

논문 2011-48CI-2-11

유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 실시간 온·습도 기록 및 모니터링 시스템 개발

(Development of Realtime Temperature & Humidity Logging and
Monitoring System using Ubiquitous Sensor Network)

천성심*, 김정자**, 원용관***, Hai Trieu Pham*

(Seong-Sim Cheon, Jung-Ja Kim, Yonggwan Won, and Hai Trieu Pham)

요약

유비쿼터스 센서 네트워크(USN: Ubiquitous Sensor Network)는 우리 생활 전반적으로 다양하게 적용되고 있는 기술이다. 본 논문은 온도와 습도를 일정하게 유지해야 할 필요가 있는 공간을 효율적으로 관리할 수 있는 USN 기술 기반의 시스템에 대한 설계 및 이의 구현 사례를 소개한다. 본 시스템은 온·습도 센서가 내장된 다수의 센서 모듈을 이용하여 대상 공간에 무선 센서 네트워크를 구성하고, 각 모듈의 센서로부터 감지된 온·습도 정보를 실시간으로 수집하여 Database에 기록함과 동시에 사용자가 그래픽 인터페이스를 통해 대상 공간의 온·습도 현황을 Monitoring 할 수 있는 시스템이다. 또한, 각 온·습도 센서 모듈의 관리 대상 공간에 대하여 특정 온·습도 값을 지정하고 이 값과 일정 수준 이상의 오차가 발생하면 경고를 발생토록 한다. 본 논문에서 소개하는 시스템은 수동적이었던 기존의 데이터 수집 및 관리 방식을 자동화함으로써 보다 편리하고 효율적으로 대상 공간의 온·습도를 관리할 수 있으며, 저장된 데이터를 이용하여 온·습도로 인해 발생된 문제점에 대한 사후 분석 및 환경의 개선에 필요한 정보를 얻을 수 있다.

Abstract

Ubiquitous sensor network(USN) is a technology which is widely used in our life. This paper introduces an example of design and implementation for a system which is based on the USN technology and can provide an efficient management tool for a space that should be precisely controlled for a certain range of uniformity in temperature and humidity. This introduced system builds a wireless sensor network using a number of sensor modules that are equipped with temperature and humidity sensors, and collects temperature and humidity information in real-time while simultaneously providing a method for monitoring the status of temperature and humidity by the graphical user interface. Also, the system will give a warning signal if the monitored values are differ from the pre-specified values of temperature and humidity for each sensor module more than a certain amount of tolerance. This temperature and humidity logging and monitoring system can perform better management for the space easily and efficiently by automating the existing manual method for data collection and management. Furthermore, using the stored data, it can make possible to perform post-analysis on the problems caused by temperature and humidity and to obtain information for environmental enhancement for the space.

Keywords : ubiquitous sensor network, temperature and humidity sensor, temperature and humidity control, logging and monitoring system, Zigbee wireless communication

* 정회원, *** 정회원-교신저자, 전남대학교 컴퓨터공학과
(Department of Computer Engineering, Chonnam National University)

** 정회원, 전북대학교 바이오메디컬공학부
(Division of Biomedical Engineering, Chonbuk National University)

※ 위 논문은 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구됨

접수일자: 2010년10월24일, 수정완료: 2011년2월25일

I. 서론

온도와 습도의 관리가 중요한 각종 제조 공정, 장비실 및 연구실에서는 원하는 온도와 습도를 유지시키기 위하여 항온항습 시스템을 사용한다. 항온항습 시스템은 사용자가 미리 설정한 온도와 습도 조건에 맞는 공

기를 방출 하여 대상 공간의 온도와 습도를 일정하게 유지하도록 제작되어 있으나, 실제로 대상 공간 전체가 원하는 온도와 습도가 일정하게 유지되고 있는지는 보장하지는 않는다. 즉, 넓은 공간의 경우, 위치마다 온도와 습도가 달라질 수 있으며, 공간의 특성상 특정 위치의 온도와 습도 변화가 중요하게 관리되어야 할 필요가 있는 경우 항온항습 시스템의 설정 값만으로는 그 요구를 만족 시킬 수 없다. 이러한 요구를 만족하기 위해서는 대상 공간에 다수의 온·습도계를 분산 설치하여 일정 시간마다 해당 구역이 원하는 온도 및 습도 값을 유지하고 있는지를 확인하여야 한다. 이러한 수동적 방법은 일정한 시간 간격으로 온·습도 값을 기록하여야 하는 불편함을 초래함은 물론 기록 과정에서 기록의 탈락 및 오기록의 가능성이 존재하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서 온·습도 센서가 내장된 다수의 무선 센서 노드를 대상 공간의 특정 위치마다 배치시키고, 자율적으로 네트워크를 구성하도록 하여 실시간으로 대상 공간의 온·습도를 감지하는 실시간 온·습도 기록 및 모니터링 시스템을 제안한다. 각 무선 센서 노드에서 감지한 온·습도 데이터는 유비쿼터스 센서 네트워크(USN: Ubiquitous sensor network)를 통하여 서버로 전송되어 구축된 데이터베이스에 저장되며, 저장된 데이터는 동시에 서버의 화면을 통하여 모니터링 되고 추후 사용자가 다양한 분석을 통하여 이를 정보화 할 수 있다. 또한, 서버의 응용프로그램을 통해 사용자가 특정 공간에서 유지하고자 하는 적정 온도와 습도 값을 설정할 수 있으며, 실제 측정된 값이 사용자가 설정한 값의 범위를 일정 이상 이탈할 경우 이를 실시간으로 알림으로써 대상 공간의 환경을 효과적으로 관리 할 수 있다. 즉, 기존의 수동적인 시스템에서 자동적인 시스템으로 전환을 통해 사용자는 편리하고 안정적으로 대상 공간을 관리할 수 있으며, 저장된 데이터를 이용하여 온도와 습도가 일정하게 유지되지 못하여 발생한 문제점에 대한 사후 분석 및 개선에 필요한 정보를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 먼저 본 시스템에 적용된 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)에 대해 알아보고, 데이터를 측정하는 무선 센서 노드, 각각의 무선 센서 노드에서 측정된 데이터를 서버로 전송하기 위한 라우팅 기법, 취합된 데이터를 모니터링 하는 서버의 응용프로그램 등 시스템의 각 구성에 대한 동작 및 기능을 설명한다. 또한, 제안 시스템의 실제 환경의 적용 결과를 기반으로 하여

본 시스템의 안정성을 분석하고 향후 보완해야 할 사항들을 정리한다.

II. 관련 지식 및 기술

본 장에서는 일정 공간의 온·습도 정보를 수집, 저장 및 분석하는 시스템을 구성하는 요소들 및 관련 기술들에 대하여 알아본다. 구성의 주요 요소들로는 정보 수집 및 전송의 근간을 이루는 유비쿼터스 센서 네트워크^[1], 데이터 전송을 위한 무선 통신 방식인 지그비(Zigbee)를 들 수 있으며^[2~4], 본 논문에서 소개하는 온·습도 기록 및 모니터링 시스템과 유사한 기능을 제공하는 Crossbow사의 MoteView라는 모니터링 프로그램에 대하여 소개한다^[5].

1. 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)

유비쿼터스 센서 네트워크(USN: Ubiquitous sensor network)는 매우 작은 크기의 독립된 무선 센서 노드들을 건물, 도로, 의복, 인체 등의 물리적 공간에 배치하여 주변의 온도, 빛, 가속도, 자기장, 화학물 등의 정보를 무선으로 수집하고 관리할 수 있는 기술을 의미한다^[4]. 무선 센서 노드 내에는 센서, 센서 제어회로, CPU, 무선통신 모듈, 안테나, 전원장치 등이 내장되어있어서 주변 센서 노드들과 협업하여 Ad-hoc 통신 기법으로 데이터를 수집 노드(Sink node)에게 전송할 수 있다. 여기서 Ad-hoc 통신 기법이란, 특정 AP(Access Point)나 Base Station과 같은 중계기가 없더라도 각 무선 노드들 간에 자유로운 네트워크를 구성하는 기술을 의미한다^[6]. 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 다양하고 많은 센서 노드들이 여러 공간에 자유롭게 배치되어 동작되기 때문에 특정한 중계기 없이도 스스로 네트워크를 형성할 수 있는 Ad-hoc 통신 기법이 효율적이다. 일반적으로 무선 센서 노드들은 자신들이 형성한 Ad-hoc 네트워크에서 수집 노드까지의 통신 경로를 스스로 찾고, 그 경로를 기반으로 데이터를 전달하기 때문에 일반 사용자는 센서 네트워크에 대한 전문적인 지식이 없더라도 센서가 감지한 정보를 쉽게 확인할 수 있다^[4, 6].

유비쿼터스 센서 네트워크는 일반적으로 센싱의 정확성과 센싱 영역의 확장성을 위해 많은 수의 센서 노드들로 구성되며, 그에 따른 자가 능력 및 노드 간의 상호 협업 능력이 중요시된다. 또한, 다양한 종류의 센서들에 의해 감지된 데이터들을 효율적으로 수집 노드로

전달하는 기술도 매우 중요하다. 특히, 제한된 전력 자원으로 동작되는 센서 노드에서 통신 전력 소비를 최소화하기 위한 저전력 통신 기법은 유비쿼터스 센서 네트워크에서 빼놓을 수 없는 중요한 연구 분야이다.

최근 유비쿼터스 센서 네트워크는 다양한 연구와 관련 기술의 비약적 발전을 통해 우리 생활 전반에서 많이 활용되고 있다^[1]. 스마트 홈서비스 분야에서는 실내 온도, 습도, 미세먼지 및 산소 농도 등을 모니터링 하고 제어하여 사용자에게 쾌적한 환경을 제공하거나, 불필요한 에너지 낭비를 막기 위해서 센서 노드에서 측정된 데이터 분석을 통해 사람의 이동 경로와 시간을 예측하여 에어컨, 조명, 보일러 등을 제어하는 시스템들이 실생활에 적용 되고 있다. 또한 의료분야에서도 집안에서 혈당, 혈압 등 개인의 생체 신호 및 건강 정보를 측정해 의료기관의 건강 정보 시스템으로 전송하고, 전송된 데이터를 분석하여 원격으로 건강관리 및 의료서비스를 제공하기도 한다. 이처럼 유비쿼터스 센서 네트워크의 응용 분야는 군사, 안전, 유통, 의료, 기상, 환경, 가정, 제조 등으로 매우 다양하다.

2. Zigbee 무선통신

유비쿼터스 센서 네트워크를 구성하는 각각의 센서 노드에는 무선 통신 모듈이 내장되어 있다고 앞에서 언급한 바 있다. 독립적으로 배치된 센서 노드에서 측정된 센싱 데이터는 센서 노드들이 자율적으로 구성된 네트워크 경로를 통해 수신 노드로 전송된다. 이 과정에서 센서 노드 간에 무선 통신을 위한 기술로 Zigbee가 적용되는 것이다. 물론, 무선 통신 기술에는 여러 가지가 있으나 센서 네트워크의 특성인 저전력, 일정 거리 이상의 전송범위, 구현의 용이성 등을 고려할 때 IEEE

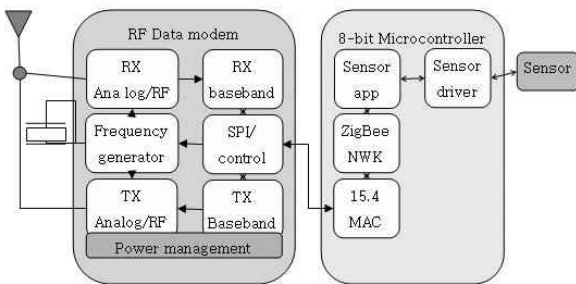


그림 1. Zigbee 하드웨어의 구성요소 (무선 RF칩 + 마이크로 컨트롤러)

Fig. 1. Components of Zigbee Hardware (Wireless RF Chip + Micro-controller).

802.15.4, Zigbee, UWB, Bluetooth 등과 같은 저속의 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술들이 주로 적용되고 있다. 그 중 현재까지는 단순 기능이 요구되고 저전력, 저가격, 소형 등의 장점을 갖는 Zigbee 기술이 관련 응용 분야에서 가장 많이 적용되고 있는 추세이다. 그림 1은 Zigbee 하드웨어의 구성요소를 보여준다^[3].

한국 Zigbee 포럼에서는 Zigbee를 저전력, 저가격, 사용의 용이성을 가진 근거리 무선 센서 네트워크의 대표적인 기술 중 하나로 2003년 IEEE 802.15.4 작업분과위원회에서 표준화된 PHY/MAC 층을 기반으로 상위 Protocol 및 Application을 규격화한 기술이라고 설명하고 있다^[3]. 아래의 표 1은 Zigbee 기술을 다른 무선 통신 기술과 비교하여 정리한 자료이다^[3].

표 1에서 보이는 바와 같이, Zigbee는 비교적 짧은 통신거리를 갖지만 저가격이고 Device 확장성이 뛰어나

표 1. Zigbee, Bluetooth 및 Wireless LAN 비교
Table 1. Comparison of Zigbee, Bluetooth and Wireless LAN.

항목	Zigbee	Bluetooth	Wireless LAN
제품군	Various Sensors, Toy, Home Automation	HandFree, Headset, Phone, PDA, Computer	Notebook, Phones
통신 거리	10m(고정시 1~100m)	10~100m	150m MAX
Device/Networks	65536개 또는 그 이상	7개	1개
전송속도	2.4Ghz : 250kbps 915Mhz : 40kbps 868Mhz : 20kbps	2.4Ghz : 1Mbps	2.4Ghz : 11Mbps->54Mbps
채널	2.4Ghz : 11~26채널 915Mhz : 1~10채널 868Mhz : 0채널	2.4Ghz : 79채널	
기반규격	IEEE 802.15.4		IEEE 802.11b
설치 용이성	아주 쉬움(고정용에 유리)	쉬움 (작은 이동)	쉬움 (이동성에 강함)
적용 제품군	초저가품	중저가품	중저가품
Battery	비충전식	충전식	충전식
Battery 사용	수개월~수년	소진시 재충전	소진시 재충전

규모가 큰 환경에서의 적용이 유용할 뿐 아니라 전력소모가 적어 많은 응용분야에서 채택되고 있다. 더불어 Zigbee는 피어 투 피어(P2P : Peer to Peer), 선형, 망형 등 대부분의 네트워크 형상과 호환성이 있는 장점도 가지고 있다. Zigbee에 적합한 응용으로는 HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning), 조명 시스템, 침입 탐지, 화재 감지, 비정상 사태의 감지 및 통보 등의 분야가 있다^[3,7].

3. Crossbow사의 MoteView

MoteWorks는 Crossbow에서 제공하는 S/W 개발 플랫폼이다. 이는 무선 센서 네트워크 응용프로그램을 위한 소프트웨어 개발 환경을 제공하며 센서 정보를 모니터링 할 수 있는 MoteView라는 클라이언트 응용프로그램을 제공한다^[5]. MoteView의 구동 요소는 아래의 그림 2처럼 총 3개의 계층으로 나뉜다.

Mote 계층에서는 다수의 센서 노드가 측정한 데이터들을 메시 네트워크(Mesh Network)를 형성하여 Server 계층으로 전송해 주고, Server 계층에서는 취합된 데이터의 변환과 기록을 담당한다. 마지막으로

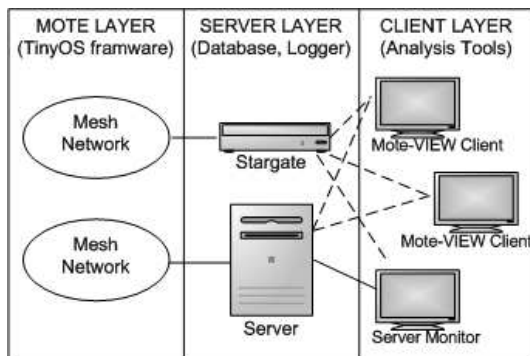


그림 2. MoteView의 구동 요소^[5]
Fig. 2. Components fo MoteView^[5].

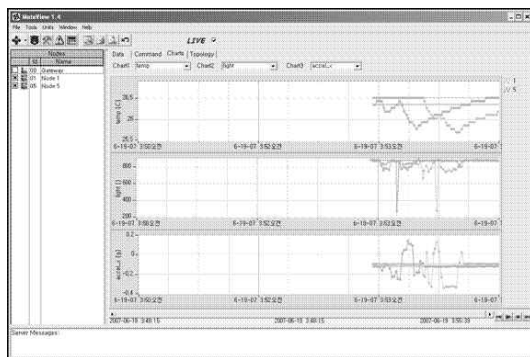


그림 3. MoteView 실행 화면^[5]
Fig. 3. Operation Window of MoteView^[5].

Client 계층은 수집된 데이터들을 그래프나 시각적인 요소를 포함하여 화면에 나타내 주는 역할을 한다. 이 Client 계층의 응용프로그램인 MoteView는 센서 네트워크의 구성, 관리, 모니터링, 원격 분석 등의 편리한 기능을 사용자에게 제공하고 있다 (그림 3).

III. 시스템 구성 및 기능

본 연구에서 개발한 시스템의 기본 구성도가 그림 4에 도식되어 있는데, 다수의 센서 노드의 집합인 센서 필드와 데이터를 저장 관리하는 서버 부분으로 구성되어 있다. 센서 필드는 온·습도를 감지하는 다수의 센서 노드들이 관리 대상 공간에 독립적으로 배치되어 각 센서가 감지한 데이터를 서버와 연결된 수집 노드로 전송하도록 센서 네트워크를 형성한다. 서버는 취합된 센싱 데이터는 Parsing하여 변환된 데이터를 Database에 저장함과 동시에 모니터링 프로그램의 인터페이스를 통해 실시간으로 시스템의 화면에 출력하고 각종 기능을 수행하는 응용프로그램을 실행한다. 본 장에서는 본 시스템의 각 구성 부분들과 그들의 기능에 대하여 상세히 설명한다.

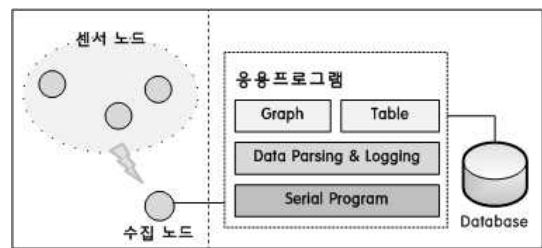


그림 4. 시스템 구성도
Fig. 4. System configuration.

1. 센서 필드의 구성과 기능

가. 무선 센서 노드

앞서 제시한 그림 4의 본 시스템의 구성도의 센서 노드는 목적에 맞는 어떠한 센서 노드도 적용이 가능하지만, 본 연구에서는 Zigbex II 모듈(한백전자, 대한민국)을 사용하였다. 다음 그림 5와 그림 6은 Zigbex II의 외형 구성과 내부 블록도를 나타내고 있다.

Zigbex II는 온·습도 센서뿐만 아니라 조도 센서와 적외선 센서가 기본적으로 내장되어 있으며 선택적 센서로 가속도 센서, 체온 측정 센서, 혈압, 혈중 산소농도

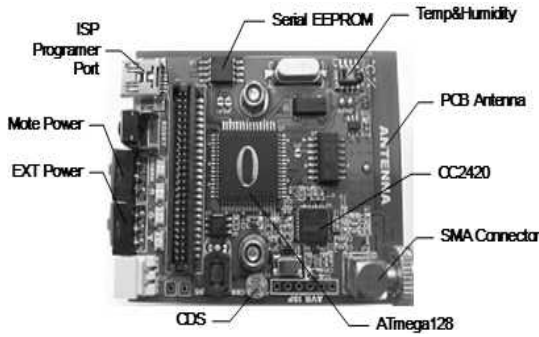


그림 5. Zigbee II Mote 구성
 Fig. 5. Configuration of Zigbee II Mote.

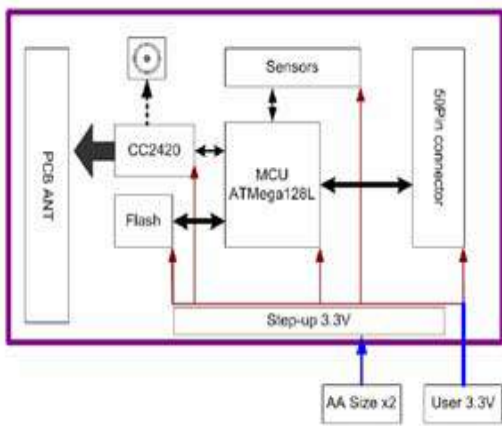


그림 6. Zigbee II Mote 블록도
 Fig. 6. Block diagram of Zigbee II Mote.

측정 센서 등 필요에 따라 다양한 센서들을 추가할 수 있다^[8]. 온도와 상대 습도는 SHT11 센서(Sensirion AG, 스위스)에 의하여 측정되는데 측정된 아날로그 신호를 디지털로 변환하는 ADC 기능을 내장하고 있으며 Mote의 CPU와 직접적으로 연결되어 데이터가 CPU에 바로 전송될 수 있다. 이러한 SHT11 센서 모듈은 본 시스템을 구성하는 다수의 센서 노드에 개별적으로 장착이 되어 있다. 또한, Zigbee II에 내장된 RF 통신 칩으로는 CC2420(Chipcon, 노르웨이)가 사용되었다. CC2420은 저전력 무선통신 칩으로 라디오 인터페이스의 전원을 off 시킬 수 있는 sleep기술을 제공함으로써 전력소모를 줄여주는 장점을 가지고 있다.

나. Tree 라우팅

무선 센서 노드들은 자신이 내장하고 있는 센서에서 감지된 데이터를 무선 통신을 이용하여 수집 노드로 효율적으로 전송할 수 있어야한다. 센서 네트워크에 적용하기에 적합한 대표적인 기법으로 AODV(Ad-hoc

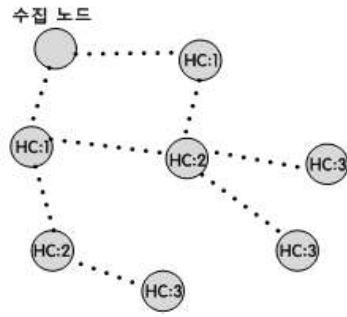


그림 7. Tree 라우팅에서 형성되는 토폴로지
 Fig. 7. Topology constructed in tree routing.

On-Demand Distance Vector) 라우팅 기법이 있지만, 이 기법에서는 데이터 전송이 요청 될 때마다 경로를 탐색하므로 불필요한 에너지가 소모된다^[9]. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위한 라우팅 기법으로 Tree 라우팅 방식을 본 시스템에 적용하였다 (그림 7).

Tree 라우팅은 수집 노드가 root가 되어 주변 노드들과 트리구조의 네트워크를 형성시켜주는 라우팅 프로토콜이다^[10]. 이 라우팅 프로토콜은 무선 센서 네트워크와 같이 최종 목적지 노드가 수집 노드로 거의 고정된 네트워크에서 매우 효과적이다. Tree 라우팅에서 형성된 토폴로지에서는 특성상 라우팅 패스가 루프를 형성할 수 없다. 또한 상위계층의 부모 노드에서 데이터를 전달하다 보면 결국 root 노드인 수집 노드로 데이터가 전달되는 특성을 지닌다. 각 노드들은 multi-hop 라우팅을 위해 복잡한 라우팅 패스를 유지할 필요 없이, 자신의 상위 부모 노드의 주소만 유지함으로써 multi-hop 라우팅이 가능하다^[4, 11].

라우팅의 과정을 살펴보면 root인 수집 노드로부터 hop 수에 따라 계층이 형성되기 때문에, 수집 노드는 주기적으로 자신의 존재를 나타내는 Beacon패킷을 브로드캐스트 한다. 수집 노드로부터 Beacon패킷을 받게 되는 노드들은 자신이 수집 노드로부터 1-hop 되는 것을 인지하고 그 정보를 다시 자신의 Beacon패킷에 넣어 주기적으로 브로드캐스트 한다. 이러한 방식으로 네트워크에 존재하는 모든 노드들은 수집 노드로부터 몇 hop만큼 떨어져 있는지 알게 되며, 이 과정을 최하위 단계까지 실행함으로써 전체 네트워크가 구성된다^[11]. 네트워크가 형성되면 최하위 계층부터 자신에게 수신된 부모 노드들의 정보를 가지고 데이터 전송이 가능한 부모 노드를 선택하여 데이터 전송 경로를 설정한다. 이와 같이 전송 경로가 설정되면 AODV에서 실행하였

던 경로 탐색 과정이 한 번의 경로 탐색으로 감소되며, 전송 지연 시간을 단축시키고, 라우팅 테이블을 유지 및 관리하지 않아도 되기 때문에 그만큼의 에너지 소모를 줄일 수 있다.

2. 응용프로그램의 구성과 기능

유비쿼터스 센서 네트워크의 응용이 폭 넓게 활성화됨에 따라 이를 모니터링하고 컨트롤하는 응용프로그램들이 관련 연구 기관이나 기업 등에서 발표 또는 출시되고 있다. 이 프로그램들은 각 센서 노드들이 측정된 값을 그래프나 테이블 형태로 화면에 출력해 주거나, 네트워크 토폴로지 정보를 한눈에 볼 수 있도록 하는 다양한 사용자 인터페이스를 제공하고 있다. 이러한 프로그램들의 대부분은 센서 노드를 제작 및 판매하는 기업에서 센서 노드의 사용자에게 제공되는 것으로 상용 프로그램에 해당된다. 본 시스템의 응용프로그램은 앞서 언급한 상용 프로그램들이 제공하는 다양한 기능들을 바탕으로 온도 및 습도를 실시간으로 감지하고 저장 및 분석하는 목적과 사용자 요구에 적합하도록 설계를 하였다. 시스템의 응용 프로그램의 구성은 그림 8과 같이 센서필드의 수집 노드로부터 데이터를 수신하는 Serial 통신부분, Data의 Parsing 및 Logging 부분, 그리고 Graph View 및 Table View를 제공하는 Display 부분으로 나뉜다.

센서 필드의 수집 노드는 서버와 연결되어 Serial 포트를 통해 실시간으로 취합된 데이터를 전송한다. 따라서 응용 프로그램의 Serial 통신부에서는 수집 노드에서 전송한 패킷을 입력 받는 역할을 한다. 즉, 포트를 열어 데이터를 입력받고, 시스템 종료나 사용자가 모니터링을 중단하고자 할 때 포트를 닫아주는 기능 등을 수행한다. Serial 포트로 입력되는 패킷의 구조는 다음의 그림 9와 같다.

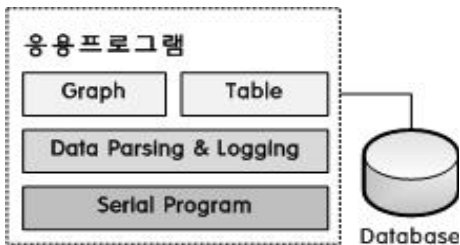


그림 8. 응용프로그램의 구성 및 Database
Fig. 8. Components of application program and database.

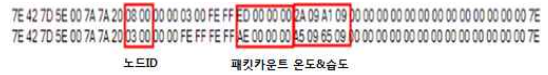


그림 9. 시리얼 포트를 통해 입력되는 패킷의 구조
Fig. 9. Package structure inputted through serial port.

Data Parsing & Logging부에서는 그림 9와 같은 수신된 패킷을 Parsing하여 센싱된 Raw 데이터를 실생활에 쓰이는 온도와 습도 값으로 변환하는 과정이 필요하다. 변환 시 고려되어야 할 내용으로는 센서 노드에서 구성되는 패킷의 처음과 끝은 0x7E로 약속되어 있기 때문에 그 외의 부분에서는 0x7E가 포함되어서는 안 된다는 점과, 온도와 습도 데이터는 비트연산이 필요하다는 점이다. 만약 처음과 끝 부분을 제외한 다른 부분에 0x7E가 포함되는 경우에는 이를 0x7D 0x5E로 변경하여 패킷을 구성하게 되고, 원래의 0x7D값과 변경으로 인해 삽입된 0x7D를 구분하기 위해 원래의 0x7D값은 다시 0x7D 0x5D로 변경되어 패킷을 재구성하도록 되어 있다.

다음으로 온도와 습도 데이터는 각각 2Byte로 총 4Byte를 차지한다. 이때, 2Byte의 데이터에서 앞의 1Byte와 뒤의 1Byte가 서로 뒤바뀌어 패킷이 구성되기 때문에 데이터 변환 시 이점을 유의하여야 한다. 예를 들어, 그림 9의 첫 번째 패킷라인을 보면 온도 부분의 값이 2A 09인 것을 볼 수 있다. 이를 변환할 때에는 비트 연산을 통해 09 2A 순서로 계산되어야 한다. 즉, 16진수 092A를 10진수로 변환하면 2346이 되는데 이 값을 100으로 나누어주면 23.46°C라는 값으로 변환이 되는 것이다. 이러한 변환 과정을 거친 데이터는 구축된 Database에 기록되고, 이와 동시에 Graphical Display 부분으로 넘겨진다. Database에 기록되는 아이템으로는 날짜, 시간, 노드의 고유ID, 온도, 습도 등이 있다. 이렇게 별도의 Database를 구축하여 기록해 두는 이유는 필요에 따라 질의, 검색, 통계 및 분석 등 다양한 기능을 사용자에게 제공할 수 있기 때문이다.

본 응용 프로그램에서는 Graph가 그려지는 부분을 Graph 패널이라고 한다. Graph 패널부에서는 Parsing을 통해 변환된 데이터를 실시간으로 화면에 나타내 줌으로써 사용자가 직관적이고 편리하게 센서로부터 측정된 값을 확인하고 분석할 수 있도록 도와준다. 또한, 앞서 Database에 기록되었던 데이터를 Table 패널부를 통해 Table 형태와 Graph 형태로 사용자에게 보여주는 기능을 제공한다. 더 나아가, 본 응용 프로그램은 사용

자가 유지하고자 하는 온도와 습도 값을 설정할 수 있으며, 센서로부터 측정된 데이터가 미리 설정해둔 기준 범위를 이탈 하게 될 경우 알람을 울려 사용자에게 통보하는 기능을 제공하고 있다. 이러한 기능을 통해 일정 시간 마다 대상 공간의 온·습도를 사람에 의하여 일일이 확인하지 않더라도 온·습도로 인해 발생한 문제에 대하여 즉각적인 대처나 사후 분석을 통하여 개선을 도모할 수 있다.

IV. 시스템 구현 및 결과

1. 구현 환경

본 연구에서 구현한 시스템은 표 2와 같은 개발 및 동작 환경에서 이루어졌다. 시스템의 운영체제는 2개로, 데이터를 저장하고 분석하며 이상 발생을 통보하는 등의 기능을 수행하는 서버는 Microsoft의 XP Professional이며, 센서의 기능을 수행하는 Mote는 내장형으로 TinyOS를 탑재하고 있다.

응용프로그램 개발은 자바 플랫폼, JavaFX, PHP, JavaScript 및 C/C++등을 이용하여 Web, 기업시스템, 데스크탑 컴퓨터 및 모바일 응용 등의 개발이 손쉽도록 하는 오픈소스 개발환경(IDE: Intergrated Development Environment) 및 응용 플랫폼으로 구성된 NetBeans IDE 환경에서 이루어졌다. 또한 Protocol의 분석을 위하여 Serialtest (Frontline Test Equipment, Inc., Charlottesville, Virginia, 미국)를 사용하였고, 다양한 버전의 마이크로소프트 윈도우에서 유닉스 시스템과 유사하게 동작하도록 한 Cygwin 에뮬레이터를 활용하였으며, 아트멜 사에서 개발된 하버드 구조의 8비트 RISC 단일칩 마이크로컨트롤러인 Atmel AVR의 도구를 활용

표 2. 시스템 구현 환경
Table 2. Environment for system implementation.

구분	프로그램 및 장치		비고
운영 체제	Microsoft Windows XP Professional		Server (PC)
	TinyOS		Mote 내장형 OS
개발 환경	프로그램	NetBeans IDE 6.8	Java
	개발도구	SerialTest, Cygwin, Atmel AVR tool	
	Database	MySQL Server 5.1	데이터 저장
HW 모듈	Mote	HBE-ZigbeXII (안테나, port 등 내장)	
	Sensor	SHT11 (temperature & humidity)	온·습도 센서

하였다. 데이터를 저장하고 필요에 따라 읽어내기 위한 Database 시스템은 MySQL을 사용하였다.

주요 하드웨어로는 센서 노드 역할을 하는 Mote는 한백전자의 HBE-ZigbeXII와 온도와 습도를 감지하는 센서인 SHT11(Sensirion, 스위스)로 구성되어 있다.

2. 구현 내용

시스템을 구현하기 위하여, 센서 노드 3개와 수집 노드 하나로 센서 필드를 구성하고 각 노드에는 Tree 라우팅을 수행하는 프로그램을 Load하였다. 수집 노드는 시리얼 케이블을 통하여 서버와 연결되고 서버의 모니터링 프로그램을 통해 각 센서 노드에서 측정된 데이터를 확인 할 수 있다.

모니터링 프로그램의 사용자 인터페이스는 크게 두 부분으로 분리하였다. 실시간으로 센서 노드에서 측정 한 온·습도 데이터를 그래프로 표현하는 Graph 패널 부분(그림 10)과 Database에 기록된 데이터를 조회할 수 있는 DB 패널부분(그림 11 및 그림 12)이다. 먼저, Graph 패널에서는 포트 리스트(화면의 하단에 위치)에서 수집 노드와 연결된 포트를 선택하고 해당 포트를 열어 데이터가 서버로 들어올 수 있도록 하며, 설정 그룹(화면의 상단에 위치)에서는 대상 공간이 유지해야 할 온도와 습도 값에 대하여 상한 및 하한 범위를 설정 할 수 있다. 해당 공간의 온도가 설정된 범위에서 벗어나게 될 경우에 경고 메시지 또는 알람을 발생 시켜 사용자에게 알려준다. 온도 및 습도 값이 그래프로 출력 되는 부분에는 현재 센서 필드를 구성하는 센서 노드의 리스트를 각각 다른 색상으로 확인 할 수 있으며, x축은 시간을 y축은 온도와 습도의 값을 나타낸다. 또한 저장된 데이터를 이용하여 일정 기간에 대한 온도와 습

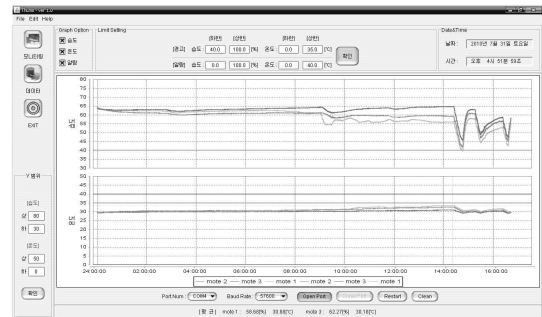


그림 10. 개발 시스템의 모니터링 프로그램의 화면 (GraphPanel-Graph)
Fig. 10. Monitoring program window of developed system (GrappPanel-Graph).

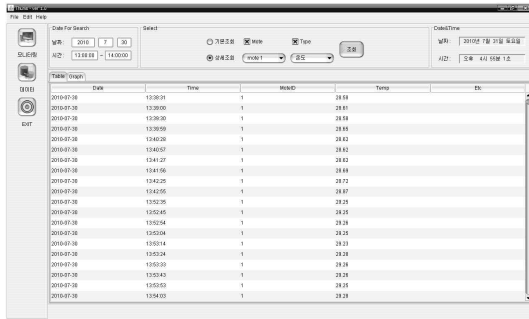


그림 11. 개발 시스템의 모니터링 프로그램의 화면 (DBPanel-Table Tab)

Fig. 11. Monitoring program window of developed system (DBPanel-Table Tab).

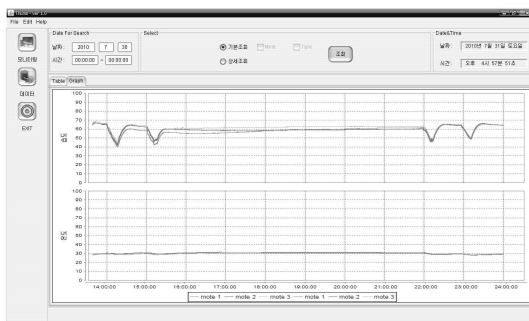


그림 12. 개발 시스템의 모니터링 프로그램의 화면 (DBPanel-Graph Tab)

Fig. 12. Monitoring program window of developed system (DBPanel-Graph Tab).

도 변화를 표현할 수 있어 차후에 온도와 습도 변화 상황을 손쉽게 분석할 수 있다. 그림 10은 Graph 패널의 구현 결과를 나타내고 있다.

한편, DB 패널에서는 사용자가 Database에 기록된 과거의 데이터를 조회할 수 있는 인터페이스를 제공하는데, 조회 그룹(화면 상단에 위치)에서 조회하고자 하는 날짜와 시간을 선택할 수 있고 추가적으로 조건을 설정할 수 있어 특정 센서 노드로부터 얻어진 데이터나 온도와 습도를 개별적으로 조회할 수 있도록 구성되어 있다. 또한, 조회된 데이터는 그림 11과 같은 테이블 형태 및 그림 12와 같은 그래프 형태로 선택적 열람이 가능하다.

3. 동작 시험 결과

구현한 시스템의 3개 Mote를 이용하여 특정 공간에 3개의 센서 노드를 독립적으로 배치시키고 시스템을 동작 시킨 결과 그림 10, 11 및 12와 같은 결과를 확인할 수 있다. 실제 시스템을 동작시키면서 정밀 실험용 온·습도계의 값과 시스템에서 수집한 데이터를 비교한

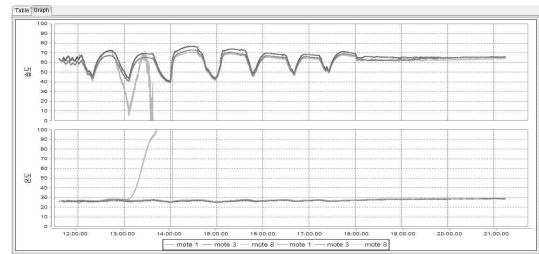


그림 13. 센서 노드의 전력 방전으로 인한 온습도 측정 오류

Fig. 13. Measurement error of temperature and humidity caused by electric discharge in sensor node.

결과, 온도는 약 $\pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도는 약 $\pm 5\%$ 의 차이가 발생함을 관찰할 수 있었다. 즉, 본 연구에서 사용한 SHT11 센서는 온도 및 습도 변화에 대한 반응 속도가 느리고 정밀도가 떨어지는 문제점이 있다. 따라서, 센서의 선택은 사용자의 목적과 기대에 부응할 수 있는 수준의 반응 속도 및 정밀도를 갖는 제품을 선택하여야 한다.

센서의 정밀도 및 반응 속도를 제외한 기능에 대해서는 특이한 문제점이 발생하지 않았다. 다만, 그림 13에 나타난 바와 같이 현실적으로 발생할 수 없는 온도 및 습도의 급격한 변화를 관찰할 수 있는데, 이는 해당 센서 노드의 전력이 방전되기 직전에 발생한 데이터이다. 본 시스템에 센서 노드들의 전력량을 관리할 수 있는 기능을 추가한다면 이와 같은 문제를 예방할 수 있을 것이며, 일반적으로 그림 13에서와 같은 급격한 온도 변화가 발생하지 않는 경우라면 이러한 데이터를 제외함으로써 간단히 해결이 가능하다.

V. 결론 및 향후 과제

본 연구에서 개발한 시스템은 생화학 물질을 다루는 분야, 온도와 습도에 민감한 고가의 장비를 관리하는 곳, 온도와 습도가 심각한 영향을 미치는 실험실과 같은 곳에서 보다 안전하고 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있도록 해당 공간의 온·습도를 정밀하게 관리하는 수단을 제공한다.

사용자는 개발 시스템을 사용함으로써 대상 공간의 온도와 습도 관리 조건을 설정하고, 실시간으로 이상 여부를 파악할 수 있으며, 문제 발생 시 이에 즉각 대응이 가능할 수 있다. 또한, 사후에 온도와 습도에 의한 원인 여부의 분석을 효과적으로 수행할 수 있으며, 저장된 데이터를 구체적으로 분석하고 정보화하여 온도와 습도 관리 공간의 개선에 대한 계획 수립과 기타 문

제 발생을 사전에 예방 할 수 있을 것이다. 더불어, 무선 센서 노드는 탈착이 용이함으로 작업 공간 내에서의 장비 및 작업 위치의 재배치에 대한 관리 체계의 재구성 등에 있어 편리성, 비용절감, 미관 유지 등의 장점을 제공한다. 나아가, 본 연구에서 개발한 시스템을 확장하여 다양한 센서 정보 수집을 수행하는 시스템들과 궁극적 융합을 통해 방법, 방재, 환경, 제어 등 모든 응용 분야에 있어서 시간과 장소에 관계없이 다양한 관련 정보를 취득하여 적절한 제어를 통해 편리하고 안전한 환경을 보장함과 동시에, 각종 사고 발생 시 신속하게 대처하는 등의 효율적인 환경 관리 방법을 제공할 수 있다.

본 연구에서 사용하고 있는 하드웨어적 문제점은 센서 노드의 전력 관리가 어렵다는 것이다. 따라서 전자식 전력량계와 센서 노드 모듈을 결합하여 전력 소모량을 측정할 수 있다면 센서 노드의 전력 중단으로 발생할 수 있는 문제점을 보완 할 수 있을 것이다. 또한, 본 시스템의 모니터링 프로그램은 센서 노드의 위치를 확인 할 수 있는 기능이 결여되어 있는데, 많은 수의 센서 노드를 갖는 시스템을 구축해야 하는 곳에서의 활용성을 높이기 위해서는 이러한 기능이 추가되어야 할 것이다. 본 시스템을 적용할 환경에 따라 사용자 요구가 달라질 수 있으므로 요구에 따른 시스템 환경 설정이 용이하도록 기능을 확장 하거나, 모바일 기기 및 웹을 통한 적용으로 그 범위를 확장하는 것 또한 더 연구해 볼 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] D. Puccinelli and M. Haenggi, "Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing," IEEE Circuits and Systems Magazine, Vol. 5, No. 3, pp. 19 - 13, 2005.
- [2] P. P. Kinney, "ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works." ZigBee Alliance, Oct. 2003. Available at <http://www.zigbee.org/en/resources/>
- [3] 한국 ZigBee 포럼, <http://www.zigbeeforum.or.kr>
- [4] (주)한백전자 기술연구소, ZigbeX를 이용한 무선 센서 네트워크 시스템(3판), ITC, 2008.
- [5] Martin Turon, Mote-View 1.0 Quick Start Guide: Application Note, Crossbow technology, March 2005.
- [6] Geetha Jayakumar, and G. Gopinath, "Ad Hoc Mobile Wireless Networks Routing Protocols: A Review" Journal of Computer Science, Vol. 3,

No. 8, pp. 574-582, 2007.

- [7] 한국RFID/USN협회, USN, 영진미디어, 2009.
- [8] 한백전자, <http://www.hanback.co.kr>
- [9] I. D. Chakeres and E. M. Belding-Royer, "AODV routing protocol implementation design," Proc. of 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, pp. 698 - 703, March 2004.
- [10] T. Kim, D. Kim, N. Park, S. -E. Yoo and T. S. Lopez, "Shortcut Tree Routing in ZigBee Networks," Proc. of 2nd International Symposium on Wireless Pervasive Computing (ISWPC '07), pp. 42-47, February 2007.
- [11] 김영준외 4인, Zigbee와 SIP를 이용한 실시간 생체 신호 모니터링 시스템의 설계 및 구현, 전자공학회 논문지, 제 45권 CI편, 제1호, 2008년 1월.

— 저 자 소 개 —



천 성 심(정회원)
 2011년 전남대학교 전자컴퓨터
 공학부 학사 졸업.
 2011년~현재 광주과학기술원
 (GIST)촉감기술연구센터.
 <주관심분야 : 무선통신, 컴퓨터
 응용, 햅틱스>



김 정 자(정회원)
 1985년 전남대학교 전산통계학과
 학사 졸업.
 1988년 전남대학교 전산학과 석사
 졸업.
 2002년 전남대학교 전산학과 박사
 졸업.

2002년~2004년 전남대학교 전자통신연구소
 Post-Doc.

2004년~2006년 한국Bio-IT 파운드리 광주센터
 연구교수.

2006년~현재 전북대학교 바이오메디컬공학부
 교수.

<주관심분야 : 바이오인포메틱스, 데이터마이닝,
 족부생체역학>



원 용 관(정회원)-교신저자
 1987년 한양대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1991년 미국 미주리주립대학교
 컴퓨터공학 석사 졸업.
 1995년 미국 미주리주립대학교
 컴퓨터공학 박사 졸업.

1995년~1996년 한국전자통신연구원(ETRI).

1997년~1999년 한국통신(KT).

1999년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부
 교수.

<주관심분야 : 패턴인식, 신호 및 영상처리, 컴퓨
 터 의료진단 및 기기>



Hai Trieu Pham(정회원)
 2009년 HoChiMinh City Univ. of
 Science 학사 졸업.
 2009년~2010년 Silicon Design
 Solutions
 2010년~현재 전남대학교 컴퓨터
 공학 석사 재학.

<주관심분야 : 패턴인식, 신호 및 영상처리,
 Biomedical Engineering>