

MEMS 가속도계 기반 기계 상태감시용 스마트센서 개발

Development of MEMS Accelerometer-based Smart Sensor for Machine Condition Monitoring

손종덕[†], 양보석*

Jong Duk Son, Bo-Suk Yang

Key Words : Wireless Smart Sensors(무선스마트센서), MEMS Accelerometer(멤스 가속도계), Digital Signal Processing(디지털 신호처리)

ABSTRACT

Many industrial operations require continuous or nearly-continuous operation of machines, which if interrupted can result in significant financial loss. The condition monitoring of these machines has received considerable attention recent years. Rapid developments in semiconductor, computing, and communication with a remote site have led to a new generation of sensor called "smart" sensors which are capable of wireless communication with a remote site.

The purpose of this research is the development of smart sensor using which can on-line perform condition monitoring. This system is addressed to detect conditions that may lead to equipment failure when it is running. Moreover it will reduce condition monitoring expense using low cost MEMS accelerometer.

This sensor can receive data in real-time or periodic time from MEMS accelerometer. Furthermore, this system is capable for signal preprocessing task (High Pass Filter, Low Pass Filter and Gain Amplifier) and analog to digital converter (A/D) which is controlled by CPU. A/D converter that converts 10bit digital data is used. This sensor communicates with a remote site PC using TCP/IP protocols. Wireless LAN contain IEEE 802.11i-PSK or WPA (PSK, TKIP) encryption. Developed sensor executes performance tests for data acquisition accuracy estimations.

1. 서 론

최근 마이크로 시스템의 발달로 어떤 대상의 신호나 정보가 감지되는 일반적인 센서의 개념을 뛰어넘어 지능화 센서라 불리는 스마트센서가 출시되고 있다. 스마트센서는 기존 센서와 같이 원 데이터(raw data)를 감지하는 기능 이상의 더욱 진보된 기능성(functionality)과 구조(architecture)를 가

진다. 스마트센서의 일반적인 특징은 센서를 장비하는 감지 요소(센서), 신호처리 및 통신기술을 가진다⁽¹⁾. 스마트센서는 교량과 스마트구조물 상태감시용으로 사용하기 위해 저전력 소모, 프로그래밍 가능한 소프트웨어, 빠른 데이터 취득능력, 신뢰성 보장, 저렴한 가격을 목적으로 연구가 수행된다⁽²⁾. 스마트센서는 산업 모니터링과 제어에 비용절감, 유지보수의 용이성, 위험 지역 접근의 용이성을 가져올 수 있다⁽³⁾. 그리고 스마트센서 기술을 포함하는 기계 설비자산 무선감시용 하드웨어, 소프트웨어를 포함한 전체 M2M(Machine to Machine) 시장은 2002년 34억불에서 2007년 280억불로 증가될 것으로 예측되고 있다 (Wireless Data Research Group). 산업 생산공장에서 무선센서기술의 세계 시장 규모는 향후 5년 동안 26%씩 증가하여 2005년 3.257억불에서 2010년 10억불이 넘을 것으로 예측된다(ARC Advisory Group Study,

[†] 부경대학교 대학원 기계공학부
E-mail : skyman1231@hanmail.net
Tel : (051) 620-1604, Fax : (051) 620-1405

* 부경대학교 기계공학부

2006).

MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 기술은 유비쿼터스 네트워크나 초소형 휴먼 인터페이스 분야의 핵심 요소 부품인 3차원 미소구조물, 센서 및 액추에이터 등을 소형화, 고정밀화하고 복합화할 수 있는 기술이다. MEMS 기반 정전용량형 진동 가속도센서는 최근 연구개발이 활발하게 이루어져 3축 가속도계가 출시되었고, 기존 압전형 센서 가격의 1/100 정도인 수 \$ 정도로 저가격화가 실현되어 시장 규모가 폭발적으로 증가하여 작년도 1.7억개가 판매되고 있는 추세이다.

본 연구에서는 MEMS 가속도센서를 이용하여 사용자의 요구에 따라 신호처리하며 실시간으로 무선 송수신하는 스마트센서를 개발하였다. Fig. 1과 같이 직접 통신도 가능하며 방해물이 있을 때도 유연하게 데이터를 송수신할 수 있도록 AP(Access Pointer)를 이용하여 실시간으로 WLAN(Wireless LAN) 통신을 할 수 있다. 네트워크는 WLAN 통신에서 일반적으로 사용하는 802.11i 규약에 따라 암호화가 가능하다.

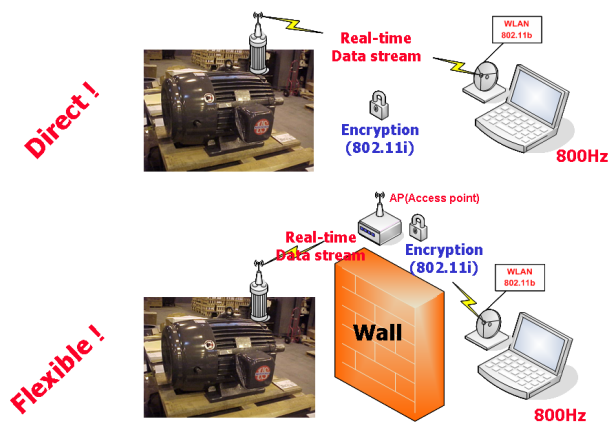


Fig. 1 System configuration

2. 스마트센서의 구성

스마트센서는 크게 4개의 모듈, 즉 센서, 인터페이스, 서버, 데이터분석 모듈로 구성되어 있다. 먼저 스마트센서의 구성을 살펴보면, Fig. 2와 같이 배터리를 통하여 센서 모듈의 MEMS 가속도계에 입력되는 전원은 DC 5V이고, 아날로그 형태의 가속도 데이터가 출력된다. 그리고 아날로그 가속도 신호를 수동소자를 사용하여 저주파수대역필터와 고주파수대역필터의 신호처리를 수행한다. 이 때 아날로그 신호는 인터페이스 모듈로 전송이 되며, CPU에서 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 데이터를 패킷으로 변환한 뒤 무선 브리지를 통하여 베이스 스테이션으로 송신하게 된다. 베이스 스테이션에 수신된 패킷 데이터는 서버 모듈을 통하여 데이터를 수신 취합하여 데이터분석 모듈에서 시간, 주파수 그래프를 보여주게 된다. 데이터 흐름은 Fig. 3에 나타나 있

는데 전원을 켜는 순간 베이스 스테이션에서 스마트센서를 자동으로 인식한다. 베이스 스테이션에서는 신호 증폭 및 샘플링 주파수를 설정하고, 세팅된 정보를 스마트센서로 전송하게 되면, 스마트 센서는 이정보를 바탕으로 MEMS 가속도계로부터 데이터를 수집하여 다시 베이스 스테이션으로 패킷데이터를 송신하고, 베이스 스테이션에서는 데이터를 수집하여 시간·주파수 정보를 보여주게 된다.

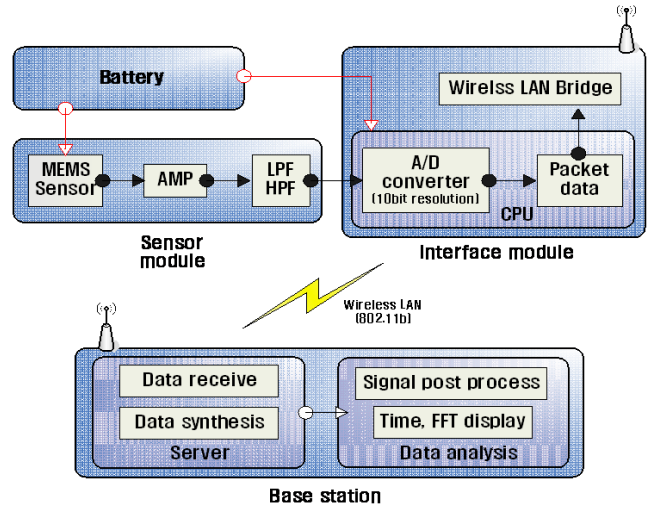


Fig. 2 Block diagram of a smart sensor

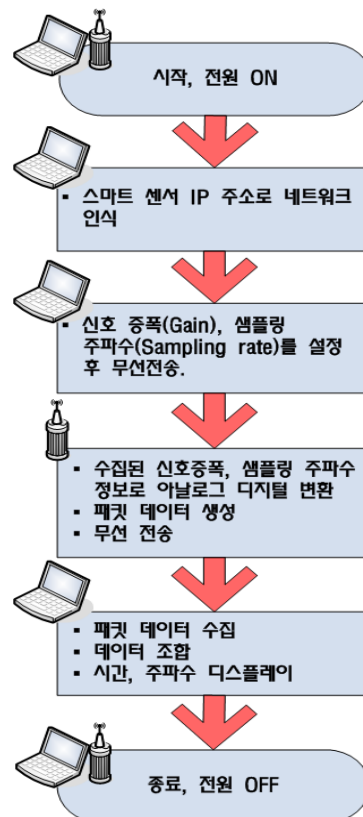


Fig. 3 Flowchart of smart sensor

스마트 센서 제작에 사용된 센서와 소자의 사양은 Table 1과 같고 다음은 각각의 모듈의 기능에 대해 설명한다.

Table 1 Specification of Smart sensor

MEMS 가속도계	<ul style="list-style-type: none"> 주파수 범위 : 0~2,000g 입력범위 : ± 50g 감도 : 80mV/g 최대 충격범위 : 2,000g 전원 : +5VDC, 8mA 사용 온도범위 : -55~125℃ 제작사 : Silicon Design 사
CPU (ATmega128)	<ul style="list-style-type: none"> A/D 변환기 : 10bit 내부통신 : UART(RS232) 임베디드 : ISP, JTAG 메모리 : 4K EEPROM 사용클럭 : 16MHz 제작사 : ATmel 사
무선 통신모듈	<ul style="list-style-type: none"> 무선규격 : IEEE 802.11b 주파수 범위 : 2.412-2.484GHz 데이터 전송률 : 54Mbps 제작사 : Latronix 사

2.1 센서 모듈

MEMS 가속도계로부터 데이터 취득, 신호처리의 역할을 한다. 베이스 스테이션에서 명령된 정보에 따라 MEMS 가속도 신호를 0, 10, 20 및 30dB까지 크기 증폭이 가능하며, 고주파수 대역 필터는 수동 IC소자를 이용하여 2Hz 이상 필터링 가능하다.

Table 2 Sensor module option

Gain	HPF (High Pass Filter)
0 : 0dB	
1 : 10dB	고주파수 대역필터 : 2Hz
2 : 20dB	저주파수 대역필터 : 1600Hz
3 : 30dB	

2.2 인터페이스 모듈

이 모듈은 아날로그신호의 디지털변환 기능과 무선전송 기능을 가진다. 센서모듈로부터 출력되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하고 디지털 신호를 패킷으로 묶어서 WLAN 통신으로 PC로 데이터 송신하는 역할을 한다. 만약 아날로그-디지털 변환과정에서 오랜 시간이 지났을 때 발생되어질 수 있는 샘플링 주파수 오차를 막기 위해 24시간마다 샘플링 인터럽트 신호를 초기화하는 기능을 가지고 있다.

센서모듈의 Gain, HPF를 제어하기 위해 인터페이스 모

듈의 CPU에서 0~5V의 출력 값으로 제어를 하고, 데이터를 패킷화 하기 위해 선박용 산업 규격 NMEA(National Marine Educators Association) Data Sheet를 참고하여 Fig. 4와 같이 Base Station과 Smart Sensor 사이의 패킷의 비트 정의를 하였다. A/D 변환된 데이터는 64개씩 패킷화되어 시리얼(RS232) 통신으로 115,200bps 속도로 실시간으로 데이터가 전송된다.

시작 비트	헤더	서버	센서 아이디	주파수 범위	게인	끝	줄전환
\$	PKW	S	Sensor_ID	frequency_Range	Gain	0x0D	0x0A

(a) Base station packet bit definition

시작 비트	헤더	클라이언트	센서 아이디	게인	A/D변환된 데이터	끝	줄전환
\$	PKW	C	Sensor_ID	Gain	AD_Data	0x0D	0x0A

(b) Smart sensor packet bit definition

Fig. 4 Definition of base station and smart sensor packet bit

2.3 서버 모듈

서버모듈은 데이터 수집기능을 한다. 델파이(Delphi) 언어로 프로그램 되었으며, 스마트센서에서 64개씩 보낸 패킷 데이터를 수집하여 2048개의 데이터로 만든 뒤 데이터 분석 모듈로 실시간으로 전송하게 된다.

2.3 데이터분석 모듈

데이터분석 모듈은 데이터 시간, 주파수 디스플레이와 저장의 기능을 한다. 델파이(Delphi)언어와 랩뷰(LabVIEW)의 동적라이브러리(DLL)함수를 사용하여 만들어졌다. 이 모듈은 서버에서 취득한 데이터를 시간, 주파수 영역에서 보여주고 시간신호를 저장할 수 있는 기능이 있다. Fig. 5는 데이터분석 모듈의 FFT 계산에 적용된 LabVIEW 동적 라이브러리(DLL)를 생성하기 위한 프로그램이다.

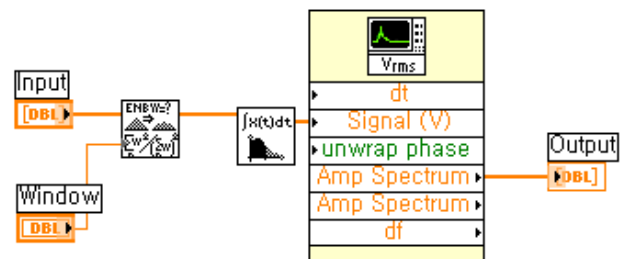


Fig. 5 LabVIEW DLL program code

3. 실험 및 검증

3.1 아날로그 센서 테스트

MEMS 센서로부터 취득된 가속도 신호를 칩 저항(chip resistor)과 칩 콘덴서(chip capacitor)를 이용하여 고주파대역필터(High Pass Filter)와 저주파대역필터(Low Pass Filter)를 각각 기준신호보다 3dB 아래에서 2Hz, 1600Hz로 필터링 됨을 확인하였다. 신호취득 방법은 1V의 White 노이즈를 입력신호로 하고 1000번 평균화를 수행하여 얻은 데이터는 Fig. 6과 같다.

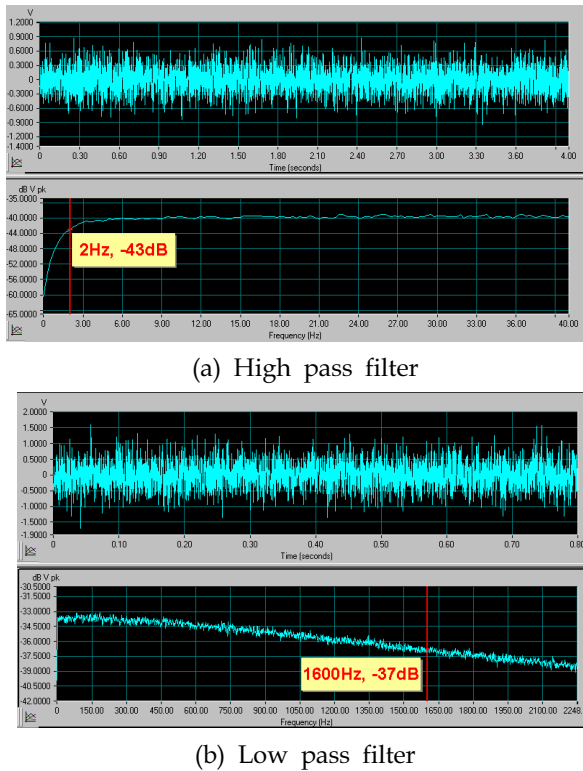


Fig. 6 Results of smart sensor filter test

MEMS 가속도센서의 가진 테스트를 위해 Fig. 7과 같은 실험 장치를 구성하였다. MEMS 가속도센서와 Table 3과 같은 사양을 가지는 일반 가속도센서를 가진기 위에 설치하고 300 Hz로 가진 실험을 수행하였다.

Table 3 General Accelerometer Specification

General Purpose Accelerometer Sensor
Name : 4371
Company : B&K
Frequency range : 12.6 kHz
Sensitivity : 100mV/g

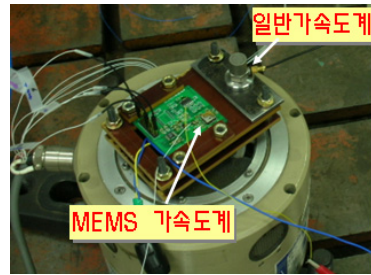
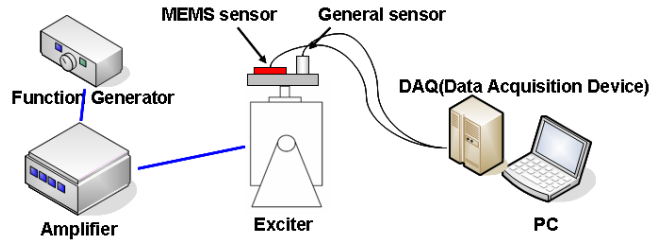


Fig. 7 Configuration of smart sensor exciter

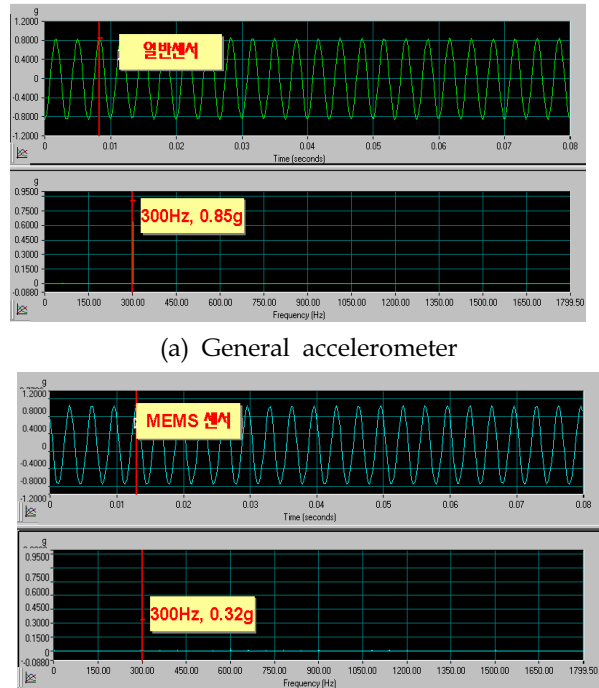


Fig. 8 Exciter test results

3.2 디지털 테스트

A/D 변환과정에서 발생할 수 있는 샘플링 오차를 확인하기 위해 Base Station에서 800Hz의 주파수범위를 취득하는 명령을 주었다. 테스트결과는 Fig. 8의 오른쪽 하단과 같이 샘플링율이 정확히 2048 Hz를 나타내었다.

$$\text{샘플링율} = \text{주파수범위} \times 2.56$$

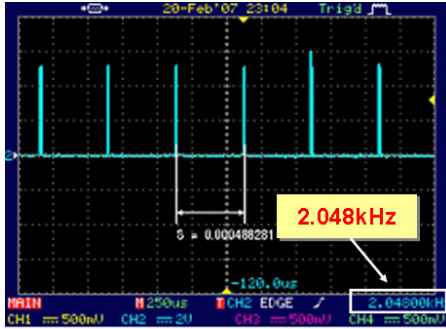


Fig. 9 Interrupt of analog digital conversion

디지털 변환과 무선통신 사이에서 발생할 수 있는 신호의 크기 주파수 변화를 알아보기 위해, Fig. 10과 같은 실험 장치를 구성하였다. 함수발생기를 이용하여 10Hz의 Peak-Peak $\pm 1V$ 의 신호를 발생하여 스마트센서에는 가속도 입력 대신 함수발생기 입력을 주었다. 아날로그 신호는 오실로스코프로 확인하고, 디지털 신호는 무선통신으로 베이스 스테이션에서 확인하였다.

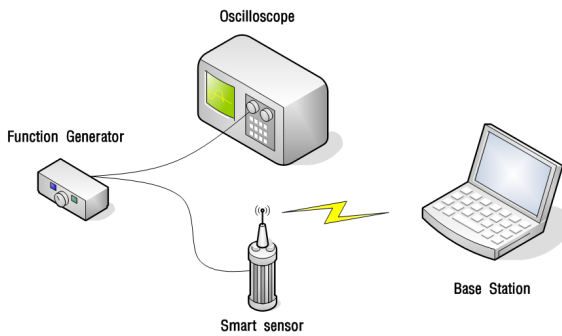


Fig. 10 Test setup for test of analog and digital signals

실험 결과는 아날로그 신호는 Fig. 11과 같이 10 Hz 주파수로 $\pm 1V$ 의 크기를 잘 나타내고 있었으며, 베이스 스테이션에서도 Fig. 12와 같이 디지털로 변환된 신호의 크기와 주파수가 함수발생기 신호와 동일한 크기와 주파수가 실시간으로 나타내고 있다.

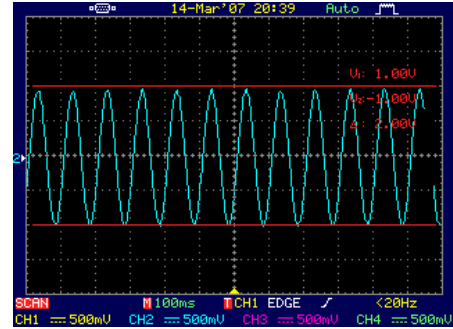


Fig. 11 Oscilloscope signal result of function generator

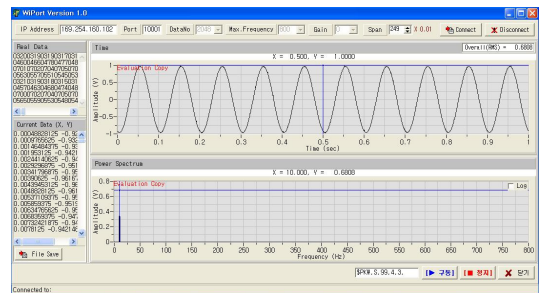


Fig. 12 Base station signal result of function generator

4. 결론

기계설비의 상태감시용으로 사용하기 위한 MEMS 가속도계 기반의 스마트센서를 개발하였다. MEMS 가속도계 신호를 수동소자를 이용하여 신호처리(HPF, LPF, Gain) 설계를 수행하였다. 인터페이스 모듈 하드웨어 설계와 아날로그 디지털 변환 프로그램을 제작 검증하였다. 스마트센서 기구설계를 실시하고, 무선 LAN통신 기반의 실시간 디지털 데이터를 받을 수 있는 네트워크, 서버, 데이터 분석 소프트웨어를 제작하였다.

향후과제로는 스마트센서의 실증 적용 시험, 기구 공진회피 설계, 기구의 소형화, 무선 데이터 전송속도 향상 및 저전력 통신기반의 스마트센서 개발을 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

- (1) B.F. Spencer Jr, M.E. Ruiz-Sandoval and N. Kurata, 2004, Smart sensing technology: opportunities and challenges, Structural Control and Health Monitoring
- (2) N. Yazdi, A. Mason, K. Najafi, and K.D. Wise, 1996, A Smart Sensing Microsystem with a Capacitive Sensor Interface, Center for Integrated Sensors and Circuits.
- (3) H. Ramamurthy, B.S. Prabhu and R. Gadh, 2004, Smart Sensor Platform for Industrial Monitoring and Control, Wireless Internet for the Mobile Enterprise Consortium Los Angeles, California, USA. 외 3편