교량 유지관리를 위한 무선 센서 네트워크 시스템 연구

김영백*

A Study on the Implementation of Wireless Snesor Network for Managing of Briges

Young-Baig Kim*

요 약

현재 센서 네트워크가 구축되어 교량의 안전 상태에 대한 감시를 수행하고 있는 대부분의 유지관리 시스템은 유선을 기반으로 하고 있다. 이러한 유선 기반의 시스템은 고가의 유선 설치비용 및 운영 중 설비에 문제가 발생할 경우 교체 및 보수작업에 고가의 비용이 소요된다. 이러한 문제를 해결하고자 기존 유선 계측시스템에 무선 센서네트워크를 적용하고자 하는 연구개발 사례들이 있지만, 전력 문제 및 동기화 문제로 인해 실제 교량의 유지관리 현장 상용화에 어려움을 격고 있다. 본 논문에서는 무선랜 기술을 적용한 WSN(Wireless Sensor Network)기반의 교량 유지관리 시스템을 제안하며, 연구수행 결과를 테스트베드 구축을 통해 시스템을 검증 하였고 기존 유선으로 수집된 데이터와 비교 하였을 때 거의 동일한 데이터를 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

Most management systems that are currently in place to monitor the safety of bridges – working in conjunction with a wireless sensor network - are based on a wired infrastructure. Not only do these wired systems expensive to install, but they are expensive to replace or repair should a problem occur with the system while in operation. In an effort to address these problems, there have been many researches that attempted to use a wireless sensor network for the existing wired measurement system. However, they have been met with difficulty due to the problems of power and synchronization in actually bringing the management system to the bridges as a commercial system. This paper proposes a bridge management system based on WSN (Wireless Sensor Network) which uses wireless LAN technology. The system was tested using a testbed and when the obtained data were compared to the data collected using the existing wired counterpart it was found that they were almost the same.

키워드

WLAN, 802.11a/g, WSN, Briges Management System
무선랜, 802.11 a/g, 무선센서네트워크, 교량 관리 시스템

Ⅰ. 서 론

최근 사회기반시설들의 대형화 추세와 더불어 공용 중의 안전성 또한 고조되는 가운데, 주요 구조물에 대한 유지관리 시스템이 구축되는 등 유지관리에 대한 다양한 연구와 시스템 구축을 위한 실제적인 노력이 계속되고 있다. 이러한 요구로 인해 현재 국내 교량에는 유선기반의 계측시스템이 도입되어 상시 모니터링

* 한국폴리텍 V대학 순천캠퍼스 전기제어학과(ybkim59@kopo.ac.kr)
접수일자 : 2011. 08. 16 심사(수정)일자 : 2011. 09. 16 게재확정일자 : 2011. 10. 12

을 하고 있으나 계측을 수행하는 다수 업체들의 기술력이 영세한 실정이며, 중 규모 이상의 계측시스템 또한 기초적인 수준에 머물고 있다.[1]

기존의 유선기반 계측시스템은 근거리 유선 케이블망을 사용하는 교량의 경우 케이블 비용 및 스틸파이프 배관설비 등으로 인해 과다한 구축비용이 소비되고 있으며, 케이블 길이가 길어짐에 따라 증폭기 등을 설치하여야 하므로 시그널 컨디셔닝 비용이 증가하게 된다. 또한 광케이블을 사용하는 장거리의 경우에도 소재의 특성상 고가의 구축비용이 발생하는 문제점이 존재한다. 이러한 유선 시스템의 문제점을 해결하기 위해 무선 센서네트워크를 적용한 교량 계측시스템의 연구 및 개발 사례가 국내외에서 진행되고 있다. 무선 센서 네트워크를 적용한 대부분의 연구사례들은 저전력의 장점으로 인해 Zigbee 기술을 적용하여 시스템을 개발하고 있다. 그러나 대량의 데이터 전송을 필요로 하는 동적 센서가 절반이상 존재하는 교량의 특성상 유선 시스템과 동일한 성능을 기대하기 힘들며 통신 거리문제 또한 주요 문제점으로 남아있는 실정이다.

본 논문에서는 구축 및 유지관리 비용의 절감과 기존 유선 시스템에 사용되는 동적센서데이터의 신뢰성 있는 무선 송수신 성능 구현을 위해 WLAN적용 무선 센서네트워크 시스템을 제안한다. 이 시스템은 센싱 주기가 짧은 동적 센서신호를 변환하여 무선으로 전송하기 위한 송신 단말기와 이를 수합하여 서버로 보내주는 수합장비로 구성된다. 또한 센서마다 각기 다른 출력 형태를 하나의 송신 단말기에 수용하기 위해 통합 인터페이스 회로를 구성하여 현장 적용성을 높인다[2].

II. 본 론

본 장에서는 기존 유선기반의 계측시스템의 일반적인 구조를 살펴보고, 유선 시스템에서 무선 센서네트워크를 적용하였던 기존 연구 사례들이 가지는 한계점들을 비교 분석한다.

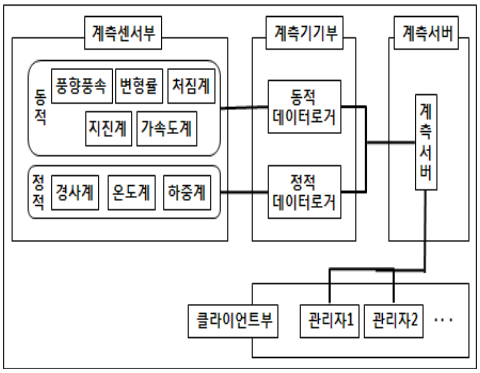


그림 1. 일반적인 유선 계측시스템 구성도
Fig. 1 Common wire measurement system configuration

그림 1.은 일반적인 유선 계측시스템의 구조도를 각 Part별로 나타내고 있다. 기존 유선기반의 계측시스템은 크게 계측센서부와 계측기기부, 계측서버, 클라이언트부로 구분 지을 수 있다. 계측 센서부는 다시 센서들의 센싱 주기에 따라 정적센서와 동적센서로 구분된다. 정적센서는 온도센서와 경사센서 등과 같이 특정 시간간격으로 계측 신호를 계측기기부로 전송한다. 반면 동적센서는 1초당 많게는 200회 적게는 100회씩 신호를 계측기기부로 전송한다[3]. 유선 케이블을 통해 신호를 전송받은 계측 기기부는 각각 동적 데이터 로거와 정적 데이터 로거를 통해 수합한 아날로그 신호를 증폭하여 A/D회로를 거쳐 디지털로 변환된다. 변환된 데이터는 광케이블을 통해 데이터 서버와 미들웨어 서버를 거쳐 클라이언트 단으로 전송된다. 이러한 구조를 갖는 기존의 유선 계측시스템에 무선 센서네트워크를 적용할 경우 대부분 계측센서부와 계측기기부 사이를 근거리 무선 네트워크 망으로 구축하고 계측기기부와 계측서버 간에는 광통신망으로 구축하여 최종 클라이언트부에서 모니터링을 수행하는 형태로 적용되고 있다.

무선을 적용한 기존 개발사례들은 대부분 계측센서부와 계측기기부사이를 Zigbee 네트워크를 활용하여 근거리 네트워크 망을 형성하고 있다. Zigbee는 LR-WPAN(Low Rate-Wireless Personal Area Network)을 위한 통신 프로토콜 명세를 포함하고 있으며, 대부분의 응용들은 낮은 데이터 전송률, 배터리 수명의 최대화를 목적으로 한다[4]. 이러한 Zigbee 네

트워크 플랫폼 하에서 교량의 전체 센서 데이터를 전송하기 위해서는 풀어야 할 두가지 문제가 존재한다. 첫 번째는 동적센서의 전원 공급문제로, 동적센서는 기본적으로 100sps(samples per second) 이상의 샘플링이 요구된다. 이와 같은 동적센서에 Zigbee를 적용할 경우 배터리만으로는 지속적인 네트워크 망을 유지하기 힘들기 때문에 태양전지 등을 이용한 별도의 전원을 공급해 주어야만 한다. 두 번째는 전송 거리에 관한 문제이다. 일반적으로 전송 거리가 길어지는 경우 중계노드가 필요하게 된다. 그러나 중계노드를 사용시 센서 노드에서 지속적인 동적센서의 데이터 전송으로 중계노드에 과부하 및 빠른 전력손실을 불러일으킬 수 있다. 이와 같이 Zigbee만으로는 교량의 모든 센서들을 수용하기 힘들기 때문에 일부 낮은 데이터 전송률을 가지는 정적센서 또는 타 센서들과 동기화 필요 없이 사용자가 요청 시 계측데이터를 보내는 센서 등에 부분적으로 Zigbee를 적용하는 접근법이 필요하며, 높은 전송률을 가지는 동적센서들은 충분한 성능을 보장할 수 있는 통신기법을 적용하여 전체 시스템을 구현하는 방향으로 이루어 져야 한다.

이에 본 논문에 제안하는 시스템에서는 교량의 유선 계측시스템에서 나타났던 시스템 구축 및 유지관리 보수에 높은 비용이 소모되는 단점과 비용적인 면에서 어느 정도 기존의 유선 계측시스템의 문제점을 해결하였지만 단일 무선 네트워크 시스템적용으로 인해 유선 시스템과 동등한 성능을 기대하기 힘들었던 부분을 보완 하고자 한다.

III. 교량 무선 계측 시스템

3.1. 시스템 설계

교량의 거동을 파악하기 위해 구조적으로 주요 부위에 부착된 수많은 센서들은 크게 두 가지 종류 즉, 정적 센서와 동적 센서로 구분 지을 수 있다. 정적센서는 온도 센서와 경사센서 등과 같이 사용자의 요청이 있을 시 계측 데이터를 전송하거나, 비교적 처리 신호량이 적은 센서이다. 반면 동적센서는 가속도 센서 및 변형률 센서 등과 같이 초당 데이터 처리량이 많은 센서이다[5]. 또한 동적 센서의 경우 어느 한 부분만의 계측 데이터가 아닌 상호 연관 데이터를 평가하여 구조적으로 해석할 시에는 동적 센서간의 동기화가 중요하다. 따라서 상기 사항들을 고려하여 무선 센서네트워크를 적용한 교량 계측시스템을 설계할 경우 다음과 같은 요건을 만족할 수 있어야 한다.

첫째, 기존 유선 시스템에서 처리하는 동적 센서의 데이터 처리량을 센서 노드가 수용할 수 있어야 한다.

둘째, 동적 센서간의 동기화가 이루어져야 한다.

셋째, 교량에 적용되는 각기 다른 출력형태를 띄고 있는 센서들을 단일 모듈에 적용할 수 있는 통합형 인터페이스 설계가 이루어져 야 한다.

상기 요구사항을 만족하기 위해 본 논문에서는 그림 2와 같은 무선 계측시스템을 제안한다.

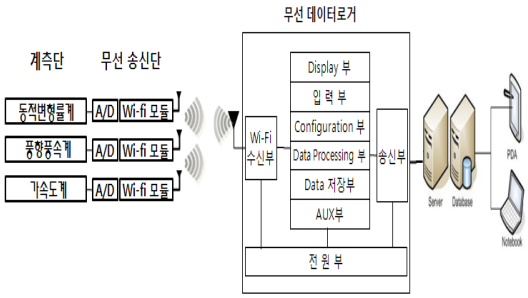


그림 2. 무선 계측시스템 구성도
Fig. 2 Wireless Measurement System Configuration

이 시스템은 각각 계측단과 무선 송신단, 무선 데이터 로거 단 그리고 서버와 클라이언트로 구성된다. 계측단은 유선 시스템에서의 계측센서부와 같으며 동적센서와 정적센서로 구성된다. 계측 단에서 각각의 센서들이 계측한 아날로그 신호를 무선전송 하기 위해 무선 송신 단에서는 계측 신호를 증폭하고 ADC 처리한 후 RF모듈을 통해 데이터 로거로 전송하는 역할을 수행한다. 무선 데이터 로거로 수신된 데이터는 데이터 필터링, 저장, 융합 등의 데이터 처리를 수행한 후에 서버로 전달된다. 서버는 무선데이터 로거로부터 수신한 데이터를 분석, 저장, 처리 등의 기능을 수행하며 클라이언트의 요구에 따라 무선 계측 시스템을 관리한다.

3.2. 시스템 연구

본 연구팀은 제안된 무선계측 시스템의 성능을 평가하기 위한 프로토타입 시스템 구현을 구현하였다.

센서노드는 그림 3과 같이 송신모듈 블록을 기반으로 구현하였다. 그림 3에서 보듯이 무선 송신단의 각 모듈로 들어온 계측 신호들은 모듈 인터페이스를 거쳐 증폭기(Amplifier)를 통해 증폭되어 전압 분배기를 통해 ADC로 전송된다. 이때 전압 증폭기는 입력증폭기와 1~2000배 정도 이득률을 보이는 가변 증폭기로 구성되며, 제어부(CPU)에 의해 이득값이 선택 조정된다. 이와 같이 인터페이스 회로를 구성하는 이유는 계측단의 각 센서들이 종류와 특성에 따라 각기 다른 출력 형태를 갖기 때문이다. 예로서, 변형율을 측정하는 스트레인 게이지 센서는 저항 값을 출력하며, 변위계는 V단위로 출력하는 반면, 가속도계는 미세 전압(uV) 단위로 신호를 출력한다. 또한 경사계와 같이 12V 이상의 전위차를 요구하는 센서도 있다.

제어부(CPU)는 이러한 각기 다른 센서들을 제어하는 신호를 인터페이스에 보내 출력조건을 만족시키도록 한다.

1

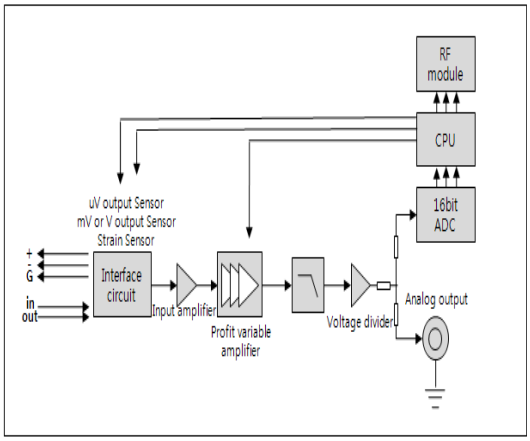


그림 3. 송신 단말 블록 구성도
Fig. 3 Transmission terminal block diagram

또한 제어부는 시스템 각 부분을 제어하고 데이터 처리를 지시하는데, 특정 전압 값에 따라 특정센서를 선택할 수 있도록 입력되어 있으며, 전압 값의 선택 신호를 인터페이스에 보낸다. 그리고 ADC를 거쳐 변환된 디지털 신호는 제어부를 거쳐 RF 모듈을 통해 무선 데이터 로거로 전송된다.

개발된 송수신 모듈 사진과 특징은 표 1과 같다. WLAN 802.11 a/g 무선 통신 기술을 사용하였으며 교량에 적용되는 다양한 센서 데이터 입력이 가능한 인터페이스를 개발 하였다[6].

표 1. 송수신 모듈 특징
Table 1. Features of transceiver modules

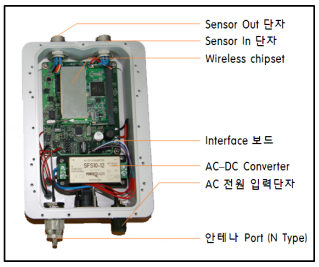
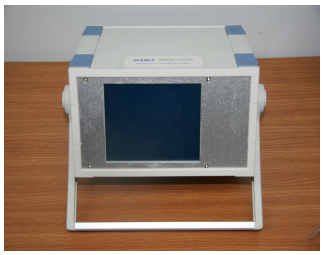
적용기술	WLAN 802.11a/g, 센서인터페이스 기술
센서 Type	전압 출력 센서
전송범위	1~5km (LOS확보)
Data Rate	25Mbps
최대 샘플링	1000 sps
Frequency	2.400~2.483GHz, 5.150~5.825GHz
사진	

표 2. 무선 데이터 로거
Table 2. Wireless data logger

적용기술	WLAN 802.11a/g, 400MHz
전송거리	10Km 이상 (LOS환경)
저장장치	8GB
Data Rate	25Mbps
LCD	240*128 Graphic LCD
Frequency	2.400~2.483GHz, 5.15~5.85GHz
사진	

유무선 송수신 단말에서 센서신호를 변환/증폭하여 보내온 데이터를 무선 데이터 로거에서 수합하여 하나의 포맷으로 통합한 후 서버로 전송하게 된다. 교량의

전체 센서데이터를 수합하기 위해 정적데이터 적용단말(400MHz)과 동적데이터 적용단말(5GHz/2.4GHz)을 동시에 수합하기위해 400MHz와 WLAN 802.11a/g 인터페이스를 지원 가능한 무선 데이터 로거는 표 2에 나타내었다.

무선 송신단에서 전송된 데이터는 데이터 로거의 수신 AP를 통해 수신되며, 이들로부터 받은 데이터를 데이터 프로세싱부에서 동시에 처리하는 역할을 수행한다. 또한 구성부에서 전송받은 데이터를 각각의 계측항목에 맞도록 계측단위 및 범위 보정역할을 수행한다. 이처럼 1차적으로 가공된 데이터는 서버단의 데이터베이스에 저장되고 사용자 및 관리자는 이를 실시간 모니터링 하여 교량의 문제점이나 유지보수를 위한 판단자료로 활용한다.

Ⅳ. 구현 시스템 테스트

구현된 프로토타입 시스템의 센서노드 성능테스트를 위해 가장 많은 샘플링 속도를 요하는 가속도 센서를 실제 교량현장에 설치하여 기존 유선방식과 프로토타입 두 가지 시스템을 적용하여 계측된 데이터를 비교분석 하였다. 테스트베드 현장 구성은 아래와 같다.

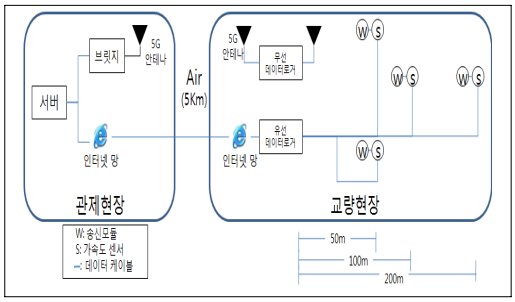
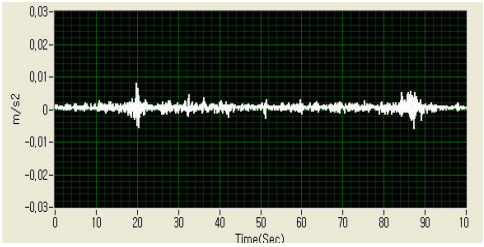
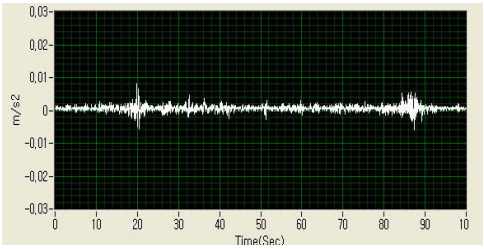


그림 4. 테스트베드 현장 구성도
Fig. 4 Test-bed site configuration

센서는 각각 데이터 로거로 부터 50m, 100m, 200m 구간에 설치하였으며, 유선망은 유선 데이터 로거를 통해 관제소 서버까지 인터넷 망으로 연결된다. 무선망은 센서와 WLAN 송신 단말을 연결하여 교량현장의 무선 데이터 로거를 통해 데이터를 수합한 후 5Km떨어진 관제소 브릿지 노드로 데이터를 전송하고 이 데이터를 서버에 저장한다. 현장에 설치된 가속도 센서의 Sampling Rate는 유무선 두 시스템모두 100sps로 설정 하였다.

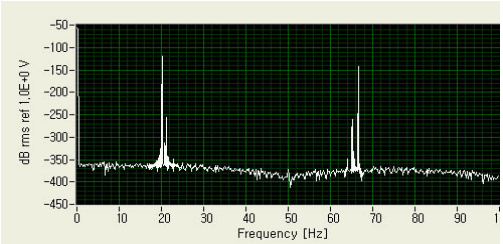


a. 유선데이터

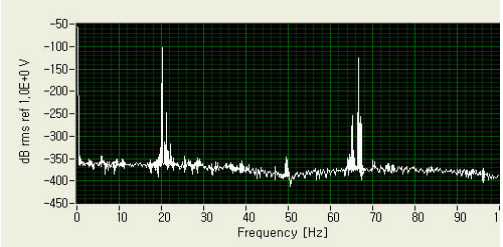


b. 무선데이터

그림 5. 가속도 측정 데이터
Fig. 5 Acceleration measurement data



a. 유선 FFT 분석



b. 무선 FFT 분석

그림 6. 유무선 측정 FFT 분석
Fig. 6 FFT analysis of wired and wireless measurement

그림 5는 교량상판 내부에 설치된 가속도 센서 중 200m 지점에 설치된 가속도 센서의 유선데이터와 무선 데이터의 시간에 따른 측정데이터 이다. 위에서 알 수 있듯이 두 데이터가 동일한 변화율을 보이고 있으며, 그림 6의 주파수 분석 역시 동일한 주파수 성분을 가지고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 교량현장 계측센서의 적용성을 최대로 살리면서 구축 및 유지관리 비용의 절감과 기존 유선 시스템에 사용되는 동적 센서 데이터의 신뢰성 있는 무선 송수신 성능 구현을 위해 WLAN적용 무선 센서네트워크 시스템을 제안하였다. 그리고 대량의 데이터 전송이 요구되는 동적 센서 데이터 수집, 유선 시스템과 동일한 성능을 확인하기 위해 교량 현장에 테스트베드 구축 하여 유선 시스템과 구현 시스템 비교 분석한 결과 제한한 시스템 사용의 유효성을 확인하였다. 하지만 구현된 시스템도 무선랜 모듈의 전력 소모 문제는 여전히 존재한다. 향후 과제로 상기 문제를 해결하고, 또한 실제 구축하여 운영 중인 테스트베드를 통해 지속적인 연구개발 피드백을 통해 상용 시스템으로서 신뢰성을 검증할 계획이다.

참고 문헌

[1] 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획, 건설교통부, 2007, 12.
[2] Shamin N. Pakzad, Gregory L. Fenves, Sukun Kim, and David Culler, “Design and Implementation of Scalable Wireless Sensor Network for Structuring Monitoring”, ASCE, Journal of Infrastructure Engineering, Vol. 14, pp. 89-101, 2008.
[3] 건설 공사 및 유지관리 계측표준 시방서, 건설교통부, 2008, 02.
[4] IEEE Std 802.15.4-2008, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPAN)", 2003.
[5] 교량의 건전성 평가를 위한 IT기반 스마트 계측 및 모니터링 시스템의 개발, 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 2006, 10.
[6] “IEEE P802.11 Draft Standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification", Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, pp. 34-240, Jul., 1999.

저자 소개

김영백(Young-Baig Kim)

1996년 광주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2000년 전남대학교 산업대학원 전기공학 졸업(공학석사)
2007년 ~ 현재 순천대학교 대학원 전자공학과(박사과정)
현 한국폴리텍V대학 순천캠퍼스 전기제어과 교수
※ 관심분야 : 전기제어, 무선통신, RTLS, USN