

센서 네트워크 기반의 난방제어시스템 설계 및 구현

이진관* · 이대형* · 이창복* · 이종찬* · 박기홍*

요 약

본 연구에서는 센서네트워크 기반의 컴퓨팅 기술이 혼합된, 개별난방 제어 시스템을 제안한다. 지그비 RF 기술과 임베디드 하드웨어 기술의 조합을 통하여, 주택 및 아파트 등에서 각 방 별로 온도 및 습도를 취합하여 난방을 관리할 수 있다. 또한 제안된 시스템은 체감온도 기반으로 난방을 관리하여 인간에게 쾌적한 환경을 제공하기 위한 최적의 선택이라 할 수 있다.

The Design and Implementation of Heating Control System Based on Sensor Networks

Jin-Kwan Lee* · Dae-Hyung Lee* · Chang-Bok Lee* · Jong-Chan Lee* · Kihong Park*

ABSTRACT

The object of this paper is to design a heating control system based on sensor networks for the house, integrated with computing technology. The proposed system can manage the heating by sensing and analyzing the temperature and humidity in apartment house and others. This system also is capable of giving a comfortable circumstances because the interior of a house is in heated by the sensory temperature based control system.

Key words : Sensor Networks, Heating Control System, Embedded System

* 군산대학교 컴퓨터정보과학과

1. 서 론

현재 가정용 난방기는 온도 조절기가 있는 방의 온도를 중심으로 실내 온도를 유지한다. 즉 온도 조절의 대상이 되는 다수의 방이 있음에도 불구하고 단순히 온도 조절기가 있는 방의 온도에 의하여 난방 상태가 결정된다. 이로 인하여 각 방의 실내 온도가 현격한 차이를 보이게 되고, 온도가 낮은 방의 온도를 적정한 수준의 난방 수준으로 높이기 위해서는 과도한 에너지를 사용하게 된다. 따라서 사람의 존재 여부에 따라 난방을 제어할 수 있다면 상위의 문제는 쉽게 해결할 수 있다. 물론 개폐 밸브를 수동으로 조정하여 각 방의 난방 여부를 조절할 수 할 수 있지만, 필요 시 마다 개폐 밸브를 조절하는 것은 거의 불가능하다. 또한, 최근에는 개별 난방이 각 보일러 개발사별로 연구되고 있으나 유선 기반으로 작동된다. 따라서 시공상의 어려움점이 나타난다.

따라서 본 센서 네트워크 기반 개발난방 제어 시스템은 지그비 센서 네트워크 기반으로 각방에서 설치된 센서의 신호를 수집하여 각 방에서 원하는 실내 온도를 파악하고 이를 모니터링 하고, 각 방으로 전달되는 분배 밸브에 액추에이터를 이용한 자동 개폐 밸브를 설치한다. 이 경우 각 방의 온도가 실내온도 보다 낮을 경우 모니터링 장치에서 자동 개폐 밸브로 신호를 전송하여 밸브를 열고 순환 펌프를 가동시켜 해당 실내의 난방 온도를 유지 시키게 된다. 만일 기본 온도가 너무 높게 책정되어 온도를 낮추거나 실내에 거주하는 사람이 없어 온도를 낮춰야 할 경우 자동 개폐 밸브를 닫아 실내 온도를 낮게 한다. 이럴 경우 배선에 의한 문제점을 해결할 수 있고 간단하게 설치 및 모니터링을 수행 할 수 있게 된다.

본 논문은 개인 주택 및 아파트의 각 방으로부터 지그비(Zigbee)[1-3] 센서망을 이용하여 무선으로 센싱 데이터를 수집한 후 모니터링 장치에서 이를 분석한다. 그리고 분석된 데이터를 바탕으로

모니터링 장치에서 보일러를 작동시키고 개별 밸브를 개폐시켜 각 방의 난방을 효율적으로 제어한다. 본 연구에서는 각 방의 난방 정보를 전송하기에 충분한 성능을 가진 저전력 통신 방식인 지그비 기반의 난방 제어 시스템을 설계한다.

2. 관련 연구

국내 보일러 기술에는 크게 두 축으로 나뉘어 있다. 일반형과 콘덴싱 방식이다. 콘덴싱 보일러는 일반 보일러와 달리 두 개의 열교환기를 통해 배기가스로 버려지는 열을 다시 회수해 열효율을 대폭 높인 기술이다. 일반형 보일러의 배기가스 온도가 약 180°C임에 비해, 콘덴싱은 60°C에 불과하다. 국내 대표적인 보일러 회사로서 경동 보일러, 란나이 보일러 귀뚜라미 보일러 등이 있으며 유선 제어 기반의 콘덴싱 보일러 개발에 중점을 두고 있다.

특히 본 논문에서 제안된 센서 네트워크 기반의 개별 난방 시스템과 비교하여 경동 보일러에서는 스마트 조절기라는 이름으로 각방 온도 조절기를 유선(RS-485 통신)으로 제어하기 때문에 UTP-2 이상의 전선을 사용하여야 하며, 또한 특정 모델에만 적용되도록 하고 있다. 또한 린나이 보일러에서는 RICH-02 각방 온도 조절 시스템을 유선으로 구축하여 보일러의 종류에 관계없이 설치 가능하도록 하고 있으며 경동보일러와 마찬가지로 UTP-2이상의 전선을 별도로 이용하여야 하는 단점을 가진다. 그리고 이외의 중소 보일러 생산 업체에서도 또한 유선 기반의 제어 장치를 사용하고 있다.

무선 통신 기술의 발달과 초저가 센서 노드의 활용이 보편화 되면서 무선 센서 네트워크의 활용이 증가하고 있다. 무선 센서 네트워크는 생태환경, 가정, 병원 창고, 군, 구조물 감시 등 다양한 분야에서 실시간 정보 수집 및 제어에 이용될 수

있다. 응용 분야의 다양함에도 불구하고 센서 네트워크의 공통적인 특성의 하나는 저전력, 저속의 무선 통신 방식이다. IEEE 802.15.4 ZigBee는 이러한 요구사항에 가장 부합하는 프로토콜로 인식되면서 이에 대한 많은 연구와 함께 상용 제품의 출시가 이어지고 있다[4].

본 논문에서 사용하는 센서네트워크의 무선 통신 프로토콜은 IEEE 802.15.4 ZigBee이다. IEEE 802.15.4 ZigBee는 세 개의 무선 공용 주파수 대역에서 동작하는데 2.4GHz 대역에서 250kbps, 915MHz 대역에서 40kbps, 868MHz 대역에서 20kbps의 전송 대역폭을 갖는다. 채널수는 2.4GHz 대역에서 16채널, 915MHz 대역에서 10채널, 868MHz 대역의 1채널을 포함하여 모두 27채널을 할당할 수 있다[5].

임베디드 시스템은 범용 컴퓨팅 시스템보다 요구사항이 까다롭다. 예를 들면, 휴대폰이 무겁고 수시로 충전해야 한다면 고유의 기능을 수행할 수 없고, 특정 계절에 자동차의 엔진제어가 불가능하다면 상품성이 전혀 없다. 임베디드 시스템의 주요한 특징을 정리하면 다음과 같다[6].

- 특정기능 수행 : 다양한 작업보다 특별한 작업을 수행하기 위해 설계된다.
- 강한 제약성 : 모바일 기기나 대형 시스템의 일부 기능을 수행하기 위해 소형이며, 전력 소모량이 작고, 실시간 반응을 요구한다.
- 제한된 시스템 자원 : 가격 및 휴대성과 연관되다보니 최적화된 상품을 위해 하드웨어와 소프트웨어를 병행하여 개발한다.
- 호환성 : 무수한 종류의 임베디드시스템에 최적화된 코드, 특히 어셈블리 언어의 사용으로 인하여 이식성이 매우 적다.
- 깔끔한 오류처리 : 임베디드 시스템은 대부분 비전문가가 사용하므로 가능한 사용자의 개입을 최소화해야 한다. 이를 위해 오류가 발생할 경우 깔끔한 처리가 요구된다.

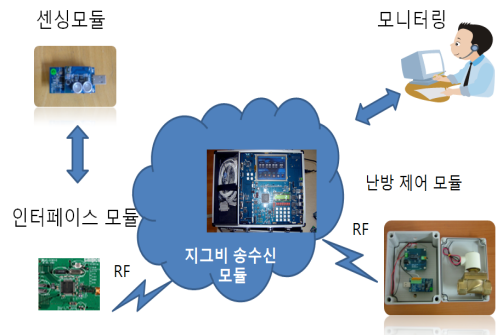
현재 급부상 중인 임베디드 시스템 기반의 홈

오토메이션은 인터넷이나 휴대폰을 통해 난방을 제어하고, 유선 기반으로 난방을 관리하므로 기존의 단독 주택이나 아파트에서는 설치 및 관리의 문제점을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 지그비 기반의 무선 개별 난방 제어를 이용하여 설치 및 관리를 용이하게 하였다.

본 논문의 실행환경은 임베디드 리눅스 상의 자바 플랫폼 환경이다. JVM[7]은 JamVM[8]을 이용하였고, 자바 API 개발은 J2SDK 1.4버전을 이용하였다. 자바 API는 자바 플랫폼의 구성요소이므로, 다른 요소인 JVM과 밀접한 연관이 있다. 이들 사이의 연결자 역할은 JNI[9]를 사용함으로써 가능하다. JNI를 통하여, API는 JVM의 특성을 이용하고 원하는 값을 얻으며, C 라이브러리와 리눅스 상에서 제공하는 시스템 호출을 이용할 수 있다.

3. 시스템 설계 및 구현

본 시스템은 컨트롤러와 센서, 보일러 밸브 개폐 장치로 구성된다. 각 방의 센서는 온도와 습도를 측정하여 컨트롤러에 지그비 통신으로 전송한다. 컨트롤러는 전송된 정보를 CLCD(Character LCD)에 디스플레이하고, 체감 온도로 환산하여 보일러 밸브 개폐여부를 판단하고, 지그비 통신을 통해 액츄에이터를 제어하여 보일러 밸브를 개폐한다. (그림 1)는 통신 시스템의 구조를 보인다.



(그림 1) 통신 시스템 구조

본 시스템을 기능상 세부부분으로 구성된다. 우선 중앙의 제어장치에서 사용자 정의 온도와 각 방의 현재 실내 온도를 모니터링하는 기능과, 둘째로 각 방 온도 센서와 제어기 사이의 지그비 기반 통신 기능, 그리고 실내 온도와 사용자 정의 온도가 다를 경우 각방 제어기로 데이터 전송 후 각 방 온도 설정을 수행하는 자동 밸브 개폐 기능이다. 컨트롤러는 메인 컨트롤러와 서브 컨트롤러로 구성된다. 서브 컨트롤러는 각방의 상태만을 모니터링하고 제어하며, 메인 컨트롤러는 각방의 모니터링과 제어뿐만 아니라 다른 방의 상태 모니터링과 제어하는 기능을 담당한다.

컨트롤러는 각방의 상태를 제어하기 위해 4단계의 난방 제어 단계로 구분하였다. <표 1>은 체감온도(Heat Index) 기반 난방 제어 단계를 보인다.

<표 1> 체감온도 기반 난방 제어 단계

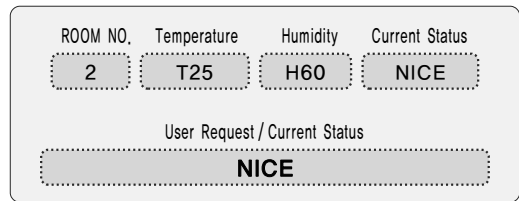
등급	체감온도(HI) 값	의미
HOT	$HI > 27$	뜨거움
WARM	$23 < HI \leq 27$	따뜻함
NICE	$18 < HI \leq 23$	쾌적함
COOL	$HI \leq 18$	시원함

체감온도는 사람이 느끼는 온도를 나타내는 것으로 기온과 습도를 바탕으로 결정된다. 체감도는 식 (1)과 같이 구할 수 있다[10]. 여기서 t는 화씨 온도를 나타내고, rh는 상대습도를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 \text{체감온도} = & (16.923 + (0.185212 * t)) \\
 & + (5.37941 * rh) - (0.100254 * t * rh) \\
 & + (0.00941695 * (t * t)) \\
 & + (0.00728898 * (rh * rh)) \\
 & + (0.000345372 * (t * t * rh)) \\
 & - (0.000814971 * (t * rh * rh)) \\
 & + (0.0000102102 * (t * t * rh * rh)) \\
 & - (0.000038646 * (t * t * t)) \\
 & + (0.0000291583 * (rh * rh * rh))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + (0.00000142721 * (t * t * t * rh)) \\
 & + (0.000000197483 * (t * rh * rh * rh)) \\
 & - (0.0000000218429 * (t * t * t * rh * rh)) \\
 & + (0.000000000843296 * (t * t * rh * rh * rh)) \\
 & - (0.0000000000481975 * (t * t * t * rh * rh * rh)); \\
 & \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

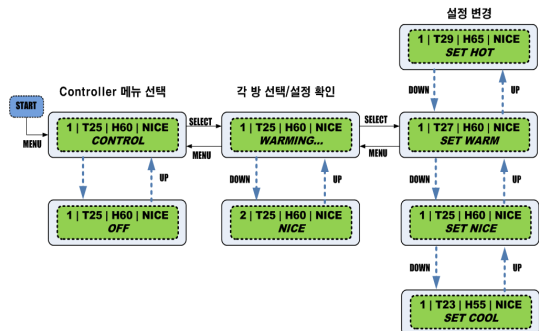
컨트롤러는 CUI 기반의 LCD와 4개의 버튼으로 구성된다. 컨트롤러의 CLCD는 2줄로 구성되고, 1줄 당 16자를 표시할 수 있다. (그림 2)는 CLCD의 화면 구성을 보인다.



(그림 2) 컨트롤러의 CLCD 화면 구성

컨트롤러의 4가지 버튼은 Menu, Select, Up, Down으로 구성된다. Menu 버튼은 컨트롤러를 동작시키거나 상위 메뉴로 이동할 때 사용되고, Select 버튼은 현재 단계를 선택할 때 사용한다. 또한 Up, Down 버튼은 각 단계 메뉴의 상위와 하위 메뉴로 이동하기 위해 사용된다.

컨트롤러는 각방을 선택하거나 난방 제어단계를 선택할 수 있다. (그림 3)은 컨트롤러 메뉴 구성을 보인다.



(그림 3) 컨트롤러 메뉴 구성

센서는 온도와 습도를 센싱하여 지그비 통신을 통해 해당 컨트롤러에 전송한다. 컨트롤러는 수신된 온도와 습도를 모니터링 화면에 디스플레이하고 체감온도로 환산하여 현재 난방 등급을 보여준다. 설정된 난방 등급과 현재의 등급이 상이하면 난방 밸브 제어 장치로 제어 신호를 지그비를 통해 전송하여 난방 밸브를 개폐하는 절차를 수행한다. 이를 위하여 센싱 정보 수집과 난방 밸브 제어를 위한 패킷 타입을 <표 2>와 같이 설계하였다. 컨트롤러와 센서, 컨트롤러와 밸브 제어 장치, 메인 컨트롤러와 서버 컨트롤러 사이의 지그비 통신에서 사용되는 패킷 타입을 정의한다.

<표 2> 난방제어를 위한 패킷 타입

상 수 명	값	설 명
TYPE_SENSING	0x01	센싱
TYPE_CONTROLWARM	0x02	밸브 제어
TYPE_REMOTE_SENSING_RESPONSE	0x7A	원격 센싱 요구
TYPE_REMOTE_LEVEL_SET_REQUEST	0x7C	원격 레벨 설정 요청
TYPE_REMOTE_LEVEL_SET_RESPONSE	0x7D	원격 레벨 설정 응답
TYPE_REMOTE_CONTROLLING_REQUEST	0x7E	원격 제어 요청
TYPE_REMOTE_CONTROLLING_ACCEPTED	0x7F	원격 제어 승락

본 연구에서 구현한 센서네트워크 기반의 개별난방 제어시스템은 각방의 온·습도 센싱 모듈, 센싱된 온·습도를 전송하기 위한 지그비 기반 전송 모듈, 수신된 온·습도를 체감온도로 환산하고 체감온도를 4단계로 나누어 사용자가 각 방의 환경을 제어할 수 있는 모니터링 모듈, 보일러 밸브 개폐장치 제어 모듈 등을 구현하였다. 기존 중앙 센싱 방식을 개선하기 위해 센서를 분산 개별 처리하고 난방 시작점(보일러)에 개별 자동 개폐장치를 통하여 기존 수동 방식의 문제점 해결하였다.

4. 시스템 실험

메인 컨트롤러의 개발환경은 호스트 컴퓨터와 타겟 컴퓨터로 나눌 수 있다. 호스트 컴퓨터는 Red Hat FC4 운영체제에서 gcc와 J2SDK 1.4버전의 개발툴을 이용하였고 타겟 컴퓨터는 하이버스의 XHyper 270-TKU를 이용하여 임베디드 시스템용 JAVA API를 개발하였다. 임베디드 시스템의 JVM은 JamVM을 이용하였고 JamVM은 GNU Classpath 자바 클래스 라이브러리를 이용하게 설계하였다[8].

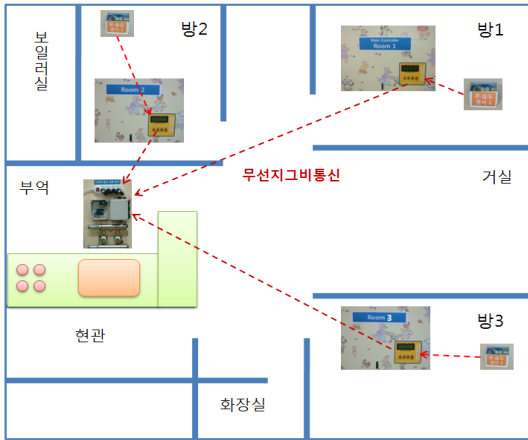
메인컨트롤러의 임베디드 시스템 구현을 위해 아래와 같은 환경을 이용하였다.

- 타겟 시스템 : XHyper270-TKU
 - 커널 : Linux 2.6
 - JVM : JamVM 1.4.5
 - Classpath : GNU Classpath 0.9.3
- 호스트 컴퓨터 : IBM 호환 PC
 - OS : Redhat FC4
 - 자바 컴파일러 : J2SDK 1.4
 - IDE : Eclipse 3.3

실험에 사용된 센서는 (주)하이버스의 H-mote와 센싱보드를 사용하였다. H-mote는 TinyOS를 사용하며, 개발 언어는 NesC이다. 보일러 밸브 개폐장치는 H-mote와 액츄에이터를 이용하여 개폐장치를 제어한다.

개별 난방 제어 시스템을 실험하기 위해 컨트롤러 3개, 센서 3개, 액츄에이터 2개, 개폐장치 2개로 테스트베드를 구성하였다. (그림 4)는 시스템 실험 환경을 나타낸다.

실험 방법은 각 서버 컨트롤러에서 보일러 밸브 제어 장치를 구동 시키는 것과 센서로부터 센싱된 정보가 모니터링 되고 있는가, 메인 컨트롤러에서 서버 컨트롤러를 제어하고, 제어 신호가 보일러 밸브 제어 장치까지 정확하게 전달되는가를 확인하였다.



(그림 4) 시스템 실험 환경



(그림 5) 개별난방 메인 컨트롤러 화면

(그림 5)는 개별 난방 제어 장치의 메인 컨트롤러와 온도, 습도 센서를 보여주는 화면이다. 임베디드 시스템의 CLCD와 4개의 버튼을 이용하여 설계하였다.



(그림 6) 보일러 밸브 개폐장치

(그림 6)는 개별 난방 제어 시스템의 보일러 밸브 개폐장치를 보인다. 센서보드와 액츄에이터를 이용하여 DC 전원을 개폐하고 이에 따라 보일러 개폐장치를 제어하는 방식을 사용하였다.

실험을 통해 구현된 개별 난방 제어 시스템이 정확하게 동작하는 것을 확인하였다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서 구현한 개별 난방 제어 시스템은 지그비 기반의 모니터링 장치 모듈, 지그비 통신 모듈 그리고 밸브 자동 개폐 모듈로 구성된다. 중앙의 제어 장치에서 사용자 정의 온도와 각 방의 현재 실내 온도 모니터링 모듈과 각방 온도 센서와 제어기 사이의 지그비 기반 통신 모듈 그리고 실내 온도와 사용자 정의 온도가 다를 경우 각방 제어기로 데이터 전송 후 각 방 온도 설정을 위한 자동 밸브 개폐 모듈 등으로 구성되었다. 위의 모듈을 임베디드 시스템 기반으로 구현하였으므로 유사 센서 네트워크 기반의 시스템을 효과적으로 개발할 수 있는 기술을 축적할 수 있었다. 또한 개발된 지그비 통신 모듈을 센서 네트워크를 필요로 하는 모든 시스템에 쉽게 적용시킴으로서 센서 네트워크 구축의 활성화에 일익을 달성할 수 있다.

향후 연구로는 본 논문에서 구현한 각 모듈을 기존의 보일러 제어장치와 통합하고, 난방 제어뿐만 아니라 냉방 제어를 위해 에어컨 제어 모듈을 추가하여 시스템을 확장해야 한다.

참고 문헌

- [1] IEEE Std 802.15. 4-2003, IEEE Standard for Information technology - Telecommunication and Information exchange between systems - Local and metropolitan

area networks - Specific requirements, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs).

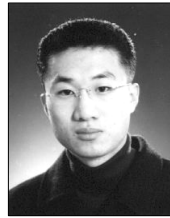
- [2] David Culler, Deborah Estrin, Mani Srivastava, "Overview of Sensor Networks", IEEE Computer, pp. 41-49, Aug. 2004.
- [3] Simon Bichler, 'Ubiquitous and Context Aware Computing : Overview and Systems,' 2nd Joint Advanced Summer School 2004 Course 3, May, 2004.
- [4] 김병호, "IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 성능 평가 및 실험," 해양정보통신학회논문지, 제11권, 제1호, 2007.
- [5] Atmel, AVR 8-bit RISC, <http://www.atmel.com/products/AVR/>.
- [6] 남상엽, PXA270을 이용한 임베디드 시스템 구조 및 응용, 상학당, 2007.
- [7] Bill Venner, Inside the Java Virtual Machine 2nd, McGraw-Hill, 1997.
- [8] <http://jamvm.sourceforge.net/>
- [9] Java(TM) Native Interface : Programmer's Guide and Specification by Sheng Liang, Sun Microsystems
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_index



이진관

1996년 군산대학교 컴퓨터 과학과(이학사)
 2002년 군산대학교 컴퓨터 과학과(이학석사)
 2007년 군산대학교 컴퓨터 과학과(이학박사)

2006년~현재 군산대학교 컴퓨터과학과 강사



이대형

1996년 군산대학교 컴퓨터 과학과(이학사)
 1999년 군산대학교 컴퓨터정보 과학과(이학석사)
 2008년 군산대학교 컴퓨터정보 과학과(박사과정)



이창복

2007년 군산대학교 컴퓨터정보 과학과(이학사)
 2008년 군산대학교 컴퓨터정보 과학과(석사과정)



이종춘

1994년 군산대학교 컴퓨터과학과 (이학사)
 1996년 숭실대학교 컴퓨터학과 (이학석사)
 2000년 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학박사)

2000~2005년 한국전자통신연구원 선임연구원
 2005년~현재 군산대학교 컴퓨터과학과 조교수



박기흥

1986년 숭실대학교 전자계산학과 (이학사)
 1986년 숭실대학교 전자계산학과 (공학석사)
 1995년 일본 토쿠시마대학교 지능정보과학과(공학박사)

1997~1998년 영국 Middlesex Univ 객원 교수
 1987년~현재 군산대학교 컴퓨터과학과 교수
 2004년~현재 NURi 사업 텔레메틱스 인력양성 사업단 (군산대) 단장