스템의 Anomaly 를 감지하는 딥러닝 모델을 설계한다. 임베디드 보드의 상대적으로 작은 KB 대의 메모리 환경에서 모델을 실행하기 위해서, TinyML 을 위한 라이브러리인 CMSIS-NN³를 사용한다.⁴

임베디드 보드에서 Anomaly 가 탐지된 경우, 블루투스 통신을 통하여 안드로이드 스마트폰에 알림을 보내, 공정의 시스템에 문제가 발생함을 알리게 한다. 이를 위하여, 임베디드 시스템을 **3.2** 와 같이 설계하고, 학습된 모델을 포팅하여 보드에서 실행시킨다.

³ ARM-software/CMSIS-NN: CMSIS-NN Library: <https://github.com/ARM-software/CMSIS-NN>

⁴ Zijie Chen, Yiming Gao, Junrui Liang, "A Self-Powered Sensing System with Embedded TinyML for Anomaly Detection," 2023.07.28, [A Self-Powered Sensing System with Embedded TinyML for Anomaly Detection | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#)

2. 현실적 제약 사항 및 대책

2-1. Anomaly dataset 부족 문제

- 산업 현장의 사용되는 장비나 운영 방식에 따른 다양성에 의해 어떤 경우를 anomaly 로 라벨링 할지에 대한 기준이 명확하지 않다.
- 컴퓨터 비전, NLP 의 식별 및 판별 문제 등에 비해 산업 현장에서는 anomaly 를 예방하려고 하므로, anomaly 에 대한 label 이 적다.

2-1-1. 대책

- 기존 데이터의 feature 을 간직한 채, noise 를 더해 데이터를 추가로 생성하는 데이터 증강, 증식기법을 이용하여 데이터셋을 늘린다.
- 실제 공정과 비슷한 환경을 시뮬레이션하여 직접 데이터셋을 만든다.

2-2. 초소형 MCU 의 제한된 딥러닝 구현 환경

- 일반적으로 KB 단위 메모리 크기를 가진 MCU 에서 머신러닝 모델을 구동할 수 없는 경우가 많고, 구동하는 경우에도 PC 등과 같은 환경에 비해 프로세스의 성능이 떨어진다.
-

-
- MCU 에 탑재할 수 있는 Tensorflow, pyTorch 라이브러리를 지원하는 경우가 많지 않다.

2-2-1. 대책

- MCU 중 딥러닝 탑재가 용이한 ESP32, nRF, STM32 등을 사용하여 시스템을 구현한다.
- Tensorflow Lite for microprocessor, CMSIS-NN 과 같은 MCU 에 최적화 된 딥러닝 라이브러리를 사용하여 모델을 개발한다.

2-3. MCU 구동 환경에 따른 이상치 측정 가능성

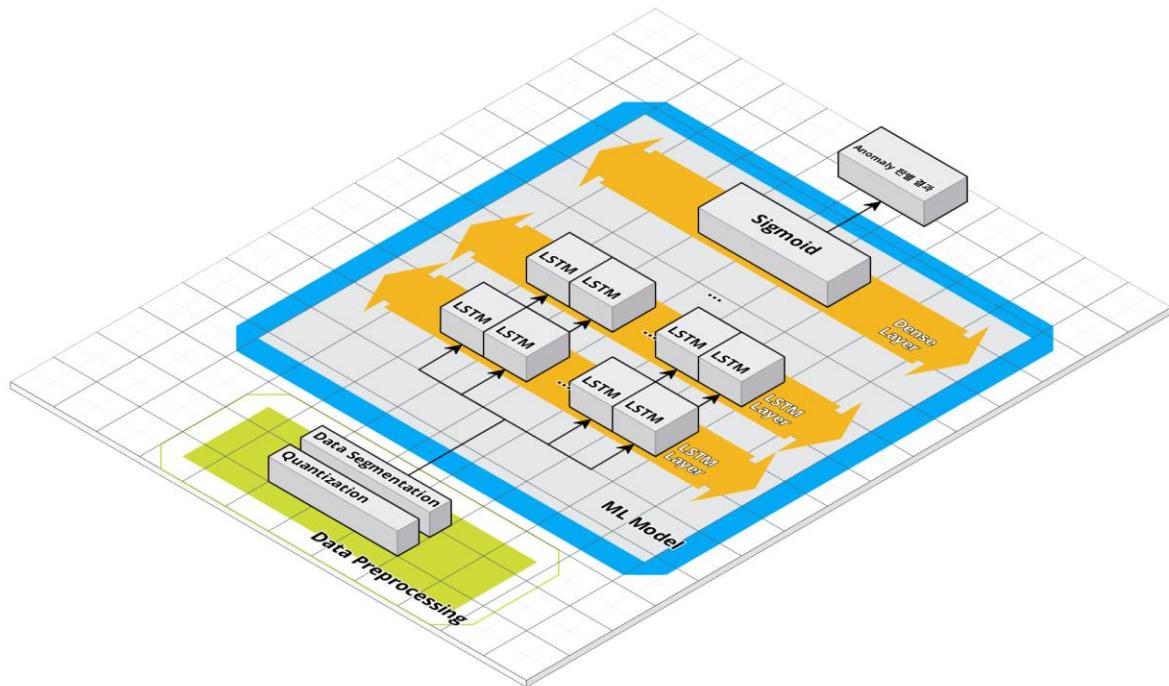
- IMU 센서는 외부 진동, 충격 등으로 인한 센서 데이터의 변동이 있을 수 있다.
- 외부 환경에 따른 변수를 제외하더라도 IMU 센서가 항상 정확한 데이터를 수집하지 못할 수 있다.

2-3-1. 대책

- 센서가 오작동 하는 경우의 패턴을 분석하여, 해당 값을 학습에서 제외한다.
 - 데이터를 수집할 센서를 여러 개 설치하여 얻은 값 중 중간값을 활용한다.
-

3. 시스템 구조

3 - 1. 모델 학습 구조



Data Preprocessing

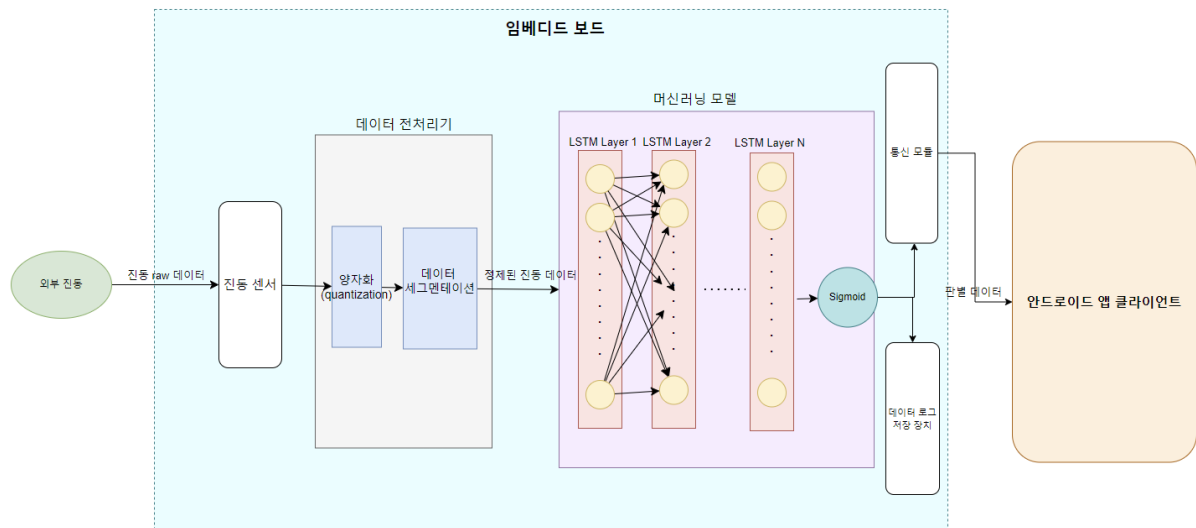
데이터 전처리 과정에서는 Quantization 과 Data Segmentation 과정을 수행한다. Quantization 은 MCU 디바이스에서 딥러닝 모델을 경량화하기 위해 사용된다. 측정된 진동 데이터는 부동 소수점 타입을 가지는데, 이를 정수형으로 변환하여 계산한다. 정수형 데이터가 부동 소수점에 비해 연산 속도가 빠르기에 전력 소비가 줄어드는 효과가 있다.

Data Segmentation 은 진동 센서로부터 받은 입력을 시계열 데이터로 해석하기 위해 필요하다. 이는 긴 시계열 데이터를 작은 세그먼트들로 분할해서 각 세그먼트에서의 패턴을 분석하는데 유용하다.

Machine Learning model

Data Preprocessing 을 통해 들어온 정제 데이터를 모델에 통과시켜 분석한다. 조금 더 일반적인 환경에서 진동 패턴을 감지하기 위해 데이터를 시계열 데이터 관점에서 해석한다. 이 모델은 LSTM 을 사용해서 각 시간 단계에서의 데이터를 연속적으로 입력받아 시간에 따라 변화하는 패턴을 포착하고 예측하는 데 최적화되어 있다. 머신러닝 모델의 마지막 단계에서는 활성화함수가 Sigmoid 인 Dense Layer 를 통과시켜 각 시퀀스에 대해 정상 혹은 이상으로 판단한다. 이 모델은 기계의 이상 패턴을 조기 감지하고 예방 및 유지보수에 매우 효과적일 것으로 사료된다.

3 - 2. 임베디드 시스템 구조



[사용 하드웨어 및 소프트웨어]

- **진동 센서**
: 기계의 진동 데이터를 실시간으로 감지한다.
- **데이터 전처리**
: 진동 데이터를 실시간으로 수집하고, MCU 에서 사용할 수 있도록 데이터 전처리 및 양자화를 담당한다.
- **머신러닝 모델**
: 수집된 데이터를 기반으로 TinyML 을 사용해 추론한다.
- **저장 및 통신 모듈**
: 로컬 저장 장치(SD 카드 등)에 오류 데이터 로그를 저장하고, 사용자 스마트폰으로 추론된 오류 데이터를 전송한다.

4. 연구 일정 및 역할 분담

4-1. 추진 체계 및 일정

개발 구분	세부 항목	5월			6월				7월					8월				9월				
		3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5
기획	주제 선정																					
	사전 자료 조사																					
인공지능 모델 개발	데이터 셋 수집																					
	모델 설계 및 학습																					
	상위 모듈 테스트 환경 개발																					
	모델 성능 테스트 (상위 모듈)																					
경량화 및 무선 통신 환경 구축	모델 경량화																					
	MCU 펌웨어 개발																					
	MCU 보드 포팅																					
	모델 성능 테스트 (저전력 MCU 모듈)																					
Application 개발	연동 앱 개발																					
	앱 연동 테스트 및 최종 보완																					

4-2. 구성원 역할 분담

이름	역할 분담
김민재	<ul style="list-style-type: none"> - data preprocessing - 머신러닝 모델 설계 - 클라이언트 앱 설계
최세영	<ul style="list-style-type: none"> - 데이터셋 수집 - 머신러닝 모델 설계 - 머신러닝 모델 포팅
김경준	<ul style="list-style-type: none"> - 펌웨어 개발 - data postprocessing
공통	<ul style="list-style-type: none"> - 기초 지식 학습 - 보고서 작성 - 딥러닝 모델 테스트

5. 참고 문헌

- [1] "이상치 탐지(Anomaly Detection), AI 를 활용한 사고 발생 예방 기술!", 이랜서, 2023.04.21, [이상치 탐지\(Anomaly Detection\), AI 를 활용한 사고 발생 예방 기술! | 이랜서 블로그 \(elancer.co.kr\)](https://elancer.co.kr)
- [2] Valerio Dilda, Lapo Mori, Olivier Noterdaeme, and Christoph Schmitz , "Manufacturing: Analytics unleashes productivity and profitability", McKinsey&Company, 2017.08.14, [Manufacturing: Analytics unleashes productivity and profitability | McKinsey](https://www.mckinsey.com/industries/manufacturing/insights/manufacturing-analytics-unleashes-productivity-and-profitability)
- [3] ARM-software/CMSIS-NN: CMSIS-NN Library: <https://github.com/ARM-software/CMSIS-NN>
- [4] Zijie Chen, Yiming Gao, Junrui Liang, "A Self-Powered Sensing System with Embedded TinyML for Anomaly Detection," 2023.07.28, [A Self-Powered Sensing System with Embedded TinyML for Anomaly Detection | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](https://ieeexplore.ieee.org/document/10344444)
- [5] Smart-Manufacturing-AD, "Smart Manufacturing Anomaly Detection", GitHub, 2023.07.19, [SmartManuAD/Smart-Manufacturing-AD: Repository linked to "Anomaly detection in Smart-manufacturing era: A review" \(github.com\)](https://github.com/Smart-Manufacturing-AD/Smart-Manufacturing-AD)
- [6] D. Hawkins, "Identification of Outliers (Monographs on Statistics and Applied Probability)", a London: Chapman and Hall.mazon, 1980.7.31, [Identification of Outliers \(Monographs on Statistics and Applied Probability\): D. Hawkins: 9780412219009: Amazon.com: Books](https://www.amazon.com/Identification-Outliers-Monographs-Statistics-Applied/dp/0412219009)
-