JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 26, No. 2: 223~229, Feb. 2022

전기화재 예측 및 예방을 위한 IoT 플랫폼 시스템

양승의[1] · 이성옥[1] · 정회경[1*]

IoT Platform System for Electric Fire Prediction and Prevention

Seungeui Yang[1] · Sungock Lee[1] · Hoekyung Jung[1*]

[1*]Professor, Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon, 35345 Korea

요 약

매년 날씨가 추워지는 동절기에는 전기 사용량이 급증하는 특징을 보인다. 많은 전기를 사용하면서 인구 밀도가 높은 시장, 목욕탕, 아파트 등의 건물들의 전기 시설의 누전으로 인해 화재 발생이 늘어나고 있다. 이러한 누전화재의 원인은 대부분 전선의 노후화로 인해 사용량이 증가되어 과도하게 걸리는 부하를 견디지 못하고 전선피복이 녹아내려 주변의 발화물질로 인하여 발생하게 된다. 본 논문에서는 과부하센서, VoC센서, 과열센서로 구성된 복합 센서를 통해 전선에 발생하는 부하 및 과열을 측정하며, 이 때 발생된 유독가스를 검출하고 게이트웨이를 활용하여 서버에 로깅하는 시스템을 구현한다. 이를 바탕으로 빅데이터 분석을 진행하여 실시간으로 전기화재를 예측, 경보 및 차단이 가능한 플랫폼과 모의 화재발생 실험이 가능한 시뮬레이터를 개발한다.

ABSTRACT

During the winter season, when the weather gets colder every year, electricity consumption increases rapidly. The occurrence of fires is increasing due to a short circuit in electrical facilities of buildings such as markets, bathrooms, and apartments with high population density while using a lot of electricity. The cause of these short circuit fires is mostly due to the aging of the wires, the usage increases, and the excessive load cannot be endured, and the wire sheath is melted and caused by nearby ignition materials. In this paper, the load and overheat generated in the electric wire are measured through a complex sensor composed of an overload sensor, a VoC sensor, and an overheat sensor. Based on this, big data analysis is carried out to develop a platform capable of predicting, alerting, and blocking electric fires in real time, and a simulator capable of simulated fire experiments.

키워드 : 사물인터넷, 스마트게이트웨이, 빅데이터 서버, 전기화재예측, 시뮬레이터

Keywords : IoT, Smart gateway, Bigdata server, Electric fires prediction, Simulator

Received 3 November 2021, **Revised** 11 November 2021, **Accepted** 26 November 2021

*** Corresponding Author** Hoe kyung Jung(E-mail:hkjung@pcu.ac.kr, Tel:+82-42-520-5640)
Professor, Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon, 35345 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.2.223 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

Ⅰ. 서 론

노후화된 시장 및 목욕탕 등 다중이용시설과 아파트, 빌라 등의 집합건물은 노후화된 전기시설로 인해 누전되어 화재가 발생할 위험이 높다. 특히 동절기에 전기 사용량이 급격히 늘어나면서 전선이 부하를 견디지 못하고 전선의 피복이 녹으면서 주변의 발화물질에 옮겨 붙게 되어 큰 화재가 발생할 위험이 있다. 실제 매년 동절기마다 누전으로 인한 화재 소식이 뉴스 및 신문에 빈번히 등장하고 있으며 이에 대한 대책이 연구되고 있는 상황이다[1,2]. 표 1은 2015년~2020년 사이의 국내 전기화재현황을 보여준다.

Table. 1 Annual Electric Fire Status[1]

	Total number of fires	Number of electrical fires	Share (%)	Casualty (death)	Casualty (injury)	Property damage (million won)
2015	44,435	7,760	18	36	264	72,253
2016	43,413	7,563	17	46	282	62,731
2017	44,178	8,0110	18	32	185	104,762
2018	42,337	9,240	22	85	440	112,995
2019	40,102	8,155	20	41	295	220,724
2020	38,659	8,170	21	38	341	119,714

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 전선에 가해지는 전류량을 측정하여 발생하는 열과 부하를 측정하고 과부하로 인해 유독 가스가 발생하는 것을 검출하여 전기 누전화재를 미리 예측하고 차단 가능한 플랫폼을 구축하고자 한다. 여기서 구현된 센서-게이트웨이-서버 플랫폼은 향후 센서를 다양화하고 빅데이터 분석 알고리즘을 다양화함에 따라 화재예방 뿐만 아니라 엘리베이터 및 철도 등 다양한 시설에 대해 재난 예방 분야에 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 추가적으로 노후 센서로 인한 오작동 및 유지보수 비용 문제를 해결할 수 있는 방안을 제시한다.

Ⅱ. 전체 시스템 구조

본 논문에서 구현한 전체 시스템 구성도는 그림 1과 같다. 그림 1에서 센서부분의 BLE(Bluetooth Low Energy), LoRa(Long Range)와 스마트 게이트웨이의 센서 펌업, 센서 교정과 서버의 센서 교정, 고장 및 펌업 판단 부분은 향후 확장성을 위한 모듈이다.

전체 시스템 설계를 위한 주요 기술은 다음과 같다.

(1) 복합센서-스마트게이트웨이-서버 플랫폼 구축 및 이기종 프로토콜 연동 기술 구현.

(2) 복합센서는 과열, 과부하, 유독가스 검출과 화재시뮬레이터 기능을 구현하여 테스트 플랫폼 및 딥러닝 학습을 위한 알고리즘 개발에 활용.

(3) 스마트 게이트웨이는 센서네트워크와 인터넷을 안전하게 연결하도록 OpenWRT기반 프로토콜 스택을 구현[3,4].

(4) 서버는 로깅된 센서의 데이터를 지속적으로 누적시키며 기록된 데이터를 기반으로 실시간 위험상태를 단계별로 분석하며, 위험상태의 단계에 따라 센서의 임계치 설정을 자동화함으로써 예측·경보·격리 조치하는 기술을 구현.

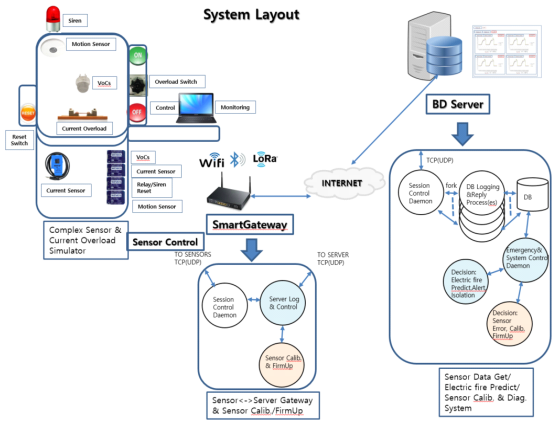


Fig. 1 System Configuration

향후 장시간 센서 시스템 운영시 발생하는 오차를 사용하여 수집된 데이터의 분석을 통해 센서 데이터를 보정하는 기술을 구현하고, IoT 센서 데이터의 상관계수 계산을 통해 예측, 경보, 격리 그리고 보정기술을 일반화하여 교량, 건축, 기상 등 다양한 재난상황에 적용 가능한 재난안전 플랫폼으로 응용이 가능하도록 한다.

Ⅲ. 전체시스템 구성요소 및 구현기술

3.1. 복합센서 플랫폼

화재예측을 위한 복합 센서는 전류량센서, 유독가스 감지를 위한 VOC(Volatile Organic Compounds)센서, 과열센서로 구성된다. 각각의 데이터는 게이트웨이를 거쳐 서버에 로깅된다. 화재 예측 및 차단은 기본적으로 서버에 의해 제어되도록 구현하였다. 단, 통신 문제 등 비상상황에 대한 대응으로 복합센서 내에 임계값에 따른 차단기능을 구현하여 비상 작동이 가능하도록 하였다. 그림 2는 복합센서 과부하 시뮬레이터 구성도이다.

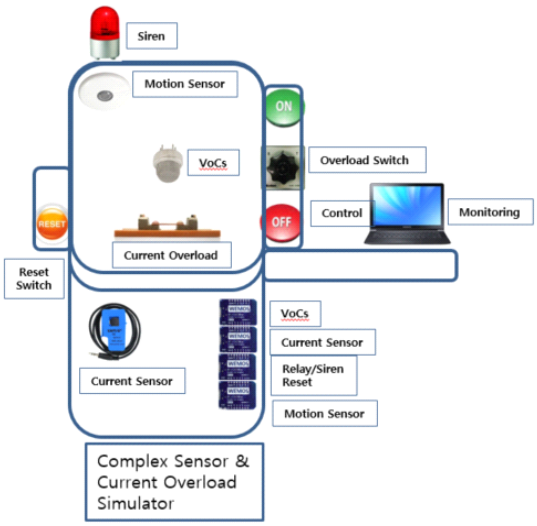


Fig. 2 Complex Sensor Overload Simulator Layout

본 논문에서는 센서 네트워크로 wifi를 기본으로 지원하며 향후 BLE(Bluetooth Low Energy), LoRa(Long Range) 적용이 가능하도록 모듈을 구성하였다. 또한 센서교정 및 펌업을 위해 OTA(Over the Air) 모듈을 구성하였다. 구현된 복합센서의 주요 처리 흐름도는 그림 3과 같다.

- VOC센싱 데이터는 400~600 레벨, 전류량 데이터는 60~5000 레벨 사이, 온도 등 기타 환경 데이터는 0~1024 레벨 사이에서 평시와 비상시 상태를 구분, 그리고 인체감지 센서는 0/1 값으로 인체감지 여부 구분
- 레벨변화에 따라 전송주기를 평시에는 20초~비상시는 4초 등 자동으로 조정

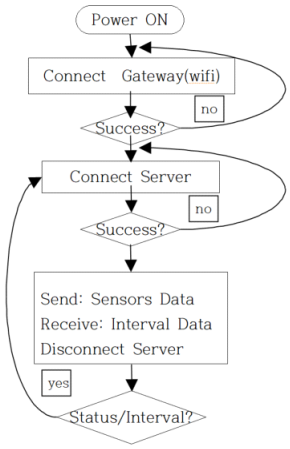


Fig. 3 Complex Sensor Processing Flowchart

그림 4는 실제로 제작된 복합센서 과부하 시뮬레이터의 모습이며, 그림 5는 시뮬레이터에서 실제 전선에 과부하를 걸어 전류량의 변화와 VOC가스발생의 상관관계 그리고 착화시점까지 변화과정을 오픈/밀폐된 공간에서 시험한 결과를 보여준다.

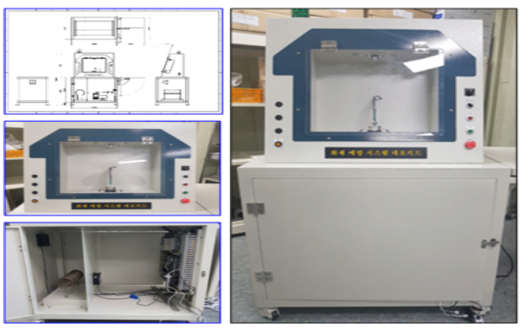


Fig. 4 Complex Sensor Overload Simulator

그림 5의 붉은색 그래프는 VOC 가스값, 파란색 그래프는 전선의 온도값이다. 검은색 화살표는 전류를 올린 시점의 전류값이다. 그래프에서는 과전류 시작시점, VOC가스로 인한 연기발생시점 그리고 착화시점을 보여주고 있다. 평시상황은 전압/온도/전류량이 각각 4.0V 이하/160도이하/100A이하 상태이고 경고상황은 4.0~4.5V/160~190도/100~110A 위험상황은 4.5~5.0V/190~275도/110~120A로 측정이 되었다. 이러한 측정을 유리문을 개방한 상황과 배전반의 상황과 비슷하게 폐쇄시킨 상황에서 시험을 하였다. 폐쇄환경에서의 VoC 가스

측정값이 전류량 및 온도센서와 비슷한 비율로 측정되는 것을 확인할 수 있다.

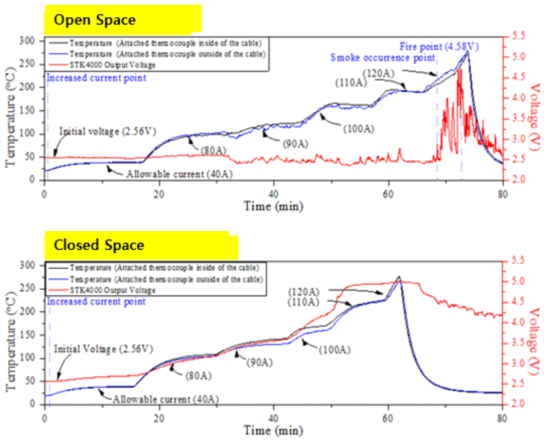


Fig. 5 Overload-Temperature-VoCs Correlations

따라서 전류량, 전선온도 그리고 VOC센서를 측정하여 과부하 및 발화시점을 예측할 수 있다. 물론 센서에서 이러한 기능을 할 경우 기존의 센서제어가 되고 이를 서버에 로깅해서 인공지능 기술을 적용하여 발화예측과 임계치 교정, 오작동 판단 등이 가능하게 할 수 있다.

3.2. 스마트게이트웨이 플랫폼

그림 6의 스마트게이트웨이 플랫폼은 다수의 복합센서들 간의 네트워크 연동을 지원하고 이를 빅데이터 서버에 연동 가능하도록 네트워크 통신을 지원한다.

센서네트워크+인터넷을 지원하는 스마트게이트웨이는 네트워크/보안/라우터 분야에서 널리 사용되는 임베디드 리눅스 플랫폼 OpenWRT기반에 타겟 H/W와 S/W 플랫폼을 구현하였다. 보안 문제를 고려하여 VPN 터널링과 트래픽쉐이핑을 구현했으며, 향후 OTA 센서 보정과 펌업이 가능하도록 모듈을 구성하였다.

스마트게이트웨이는 센서와 서버를 안전하게 연결해주고 센서 칼리브레이션과 OTA를 지원하는 중요한 장비이다. 보안을 위해 인터넷 연결구간은 VPN 터널링을 지원하고, 해킹공격에 대응하여 IPS인 snort를 구현하고 이와 연계해 동작하도록 실시간 snort 로그분석 및 DROP 패킷 차단프로그램을 구현하였다[5-10]. 스마트게이트웨이 스펙은 표 2와 같다.

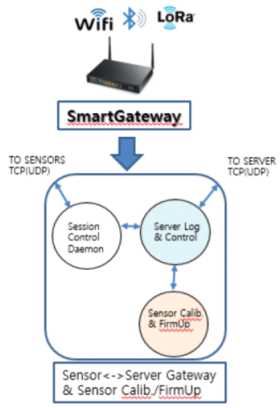
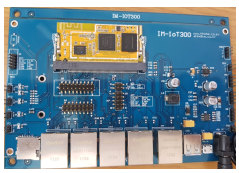


Fig. 6 Smart Gateway Platform

Table. 2 Hardware/Software Specification

	- CPU: MT7628AN - Flash : 16MB - RAM : 128MB - LAN/WAN : 100M - WIFI: 802.11N 2.4G - USB,GPIO - OpenWRT 15.05 Chaos Calmer, Multi Queuing, OpenVPN, snort, iproute, my_ips

3.3. 빅데이터 서버

빅데이터 서버는 리눅스 기반 데이터 로깅을 위해 mysql 데이터베이스와 다수의 복합센서 접속을 위해 xinetd기술을 적용하여 서버 데몬을 구현하였다. 실시간 모니터링을 위한 웹기반 차트기능과 관리자 실시간 알림기능을 구현하였다. 그림 7은 빅데이터 서버 구성을 보이며 센서 데이터 로깅, 모니터링, 제어 기능을 구현하였고, 위험상태를 예측하고 경보하고 격리여부를 판단하는 시스템을 구현하였다.

3.3.1. Session Control Daemon

주요기능은 다음과 같다.

- 센서들에서 TCP(or UDP)로 연결요청을 받으면 DB Logging & Reply Process를 fork해준다.
- 시스템에서 지원하는 접속성능을 최대한 활용하기 위해 세션처리 전용 데몬으로 구현하였다.

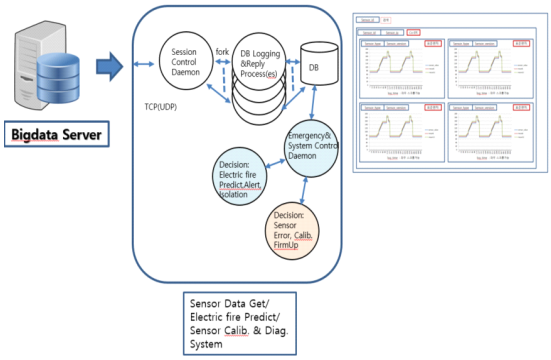


Fig. 7 Bigdata Server Platform

3.3.2. DB Logging & Reply Process

주요기능은 다음과 같다.

- 각 센서에서 전송된 데이터를 DB에 logging하고 해당 센서에 적절한 reply를 전송한다.
- 가능한 간결한 동작을 구현하여 시스템 리소스를 최소로 사용(최대접속지원 구현).
- 시스템에서 지원할 수 있는 접속 성능을 최대한 활용하기 위하여 logging 및 reply 완료 후에는 즉시 종료한다.

3.3.3. Emergency & System Control Daemon

주요기능은 다음과 같다.

- 각 센서군의 조합 데이터를 분석한다.
- 분석된 데이터를 기반으로 각 센서에게 응답주기, 평시모드, 주의모드, 경고모드, 비상모드를 판단하여 iot_reply 필드값을 변경한다.
- 각 센서군은 수신된 명령에 따라 동작한다.
- 비상모드에 돌입하면 릴레이/경광등/초기화 센서는 경광등 동작, 전원 OFF 등 미리 정의된 동작을 실행함. 기타 센서들도 미리 정의된 동작을 실행한다.
- 비상모드에 돌입 이후 원상복구를 위해서는 현장에서 조치후 RESET 버튼으로 초기화 한다.
- 센서에서 RESET 명령이 도달하면 해당 센서조합 항목들에 대하여 초기화 설정한다.

본 논문에서 센서-게이트웨이-서버에 이르는 플랫폼을 구현하면서 중요요소로 고려한 것은 통신방법, 데이터구조, 보안이다.

(1) 통신방법 : 시스템 프로그램 내에서 가장 중요한 부분은 바로 통신부분이다. 특히 센서-게이트웨이-서버 3종이 모두 제각각 다른 기종이기 때문에 더욱 그렇다. 저전력 센서장치의 부하를 최소화하기 위해 가능한 프로토콜을 단순화 했고, 서버 입장에서도 수많은 센서 데이터를 예상하여 빠른 처리와 시스템에서 지원하는 최대 동시접속을 지원하도록 설계했다. 양방향 통신이 보통의 방법이지만 센서 빅데이터 특성상 센서에서 서버로의 단방향통신으로 구현을 하고 해당 센서에 명령이 필요한 경우를 위해 이때 명령을 보낼 수 있도록 하였다.

(2) 데이터구조 : 최대 동시접속지원 및 서버 안정성을 위해 mysql과 c로 구현한 서버 데몬을 통해 구현하였다. 데이터 구조는 nosql 수준으로 단순히 구성했다. 센서데이터 로깅을 위한 iot_log와 센서데이터 제어를 위한 iot_reply 테이블 두 개로 센서데이터 로깅 분석 그리고 정상, 경고, 셧다운 등 다양한 명령이 가능하도록 했다.

- iot_log

```
CREATE TABLE iot_log (
  log_time int(13) NOT NULL default 0,
  sensor_ip varchar(15) default '255.255.255.255',
  sensor_id varchar(10) default '0123456789'
  sensor_type varchar(5) default '01234', //00001:voc,
00002:current, 00003:relay, 00004:pir
  sensor_version char(5) default '00.01',
  sensor_status varchar(5) default '01234',
  sensor_value char(5) default '00000',
  sensor_interval char(5) default '00000', //4,5,10,20,…
  packet_no varchar(10) default '0123456789',
  reserved1 varchar(5) default '01234',
  reserved2 varchar(5) default '01234',
  reserved3 varchar(5) default '01234',
  KEY log_time (log_time),
  KEY sensor_ip (sensor_ip),
  KEY sensor_id (sensor_id)
) ENGINE=MyISAM;
```

- iot_reply

```
CREATE TABLE iot_reply (
  reply_time int(13) NOT NULL default 0,
  sensor_id varchar(10) default '0123456789', //상가당 하나
  sensor_type varchar(5) default '01234', //00001:voc,
00002:current, 00003:relay, 00004:pir
  sensor_version char(5) default '00.01',
  sensor_status varchar(5) default '01234',
```

```
  sensor_value char(5) default '00000',
  sensor_interval char(5) default '00000', //4,5,10,20,…
  sensor_command char(5) default '00000', //00000:normal,
… 99999:poweroff, 경광등, ALERT
  reserved1 varchar(5) default '01234',
  reserved2 varchar(5) default '01234',
  reserved3 varchar(5) default '01234',
  KEY sensor_id (sensor_id),
  KEY sensor_type (sensor_type)
) ENGINE=MyISAM;
```

(3) 보안 : 네트워크를 지원하는 플랫폼을 구현할 때 가장 중요한 부분 중 하나는 보안이다. 특히 이기종간 통신을 할 경우에는 더욱 그러하다. 기본적으로 패킷암호화를 적용 하며 다음을 더 고려해야 한다.

- 센서 : 센서장치는 그 특성상 저전력에 성능이 부족하기 때문에 보안모듈을 가볍게 구성해야 한다. 간단한 aes 암호화를 구현하고 통신방법을 단방향 구현으로 제어가 가능하도록 하여 원천적으로 외부에서 들어올 수 없도록 하였다.
- 게이트웨이 : 보안에는 가장 핵심적인 역할을 하는 장비다. 센서와 서버를 안전하게 통신할 수 있도록 암호화는 물론 방화벽, IPS 그리고 VPN 터널링까지 지원한다.
- 서버 : 서버는 해킹의 주요 대상이라 할 수 있다. 서버에는 암호화와 방화벽이 모두 구현되었으며. libpcap 라이브러리를 이용해 일정시간 차단기능도 구현을 하였다. 여기에 xinetd 데몬으로 시스템 안정성을 확보하였다. 또한 서버의 경우 IoT 빅데이터를 처리해야 하기 때문에 동시접속 문제를 해결해야 한다. 이에 시스템 튜닝과 함께 제공되는 최대 접속수를 지원할 수 있도록 구현하였다.

Ⅳ. 결론 및 향후 연구 방향

그림 8은 본 논문에서 개발한 복합센서 과부하 시뮬레이터와 실시간 서버모니터링 모습을 보여주고 있다.

본 논문에서 제안한 센서-게이트웨이-서버 플랫폼은 화재를 예측하고 예방까지 가능하도록 구현하였다. 여기에 시뮬레이터를 통해 가상의 화재를 발생시켜 빅데이터 분석 서버 알고리즘 테스트를 위해 유용하게 활용될 수 있다. 센서에서 게이트웨이를 통해 서버와 연결되는 이기종간 통신 프로토콜을 구현함으로써 향후 사물인터넷 응용 개발에 프로토타입으로도 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 특히 스마트게이트웨이는 센서와 인터넷을 연동하여 센서부분을 간편하게 구현할 수 있고 VPN을 활용하여 IoT의 보안 문제를 해결할 수 있다. 이러한 OpenWRT기반의 스마트게이트웨이는 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼을 자체 개발하여 향후 응용 프로그램 개발에도 유용하게 사용될 것이다. 그리고 서버는 향후 빅데이터 분석을 위한 다양한 AI 기술과 연동될 수 있도록 데이터 로깅을 위한 표준 방법을 적용하였으며 다수의 센서 데이터를 처리할 수 있도록 서버데몬 기술을 구축하였다.

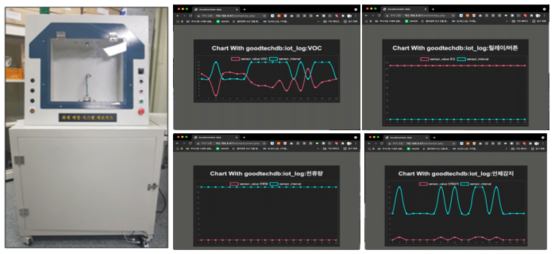


Fig. 8 Overload Simulator & Server Monitoring

향후 연구로는 센서단에서의 LoRa,BLE 센서네트워크 확대 및 게이트웨이/서버로 연결되는 OTA 펌업기술 및 센서 교정 기술이 빅데이터 AI 알고리즘과 연동된다면 본 연구의 활용성은 더욱 커질 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] 2020 Domestic Electric Disaster Statistics No.30 [Internet]. Available: https://www.kes.go.kr/web/lay1/bbs/S1T110C291/F/101/view.do?article_seq=463&cpage=1&rows=6&condition=&keyword=.

[2] S. B. Lee, “A study on the cause of electric leakage and the correlation between electric fire,” Gachon Univ. Master’s thesis, 2015.

[3] S. E. Yang, I. S. Kang, B. O. Go, and H. K. Jung, “A Realtime Traffic Shaping Method for VPN Tunneling on Smart Gateway Supporting IoT,” *The Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 6, pp. 1121-1126. Jun. 2017.

[4] OpenWrt Chaos Calmer 15.05. [Internet]. Available: http://www.openwrt.org.

[5] S. E. Yang, C. S. Kim, and H. K. Jung, “A study on multi-queuing traffic shaping for VPN tunneling QoS,” *Far East Journal of Electronics and Communications*, vol. 16, no. 4, pp. 823-830, Apr. 2016.
[6] OpenWrt Development Guide [Internet]. Available: https://openwrt.org/docs/guide-developer/start.
[7] Open VPN [Internet]. Available: http://openvpn.net/.
[8] The Linux Foundation. Introduction to iproute2 [Internet]. Available: https://www.linuxfoundation.org/tools/creating-an-open-source-program/.
[9] S. E. Yang and H. K. Jung, “A Convergence Implementation of Realtime Traffic Shaping and IPS on Small Integrated Security Router for IDC,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 86-868, Jan. 2019.
[10] The Snort Project. SNORT Users Manual [Internet]. Available: https://www.snort.org.

양승의(Seungeui Yang)

1989년 홍익대학교 전자계산학과(이학사)
1991년 홍익대학교 전자계산학과(이학석사)
2016년 배재대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
1991년 ~ 1996년 국방과학연구소 연구원
1996년 ~ 2003년 (주)인터미디어 대표
2007년 ~ 2009년 (주)코아트리 이사
2010년 ~ 2014년 CEWIT Korea 연구위원
2013년 ~ 2016년 유넷(주) 이사
2016년 ~ 2019년 인터미디어 이사
2020년 ~ 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야 : OpenWRT, Embedded Linux, VPN, UPnP, DLNA, OLSR, USN, IPROUTE, IoT, snort

이성옥(Sungock Lee)

2015년 배재대학교 컴퓨터공학 박사
2020년 한국기술교육대학교 HRD 박사
2015년 ~ 2020년 8월 ㈜글로벌인재개발 이사
2020년 9월 ~ 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야 : 직업훈련, AI, 빅데이터, VR, IoT, Big Data

정회경(Hoekyung Jung)

1985년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1987년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
1993년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
1994년 ~ 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야 : Machine learning, Big data, Embedded system, U-Healthcare, IoT