

블루투스 메쉬(BLE Mesh) 기반의 실시간 공장 모니터링 시스템 및 플랫폼 구현

한혁^{1*}, 김도원², 김학철³

¹리얼타임테크 연구소장, ²리얼타임테크 연구원, ³리얼타임테크 수석연구원

Implementation of Real-time Monitoring System and Platform in Industrial Factory Based on BLE Mesh

Hyeok Han^{1*}, Do-Won Kim², Hak-Cheol Kim³

¹Director, RealTimeTech, Korea

²Senior Researcher, RealTimeTech, Korea

³Researcher, RealTimeTech, Korea

요약 본 논문에서는 유해화학물질을 보관하는 실내 공간에 대한 위험 상황을 실시간으로 모니터링하고 관리하기 위한 시스템 구축 결과를 제시한다. 이를 위하여 다양한 센서들로 구성된 BLE 메쉬 네트워크망을 통하여 수집되는 상황정보는 LWM2M 프로토콜을 이용하여 수집하고 룰 기반의 이벤트를 감지하여 실시간으로 대처할 수 있도록 지원한다. 또한, 네트워크 운용 상태를 모니터링하기 위하여 SNMP 기반의 망 운용 정보를 제공하며, AI 기술을 적용하여 향후 상황정보를 예측할 수 있는 기술을 함께 제공한다. 본 연구에서는 실내 공간에 대한 효율적인 상황 정보 제공을 위하여 시계열 DB와 공간 DBMS를 함께 적용하여 다양한 형태의 데이터를 통합적으로 저장 관리하도록 하였다.

주제어 : BLE 메쉬 네트워크, LWM2M, 시계열 DB, 공간 DB, 위험상황 모니터링

Abstract In this paper, we present the results of building a system to identify and manage hazardous situations in indoor spaces. To this end, situational information collected through a BLE mesh network consisting of various sensors is collected using the LWM2M protocol, detects rule-based events, and supports real-time response. In addition, it provides SNMP-based network operation information to monitor network operation status, and also provides technology to predict future situation information by applying AI technology. In this study, in order to provide efficient situation information about indoor space, time series DB and spatial DBMS were applied together to store and manage various types of data in an integrated manner.

Key Words : BLE mesh network, LWM2M, Time series DB, Spatial DB, Risk situation monitoring

1. 서론

제조업에서는 누출, 누액, 화재 등 공정 과정 중에 발생하는 재해에 대해서 신속한 대처와 인명 피해를 줄이

기 위한 지속적인 모니터링이 필요하다[1]. 이를 위해서 공장 모니터링 시스템은 공정 프로세스에 의한 공장 내 환경 변화를 실시간으로 감지하고 긴급 상황 발생 시 즉시 통지하고 모니터링 대상 공간에 대한 상태 정보를 제

본 논문은 2024년도 정부(행정안전부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20018277, 사회복합재단 대응기술 개발사업의 BLE Mesh 네트워크망 활용 위험 모니터링 디바이스 및 통합관리 시스템 개발).

*교신저자 : 한혁(hhan@realtimetech.co.kr)

접수일 2024년 12월 31일 수정일 2025년 01월 22일 심사완료일 2025년 02월 12일

공하고 효과적으로 가시화하는 기능을 제공하여야 한다.

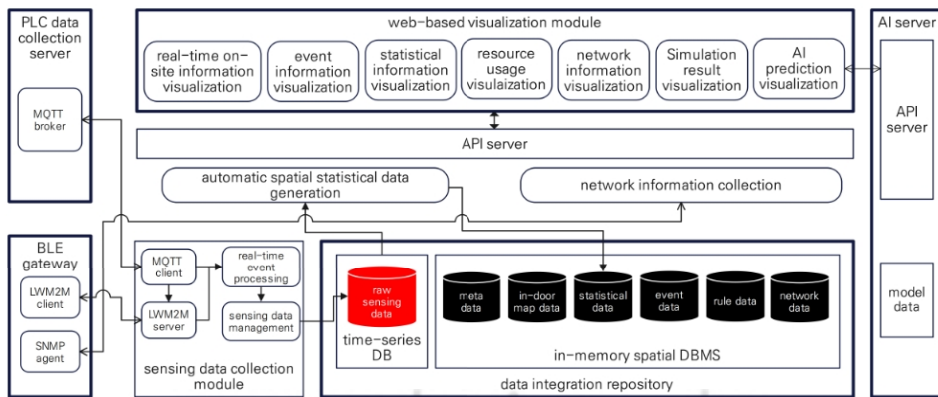
복잡한 구조의 공장 내부에 대해서 기존 제조업 분야에서 사용되고 있는 유선 기반 PLC(Programmable Logic Controller) 통신방식을 활용하여 다양한 위치에 센서를 설치하는 것은 제약이 있기 때문에 최근 zigbee, Wi-Sun, BLE 등의 무선 통신 기반 센서 데이터를 수집하기 위한 방법들이 해결책으로 제시되고 있다.

본 연구에서는 기존 배선의 확장 공사 없이, 통신 환경이 열악한 고위험 산업현장의 재해에 신속하게 대응하기 위하여 통신거리 확장과 네트워크 구성이 자유로운 BLE(Bluetooth Low Energy) Mesh 망 기반의 무선 통신 환경을 실증 현장에 구축하고 유·무선 복합 네트워크 환경의 모니터링 시스템 및 플랫폼 구축 결과를 제시한다. 본 논문의 주요 연구 범위는 PLC 및 BLE Mesh 망 기반의 공장 모니터링을 위해서 LWM2M 표준 프로토콜 기반 실시간 센서 데이터 수집 및 모니터링 서비스를 제공하기 위한 서버 플랫폼 기술이며, 현장 센서 시스템 구축 및 통신 테스트 결과는 요약하여 제시하도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 연구에서 구축한 시스템 구성에 대해서 제시하고, 3장에서는 현장에 설치한 센서 정보에 대하여 제시한다. 4장에서는 본 연구에서 구축한 시스템의 세부 기능에 대해서 제시하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 목표에 대해서 제시한다.

2. 시스템 구성도

그림 1은 본 연구에서 구축한 데이터 수집 및 모니터링 서비스 시스템 구성을 나타낸 것이다.



[Fig. 1] system architecture

본 연구에서는 산업현장의 실시간 정보를 수집하기 위하여 BLE Mesh망 기반 데이터는 LWM2M 표준 프로토콜을 이용하여 연동하며, 기 설치된 PLC 기반의 데이터는 데이터 관리 기관의 요청으로 MQTT 프로토콜을 활용하여 수집하도록 설계하였다. 위험 물질을 관리하는 산업현장의 특성을 반영하여 게이트웨이에서 수집된 센서가 서버 시스템에 입력되는 동시에 이벤트 발생 여부를 감지하도록 하였으며 수집된 대용량 센서 데이터는 시계열 분석의 효율성을 제공하기 위하여 시계열 DB를 이용하여 원본 데이터를 관리하도록 하였다. 또한, 향후 대규모 산업현장에 대해서 사용자가 관심 영역을 자유롭게 지정하여 공간 분석을 수행할 수 있도록 지원하기 위하여 공간 DBMS를 적용하여 구축하였다.

본 장에서는 본 연구에서 개발한 센서 데이터 수집·관리 및 모니터링 서비스를 제공하기 위한 내용에 대해서 기술하도록 하며 구현 결과는 4장에서 제시하도록 한다.

2.1 센싱 데이터 수집 모듈

본 연구에서는 산업 현장 정보를 수집하기 위하여 다양한 센서들을 설치하였으며 BLE 메시망을 통하여 게이트웨이에 수집된 데이터는 LWM2M 프로토콜 기반으로 데이터 수집 모듈과 연동하여 수집하도록 개발하였다[6].

LWM2M 프로토콜은 경량 프로토콜이므로 물리적 자원이 제한적인 장치에 적용할 수 있으며, 센서 데이터 수집과 장치를 관리하는 기능을 포함하여 향후 확장성이 용이하다.

다양한 LWM2M 오픈 소스들이 존재하며, 본 연구에서는 Eclipse leshan-M13 오픈 소스를 활용하여 LWM2M 서버 모듈을 구축하였다[7-8]. 또한, 본 연구에서 설치한

센서들 외에 실증 현장에 설치되어 PLC 기반으로 수집되고 있는 기존 데이터를 통합적으로 관리하기 위하여 MQTT 프로토콜을 적용하여 수집하도록 구축하였다[9-10].

2.2 이벤트 처리 및 데이터 저장 관리

본 연구에서는 산업현장의 위험 모니터링 특성을 반영하여 현장의 센싱 데이터가 시스템에 입력되는 순간 실시간으로 미리 정의한 룰 기반으로 이벤트를 처리한 후 데이터 통합 저장소에서 관리하도록 하였다.

2.3 데이터 통합 저장소

본 연구에서 구축한 시스템은 다양한 형태의 데이터를 저장 관리하여야 이를 위하여, 2가지 형태의 데이터베이스를 활용하여 데이터 통합 저장소를 구축하였다.

먼저, 실시간으로 수집되는 대용량 센싱 데이터 원본을 저장하기 위하여 시계열 DB를 적용하였다. 다양한 시계열 DB가 소개되고 있으며, 본 연구에서는 시계열 DB 가운데 가장 널리 사용되고 있는 InfluxDB를 적용하여 구축하였다[11]. 또한, 다양한 메타 데이터를 포함하여 센싱 데이터 외의 데이터는 본 논문의 저자들이 소속된 기관에서 개발한 공간 DBMS를 적용하여 구축하였다[12]. 특히, 현장의 실내 공간지도 및 센서들의 위치 정보는 공간 DBMS에서 제공하는 데이터 타입 형태로 저장하여 다양한 공간 분석 기능에서 활용할 수 있도록 하였으며, 그림 2와 그림 3은 센서와 공간 구역 정보를 공간 데이터 타입(st_point, st_polygon)을 활용하여 저장한 예시를 나타낸 것이다.

ss_id	gw_id	ss_name	ss_coord	sensor location
[AA12G03]	[PLC01]	[가스-03(#1-10-03)]	POINT(126.7795756 37.3043936)	
[AA12G02]	[PLC01]	[가스-02(#1-12-02)]	POINT(126.7793996 37.3042496)	
[AA12G03]	[WSN01]	[가스-W(#1-12-03)]	POINT(126.7795315 37.30426203)	
[AA12G05]	[WSN01]	[가스-W(#1-12-05)]	POINT(126.779421 37.30430629)	

[Fig. 2] Sensor meta data sample

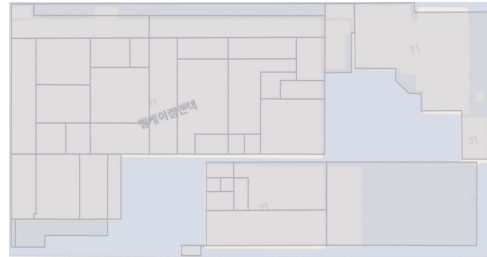
st_id	st_name	st_coord	in-door area type
1	[제1창고]	POLYGON((126.77927981335 37.30409837	
2	[천리창고/상하차구역]	POLYGON((126.779545481045 37.3041429	
3	[보관창고]	POLYGON((126.7792723804937 37.3041818	
4	[공무작업실]	POLYGON((126.779272319737 37.3041818	

[Fig. 3] In-door area meta data sample

2.4 공간 통계 생성

본 연구에서는 공간 DBMS 기반으로 구축된 실내 공간에 대해서 공간 통계 정보를 자동으로 생성하는 기능을 개발하였다. 이를 위하여, 실증 대상 공장에서 관리하는 41개 구역에 대해서 자동으로 1시간 단위로 공간

통계 정보를 생성하는 기능을 개발하였으며, 공간 통계 정보는 시간/일/월 단위로 생성하도록 하였다. 그림 4는 본 연구에서 적용한 공간 통계 생성 구역을 나타낸 것이다.



[Fig. 4] Spatial statistics generation unit

2.5 네트워크 상태 정보 수집

본 연구에서는 BLE Mesh 망 정보를 모니터링하기 위하여 네트워크 관리에 널리 사용되는 SNMP를 활용하였다[13]. SNMP(Simple Network Management Protocol)는 네트워크 장치의 모니터링과 관리를 위해 사용되는 프로토콜이며, TCP/IP 네트워크에서 라우터, 스위치, 서버, 프린터 등의 네트워크 장치의 성능과 상태를 모니터링하고 문제를 진단하기 위해 주로 사용되며, 네트워크 관리 시스템 NMS(Network Management System)에서 데이터를 수집하고 분석할 수 있도록 설계되었다.

SNMP는 다양한 버전이 존재하며, 본 연구에서는 저 전력, 저자원의 소규모 네트워크 환경에서 성능 보장을 위해 SNMPv2c를 채택하여 사용하였다.

<Table 1> SNMP version list and features

Version	SNMPv1	SNMPv2c	SNMPv3
Security Level	Low	Low	High
Performance	Normal	High	Normal
Supported Features	Simple	Advanced	Advanced

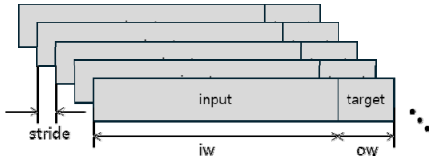
2.6 AI 기반 예측 기능

센서 데이터를 포함한 시계열 데이터는 라벨링이 어려운 점을 고려하여 일반적으로 비지도학습 모델을 적용하며, 본 연구에서도 비지도학습 모델 중 시계열 데이터 예측에 많이 사용되는 LSTM(seq2seq) 모델을 적용하여 모델을 구축하고, 가시화 모델에서 적용할 수 있도록 API를 개발하였다[14]. 본 연구에서 적용한 'LSTM SEQ2SEQ' 모델은 표 2의 하이퍼파라미터를 사용한다.

<Table 2> LSTM SEQ2SEQ hyperparameter

하이퍼파라미터	설명	적용 예시
n_hidden	Number of hidden units in the encoder and decoder	73
n_layer	Number of layers in the encoder and decoder	2
dropout	Dropout rate between convolutional layers	0.2
epochs	Maximum number of training iterations	50
n_batch	Maximum number of update batches to process	64
r_learn	Initial learning rate	0.001

본 연구에서는 그림 5와 같이 일정한 길이의 입력 window, 출력 window를 설정하고 전체 데이터에 대해서 슬라이딩하여 데이터셋을 생성하여 예측 모델에 적용하였다. stride는 센서 데이터 수집 주기 단위로 설정하였다.



[Fig. 5] AI data generator example

학습 데이터를 생성하기 위한 파라미터는 표 3과 같다.

<Table 3> Training parameter

하이퍼파라미터	설명
n_data	DB로부터 입력하는 전체 데이터 수
r_split	학습 셋 및 시험셋의 분할 비율
iw	입력 윈도우(데이터) 크기
ow	출력 윈도우(데이터) 크기
stride	윈도우 슬라이싱 간격
period	시계열 데이터 분해 시 사용되는 구간의 크기

5,000개의 데이터를 이용하여 학습 데이터셋을 구축하였을 때, 데이터셋의 크기는 125KB였다. 본 연구에서는 모델의 정확도를 계산하기 위하여 MSE(평균제곱오차) 방식의 loss값 측정 결과 정규화한 loss값은 0.005이며, 센서 데이터 예측 정확도($100 - \sqrt{0.005} * 100$)는 92.9%이다. 향후 현장에서 수집되는 센서 데이터 외에 현장 특성은 반영한 다양한 이상 현상을 표현하는 비정상적인 데이터를 생성 후 학습 데이터를 확장 구축하여 시계열 예측 모델의 정확도를 향상하기 위한 연구를 수행할 필요가 있다.

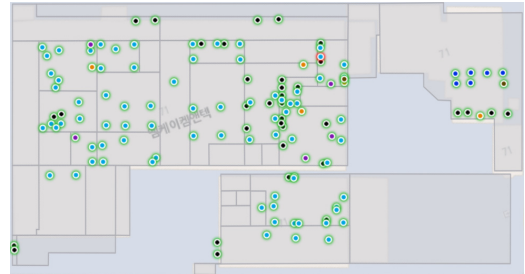
2.7 웹 기반 가시화 기능

본 연구에서는 실시간으로 수집되는 다양한 센서 데이터 및 네트워크망 정보를 제공하기 위하여 웹 기반 가시화 기능을 개발하였으며, 4장에서 상세히 기술하도록 한다.

3. 센서 설치 및 운용 현황

3.1 센서 설치 위치

본 연구에서는 개발한 기술을 검증하기 위하여 경기도 안산시 소재 ㈜엠케이캠앤틱의 위험 물질을 저장 관리하는 공장 내부에 다양한 센서들을 설치하였다. 그림 6은 41개의 실내 공간 구역별로 설치된 센서 위치를 나타낸 것이다.



[Fig. 6] Sensor installation status

3.2 센서 설치 및 운용 결과

본 절에서는 본 연구에서 활용한 센서 운용 결과에 대하여 요약 제시한다. 실증 대상 공장 내부에 총 136개의 센서를 설치하였으며, BLE 통신 성능 테스트를 위하여 센서 모듈을 탑재하지 않은 라우터 55개를 함께 설치하였다.

BLE 메쉬 네트워크는 센서 46개와 라우터 55개로 구성된 총 100개의 센서 네트워크 노드로 구성하였으며, 이전에 설치하여 PLC 기반으로 수집되는 90개 센서 데이터를 함께 활용하여 공장 내부 상황 정보를 수집하도록 하였다. 현장에 설치된 센서는 이벤트가 발생하지 않는 경우 일정 주기(PLC : 30초, BLE : 60초, 기상 센서 : 60초) 단위로 데이터를 전송하도록 하며, 전송 주기 사이에 이벤트가 발생하면 즉시 데이터를 전송하도록 구현하였다.

산업현장은 지게차 이동, 간이 벽 설치 등 예측할 수 없는 다양한 네트워크 환경의 변화가 발생할 수 있으며 라우팅 경로를 우선 확보할 수 있도록 설계하였다. 이를 위하여, 본 연구에서 구축한 BLE IoT 센서노드는 자동 라우팅 알고리즘을 탑재하였으며, 게이트웨이와 양방향

통신을 한다. 라우팅 알고리즘은 데이터 손실을 최소화 하기 위하여 RSSI 수신 감도를 판단하여 -80dB 이상의 경우 수신 감도가 안정적인 다른 2홉의 경로로 데이터를 전송하도록 개발하였으며, 공인 시험 결과 무선 통신 손실률이 0.8%임을 확인하였다.

데이터 전송 시 sequence 번호를 추가하여 중복으로 수신하는 것을 방지하며 데이터 전송 후 게이트웨이로부터 응답 메시지가 수신되지 않는 경우 3회 정도 재전송 하며 지속적으로 오류 발생 시 라우팅 경로를 재설정하는 절차를 수행하도록 하였다. 공인 시험 결과 라우팅 정보는 18초 이내에 갱신되는 것을 확인하였다.

표 4와 표 5는 본 연구에서 구축한 센서에 대한 요약 정보를 나타낸 것이다.

<Table 4> Device installation status

Sensor Network	Gateway	Sensor	Router
PLC	4	90	0
BLE Mesh	1	46	55

<Table 5> number of sensors by type

Detection Target	# Sensor	alarm			
		1 st	2 nd	3 rd	4 th
Ammonia	8	20	50	70	100
Ammonium hydroxide	1	20	50	70	100
Ethane-1,2-diamine	8	20	50	70	100
Formaldehyde	8	10	30	40	50
Hydrogen chloride	10	4.5	30	220	1000
Sulfuric acid	3	2.5	5	10	1000
Hydrobromic Acid	2	20	50	120	1000
Nitric acid	1	2	5	200	1000
Leakage	75	0 or 1			
Explosion Protection	2				
Fire Detection	5				
Weather Station	11				
CCTV	2				

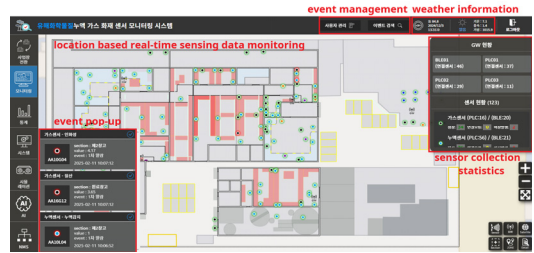
본 연구에서는 가스 센서에 대해서 표 4와 같이 농도 단계를 4단계로 구분하여 위험 상황을 알리도록 구현하였다. 표 4에서 농도의 단위는 ppm이며 누액 센서, 폭발 유발 물질 감지 및 화재 감시 센서의 값은 0 또는 1로 수신한다.

4. 모니터링 시스템 구현 결과

본 장에서는 웹 기반 모니터링 GUI를 중심으로 현재 구축되어 운용 중인 시스템 구현 결과를 제시하도록 한다.

4.1 실시간 모니터링

그림 7은 본 연구에서 구현한 실시간 모니터링 화면을 나타낸 것이다.



[Fig. 7] Real-time monitoring

본 연구에서는 배경 지도로 V-WORLD 지도를 활용하였으며, 센서 설치 위치 및 실내 구역을 표현하는 공간 지도 좌표를 V-WORLD 좌표계로 표현하였다[15].

실시간으로 수집되는 센서 데이터를 실시간 공간 좌표와 매핑하여 화면에 가시화하도록 하였으며, 이상 현상이 발생한 센서는 구분하여 표시하고, 실시간으로 발생하는 이벤트 정보를 팝업 형태로 출력하여 관리자가 신속하게 대처할 수 있도록 하였다. 또한, 게이트웨이별 데이터 수집 현황을 제공하며 실시간 기상 정보(기온, 풍속, 기압)를 제공하도록 하였다.

4.2 통계 정보 검색

본 연구에서는 136개의 센서로부터 수집되는 원본 데이터는 시계열 DB(InfluxDB)에 저장하며, 저장된 원본 데이터에 대해서 다양한 형태의 통계 정보를 자동으로 생성하도록 구현하였다.

본 기능은 통계 정보를 제공하며 센서별 통계 및 공간 통계를 검색하는 기능을 제공한다. 그림 8은 특정 구역 선택 시, 해당 구역에 대해서 통계 정보를 가시화한 예를 나타낸 것이다.

해당 구역에서 발생한 이벤트 종류별 발생 건수, 시간별/일별/월별 통계 정보를 검색할 수 있다.



[Fig. 8] Statistical analysis example

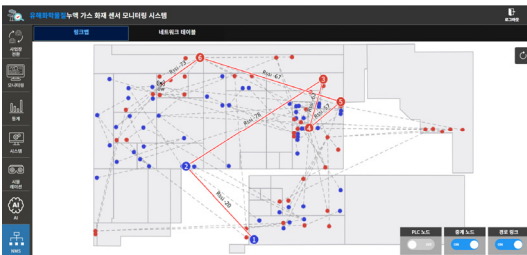
4.3 네트워크 상태 정보 조회

본 연구에서는 100개의 노드와 1개의 게이트웨이로 구성된 BLE Mesh 네트워크를 구성하였으며, 그림 9는 계층적 네트워크 트리 구조와 SNMP MIB(Management Information Base) 정보를 나타낸 것이다.



[Fig. 9] Network table example

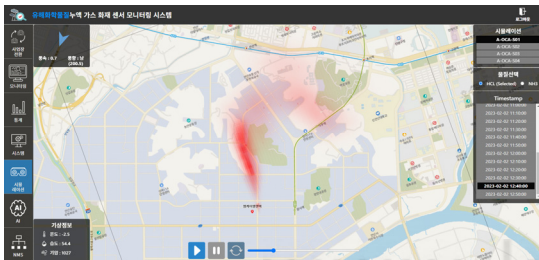
네트워크 연결 상태 정보를 계층적 트리 구조 형태로 제공함과 동시에 특정 노드 선택 시 게이트웨이에 이르는 라우팅 경로를 위치 기반으로 가시화하는 기능을 제공하도록 구현하였으며, 그림 10은 이에 대한 예시를 나타낸 것이다.



[Fig. 10] Network link map example

4.4 시뮬레이션 결과 가시화

본 연구에서는 특정 지점에서 특정 위험 물질 폭발 시 확산 정도를 시뮬레이션한 결과를 가시화하는 기능을 제공하며, 그림 11은 예시를 나타낸 것이다.

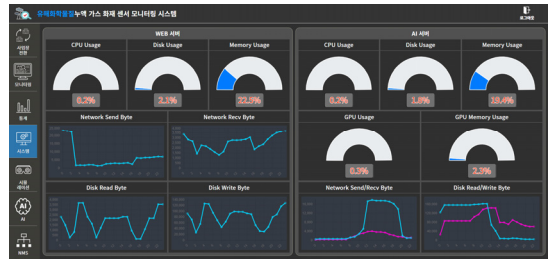


[Fig. 11] Simulation result visualization

시뮬레이션 결과 확산 정도를 본 연구에서 배경 지도로 사용하는 V-WORLD 좌표 기반으로 가시화하며 풍향/풍속 및 기상 정보(온도, 습도, 기압)를 연동하여 시계열로 표현하였다.

4.5 서버 자원 사용 정보 가시화

본 기능은 가시화 서버와 AI 서버의 자원 사용 정보를 실시간으로 제공하는 기능이며, CPU, 디스크, 메모리 사용량 정보와 함께 네트워크 송수신, 디스크 I/O 사용량 정보 및 GPU 사용 정보를 시계열로 가시화하는 기능을 제공하며 그림 12는 동작 예시를 나타낸 것이다.



[Fig. 12] Server resource monitoring

4.6 AI 예측 결과 가시화

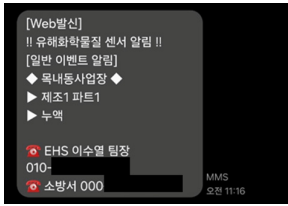
본 기능은 센서 데이터에 대해서 AI 모델을 적용하여 예측한 결과를 가시화하는 기능이며, 본 연구에서는 가스 센서를 한정하여 적용하였으며, 그림 13은 예시를 나타낸 것이다.



[Fig. 13] AI model based prediction

4.7 이벤트 발생 정보 통지 기능

본 기능은 실시간으로 수집되는 센서 데이터 기반 이벤트 발생 정보를 관리자 모바일 단말로 통지하는 기능이며, 그림 14는 동작 예시를 나타낸다.



[Fig. 14] Event notification example

5. 결론 및 향후 목표

본 논문에서는 유해 화학 물질을 취급하는 사업장의 위험 상황을 모니터링하기 위하여 설치된 다양한 센서들을 활용하여 현장 정보를 실시간으로 관리하는 시스템 구축 결과를 제시하였다. 이를 위하여 BLE Mesh 네트워크 및 PLC 유선망을 연동하는 센서들로 구성된 센서 네트워크로부터 수집되는 대용량 센서 데이터를 효과적으로 관리하고 실내 위치 기반의 다양한 정보들을 제공하기 위하여 시계열 DB와 공간 DBMS를 이원화하여 데이터 통합 저장소를 구축하였다.

이를 기반으로, 실시간으로 발생하는 이벤트 정보를 처리하고 BLE Mesh 망 정보를 조회하고 관리하는 기능을 제공하며, AI 모델을 적용하여 센서 데이터를 예측하는 기능을 개발하였다. 향후 이를 고도화하여 예측 기간을 늘려서 사전에 위험 상황 관리를 지원하도록 할 예정이다.

REFERENCES

[1] B.K.Lee, "A Study on Workers' Risk-Aware Smart Bands System in Explosive Areas," Journal of Internet of Things and Convergence, Vol.5, No.2, pp.73-79, 2019.

[2] S.H.Park and J.H.Bae, "A Design on The Zone Master Platform based on IIoT communication for Smart Factory Digital Twin," Journal of Internet of Things and Convergence, Vol.6, No.4, pp.81-87, 2020.

[3] H.Liu, "Design of Safety Monitoring System for Electrical Laboratory in Colleges and Universities under the Background of Information," 2021 International Symposium on Advances in Informatics, Electronics and Education (ISAIEE), IEEE, pp.276-280, 2021.

[4] J.H.Sung and Y.W.Kyung, "Implementation of Potential Field-Based Routing for Wireless Mesh Networks and its Performance Evaluation in Real-World Testbed," Journal of Internet of Things and Convergence,

Vol.10, No.3, pp.1-6, 2024.

[5] S.Gautam and S.Kumar, "Low Power BLE Relay Node Operation in Mesh-like Architectures for Precision Agriculture," IEEE Sensors Journal, 2024.

[6] LwM2M, <https://www.openmobilealliance.org/lwm2m>

[7] LWM2M Server, Eclipse Leshan, <https://eclipse.dev/leshan/>

[8] LwM2M Client, Eclipse Wakaama, <https://eclipse.dev/wakaama/>

[9] MQTT, <https://mqtt.org/>

[10] MQTT Broker, Eclipse mosquitto, <https://mosquitto.org/>

[11] InfluxDB, <https://docs.influxdata.com/influxdb/v2/>

[12] KairosDB, http://www.realtimetech.co.kr/bbs/page.php?hid=p202_2

[13] Net-SNMP, <http://www.net-snmp.org/>

[14] M.G.Kim, W.S.Jeon, and S.Y.Rhee, "Artificial Intelligence-based Monitoring Application for Production Line Failure/Predictive Maintenance," The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol.2, No.10, pp.147-158, 2023.

[15] V-WORLD, https://www.vworld.kr/v4po_main.do

한 혁(Hyeok Han)

[정회원]



- 1998년 8월 : 충남대학교 컴퓨터 과학 (전산학 학사)
- 2001년 2월 : 충남대학교 컴퓨터 과학과 (전산학 석사)
- 2016년 2월 : 충남대학교 컴퓨터 공학과 (컴퓨터 공학 박사 수료)

- 2001년 3월 ~ 2010년 2월 : 리얼타임테크 개발팀장
- 2010년 3월 ~ 현재 : 리얼타임테크 연구소장
- 2014년 5월 ~ 현재 : 한국 빅데이터 서비스학회 이사

<관심분야>

인메모리 컴퓨팅, 디지털 트윈, 시공간 데이터베이스

김도원(Do-Won Kim)

[정회원]



- 2022년 8월 : 한양대학교 ICT융합 학부, 미디어테크놀로지 전공 (학사)
- 2022년 8월 : 한양대학교 소프트웨어 학부, 컴퓨터전공 (학사)
- 2022년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 휴먼컴퓨터인터랙션학과
- 2023년 1월 ~ 현재 : 리얼타임테크 연구원

<관심분야>

사이버 피지컬 시스템, 실시간 컴퓨팅, M2M 통신, 스마트 헬스케어

김학철(Hak-Cheol Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 부산대학교 전자계산학 전공(학사)
- 1999년 2월 : 부산대학교 전자계산학 전공(석사)
- 2005년 2월 : 부산대학교 전자계산학 전공(박사)

- 2005년 4월 ~ 2007년 1월 : 한국전자통신연구원
- 2007년 2월 ~ 2008년 1월 : 가천대학교 연구교수
- 2008년 1월 ~ 2012년 4월 : 한국전자통신연구원
- 2014년 2월 ~ 현재 : 리얼타임테크 연구원

<관심분야>

인메모리 컴퓨팅, 디지털 트윈, 공간 데이터베이스