

구조물 응답측정을 위한 라즈베리파이를 이용한 엣지 컴퓨팅 시스템 설계

신 윤 수¹ · 김 준 희² · 민 경 원^{2*}

¹단국대학교 건축공학과 박사과정, ²단국대학교 건축공학과 교수

Design of an Edge Computing System using a Raspberry Pi Module for Structural Response Measurement

Yoon-Soo Shin¹, Junhee Kim² and Kyung-Won Min^{2*}

¹Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Dankook Univ., Yongin, 16890, Korea

²Professor, Department of Architectural Engineering, Dankook Univ., Yongin, 16890, Korea

Abstract

Structural health monitoring to determine structural conditions at an early stage and to efficiently manage the energy requirements of buildings using systems that collect relevant data, is under active investigation. Structural monitoring requires cutting-edge technology in which construction, sensing, and ICT technologies are combined. However, the scope of application is limited because expensive sensors and specialized technical skills are often required. In this study, a Raspberry Pi module, one of the most widely used single board computers, a LoRa module that is capable of long-distance communication at low power, and a high-performance accelerometer are used to construct a wireless edge computing system that can monitor building response over an extended time period. In addition, the Raspberry Pi module utilizes an edge computing algorithm, and only meaningful data is obtained from the vast amount of acceleration data acquired in real-time. The raw data acquired using Wi-Fi communication are compared to the Laura data to evaluate the accuracy of the data obtained using the system.

Keywords : raspberry Pi, accelerometer, LoRa, structural health monitoring, distributed computing

1. 서 론

건축물의 파손, 붕괴 등으로 인한 재해로부터 인명의 손실과 경제적 손실을 예방하고자 구조물의 상태를 조기에 파악하기 위한 구조물의 건전도 모니터링(SHM, structural health monitoring) 연구와(Kim *et al.*, 2012; 2013), 건물에 대한 각종 정보를 수집하고 데이터를 분석하여 건물에 최적의 환경을 제공하고 에너지를 효율적으로 관리해주는 건물에너지관리 시스템(BEMS, building energy management system)에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다(Clarke *et al.*, 2002; Ferdoush *et al.*, 2014).

미국에서는 건전도 모니터링을 위해 ASCE 위원회에서는

구조물 건전도 모니터링 및 제어 위원회(structural health monitoring & control committee)를 구성하여 구조상태 모니터링, 시스템 식별, 손상 감지, 센서 네트워크 등의 연구를 수행하고 있으며, 정부에서는 건물의 에너지 효율 증진을 위해 연방 에너지 관리 프로그램(federal energy management program)을 설립하여 1975년부터 2019년 현재까지 에너지 사용률을 49% 감소시켰다.

국내는 행정안전부에서 건물 및 시설물의 안정성 평가 등에 활용하기 위한 데이터를 취득하기 위해 2010년에 지진가속도 계측기 설치 및 운영기준을 시행하여 중앙행정기관·지방자치단체 청사, 국립대학교, 초고층 건축물에 대해서는 지진가속도 계를 필수적으로 설치해야 하는 법규를 제정하였으며, 한국에

* Corresponding author:

Tel: +82-31-8005-3690; E-mail: kwmin@dankook.ac.kr

Received September 6 2019; Revised September 30 2019;

Accepted October 1 2019

©2019 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

너지공단은 건축물의 쾌적한 실내환경 유지와 효율적인 에너지 관리를 위하여 에너지 사용내역을 계측, 제어, 관리하기 위한 건물에너지관리시스템 설치 가이드라인을 제시하고 있다. 특히, 행정안전부는 지진가속도계의 성능검사 기준 및 방법, 유지보수 시기 등을 상세히 제시함으로써 계측 센서 자체의 중요성도 부각하고 있다.

하지만, 건물의 구조 건전도 및 에너지관리시스템이 건설, 센싱, ICT 기술이 융합된 첨단 기술임에도 불구하고 고가의 센서와 전문적인 기술력이 요구되어 여전히 국내에서는 기존 민간 노후건축물에 대해서 등급별로 특정관리대상시설을 분류하여 많게는 월 1, 2회의 인력을 통한 노동집약적 안전진단 점검을 수행하고 있다. 또한 한국 BEMS 협회에서는 에너지 관리 시스템의 설치대상을 3천m²이상 상업·업무용 건축물에 적용하는 것을 목표로 하고 있으며, 이는 국내 전체 건축물의 0.34%에 불과하기 때문에 건물에너지관리시스템 적용 대상을 건물 전체로 확장하기에는 어려움이 있다.

최근 전자부품소재 기술력의 발전으로 고성능의 소형 싱글보드컴퓨터(SBC, single board computer)와 센서가 보급되고 있다. 싱글보드컴퓨터는 단일 회로 기판에 마이크로프로세서, 메모리, 입출력 등의 기능이 탑재된 저가의 완전한 컴퓨터로서 초소형의 크기와 저전력이 특징이다. 센서가 부착된 싱글보드컴퓨터는 무인 자동차(Narayan *et al.*, 2014), 드론(Velez *et al.*, 2015) 혹은 자동주차 시스템(Buhus *et al.*, 2016), 인공지능 CCTV 시스템(Cyrel *et al.*, 2015) 등 광범위한 범위에서 적용성이 연구되고 있다. 과거 고가의 센서역시 기술력이 발전함에 따라 고성능을 유지하며 가격이 하락하여 보급되고 있다.

본 논문에서는 싱글보드컴퓨터 중 가장 널리 쓰이는 라즈베리파이(raspberry pi)에 보급형 가속도계, 기울기센서, GPS RTK 모듈, 로라(LoRa) 통신 모듈을 연결하여 하드웨어를 구성하고, 데이터 전송으로 인한 배터리 소모량을 최소화하기 위한 엣지 컴퓨팅(edge computing) 또는 분산처리 알고리즘을 싱글보드컴퓨터에 탑재하여 실시간 구조물 건전도 및 건물에너지관리 시스템 등에 활용하여 장기적으로 모니터링이 가능한 무선 엣지 컴퓨팅 시스템을 구축하는 것을 목적으로 한다.

본 논문의 구성으로써 2장에는 라즈베리파이를 포함한 엣지 컴퓨팅 시스템의 하드웨어의 성능과 라즈베리파이에 탑재되는 소프트웨어에의 작동방식 및 알고리즘 대하여 기술하였다. 3장에서는 엣지 컴퓨팅 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 구현하고 구성된 시스템으로부터 데이터를 취득하여 본 시스템의 적용성을 확인하였다.

2. 엣지 컴퓨팅 시스템 설계

2.1 하드웨어 구성

싱글보드컴퓨터 중 라즈베리파이는 영국 라즈베리파이재단에서 제작한 리눅스 OS 기반의 오픈소스 하드웨어다. 아두이노(arduino)가 마이크로컨트롤러의 동작을 용이하게 하여 LED, 센서, 모터와 같은 외부 전자 장치들의 통제가 가능하도록 만든 싱글보드 마이크로컨트롤러 수준인 반면, 라즈베리파이는 키보드, 마우스, 모니터를 연결하면 PC와 같이 사용할 수 있다.

본 논문에서 사용된 라즈베리파이 3 B+ 모델은 Fig. 1과 같이 ARM Cortex-A53 코어를 CPU로 사용하며 1GB 용량의 램과 26개의 GPIO 포트, 4개의 USB 포트, 이더넷 포트, SD 카드슬롯, 비디오, 오디오, 카메라 연결 커넥터 및 Wi-Fi, Bluetooth 통신기능이 탑재되어 있어 활용성 및 적용성이 큰 반면에 저렴한 가격에 보급되고 있다. 라즈베리파이의 운영체제는 라즈베리파이재단의 공식 운영체제인 리눅스 기반의 Raspbian을 SD 카드에 설치해 사용하며 프로그래밍 언어는 파이썬, C언어 등을 사용할 수 있다.

라즈베리파이는 센서의 데이터를 수집하고 분산처리를 가능케 하는 엣지 컴퓨팅 시스템의 핵심 하드웨어다. 시리얼 통신, SPI 통신 등의 센서와의 통신 방식에 따라 실시간으로 센서 데이터를 수집하고 센서 종류에 따른 각각의 신호처리를 통해 유의미한 데이터를 추출한다. 실시간으로 수집되는 데이터에서 유의미한 데이터만을 게이트웨이에 전송하면 데이터 전송량과 데이터 전송에 따른 배터리 소모량을 크게 줄일 수 있어 무선으로도 장시간 모니터링이 가능하다.

본 구조물 응답측정을 위한 엣지 컴퓨팅 시스템에 사용되는 센서는 일반적으로 건물의 구조 모니터링에 사용되는 가속도계, 경사계, GPS가 사용되었으며, 경사계에는 온도센서가 부착되어 있어 온도 측정이 가능하며 로라 통신 모듈을 이용해 데이터를 전송한다.

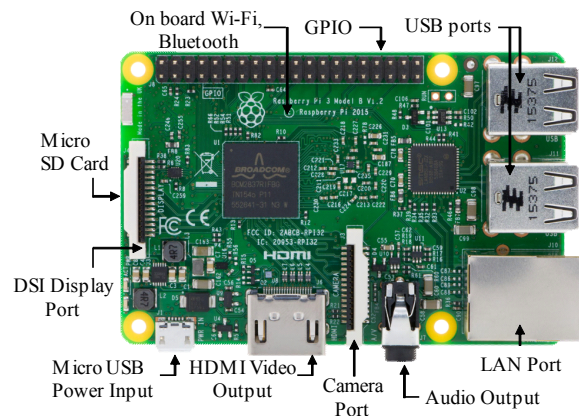


Fig. 1 Schematic diagrams of Raspberry Pi 3 model B+

가속도계는 구조물 건전도 모니터링에서 가장 일반적으로 사용되는 센서다. 진동에 의한 구조물의 동적인 특성은 강성, 감쇠, 질량 등의 구조 변수와 관계되어 있어 구조물에 균열이나 노후 등에 의한 강성의 변화가 발생하면 가속도데이터로부터 도출된 주파수응답함수와 같은 동적 특성치의 변화로 나타난다(Min *et al.*, 2013). 또한 최근에는 가속도 데이터로부터 대상 구조물의 상태공간모델을 추정하는 부공간 시스템 식별법을 이용하여 구조물의 강성, 감쇠, 질량을 물리적 해석이 가능한 시스템 모델을 획득(Kim *et al.*, 2014)하고 나아가 정량적인 구조 변수의 수치를 획득하고자 하는 연구가 수행되고 있다(Kim *et al.*, 2013).

경사계는 일반적으로 굴착 공사시 토벽의 기울기를 관리하거나 옹벽의 기울기를 측정하여 안전도를 관리하기 위해 사용되며 노후화된 건물에서 연직도를 관리하기 위해 사용된다(Ha *et al.*, 2013).

GPS는 인공위성에서 보내는 신호를 로버(rovers)에서 수신해 현재의 위도, 경도 및 고도를 계산하는 위성항법시스템으로 건물에서 GPS는 시공 중 연직도 관리와 고층건물의 최상층 변위 측정에 주로 사용된다(Celebi, 2000; Yi *et al.*, 2012). GPS RTK(real time kinematic)는 실시간 이동측위의 개념으로 정밀한 위치정보를 갖고 있는 베이스(base)의 위치를 가지고 로버의 오차를 보정해 주는 측량 기술이다. 인공위성 신호와 단독 로버를 사용할 경우 약 100m의 오차가 발생하지만 RTK를 사용할 경우 1~2cm의 정밀도를 확보할 수 있다. 베이스와 로버에는 각각 RF(radio frequency)송신기, 수신기가 장착되어 있어 RF통신으로 보정값을 송수신한다. 센서에서 수집한 데이터는 엣지 컴퓨팅을 이용하여 적은 데이터만을 장거리로 보내는 로라 모듈을 통해 전송되며 전체 하드웨어 시스템의 구성 예시는 Fig. 2와 같다.

로라 통신은 3G나 LTE와 달리 적은 전력으로 먼 거리를

통신할 수 있게 만든 저전력 장거리 통신(LPWA, low power wide area)기술이다. 블루투스(bluetooth)와 지그비(zigbee)도 로라와 마찬가지로 저전력 무선통신이지만 이들은 통신 범위 수십 미터 이내로 짧기 때문에 통신 범위를 확장하려면 추가적인 인프라를 구축하여야 한다. 그러나 로라는 최소한의 전력으로 10km 이상 통신이 가능하여, 적용 범위가 큰 이점을 갖고 유럽 통신사를 중심으로 한 다국적 기업 협의체 로라 얼라이언스(LoRa alliance)를 중심으로 기술 및 서비스 개발이 활발히 이뤄지고 있다. 국내에서는 SK텔레콤이 로라 얼라이언스에 참여하여 2016년에 전국에 로라망을 구축하였다. 다만, 데이터 전송 속도가 제한적이기 때문에 실시간으로 많은 양의 데이터를 수집하는 모니터링 시스템에 사용할 경우 데이터 후처리를 통하여 데이터의 전송량을 줄이는 것이 중요하다(Indu *et al.*, 2014). 통신 방법에 따른 데이터 전송량과 전송거리를 비교한 그림이 Fig. 3에 제시되어 있다.

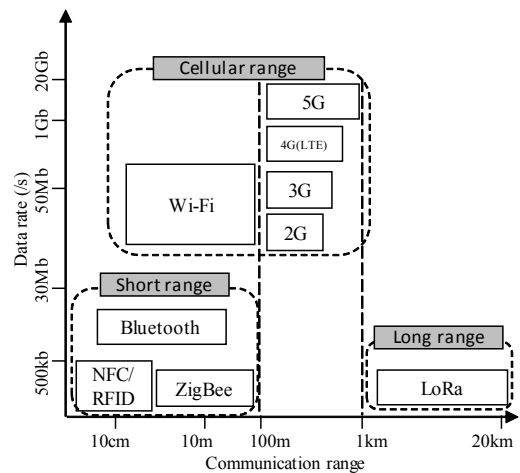


Fig. 3 Communication range and baud rate according to communication method

2.2 소프트웨어 구성

라즈베리파이에 연결되는 센서 및 모듈은 Uart 통신, SPI 통신 등 각각 제조된 통신 방법으로 데이터를 전송한다. 라즈베리파이로 취득되는 데이터의 정렬, 트리거링 등의 후처리는 파이썬 코드를 통해 수행된다. 파이썬 언어는 시각적으로 단순해 사용 및 코드의 수정, 유지보수가 쉬워 개발자들에게 공유되는 라이브러리와 오픈소스가 많고 스크립트 언어로 컴파일의 추가적으로 필요하지 않다.

본 논문에서 사용된 센서의 데이터를 받기 위해 사용된 시리얼통신 파이썬 코드의 일부분 Fig. 4에 제시되어 있다.

여기서, import serial의 'serial'이 파이썬의 시리얼통신 라이브러리며 내장된 라이브러리를 불러옴으로써 단 몇 줄만

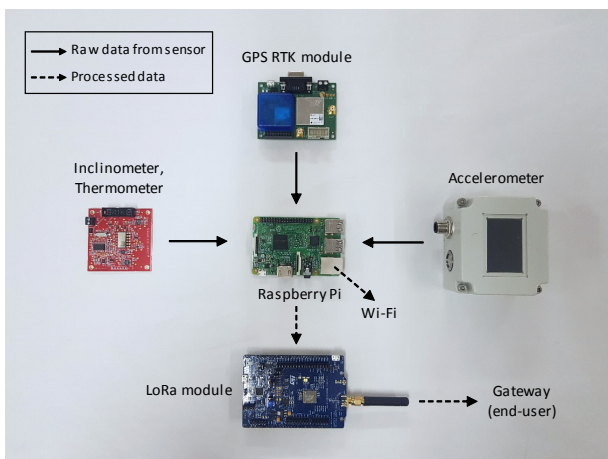


Fig. 2 Edge computing system utilizing Raspberry Pi

```
import serial

ser=serial.Serial(
    port='/dev/ttyUSB0',
    baudrate=921600,
    parity=serial.PARITY_NONE,
    stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
    bytesize=serial.EIGHTBITS,
    timeout=0)
)
```

Fig. 4 Serial communication python code example

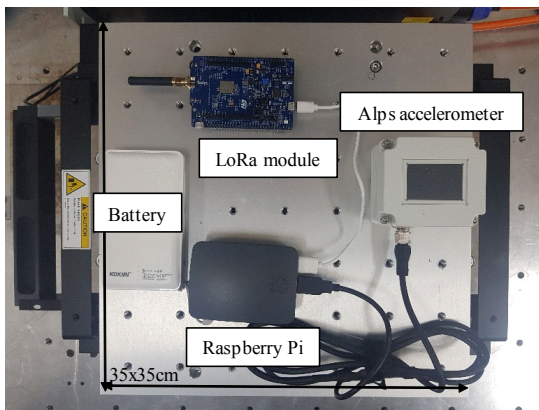


Fig. 5 Edge computing system utilizing Raspberry Pi for experiment

으로 시리얼 통신을 수행하였다. 또한 이후 분산처리 코드를 탑재하고 후처리를 통해 데이터 전송량을 감소시켰다.

3. 실험

3.1 시스템 구축

구조물 응답측정을 위한 라즈베리파이를 이용한 엣지 컴퓨팅 시스템 검증에 위하여 라즈베리파이3 B+ 모델이 사용되었다. 개발환경의 편의성을 위해 라즈비안(raspbian buster with desktop)이 설치되었으며, 공식 7인치 LCD 터치스크린이 사용되었다. LCD 터치스크린은 고유의 어댑터보드가 장착되어 있으며 리본케이블과 점퍼와이어가 라즈베리파이의 DSI 디스플레이 포트와 GPIO로 연결된다. 이때 전원은 라즈베리파이 보드에만 입력된다.

라즈베리파이와 센서의 연결을 위해 Alps사에서 제작된 가속도계(이하 Alps 가속도계)를 사용하였다. Alps 가속도계는 STMicroelectronics사의 LIS3DHH MEMS 가속도계칩이 장착되어있으며 LIS3DHH는 3축의 $\pm 2.5g$ 의 가속도를 16비트 디지털 값으로 송출하고 노이즈 플로어는 $45\mu g/\sqrt{Hz}$ 이다. Alps사는 벌크타입의 LIS3DHH 가속도계칩과 데이터 수집장비(DAQ)를 포함하여 하우징 함으로써 최종 가속도계 모

듈 형태로 제작하였다. Alps 가속도계는 라즈베리파이와 USB로 연결되어 Uart통신을 하며 실시간의 3축 가속도 데이터를 250Hz로 동시 송출함으로 3축의 데이터를 분류하는 후처리가 필요하다.

데이터 전송을 위한 로라 모듈은 STMicroelectronics사의 Discover kit가 사용되었다. Divscover kit에는 ARM Cortex-M0+ 코어와 STM32L0 로라 칩이 장착되어 있어 C언어로 코딩이 가능하며 GPIO를 통한 확장 보드의 적용이 가능하다. 특히, STM32L0은 초 저전력 모드에서 소비전류가 약 300 nA이며 웨이크업(wake up) 시간은 3.5 μ s이다.

Alps 가속도계로부터 취득되는 데이터를 처리하기 위해 라즈베리파이에 탑재된 엣지 컴퓨팅 알고리즘은 Fig. 6과 같다. 본 알고리즘은 파이썬으로 코딩되었으며 행정안전부의 '지진가속도계측기 설치 및 운영기준'의 '가속도 데이터 취득 요구사항'을 기반으로 실험실 수준의 테스트를 진행하기 위한 임의의 기준을 적용하였다.

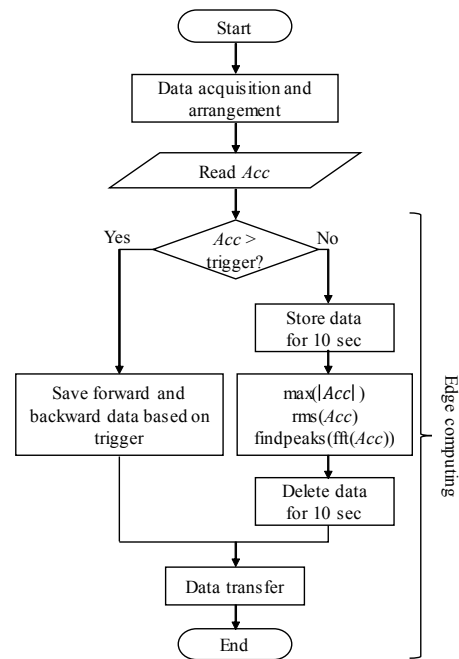


Fig. 6 Edge computing processing using Raspberry Pi

우선 3축의 가속도 데이터를 각각 x, y, z 축으로 분류하여 10초 동안의 데이터를 저장하면서 동시에 각각의 가속도 값이 설정한 트리거 임계값을 초과하는지 판단한다. 임계값을 초과하지 않았을 경우, 각 축별로 10초 동안의 가속도 데이터의 최대값, 제곱근평균(RMS, root mean square), 지배주파수 즉, 주파수 응답 해석(FFT)의 피크값을 계산한 뒤 로라 모듈을 통해 전송하며 10초 동안의 가속도 데이터를 삭제한다. 반면 가속도 값이 설정한 트리거 임계값을 초과하였을 경우, 외력이

가해진 것으로 판단하며 10초 동안의 가속도 데이터 및 차후 30초간의 데이터를 추가로 저장하고 전송 속도에 관계없이 40초 동안의 로우데이터(raw data)를 전송한다.

3.2 데이터 취득

건물에서 발생하는 진동을 모사하여 Alps 가속도계에 진동 신호를 주기 위해 Fig. 7과 같이 선형모터로 구동되는 SPEKTRA사의 동적가진기 APS 400 shaker가 사용되었다. APS 400 shaker는 1축으로 가진되며 가진 신호는 랩뷰에서 임의의 파형을 생성하고 NI DAQ를 통해 전압 신호로 변환하여 입력하였다. 진동 측정을 위해 동적가진기의 진동대에 본 논문의 3.1절에서 제안한 엣지 컴퓨팅 시스템을 고정시켜 설치하였다. 또한 로라 모듈을 통해 전송되는 데이터를 취득하기 위해 RisingHF사의 로라 게이트웨이 RHF2S008이 사용되었다. 게이트웨이의 전원은 PoE(power over ethernet)를 통해 공급된다.

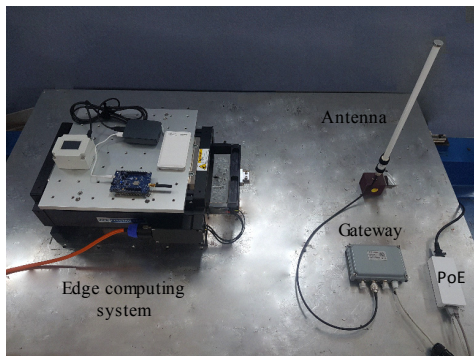


Fig. 7 Data acquisition experiment of proposed edge computing system

로라 모듈을 통해 전송되는 데이터는 RHF2S008, PoE를 통해 서버로 전송되며, 서버는 스위스 LORAWAN 클라우드 서비스 기업 LORIIOT에서 제공하는 일본 AP2 서버를 이용하였다. LORIIOT 서버는 <https://www.loriot.io>을 통해 접속할 수 있으며 공유기의 맥주소(MAC address)를 입력하여 게이트웨이를 연결할 수 있다. 본 논문의 게이트웨이에서 설정한 LORIIOT 서버 구성이 Fig. 8에 제시되어 있다.

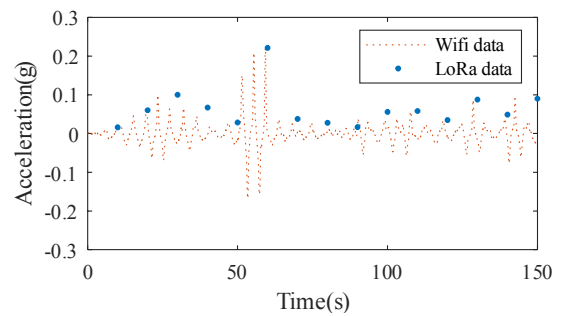
동적가진기로부터 발생된 150초 동안의 진동은 Alps 가속도계의 x축에서 계측되었으며 엣지 컴퓨팅 알고리즘을 통해 로라 모듈로 전송되어 데이터를 취득하였다. 분산처리 알고리즘의 정밀성을 파악하기 위해 와이파이 통신을 이용하여 가진 시간 동안의 데이터를 취득하여 비교하였다.

Fig. 9(a)~(c)는 트리거 임계값을 0.3g로 설정했을 때 취득된 데이터이다. Alps 가속도계의 x축 가속도 값이 트리거

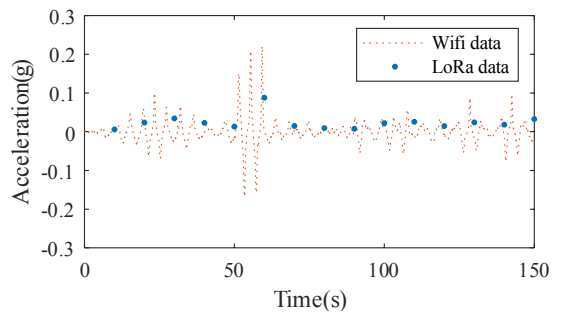
LORIIOT Tokyo yoonsoo002@gmail.com Community Account		
Location	Model	MAC
충인시	RisingHF RHF2S008	B8-27-EB-FF-FF-B8-27-EB B8:27:EB:B8:27:EB
Details		
MAC Address	Last Remote IP	Model
B8:27:EB:B8:27:EB	220.149.220.7	RHF2S008
EUI	Machine	Concentrator
B8-27-EB-FF-FF-B8-27-EB	armv7l	rhf1257
Base	Kernel	Connected Over
RisingHF	4.4.50-v7+	SPI

Fig. 8 Data acquisition server configuration using LORIIOT

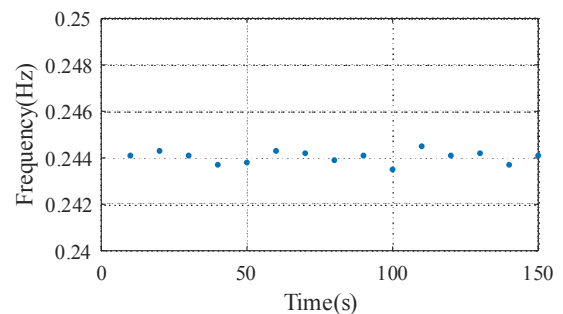
에 걸리지 않아 매 10초 동안의 데이터 중 각각 최댓값, 제공 근평균, 지배주파수가 10초가 되었을 때 전송되었다. 0초부터 10초까지의 데이터가 10초 때 처음 취득된 이후로 매 10초



(a) Max



(b) RMS



(c) Dominant frequency

Fig. 9 Acceleration data acquired distributedly every 10 seconds

마다 각각의 데이터가 전송되었다. 파이썬의 데이터 형식은 8Byte의 실수형인 float 형식으로 취득되어 전송되었으며 매 10초마다 3개의 숫자 즉, 24Byte의 데이터가 전송된 것을 확인하였다.

Fig. 10은 Fig. 9(c)의 지배주파수를 확인하기 위하여 와이파이 통신으로 취득된 데이터의 주파수 응답을 해석한 그래프다. 150초 동안의 전체 구간에서 0.244Hz의 피크값을 보이고 있으며 Fig. 9(c)에서 취득된 매 10초 동안의 지배주파수 데이터의 타당성을 보여준다.

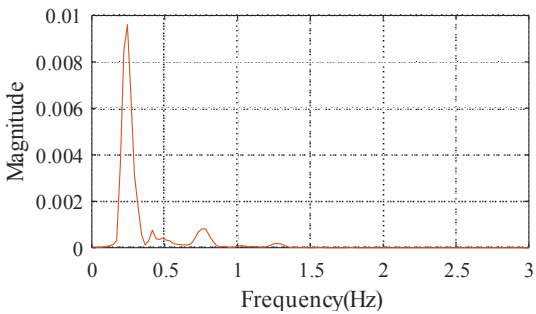


Fig. 10 Frequency analysis of data acquired by Wi-Fi communication

Fig. 11은 트리거 임계값을 0.2g로 설정했을 때 취득된 데이터이다. Alps 가속도계의 x축 가속도 값이 0.2가 되자 트리거 지점으로부터 10초 전과 30초 후의 로우데이터가 전송되어 취득되었으며 같은 시각 와이파이 통신으로 수신한 데이터와 일치하는 것을 확인하였다. 또한 250Hz로 취득된 40초 동안의 데이터는 10,000개의 숫자 데이터로 이루어져 있으며, 총 80KB 용량의 데이터가 전송된 것을 확인하였다.

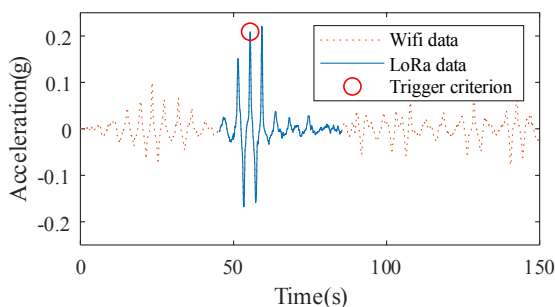


Fig. 11 Data received by LoRa communication

4. 결 론

본 연구에서는 건물의 구조 건전도 및 에너지관리시스템을 적용할 때 고가의 센서와 전문적인 기술력이 요구된다는 한계를 극복하기 위하여 싱글보드컴퓨터 중 가장 널리 쓰이는 라즈베리파이와 저전력으로 장거리의 통신이 가능한 로라 모듈, 고성능의 보급형 가속도계를 활용하여 장기간으로 건물의 모니터

링이 가능한 무선 엣지 컴퓨팅 시스템을 구축하였다. 또한 전송속도의 제한이 있는 로라 통신을 활용하기 위해 라즈베리파이에 파이썬으로 작성된 엣지 컴퓨팅 알고리즘을 탑재함으로써 실시간으로 취득되는 방대한 양의 가속도 데이터 중 의미 있는 데이터만을 취득하였으며 와이파이 통신으로 취득한 전체의 로우데이터와 비교함으로써 본 연구에서 제시한 시스템으로부터 취득된 데이터의 정밀성을 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 정보통신기획평가원이 주관하는 ICT융합서비스 경쟁력강화(No.20180015400022002)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Buhus, E.R., Dimis, D., Apatean, A. (2016) Automatic Parking Access using Openalpr on Raspberry Pi3, *Electron. & Telecommun.*, 57(3), pp.10~15.
- Celebi, M. (2000) GPS in Dynamic Monitoring of Long-Period Structures, *Soil Dyn. & Earthq. Eng.*, 20(2000), pp.477~483.
- Clarke, J.A., Cockroft, J., Conner, S., Hand, J.W., Kelly, N.J., Moore, R., Brien, T.O., Strachan, P. (2002) Simulation-Assisted Control in Building Energy Management Systems, *Energy & Build.* 34(9), pp.933~940.
- Cyrel, O.M., Jesus, M.M., Jackson, L.B., Czarleine, K.P., Maria, K.T. (2015) Real-Time Integrated CCTV Using Face and Pedestrian Detection Image Processing Algorithm For Automatic Traffic Light Transitions, *8th IEEE International Conference Humanoid*.
- Ferdoush, S., Li, X. (2014) Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications, *Proc. Comput. Sci.*, 34(2014), pp.103~110.
- Ha, D.W., Park, H.S., Choi, S.W., Kim, Y. (2013) A Wireless MEMS-Based Inclinometer Sensor Node for Structural Health Monitoring, *Sens.*, 13(12), pp.16090~16104.
- Indu, Dixit S. (2014) Wireless Sensor Networks: Issues & Challenges, *A Monthly J. Comput. Sci. & Inform. Technol.*, 3(6), pp.681~685.
- Kim, J.H., Lynch, J.P. (2012) Subspace System

- Identification of Support Excited Structures/Part II: Gray-box Interpretations and Damage Detection, *Earthq. Eng. & Struct. Dyn.*, 41(15), pp.2253~2271.
- Kim, J.H., Sohn, H.** (2013) Data-Driven Physical Parameter Estimation for Lumped Mass Structures from a Single Point Actuation Test, *J. Sound & Vib.*, 332(18), pp.4390~4402.
- Kim, J.H., Sohn, H.** (2013) In Situ Measurement of Structural Mass, Stiffness, and Damping using a Reaction Force Actuator and a Laser Doppler Vibrometer, *Smart Mater. & Struct.*, 22(8).
- Kim, J.H., Sohn, H.** (2014) Subspace Model Identification of Guided Wave Propagation in Metallic Plates, *Smart Mater. & Struct.*, 23(3), 035006.
- Min, K.W., Kim, J.H., Park, S.A., Park, C.S.** (2013) Ambient Vibration Testing for Story Stiffness Estimation of a Heritage Timber Building, *Sci. World J.*, 2013.
- Narayan, P.P., Minsakshee, M.P.** (2014) Driver Assistance System based on Raspberry Pi, *Int. J. Comput. Appl.*, 95(16), pp.36~39.
- Velez, F.J., Nadziejko, A.** (2015) Wireless Sensor and Networking Technologies for Swarms of Aquatic Surface Drones, *2015 IEEE 82nd Vehicular Technology Conference*.
- Yi, T.H., Li, H.N., Gu, M.** (2012) Recent Research and Applications of GPS-based Monitoring Technology for High-Rise Structures, *Structural Control and Health Monitoring*.

요 지

구조물의 상태를 조기에 파악하기 위한 구조물 건전도 모니터링 연구와 건물의 정보를 수집하여 에너지를 효율적으로 관리해 주는 건물에너지관리시스템에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 본 연구에서는 기존 모니터링 시스템 연구가 건설, 센싱, ICT 기술이 융합된 첨단 기술임에도 불구하고 고가의 센서와 전문적인 기술력이 요구되어 적용 범위가 제한된다는 한계를 극복하기 위하여 싱글보드컴퓨터 중 가장 널리 쓰이는 라즈베리파이와 저전력으로 장거리의 통신이 가능한 로라 모듈, 고성능의 보급형 가속도계를 활용하여 장기간으로 건물의 모니터링이 가능한 무선 엡지 컴퓨팅 시스템을 구축하였다. 또한 라즈베리파이에 분산처리 알고리즘을 탑재함으로써 실시간으로 취득되는 방대한 양의 가속도 데이터 중 의미있는 데이터만을 취득하였으며 와이파이 통신으로 취득한 전체의 로우데이터와 비교함으로써 본 시스템으로부터 취득된 데이터의 정밀성을 검증하였다.

핵심용어 : 라즈베리파이, 가속도계, 로라, 구조물 모니터링, 분산처리