

무선 센서네트워크에서 다중 가속도 측정 시스템

김동국, 정인범
강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
dkkim, ibjung@snslab.kangwon.ac.kr

Multiple Accelerometer Estimation System Based on Wireless Sensor Network

Dong-Gook Kim, In-Bum Jung
Dept. of Computer, Infomation and Telecommunication
Engineering, Kangwon National University

요 약

지금까지의 주변 환경 정보를 감지 및 분석하는 구조물 감시 시스템은 유선으로 구성되었다. 이러한 유선 시스템이 가지는 단점들을 해결하기 위해 무선 센서 네트워크를 이용한 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 무선 센서 네트워크란 지역적으로 배치된 많은 수의 센싱 노드들 사이에서 데이터를 수집, 가공 및 무선으로 전송하는 하나의 네트워크이다. 본 연구에서는 센서 네트워크를 이용한 구조물 감시 시스템을 구현하고 성능을 측정하였다. 제안된 시스템에서의 가속도 측정 소프트웨어인 MultiHopAccel은 많은 센서 노드들 사이에서의 데이터 전송을 위한 멀티 홉 라우팅 기능과, 네트워크 내의 모든 노드들이 동일한 시간을 유지하기 위한 시간 동기화 기능을 제공한다. 본 연구에서는 MultiHopAccel을 통하여 센서 노드에 저장된 데이터들을 분석하고, 인터넷을 통하여 센서 노드들의 동작을 원격 감시 할 수 있음을 보인다.

1. 서론

구조물 감시 시스템은 교량이나 도로 등의 구조물의 움직임을 감지, 수집, 분석하는 시스템이다. 이러한 시스템은 주변에 발생하는 변화를 측정하여 구조물의 상태를 감시할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 Swisen (Structural health monitoring system based on *W*ireless *S*ensor *N*etwork)는 구조물의 상태를 감지하여 사용자에게 필요한 정보를 전달하는 시스템이다.

기존에 유선으로 구성된 구조물 감시 시스템은 노드의 추가, 삭제가 불편하고, 연결선의 복잡성, 연결선의 유실 등의 문제들을 가진다. 이에 따라 구조물 감시 시스템에 무선 센서 네트워크를 적용하는 연구들이 많이 진행되고 있다[1, 2, 3].

무선 센서 네트워크는 광범위한 지역에 센서 노

드들을 설치하여 데이터를 전송하기 때문에 베이스 노드와 통신 거리 밖에 있는 노드는 베이스 노드까지의 데이터 전송을 위해 멀티 홉 라우팅 방법이 요구된다. 이에 따라 기존의 라우팅 기법을 이용하여 자체 구성능력 등, 센서 네트워크가 가지는 특성을 적용한 기법들이 제안되고 있다[4]. 이러한 센서 네트워크에서는 많은 수의 노드들로 구성되므로 노드들 사이에서의 시간 동기화를 고려해야한다. 이에 센서 네트워크가 가지는 특성인 저전력, 낮은 컴퓨팅 등을 고려한 시간동기화 기법들이 제안되고 있다 [5, 6].

본 논문에서는 Micaz와 MTS310CA를 이용하여 멀티 홉 라우팅 기능과 시간 동기화 기능을 가진 가속도 측정 소프트웨어인 MultiHopAccel이 탑재된 Swisen 시스템을 제안한다. Swisen 시스템을 실제 교량 구조물에 설치한 후 실험을 통하여, Swisen의 성능을 측정한다.

* 본 논문은 산학협력중심대학사업에 의해 지원되었음

* 본 논문은 IT협동연구센터에 의해 지원되었음

* 본 논문은 강원대학교 두뇌한국21사업에 의해 지원되었음.

2. 관련 연구

Wisden[1]은 USC (University of Southern California)에서 진행하고 있는 구조물의 안전 감시를 위한 프로젝트이다. Wisden에서는 정확한 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, 베이스 노드가 가지는 시간과의 차이를 통하여 시간 동기화를 이룬다.

센서 네트워크에 적합한 시간 동기화를 위해 제안된 방법 중의 하나인 RBS[6]는 기존의 NTP를 기반으로 하여 브로드캐스트 기능을 추가한 방법이다. 또한 RBS에서는 시간 오차를 줄이기 위해 전송(Send) 지연시간과 접속(Access) 지연시간 후에 시간정보를 저장하여, 전송, 접속 지연시간에 따른 오차를 무시한다.

3. Swisen 시스템 구성

3.1 하드웨어 구성

가속도 센서 보드로 MTS310CA를 사용하였다. MTS310CA는 소리, 온도, 빛, 자기력, 가속도를 감지하는 센서 보드로 본 연구에서는 두개의 축을 센싱 할 수 있는 가속도계 센서를 이용한다.

아래의 그림 1은 Swisen 하드웨어의 구성을 보여준다. Micaz은 센서 노드와 베이스 노드사이에서 데이터를 무선으로 전송하기 위한 통신 모트이다. 센서 보드와 연결하여 하나의 모트를 구성하고, 프로그래밍 보드인 MIB510 보드와 연결하여 호스트 컴퓨터에서의 프로그램을 업로드 또는 데이터를 수신 및 전달하는 게이트웨이를 구성한다. Micaz은 2.4GHz의 주파수 대역을 사용하고, 250Kbps의 대역폭으로 데이터를 전송한다.

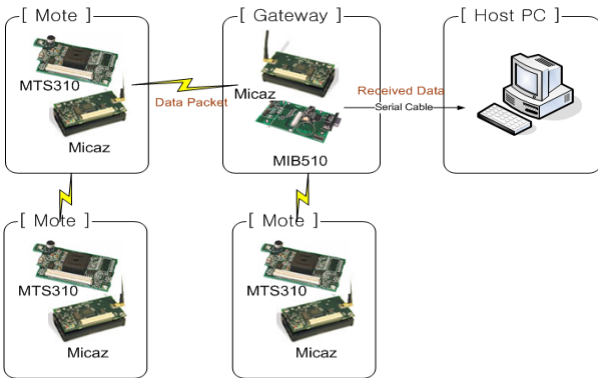


그림 1. Swisen 하드웨어 구성도.

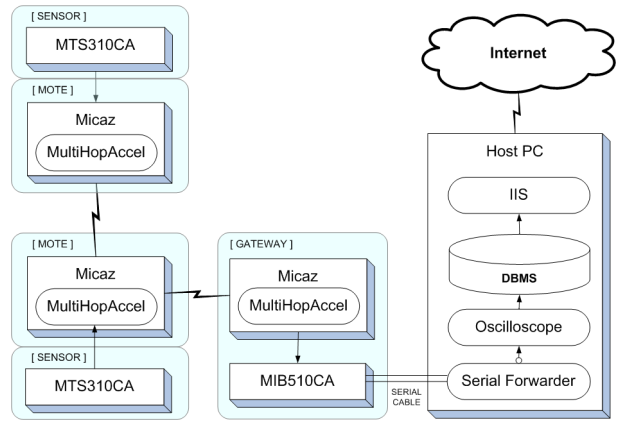


그림 2. Swisen 소프트웨어 구성도.

3.2 소프트웨어 구성

소프트웨어는 TinyOS를 사용하여 구현하였다. 실험에서 사용하는 프로그램은 크게 3가지로 구성된다. 그림 2는 2개의 센서 노드와 게이트웨이, 호스트 컴퓨터로 구성된 시스템과 데이터의 흐름을 보여준다.

MultiHopAccel은 센서 보드로부터 센싱한 데이터를 샘플링하고, 이것을 패킷으로 만들어 통신 모트를 통해 이웃 모트에게 전송하게 된다. 단, 베이스 노드에서 전송을 받으면 연결된 호스트 컴퓨터로 데이터를 전송하게 된다. Oscilloscope는 각 모트의 ID에 따라 전송된 패킷을 그래프로 보여주는 기능을 한다. 데이터베이스와 연동되어 전송된 데이터를 저장하고, 저장된 데이터를 다시 그래프로 볼 수 있는 기능을 제공한다. 또한 사용자에게 감시를 쉽게 할 수 있는 인터페이스를 제공하기 위하여 실시간 감시 소프트웨어를 구현하였다. 이를 이용하여 사용자는 인터넷을 통하여 실시간으로 센서에서 측정되는 정보를 위치나 시간에 따라 쉽게 확인 할 수 있다.

4. 구현

Swisen은 가속도를 센싱하여 전송받은 데이터를 화면에 보여주는 기능을 가진다. 또한 데이터베이스에 저장하는 기능, 저장된 데이터베이스를 실시간으로 인터넷을 통해 보여주기 위한 기능을 가진다.

4.1 MultiHopAccel

TinyOS의 응용 소프트웨어는 컴포넌트들로 구성된다. 그림 3의 MultiHopAccel은 TinyOS를 이용하여 제작한 가속도 센싱 소프트웨어이다. MultiHopAccel에서는 모든 노드들을 베이스 노드가 가지는 시간에 동기화를 시키고, 멀티 홉 라우팅을 지원한다.

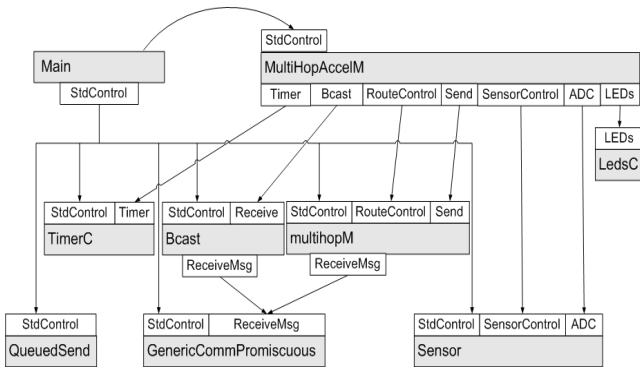


그림 3. MultiHopAccel 구성도.

4.1.1 멀티 홉 라우팅

센서 노드들은 광범위한 지역에 설치되고, 통신 거리의 제약으로 인해 하나의 모트에서 여러 모트를 거쳐 데이터를 전송하는 기술이 필요하다. 그림 3의 멀티 홉 기능을 위한 multihopM 컴포넌트는 multihop 라이브러리를 이용하였다. 기존의 가속도 프로그램 [7]에서는 각 노드들은 단순히 주변의 노드들에게 베이스 노드의 주소를 지정하여 브로드캐스팅하였다. 하지만 MultiHopAccel에서는 멀티 홉 기능을 추가하면서 전송할 부모 노드의 주소를 multihop 라이브러리에서 저장하기 때문에 MultiHopAccelM 에서 주소를 지정하지 않고, 저장한 부모 주소를 이용하여 베이스 노드를 기준으로 트리를 구성한다.

4.1.2 시간 동기화

기존에는 시간동기를 위한 리셋 명령을 단순히 베이스 노드와 인접한 노드에만 브로드캐스팅 하였다. 이를 개선하여 멀티 홉 기능을 추가하여 멀리 있는 노드들에서도 시간동기 정보를 전송하도록 하기 위해 중간 노드에서도 BroadCast 라이브러리를 사용하여 리셋 명령 패킷을 브로드캐스팅 하도록 하였다.

PC용 오실로스코프 소프트웨어에서 브로드캐스팅용 패킷을 만들어 전송을 하면 수신한 노드는 시퀀스번호를 확인하여 기존 시퀀스번호보다 큰 경우에만 수신한 패킷을 다시 브로드캐스팅 하도록 함으로써 패킷이 중복적으로 브로드캐스팅 되는 것을 방지하였다. 또한 패킷을 수신한 노드는 패킷에 저장된 시간정보로 자신의 시간을 동기화하고, 패킷을 다시 이웃노드들에 브로드캐스팅 하도록 함으로써 네트워크내의 모든 노드들이 패킷을 수신하여 시간을 동기화할 수 있도록 하였다.

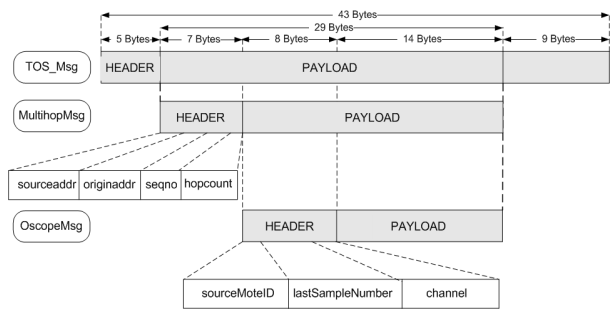


그림 4. MultiHopAccel 데이터 전송 메시지.

4.2 패킷 구조

MultiHopAccel에서는 여러 종류의 메시지 타입을 사용한다. 메시지는 데이터 전송을 위한 메시지와 리셋 명령을 위한 메시지로 나눌 수 있고, 그림 4는 그 중 데이터 전송에 사용하는 3 종류의 메시지 타입이다. 첫째 TinyOS에서는 모트들 간의 정보를 전달하기 위한 TOS_Msg, 둘째 멀티 홉을 지원하기 위한 MultihopMsg, 셋째 Oscilloscope 프로그램에서 사용하는 OscopMsg가 있다. 그림 4에서 나타나듯이 OscopMsg를 MultihopMsg의 페이로드에 적재하고, MultihopMsg를 TOS_Msg의 페이로드에 적재하여 전송할 전체 TOS_Msg를 구성한다.

또한 앞선 4.1.2절의 시간 동기화 기능에 사용되는 메시지로 브로드캐스팅 기능을 위한 BcastMsg 메시지가 있다. BcastMsg는 시퀀스번호와 페이로드에는 OscopResetMsg를 적재하여 구성된다. OscopResetMsg는 리셋 명령에 사용되는 메시지 타입이다.

4.3 Oscilloscope

게이트웨이로 동작하는 베이스 노드가 메시지를 수신하면 시리얼 케이블로 연결된 호스트 컴퓨터로 받은 메시지를 전송한다. 베이스 노드와 호스트 컴퓨터는 SF (Serial Forwarder) 프로그램을 사용하여 연결하였다. 전송된 TOS_Msg 메시지를 모트 ID, 패킷 넘버, 채널 ID에 따라 화면에 출력하고, 동시에 DB에 저장한다. 데이터의 저장은 OscopMsg 타입의 메시지를 헤더를 제외한 14Bytes의 데이터를 각각 2Bytes의 크기의 int형으로 저장한다.

4.4 실험

표 1은 실제 5개의 노드를 교량 구조물 위에 그림 5에서의 위치에 배치하여 얻은 수신 패킷수와 패킷 손실률이다. 실험은 보행자가 교량 구조물에 진동을 가하였고, 샘플링 주기는 100Hz, 측정 시간은 10초이다.

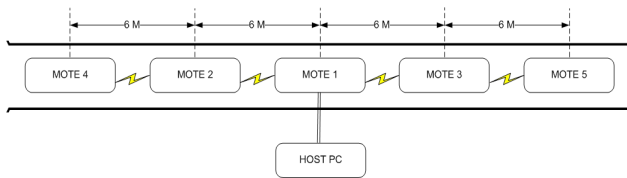


그림 5. 실험 노드 배치.

| | MOTE 1 | MOTE 2 | MOTE 3 | MOTE 4 | MOTE 5 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 수신 패킷수 | 10000 | 9955 | 9857 | 9605 | 9800 |
| 패킷 손실률 | 0% | 0.45% | 1.43% | 3.95% | 2% |

표 1. 각 노드의 수신 패킷수와 패킷 손실률.

MOTE 1은 호스트 컴퓨터와 유선으로 연결된 게이트웨이로 동작하여 센싱한 데이터를 호스트 컴퓨터에서 모두 수신했다. 이를 이용하여 나머지 노드들은 전체 패킷수당 손실 패킷의 수로 패킷 손실률을 나타내었다.

베이스 노드로부터 12M 거리에 위치하고, MOTE 2를 지나쳐 전송되는 MOTE 4의 경우 가장 큰 3.95%의 패킷 손실률을 가진다. 패킷 손실률은 모트들 사이의 무선 전송과, 게이트웨이와 호스트 컴퓨터 사이의 시리얼 케이블을 이용한 전송에서의 패킷 손실로 판단된다.

4.5 WEB 기반 실시간 감시 시스템

데이터베이스에 저장되어 있는 데이터를 웹 언어인 ASP (Active Server Pages)로 구현하고, 웹 서버는 IIS (Internet Information Services)를 이용하여 인터넷을 통해 쉽게 감시 할 수 있도록 구현하였다. 그림 6은 위의 실험에서 2개의 노드만을 선택하여 실시간 감시 소프트웨어를 통해 확인하는 화면이다.

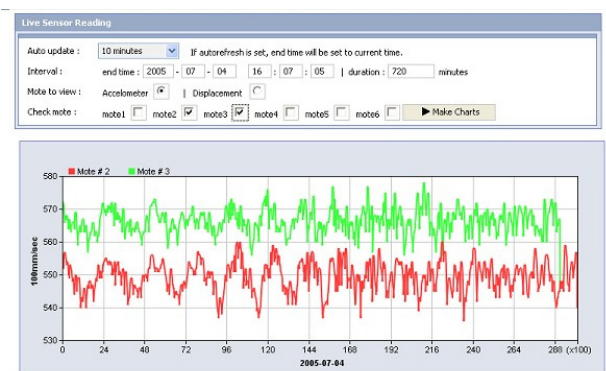


그림 6. 실시간 감시 프로그램.

5. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 실시간 감시, 연결의 편리성의 장점을 가진 무선 센서 네트워크를 이용한 MultiHopAccel을 설계 및 구현하였다. Swisen은 구조물의 진동상태를 실시간으로 확인 가능하고, 여러 센서들의 동작을 위한 멀티 홉 라우팅 기능과 시간 동기화 기능을 제공한다.

향후에는 여러 가지 센서들의 정보를 하나의 노드에서 수집 및 처리하는 기능을 구현할 것이고, 또한 다수의 센서들이 연결된 무선 네트워크 환경에서의 에너지 효율을 고려한 라우팅 기법과 시간 동기화 기법에 관한 연구를 진행하고자 한다. 또한 구조물 안전 감시 시스템에서는 패킷 손실이 일어나면 피해가 커질 위험이 있으므로 손실 회복 기법에 관한 연구를 진행할 것이다.

참고문헌

- [1] N. Xu, S. Rangwala, K. Chintalapudi, D. Ganesan, A. Broad, R. Govindan, and D. Estrin "A Wireless Sensor Network for Structural Monitoring" In Proceedings of the ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems November 2004.
- [2] Arslan Basharat, Necati Catbas, Mubarak Shah "A Framework for Intelligent Sensor Network With Video Camera for Structural Health Monitoring of Bridges" In Proceedings of Third IEEE International Conference on PerCom March 2005.
- [3] A. Mainwaring, D. Culler, J. Polastre, R. Szewczyk, John Anderson "Wireless sensor networks for habitat monitoring" In Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications pp.88-97 September 2002.
- [4] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks" In the Elsevier Ad Hoc Network Journal pp.325-349 2005.
- [5] B. Sundararaman, U. Buy, Ajay D. Kshemkalyani "Clock synchronization for wireless sensor networks: a survey" Ad Hoc Networks, Volume 3, issue 3 pp.281-323 May 2005.
- [6] J. Elson, L. Girod, and D. Estrin. "Fine-Grained Network Time Synchronization using Reference Broadcasts" In Proceedings 5th Symposium Operating Systems Design and Implementation (OSDI), Boston MA 2002.
- [7] 김동국, 박충명, 허난숙, 서동만, 이좌형, 김 윤, 정인범 "무선 센서네트워크를 이용한 구조물 하중 감지 시스템" 정보처리학회 춘계 학술발표논문집 pp.1319-1322 2005.