

외곽 침입 감지를 위한 스마트 디바이스의 개발

류대현* · 최태완**

Development of Smart Device Module for Perimeter Intrusion Detection

Dae-Hyun Ryu* · Tae-Wan Choi**

요 약

외곽 침입감지 시스템은 물리 보안에 있어서 중요한 비중을 차지하고 있다. 본 연구에서는 외곽 침입감지를 위해 IoT 환경에서 적용할 수 있는 MEMS 센서를 활용한 초소형 스마트 디바이스를 개발하고 그 성능을 평가하였다. 본 연구에서 개발한 스마트 디바이스를 적용한 외곽 침입감지 시스템은 다양한 재질, 형태의 철조망이 도심, 바닷가, 산속 등 다양한 설치환경에 설치되어 외부의 침입과 그 위치를 감지할 수 있을 뿐 아니라, 오경보율과 구축비용 등을 최소화할 수 있는 스마트 센서로 국가 및 민간 주요 시설의 외곽 침입 감지 위해 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

ABSTRACT

The perimeter intrusion detection system is very important in physical security. In this study, a micro smart device (module) using MEMS sensor was developed in IoT environment for external intrusion detection. The outer intrusion detection system applying the smart device developed in this study is installed in various installation environments, such as barbed wire of various materials and shapes, the city center, the beach, and the mountain, so that it can detect external intrusion and its location as well as false alarms. As a smart sensor that can minimize the false alarm rate and economical construction cost, it is expected that it can be used for the safe operation of major facilities and prevention of disasters and crimes.

키워드

Perimeter Intrusion Detection, Smart Device, Physical Security, Fence
외곽 침입 감지, 스마트 디바이스, 물리 보안, 펜스

1. 서 론

물리 보안은 어떤 위협으로부터 개인의 신변 안전 및 주요 시설 등 자산을 보호하기 위해 물리적 취약성을 통제하는 활동이다[1]. 물리 보안 기술에는 보통 개인식별, 영상감시 그리고 범죄 및 재난 등의 방지를

위한 기술도 포함된다. 최근, 안전에 대한 위협 요인이 증가하고, 시민들의 보안의식도 높아지고, 보안관련 기술이 첨단화 되면서 이에 대한 기술 수요는 증가하고 있다. 분단 국가인 우리나라의 경우 휴전선 철책을 포함한 군 주요시설 및 주요 산업 시설에 대한 수요도 증가하고 있다.

* 한세대학교 IT학부(dhryu@hansei.ac.kr)

** 교신저자: 경성국립대학교 메카트로닉스·전기공학부

• 접수일: 2021. 02. 10

• 수정완료일: 2021. 03. 15

• 게재확정일: 2021. 04. 17

• Received : Feb. 10, 2021, Revised : Mar. 15, 2021, Accepted : Apr. 17, 2021

• Corresponding Author : Tae-Wan Choi

Sch. of Mechatronics & Electrical Eng., Gyeongsang Nat'l University

Email : twchoi@gnu.ac.kr

외곽 침입감지 시스템(PIDS: Perimeter Intrusion Detection System)은 보안 구역에 대해 외곽 펜스 지역에서 침입 인지, 경고, 출동, 진압을 위한 물리 보안을 위한 핵심 기술이다[1]. 외곽 침입감지 시스템에는 센싱 및 통신과 같은 ICT 기술이 필수적으로 요구된다. 보통 센싱 및 통신 기능을 갖는 디바이스를 펜스에 직접 부착하거나 별도의 구조물을 사용하여 구축하며 침입자가 펜스 또는 센서를 충격, 굴곡, 절단할 때 이를 감지한다[1].

본 연구에서는 외곽 침입감지를 위해 IoT 환경에서 적용할 수 있는 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 센서를 활용한 스마트 디바이스를 개발하고자 한다. 소형 MEMS 가속도 센서와 WiFi 기능이 탑재된 초소형 고성능 SoC(System on Chip)를 적용하였다. 다양한 재질, 형태의 철조망이 도심, 마당가, 산속 등 다양한 설치환경에 설치되어 외부의 침입과 그 위치를 감지할 수 있을 뿐 아니라 감지성능, 오경보율(False Alarm Rate)의 최소화 및 구축비용 등을 최소화할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 관련 기술 및 동향을 간단히 설명한다. 3장에서는 전체 시스템 개념과 구체적인 구현 내용을 기술하였다. 4장에서는 3장에서 시험 환경을 구축하여 시험한 내용을 기술하고, 5장에서는 결론과 향후 연구 방향을 제시하였다.

II. 관련 연구

2.1 외곽 침입감지 시스템

외곽 침입감지 시스템은 크게 독립형, 펜스형 그리고 매립형의 3가지 종류로 나눌 수 있다[1]. 독립형은 감지기 자체로 눈에 보이지 않는 경계면을 설정할 수 있으며, 이 구역을 침입자가 침입하는 경우 감지할 수 있는 시스템이다[1]. 여기에는 마이크로웨이브(MR), PIR(Passive InfraRed), 정전식, AIR(Active InfraRed) 감지기 등이 이에 해당한다[1]. 펜스형은 2차원적인 물리적인 펜스를 제작하여 침입자가 펜스를 타고 올라가면서 발생하는 장력이나 진동으로 침입을 감지하는 시스템으로 마이크로폰, 광섬유, 장력, 진동, 지진파 센서 등이 이에 해당한다[1]. 그리고 매립형은 땅속에 센서를 매립하여 설치하고, 이곳을 밟고 지나

가는 경우 알람(경보)을 발생하는 감지 시스템이다. 이들은 독자적으로 적용될 수도 있으나 보통 융합되어 사용된다.

외부 침입 감지센서는 크게 펜스를 따라서 부착하거나 지중에 설치하는 방식과 개활지를 감지하기 위한 방식으로 나뉜다[1]. 유무선 통신, 센서 기술을 외곽 침입감지 센서에 적용하고 있고, 센서의 단독 또는 복합적인 방법들이 적용되고 있으며, 감시카메라 및 통합운용 관제 시스템과 함께 적용해 운용하고 있다[1]. 마이크로웨이브 방식 및 적외선 방식 등은 펜스가 필요하지 않은 경우에 사용할 수 있는 장점이 있으나, 환경적 변화에 영향을 받고 오동작·경보가 많아서 외곽침입 감지 적용에는 어려움이 있다[1].

본 연구에서 개발하는 외곽 침입감지를 위한 스마트 디바이스는 침입을 감지하고자 하는 펜스 영역에 설치하며, 침입자가 펜스를 흔들거나 펜스를 타고 올라가거나, 펜스를 절단하거나 할 때 발생하는 진동을 감지하는 센서이다[3]. 마이크로폰 센서는 펜스가 진동하는 음파의 패턴으로부터 침입을 감지하는 방식이다[3]. 광섬유 센서는 펜스에 부착하여, 침입자가 펜스를 올라타게 되면 이로 인해 발생하는 미세한 진동 패턴을 감지하여 침입으로 인식하는 센서이다[2]. 지진파 센서는 주로 펜스 진입부의 땅 아래에 매설하여 설치하며, 펜스 앞을 지날 때 발생하는 발자국의 진동 패턴으로부터 침입을 감지하는 센서이며, 자력식 센서는 지진파 감지 센서와 동일하게 땅 아래에 매설하여 설치하며, 침입자에 의해 발생하는 미세한 자기장의 변화로부터 침입을 감지하는 센서이다. 매립형 센서의 가장 큰 장점은 침입자가 센서의 설치 여부를 확인할 수가 없어 무력화 시도를 할 수 없다는 점이다.

최근 많이 이용되는 CCTV도 지능형 영상센서라 볼 수 있다. 영상센서는 배경과 침입자의 영상변화를 보고 침입 여부를 판단하는 원리이기 때문에, 빛과 그림자에 의한 오보 또한 매우 빈번히 발생한다[1]. 따라서 이러한 오보를 줄이기 위해 외부 침입감지를 위한 영상센서는 제한적으로 사용되고 있다. 그리고 야간에는 별도 조명 또는 적외선 조명을 사용하며, 적외선 조명 사용 시 약 100m까지 감시할 수 있다[1]. 그러나 이러한 단점에도 불구하고 최근에 CCTV의 사용 확대 및 영상기술의 발전에 따라 그 사용이 크게 증가하고 있다. 야간에 CCTV의 감지 거리가 짧은 단

점을 극복하기 위해 군에서 개발된 열화상센서가 사용되고 있다. 열화상센서는 물체에서 나오는 열선(8 μm ~14 μm)을 감지하는 센서로 야간에도 1km까지 감시가 가능한 장점이 있다[1]. 최근 이러한 장점으로 비록 고가이지만 영상 알고리즘의 기술과 광학계의 기술 발전으로 주요 시설물의 외곽 감시용으로 사용이 확대되고 있다[1].

광케이블 센서는 일반 철조망에 광케이블을 일정 길이로 설치하여 사용한다[2]. 침입자가 철조망을 타고 올라갈 때 생기는 진동에 의해 광섬유 내의 광원이 굴절되거나 산란 되는 것을 감지하거나 광케이블이 절단되는 것을 감지하는 원리이다[2]. 특히 광섬유 방식센서의 강점은 낙뢰에 의한 오보가 전혀 없다는 장점이 있는 반면에 바람과 온도변화에 의한 오보가 빈번하게 발생하는 문제가 있다[2]. 바람에 의한 오보를 줄이기 위해 진동성분을 주파수별로 분리하여 저주파 대의 진동은 무시하고 고주파대의 진동은 침입으로 간주하는 다양한 기술이 개발되어 있으나, 설치된 환경마다 일정 기간 동안 안정화 작업을 해야 하는 단점이 있다[2].

광망센서는 기본적으로 광케이블 센서와 유사하게 작동하며, 케이블에 흐르는 일정한 전자파가 침입자에 의해 절단되거나 외력에 의해 전자파의 흐름이 방해되는 것을 감지하여 경보 신호를 발생시킨다[2]. 이 시스템은 외곽 감시용의 센서 중에서 가장 오보가 적다는 장점은 있으나, 광케이블로 철망과 유사한 형태로 망을 제작해야 하며, 가격이 매우 고가라는 단점이 있어, 광케이블 센서와 마찬가지로 매우 특수한 분야에 한정하여 사용한다[2].

2.2 스마트 디바이스

IoT가 제대로 가치를 만들기 위해서는 통신이 가능한 사물, 사물 간의 통신을 연결해주는 통신 네트워크, 사물 간의 통신으로 수집된 정보로 판단 및 제어를 해주는 서비스의 3가지 요소가 효과적으로 결합되어야 한다[3].

이 중에서 사물에 해당하는 디바이스는 주변의 데이터를 수집할 수 있는 능력과 통신 기능을 갖고 있어야 하는데, 최근에는 라즈베리 파이나 아두이노와 같은 오픈소스 하드웨어가 소개되면서 다양한 분야의 사람들이 손쉽게 자신의 스마트 디바이스를 구현할

수 있게 되었다[4, 5].

본 논문에서는 최근 IoT 등 다양한 분야에서 활용도가 높은 ESP32를 사용하여 스마트 디바이스를 개발하였다. Espressif Systems에서 개발한 ESP32는 Wi-Fi와 Bluetooth를 지원하는 저비용 저전력 SoC이다. 이 SoC는 낮은 에너지 소비, 다양한 오픈 소스 개발 환경, 라이브러리로 인해 다양한 IoT 환경에 널리 사용되고 있다. ESP32는 두 개의 프로세서 코어가 있으며, 80MHz ~ 240MHz 사이에서 작동 주파수를 독립적으로 제어할 수 있다. SPI, I2C, UART, I2S, 이더넷, SD 카드, 정전식 터치와 같은 다양한 외부 인터페이스를 지원한다.

ESP32가 널리 사용되면서 장치를 개발하고 프로그래밍하기 위해 선택 가능한 다양한 개발 환경이 있는데 Espressif (IDF: IoT Development Framework), Arduino IDE, MicroPython이 가장 널리 사용된다. Espressif IDF는 숙련된 내장형 소프트웨어 개발자를 위한 개발 도구 체인이다[6]. 이 도구 체인에는 응용 제품, 컴파일러, 라이브러리 등을 개발하는 데 유용한 다양한 기능이 포함되어 있다. IDF에서는 Wi-Fi용 TCP/IP 스택 및 TLS 1.2와 함께 FreeRTOS를 기본 실시간 운영 체제(RTOS)로 사용한다. 최소한의 프로그래밍 경험만 있는 개발자의 경우 널리 사용되는 Arduino IDE를 사용하여 응용 제품을 개발한 후 ESP32에 배포할 수도 있다[7]. Arduino IDE는 전문가용 개발 환경보다 약간 더 느리고 투박하지만, 많은 예제를 제공하고 ESP32를 지원하여 초보자가 훨씬 쉽게 개발할 수 있도록 해준다. 마지막으로, Python에서 응용 제품을 개발하려는 개발자를 위해 ESP32는 오픈소스 MicroPython 커널에서 지원된다. 개발자는 MicroPython을 ESP32로 로드한 다음 응용 제품을 위한 Python 스크립트를 개발할 수 있다[8].

III. 시스템 구성 및 구현

본 연구에서 개발한 스마트 디바이스를 펜스형 외곽 침입 감지 전체 시스템에 적용하는 경우 전체 개념도는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 펜스형 외곽 침입 감지 전체 시스템을 위한 소형 MEMS 가속도 센서와 WiFi 기능이 탑재된 초소형

고성능 SoC를 이용하여 다양한 설치환경에 설치되어 외부의 침입과 그 위치를 감지할 수 있을 뿐 아니라 감지성능, 오경보율(False Alarm Rate)의 최소화 및 경제적 구축비용 등을 최소화할 수 있는 스마트 디바이스를 개발한다.

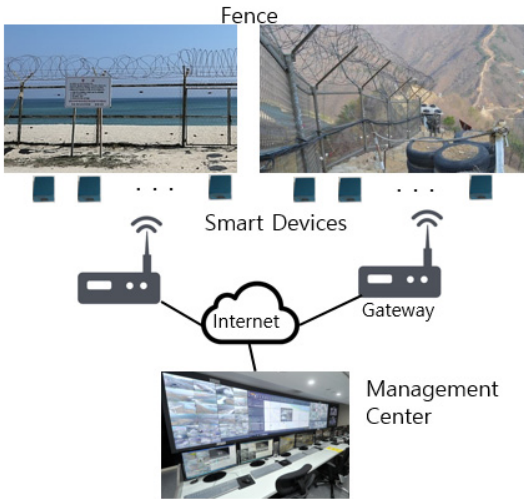
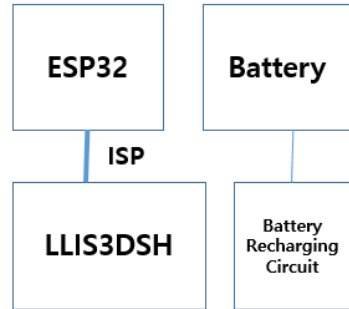


그림 1. 전체 시스템 개념도
Fig. 1 Total system concept

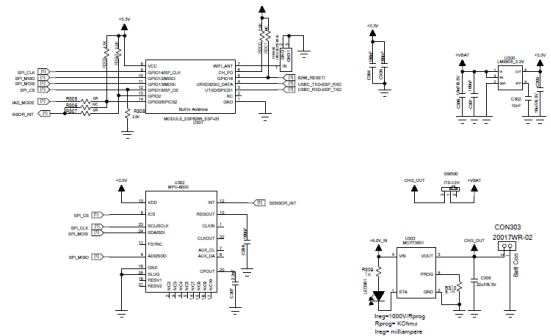
디바이스의 전체 블록도 및 회로도도는 그림 2에 나타내었다. 마이크로컨트롤러와 WiFi 통신을 담당하는 SoC,는 Espressif사의 ESP32를 사용하였고 MEMS 가속도 센서는 STMicroelectronics의 LIS3DSH를 사용하였다. ESP32는 Wi-Fi와 Bluetooth를 지원하는 저비용 저전력 SoC이다. 이것은 두 개의 프로세서 코어가 있으며, 80MHz ~ 240MHz 사이에서 작동 주파수를 독립적으로 제어할 수 있다. 또한 SPI, I2C, UART, I2S, 이더넷, SD 카드, 정전식 터치와 같은 다양한 외부 인터페이스를 지원한다. ESP32는 802.11 b/g/n을 지원하고 on-board ceramic antenna를 포함하고 있으며 Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP를 지원하므로 본 연구에 적용하기에 적합하다고 판단된다.

LIS3DSH는 초저전력, 고성능 3축 선형 가속도계가 내장된 MEMS 센서로 16비트 데이터 출력의 ± 2 , ± 4 , ± 8 , $\pm 16g$ 까지 가속도 측정이 가능하다. 출력 데이터 속도는 3.125Hz ~ 1.6kHz이며 I2C, SPI의 디지털 출력 인터페이스를 지원한다. LIS3DSH에는 FIFO 버퍼가 있어 호스트 프로세서가 개입하지 않고도 데이터

를 저장할 수 있다. 무엇보다도 16 비트의 해상도를 지원하므로 보통 12 비트 해상도를 갖는 가속도 센서보다 16배의 감도가 뛰어나므로 철조망에 접근하는 발자국 진동과 같은 미세 진동도 감지할 수 있다. 본 연구에서는 USB 케이블로 전원을 공급하였으나 최종 단계에서는 리튬이온이나 리튬 폴리머 배터리로 동작하도록 배터리 충전 회로도 내장하였다.



(a) Entire block diagram



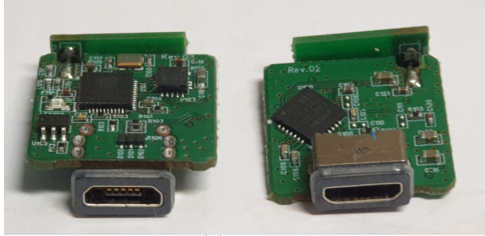
(b) Circuit

그림 2. 전체 블록도 및 회로도
Fig. 2 Entire block diagram and circuit

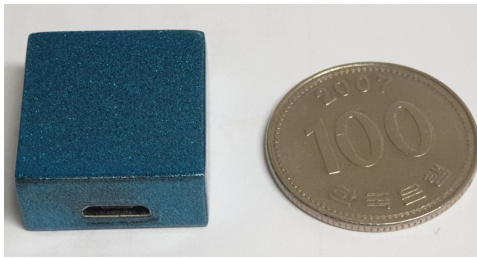
그림 3은 실제 제작된 보드의 사진을 나타낸다. 전체 크기는 배터리를 포함하여 1 큐빅인치($inch^3$) 이하로 하는 것을 목표로 하였다. 현재 실험 단계에서는 배터리는 적용하지 않았으며 향후 배터리를 적용하더라도 1 큐빅인치 이하로 제작 가능하다.

3축(X, Y, Z) 가속도 값은 WiFi로 전송되어 PC에서 그림 4와 같이 표시되도록 하였다. 화면의 상단을 차지하고 있는 이 영역은 진동하고 있는 물체의 시간에 대한 가속도 그래프이다. 세 축은 각기 다른 색으

로 구분하여 X축, Y축, Z축으로 진동하는 것을 표시할 수 있다. 가로축은 시간을 나타내며 단위는 [sec], 세로축은 가속도이며 단위는 $[m/s^2]$ 이다.



(a) Board



(b) Case

그림 3. 보드 및 케이스
Fig. 3 Board and Case

본 논문에서는 하드웨어 개발과 WiFi로 센싱 데이터 전송시의 전송 성능 평가에 대한 내용을 기술한다. 향후 펜스에 의해 생성된 진동의 진폭과 주파수를 계산하여 펜스에 닿는 물체를 확인하는 진동 센서 신호의 주파수 분석, FFT에 의한 주파수 스펙트럼 분석을 통해 부분 충격과 진동을 구분하는 오경보 필터링을 구현할 계획이다. 또한 다양한 형태의 진동(동물, 바람, 사람 등)에 대한 주파수 특성의 데이터베이스 생성 등에 대한 연구[9]가 필요하다.

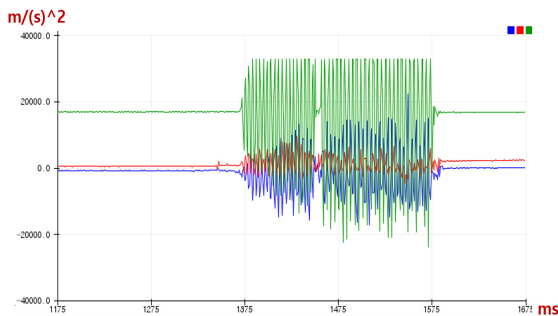


그림 4. 3축 가속도 그래프
Fig. 4 3 axis acceleration graph

IV. 시험 및 평가

본 연구에서 스마트 디바이스는 WiFi로 데이터를 전송하게 되는데 이때의 전송 성능을 평가하기 위해 그림 5와 같이 시험 환경을 구축하였다. “ESP32도 ESP8266과 마찬가지로 기본적으로 AP(Access Point) 기능도 지원하는데 AP 마운트 내에서만 로컬 통신이 가능한 소프트AP(softAP)로도 통신이 가능하다. 통신을 위한 라이브러리는 아두이노 IDE에서 WiFi 표준 라이브러리를 사용하였으며 WiFiServer 객체로 서버를 구현하고 WiFiClient 객체로 클라이언트를 구현하였다.”

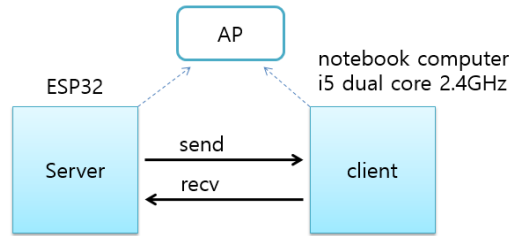


그림 5. 시험 환경
Fig. 5 Test environment

전송 속도는 본 논문과 같은 응용 분야에서는 중요한 성능지표 중의 하나라고 할 수 있다. 본 논문에서는 100KByte의 데이터를 송수신하면서 평균 전송시간을 측정하여 그 결과를 ESP8226의 경우[10, 11]와 함께 그림 6에 나타내었다. 가로축은 횟수를, 세로축은 전송 소요시간(ms)을 나타낸다. 송수신 모두 ESP32가 ESP8266에 비해 2배 이상 빠름을 확인할 수 있다. 그 이유는 CPU 처리 속도, 송수신 버퍼 크기 등의 여러 가지가 있을 수 있다고 추정된다.

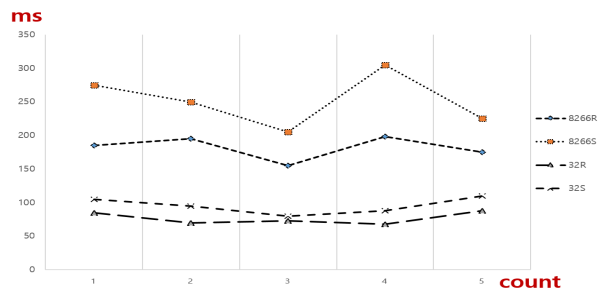


그림 6. 송수신 속도(100KByte)
Fig. 6 Data Transmission Rate(100KByte)

V. 결 론

물리 보안 시스템은 보통 건물이나 외곽에 CCTV 등을 설치하여 감시하는 수준이나 국가 주요 시설, 주요 산업 시설의 물리 보안을 위해서는 외곽에서부터 침입을 감지하여 초기에 진압이 가능한 외곽 침입감지 시스템이 필요하다.

본 연구에서는 외곽 침입감지를 위해 소형 MEMS 가속도 센서와 WiFi 기능이 탑재된 초소형 고성능 SoC를 이용하여 스마트 디바이스를 개발하였다. 본 논문에서는 기본적인 하드웨어 개발과 통신 속도와 같은 기본적인 성능만을 다루었지만 향후 다양한 형태의 진동에 대한 주파수 특성 및 전체 시스템 구축에 대한 후속 연구가 이루어질 계획이다. 그러나 한 종류의 센서만 사용하여서는 완벽한 감지시스템을 구성하기는 어려우며 오보 및 무감지로 인한 문제점을 해결하기 위해 멀티모달(Multimodal) 센싱 등 여러 시도들을 계획하고 있다.

본 연구에서 개발한 스마트 디바이스는 다양한 계절, 형태의 철조망이 도심, 바닷가, 산속 등 다양한 설치환경에 설치되어 외부의 침입과 그 위치를 감지할 수 있을 뿐 아니라 감지성능, 오경보율의 최소화 및 경제적 구축비용 등을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 경상국립대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

References

- [1] S. Sutor, O. Martikainen, and R. Reda, "ICT security and physical security in high performance systems: Emerging technologies, future trends and the market place," *IEEE Conferences on Informatics and Systems*, Cairo, Egypt, 2010, pp. 1-5.
- [2] G. Allwood, G. Wild, and S. Hinckley, "Optical Fiber Sensors in Physical Intrusion Detection Systems: A Review," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, issue 14, July 2016. pp. 5497-5509.
- [3] R. Gomery and G. Leach, "Fence vibrations [intruder detection]," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 15, issue 9, Sept. 2000, pp. 3-6.
- [4] D. Bandyopadhyay and J. Sen, "Internet of things: applications and challenges in technology and standardization," *Wireless Personal Communications*, vol. 58, issue 1, May 2011, pp. 49-69.
- [5] Y. Oh and S. Lee, "IoT and the open source development platform," *J. of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 32, no. 6, June 2014, pp. 25-30.
- [6] D. Ryu, "Development of BLE Sensor Module based on Open Source for IoT Applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 3, Mar. 2015, pp. 419-424.
- [7] D. Ryu, "Development of IoT Gateway based on Open Source H/W," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 9, Sept. 2015, pp. 1066-1070.
- [8] D. Ryu and T. Choi, "Development of Open IoT platform based on Open Source Hardware & Cloud Service," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 5, Mar. 2016, pp. 485-490.
- [9] J. Seo, "Temperature Data Visualization for Condition Monitoring based on Wireless Sensor Network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 2, Apr. 2020, pp. 245-252.
- [10] D. Ryu and T. Choi, "Development of the Compact Smart Device for Industrial IoT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 4, Aug. 2018, pp. 751-756.
- [11] D. Ryu and T. Choi, "Development of the Smart Device for Real Time Water Quality Monitoring," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 4, Aug. 2019, pp. 723-728.

저자 소개



류대현(Dae-Hyun Ryu)

1983년 부산대학교 전기기계공학과 졸업(공학사)

1985년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1997년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1987년 - 1998년 2월 전자통신연구원 선임연구원

1998년 3월 - 현재 한세대학교 IT 학부 교수

※ 관심분야 : IoT, M2M, 정보보호, 영상처리



최태완(Tae-Wan Choi)

1983년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1996년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

1984년 12월 - 1991년 2월 : (주)LG전자 디지털어플라이언스연구소 선임연구원

1997년 3월 - 현재 : 경상국립대학교 메카트로닉스·전기공학부 교수

※ 관심분야 : 신호처리, 영상처리, 정보통신, Computer Vision, IoT

