
무선 센서 네트워크 기반의 구조물 안전 감시 시스템

임화정* · 이좌형* · 박총명* · 정인범**

Structure Health Monitoring System based on Wireless Sensor Network

Hwa-jung Lim* · Joa-hyoung Lee* · Chong-myung Park* · In-bum Jung**

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

요 약

최근 센서 네트워크의 발전으로 구조물 안전 시스템에 관한 관심이 증대되고 있다. 구조물 안전 감시 시스템이란 교량이나 도로 등의 구조물이 받는 진동, 외부의 충격, 하중 등의 환경 정보를 감지하는 시스템이다. 구조물 안전 감시 시스템은 이벤트를 감지 및 처리하고, 구조물의 안전 상태를 예상하는 것을 목적으로 하여 운영된다. 현재 구조물 안전 감시 시스템은 아날로그 센서를 이용하여 데이터를 수집하고, 유선망을 사용하여 분석 프로그램으로 전송하고 있다. 이러한 유선 시스템은 높은 정확성을 가지지만, 무선 시스템에 비해 초기 설치비용이 비싸고 연결이 복잡하며 연결선이 유실되는 등의 문제가 있다. 또한 센서 노드의 추가, 삭제가 어렵다. 이러한 유선 구조물 안전 감시 시스템의 문제점을 해결하기 위해 무선 센서 네트워크 기술을 적용한 구조물 안전 관리 시스템을 설계 및 구현하였다.

ABSTRACT

There has been increasing interest in developing Structure Health Monitoring (SHM) system based on wireless sensor network (WSN) due to recent advancement in sensor network technologies. SHM is the continuous monitoring of the condition such a acceleration or load of a structure. The SHM system works, which measure key structure parameters systematically, provide information in evaluation of structure integrity, durability and reliability. Currently SHM system collects data via analog sensor and then sends to analysis application through the wired network. The wire system support high accuracy, but suffers the disadvantages in installation costs, complexity of connection and loss of line. It's also difficult to add new sensor nodes. We design and implement the SHM system based on WSN technology to solve those problems.

키워드

Swisen, 무선 센서 네트워크, 구조물 안전 관리, SHM

* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정
** 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수 (교신저자)

접수일자 : 2007. 9. 17

I. 서 론

무선 센서 네트워크 기술을 적용한 구조물 감시 시스템은 구조물에 설치된 많은 양의 센서들이 네트워크를 형성하고, 구조물의 충격이나 진동 등을 감지하여 싱크(Sink) 노드로 감지한 정보를 전송한다. 현재 이러한 감시 시스템은 병원이나 댐같이 크고 중요한 구조물에 설치되어 운용되고 있다. 예를 들면, 캘리포니아에서는 길이가 61m인 다리에 900개의 서로 다른 센서를 설치하여 피해를 감지 실험을 하였고[1], 유럽에서는 외부 도로와 긴 다리로 구부러진 콘크리트 다리에 섬유 계통의 센서를 이용하여 감지 실험을 하였다[2].

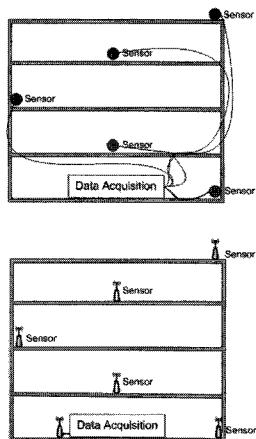


그림 1. 구조물 감시 시스템(유선, 무선).
Fig 1. Structure Monitoring System(wired, wireless)

현재 구조물 감시 시스템은 센서에서 감지한 정보를 유선으로 싱크 노드로 전송하는 구조이다. 이러한 시스템은 높은 정확성을 가지지만, 무선에 비해 초기 설치비용이 비싸고, 그림 1에서 보는 바와 같이 연결이 복잡한 단점이 있다.

본 논문에서는 유선으로 연결된 기존의 안전 감시 시스템의 문제점을 해결하기 위해 무선 센서 네트워크를 이용한 안전 감시 시스템을 구성하였으며, 일반적인 센서가 감지 할 수 있는 가속도, 온도, 습도, 강도, 위치 등의 정보들 중 구조물이 받는 하중과 가속도 정보를 바탕으로 Swisen (Structural health monitoring system of bridge

based on Wireless SEnsor Network)을 설계 및 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템을 구성하는 무선 센서 네트워크와 이를 구조물 안전 감시 시스템에 적용한 연구들을 설명한다. 3장에서는 Swisen에 대하여 설명하고, 4, 5장에서는 Swisen의 하드웨어와 소프트웨어, 웹 기반 실시간 모니터링 소프트웨어를 설명한다. 6장에서는 Swisen 시스템을 동일한 조건의 유선 시스템과 실험을 통하여 비교 및 분석한다. 마지막으로 7장에서 결론을 맺고 향후 연구 계획을 설명한다.

II. 관련 연구

무선 센서 네트워크는 각 노드에 환경 정보를 감지하는 센서가 달려 있고, 수집한 정보를 가공할 수 있는 프로세서가 달려 있으며, 이를 전송할 수 있는 무선 송수신기를 갖춘 소형장치, 즉, 센서 노드로 구성된 네트워크를 의미한다. 센서 노드는 열악한 환경 속에서 동작하므로 기능 수행 시 장애가 발생할 수 있고 노드의 추가, 삭제로 인해 네트워크 토플로지가 매우 빈번하게 변경될 수 있다. 기존의 네트워크는 일대일 통신이 고려 대상이었지만, 센서 네트워크에서는 브로드캐스팅 패러다임이 주로 이용된다. 센서 노드들은 전원, 메모리를 비롯한 하드웨어 자원과 CPU의 계산능력이 매우 제한된다. 또한 센서 노드들은 하나의 목적물을 위하여 배치된 수가 많기 때문에 IP 주소와 같은 국제적인 식별자를 갖는 것이 어렵다[3]. 최근 이러한 특징을 가지는 센서 네트워크를 이용한 구조물 안전감시 시스템이 많이 연구되고 있다.

구조물의 파손을 찾아내고 상태를 감시하는 일련의 과정을 구조물 안전 감시 (Structural Health Monitoring, SHM)라고 한다. SHM을 구현하기 위한 다양한 방법들이 시도되어 왔다. 전통적인 방법으로 구조물의 상태를 육안으로 확인하는 방법이 있다. 하지만 이 방법은 가시적인 증상만을 발견할 수 있고, 관찰자의 판단이 항상 정확하지 않을 수 있는 문제를 가지고 있다. 다른 방법으로는 구조물의 내부 상태를 분석하는 진단 장비를 사용하는 것이다. 이 방법은 지역적인 부분의 피해 정도를 파악할 수 있지만, 구조물 전체적인 감시 시스템에는 적합하지 않다. 센서 네트워크를 이용하여 앞서 설명한 방법들

의 문제점을 개선하여 효율적이고 신뢰성 있는 시스템을 설계할 수 있다[4].

무선 센서 네트워크는 초기에 군사적 목적으로 사용하기 위해 개발되었지만, 현재는 많은 응용 분야에서 연구가 진행되고 있다. 무선 센서 네트워크를 이용한 어플리케이션은 구조물 안전성 감시, 서식지 감시, 환경 감시 등에 이용된다[5,6]. 대표적으로 UC Berkeley의 WEBS, USC의 Wisden 등 많은 연구가 진행 중이다.

WEBS는 UC Berkeley 대학에서 진행되는 프로젝트로 하드웨어 및 운영체제에서 응용에 이르기까지 센서 네트워크의 전반적인 분야를 다루고 있다. 그 중 네트워크 임베디드 시스템을 지원하기 위한 소프트웨어/하드웨어 플랫폼을 개발하는 NEST는 센서 네트워크를 위한 운영체제인 TinyOS, 시뮬레이터인 TOSSIM, 가상머신인 Mate, 컴파일러인 NesC, 질의 처리 시스템인 TinyDB 등을 비롯하여 센서 네트워크 응용까지 광범위한 분야에 걸쳐 연구를 진행하고 있다[7].

Wisden은 USC (University of Southern California)에서 진행하고 있는 구조물의 안전 감시를 위한 프로젝트이다[8]. Wisden에서는 확실한 데이터 전송을 위한 NACK 메커니즘을 이용한 에러 회복기법을 사용한다. 또한 전송 데이터의 양을 줄이기 위하여 wavelet 기반의 압축 기법을 사용하고, 네트워크 안에서 하나의 노드가 샘플링에 걸리는 시간을 계산한 뒤, 싱크 노드가 가지는 시간과의 차이를 통하여 시간 동기화를 이룬다.

III. Swisen

Swisen에서는 하중과 가속도를 측정하는 2개의 시스템과 인터넷을 통해 감시가 가능한 소프트웨어로 구성된다. 하중 측정 시스템인 MeasureLoad는 LVDT 센서를 이용하여 도로, 노면의 하중을 측정하기 위한 시스템이고, MultiHopAccel은 MTS310CA 보드의 가속도 센서를 이용하여 구조물이 받는 가속도를 측정하기 위한 시스템이다. 각 시스템은 데이터베이스와 연동하여 감시 프로그램인 RTMonitor을 통하여, 인터넷을 이용한 실시간 감시가 가능하다.

- 하중 측정 시스템 (MeasureLoad) : 구조물의 하중을 파악하기 위한 시스템이다. 유선 시스템에서 사용되는 LVDT 센서를 센서 노드에 연결하여 구축하였다.

- 가속도 측정 시스템 (MultiHopAccel) : 구조물의 진동을 측정하기 위한 시스템이다. 구조물의 여러 지점에 노드를 설치하여 동시에 측정이 가능하도록 싱크 노드로 부터의 시간동기화가 가능한 특징이 있다. 원거리 무선통신을 위해 멀티 흡 라우터의 기능을 수행한다.

- 실시간 감시 소프트웨어 (RTMonitor) : 위의 각 시스템으로부터의 모든 데이터는 데이터베이스에 저장된다. 감지한 시간에 따라 저장된 데이터를 확인하고, 또한 실시간으로 확인하는 기능을 제공한다.

IV. Swisen 하드웨어

그림 2는 Swisen의 하드웨어 구성을 나타낸다. 시스템은 교량 및 노면의 하중을 감지하는 LVDT 센서, 감지된 아날로그 신호를 센서 노드로 전달하는 MDA300CA와 수신된 데이터를 처리하는 호스트 PC로 구성되어 있다. 사용한 통신 모트는 UC Berkeley의 Micaz 모트이고, LVDT 센서를 모트에 연결하기 위한 데이터 수집 보드(Data Acquisition Board)로 MDA300CA 보드를 사용하였다.

LVDT (SDP-100C)는 하중을 측정하기 위한, Strain Gauge 식의 일반 변위계이다. 정격출력은 $2.5mV \pm 0.5mV$, 권장인가전압은 2V이하이고, 허용인가전압은 5V이다. 본 연구에서는 전압발생기를 이용하여 2V의 전압을 인가하였다.

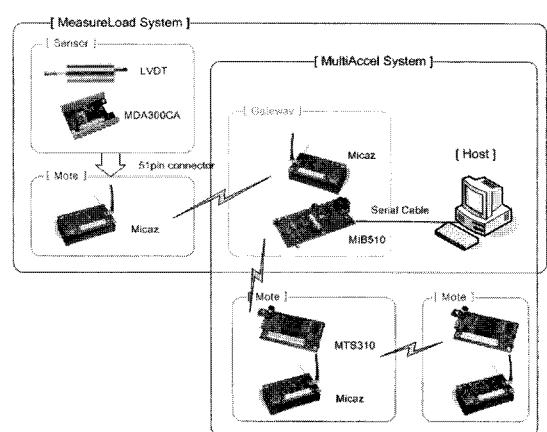
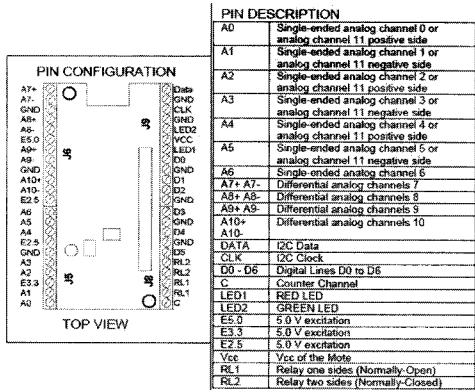


그림 2. Swisen 하드웨어 구성도.
Fig 2. Hardware Architecture of Swisen

그림 3은 데이터 센싱 보드의 하나인 MDA300CA의 내부 구성과 각 채널의 정보이다. 센서를 연결할 수 있는 아날로그 채널 (A0~A13)과 디지털 채널 (D0~D5), 카운터 채널, 온도와 습도를 측정하는 내부 센서를 위한 내부 채널, 릴레이 채널이 있고, 이외에도 외부센서에 전원을 공급하는 External Sensors Excitation과 LEDs, VCC로 구성된 센서 보드이다. 본 실험에서는 LVDT의 정격 출력을 고려하여 허용인가 전압이 $\pm 12.5\text{mV}$ 인 Differential Precision Analog Signals의 A7 채널을 사용하였다.



공급 장치에서 전압을 인가하면, Main 컴포넌트는 사용할 컴포넌트들을 초기화한다.

Micaz 모드에서 MDA300CA로부터 데이터를 샘플링하는 과정은 다음과 같다. init 과정에서 타이머 컴포넌트 등 사용되는 컴포넌트들을 초기화하며 프로그램을 시작한다. 타이머는 정해진 시간마다 이벤트를 발생시키고 이벤트 발생시 ADC(Analog to Digital Converter) 컴포넌트에서 GetData() 함수를 통해 MDA300CA의 아날로그 채널로부터 데이터를 샘플링하고 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한다. 데이터 샘플링이 완료되면 이벤트가 발생하며 이벤트 처리 루틴에서 버퍼에 데이터를 적재한다. 데이터가 버퍼에 가득 차면 패킷화한 후 RF 통신을 이용하여 싱크 노드로 전송한다.

전송이 완료되면 sendDone 이벤트 핸들러가 호출된다. sendDone에서는 전송에 실패하는 경우를 대비하여 패킷 재전송 기능을 추가하였다.

MultiHopAccel은 MTS310CA 센서 보드로부터 감지한 가속도 데이터를 샘플링하고, 샘플링 된 데이터를 패킷으로 만든다. 생성된 패킷은 통신 모드를 통해 이웃 노드들에게 브로드캐스트 방법을 사용하여 전송하게 된다. 단, 싱크 노드에서 전송을 받으면 연결된 호스트 PC로 데이터를 전달하게 된다. MultiHopAccel에서의 모든 노드들은 싱크 노드가 가지는 시간에 동기화를 이루고, 멀티 흡 라우팅 기능을 지원한다.

MeasureLoad에서는 시간 동기를 위한 리셋 명령을 단순히 싱크 노드와 인접한 노드에만 브로드캐스팅 하였다. 이를 개선하여 멀티 흡 기능을 추가하여 멀리 있는 노드들에서도 시간동기 정보를 전송하도록 하기 위해 중간 노드에서도 Broadcast 라이브러리를 사용하여 리셋 명령 패킷을 브로드캐스팅 하도록 하였다.

PC용 오실로스코프 소프트웨어에서 브로드캐스팅 패킷을 만들어 전송을 하면 수신한 노드는 시퀀스 번호를 확인하여 기존 시퀀스 번호보다 큰 경우에만 수신한 패킷을 다시 브로드캐스팅 하도록 함으로써 패킷이 중복적으로 브로드캐스팅 되는 것을 방지하였다. 또한 패킷을 수신한 노드는 패킷에 저장된 시간정보로 시간을 동기화하고, 패킷을 다시 이웃 노드들에 브로드캐스팅 하도록 함으로써 네트워크내의 통신 가능한 모든 노드들이 시간을 동기화 할 수 있도록 하였다.

센서 노드들은 광범위한 지역에 설치되고, 통신 거리의 제약으로 인해 하나의 노드에서 여러 노드를 거쳐 데

이터를 전송하는 기술이 필요하다. 그림 5의 멀티 흡 기능을 위한 MultiHop 컴포넌트는 MultiHopRouter 라이브러리를 이용하였다. MultiHop 컴포넌트는 노드의 흡 수와 링크 품질을 고려하여 라우팅 트리에서의 부모 노드를 설정하며, 싱크 노드를 루트로 하는 라우팅 트리를 구성하여 수집된 데이터를 싱크 노드로 전송할 수 있게 한다.

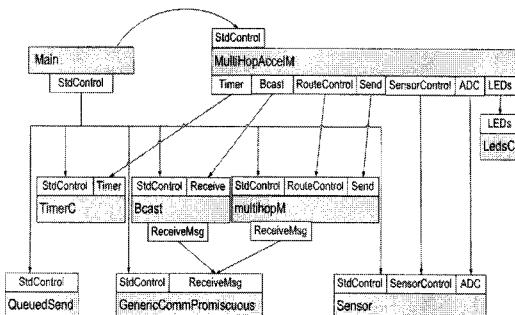


그림 5. MultiHopAccel 컴포넌트 관계도.
Fig. 5. Component Diagram of MultiHopAccel

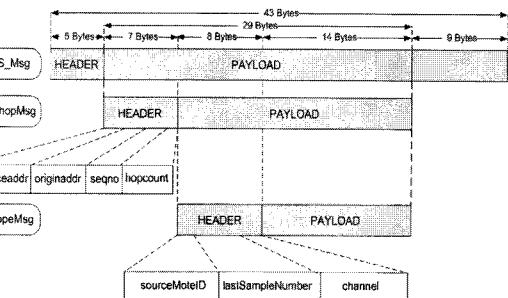


그림 6. MultiHopAccel 패킷 구조도.
Fig. 6. Packet Architecture of MultiHopAccel

Swisen에서는 여러 종류의 메시지 타입을 사용한다. 메시지는 데이터 전송을 위한 메시지와 리셋 명령을 위한 메시지로 나눌 수 있다. 또한 데이터 전송에 사용하는 메시지는 그림 6과 7에서 보는 바와 같이 TinyOS의 기본 메시지 타입인 TOS_Msg, 감지한 데이터 결과 확인 이플리케이션을 위한 OscopeMsg, 멀티 흡 전송을 위한 MultihopMsg로 나누어진다.

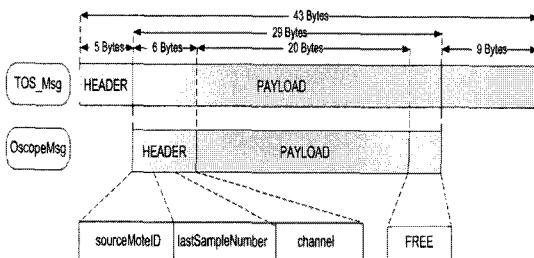


그림 7. MeasureLoad 패킷 구조도.
Fig 7. Packet Architecture of MeasureLoad

Oscilloscope 프로그램은 호스트 PC에서 동작하며, ID에 따라 전송된 패킷을 그래프로 보여주는 기능을 한다. 전송된 TOS_Msg 메시지를 노드 ID, 패킷 넘버, 채널 ID에 따라 Oscilloscope 화면에 출력하고, 데이터베이스와 연동되어 데이터를 저장하고, 저장된 데이터를 다시 그레프로 볼 수 있는 기능을 제공한다.

WEB 기반 실시간 감시 시스템인 RTMonitor는 사용자에게 감시를 쉽게 할 수 있는 인터페이스를 제공하기 위한 소프트웨어이다. 사용자는 인터넷을 통하여 특정 시간에 측정된 정보나 실시간으로 측정되는 정보를 위치 또는 시간에 따라 쉽게 확인 할 수 있다. 그림 8은 MultiHopAccel 필드 실험에서 2개의 노드만을 선택하여 실시간 감시소프트웨어를 통해 확인하는 화면이다.

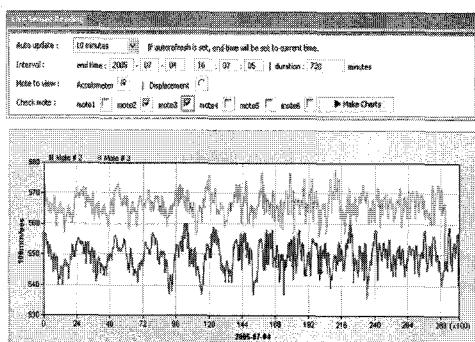


그림 8. RTMonitor 실행 화면.

VI. 실험 및 평가

실험은 실내 실험과 현장 실험 두 가지로 진행하였다.

실내 실험은 제작한 인공 구조물에 유무선 센서와 진동을 발생하는 가진기를 장착하여 구조물이 받는 하중을 유선 센서와 무선 센서를 통해 측정된 데이터를 비교하는 방식으로 실험하였다. 현장 실험은 실제 교량에 유무선 가속도 센서를 설치하여 구조물이 받는 가속도를 비교하였다.

6.1 MeasureLoad 실험

6.1.1 실험 환경

본 연구에서는 축소모형을 이용하여 하중의 측정값을 비교 및 분석함으로써 무선 센서 네트워크를 이용한 구조물 안전 감시 시스템의 신뢰성을 검증하였다. 대상 구조물은 그림 9와 같이 5층의 빼대구조물로 구조물의 전체높이는 2m이고, 넓이는 0.5m, 폭은 0.1m이며, 두께가 0.002m인 강판으로 구성된다. 구조물에 대한 실험은 구조물에 설치된 가진 장치를 이용하여 랜덤하게 진동을 발생시키고 2개의 LVDT 센서를 이용하여 유선으로 연결된 동적측정기와 무선으로 동작하는 싱크 노드에서 동일한 시간에 측정한 값을 비교하였다.

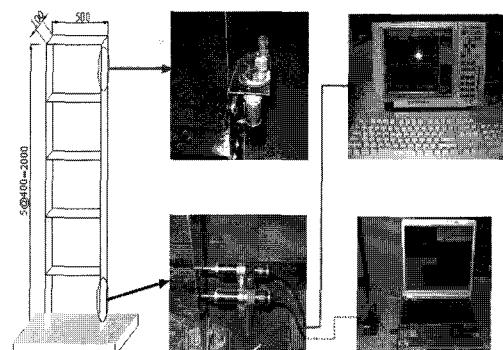


그림 9. 실험환경
Fig 9. Experiment Environment

6.1.2 실험 결과 및 분석

실험은 하나의 진동판에 LVDT 센서 2개를 부착하고, 센서를 토목분야에서 사용되는 유선 계측기와 Micaz 모드에 각각 연결하여 같은 진동에 대하여 변위 값을 측정하였다. 그림 10, 11은 시간에 따른 유·무선 센서의 변위 값이다. 토목분야에서 사용되는 기존의 유선 측정기는 LVDT 센서에서 발생하는 전압을 mm 단위로 환산하여 결과를 출력하지만, 센서 네트워크를 이용한 방법에서

는 결과 값이 mm 단위가 아닌 ADC에서 변환된 디지털화한 값을 나타내기 때문에 값의 차이가 발생한다. 하지만 데이터가 다르더라도 결과 값의 변화율이 같게 나타난다면, RF를 이용한 측정값이 유효하다고 할 수 있다.

데이터 수집은 샘플링 주파수를 200Hz, 측정시간을 10초로 하였다. 데이터의 비교평가 기준은 유선으로 수집된 데이터가 정확하다고 가정하고, 무선 센서로 수집된 데이터와의 불일치율을 비교하는 것으로 하였다.

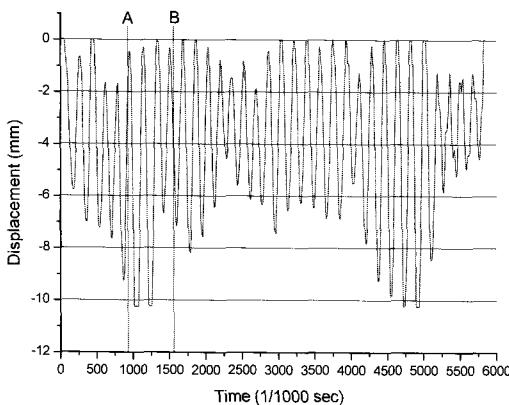


그림 10. 유선 측정기를 이용한 변위 측정값.
Fig 10. Distance Value measured by Wired Measurement

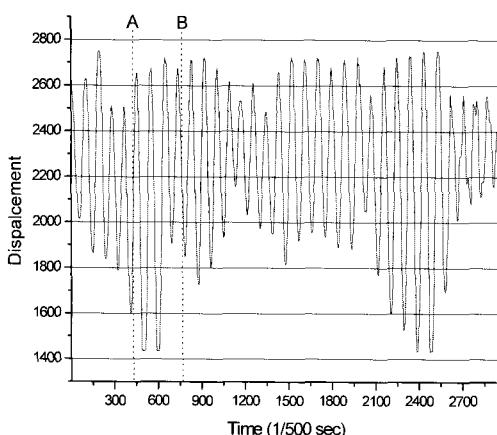


그림 11. Swisen을 이용한 변위 측정값.
Fig 11. Distance Value measured by Swisen

그림 10, 11에서 알 수 있듯이 유선 및 무선 테이터의 파형의 형태가 전체적으로 유사한 파형을 보여준다. 초기 부분과 측정의 끝부분에서는 두 데이터의 차이가 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 원인은 무선센서를 이용하여 데이터를 실시간으로 수집하기 위해서는 센싱한 데이터를 패킷화하는데 걸리는 시간, 데이터 패킷을 시리얼 포트를 통하여 데이터를 전송하기 위한 준비 시간 등으로 인하여 유선 데이터와의 차이가 발생하는 것으로 판단된다.

표 1. 변위 측정 데이터 결과 분석.
Table 1. Data Evaluation of Distance Measurement

기존 유선 계측기	Micaz		증감비율 (I)	오차율 (E)	
	변위	증감(X)	변위	증감(Y)	
-0.51		2642			
-10.24	-9.73	1434	-1208	124.15	0.01
-0.335	9.905	2668	1234	124.58	0.33
-10.24	-9.905	1433	-1235	124.68	0.42
0	10.24	2710	1277	124.71	0.43
-6.615	-6.615	1896	-814	123.05	0.89
-0.335	6.28	2675	779	124.04	0.10
-7.16	-6.825	1829	-846	123.96	0.17

$$I = \frac{Y}{X} \quad \text{식(1)}$$

$$E = \left| \frac{I \times n}{\sum_{k=1}^n I_k} - RIGHT \right| \times 100 \quad \text{식(2)}$$

표 1은 그림 10, 11의 구간 A-B에서 시간에 따른 변위 데이터를 분석한 표이며, 유선 계측기와 센서 노드를 이용해 측정한 변위값, 값의 증감(X, Y), 증감 비율(I)과 증감 비율의 오차율(E)을 나타내었다. 증감 비율 및 오차율은 식(1)과 식(2)를 이용해 구할 수 있다.

6.2 MultiHopAccel 실험

6.2.1 실험 환경

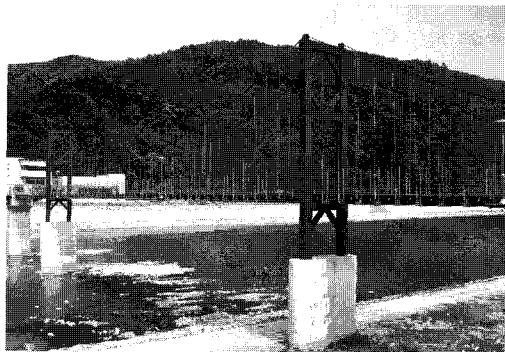


그림 12. 현장 실험 대상 교량.
Fig 12. Target Bridge of Measurement

현장 실험의 대상구조물은 그림 12의 강원도 화천에 있는 교량의 길이가 77m인 보도용 현수교이다. 그림 13에서 보는 바와 같이 베이스 노드는 교량의 끝에서부터 21m 지점에 설치하고(D지점), 무선 가속도계는 0m, 6m, 12m, 30m, 36m 지점(A, B, C, E, F지점)에 총 5개를 설치하였다. 또한 유선 가속도계는 그림 14에서 보는 바와 같이 동일한 환경에서의 측정을 위해 무선 가속도계와 동일한 지점인 12m, 30m의 두 지점(C, E지점)에 설치하였다.

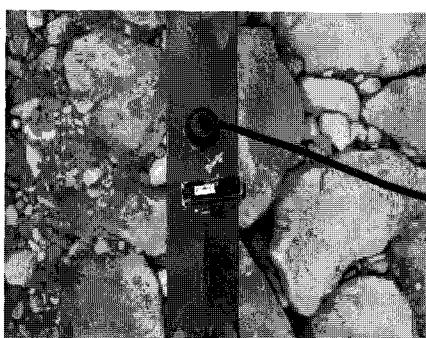


그림 13. 유무선 가속도계.
Strain Gage (Wired, Wireless)

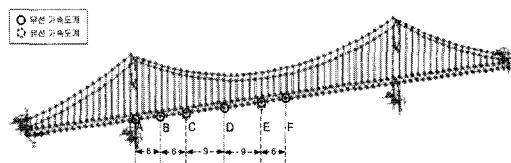


그림 14. 센서 노드 배치.
Fig 14. Location of Sensor Node

6.2.2 실험 결과 및 분석

표 2는 실제 5개의 노드를 교량 구조물 위에 그림 14에서의 위치에 배치하여 얻은 수신 패킷수와 패킷 손실률이다. 실험은 보행자가 교량 구조물에 진동을 가하였고, 진동에 따른 가속도를 측정하였다. 실험에서의 데이터 샘플링 주기는 100Hz, 측정 시간은 10초이다. 각 노드의 전송되어야 하는 전체 패킷수당 손실 패킷의 수로 패킷 손실률을 나타내었다. 이러한 패킷 손실률은 노드들 사이의 무선 전송과 게이트웨이 및 호스트 PC 사이의 시리얼 케이블을 이용한 전송에서의 패킷 손실로 판단된다. 또한 유무선 센서를 이용하여 대상 교량에 대한 가속도를 측정하였다. 유무선 센서를 이용한 가속도 측정 결과를 그림 15와 16에 나타내었다. 그림 15와 16을 통해 동일한 지점에 설치된(C지점) 유무선 센서로부터의 측정값이 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 2. 수신 패킷수와 패킷 손실률.
Number of Received Packets and Rate of Packet Loss

	노드 1	노드 2	노드 3	노드 4	노드 5
수신 패킷수	10,000	9,955	9,857	9,605	9,800
패킷 손실률	0%	0.45%	1.43%	3.95%	2%

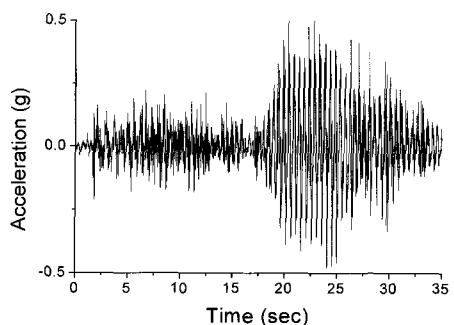


그림 15. 유선 측정 결과.
Fig 15. Result of Wired Measurement

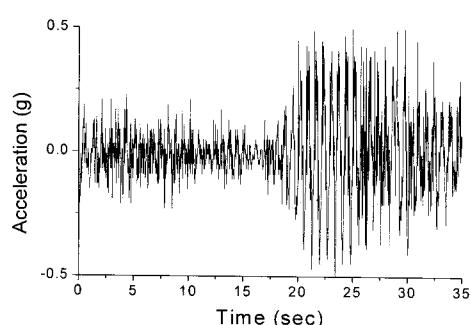


그림 16. 무선 측정 결과.
Fig 16. Reult of Wireless Measurement

VII. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 센서 네트워크를 이용한 교량 안전진단을 위한 시스템을 설계 및 구현하였다. 안전진단을 위해 일반적으로 눈으로 확인하거나 유선 계측 장비를 이용하는 방법을 사용한다. 하지만 센서 네트워크를 이용하여 유선 시스템을 사용할 경우에 발생할 수 있는 문제를 해결할 수 있다. 또한 실내 구조물 하중 측정 실험과 실제 교량에서의 가속도 측정 실험을 통해 센서 네트워크 사용의 유효성을 확인하였다. 기존 유선 측정 시스템과 센서 네트워크를 이용한 측정 시스템을 이용하여 동시에 구조물 및 교량의 하중과 가속도를 측정하여 결과값을 비교하는 실험을 수행하였다. 실험 결과에서 사용 센서의 민감도의 차이와 무선 통신 및 시리얼 통신시 발생하는 데이터 손실로 인해 유선 측정값과 센서 네트워크를 이용한 측정값의 차이가 발생하였다. 또한 구조물의 안전성 판별 및 상태를 사전 예방하기 위하여 센서들로부터 전송되는 데이터들에 대한 데이터베이스를 구축하였고, 이를 웹을 통해 실시간으로 확인 가능한 모니터링 시스템을 구축하였다.

향후에는 감지 센서가 수집할 수 있는 온도, 습도, 가속도, 위치 등 여러 가지 정보를 다수의 센서에서 수집하는 시스템을 구현할 것이다. 또한 여러 센서들이 연결된 무선 네트워크 환경에서의 효율적인 처리를 위한 라우팅기법, 시간동기화, 에너지 효율에 관한 연구를 진행하고자 한다.

참고문헌

- [1] Hipley P. "Caltrans' Current State-of-Practice" Proceedings of International Systems for Diagnostics of Seismic Response of Bridges and Dams. Consortium of Organizations for Strong-Motion Observation Systems pp.3-7 January 2001.
- [2] Inaudi D, S. Vurpillot "Monitoring of concrete bridges with long-gage fiber optic sensors" Journal of Intelligent Material Systems and Structures 7 pp.199-208 1999.
- [3] Akyildiz, I.F., W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci "A Survey On Sensor Networks" IEEE Communications Magazine pp.102-114 August 2002.
- [4] A. Basharat, N. Catbas, M. Shah "A Framework for Intelligent Sensor Network with Video Camera for Structural Health Monitoring of Bridges" Proceedings of Third IEEE International Conference on PerCom March 2005.
- [5] Arslan Basharat, Necati Catbas, Mubarak Shah "A Framework for Intelligent Sensor Network With Video Camera for Structural Health Monitoring of Bridges" Proceedings of Third IEEE International Conference on PerCom March 2005.
- [6] A. Mainwaring, D. Culler, J. Polastre, R. Szewczyk, John Anderson "Wireless sensor networks for habitat monitoring" Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications pp.88-97 September 2002.
- [7] UC Berkeley University, WEBS(Wireless EmBedded systems) <http://webs.cs.berkeley.edu>
- [8] J. Paek, K. Chintalapudi, J. Caffrey, R. Govindan, S. Masri, "A Wireless Sensor Network for Structural Health Monitoring: Performance and Experience," The Second IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNetS-II), May 2005.

저자소개



임 화 정(Hwa-Jung Lim)

1999년 상지대학교 행정학과(학사)
2003년 상지대학교 컴퓨터정보공학과
(공학석사)
2007년 강원대학교 컴퓨터정보통신
공학과(박사수료)

※관심 분야: 센서네트워크, 유비쿼터스, 시스템 및
보안



이 죄 형(Joa-Hyoung Lee)

2003년 강원대학교 정보통신공학과
(공학사)
2005년 강원대학교 컴퓨터정보통신
공학과(공학석사)

2005년 ~ 현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
(박사과정)

※관심 분야: 멀티미디어 시스템, 센서 네트워크



박 총 명(Chong-Myung Park)

1995년 강원대학교 정보통신공학과
(공학사)
2007년 강원대학교 컴퓨터정보통신
공학과(공학석사)

2007년 ~ 현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
(박사과정)

※관심분야: 센서네트워크, 멀티미디어 시스템



정 인 범(In-Bum Jung)

1985년 고려대학교 전자공학과 학사.
1985년~1995년 (주)삼성전자 컴퓨터
시스템사업부 선임 연구원.
1992년~1994년 한국과학기술원 정보
통신공학과 석사

1995년~2000년 8월 한국과학기술원 전산학과 박사
2001년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수

※관심분야: 운영체제, 소프트웨어 공학, 멀티미디어
시스템, 센서네트워크