논문 2014-51-6-18

Zigbee 센서 네트워크를 활용한 다중노드 실시간 진단 및 관리시스템 설계

(Design of Multi-node Real-time Diagnostic and Management System
Using Zigbee Sensor Network)

강 문 식*

(Moonsik Kang©)

요 약

본 논문에서는 지그비(Zigbee) 센서 네트워크를 기반으로 하여 다중노드를 실시간으로 감시하고 진단하며, 다수의 다양한 센서로부터 발생하는 데이터를 통합적으로 제어할 수 있는 진단 및 통합 관리시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 대상시스템의 상태를 효율적으로 진단하고 제어하기 위해서 원격지의 센서들로부터 유선 및 무선으로 수집된 데이터를 실시간으로 서버에 전송하고, 이를 분석하여 필요한 동작이 실행되도록 설계되었다. 다수의 센서들은 클러스터 형태로 구성되고, 센서노드는 획득된 데이터에 대한 전송 및 제어 기능을 수행하며, 각 센서 노드로부터 수신된 데이터를 구분하여 처리한다. 구현된 시스템의 성능을 평가하기 위해서 전송거리에 따른 최소 전송 지연시간과 다수의 센서로부터 발생된 데이터 손실률 등을 측정하였고, 그 결과 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

Abstract

In this paper, a multi-node real-time diagnostic and management system based on zigbee sensor network is proposed, which is to monitor and diagnose multiple nodes as well as to control the data generated from the various multiple sensors collectively. The proposed system is designed to transmit the collected wireless and wired data to the server for monitoring and controlling efficiently the condition for multi-nodes by taking the corresponding actions according to the analysis. The system is implemented to make it possible to manage the sensor data by classifying them, of which data are issued from the clustered sources with a number of the remote sensors. In order to evaluate the performance of the proposed system, we measure and analyze both the transmission delay time according to the distance and the data loss rate issued from multiple sensors. The results shows that the proposed system has a good performance.

Keywords : 지그비 센서 네트워크, 통합관리, 실시간 감시 및 전송, 센서노드, 손실률

I. 서 론

최근 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network) 기술을 다양한 시스템에 적용하는 기법에 대한 연구가

활발하게 진행되고 있다^[1]. 특히 차세대 인터넷 기술은 사물인터넷 (IoT: Internet of things) 기술의 혁신적인 발전으로 ICT 산업에 새로운 활력을 불어넣을 것으로 예상된다. 이러한 환경변화와 더불어 저전력, 저비용, 낮은 전송률 등의 특성을 갖는 지그비(zigbee) 기술은 IoT 환경에 적합한 핵심기술 중 하나로 더욱 부각되고 있다^[2]. 지그비 센서 네트워크는 일반적으로 데이터를 획득하는 다수의 센서와 수집된 정보를 처리하는 프로세서, 그리고 무선 전송 및 수신 기능을 수행하는 센서

* 정회원, 강릉원주대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering,
GangneungWonju National University)

© Corresponding Author(E-mail: mskang@gwnu.ac.kr)
접수일자: 2014년05월07일, 수정일자: 2014년05월14일
수정완료: 2014년05월23일

노드(sensor node) 등으로 구성된다. 이러한 무선 센서 네트워크 기술은 원격지 정보수집과 제어를 비롯하여 매우 다양한 형태로 활용되며, 과학적·의학·군사적·산업적 용도 등으로 그 활용범위의 확대되고 있다. 지금까지 지그비 기술은 프로토콜 스택과 효율적인 알고리즘의 설계에 초점을 두고 많은 연구가 진행되어 왔다. [2]에서는 지그비 네트워크를 스마트 홈 응용에서 네트워크 구조로 선택하는 문제를 다루고 있으며, 다양한 노드의 크기 및 부하에 대해 다른 네트워크 토폴로지를 사용하는 방안을 제시하고 있다. 세 개의 서로 다른 네트워크 토폴로지의 분석에 기초하여, 노드의 크기를 변화시킴으로써 MAC 계층의 네트워크 성능을 지연 및 처리률에 근거하여 분석하였다. [3]에서는 지그비 무선 센서 네트워크에 대한 향상된 디자인 기법을 제안하고 있다. 코디네이터가 지그비 네트워크상에서 핵심적 역할을 담당하며 그 이외의 기능은 다른 프로세서에 의해 처리되도록 한다. [4]에서는 무선 센서 네트워크 시스템의 구조에 관한 연구 및 시뮬레이션 분석 결과를 제시하고 있는데, 오류 검출 및 지그비 네트워크의 재구성 메커니즘을 구현하기 위한 연구 결과를 분석하였다. [5]에서는 변압기(transformers)에 대한 부하 상태를 모니터링하고 온도 민감도를 분석하기 위하여 지그비 네트워크를 적용하는 방법을 다루고 있으며, 지그비 센서 네트워크를 이용하여 최소한의 전력소비 및 양호한 통신 품질이 가능한 다양한 지하 배전 변압기에 적합하도록 제안하고 있다.

따라서 본 연구에서는 지그비 센서 네트워크를 기반으로 하는 실시간 다중소스 센서 데이터에 대한 관리시스템에 대한 연구를 수행하였고, 그 결과 보다 효율적으로 센서 데이터를 처리하는 통합 관리 시스템을 설계하였다. 제안된 관리시스템은 다중소스 센서 데이터를 감시하고 제어하는 경우에 매우 유용한 시스템이다. 예를 들어 제안 시스템을 배양장치에 적용한다면 매우 효율적인 제어 및 관리가 가능해진다. 배양장치는 배양체의 성장에 필요한 온도, 습도, pH농도, O_2 등과 같은 생물학적인 최적조건을 유지하도록 하는 것이 매우 중요하기 때문에, 이를 위한 관리시스템이 필요하며, 센서 제어기술은 물론, 구조 및 압력 제어기술 및 정보처리 기술 등이 요구된다.

본 연구에서는 효율적으로 다중노드를 실시간으로 감시하고 진단하며, 다중소스 센서 데이터를 통합적으

로 제어할 수 있는 관리시스템을 설계하고자 한다. 이를 위해 저전력, 근거리 무선데이터 통신기술인 지그비(zigbee)^[6-7]모듈을 사용하여 시스템을 설계하였다. 데이터 전송범위, 무선장비 및 프로세서의 처리시간 등을 고려하여 데이터 손실률이 최소화되도록 설계하였으며, 4 종류의 센서로부터 획득한 데이터를 AT-Mega2561로 변환하여 전송한다. 거리 및 장애물 등을 고려하여 데이터 전송실험을 하였고, 그 결과를 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II장에서 지그비 센서 네트워크의 구조 및 통합관리에 대하여 설명하고, III장에서는 제안된 실시간 진단 및 관리시스템에 대한 설계 기법에 대하여 기술한다. IV장에서는 제안시스템에 대한 실험 및 성능평가 결과를 기술하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 지그비 센서 네트워크 구조 및 통합관리

1. 지그비 네트워크의 구조

지그비는 저비용, 저 전력을 특성으로 하는 무선 메시(mesh) 네트워크 표준으로, 무선 제어 및 감시 등 응용에 널리 활용된다. 이는 기본적으로 성형(star) 또는 트리(tree) 토폴로지를 사용할 수 있으며, 메시 토폴로지를 사용하여 높은 신뢰성과 적용범위의 확장이 가능해진다. 일반적으로 지그비 칩은 플래시 메모리와 통합 무선장치, 그리고 마이크로 제어부(MCU)로 구성되며, ISM (industrial, scientific and medical) 무선 대역에서 동작한다. 지그비 네트워크는 일반적으로 지그비 코디네이터 (ZigBee Coordinator:ZC), 지그비 라우터 (ZigBee Router:ZR), 그리고 지그비 종단장치(ZigBee End Device:ZED)와 같은 적어도 3가지 장치를 포함한다. 지그비 코디네이터는 네트워크 트리를 형성하고 타 네트워크를 연계시키는 역할을 수행할 뿐만 아니라, 보안키를 저장등 네트워크의 정보를 저장하는 기능을 갖는다. 지그비 라우터는 다른 장치로부터 들어오는 데이터를 전달하는 중계라우터 역할을 수행한다. 지그비 종단장치는 지그비 코디네이터 또는 지그비 라우터와만 통신이 가능하도록 구성된다.

본 연구에서는 이러한 특성을 갖는 지그비 프로토콜을 사용하는 무선 센서 네트워크를 기반으로 하여 실시간 진단 및 통합관리가 가능한 시스템을 설계하였다. 제안된 시스템은 다수의 센서노드와 진단 및 감시부,

그림 1. 센서노드의 제어모드 동작

Fig. 1. Control mode operation at sensor node.

제어부 등을 포함한다. 센서노드의 제어모드에서는 무선 전송된 센서데이터가 설정된 값과 상이한 경우, 경고 테이블(warning table) 목록에 있는 명령어를 실행하여 센서노드를 제어하도록 설계하였다. 아래 [그림 1]은 센서노드의 제어모드에 대한 동작을 블록 다이어그램으로 나타낸 것이다. 사용자 명령어나 경고 테이블에 있는 명령어가 서버로 보내지면, 노드 분석부를 거쳐 명령어를 전송하는 절차를 거쳐서 제어가 이루어진다.

2. 지그비 채널동기화 및 네트워크 동작

지그비 센서 네트워크가 정상적으로 동작을 하기 위해서는 모드전환과 채널동기화 과정을 필요로 한다. 지그비의 동작모드란 코디네이터(coordinator), 라우터(router), 종단장치(end device) 등 FZ750BC의 장치 타입을 설정하는 모드이며, AT-명령모드는 FZ750BC가 사용자로부터 명령어를 받아서 지그비 장치의 설정 값을 변경하는 모드이다. 따라서 지그비의 모드를 동작모드(operation mode)에서 AT-명령모드(AT-command mode)로 변환하여 동작이 이루어지도록 하였다.

또한 코디네이터는 지그비 네트워크를 관리하고 라우터와 데이터통신에 관련되기 때문에 라우터보다 먼저 설정해주어야 한다. 코디네이터를 설정한 다음, 지그비에서 사용할 채널(channel)을 선택해야 하고, 이때 16개의 채널(2403MHz~2480MHz) 중에서 하나의 채널을 선택하여 네트워크에 참여할 디바이스의 채널을 확보한다. 코디네이터에서는 전송해야할 대상 IEEE 주소(target IEEE address)가 없기 때문에 별도로 값을 설정할 필요는 없고, 장치이름을 설정함으로써 데이터를 수신할 준비가 완료된다. 다음으로 센서노드에 있는 지그비 모듈을 라우터로 설정하고, 코디네이터의 채널과

그림 2. 지그비 채널동기화 과정

Fig. 2. Zigbee channel synchronization process.

그림 3. 라우터의 설정 과정

Fig. 3. Router setting process.

동기화(channel synchronization)를 수행한 다음, 데이터를 전송하고자 하는 지그비 코디네이터의 주소(16 바이트)를 설정하면 된다. [그림 2]는 채널동기화 과정을 간략하게 나타낸 것으로, 무선 싱크노드의 구성이 완료되면 데이터 전송 및 수신이 가능하게 된다.

다음으로 장치의 이름을 입력하고 전송지연시간을 고려하여 타이머 설정(timer setting) 값을 지정하고, 설정한 값들을 정상적으로 작동되도록 한다. 센서 네트워크 구성이 완료되면 데이터전송이 가능해지며, [그림 3]은 라우터의 설정과정을 보여준다. 각각의 설정된 라우터는 지그비 네트워크의 전송거리 및 경로를 확장하여, 코디네이터와 데이터 교환을 수행한다.

본 연구에서는 지그비 센서 네트워크를 기반으로 하여 실시간 다중소스 센서 데이터에 대한 통합관리가 가능하도록, 실시간으로 센서 데이터의 처리가 이루어지도록 설계하였다. 제안시스템의 정상적인 동작을 확인하기 위해서 지그비 16개 채널 중 0x0E채널(14번 채널)

그림 4. 구현된 진단 및 관리시스템
Fig. 4. Implementation of the diagnosis and management system.

널^[8]을 사용하여 채널을 동기화하고, 데이터 전송실험을 수행하였다. 실험을 위해 지그비 센서 네트워크를 사용하여 아래 [그림 4]에서와 같은 진단 및 관리시스템을 구현하였다. 구현된 네트워크는 성형 토폴로지(star topology) 형태로 데이터 전송이 이루어지도록 하였으며, 센서노드는 필요에 따라 확장되어 구성된다.

Ⅲ. 다중노드 실시간 진단 및 통합 관리시스템 설계

본 연구에서 고려하는 무선 센서 네트워크는 [그림 5]에서와 같이 다수의 센서노드와 진단 및 감시부, 그리고 표시 및 경고신호 발생부, 제어부 등을 포함하는 구조이다^[1]. 센서로부터 데이터를 수집한 다음, 이를 표시 및 경고신호 발생부를 통해 실시간으로 표시(display)하도록 하고, 획득된 데이터를 저장하며 인터페이스를 통해 감시기능이 수행하도록 구성한다. 진단 및 감시부에서는 수신된 데이터를 전송측 센서노드를 구분하여 사용자가 확인할 수 있도록 표시한다. 각 센서로부터 획득된 데이터는 통합 관리를 위해 분석 및 저장하며, 또한 사용자가 필요한 상황에 따라서 적절한 명령을 센서노드로 전송할 수 있도록 구성하였다.

센서노드는 [그림 6]에서 보는 바와 같이 센서로부터 데이터를 획득하고, 이를 무선으로 전송하기 위해 데이터의 변환 및 전송기능을 수행하는 장치이다. 데이터처리를 위해서 시스템 클럭으로 16MHz이고, 사용전압이 4.5~5.5V를 갖는 AT-mega2561을 사용하였다. 무선

그림 5. 지그비 무선 센서 네트워크의 구성
Fig. 5. Zigbee wireless sensor network configuration.

전송모듈로는 IEEE 802.15.4 표준 기반의 지그비 저속 근거리 무선통신 모듈을 사용하고, MFC를 이용하여 진단시스템의 제어 및 관리프로그램을 구현하였다.

1. 센서노드의 설계

제안된 통합 관리시스템의 센서노드(sensor node)에 대한 구체적인 설계와 동작에 대하여 설명한다. 센서노드는 센서로부터 데이터를 획득하고 이를 실시간으로 전송하는 매우 중요한 장치이다. 본 연구에서는 온도센서, 습도센서, 광센서, 자기(magnetic) 센서 등 4 종류의 센서를 사용하는 센서 모듈로 센서노드를 구성하였으며, 각 센서는 동작전원과 출력전류가 차이가 있어서 이것을 고려하여 구현하였다. 온도 및 습도 센서의 동작전원은 12V이고, 출력전압은 1V~5V이다. 광센서의 경우는 동작전원은 5V이고, 출력전압이 0V~4V(출력전류 0uA~400uA)이다. 자기센서의 출력은 1V~2V이다. [그림 6]은 이러한 센서노드의 구성요소를 구체적으로 나타낸 구성도이다. 센서노드의 동작을 살펴보자. 각각의 센서 모듈로부터 얻어지는 출력전압, 출력전류 등과 같은 데이터를 처리하기 위한 마이크로 프로세서(MCU)로는 AT-Mega2561을 사용하였다. MCU의 10비트 아날로그-디지털 변환기(ADC: 동작시간 65μs~260μs)를 이용하여 아날로그 신호를 디지털 데이터(0 ~ 1023)로 변환하였다. 센서 4개의 총 변환시간은 최소 26μs가 필요하며, MCU의 타이머를 이용하여 사용자가 원하는 시간 내에 데이터를 변환할 수 있도록 구현하였다.

지그비 전송버퍼(transmission buffer)의 크기는 53 바이트(byte)이며, 지그비 모듈로 변환된 데이터를 전송

그림 6. 센서노드의 구성도

Fig. 6. The configuration of the sensor node.

그림 7. 구현된 센서노드

Fig. 7. Implemented sensor node.

하기 위해, MCU의 USART0 (TX0, RX0)와 모듈을 연결하였고, 최소 전송지연시간으로는 $55\mu s$ 로 설정하였다. [그림 7]은 실험을 위해 전원부, 프로세서부(MCU), 센서부(온도, 습도, 조도, 마그네틱), 지그비 모듈 등으로 구현된 센서노드를 나타낸 것이다.

2. 진단 및 통합관리시스템(DIMS)의 설계

본 절에서는 제안된 진단 및 통합 관리시스템(DIMS : Diagnostic and Integrated Management System)에 대한 구조 및 구체적인 동작을 설명한다.

가. 제안된 DIMS의 구조와 동작

제안된 시스템은 센서 데이터를 수신하여 변환과정을 거쳐서 저장하는 기능, 수신데이터를 표시하는 기능, 그리고 센서노드 제어기능이 수행된다. 각 센서노드를 통하여 획득한 데이터를 서버(server)로 전송하고, 서버에서는 수신된 데이터를 저장한 다음, 센서노드별로 구분하여 분석한다. 또한 데이터를 출력장치를 통해 가시적으로 표시(display)하며, 데이터가 설정한 값의 범위

그림 8. 제안 시스템의 데이터 수신부 구성도

Fig. 8. Data receiver configuration of the proposed system.

를 초과하는 경우는 비정상적인 상황이 발생한 것이므로, 경고(alarm) 신호를 내보내게 된다. 제안된 DIMS의 데이터 수신부의 블록다이어그램을 요약하여 [그림 8]에 나타내었다.

동작을 설명하면 다음과 같다. 먼저 서버와 지그비 모듈의 연결을 설정하기 위한 과정이 필요하게 되는데, 이는 포트, 전송률, 데이터길이, 패리티비트, 정지비트 등을 설정하는 과정이다. 연결이 완료되면 서버와 지그비 모듈 사이에 데이터의 교환이 가능해진다. 다음으로, 지그비를 통해 들어온 데이터를 수신버퍼에 순서대로 저장하게 된다. 이렇게 수신된 데이터는 분석단계로 넘어가게 된다. 이 단계에서는 각 센서노드로부터 입력된 센서 데이터의 노드 번호에 따라서 해당 정보를 사용자가 설정한 데이터 값과 비교하게 된다. 비교된 데이터 값이 사용자가 설정한 데이터 값의 범위를 초과하면 경고신호를 설정하여, DIMS 화면을 통해 경고 메시지(warning message)를 출력하도록 설계하였다. 저장 및 출력 단계에서는 데이터 분석과정 이후, 사용자가 구분하기 용이한 데이터로 변환한다. 일자별 시간별로 분류하여 각 센서노드를 구분하여 텍스트 파일로 저장하고, 경고신호가 발생한 데이터는 경고 텍스트 파일로 별도로 저장하도록 하였다. (그림 11 ③, ④참조)

센서노드 제어부분의 동작모드는 사용자 명령모드(user command mode)와 제어모드(control mode)로 구분된다. 사용자 명령모드는 센서노드의 데이터 측정 및 데이터 전송시간을 사용자가 원하는 시간으로의 변경이 가능하도록 설계하였으며, 이는 사용자 특정 명령어(지

그비 명령어)를 통해 각 센서노드에 명령어를 전달하도록 구성된다. 전달된 명령어는 센서 데이터 측정시간을 변경하여 각 센서노드로부터 사용자가 원하는 시간마다 데이터를 획득할 수 있다. 제어모드는 센서 데이터의 현재 값이 사용자가 설정한 센서 데이터를 초과할 경우에 센서노드를 제어하기 위해 사용된다.

나. DIMS 인터페이스 기능 및 구성

이미 설명한 것처럼, 제안 시스템은 센서로부터 데이터를 획득하고, 표시 및 경고신호 발생부를 통해 실시간으로 나타내며, 인터페이스를 통해 감시기능이 동작되도록 설계하였다. 인터페이스의 구성을 구체적으로 살펴보자. [그림 9]는 DIMS의 인터페이스 구성을 화면으로 보인 하나의 예이다. 그림에서 ①로 표시된 부분은 관리시스템과 지그비 모듈(coordinator)과 연결하기 위한 절차가 실행되는 환경 설정부에 해당한다. ②로 표시된 부분은 지그비 모듈로 데이터를 전송하기 위한 데이터 전송부로 명령어가 생성되어 동작하게 된다. ③으로 표시된 부분은 수신된 모든 데이터를 그대로 확인할 수 있도록 표시해 주는 부분이다. ④로 표시된 부분은 수신 데이터를 사용자가 용이하게 식별할 수 있도록 구분하여 표시한다. 즉 수신된 데이터를 각 센서노드에 따라서 분류하고, 각 장치별로 구분하여 데이터 값을 보여주도록 구성하였다. ⑤로 나타낸 부분은 사용자가 사용 목적에 적합하도록 설정 데이터를 입력하는 부분으로, 사용자 데이터 설정부를 통해 적절한 제어가 이루어진다. 마지막으로 ⑥으로 표시된 부분은 현재 장치의 데이터 값이 사용자가 설정한 값의 범위를 초과하는 경우에 경고메시지를 표시하고, 경고신호를 발생시킨다.

그림 9. 제안 시스템의 인터페이스 구성도
Fig. 9. Interface configuration of the proposed system.

다. 통합관리를 위한 센서 데이터 처리
사용하는 센서는 기능별로 확장 구성이 가능하고, 센서로부터 수집된 데이터는 데이터베이스로 저장함으로써 자료 공유가 가능하게 된다. 상시 감시와 진단을 요구하는 데이터를 주기적으로 샘플링하여 기준 값을 설정한 다음, 주기적으로 데이터를 획득하여 그 값이 기준 값을 넘게 되면 경보를 발생함과 동시에 경고메시지 저장하게 된다. 경보 발생시 센서를 활성화시켜 시간 영역별로 구분된 데이터를 저장하고 관리되며, 이 결과는 다중노드에 대한 실시간 진단과 관리에 유용하게 활용된다.

IV. 실험 및 성능분석

1. 실험 환경

제안된 시스템의 성능을 평가하기 위해 3개의 센서노드와 인터페이스, 통합관리 프로세서로 구성된 DIMS를 구성하였다. 성능분석 및 평가에는 데이터 전송률, 데이터 교환에 따른 지연시간, 오류율, 최적 전송속도 등의 평가요소를 고려하였고, 1개의 센서노드 하나를 사용하는 경우를 기본으로 하고, 2개, 3개, 4개를 사용하는 경우로 확장하여 실험을 하였다. 지그비 라우터에서 코디네이터로 정상적인 데이터(data) 전송이 수행되면, 코디네이터에서 라우터로 ACK 프레임을 전송하도록 하고, 이것은 데이터가 성공적으로 수신되었음을 알려주는 것이다. 이때 정상적 데이터 전송이 이루어지지 않으면, 최대 9번까지 데이터의 재전송이 실행되도록 설정하였고, 이것은 지그비 코디네이터에서 수행된다. [그림 10]은 이러한 실험환경을 간략하게 나타낸 것이다. 이는 [그림 5]에서 나타낸 지그비 센서 네트워크 환경을 기반으로 실험에 적합하도록 재구성한 것이다.

그림 10. 실험환경
Fig. 10. Experimental environment.

2. 전송거리에 따른 최소 지연시간의 변화 분석

우선 [그림 10과] 같은 실험환경에서 센서노드의 최소 지연시간(minimum delay time) 값으로 USART 전송속도를 고려하여 55ms로 설정하여 실험을 하였다. 이것은 지그비 버퍼크기가 53바이트임을 감안할 때 센서노드에서 53바이트의 데이터를 지그비 라우터로 전송하기 위한 최소 지연시간인 것이다. 이 경우 센서노드에서의 데이터 최대전송속도는 약 8.06Kbps로 나타났다. 이것은 전송거리가 1M인 경우 코디네이터로 데이터를 전송하기 위한 MCU의 최소 전송지연시간과 ADC를 통해 데이터를 획득하는 시간(26 μ s)을 고려할 때 정확한 데이터 전송이 이루어진다는 것을 보여주는 것이다.

상기 실험을 근거하여 본 실험에서는 무선 전송시 발생 가능한 다양한 형태의 장애요소를 고려했을 때 최소 전송지연시간으로 100ms를 기본으로 설정하였다. 네트워크의 형태는 성형 토폴로지를 사용하였고, 1개의 코디네이터에 센서노드 수를 확장해가면서, 거리에 따른 데이터 전송률을 측정하였다. 1개의 센서노드로 실험한 결과, 전송거리가 1M(미터) 또는 10M인 경우에는 MCU의 최소 지연시간을 100ms로 설정했을 때 100%의 데이터 전송률을 보였다. 이때 전송속도는 4.24Kbps로 나타났다. 전송거리를 확장한 결과, 20M에서 40M까지는 최소 지연시간을 200ms로 증가시켰을 때 100%의 데이터 전송률을 보였으며, 50M이상인 경우에는 600ms 이상의 최소 지연시간을 필요로 함을 확인하였다. 만일 600ms의 지연시간인 경우를 데이터 전송속도로 환산하면 707bps 정도가 된다.

1개의 센서노드를 사용할 때, 오류율(error rate)을 0%로 유지하면서 전송거리에 따라 MCU의 최소 전송

그림 11. 센서노드가 1개일 때 전송거리에 따른 최소 지연시간의 변화

Fig. 11. Minimum delay variation time according to transmission distance for 1 sensor node.

그림 12. 센서노드가 3개일 때 전송거리에 따른 최소 지연시간의 변화

Fig. 12. Minimum delay variation time according to transmission distance for 3 sensor node.

지연시간의 변화를 살펴보았으며, 그 결과를 [그림 11]에 나타내었다. 결과를 살펴보면, 전송거리가 50M 이상이 되면, 최소 전송지연시간이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 지그비 네트워크 구축시, 거리가 멀어질수록 네트워크내의 트래픽이 증가하게 되어 데이터 수신이 원활하게 이루어지 못함을 보여주는 것이다.

오류율을 0%로 그대로 유지하고, 3개의 센서노드로 확장했을 때, 전송거리별로 최소 전송지연시간의 변화를 [그림 12]에 나타내었다. 전체적으로 지연시간이 증가했으며, 센서노드가 1개일 때와 마찬가지로 전송거리가 50M 이상에서 지연시간이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 데이터 트래픽이 증가하는 원인은 지그비 장치가 지그비 네트워크에 연결하기 위해서 필요한 데이터가 발생하고, 지그비 장치가 목적으로 하는 장치까지의 경로를 확보하기 위해서 필요로 하는 데이터와 전송확인을 위한 ACK 데이터, 그리고 지그비 상황을 파악하기 위한 데이터 등이 생성되어 데이터가 증가하게 되는 것으로 판단된다.

3. 전송거리에 따른 데이터 손실률 분석

가. 단일 센서노드의 경우

1개의 센서노드에 대하여 거리에 따른 MCU 전송지연시간에 따른 데이터 손실률을 측정해 보았으며, 그 결과를 [표 1]에 나타내었다. 이것은 지그비가 네트워크에 연결이 이루어진 다음, 1000개의 데이터를 전송하고, 그 결과 손실되는 데이터 갯수를 산출하여 지그비 모듈의 전송거리에 따른 데이터 손실률을 측정한 것이다.

표 1. 센서노드가 1개일 때 지연시간에 따른 데이터 손실을 측정

Table 1. Measurement of the data loss rate vs transmission distance for 1 sensor node.

최소지연시간 거리	100ms	200ms	300ms	400ms	500ms	600ms
1M	0	0	0	0	0	0
10M	1	0	0	1	0	0
20M	2	1	0	0	0	0
30M	2	2	2	0	1	0
40M	25	18	8	0	0	0
50M	25	25	25	8	2	0

만일 손실률을 2.5%이하가 되도록 설정하는 경우라면, 1000개 데이터 전송시 25개 이상의 데이터 손실이 발생하는 경우를 부적합한 전송으로 간주한다. [표 1]을 살펴보면 최소지연시간이 100ms일 때 거리가 멀어질수록 손실률이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이처럼 데이터 손실이 증가하는 이유는 지그비 참여노드간 거리가 멀어짐에 따라 네트워크의 트래픽 양이 증가하기 때문이다. 또한 [표 1]에서 전송거리가 20M인 경우를 살펴보면, 최소 지연시간이 400ms 이상으로 설정하면 데이터 손실이 발생하지 않으나, 최소 지연시간을 200ms이하가 되도록 하면 데이터 손실이 발생함을 확인할 수 있다. 그러므로 제안된 DIMS를 사용하여 최소지연시간과 전송거리의 최적값을 선택함으로써, 데이터 처리가 원활하게 수행되도록 하면, 보다 효율적인 데이터전송이 가능하게 됨을 알 수 있다.

나. 2개의 센서노드에 대한 손실률과 손실요인 분석
앞의 경우와 동일한 조건을 갖는 센서노드를 2개로 확장하여 다중노드 전송 실험을 하였다. 실험결과인 [그림 13]에 나타난 바와 같이 10M 이내의 거리에서는 정상적인 데이터 전송을 확인할 수 있었으나 20M부터 데이터 손실이 나타나기 시작하면서 60M에 이르면 두 번

그림 13. 전송거리에 따른 다중노드 전송데이터 손실량
Fig. 13. Multi-node data loss vs. transmission distance.

그림 14. 전송데이터 손실률 발생요인별 분석
Fig. 14. Analysis of the transmission data loss factor.

째 센서 노드의 손실률이 12%에 이른다. 데이터의 손실이 발생하는 원인으로서는 전송중 오류발생, 데이터의 손실, 오류데이터의 재전송 등에 따른 결과이고, 손실률을 발생요인별로 나타낸 것이 [그림 14]이다. 지그비 1에서는 30M, 40M, 50M에서 데이터 손실에 의한 요인이 손실률에 가장 큰 영향을 미치고 있으며, 지그비 2에서는 60M일 때 손실률의 요인 중 데이터 손실에 의한 영향이 가장 큰 것으로 나타났다.

4. 장애가 있는 경우 전송률 분석

장애물이 있는 경우의 데이터전송에 어떠한 영향을 주는지 실험을 하였다. 이를 위해 [그림 15]과 같이 장애물이 있는 환경을 조성하고 전송실험을 하였고, 그 결과, 장애물이 있는 장소에서는 20M거리에서 네트워크 참여노드가 2개일 경우, 1개인 경우에 비해 5배의 MCU의 전송 지연시간 이 요구된다는 것을 알 수 있었다. 또한 3개로 확장하면 6.25배, 4개가 되면, 7.5배로, 5개가 되면 10배의 지연시간이 요구된다는 것도 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 [그림 16]에 나타내었다.

장애가 있는 경우 네트워크 참여노드의 수를 점점 증가시키면서 최소 전송 지연시간을 8000ms까지 충분히 큰 값으로 증가시키면서 실험하였다. 그 결과, 장애로

그림 15. 장애가 있는 경우 데이터전송 실험 환경
Fig. 15. Data transmission experimental environment for the obstacle.

그림 16. 장애가 있는 경우 최소 지연시간

Fig. 16. Min. delay time for the obstacle.

인하여 코디네이터에서 라우터로 ACK 프레임 전달이 원활하지 않아 데이터 재전송이 빈번히 발생하였다. 그러나 최소 지연시간을 충분히 큰 값으로 설정하면 필요한 데이터의 수신은 원활하게 수행됨을 확인하였다.

5. 다중노드 데이터 전송률 분석

가. 손실률 분석

다중노드 데이터 전송률을 분석하기 위해 센서노드를 3개로 확장하여 무선디바이스 수를 증가시킨 다음, 코디네이터와 디바이스 사이에 데이터의 손실이 없도록 하고, 무선 전송지연시간을 측정하였다. 참여노드가 증가할수록 전송거리가 멀어짐에 따라 전송시간이 급격하게 증가하였다. 참여노드의 수가 2개일 경우에는 50M 거리에서 전송시간은 평균 1000ms이고, 참여노드를 3개로 확장하면 전송시간이 1500ms로 측정되었다. 데이터 전송범위 및 처리시간 등 다양한 조건에서 데이터 전송 지연시간 및 데이터 전송률, 손실률 등을 살펴보았다. [그림 17]은 네트워크 디바이스를 추가하면서 거리에 따른 데이터 손실률(loss rate)을 나타낸 것이며, [그림 16]은 1000개의 데이터를 전송했을 경우, 데이터 손실이 발생하는 요인을 분석하여 비교한 결과로, 전송거리가 30M 이상에서 데이터 손실량이 급속히 증가함을 보여준다.

결과로부터 동일한 MCU 전송지연을 고려하면, 네트워크 참여노드 수의 증가는 코디네이터 지그비에서 센서노드로부터 전송되는 데이터 트래픽의 증가로 이어지고, 이것은 데이터 트래픽이 과도하게 발생할 가능성이 있음을 보여준다. 트래픽 발생이 심각한 수준에 이르면, 진단 및 관리시스템의 진단 및 제어부에서 과부하 모드

그림 17. 전송 거리에 따른 전송 데이터 손실률

Fig. 17. Transmission data loss vs. transmission distance.

로 전환한다. 이 경우 우선순위를 고려하고, 최소 지연시간과 전송거리의 값을 선택함으로써 데이터 처리가 원활하게 수행되도록 제어한다.

가. 전송률 분석

참여 센서노드의 수를 증가시키면서 데이터 전송속도를 거리별로 측정하였고, 그 결과를 [표 2]에 정리하였다. 거리에 따라 관리시스템은 1M, 10M에서는 네트워크 참여노드의 수가 증가하여도 전송률에는 크게 문제가 되지 않는 것으로 나타났으며, 20M 이상에서는 참여노드의 수가 증가하면 전송속도는 감소하는 것으로 나타났다. 10M 이내의 짧은 거리에서는 MCU 최소 무선 전송지연시간을 500ms로 동일하게 설정하여 실험하였고, 거리에 따른 차이가 크지 않았다. 거리가 20M 이상에서는 MCU의 최소 전송지연시간을 1000ms로 설정하고, 3개, 4개, 5개일 경우에는 최소 전송지연시간을 적어도 2500ms값으로 설정하여 실험을 하였다. 참여노드의 수가 증가하고 전송거리가 멀어질수록 전송속도가 감소함을 확인하였다. 이러한 결과로 부터 참여노드의 수가 증가할 경우에 대한 전송률 제어가 가능해진다.

표 2. 참여노드 수에 따른 데이터 전송속도
Table 2. Data transmission rate vs the number of participating nodes.

참여노드수(개)	1	2	3	4	5
전송거리(M)					
1M	4200	2800	2550	3400	2450
10M	4200	1690	1870	3400	1580
20M	2120	1690	1870	680	550
30M	2120	1210	1270	680	550
40M	2120	850	1270	430	350
50M	710	850	850	340	280

V. 결 론

최근 무선 센서 네트워크 기술을 다양한 시스템에 적용하는 기법에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 사물인터넷 기술의 연구개발과 더불어 저전력, 저비용 등의 특성을 갖는 지그비 센서 기술은 변화되는 환경에 적합한 핵심기술로 부각되고 있어서 그 활용범위가 더욱 확대될 것으로 예상된다. 이에 따라 본 연구에서는 본 연구에서는 지그비 센서 네트워크를 기반으로 하여 실시간으로 다중소스 센서 데이터를 보다 효율적으로 처리하는 통합 관리시스템을 설계하였다. 무선데이터 전송을 위해 지그비 무선모듈을 사용하였고, 데이터 전송범위, 무선장비 및 프로세서의 처리시간 등을 고려하여 효율적인 데이터 전송이 되도록 하며, 4 종류의 상이한 센서로부터 획득한 데이터를 실시간으로 처리하도록 진단 및 관리시스템을 설계하였다. 제안 시스템은 사용자의 명령어를 처리하여 센서노드에 명령을 전달하도록 인터페이스를 구현하였다. 거리에 따른 무선 데이터 전송시 발생하는 데이터 손실률을 최소화하고, 보다 효율적인 데이터 전송을 위해 최적 전송 지연시간을 측정하였으며, 그 결과, 제안된 시스템이 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 또한 네트워크 참여노드 수의 증가로 인한 데이터 트래픽의 증가에 따른 분석과 효율적인 처리방안도 제시하였다. 향후, 참여노드수가 더욱 증가하여 대규모 네트워크로 진화하는 경우에 대한 트래픽 관리기법에 관한 연구와 융합 무선 데이터의 전송속도를 보다 향상시키는 방안에 대한 연구가 진행될 예정이다.

REFERENCES

- [1] <http://www.sensor-networks.org/Understanding802.15.4>
- [2] Chenyan Zhang, et al, "Topology Performance Analysis of Zigbee Network in the Smart Home Environment", 2013 5th IHMSC International Conference, Aug. 2013.
- [3] Liu Yanfei, et al, "An improved design of ZigBee Wireless Sensor Network", 2nd ICCSIT IEEE International Conference, Aug. 2009.
- [4] Chau-Chung Song, "Simulation and experimental analysis of a ZigBee sensor network with fault detection and reconfiguration mechanism", 8th

Control Conference (ASCC), May 2011.

- [5] Mei-Sung Kang, et al, "ZigBee Wireless Network for Transformer Load Monitoring and Temperature Sensitivity Analysis", 2011 IEEE IAS Conference, Oct. 2011.
- [6] IEEE 802.15 WPAN TG4, www.ieee802.org/15/pub/TG4.html
- [7] ZigBee Wireless Sensor Applications for Health, Wellness and Fitness, Zigbee Alliance, March 2009. (<http://www.zigbee.org>)
- [8] Kenneth D. Cornett, Clarification of Motorola's Proposal for the IEEE 1451.5 Wireless Smart Sensor Standard, pp.7~10, 2003.
- [9] José A. Gutierrez, IEEE 802.15.4 Tutorial, pp.12~20, 2003.
- [10] D. Culler, "Overview of Sensor Networks", IEEE Computer Society, August 2004.
- [11] Tijs van Dam, Koen Langendoen. "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", SenSys'03, Los Angeles, November 2003.
- [12] Joseph Polastre, Jason Hill, David Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks", SenSys'04, Baltimore, November 2004.

저 자 소 개

강 문 식 (정회원)

1985년 연세대학교 전자공학과 학사 졸업.

1988년 연세대학교 전자공학과 석사 졸업.

1993년 연세대학교 전자공학과 박사 졸업.

1996년 펜실바니아대학교 전기및전자공학과 Post-Doc

<주관심분야 : 차세대융합초고속네트워크구조 및 최적화기법, 무선모바일네트워크의 QoS 트래픽 제어 및 보안, 이동멀티미디어 트래픽모델링 및 응용 >