

ICT 기반 환경 모니터링 센서 데이터의 신뢰성 검증을 위한 플랫폼

¹채민아, ^{2*}조재혁

Platform of ICT-based environmental monitoring sensor data for verifying the reliability

¹Minah Chae, ^{2*}Jae Hyuk Cho

요약

최근 몇 년간 국내 산업에서 센서 오작동과 환경 모니터링의 부재로 인한 유해가스 방출 등으로 인명피해가 발생하고 이러한 유해 물질이 감지할 수 있는 환경 센서의 평가는 내구성 시험 및 위험성 검사 위주이기 때문에 센서의 측정 데이터에 대한 신뢰성 검증에는 한계가 있다.

본 플랫폼은 환경센서의 신뢰성을 검증하고 수집한 데이터를 통해 환경 분석을 위해 주요한 10종의 물질에 대해 측정하는 센서 보드와 각 센서의 성능 검증 체계를 설계하였다. 데이터를 수집하기 위해 센서 보드로 수집된 데이터를 LoRa 통신을 이용하여 데이터 신뢰성 평가 및 검증을 위한 서버로 전달되고 전달된 데이터를 모니터링 하기 위한 센서 데이터 플랫폼의 프로토타입을 제작하였다. 그리고 수집한 데이터를 이용하여 machine learning 기법을 통해 대기 환경을 분석하고 예측한다.

Abstract

In recent years, in the domestic industry, personal damage has occurred due to sensor malfunction and the emission of harmful gases. But there is a limit to the reliability verification of sensor data because the evaluation of environmental sensors is focused on durability and risk tests.

This platform designed a sensor board that measures 10 major substances and a performance verification system for each sensor. In addition, the data collected by the sensor board was transferred to the server for data reliability evaluation and verification using LoRa communication, and a prototype of the sensor data platform was produced to monitor the transferred data. And the collected data is analyzed and predicted by using machine learning techniques.

Keywords: Environmental Monitoring Sensor, ICT-based Sensor, LoRa, One-Stop Platform, Machine Learning

¹ 숭실대학교 AI 데이터사업단 선임연구원 (minahchae@ssu.ac.kr)

^{2*} 숭실대학교 전자정보공학부 교수 (chojh@ssu.ac.kr)

I. 서론

현대사회의 급속한 산업화는 일상의 편리함을 제공하는 반면, 환경오염이라는 문제점도 꺼안게 되었다. 특히, 대기오염의 경우 사람의 감각기관으로는 확인이 어렵고 장기간 노출시에는 인체에 심각한 손상을 주는 경우가 많다. 이러한 대기를 오염시키는 물질들을 감지하기 위해 환경모니터링 센서가 요구되지만 종종 오작동과 환경 모니터링의 부재로 인한 인명사고가 발생하기도 한다. 특히, 산업현장에서는 독성가스를 이용하는 제조공장이 많지만 환경 모니터링 센서의 오작동으로 인한 가스 방출 사고가 빈번하게 발생하고 있다[1]. 이러한 독성가스에 노출될 경우 짧은 시간이라도 치명적인 인체 손상이 발생할 수 있어 환경 모니터링 센서의 검증이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 환경 오염원의 파악 및 환경측정시스템의 개발의 요구에 맞춰 ICT 기반 환경 모니터링 센서 데이터의 검증 플랫폼을 설계하여 대기환경 질 개선 및 환경오염 피해 예방을 위해 환경정보 데이터 수집 및 생성 관리체계를 구축하고자 한다.

대기공기질에 대한 정보를 수집하기 위해 센서보드를 제작하였고 센서보드를 통해 수집한 데이터는 LoRa 통신을 이용하여 server 에 전달된다. 전달된 데이터는 센서 데이터 플랫폼 모니터링 시스템을 통해 확인할 수 있고 수집한 데이터는 machine learning 기법을 통해 대기환경을 예측할 수 있다.

II. ICT 기반 환경 모니터링 센서의 신뢰성 검증 플랫폼 구축

2.1 데이터 수집을 위한 센서보드 제작

ICT 기반 환경 모니터링 센서 신뢰성 제고를 위한 평가·검증 플랫폼 내에서 센서 데이터 수집 및 센서 데이터 잡음제거 등의 신호처리를 위한 센서보드와 지능형 빅데이터 플랫폼과의 통신을 위한 데이터 통신 및 원격검증 프로토콜이 실장 되는 메인 제어보드 및 빅데이터 플랫폼과의 통신 링크를 제공하는 통신보드로 구성된 통합 센서 단말을 제작하여 SW 인터페이스, 원격검증 프로토콜 및 통신 프로토콜을 시험 분석하기 위한 용도로 활용하였다. 크게 센서, 통신, 제어 총 3 개 파트로 구성되어 있고 추가될 센서를 위해 확장포트를 지원한다. 통신용 인터페이스는 UART 를 지원하며 탈부착이 가능하도록 제작했다.

먼저 센서부에서는 10 종의 환경 센서 데이터를 수집한다. 수집하는 데이터의 종류는 TVOC, CO, CO₂, 습도, 온도, 미세먼지 (PM2.5, PM10), NO₂, NH₃, H₂S 이고 실내공기질 관리법 제 2 조, 악취방지법 제 2 조를 근거로 하여 측정 항목을 선정하였다[2].

통신부에서는 무선 통신 지원으로 LoRa 를 이용하여 데이터를 어플리케이션 서버로 송신하고 제어부에서는 서버에서 보내는 명령어들을 수행하도록 설계하였다.

2.2 센서데이터 신뢰성 검증 플랫폼

센서 데이터 신뢰성 평가 및 검증 서비스 체계를 구축하기 위해 bulk 및 ICT 기반 반도체식 가스(VOC, CO) 센서 및 모듈 온도, 농도 다단계 복합 측정시스템을 제작하였다. 그리고 미세먼지 입경분리기의 신뢰성을 평가하기 위해 입경 분리기의 불확도를 산출하였다.

먼저 가스 센서의 측정시스템은 동작 환경 온도 (-10~50℃), 농도 연속 다단계 제어를 위한 모듈과 bulk 및 ICT 기반 반도체식 가스센서 및 모듈 적용을 위한 챔버를 제작하였다. 해당 장비는 bulk 가스센서 뿐만 아니라 가스센서 모듈을 측정할 수 있고, CO 와 VOC 가스를 Air 가스를 이용하여 낮은 농도까지 내려 농도 조절이 가능한 테스트를 할 수 있는 시스템을 갖추고 있다. 또한, -10~50℃의 온도 범위 내에서 반복적으로 측정할 수 있다.

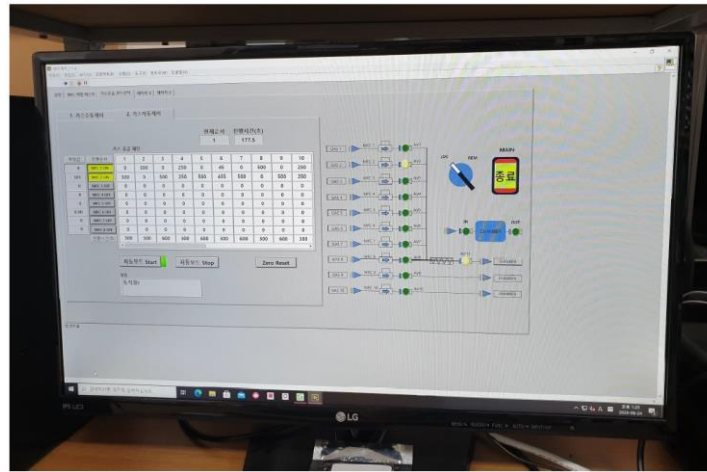


Figure 1. S/W for operating Multi-level Complex Measurement System
 그림 1. 다단계 복합 측정시스템 운영 SW 제작 및 안정화와 시험 테스트

미세먼지 입경분리기의 불확도는 크게 공기 역학적 입경 별 수농도를 측정하는 APS 를 교정하기 위한 표준입자의 크기 불확도, PM2.5 입경분리기의 유량 불확도, 반복측정에 따른 불확도를 측정하여 검증한다[3]. 미국표준기관에 소급성이 있는 5 개 PSL 표준입자의 물리적 입경과 공기역학적 입경 그리고 각 입경 별 불확도를 기준으로 하여 우리의 미세먼지 입경분리기의 불확도를 산출하였다. 그리고 이를 이용하여 피팅 모델을 이용하여 임의의 직경에서 불확도를 산출하였다.

2.3 ICT 기반 센서 네트워크 분석, 시험항목 도출, 시험지침서 개발

ICT 기반 센서 네트워크의 경우 센서 노드가 서로 멀리 떨어져 있는 경우가 많고 배터리로 구동되므로, 최소한의 전력 소비로 긴 거리에 걸쳐 작은 데이터 패킷을 효율적으로 전송하는 기술이 필요하다. LoRa 는 Chirp Spread Spectrum (CSS) 기반의 modulation 과 Frequency Shift Keying (FSK) 방식을 사용하여 이러한 요구사항을 충족하여 해당 방식을 선정하였다[4].

선정한 LoRa 의 네트워크 통신 신뢰도 측정 시험 방법에서 LoRa 기반 ICT 센서 무선 통신 신뢰성 검증 시험 항목을 보완하여 구축된 시험기와 표준에 의거해 개정하였다. 개정 내용은 아래와 같다.

Table 1. LoRa-based ICT sensor wireless communication reliability verification test items
 표 1. LoRa 기반 ICT 센서 무선 통신 신뢰성 검증 테스트 항목

category	Main contents
Wireless Link transmission rate measurement	Calculate the transmission rate through the ratio of the expected number of transmitted packets per unit time and the actual number of transmitted packets and measure the packet transmission rate between the LoRa end device and the LoRa gateway.
Wireless Link loss rate measurement	The packet loss rate between the LoRa end device and the LoRa gateway is measured by calculating the ratio of the number of packets to which transmission is successful and ACK compression occurs per unit time and the number of packets to be transmitted.
End-to-end loss rate measurement	Calculate the ratio of the number of packets sent by the LoRa end device per unit time and the number of packets received by the LoRa application server to measure the packet loss rate from the LoRa end device to the LoRa application server.
End-to-end transmission delay measurement	The transmission delay is measured between the LoRa end device and the LoRa application server by calculating the difference between the transmission time of the LoRa end device and the reception time of the LoRa application server per packet.



Figure 2. LoRa Reliability Test Facility
그림 2. LoRa 신뢰성 테스트 장비

2.4 ICT 기반 센서 네트워크 시험 지침서 개발을 위한 시험 설비 구축

LoRa 기반으로 구성된 센서 네트워크의 통신 신뢰도 측정하고 이를 반영한 시험 표준과 시험 지침서 개발을 하고자 시험 설비를 제작하였다.

LoRa 의 성능평가를 위해 RSSI(Received Signal Strength Indication)를 측정하였고[5] 측정장비는 신호 수집기로 주변 LoRa 패킷 캡처 및 패킷 상세 정보(channel, data rate, 신호 세기 등)를 확인할 수 있다. 그리고 channel 별 RSSI 와 노이즈는 캡처 된 패킷을 통해 LoRa 가 사용하는 주파수별 평균값을 그래프로 표출하여 channel 의 상태가 확인 가능하다. LoRa 신뢰성은 1~5 개의 디바이스 키 정보를 입력하여 decoding 된 LoRa 패킷을 표출하고 일정시간 동안 해당 디바이스의 패킷 송신율 및 손실률을 측정하여 검증하게 된다. 이렇게 시험한 결과는 파일로 저장하여 분석이 가능하며 모니터링 데이터 로그 저장을 통하여 시험 내용을 다시 확인할 수 있다.

2.5 ICT 기반 센서 네트워크 에뮬레이터 구축

LoRa 센서 네트워크 표준 개발, 시험지침서 개발 및 국내기업 환경 모니터링 센서 신뢰성을 검증하고자 LoRa 통신망 에뮬레이터를 구축하였다. LoRa 신뢰성 시험기의 기능 구현 검증을 위한 기준자료로서 표준 LoRa 망, SKT LoRa 망과 동일한 테스트베드 환경을 제공할 수 있고 네트워크 서버와 동일한 동작을 수행하여 LoRa 단말의 개통 전 사전 검증을 위한 테스트베드로써 활용이 가능하다.

2.6 빅데이터 플랫폼과 센서데이터 연동 개발

센서데이터 연동을 위해 LoRa 네트워크 시스템과의 상호 연계 시스템을 구축하였다. HTTP 방식의 연동을 수행하고, API 서버는 HTTP Server 역할을 담당한다. Gateway 와 HTTP 프로토콜 사용 시에 gateway 는 HTTP 클라이언트 역할을 수행하고, 빅데이터 시스템은 HTTP 서버 역할을 수행하게 된다. 빅데이터 시스템은 공인 IP 를 사용하여 inbound 포트를 설정함으로써 gateway 에서 접속 가능하도록 환경을 구성하도록 개발하였다. 플랫폼 연동을 위해 SKT LoRa 네트워크의 게이트웨이 시스템인 ThingPlug 를 사용하였고 빅데이터 플랫폼의 API 서버와 연동하도록 구축하였다.

2.7 빅데이터 플랫폼의 모니터링 프로토타입 구축

ICT 기반 센서 네트워크로 수집한 센서데이터의 모니터링을 위한 시스템을 구축하였다. 복합센서 IoT 디바이스와 LoRa 네트워크 통신으로 데이터를 수집한 내역을 모니터링할 수 있고 복합센서 IoT 디바이스에서 제공하는 미세먼지(PM2.5, PM10), TVOC, CO, CO2, H2S, NH3, NO2, 온도, 습도에 대한 데이터를 확인할 수 있다. 해당 정보에 대해서는 CSV 파일로 다운받을 수 있는 기능을 제공한다.

Figure 3. Check Sensor Data by Device
 그림 3. 디바이스별 센서 데이터 확인

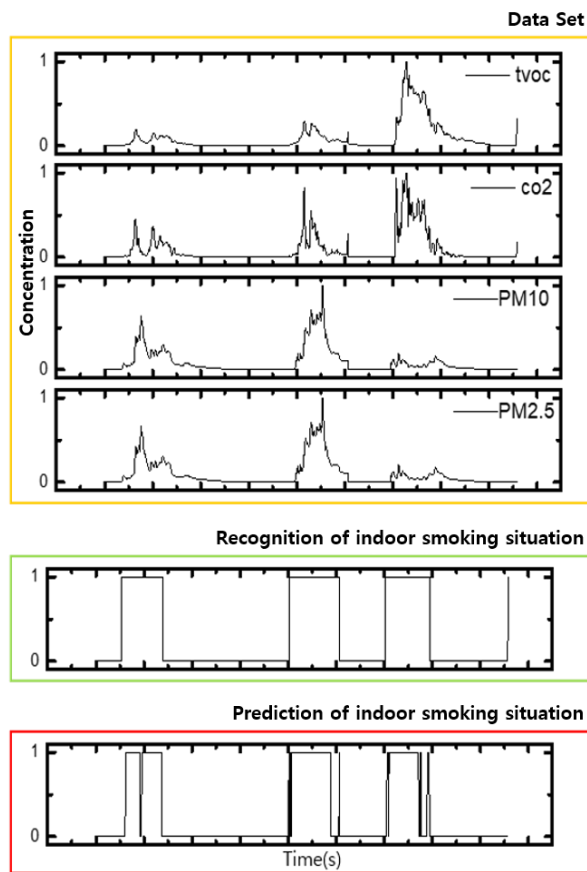


Figure 4. Measurement and Prediction of Indoor Smoking Conditions
 그림 4. 실내흡연상황의 측정과 예측

2.8 환경정보 빅데이터 플랫폼에서 센서 신뢰성 진단을 위한 machine learning 알고리즘 설계

수집된 센서 값을 분석하고 데이터의 개별 속성의 특징 및 상관관계를 도출하기 위해 machine learning 기법 (SVM[6], MLP[7], KNN[8], K-means[9])을 적용하였다. 해당 기법을 적용하기 위해 흡연 상황을 설정하고 실내 흡연상황에서의 센서 거동을 통해 본 센서가 담배상황을 감지할 수 있음을 확인하였다. 또한 실내 흡연실에 설치된 환경 센서 데이터를 분석한 결과, 특정 센서 간의 높은 상관 관계가 관측되어 해당 센서의 주변 환경을 이해함에 사용될 수 있음을 확인하였다.

III. 결과

3.1 센서 테스트 결과

VOC 가스센서 모듈 (SVM30)을 toluene 가스 20, 10, 2 ppm 의 농도와 10°C에서 3 회 반복하여 측정하고, 반응시간 5 분, 회복시간 10 분으로 하여 측정하였다. VOC 가스센서 모듈에 대해 온도를 가변 하여 측정한 결과 챔버 내 온도가 증가되면, 가스 반응도는 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

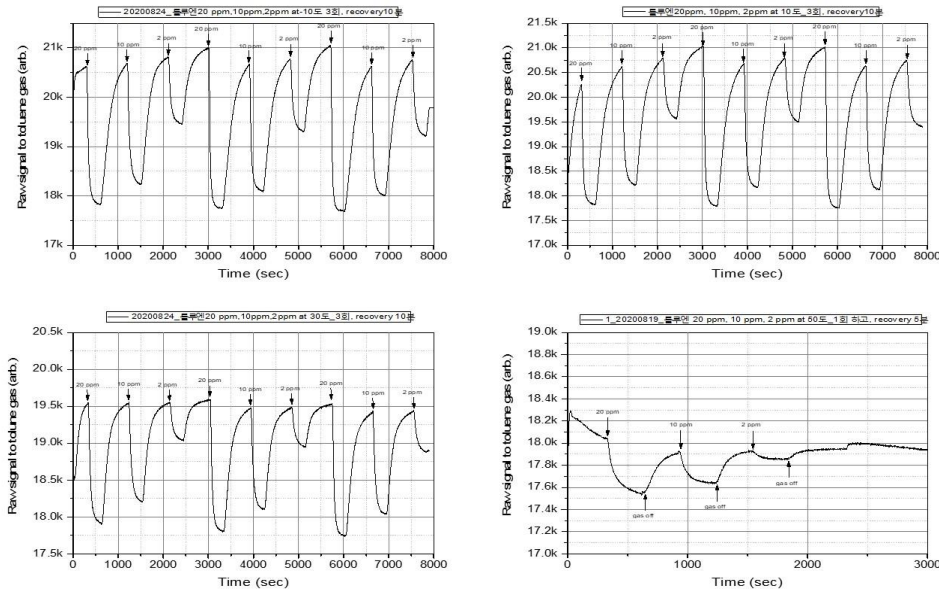


Figure 5. VOC Gas Sensor Module Measurement Result
 그림 5. VOC 가스센서 모듈 측정 결과

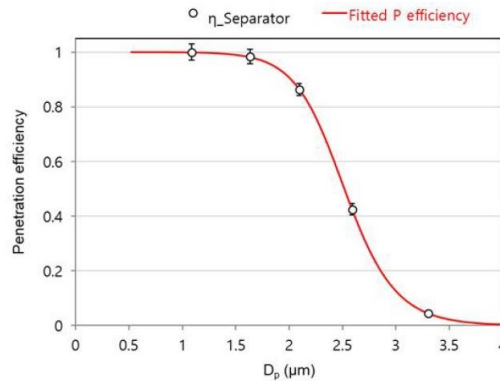


Figure 6. Particle Size Transmission Efficiency with Fitting Model
 그림 6. 피팅모델이 적용된 입경투과효율 분포

3.2 LoRa 신뢰성 시험기 결과

LoRa 신뢰성 시험기의 1~5 개의 디바이스 키 정보를 입력하여 decoding 된 LoRa 패킷 표출 및 단위시간 동안 해당 디바이스의 패킷 송신율 및 손실률 측정하였다. 임의의 디바이스를 설정하여 측정한 결과, Loss count 는 0 이었고 이를 바탕으로 계산하여 패킷의 송신율과 손실률을 계산하여 결과를 표시한다.

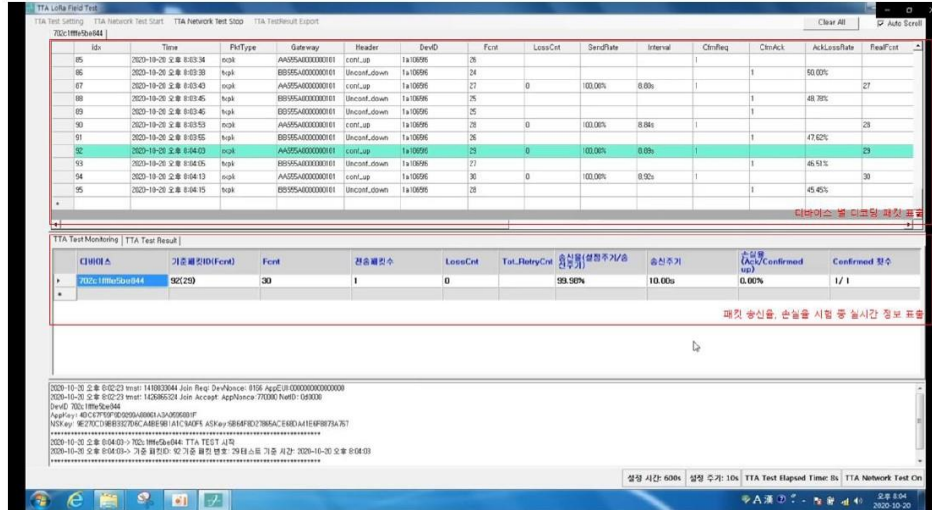


Figure 7. LoRa Reliability Tester Measurement Result
그림 7. LoRa 신뢰성 테스트 측정 결과

3.3 디바이스 전체 관리 및 디바이스 제어 기능 관리

LoRa 네트워크를 이용하여 서버 측에서 복합 센서 디바이스의 하위 모듈을 제어하는 명령어를 전송하여, 적용되도록 설계하였다. 하위 모듈은 기능 검증을 위해 디바이스의 LED 점멸 제어로 확인하도록 처리하고 특정 모듈의 동작을 활성화/비활성화 하도록 미리 명령어를 처리한다. 또한 데이터 연계 주기를 제어하는 명령어 및 디바이스 펌웨어 리셋 명령어를 서버 측에서 전송하도록 제어 기능을 제공한다.

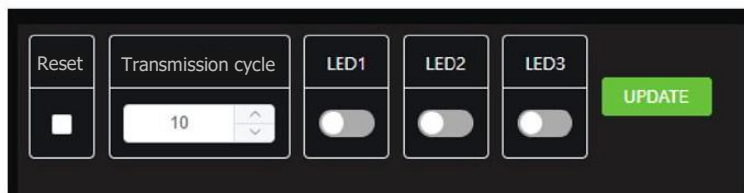


Figure 8. LoRa Reliability Tester Measurement Result
그림 8. LoRa 통신 센서 디바이스 제어 기능 관리

IV. 결론

환경센서의 신뢰성을 검증하고 수집한 데이터를 통해 환경 분석을 위해 주요한 10 종의 물질에 대해 측정하는 센서 보드와 각 센서의 성능 검증 체계를 설계하였다. 대기환경 예측에 필요한 센서들을 법령에 기준하여 선정하였고 해당 센서들의 데이터 신뢰성에 대한 검증 시스템을 설계하여 데이터 신뢰성을 확보하였다. 또한 ICT 기반 환경 모니터링 센서 플랫폼을 구축하기 위해 LoRa 기반 무선 통신을 설계하고 통신의 신뢰성 검증 시험 항목을 추가하여 센서

데이터 통신에 대한 신뢰성 또한 확보하였다. 이를 통해 데이터를 수집하고 machine learning 기법을 이용하여 특정 환경(흡연상황)에 대한 분석을 실시하여 신뢰성 있는 데이터를 주변 환경에 대한 분석이 가능함을 확인하였다.

본 연구를 통해 우리는 데이터의 신뢰성 평가 및 검증 플랫폼을 구축하여 센서 데이터의 검증을 위한 시스템을 제공하며 이를 통해 빅데이터 센서에 대한 신뢰성 검증 방식의 기반을 설계하였고 ICT 기반 센서 및 데이터에 대한 통합적인 품질 평가를 지원할 체계를 마련하는데 기여할 수 있을 것이라 기대한다.

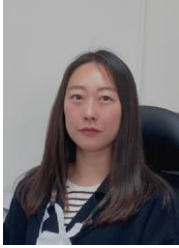
V. Acknowledgment

This research was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MIST) (NO.2019-0-00135, Implementation of verification platform for ICT based environmental monitoring sensor).

VI. Reference

- [1] <https://icis.me.go.kr/search/searchType2.do>
- [2] <https://easylaw.go.kr/CSP/CnpClsMainBtr.laf?popMenu=ov&csmSeq=544&ccfNo=1&cciNo=1&npClsNo=1>
- [3] ISO 15900 Determination of particle size distribution - Differential electrical mobility analysis for aerosol particles
- [4] H. Mroue, A. Nasser, B. Parrein, S. Hamrioui, E. Mona-Cruz, G. Rouyer, Analytical and Simulation study for LoRa Modulation, in: 2018 25th International Conference on Telecommunications (ICT), 2018, pp. 655–659
- [5] M. Anjum, M. A. Khan, S. A. Hassan, A. Mahmood, and M. Gidlund, "Analysis of RSSI fingerprinting in LoRa networks," in 2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), 2019: IEEE, pp. 1178-1183.
- [6] Cortes, C. Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.
- [7] Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., & PDP Research Group. (1988). *Parallel distributed processing* (Vol. 1, pp. 354-362). Massachusetts: IEEE.
- [8] Altman, N. S. (1992). An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression. *The American Statistician*, 46(3), 175-185.
- [9] Lloyd, S. (1982). Least squares quantization in PCM. *IEEE transactions on information theory*, 28(2), 129-137.

저자 소개



채민아(*Minah Chae*)

2011년 02월 경희대학교 대학원 전자공학과 석사
2014년 10월 동부하이텍 선임연구원
2020년 09월~현재 숭실대학교 AI 데이터사업단 선임연구원

관심분야 : 인공지능, 이미지처리



조재혁(*Jae Hyuk Cho*)

2011년 02월 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사
2019년 05월~현재 숭실대학교 전자정보공학부 교수
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning (KISTEP) national R&D program PM

관심분야: AI, Data process, Bigdata of sensors, IoT, Smart City, SW Platform System
