

## 센서 네트워크 기반 교량 원격 모니터링 시스템 설계

### Design of Bridge Monitoring System Based on Sensor Network

황두관\*, 김성호\*\*

\* 군산대학교, 전자정보공학부

E-mail: kigos1980@hotmail.com

\*\* 군산대학교, 전자정보공학부

E-mail: shkim12244@kunsan.ac.kr

#### 요약

최근 건설되고 있는 교량 대부분은 장대교라 명명할 정도로 그 길이가 매우 길게 되어 교량의 노후화, 차량의 증가 및 대형화로 인한 교량의 피로 축적, 예기치 않은 자연재해 등에 의해 붕괴 위험에 노출되어 있다. 따라서 이러한 위험을 사전에 예측하기 위해서는 효율적인 교량 모니터링 시스템의 설계가 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 최근 각광을 받고 있는 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 이용한 효율적인 교량 모니터링 시스템을 제안하고 이의 유용성을 확인해 보고자 한다.

**Key Words** : Bridge monitoring system, Sensor network

#### 1. 서론

최근 급격히 늘어나는 교량은 길이가 매우 길고 교량의 노후화, 통과 차량의 증가 및 자연 재해(태풍, 지진, 지반 침하 등)로 인하여 교량의 피로에 대한 영향은 급증하고 있으며, 교량의 안전도를 확보하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 악영향을 해소하여 교량의 안전도를 확보하기 위하여 정부 및 각 교량 관리 기관에서는 해마다 많은 비용을 투입하여 교량을 지속적으로 보수 및 관리하고 있는 실정이다[1]. 그러나 현재 대부분의 교량 상태를 파악하려면 교량 관리자나 기술자가 직접 현장에 가서 눈으로 살피는 육안 점검이나 수동 측정 장비를 이용하는 관리 방법을 채택하고 있다. 이로 말미암아 점검 시간이 많이 걸리고 접근이 힘든 곳은 점검 자체가 힘들어 정확한 결과나 지속적인 결과를 얻기가 어려울 뿐만 아니라 강풍이 부는 등 기상이 나쁠 경우에는 이마저도 불가능하다. 이러한 문제를 해소하고자 몇몇 연구자에 의해서 유선교량 계측 시스템이 개발되었으나 유선 선로 건설의 비용이 많이 들고 센서의 추가 제거와 유실 및 이상 선로의 유지 보수에 불편함이 많아 교량에 적용되지 못하고 있다[2].

본 연구에서는 위와 같은 교량 모니터링 시스템 설계시의 문제점을 해소하기 위하여 최근

반도체 기술 및 무선 통신 기술의 발전의 대표적인 기술 중 하나인 센서 네트워크를 도입하고자 한다.

센서 네트워크는 각종 센서에서 수집한 정보를 무선으로 수집할 수 있도록 구성된 네트워크로 위험한 지역이나 접근이 힘든 지역, 공간이 좁은 지역 등에 쉽게 설치가 가능해 교량의 미세한 변화도 실시간으로 감지할 수 있으며, 위험요소를 최소화 할 수 있다. 또한 네트워크를 구성하는 센서 노드들은 저 전력 설계를 기본으로 하여 보통의 소형 배터리를 사용하여 운영이 가능하도록 설계된다는 특성을 가지고 있어 상용전원을 사용할 수 없는 시스템에 적용이 가능하다[3]. 본 논문에서는 센서네트워크 시스템을 기반으로 한 교량 모니터링 시스템을 구축하고, 설계 제작된 교량 미니어처에 적용해 봄으로써, 제안된 시스템의 유용성을 확인하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 유선 계측기에 비해 구축비용을 절감 할 수 있고, 유지 보수에 뛰어난 센서 네트워크에 대해 기술하며 3장에서는 제한된 시스템의 구성에 대해 기술하고 4장에서는 본 논문에서 제안된 센서 네트워크 기반의 원격 교량관리 모니터링 시스템의 적용 실험에 대해 기술하고 5장에서는 결론을 기술한다.

## 2. 센서 네트워크

센서 네트워크 시스템은 광범위한 영역에 살포되어진 센서노드들이 자체적으로 형성된 네트워크를 통해 계측데이터를 기간망으로 전달하는 시스템을 말한다.

### 2.1 하드웨어 플랫폼

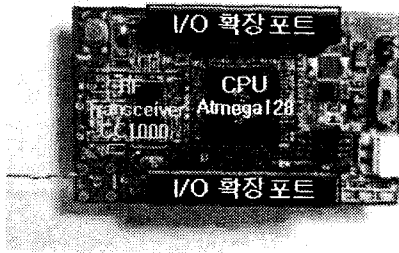


그림 1. mica2 센서네트워크 모듈

본 연구에서 사용되는 센서 노드는 버클리 대학에서 개발한 mica2를 기반으로 설계되었다. 기본구성은 크게 CPU인 ATMEL사의 Atmega128L과 RF transceiver chip인 Chipcon사의 CC1000, 그리고 외부 확장을 위한 I/O포트들로 구성되어진다.

CPU인 Atmega128L칩은 저전력 8비트 RISC 프로세서로 128Kbyte의 내부 프로그램 메모리와 4Kbyte의 데이터 메모리/EEPROM을 내장하고 있어 센서노드의 OS로 사용되어지는 TinyOS 어플리케이션을 동작시키기 충분하다.

RF 송/수신을 위해 사용되는 Chipcon사의 CC1000은 300MHz에서 1000MHz의 주파수 대역을 지원하며 외부 하드웨어 연결에 따라 주파수가 결정되어진다. 위의 센서 노드는 915MHz의 주파수를 사용하도록 하드웨어가 구성되어 있다.

외부 I/O 포트들은 CPU 내부에 내장한 A/D 포트 및 I2C 그리고 SPI를 이용하여 사용 가능한 센서들을 연결할 수 있으며 UART 포트를 이용하여 노트북이나 임베디드 장치, 그리고 기타 RS232를 지원하는 하드웨어 연결이 가능하도록 설계하였다. 또한 I/O를 이용하여 온/오프 제어도 가능하다.

### 2.2 운영 소프트웨어

센서 노드를 동작시키기 위해 버클리에서 개발한 TinyOS가 사용되어진다. TinyOS는 기본적으로 컴포넌트 기반 구조를 갖기 때문에 센서 네트워크 설계시 필연적으로 발생하는 메모리 용량 제약을 최소화하면서 빠른 개발을 위해 개발되었다. TinyOS의 컴포넌트 라이브러리에는 네트워크 프로토콜, 분산 서비스, 센서

드라이버 및 데이터 취득 도구들이 포함되어 있어 이들 컴포넌트들은 유저 어플리케이션에 따라 효과적으로 사용될 수 있다. 일반적으로 TinyOS 시스템, 라이브러리 및 유저 어플리케이션들은 구조적 컴포넌트 기반 어플리케이션 개발을 위해 개발된 nesC로 작성된다. nesC는 C언어와 유사한 구문체계를 가지고 있으나 네트워크용 임베디드 시스템 설계에서 필수적인 병행성 모델을 지원한다는 특징을 갖는다. 일반적으로 nesC 기반 어플리케이션은 잘 정의된 양방향성 인터페이스들을 갖는 컴포넌트들로 구성되며 task와 하드웨어 이벤트 핸들러를 사용하여 병행성 모델을 지원한다.

### 2.3 통신 메커니즘

본 논문에 사용되어진 센서 네트워크 통신 메커니즘은 TinyOS 패킷 구조인 Active Message(AM)를 기본으로 하고 있다. AM은 하드웨어 융통성을 갖춘 비동기적 통신메커니즘이다. TinyOS에서 AM 패킷은 TOS\_Msg로 사용되며 모든 센서 네트워크용 메시지 내용은 TOS\_Msg에 포함된다. 이러한 TOS\_Msg의 구조는 그림 2와 같다.

```
typedef struct TOS_Msg
{
    uint16_t addr;
    uint8_t type;
    uint8_t group;
    uint8_t length;
    int8_t data[TOSH_DATA_LENGTH];
    uint16_t crc;
    uint16_t strength;
    uint8_t ack;
    uint16_t time;
} TOS_Msg;
```

그림 2. TOS 메시지 구조

여기에서 addr은 목적지 주소(센서 노드 ID 또는 Broadcast 주소)를 나타내며, Group은 센서 네트워크의 센서노드에 채널을 나타낸다. type은 센서 노드가 패킷을 받았을 경우 AM 레벨이라 부르는 핸들러를 나타낸다. length는 TOS\_Msg의 데이터 부분의 길이를 나타낸다. Data는 29바이트의 어레이로 구성되어 있으며, 마지막 2바이트는 송수신 데이터 CRC를 나타낸다. 이와 같이 TOS\_msg는 최대 36byte까지 구성할 수 있다. TinyOS에서 사용되고 있는 표준 통신 메커니즘인 AM 패킷을 나타낸다면 그림3과 같으며, 본 연구에서는 각각의 압력센서의 측정데이터를 Data 파트에 추가하여 구성하였다.

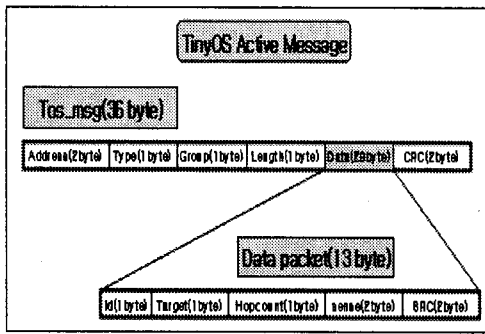


그림 3. Active Message(AM) 구조

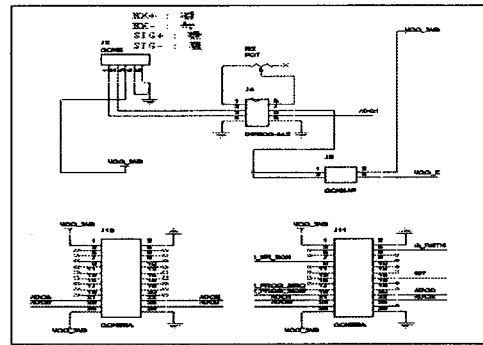


그림 6. 계측모듈 회로 구성도

### 3. 시스템 구성

제안된 센서 네트워크 기반 교량 모니터링 시스템의 그림4와 같다. 시스템 구성은 크게 교량에 설치되는 무선 센서 계측 노드와 Sink node, 그리고 데이터 수집 및 TCP/IP 데이터 전송을 위한 Embedded 시스템과 시스템 모니터링 및 웹서비스를 제공하는 관리자 서버로 구성된다.

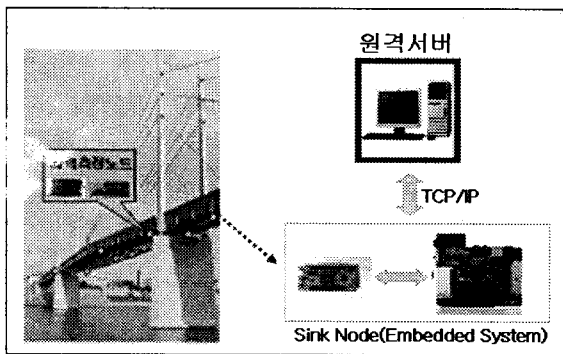


그림 4. 센서 네트워크 기반 교량 모니터링 시스템

#### 3.1 계측모듈

본 연구를 위하여 개발되어진 계측 모듈은 교량에 설치된 변위센서로부터 미세 신호를 받아 들여 노이즈와 같은 외란을 제거 한 후 센서 노드에 AD 변환이 가능한 신호로 전환해주는 기능을 수행하는 인터페이스 모듈이다. 상기 모듈은 증폭회로가 구성되어져 있으며 본 연구에서 사용된 Strain Gauge는 그림 5와 같이 미세 신호를 증폭할 수 있도록 설계되어져 있다.

	MODEL	MU-K05
	Capacity	5Kgf
	Non-linearity	0.05%
	sensitivity	1mV/V

그림 5. 시스템에 사용된 압력센서

#### 3.2 무선 계측 센서 노드

무선 계측 센서노드는 계측모듈에서 가공된 아날로그 신호를 CPU에 내장된 8채널 10비트 A/D 컨버터를 이용하여 디지털 신호로 변환하는 역할과 변환된 데이터를 Sink 노드로 무선 전송하는 역할을 한다. 전송 방법으로는 브로드캐스트 기반 전송 방법을 사용하였다. 브로드캐스팅 전송은 목적지까지 여러 개의 경로를 통해 전송이 이루어져 에너지 효율이 다소 떨어지는 단점을 가지고 있지만 전송 경로 중 한 개의 노드가 손상 되어도 다른 경로를 통해 전송이 이루어지기 때문에 전송의 신뢰성을 높일 수 있어 본 연구에 사용하였다[4].

#### 3.3 Embedded 기반 Sink Node

Sink Node는 정해진 스케줄에 의하여 데이터를 네트워크 모듈로부터 받아 들여 원격지의 서버로 데이터를 전송 (서버에서는 모듈의 환경설정 정보획득 및 수집 모듈에 계측 스케줄 전달)하는 시스템이다. Embedded System은 Windows CE 4.2 Platform Builder에 의해서 설계되어진 Embedded Windows가 탑재 되었으며, Sink node를 운영할 소켓 및 시리얼 인터페이스 프로그램은 Embedded Visual C++4.0으로 설계하였다.

#### 3.4 원격 서버

원격 서버 프로그램은 Visual Basic 6.0으로 개발되었으며 Embedded Sink 노드로부터 TCP/IP 소켓 통신으로 받아들인 현장 계측 정보를 SQL Database server에 저장하고, 측정된 데이터의 현재 값을 관리자가 알아보기 쉽도록 텍스트 창에 디스플레이 해줌과 동시에 센서 값들의 추이를 한눈에 쉽게 파악할 수 있는 그래프화면을 제공한다. 또한 데이터베이스에 저장되어 있는 데이터를 관리자가 원하는 시간을 선택하여 검색할 수 있는 검색기능을 제공한다. 이러한 작업은 현장 무선계측단말기

의 송신 주기에 맞추어 실시간으로 진행되며 만일 서버와 인터넷으로 연결된 원격 클라이언트에서 현재 계측 상태의 모니터링을 요구가 들어오게 되면 웹서버 시스템은 Active-X 및 ASP 기능을 이용하여 원격 클라이언트에 해당되는 자료를 제공한다.

#### 4. 적용 실험

제한된 시스템의 유용성을 확인하기 위해 그림 7과 같은 시스템 모형을 구축하였다. 모형 4개의 압력센서와 4개의 센서노드 그리고 1개의 Sink 노드로 구성되어 있다. 전체 시스템의 동작 시퀀스는 그림 8과 같다.

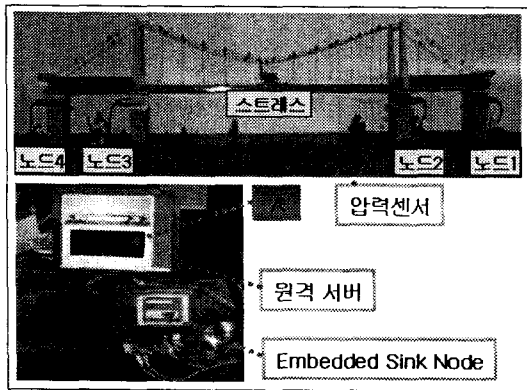


그림 7. 실험을 위해 제작된 교량 모니터링 미니어처

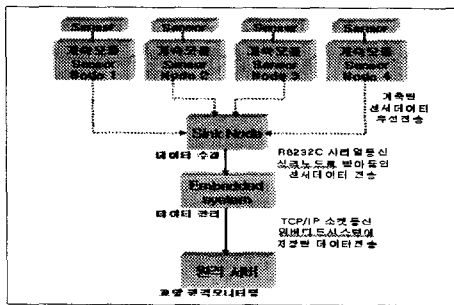


그림 8. 시스템 동작 시퀀스 블록

압력 센서로부터 계측된 데이터는 각각의 센서 노드에서 무선 통신을 통하여 Sink 노드에 전달된다. Sink 노드는 수집된 데이터를 시리얼(RS232c)통신을 통하여 Embedded 시스템에 전달하고 Embedded 시스템은 수집 데이터를 저장한 후 TCP/IP의 소켓 통신을 통하여 데이터를 원격 서버로 전송한다. 실험 모형에서 변화되는 측정데이터를 얻기 위하여 기어 모터 2개를 사용하여 다리 위를 움직이는 모형 자동차를 만들었다. 모형 자동차는 초속 약

1cm정도의 속도로 모형 다리 위를 왕복하며 다리에게 수직 압력 스트레스를 주게 되고 추를 이용하여 자동차의 무게를 변화해 가면서 반복적인 실험을 실행하였다. 실험 결과 자동차의 위치 변화에 따라 변화되는 센서 계측 값이 실시간으로 전송되는 것을 원격 서버 시스템의 모니터를 통하여 실시간적 모니터링이 가능함을 확인할 수 있었다. 그림 9는 상기의 실험 결과를 나타낸 것이다.

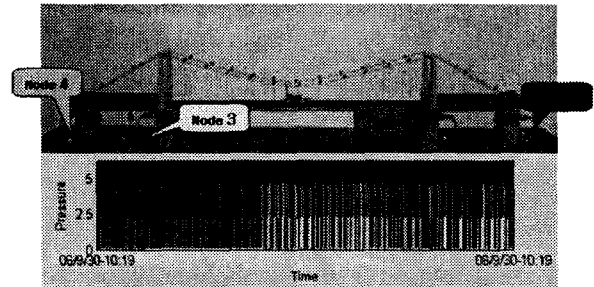


그림 9. 실험 결과

#### 5. 결과

본 연구에서는 위험성이 높고 협소한 지역에서 쉬운 설치 및 교체가 가능한 저 전력 및 저가격 특성을 갖는 센서 네트워크 기반 교량 원격 모니터링 시스템을 제안하였고 상기와 같은 실험을 통하여 유용성을 확인할 수 있었다. 그러나 보다 효율적인 센서 네트워크 기반 교량 원격 모니터링 시스템 설계를 위해서는 센서 노드에 대한 고장 진단 및 검출 알고리즘에 대한 보다 체계적인 연구가 요망된다.

본 연구는 산업자원부 지정 군산대학교 새만금연구센터의 지원에 의한 것입니다.

#### 참 고 문 헌

[1] 이종원, 김재동 “작용응력 측정을 위한 교량 상시감시 기법” 한국구조물진단학회 pp 31 ~ 36, 1999  
 [2] Sensing과 Digital IT기술을 융합한 교량 원격감시제어시스템에 관한 소고  
 [3] T. Nieberg, S. Dulman, P. Havinga, L.v. Hoesel, and J.Wu. Collaborative algorithms for communication in wireless sensor networks. In T. Basten, M. Geilen, and H. de Groot, editors, Ambient Intelligence:Impact on Embedded Systems Design, pp 271~294, 2003.  
 [4] Yogesh Sankarasubramaniam, Ian F. Akyildiz et al., “ESRT: Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Networks”, MobiHoc, 2003