

무선 통신을 이용한 모니터링 시스템 개발에 관한 연구 Development of Monitoring System using Wireless Communication

*이희준¹, #이세현²

*H. J. Lee¹, #S.H. Rhee(srhee@hanayng.ac.kr)²

¹ 한양대학교 기계공학부, ² 한양대학교 기계공학부

Key words : Wireless, Monitoring, Back-off Algorithm, FFT, Remote Monitoring, WSN, USN

1. 서론

현대 산업기술의 발전으로 교량 및 토목 구조물이 증가하고 대형화되고 있다. 토목 구조물은 시간이 지남에 따라서 피로의 축적과 예기치 않은 자연재해 등으로 구조물의 기능적, 구조적 결함 등이 발생할 확률이 높아진다. 만약 치명적인 결함이 발생하면 대형 재난을 초래할 수 있다. 그러므로 구조물을 효과적으로 관리하는 방법이 필요하다. 구조물의 관리 기법은 구조물로부터 계측된 데이터의 활용하여 갑작스러운 사고를 줄이고, 구조물의 생애 주기를 늘리려는 목적을 가진다. 구조물 관리 기법 중에 구조물의 상시 감시 (Structural Health Monitoring, SHM)은 기존의 구조물 안전 점검이나 정밀 안전 진단과는 다른 접근 방법으로 토목 구조물을 지속적인 계측 유지 관리를 하기 위한 방법이다. SHM은 구조물의 역학적인 연구와 계측기기의 발전 그리고 데이터 전송에 관한 기술적인 발전으로 실용화되었다. 현재는 SHM이 능동적인 상시 감시에서 구조물 자체를 지능화하는 스마트 구조물 시스템으로 계측 유지 관리 기술이 발전해가고 있다.

Kobori¹⁾ 등은 1989 년도에 처음으로 Kyobashi Seiwa building에 동적 하중에 대한 응답을 제어하기 위하여 계측기와 제어기를 설치된 이후에 지금까지 전 세계적으로 빌딩과 교량에 능동 제어 시스템이 구축되어 있다. Mohamed²⁾ 등은 Taylor Bridge와 Salmon River Bridge에 유선 모니터링 시스템을 설치하여 지능 감시 시스템을 구축하였다.

기존의 감시 시스템은 유선 계측이기 때문에 높은 초기 설치 비용 및 유지 관리의 어려움과 주변 환경에 의하여 잡음(Noise)이 발생하여 문제점으로 지적되면서 최근에는 무선 계측 시스템을 이용한 연구가 진행되고 있다. Pines와 Lovell³⁾는 무선 헬스 모니터링에 대한 개념적인 설계를 수행하였다. Lynch^{4,6)} 등은 기존 상용 모듈을 조립하여 무선 센서를 제작하였으며, 실험실내의 임시 구조물에 가진기를 이용하여 계측 실험하였다. 또한 ARX 알고리즘을 이용한 손상을 감지하는 연구하였다.

본 연구에서는 현재 시스템의 단점을 극복하고자 각 모듈을 하나의 PCB 기판으로 설계하여 소형화하고 전력 소모를 줄이도록 제작하였다. 백 오프 알고리즘을 이용하여 1:N 통신을 하면서 동적 계측이 가능하도록 하였다. 그리고 제안된 시스템의 유효성을 검증하고 모형 교량에서 데이터 획득 실험을 실시하였다.

2. 무선 계측 시스템

기존 구조물 모니터링 시스템은 계측 센서와 데이터 로거(data logger)로 이루어졌다. 계측 센서로는 가속도, 기울기, 장력 및 온도 센서를 사용한다. 데이터 로거는 계측 센서의 신호를 A/D 변환하여 계측하고, 계측된 데이터를 데이터 베이스에 저장하고, 외부 검사 프로그램으로 데이터를 전달하는 3 개 기능을 가진다. 데이터 로거와 계측 센서는 전원과 신호선을 포함한 케이블로 10m~1000m 이상의 긴 케이블 연결된다. 긴 케이블의 영향으로 계측 센서 신호에 잡음(noise)과 신호의 왜곡(distortion)이 발생하며, 시공 비용도 매우 고가이다. 설치된 후 위치 변경이나 센서의 추가 설치, 변경이 매우 어려운 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 유선 시스템의 단점을 극복하고자 무선으로 계측 데이터를 보내는 방법을 선택하였다. Fig. 1과 같은 데이터 로거의 기능을 할 수 있는 무선 센서 모듈과 AP를 개발하였다. 무선 센서 모듈은 데이터 로거의 A/D 변환 계측하는 기능을 가지고, AP 모듈은 계측 신호를 데이터 베이스에 저장하는 기능을 가진다. 개발된 시스템은 Back-off 알고리즘을 이용하여 1:N의 무선 데이터 통신을 가능하였으며, 무선 센서 모듈은 동적 계측이 가능하고 기존 시스템보다 손쉽게 설치가 가능하다. 그러므로 기존의 구조물에 간단히 설치하여 모니터링을 실시할 수 있다.

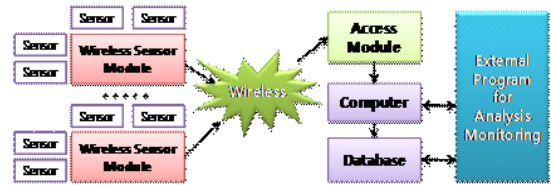


Fig. 1 Concept of wireless monitoring system

3. Random back-off algorithm

통신 알고리즘에서 데이터 패킷은 프레임(frame)이라는 용어로 설명된다. 한번의 데이터 통신이 완료되면, 즉 프레임 전송이 완료되면 DIFS(Dcf Inter-Frame Spacing)가 경과된 후, 프레임을 전송하려는 모든 STA이 매체를 획득하기 위해 타 STA와 경쟁한다. 즉 혼잡 기반(congestion-based)의 데이터 전송을 시도한다. 이러한 경쟁을 위해 경쟁창(CW, contention window) 또는 지연창(back-off window)이라고 부르는 기간이 DIFS 다음에 오게 된다. 경쟁창은 여러 개의 슬롯(slot)으로 나누어져 있다. STA는 임의의 슬롯을 선택하고 매체 접근을 시도하기 전에 슬롯을 줄여간다. 슬롯타임(slot-time)마다 슬롯은 하나씩 줄어들고 슬롯 값이 0이 되면 매체에 접속하여 전송을 시작할 수 있게 된다. 즉 여러 STA이 전송을 시도할 때 첫 슬롯을 선택한 STA이나, 가장 작은 슬롯 번호를 선택한 STA이 매체를 점유하게 된다.

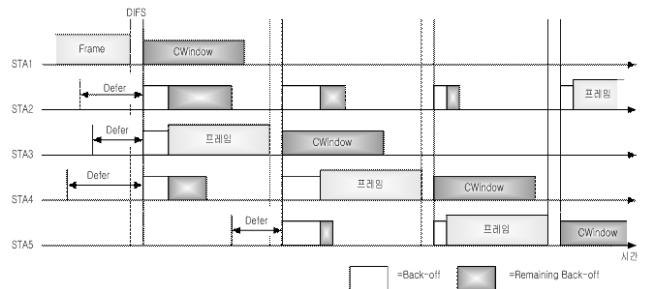


Fig. 2 Back-off procedure

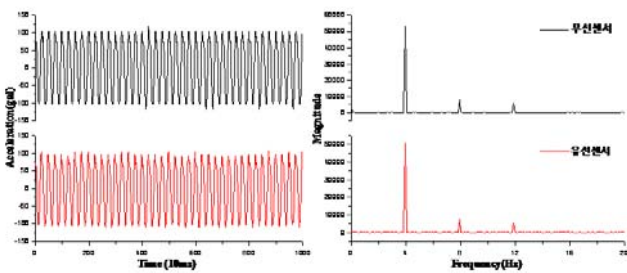
예를 들어, Fig. 2에서처럼 STA1이 매체를 점유하고 있을 때 STA2, STA3, STA4에 전송할 데이터가 있을 경우 일정 시간을 기다린 후 백 오프과정을 수행한다. 자신이 초기에 선택한 슬롯 값을 줄여가게 된다. STA3의 슬롯 값이 0이 되면 STA2, STA4는 더 이상 슬롯 값을 줄이지 않게 된다. STA3의 전송이 완료되면 STA2, STA4는 다시 슬

롯 값을 줄여가게 된다. STA4의 슬롯 값이 0이 되면서 매체를 점유하게 되고 STA2는 슬롯 값을 줄이지 않게 된다. 이런 과정을 통해 백 오프 알고리즘이 진행하면서 각 STA들의 매체 점유를 위한 경쟁을 조절한다.

그러나 2개의 STA가 동시에 슬롯 값이 0이 되어 충돌하면 전송이 실패할 때마다 슬롯은 더 큰 범위의 경쟁창을 선택한다. 즉 경쟁창의 크기가 증가하게 된다. 경쟁창의 크기는 무한정 증가하지 않고 물리 계층에 의해 최대값이 제한된다. 경쟁창이 최대값에 도달되면 재설정될 때까지 최대값으로 고정된다. 경쟁창은 프레임이 성공적으로 전송되거나 연관된 재시도 카운터가 최대값에 도달하여 프레임이 버려질 때 최소값으로 재설정하도록 개발하였다.

3. 가진기에서 무선센서의 유효성 검증

기존의 상용 유선 센서와 자체 제작된 무선 센서를 같이 가진기에 부착하고 동일한 조건으로 실험하였다. 실험은 가진기로 다양한 주파수의 외부 진동을 주었으며, 이를 10초간 측정하여 비교 분석하였다.



(a) Time domain (b) Frequency domain
Fig. 3 Compare tethered with wireless sensor performance

Fig. 3은 4Hz의 진동을 가하였을 때, 유선 센서와 무선 센서로부터 측정된 데이터이다. Fig. 3(a)는 시간에 대한 가속도의 그래프이고, Fig. 3(b)는 가속도 데이터를 주파수 영역에서의 분석한 그래프이다. 무선 센서와 유선 센서의 가속도 데이터와 주파수 분석이 동일하게 나타나고, 하모닉(harmonic) 주파수도 동일하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 다른 주파수대에서도 이와 동일한 결과를 얻었으며, 이는 개발된 무선 감시 시스템은 기존 시스템을 대체할 수 있다.

3. 모형 교량에서 다중 무선 센서 실험

아래의 Fig. 4는 모형 교량에 3개의 센서 모듈을 부착하여 실험을 수행한 모습을 보여주고 있다. 각 무선 센서 모듈은 3개의 가속도 센서를 탑재하고 있어 x, y, z축의 가속도 데이터를 AP로 전송을 하게 된다. 3개의 무선 센서 모듈로부터 계측된 신호는 랜덤 백-오프 알고리즘을 사용하여 1:N 통신을 하였다.

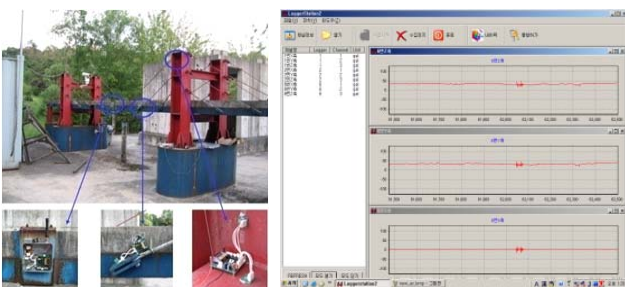


Fig. 4 Experiment equipment and analysis program

위 실험 결과는 3개의 센서 모듈에서 원거리에 있는 PC까지 데이터가 원활히 백-오프 알고리즘을 이용한 1:N 통신이 되었고, AP는 각각의 계측된 데이터를 데이터 베이스에 저장되었다. 그리고 저장된 데이터를 FFT 분석하고 교량 상태를 분석하였다.

4. 결론

본 연구에서는 제안된 시스템은 계측 센서, 무선 센서 모듈, AP로 구성되었다. 계측 센서로 MEMS 형식의 ADXL203CE 가속도계를 사용하였고, 무선 센서 모듈은 AVR사의 ATmega 128L CPU, RF 모듈은 Bim2-433-160을 사용하였다.

개발된 시스템의 유효성을 검증하기 위해서 기존 시스템과 가진기를 이용하여 계측 결과를 비교 분석하였다. 그 결과는 두 시스템의 계측 결과가 동일하였다. 또한 1:1 양방향 무선 통신이 양호하게 이루어짐을 알 수 있었다. 1:N 양방향 통신이 가능하기 위하여 CSMA/CA와 백 오프 알고리즘을 사용하였다. 1:N 양방향 통신을 실험하기 위하여 모형 교량에 3개의 무선 센서 모듈을 부착하였고, AP 모듈은 80m 정도 떨어진 장소에서 모형 교량의 진동을 계측하였다. 3개의 센서 모듈에서 계측된 3축의 가속도 데이터가 AP로 양호하게 전송되었다. 전송된 데이터는 데이터 베이스로 저장하고, 비교 분석하였다.

위의 유효성 검증으로 개발된 무선 모니터링 시스템은 기존의 유선 모니터링을 대체 가능하며, 모니터링 시스템이 설치되지 않은 구조물에 손쉽게 설치하여 구조물을 관리할 수 있었다.

후기

본 연구는 2007년도 BK21 사업에서 지원되었습니다.

참고문헌

1. T. Kobori, N. Koshika, K. Yamada, and Y. Ikeda, "Seismic response controlled structure with active mass driver system-Part 1," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, John Wiley & Sons, 20(2):133-149, 1991.
2. M. Mohamed, K. Anestis, P. Stavroula, and H. Dimitrios, "Structural health monitoring of smart structures", *Smart materials & structures*, v.11 no.4, pp.581-589, 2002
3. Darryll J Pines, Philip A. Lovell, "Conceptual framework of a remote wireless health monitoring system for large civil structures", *Smart materials & structures*, v.7 no.5, pp.627-636, 1998
4. J. P. Lynch, "Design of a wireless active sensing unit for localized structural health monitoring", *Structural control and health monitoring*, v.12 no.3/4, pp.405-423, 2005
5. J. P. Lynch, A. Sundararajan, K. H. Law, A. S. Kiremidjian, T. Kenny, E. Carryer, "Embedment of structural monitoring algorithms in a wireless sensing unit", *Structural engineering and mechanics*, v.15 no.3, pp.285-298, 2003
6. J. P. Lynch, K. H., Law, A. S. Kiremidjian, E. Carryer, C. R. Farrar, H. Sohn, and D. Allen, "Design and performance validation of a wireless sensing unit for structural monitoring applications", *Structural engineering and mechanics*, v.17 no.3/4, pp.393-408, 2004
7. Analog Devices, Inc., "ADXL203 Low Cost $\pm 1.7g$ Dual Axis iMEMS Accelerometers with Digital output data Sheet." Analog Devices Inc., 2006.
8. ATMEL Inc., "ATmega128 data sheet." ATMEL Inc., 2000.