

고정밀 가속도 센서를 이용한 휴대용 진동 데이터 수집 시스템 개발

김수희*, 손석원**, 송원길***, 이현준***, 우경민*, 손홍성*, 안계홍*
*호서대 컴퓨터공학과, **호서대 모바일시스템공학과, ***RMS 테크놀로지
e-mail: shkim@hoseo.edu, sohn@hoseo.edu, rmstech@rmstech.co.kr,
lhj@rmstech.co.kr, wtos2k@gmail.com, sonshsson@naver.com,
user9987@naver.com

Development of a portable vibration data collection system using high precision acceleration sensors

Suhee Kim*, Surgwon Sohn**, Wongil Song***, Hyunjun Lee***,
Kyungmin Woo*, Hongsung Sohn*, Gyeong An*
*Dept of Computer Engineering, Hoseo University,
**Dept of Mobile System Engineering, Hoseo University,
***RMS Technology Co., Ltd.

요 약

구조적인 한계로 인해 전통적인 진동 측정 시스템의 구축이 곤란할 경우나, 고가의 데이터 수집 시스템을 사용하기가 어려운 상황에 대비하여, 언제 어디서나 용이하게 진동 데이터를 측정하기 위해 휴대용 무선 측정 시스템을 개발한다. 이 연구를 통해 개발한 시스템을 기반으로 기능들을 업그레이드하면 철도 주변의 진동 환경 평가 등을 포함한 다양한 분야에 사용될 수 있으며, 근/원거리 진동 데이터 무선 모니터링 시스템의 개발에 적용될 수 있다.

1. 서 론

진동이란 물체가 주기적으로 흔들려 움직이는 현상을 말하며, 힘의 크기, 주파수에 따라 다양한 현상을 보이게 된다. 진동의 주파수와 물체가 갖는 고유 진동수가 같아지면 공진 현상이 일어나게 되는데, 이로 인해 시스템이 파괴되거나 정밀제어가 어려운 상황이 생길 수 있다[1]. 예를 들어, 1973년에 완공된 미국 타코마 해협 교량의 초대형 현수교는 진동 설계를 고려하지 않음으로 인해 바람으로 인한 붕괴현상을 초래했으며, 우리나라에서도 2011년 테크노마트 피트니스센터의 집단 뒤흔기기로 인한 공진현상으로 건물에 심하게 흔들린 바 있다.

일반적인 진동 측정환경에서 측정 데이터는 시간 도메인 형식을 취하며, 데이터의 분석을 위해 주파수 도메인으로 변환한다. 주파수 도메인 형식으로 데이터를 변환하기 위해 먼저 측정 데이터를 데이터베이스에 저장한 후에, 원격지에서 데이터베이스에 접속하여 측정 데이터들을 다시 읽어서 분석할 수 있는 시스템의 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 또한, 구조적인 한계로 인해 전통적인 유선 연결의 센서-DAQ(Data Acquisition)-DSP(Digital Signal Processor) 연결 순의 진동 측정 시스템의 구축이 곤란할 경우나, 매우 고가인 DAS(Data Acquisition System)를 사용하지 않기 위한 대안으로, 무선 측정 시스

템이 절실하게 필요한 경우가 많아지고 있다.

따라서, 진동 분야에 특화 되어 있으면서 어느 정도 범용성을 가질 수 있는 진동 측정 시스템이 필요하다. 최근 들어 유비쿼터스 기술이 발전함에 따라 3축 가속도 센서를 이용한 적용 시스템들의 설계 및 개발이 이루어지고 있으나, 아직 연구 단계이며 시스템의 활용도는 매우 낮다 [2].

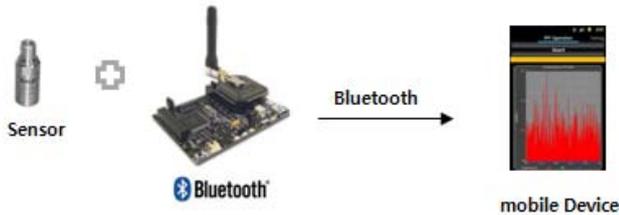
본 논문에서는, 언제 어디서나 용이하게 진동 데이터를 측정하기 위해 휴대용 무선 진동 데이터 수집 시스템을 개발하고자 한다. 이 시스템을 개발하기 위해 먼저 가속도 센서를 이용한 모바일 진동 데이터 수집 시스템을 설계하였으며[3], 이를 기반으로 진동 데이터 수집기를 개발하고, 무선으로 모바일 기기에 측정 데이터를 송신하여 이를 그래프로 변환하여 볼 수 있는 모바일 응용 애플리케이션을 개발한다.

제 2장에서는 본 논문에서 개발하고자 하는 시스템의 개요를 소개하고, 제 3장에서는 진동 데이터 수집기(RH-DAQ)의 개발에 대해 다루며, 제 4장에서는 측정 데이터를 수신하여 처리하는 모바일 프로그램 구현을 서술한다. 그리고 제 5장에서는 개발한 시스템의 정확도를 평가하며, 제 6장에서 결론을 맺는다.

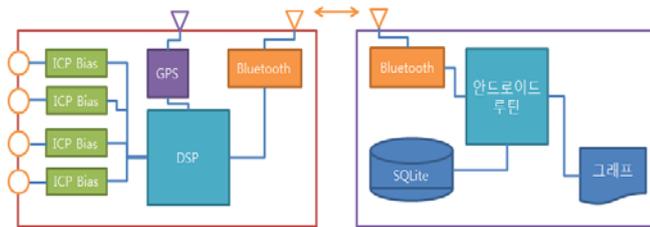
2. 고정밀 가속도 센서를 이용한 휴대용 진동 데이터 수집 시스템 개요

본 논문에서 개발하는 시스템은 모바일 기기의 특성을 고려하여 블루투스 통신을 이용한다[4]. 고정밀 센서와 블루투스 모듈을 결합하여 무선 데이터 통신이 가능한 휴대용 진동 데이터 수집 장치를 구현한다. 이 장치로부터 무선 통신을 통해 스마트 디바이스가 데이터를 수신하고 처리하며, 이 데이터를 그래프로 변환한다. (그림 1)과 (그림 2)는 개발하고자 하는 진동 데이터 수집 시스템의 개요를 나타낸다. 시스템은 크게 두 파트로 나누어진다.

- ▶ 진동 센서 데이터 수집기 RH-DAQ 개발
- ▶ 안드로이드기반 모바일 응용 애플리케이션 개발



(그림 1) 가속도 센서를 이용한 휴대용 진동 데이터 수집 시스템 개요



(그림 2) 가속도 센서를 이용한 휴대용 진동 데이터 수집 시스템 구성도

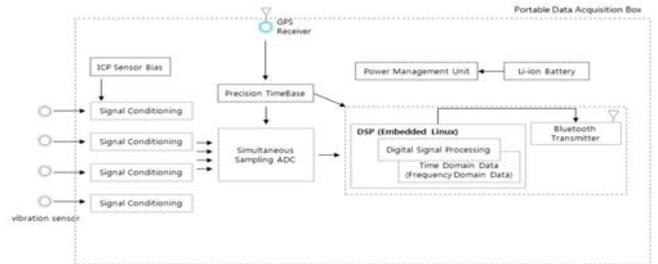
RH-DAQ에는 GPS 모듈, 블루투스 모듈이 포함되어 있으며 ICP 타입의 센서와 연결된다. 안드로이드 디바이스와 RH-DAQ가 블루투스로 연결되면, 안드로이드 디바이스에서는 센서의 타입과 센시티비티 등 측정에 사용하는 센서 정보를 RH-DAQ로 먼저 전송하고, 그 후에 RH-DAQ에서는 센서 데이터를 패킷화해 안드로이드 디바이스로 전송한다. 안드로이드 디바이스에서는 수신하는 데이터를 실시간으로 그래프를 그리며 내장된 SQLite 데이터베이스에 중요 데이터를 저장한다.

3. RH-DAQ의 개발

가속도 센서의 진동 데이터를 수집하는 RH-DAQ는 하드웨어적 부품 구성에 있어서 일반적인 진동 데이터 수집기와 유사하다. 그러나 본 연구에서는 일반적인 데이터 수집기에 Class1을 지원하는 블루투스 통신 모듈 Parani BCD110du와 NMEA-0183 포맷으로 로그를 제공하는 고정밀/고감도의 초소형 GPS수신기 AKMU2P를 추가하였

다. 이렇게 함으로써 무선으로 센서 데이터를 수집하여 기존의 유선 진동 데이터 수집기와 비교하여 해석할 수 있다는 장점이 있다. 각 기능별 개발 내용은 다음과 같으며, (그림 3)은 RH-DAQ의 구성도를 나타낸다.

- ▶ 정밀 ICP 센서 신호조정 증폭기 회로 개발
- ▶ Delta-Sigma ADC I/F 회로 개발
- ▶ 데이터 획득 장치용 마이크로프로세서 회로 개발
- ▶ 블루투스 통신 I/F 회로 개발
- ▶ 데이터 획득 장치 전력관리 회로 개발



(그림 3) RH-DAQ 구성도

3.1 통신 프로토콜

본 시스템에서 사용하는 통신 프로토콜의 구조는 STX, DATA, LRC, ETX로 이루어져 있다. 패킷의 시작을 명시하는 STX, 패킷의 끝을 알리기 위한 ETX, 데이터의 에러 검출을 위해 LRC를 사용한다. 패킷의 크기는 수신부에서 패킷의 저장시의 안전성과 프로세서의 어드레싱 특성을 고려하여 2의 배수로 고정하였으며 LRC의 크기도 에러 검출 능력 향상을 위해 16비트로 고정하였다.

<표 1> 통신 프로토콜 구조

STX(1)	DATA(44 ~ 2092)	LRC(2)	ETX(1)
--------	-----------------	--------	--------

- STX [Start Of Text] : 패킷의 시작, 16진수 0x02 사용
- DATA : 헤더와 4개의 채널 데이터로 구성
- LRC [Longitudinal Redundancy Check] : 데이터의 에러 검출
- ETX [End Of Text] : 패킷의 끝, 16진수 0x03 사용

패킷의 DATA는 HEADER와 4개의 채널 WAVE_CH1, WAVE_CH2, WAVE_CH3, WAVE_CH4로 이루어져 있다. HEADER는 센서의 갯수, 샘플링 주기, 측정하고자 하는 센서의 센시티비티, 게인 값 등으로 구성된다.

<표 2> DATA (44 ~ 2092 Bytes) 구조

HEA DE R	WAVE_ CH1	WAVE_ CH2	WAVE_ CH3	WAVE_ CH4
(44)	(0~512)	(0~512)	(0~512)	(0~512)

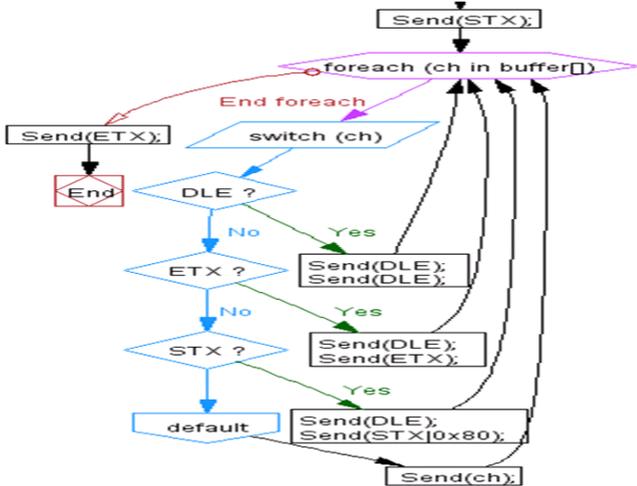
<표 3> HEADER(44 Bytes) 구조

MsgId	# of Sensors	Sampling Freq.	최대 4개 Sensitivity값	현재시간 (GPS)	데이터 의 수	최대 4개 Gain 값
WORD(2)	WORD(2)	WORD(2)	FLOAT(4*4)	DWORD(4)	WORD(2)	FLOAT(4*4)

3.2 투과처리

패킷의 데이터에는 0x02와 0x03이 존재할 수 있는데, 이를 패킷의 STX, ETX와 구별하기 위해 투과처리 과정을 거친다. 투과처리는 패킷의 데이터 중 0x02, 0x03, 0x10앞에 DLE(Data Link Escape)문자를 추가함으로써 이루어진다, DLE문자는 16진수 0x10을 사용한다.

패킷의 중간부터 수신될 경우 발생할 수 있는 문제점을 해결하기 위해 데이터 0x02에 대한 투과처리는 0x02에 MSB를 1로 변조하는 과정을 더해 실시한다. (그림 4)는 투과처리 알고리즘의 순서도를 나타낸다. 수신 측에서는 투과처리 과정을 이용한 역 투과처리 과정을 거쳐 원래의 데이터를 복원한다.



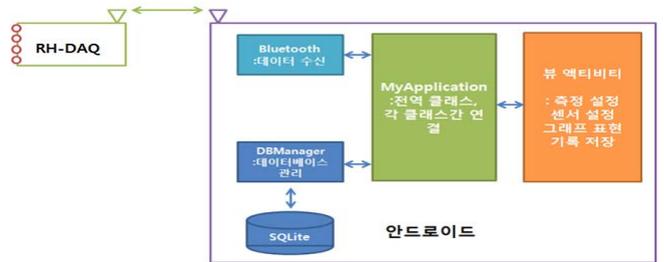
(그림 4) 투과처리 순서도

4. 안드로이드 기반 모바일 응용 애플리케이션 개발

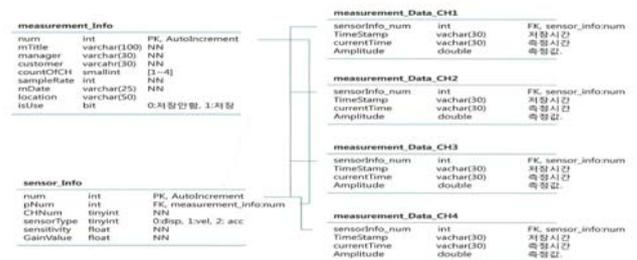
RH-DAQ 디바이스로부터 블루투스를 이용해 데이터를 수신하고[5], 이를 그래프로 플로팅하며[6], SQLite 데이터베이스에 데이터를 저장하는 안드로이드기반 모바일 응용 애플리케이션을 개발하였다. 주요 컴포넌트는 다음과 같으며 애플리케이션의 구성도는 (그림 5)와 같다. 개발한 데이터베이스의 구조는 (그림 6)에 있다. 시스템이 실행되는 주요 화면들은 (그림 7) ~ (그림 9)에 나타나 있다.

- ▶ 안드로이드 블루투스 통신 컴포넌트
- 안드로이드 블루투스 통신 송·수신부 개발
- ▶ 안드로이드 SQLite 데이터베이스 생성 및 관리
- 안드로이드 SQLite 데이터베이스 테이블들의 스키마 개발, 생성 및 관리

- ▶ 안드로이드 실시간 그래프 플로팅 컴포넌트
- 안드로이드 그래프 생성 구조 개발
- 실시간 신호처리 알고리즘을 이용한 그래프 생성 프로그램 개발
- 대용량의 측정 데이터를 빠르게 출력하기 위해 상용 라이브러리인 TeeChart library를 사용[6]



(그림 5) 모바일 응용 애플리케이션 구성도



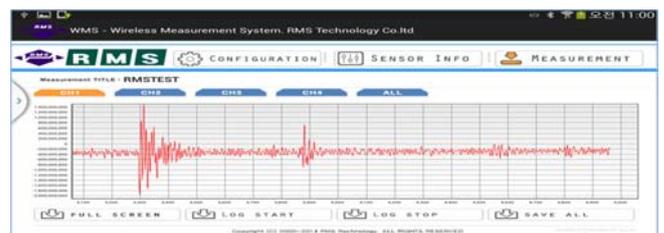
(그림 6) 데이터베이스 스키마



(그림 7) 메인 화면



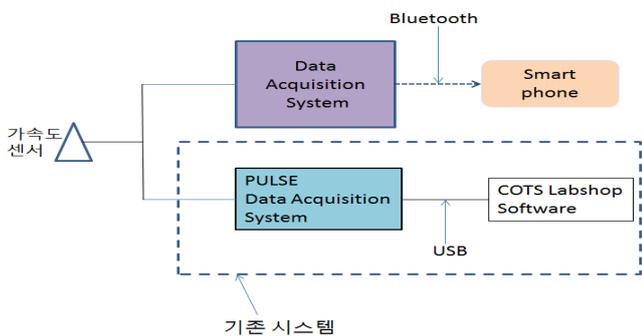
(그림 8) 데이터 측정을 위한 주요 정보 설정 화면



(그림 9) 수신한 데이터의 그래프 플로팅 화면

5. 시스템 정확도 평가

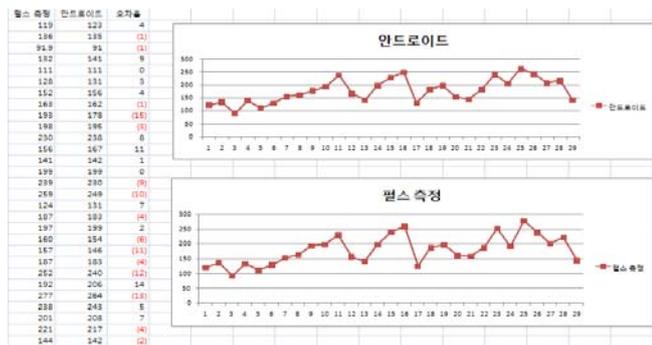
(그림 10)은 개발한 휴대용 진동 데이터 수집 시스템의 성능 평가를 위한 실험의 개략적인 구성도이다. 이 그림에서 점선 안에 있는 시스템은 기존 상용 시스템을 나타낸다. 그림에서 윗부분은 본 과제에서 개발한 RH-DAQ를 이용하여 블루투스 통신으로 스마트 폰에서 센서 데이터를 수집한다. 그림의 아래 부분은 동일한 가속도 센서에서 수집한 데이터를 BNC 커넥터를 이용하여 진동 데이터 분석 플랫폼인 PULSE 장비에서 수집하며 USB 인터페이스를 통해 상용 주파수 분석 소프트웨어인 Labshop에서 분석한다. 분석 방법은 시간 도메인 데이터를 이용하는 방법과 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용해서 주파수 영역에서 신호를 비교하는 방법이 있다.



(그림 10) 시스템 정확도 평가를 위한 실험 구성도

ICP 센서를 통해 수집한 데이터는 데이터 수집 장치에서 센서가 측정된 신호에 해당하는 전압을 출력하게 되는데, 이를 측정하려는 실제 물리량으로 치환하는 작업이 필요하다. 각 센서마다 차이는 존재하지만 주기적인 신호에 대한 응답은 비례함을 가정한다. 본 연구에서는 정밀한 진동 가진기(exciter)를 통해 동일한 신호를 발생시키고 하나의 센서로부터 나온 신호를 pulse와, 개발한 휴대용 진동 데이터 수집 시스템에서 측정된 값을 각각 그래프로 비교하였다. (그림 11)에서 보는 바와 같이 같은 모양의 그래프를 그리는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 시간적 제약 때문에 시간 도메인을 이용한 성능평가 실험만을 수행하였지만, 차후 연구에서는 FFT 분석을 통한 시스템 성능에 대한 정밀 분석을 실시할 예정이다.

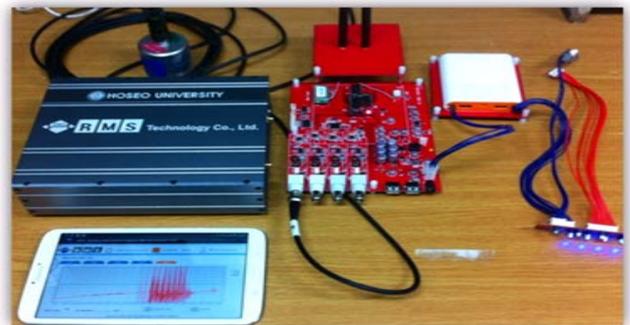


(그림 11) 시스템 정확도 평가를 위한 데이터 비교

6. 결론

이 연구에서는 구조적인 한계로 인해 전통적인 진동 측정 시스템의 구축이 곤란할 경우나, 고가의 데이터 수집 시스템을 사용하기가 어려운 상황에 대비하여, 언제 어디서나 용이하게 진동 데이터를 측정하기 위해 휴대용 무선 진동 데이터 측정 시스템을 개발하였다. (그림 12)는 개발한 RH-DAQ와 모바일 응용프로그램의 실행 화면을 나타낸다.

현재는 시스템의 정확성을 그래프 패턴으로 비교하였으나, 향후에는 다양한 주파수 영역에 있는 데이터를 이용하여 성능 평가를 좀 더 체계적으로 수행하고자 한다. 실제 필드에서의 진동 측정 데이터의 양이 매우 많은 것을 감안하여 데이터베이스 서버를 별도로 구성하여 주요한 데이터를 저장하고 관리하는 것이 필요하다. 이 논문에서 개발한 시스템의 기능들을 향상하여 제품화를 추진하면 국내외 무선 진동 측정 시장의 개척이 가능할 것으로 기대한다.



(그림 12) 개발한 휴대용 진동 데이터 수집 시스템

7. 참고문헌

- [1] JD Smith, "Vibration measurement and analysis" Butterworths, 1989
- [2] 전계록. "3 축 가속도 센서를 이용한 진동 측정 장치 개발." 한국전자통신학회 춘계학술지 5.1, 2011
- [3] 김수희, 이현준 "고정밀 무선 가속도 센서를 이용한 모바일 진동 데이터 수집 시스템 설계", 한국정보과학회 2013 춘계학술발표논문집 pp. 35 ~ 37, 2013
- [4] JC Haartsen, "The Bluetooth radio system" Personal Communications, IEEE, 2000
- [5] Android Bluetooth, <http://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth.html>
- [6] TeeChart Mobile, <http://www.steema.com/teechart/mobile/>