

MLOps 를 이용한 EMS 용 복합센서 관리

송정학*, 김두성, 김정희, 신동윤, 신범철, 백경훈, 임규범
에스큐아이소프트(주)

*asone@sqisoft.com, doosung@sqisoft.com, jh.kim@sqisoft.com, dy.shin@sqisoft.com,
detect8@sqisoft.com, inuh@sqisoft.com, newrich01@sqisoft.com

Management of Complex Sensors for EMS using MLOps

Song Jeong Hak*, Kim Doo Sung, Kim Jung Hee, Shin Dong Yoon, Shin Bum Cheol,
Baek Kyong Hun, Lim Kyu Beom
SQISOFT Inc.

요 약

건물에너지관리시스템(EMS)의 성능은 설치 센서의 품질에 크게 의존한다. 본 연구에서는 기존 EMS 에 추가로 설치되는 인공지능 기반 복합센서를 관리하는 장치를 제안한다. 관리장치는 센서의 품질지표를 평가하고, 품질 저하 시 인공지능 복합센서의 SW/FW 를 원격 업데이트한다. 또한 MLOps 기반으로 품질 변화를 추적하여 EMS 의 제어 효율을 향상시킨다.

I. 서 론

건물에너지관리시스템(Energy Management System, EMS)은 실내 온도, 조명, 환기 등을 자동으로 제어하여 에너지 사용 효율을 향상시키는 핵심 기술로 자리 잡고 있다. 그러나 대부분의 기존 EMS 는 시간표나 운영 스케줄에 기반한 제어 방식을 사용하고 있어, 실제 재실 상태를 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다.

이로 인해 불필요한 냉난방 및 조명 제어가 발생하며, 이는 에너지 낭비와 사용자 불편으로 이어진다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 재실 기반 제어(Occupancy-Based Control) 기술이 주목받고 있다. 재실 여부를 정확하게 감지하여 냉난방 및 조명을 제어할 경우, 기존 스케줄 기반 EMS 대비 10~30% 이상의 에너지 절감이 가능한 것으로 보고되고 있다. [1][2] 특히, 레이더(Radar), 적외선(PIR), 조도, 온도 등의 센싱 데이터를 융합한 복합 재실센서(hybrid occupancy sensor)는 공간의 상황을 보다 정확하게 판단할 수 있어, 기존 EMS 의 성능을 보완할 수 있는 기술로 주목받고 있다. 한편, 머신러닝 기반의 복합센서는 초기 구축된 모델의 열화 가능성이 있으므로 주기적인 모델 검증 및 재학습이 필요하다.

본 연구의 목적은 기존 EMS 에 추가로 설치되는 복합 재실센서의 품질을 체계적으로 관리하고, 환경 변화나 노후화로 인한 센서 정확도 저하를 자동으로 검출 및 개선할 수 있는 MLOps 기반 관리장치를 제안하는 데 있다. 제안하는 관리장치는 복합센서에서 수집된 데이터를 분석하여 품질지표를 실시간으로 산출하고, 품질이 임계치 이하로 하락할 경우 운영자가 센서 내부 머신러닝 모델 또는 SW/FW 를 원격 업데이트 (OTA) 함으로써 성능을 유지한다. 또한 MLOps 프레임워크를 적용하여 각 센서의 품질 변화를 주기적으로 기록하고, SW/FW 버전별 성능 추이를 지속적으로 추적함으로써 EMS 의 제어 효율을 향상시킨다.

II. 본론

1. 복합센서 관리장치가 설치된 EMS 시스템 구성

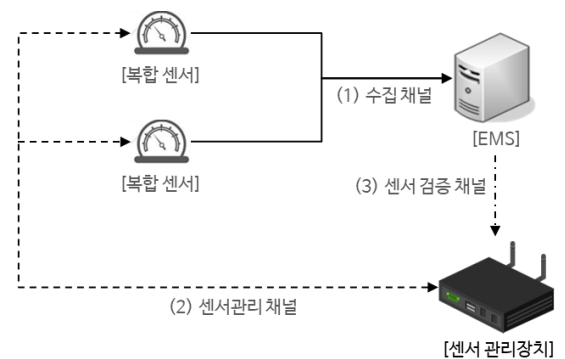


Fig. 1 전체 시스템 구성도

Fig.1 은 기존의 EMS 에 복합센서와 센서관리 장치가 추가 설치된 구성을 나타낸다. EMS 는 설치된 복합 센서의 계측 값을 (1)수집채널을 통해서 수신하고 에너지 관리에 활용한다. 센서관리장치는 (2)센서관리채널을 이용해서 복합센서를 관리한다. 센서관리장치는 복합 센서의 품질관리를 위해서 복합센서에서 계측된 센싱 값을 (3)센서검증채널을 통해서 EMS 로부터 수신한다.

센서관리채널은 양방향으로써, 센서관리장치는 복합 센서로부터 운영상태 정보를 주기적으로 수신하고, 필요시 복합센서에게 SW/FW 및 ML 모델 업데이트를 전달한다.

EMS 가 실시간 수집에 대한 요구사항이 크지 않다면, 센서관리장치가 복합센서로부터 계측 값을 수집해서 EMS 에 전달하도록 구성을 변경할 수 있다. 이 경우에 수집채널은 센서관리장치에서 EMS 로 향하는 방향으로 형성되며, 센서검증채널은 필요하지 않다.

이러한 구조를 통해서 기 구축된 EMS 의 변경을 최소화면서, 머신러닝 모델 및 SW/FW 의 업데이트가 필요한 복합센서를 설치하고 운영할 수 있다.

2. 복합센서 관리장치 구성 및 기능

리눅스 기반의 산업용 PC 에 오픈소스를 이용해서 센서관리용 Web 페이지를 구축하고 분석 SW 를 설치해서 복합센서 관리장치를 구성하였다.

Table 1 복합센서 관리장치 구성

OS	Ubuntu 20.04 LTS
WAS	Tomcat 9
RDBMS	PostgreSQL 13
분석언어	Python
MLOps	Kubeflow

복합센서 관리장치는 복합센서의 설치정보 및 운영정보를 관리하기 위해서 제조사, EMS 운영자 및 센서에게 다음의 기능을 제공한다.

Table 2 사용자별 기능 구성

사용자	기능
제조사	제품 등록
	제품별 SW/FW 관리
EMS 운영자	센서 설치
	센서 운영관리
	센서 SW/FW 업데이트
센서	센서 주기적 상태보고
	센서 SW/FW 업데이트 수행 및 결과보고

출입 이벤트 발생시에만 EMS 에 데이터를 송신하는 재실센서의 특성에 따라서 센서관리장치는 센서로부터 주기적 상태보고를 수신함으로써 센서의 현재 운영상태를 파악할 수 있다.

3. 이중화 센서 이상탐지

복합센서의 이상탐지 및 열화를 추정하기 위해서 동일공간에 동일 센서를 설치하는 센서이중화를 적용하였다. 복합센서 관리장치는 이중화센서의 계측 값을 비교 분석해서 센서의 품질을 검증한다. 수집된 데이터는 시계열 형태로 저장되며, 각 레코드는 타임스탬프, 센서 ID, 측정값(0 또는 1)으로 구성된다. 머신러닝 분석을 위한 전처리 과정에서 데이터를 1 분 간격으로 리샘플링하고 결측치는 Forward Fill 한다. 타임스탬프는 두 센서를 비교하는 Key 이기 때문에 센서가 측정한 시각값을 사용한다.

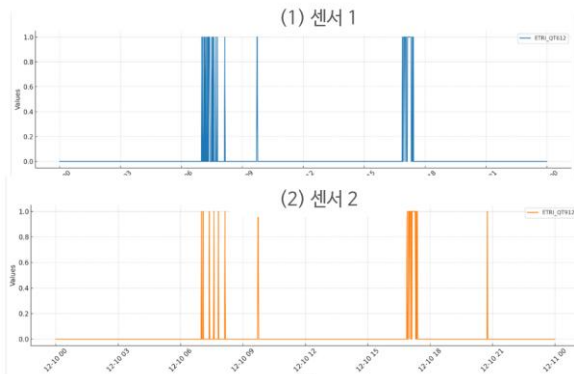


Fig. 2 재실센서 검증을 위한 24 시간 수집 데이터

복합센서의 신뢰성 검증을 위해서 Table 3 과 같은 품질지표를 정의하였다. 이는 단순한 평균값 차이 만으로는 이상을 충분히 설명하기 어렵고, 센서 오작동

이나 열화는 특정 시점의 불일치나 변화 패턴 왜곡으로 나타나는 경우가 많기 때문이다.[3]

Table 3 이중센서 검증 품질지표

지표	정의
전역 불일치율	두 센서의 상태가 다른 시간의 비율
장기 이상 횟수	5 분 이상 연속으로 센서가 불일치한 구간의 개수
최장 불일치 구간	가장 길었던 불일치 구간 (분 단위)
평균값 차이	24 시간 평균 값에 대한 T-검정 결과
변화 횟수 비율	이중화 센서 간 상태 변화 횟수의 비율

위에서 정의된 다섯 가지 지표에 대한 개별 임계치에 따라서 운영알람과, 모든 지표를 Feature 로 사용해서 수행한 비지도학습 이상탐지 알람을 운영자에게 통지해서 사전예방정비 정보를 제공한다.

4. MLOps 를 이용한 검증 자동화

MLOps 는 머신러닝 시스템을 자동화, 재현성, 신뢰성 있게 운영하는 체계로, 센서 품질 관리에도 필수적이다. 본 제안 체계는 이중화 센서의 일별 품질 지표를 자동 산출하고, 이를 Metic DB, 알람 시스템, SW/FW 버전 관리와 결합한 검증 프로세스를 제안한다.

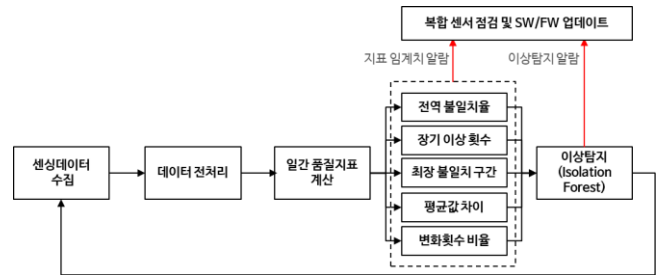


Fig. 3 MLOps 이용한 이중화복합센서 검증 프로세스

III. 결론

본 연구에서는 EMS 에 적용되는 복합 재실센서의 품질을 정량적으로 평가하고 이상을 자동 탐지하기 위한 관리장치를 제안하였다. 수집된 센서 데이터를 기반으로 다섯 가지 품질지표를 산출하고, 이를 활용해 비지도 학습 기반의 이상탐지를 수행하였다. 또한 MLOps 체계를 도입하여 하이퍼파라미터의 주기적 재조정 및 자동화를 통해 지속적인 성능 유지와 운영 효율 향상이 가능함을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (RS-2020-KP002220)

참 고 문 헌

- [1] W. K. Jang et al., "Long-Term Field Testing of the Accuracy and HVAC Energy Savings Potential of Occupancy Presence Sensors in a Single-Family Home," OSTI, 2020.
- [2] K. J. Choi et al., "A Review of Occupancy-based Building Energy and IEQ Controls and its Future post-COVID," Building and Environment, vol. 204, 2021.
- [3] Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). "Anomaly detection: A survey." ACM Computing Surveys, 41(3), 1- 58