

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.4.687

JCCT 2024-7-80

안정적 데이터 수집을 위한 지능형 IIoT 플랫폼 개발

Development of an intelligent IIoT platform for stable data collection

조우진*, 이형아**, 김동주***, 구재회****

Woojin Cho*, Hyungah Lee**, Dongju Kim***, Jae-hoi Gu****

요약 전 세계적으로 에너지 위기가 심각한 문제로 대두되고 있다. 대한민국의 경우 전체 에너지의 53% 이상 사용하며, 온실 가스 배출량 또한 대한민국 전체의 45% 이상을 차지하고 있는 산업 단지 관련 에너지 효율화 연구에 높은 관심을 가지고 있다. 그 연구 중 하나로 가상 에너지 네트워크 플랜트라는 산업 단지 내 동일 유틸리티를 사용하는 공장들 간의 공유 설비와 에너지 생산 공장과 수요 공장 간의 거래로 에너지를 절감하는 연구를 제시한다. 이러한 에너지 절감 연구에서는 분석, 예측 등 데이터의 활용처가 다양하기 때문에 데이터의 수집이 굉장히 중요하다. 하지만, 시계열 데이터를 안정적으로 수집하는 데는 기존의 시스템들은 여러 부족함이 있었다. 본 연구에서는 그를 개선하기 위해 지능형 IIoT 플랫폼을 제안한다. 지능형 IIoT 플랫폼은 비정상 데이터를 식별하고 적시에 처리하기 위한 전처리 시스템을 포함하며, 이상과 결측 데이터를 분류하고 안정적인 시계열 데이터를 유지하기 위한 보간 기법을 제시한다. 또한 데이터베이스 최적화를 통해 시계열 데이터 수집을 효율화한다. 본 논문은 안정적 데이터 수집과 신속한 문제 대응을 통해 산업 환경에서의 데이터 활용성을 높이는데 기여하며, 다양한 챗봇 알림 시스템을 도입하여 데이터 수집 부담을 줄이고 모니터링 부하를 최적화하는데 기여한다.

주요어 : IIoT Platform, 데이터 전처리, 전처리 시스템, 데이터베이스, 시계열 데이터, 이상 데이터 감지

Abstract The energy crisis is emerging as a serious problem around the world. In the case of Korea, there is great interest in energy efficiency research related to industrial complexes, which use more than 53% of total energy and account for more than 45% of greenhouse gas emissions in Korea. One of the studies is a study on saving energy through sharing facilities between factories using the same utility in an industrial complex called a virtual energy network plant and through transactions between energy producing and demand factories. In such energy-saving research, data collection is very important because there are various uses for data, such as analysis and prediction. However, existing systems had several shortcomings in reliably collecting time series data. In this study, we propose an intelligent IIoT platform to improve it. The intelligent IIoT platform includes a preprocessing system to identify abnormal data and process it in a timely manner, classifies abnormal and missing data, and presents interpolation techniques to maintain stable time series data. Additionally, time series data collection is streamlined through database optimization. This paper contributes to increasing data usability in the industrial environment through stable data collection and rapid problem response, and contributes to reducing the burden of data collection and optimizing monitoring load by introducing a variety of chatbot notification systems.

Key words : IIoT Platform, Data Preprocessing, Preprocessing System, Database, Time series data, Anomaly data detection

*정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구원 (제1저자) Received: May 10, 2024 / Revised: May 30, 2024

**정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구원 Accepted: June 15, 2024

(공동저자)

*Corresponding Author: jaehoi@iae.re.kr

***정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 선임연구원 Dept. of Energy Environment IT Convergence Group,

(공동저자)

Institute for Advanced Engineering, Korea

****정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구위원

(교신저자)

접수일: 2024년 5월 10일, 수정완료일: 2024년 5월 30일

게재확정일: 2024년 6월 15일

I. 서론

에너지 위기가 전 세계적으로 심각한 문제로 대두되고 있는 가운데, 에너지 절감은 중요한 과제로 부각되고 있다. 그에 따라 각 국가에서는 다양한 정책을 내세우고 있다. 대한민국의 경우 제3차 에너지 기본 계획을 통해서 2025년부터 10만 TOE 이상의 에너지 다소비 사업장을 대상으로 에너지 관리 시스템의 의무화가 진행되었다 [1]. 2030년까지 투자 여력이 부족한 중소, 중견기업 1500곳 이상에도 에너지 관리 시스템의 보급을 지원하는 것이 주요 골자이다. 3차 에너지 기본 계획에서는 산업단지 차원에서의 에너지 효율 향상 또한 목표로 하였다. 산업단지 차원에서의 에너지 효율 향상을 진행하여 마을 단위, 분산형 에너지원 기반의 마이크로산단 구축을 지원한다 [2].

이러한 산업단지의 에너지와 관련된 연구가 에너지 기본 계획에서 제시된 이유는 산업단지가 대한민국 전체의 온실 가스 배출량의 45.1% 가량을 차지하고 있으며, 에너지 소비 또한 국가 전체 에너지 사용량의 53.5% 가량을 차지하기 때문이다 [3].

따라서 산업 단지 에너지 효율을 향상하기 위해 다양한 연구가 제시되었다. 기존에는 산업 단지 내의 에너지 관리를 위한 에너지 관리 시스템 구축, 재생 에너지 관련 연구 등에 대해 제안되었다. 그 중 산업 단지 내의 에너지 유틸리티의 유사성을 통해 공유 유틸리티를 통해 에너지를 최적화하는 연구를 통해 에너지 절감을 지원하는 연구인 가상 에너지 유틸리티 플랜트 (Virtual Utility Plant, VUP) 연구가 제안되었다. VUP는 산업 단지 내의 공장 간의 동일 유틸리티 설비를 공유하여 에너지를 절감하고, 유틸리티를 생산하는 공장과 유틸리티를 사용하는 공장 간의 에너지 거래를 유틸리티 네트워크 시스템을 통해 구현하여 에너지를 절감하는 연구이다.

이러한 에너지 절감을 위해서는 에너지 거래 에너지의 최적 경로 라우팅, 제어, 데이터 분석 등 다양한 기법을 추가해야 한다. 이러한 기법들을 활용하기 위해서는 데이터가 가장 중요한 문제가 된다. 특히 공장 간의 수요 공급 예측에 따른 거래, 최적 경로 라우팅 등을 수행하기 위해 예측 시스템을 구축하는 것은 필수적인 과제이다. 하지만, 예측을 위해서는 대량의 데이터가 필요하며, 시계열 수집 데이터의 예측은 연속성이 있는

시계열 데이터가 안정적으로 수집되는 것이 중요한 과제가 된다[4]. 하지만 여러 요인에 의해 데이터는 비정상 수집이 될 수 있다는 문제를 항상 안고 있다. 이를 해결하기 위한 많은 노력들이 있었으나, 안정적인 데이터를 수집하는데에는 부족한 것을 알 수 있었다.

특히 비정상 데이터가 발생하는 원인에 대한 파악과 즉각적인 대응이 힘든 것이 가장 큰 문제였으며, 이상 데이터가 수집된 후 데이터의 분석이 끝나고 나서야 이상 데이터가 수집되었다는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 데이터의 향후 활용 및 안정적인 수집을 위해서는 데이터를 수집하는 부의 개선이 필요했다. 데이터에 문제가 생겼을 시 빠른 알림을 통한 수집 장비 유지 보수, 누락 데이터의 처리 등 문제 발생을 대처할 수 있는 방법이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 안정적인 데이터 수집을 위한 지능형 IIoT Platform을 제안한다.

단순 데이터 수집 뿐 아닌 데이터의 활용을 위해서 비정상 데이터의 판별이 중요한데, 본 연구에서는 비정상 데이터의 처리에 대한 기법 전처리 시스템을 통해 구현하였다. 또한 설비 및 공정 혹은 장비, 네트워크 등 다양한 이상에 의한 비정상 데이터 수집을 염두해두고 비정상 데이터 수신을 알릴 수 있는 알림 시스템을 IIoT Platform에 포함한다.

본 연구에서는 비정상 데이터를 IIoT Platform에서 구분하고, 비정상 데이터 수신에 대한 알림을 전송한다. 그 후 비정상 데이터는 이상 데이터와 결측 데이터 두 가지로 분류한다. 연속성을 가지는 데이터를 유지하며 안정적인 데이터 수집을 위해 결측 데이터를 보간 하는 기법으로 향후 데이터 활용에도 문제를 발생시키지 않는 기법을 구현한다[5].

또한 데이터베이스의 최적화를 통해 시계열 데이터 수집에 최적화 된 시스템을 구현한다.

본 논문은 지능형 IIoT Platform 구현을 통해 안정적 데이터 수집 및 비정상 데이터 수집에 대한 대처를 할 수 있도록 하는 전처리 시스템 구현으로 안정적 데이터 활용에 기여한다.

또한 다양한 Chatbot을 통한 알림 시스템 구현으로 데이터 수집 부의 빠른 유지보수와 기존의 높은 모니터링 부하를 낮추는데 기여한다.

II. 배경 및 관련 연구

1. 비정상 데이터

비정상 데이터는 일반적인 데이터 분포나 패턴에서 벗어나는 값을 지닌 데이터를 의미한다. 다양한 원인에 의해 이러한 비정상 데이터가 발생할 수 있다.

이러한 비정상 데이터는 크게 이상 데이터와 결측 데이터로 구분할 수 있다. 데이터의 전처리 후 저장을 위해 비정상 데이터의 분류를 하여 전처리 기법을 선택할 수 있다.

1) 이상 데이터

이상 데이터는 일반적인 패턴에서 벗어나는 데이터를 의미한다. 이는 다양한 원인에서 발생할 수 있는데, 노이즈, 오류로 인해 발생할 수 있으며, 생산 공정에서 특수한 경우에도 정상 데이터이나, 이상 데이터처럼 수집되는 케이스도 존재한다.

이러한 이상 데이터는 데이터의 정확성, 일관성을 위협하여 데이터 분석 및 모델링 과정에서 문제가 발생할 수 있다. 이러한 이상 데이터에 의해 예측 모델의 정확도를 저하시키고 잘못된 결과를 초래하는 등의 문제를 발생시킬 수 있기 때문이다.

이러한 이상 데이터를 식별하는 방법에는 통계적 기법, 기계 학습을 기반한 기법 등 다양한 기법들이 존재하지만, 본 연구에서는 z-score를 통해 데이터가 평균에서 얼마나 떨어져있는지를 표준편차 단위로 계산하여 식별하는 방법을 도입한다.

2) 결측 데이터

센서 이상, 네트워크 이상과 같은 다양한 오류에 의해 시계열 데이터 등에서 값 자체가 누락된 경우를 뜻한다. IIoT Platform과 같은 시계열 데이터 수집을 통한 예측에서는 연속적 데이터를 활용하는 것이기 때문에 이러한 결측 데이터는 데이터 분석 및 모델링에 부정적인 영향을 끼칠 수 있다.

2. 보간 (Interpolation)

보간은 주어진 포인트 사이에 누락된 값을 채우거나, 불완전한 데이터를 보완하기 위해 사용되는 기술이다. 일반적으로 연속적인 데이터 패턴이나 추세를 고려하여 누락된 값을 추정하거나 채워 넣는다. 시계열 데이터, 데이터 분석, 이미지 처리 등에 주로 사용되는 기법이다. 이러한 보간은 데이터의 완전성을 유지하고 누락

된 부분을 채워 데이터 분석과 모델링에서 중요한 전처리로써 역할을 한다.

본 연구에서도, 네트워크 오류, 센서 이상 등의 오류로 인해 수집되지 않은 데이터를 채우기 위해 보간을 수행한다.

3. MyRocks

MyRocks는 Facebook에서 개발한 MySQL의 스토리지 엔진이다 [6]. 대규모 데이터 처리에 특화되어 있으며, 데이터 압축, 적은 메모리 사용량에 큰 장점을 지니고 있다. 또한 LSM-tree 기반 key-value store인 RocksDB를 활용하기 때문에 다양한 parameter optimization을 지원한다[7].

4. Telegram

텔레그램은 쉽게 메시지를 보내고 받을 수 있도록 도와주는 메시징 플랫폼이다 [8]. 오픈소스이며 API를 통해 다양한 기능을 지원한다. 특히 Telegram은 Bot을 지원하여 알림 시스템 등에 활용할 수 있도록 지원한다. 또한, Chatbot으로써의 역할로 대화형 정보 교환을 진행할 수도 있다.

5. IIoT Platform

IIoT Platform은 다양한 산업 분야에서 활용하는 인프라로써 센서, 장치, 네트워크와 저장 기법까지 통틀어서 설명하는 플랫폼의 일종이다.

IIoT Platform은 실시간 데이터 수집, 데이터 저장 및 관리, 실시간 데이터 분석 및 처리 등을 지원한다.

III. IIoT Platform

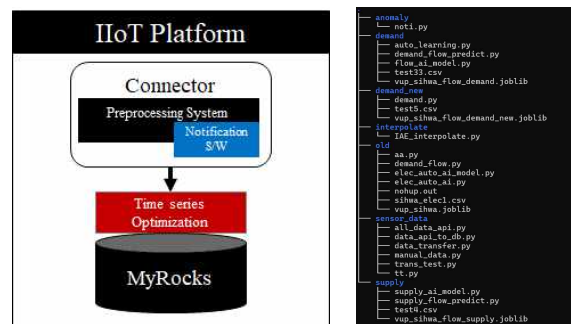


그림 1. IIoT Platform의 개념적 구조와 구현 구조
 Figure 1. Architecture of IIoT Platform

본 연구에서 제안하는 IIoT 플랫폼은 그림 1과 같은 구조로 구성되어 있다. 이 IIoT 플랫폼은 데이터를 효율적으로 처리하기 위해 Connector, Preprocessing system, 알람 소프트웨어 그리고 데이터 저장 데이터베이스 부분으로 구성이 된다.

먼저, 외부에서 데이터를 수신하는 Connector를 통해 데이터를 수신하고, 이를 전처리 시스템으로 보낸다. 전처리 시스템은 수신된 데이터를 분석하여 이상 데이터의 유무를 판별한 후 필요한 전처리 작업을 수행한다. 특히, 이상 데이터가 감지되면 이를 이상 알람 시스템으로 전달하여 유지보수에 기여한다.

다음으로, 전처리된 데이터는 데이터베이스 부분으로 전달됩니다. 데이터베이스는 쓰기 집약적인 작업에 효과적인 MyRocks를 활용하여 데이터를 저장하고 관리한다. 또한, 시계열 데이터에 대한 파라미터 최적화를 진행하여 데이터베이스의 성능을 향상시킨다.

이러한 IIoT 플랫폼은 데이터 수신부터 저장까지의 과정을 효율적으로 관리하여 안정적인 데이터 수집 및 처리를 실현하고, 이상 데이터의 탐지와 유지보수에 기여하고 있다.

timestamp	company	sensor_value
2024-05-16 14:17:31	F010100-WA31113	179548
2024-05-16 14:17:31	F010100-WA21112	131063
2024-05-16 14:17:31	F010100-WA11111	37090
2024-05-16 14:17:31	F010100-W31113	79
2024-05-16 14:17:31	F010100-W21112	0
2024-05-16 14:17:31	F010100-W11111	0
2024-05-16 14:17:31	F010100-FIA1111	2515620
2024-05-16 14:17:31	F010100-FI1111	356
2024-05-16 14:17:31	F010009-WA11109	10221.2
2024-05-16 14:17:31	F010009-W11109	14805
2024-05-16 14:17:31	F010009-FIA1209	10324
2024-05-16 14:17:31	F010009-FIA1109	21615.754
2024-05-16 14:17:31	F010009-FI1209	465.3
2024-05-16 14:17:31	F010009-FI1109	1.061
2024-05-16 14:17:31	F010008-WA1108	37948.9
2024-05-16 14:17:31	F010008-W1108	0
2024-05-16 14:17:31	F010008-FIA1208	1853.4

그림 2. 데이터 수집 데이터베이스
Figure 2. Database of Data Collection

현재 IIoT Platform에는 수요 유량 순시, 수요 유량 적산, 압력, 공급 유량 순시, 공급 유량 적산, 전력량 등 총 12개 가량의 데이터를 1분에 하나씩 9개의 공장에서 수집하고 있으며, 해당 플랫폼을 기준으로 그림 1의 Tree 구조로 구성된 플랫폼과 그림 2의 데이터베이스를 통해 안정적으로 운영 중에 있다.

IV. Connector & Preprocessing System

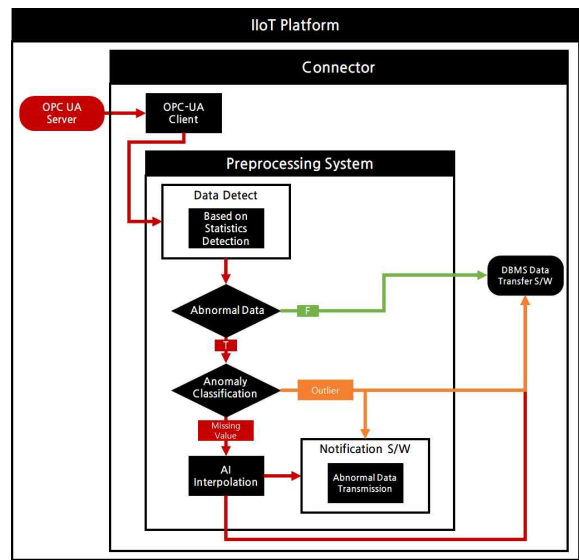


그림 3. Connector와 Preprocessing system의 구조
Figure 3. Architecture of Connector and Preprocessing system

Connector와 전처리 시스템의 구조는 그림 3과 같다. 전처리 과정과 Connector를 분리하여 설계하여 수행 중 문제 발생 시 로그를 따로 수집하여 문제가 발생시 발생 원인, 문제되는 시스템에 대한 추적이 가능하도록 구현하였다.

Connector는 데이터 수신과 데이터 전송만을 수행하도록 단순화하여 설계하였다. 데이터 송수신에 오류가 발생하였을 때 오류를 수집할 수 있는 로그를 남기도록 설계하였다. Connector를 보다 단순하게 구현한 이유는 Preprocessing system을 포함한 구현을 하여 데이터 송수신에 대해 네트워크 부하를 제외하고는 부하를 최소화 할 수 있도록 설계하였다.

전처리 시스템의 경우 데이터를 지속적으로, 이후의 모니터링과 해당 데이터의 무결성을 위해 데이터를 로깅한다. 그 후 데이터의 이상 여부를 확인하고, 비정상 데이터 판별 시 알람 시스템에 전송하도록 설계하였다.

전처리 시스템에는 지속적으로 데이터를 탐지하는 부를 두고, Z-score 기반 데이터 이상치를 탐색한다.

Z-score 기반 데이터 이상치 탐지는 수식 1과 같은 수식을 기반으로 데이터의 이상 여부를 판별한다.

수식 1에서 x 는 수신된 값이고, μ 는 지금까지 수집된 데이터의 평균, σ 는 표준편차로 이루어진 수식이다. 본 논문에서는 z-score의 값이 3이 넘어가면 이상 데이터로 분류하였다.

$$z - score = \frac{value - Average}{Standard deviation} = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

수식 1 z-score 수식
 Equation 1. z-score fomula

추가적으로 결측 데이터의 경우 데이터 수신 시 결측임을 확인할 수 있도록 except에 결측 데이터임을 확인하도록 구현하였다.

이상 데이터 여부를 판별하여 비정상 데이터가 아닐 시 데이터베이스로 데이터를 전송하고, 비정상 데이터 일 시 비정상 데이터에서 결측 데이터, 이상 데이터 중 어떤 분류에 속하는지 판별한다.

이상 데이터일 경우 정상 데이터이나, 여러 요인에 의한 z-score 이상 값 혹은 이상 데이터 두가지로 구분할 수 있기 때문에, 데이터는 정상 데이터와 같이 DBMS로 송신한다. 하지만, 공정 문제, 장비 문제, 네트워크 문제등 다양한 문제에 의한 이상 데이터의 가능성을 염두해두고 알림 시스템에서 사용자에게 알림을 전송하여 다양한 결함 및 이상을 미연에 방지한다.

결측 데이터의 경우 데이터 자체가 수집이 되지 않은 문제이다. 이상치와 다른 결측치를 판별하기 위해 데이터 수집에서 call을 하였을 때 except로 넘어가는 것으로 판별을 진행하였다. 따라서 수집과 동시에 데이터를 저장할 수 없기 때문에 해당 센서의 기존 데이터를 확인하여 기존 데이터를 기반으로 데이터 보간을 수행한다. 마지막 저장된 데이터를 기반으로 MLP로 구성된 AI Algorithm으로 보간을 수행하고, 수행한 보간 결과를 데이터베이스에 전송한다.

AI 보간에는 자원을 최소화 하여 사용하고, 예측 속도를 보장 받기 위하여 얇은 레이어의 MLP Algorithm을 활용한다. 특정 시간 이전의 데이터를 기반으로 이후 데이터를 예측할 수 있도록 데이터베이스에서 이전 데이터를 확인한 후 해당 데이터를 기반으로 보간을 진행한다.

이 또한 센서 혹은 네트워크 문제와 같은 다양한 문제에 의해 발생한 결측 데이터이기 때문에 알림 시스템을 통해 사용자에게 데이터의 결측이 발생하였다는 알림을 전송한다.

해당 구조에 따라 데이터를 수집하고 전처리를 하여 향후 예측, 분석 등 데이터의 활용에 있어서 문제 발생을 최소화한다.

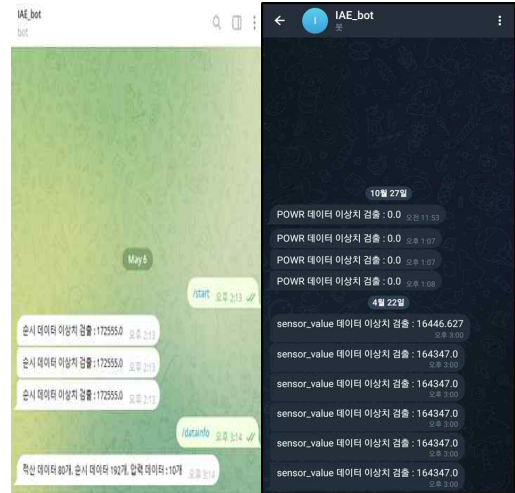


그림 4. 알림 시스템 활용 예
 Figure 4. Example of using the notification system

알림 시스템의 경우 그림 4와 같이 사용자에게 알림을 전달한다. 알림을 전달하는 다양한 방식 중 Telegram을 통해 Chatbot으로 현재 센서의 상태에 대한 질문을 할 수 있는 질의 등을 지원하여 다양한 처리를 가능하게 구현하였다.

실시간으로 이상 데이터의 수신 시 위와 같이 데이터 이상치 검출이 어떤 센서에서 발생했는지 송신하게 하였고, Chatbot의 데이터 정보 등 다양한 명령어를 구현하여 단순 데이터의 수신 시 발생하는 이상을 확인하는 것 뿐 아니라 데이터베이스 내의 정보 등 다양한 정보를 불러올 수 있도록 개발하였다.

V. Database Management System

IIoT Platform은 Connector와 전처리 시스템을 통해 처리된 데이터를 저장할 수 있는 데이터베이스 관리 시스템이 필요하다.

특히 IIoT Platform의 경우 지속적인 데이터의 수집으로 인해 높은 쓰기 부하가 발생하기 때문에 높은 쓰기 부하를 감당하는데 유리한 데이터베이스 관리 시스템을 활용해야 한다.

따라서 본 연구에서는 향후 데이터베이스 관리 시스템의 활용성 및 접근성과 쓰기 부하 두가지를 고려하여

MyRocks를 주 데이터베이스 관리 시스템으로 활용한다. InfluxDB와 같은 Time series database 또한 선택의 종류가 될 수 있으나, 낮은 사양의 디바이스에서 데이터베이스 관리 시스템을 구축할 시 MyRocks가 보다 유리하다는 것을 사전에 진행한 선행 연구의 결과를 토대로 알 수 있었다[1]. 각 수집 포인트에 가깝게 배치되어야 하는 IIoT Platform의 특성을 고려하여 향후 Edge Device에도 최적화된 MyRocks를 구축할 수 있도록 MyRocks를 주 데이터베이스 관리 시스템으로 선택한다. MyRocks는 단순히 저사양 디바이스에 유리할 뿐만 아니라 LSM-tree로 인해 높은 쓰기 부하를 견딜 수 있으며, 일반적 사용도 MySQL과 같은 생태계를 공유하여 유리하게 설계된 데이터베이스 관리 시스템이기 때문에 대규모 서버에서도 향후 수집 데이터의 사용에 유리한 것을 알 수 있었다.

추가적으로 센서 데이터를 수집하는 IIoT Platform에 최적화 할 수 있도록 다양한 Parameter의 최적화를 진행한다. 특히 쓰기 집약적 작업인 IIoT Platform 특성상 지속적으로 쌓이는 데이터를 위한 Parameter 최적화를 진행한다. 시계열 데이터의 특성상 지속적으로 데이터가 쌓이게 되고 이러한 점을 유의하여 메모리를 최적으로 활용할 수 있도록 Write buffer size, number를 조정한다. 또한, Compaction 기법을 Universal Compaction으로 하여 데이터 중복을 낮추고, 성능을 높였다. 또한 Background Compaction을 최적으로 활용하고 compaction thread를 늘려 Compaction을 최적화 하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 Preprocessing 및 connector를 통해 데이터 수집 및 전처리를 수행하고 Time series 최적화를 진행한 MyRocks를 통해 IIoT Platform을 구현하였다.

또한 알림 시스템에 Chatbot을 도입하여 단순한 알림을 전달하는 목적으로써의 알림 시스템이 아닌 다양한 방식으로 확인이 가능하도록 구현하였다.

본 연구에서는 지능형 IIoT Platform을 개발하여 안정적인 데이터 활용을 지원하고, 빠른 유지보수 및 기존의 높은 모니터링 부하를 낮추는데 기여하였다.

향후 연구에서는 IIoT Platform의 확장성과 대용량

요청의 처리를 위해 Kafka를 활용하는 연구와 더불어 IIoT Platform을 활용하는 데이터 분석, 예측 시스템 등을 연계한 대단위 Platform의 연구를 진행하고자 한다.

References

- [1] Woojin Cho, Chae-young Lim, Jae-hoi Gu. (2023). Comparison and Evaluation of Data Collection System Database for Edge-Based Lightweight Platform. JOURNAL OF PLATFORM TECHNOLOGY, 11(5), 49-58.
- [2] "The Third Basic Plan for Energy", Ministry of Trade, Industry and Energy, 2019.06.
- [3] "Why industrial complexes are centers of carbon neutrality", SK ecoplant, <https://news.skecoplant.com/plant-tomorrow/3079/>
- [4] Choi, E, Kang, M, Jung, Y, Paik, J. 2017, "Implementation of IoT-based Automatic Inventory Management System", The International Journal of Advanced Culture Technology, vol.5, no.1 pp.70-75. DOI : <https://doi.org/10.17703/IJACT.2017.5.1.70>
- [5] Cheongho Kim, Kee-Hoon Kang. (2024). Comparison of Data Reconstruction Methods for Missing Value Imputation. The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), 10(1), 603-608.
- [6] MyRocks, "MyRocks", <https://github.com/facebook/mysql-5.6>
- [7] RocksDB, "RocksDB", <https://rocksdb.org/>
- [8] Telegram, "Telegram", <https://telegram.org/>

※ 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구입니다. (No.20202020900170)