

무선 센서 네트워크 기반의 지하철 응급 상황 조치 시스템에 관한 연구

Study on Subway Emergency System Based on Wireless Sensor Network

최 호 진* 박 종 안** 변 재 영***
(Ho-Jin Choi) (Jong-An Park) (Jae-Young Pyun)

요 약

무선 센서 네트워크 관련 응용 시스템은 환경오염, 건물통제, 홈 오토메이션 등의 역할을 수행할 것으로 예상된다. 본 논문에서는 지하철 역사 내 인명 및 화재 피해 등을 줄이기 위한 무선 센서 네트워크 기반의 지하철 응급 상황 조치 시스템에 대해 기술 한다. 본 시스템의 센서 노드는 온도, 조도, 연기, 인체 감지 등을 통해 지하철 역사내 발생 할 수 있는 사고를 실시간 감지한다. 이러한 실시간 센서 감지와 무선 네트워킹을 통해 인명과 재산의 피해를 최소화 하고자 한다.

Abstract

Wireless sensor network-related application system can perform functions such as environmental pollution monitoring, building control, home automation in future. In this paper, we present wireless sensor network based system for subway station in order to reduce the damage of the people and the subway station due to fire. Sensor nodes in this system can sense temperature, illumination, smoke, and human body in real time and detect the accident in the subway station. These real-time sensing and wireless networking minimize casualties and damage to property.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN), ZigBee, subway, emergency

* 주저자 : 조선대학교 정보통신공학과 석사과정

** 공저자 : 조선대학교 정보통신공학과 교수

*** 공저자 : 조선대학교 정보통신공학과 조교수

† 논문접수일 : 2008년 10월 1일

‡ 논문심사일 : 2008년 10월 16일(1차), 2008년 10월 20일(2차)

‡ 게재확정일 : 2008년 10월 22일

I. 서론

현재 활발하게 연구가 진행되고 있는 무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor Network ; WSN) 은 미래의 유비쿼터스 세상을 실현하기 위한 핵심 연구 분야이다. 이러한 무선 센서 네트워크는 국방, 조달, 건설, 교통, 물류 등 공공부분과 민간부분의 제조, 유통, 서비스 등 비IT 산업 전반에 걸쳐 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상 되고 있다. 또한 단순 통신 네트워크의 수단이 아닌 우리의 생활 속에서 접하게 되는 환경으로서 존재하게 되는 것이다. 특히 저 전력, 초경량의 많은 센서들로 구성된 무선 통신 네트워크를 통해서 주변 환경을 감지하게 하고, 사용자는 네트워크를 통해 언제, 어느곳에서든 정보를 확인하고 활용 할 수 있다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 기반의 지하철 응급 상황 조치 시스템에 대해서 기술한다 [1].

최근 5년간 크고 작은 지하철 관련 사고들이 빈번하게 발생하였다. 실제로, 2003년 2월 18일에 발생한 대구 지하철 화재 참사는 사망 192명, 부상 148명이라는 초유의 인명 및 재산 피해가 발생되었다. 또한, 2008년 9월 18일에 발생한 지하철 선로에 뛰어 들어 자살하는 사건 등 지속적으로 빈번하게 사건/사고들이 발생하고 있다. 그래서 이와 같은 사고를 재발 하지 않기 위해, 지하철 역사 내 응급 상황을 사전 탐지 및 빠른 전송, 처리까지 할 수 있는 무선 센서 네트워크 기반의 지하철 응급 상황 조치 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 지하철 응급제어 시스템은 ZigBee 프로토콜을 사용하여 지하철 역사내 각종 돌발 상황을 감지하며, 중앙 제어 시스템과 지하철간의 통신 및 제어가 가능하도록 하고 있다. 또한, 중앙 제어 시스템은 응급상황 감지 신호에 따라 원격제어 CCD 카메라를 통해 응급 상황을 보여주는 기능을 가지고 있다.

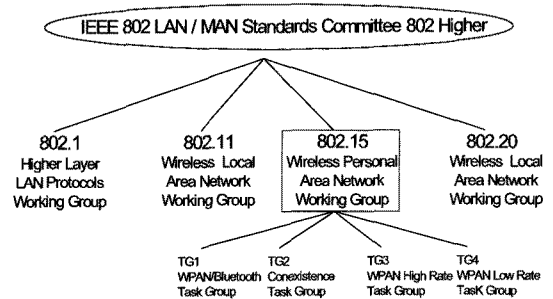
본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 무선 센서 네트워크의 기술적 배경에 대해서 기술하였다. III장은 무선 센서 네트워크 활용한 지하철역사 내 응급상황 조치 시스템 구성에 대해서 설명을 하고, IV장에서는 결론 및 앞으로의 연구 발전 방향을

제시 하고자 한다.

II. 무선 센서 네트워크의 기술적 배경

언제, 어디서 사용자가 인지하지 않더라도 필요한 정보나 서비스를 제공하는 유비쿼터스 컴퓨팅은 무선 센서 네트워크 기반 기술이라 할 수 있다. 이러한 무선 센서 네트워크 기반의 센서 노드 (sensor node)들은 데이터 수집, 데이터 처리, 무선통신을 기능을 갖추고 있어야 한다.

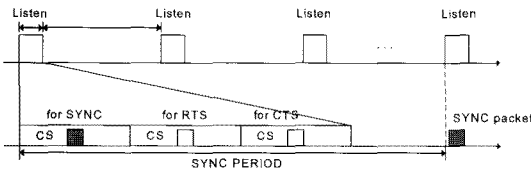
제안하는 시스템은 <그림 1>에서 보는 바와 같이 IEEE 802.15.4 기반의 ZigBee를 사용하고 있으며, 저전력, 저가격, 저속의 특징을 가지고 있는 근거리 무선통신 기술이라 할 수 있다 [2].



<그림 1> IEEE 802.15.4 TG4
<Fig. 1> IEEE 802.15.4 TG4

1. 무선 센서 네트워크 mac protocol

무선 센서 네트워크의 mac protocol 종류에는 S-MAC (Sensor-MAC), T-MAC (Timeout-MAC), TEEM (Traffic aware, Energy Efficient MAC), WiseMAC, B-MAC (Berkeley MAC), LE-MAC (Latency and Energy aware MAC) 등이 있다. S-MAC은 collision, overhearing, idle listening, overheard 로 인한 에너지 소비를 줄이기 위해 주요한 4가지의 해결책을 제시 하였다. 주기적인 listen and sleep 상태, collision avoidance, overhearing avoidance, message passing이 바로 주요한 아이디어로서 데이터 전송률을 희생하고 높은 에너지 효율성 특성을 갖고 있다. 본 논문에서 실험 하였던 무선 센서 네트워크 기반의 지하



<그림 2> S-MAC 프레임 구조
<Fig. 2> S-MAC frame structure

철역사내 응급상황 조치 시스템은 이러한 S-MAC 프로토콜을 적용하였다.

<그림 2>는 S-MAC의 프레임 구조로서, listen과 sleep 으로 구성되는 cycle 구간에서 SYNC, RTS, CTS, DATA, ACK를 송수신 하기위한 데이터 구성을 보이고 있다 [3, 4].

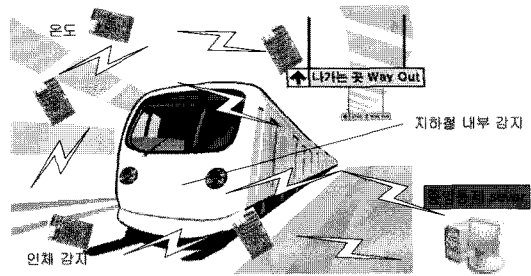
2. 무선 센서 네트워크 routing protocol

무선 센서 네트워크의 라우팅 기법은 응용에 따른 센서 네트워크의 종류에 따라 그 효율성이 영향을 받게 된다. 라우팅 프로토콜로 많이 쓰이는 directed diffusion은 싱크의 질의 방출에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리 응용에 적합한 특성을 가진다. 이외에 위치 기반 라우팅 프로토콜로 greedy based routing이 있으며 이는 데이터 전송시 최종 목적지에 가장 가까운 이웃 노드를 선택하여 그 노드에게 데이터를 보내는 라우팅 기법이다. 또한 계층 기반 라우팅 프로토콜로 LEACH routing은 네트워크에 존재하는 모든 노드들의 에너지 소모를 균등하게 하기 위해 분산 클러스터를 구성하여 데이터를 전달하는 라우팅 프로토콜이다 [5].

본 논문에서는 지하철 응급 상황 조치 시스템의 센서 노드를 고정적으로 설치 및 감지하도록 하고, 노드의 이동성과 라우팅 경로의 최적화를 고려할 필요가 없는 static routing 방식으로 간단히 구현하였다.

III. 무선 센서 네트워크를 기반의 지하철 응급상황 조치 시스템

지하철은 대중 교통수단으로 널리 이용되고 있



<그림 3> 지하철 응급 상황 조치 시스템
<Fig. 3> Subway emergency system

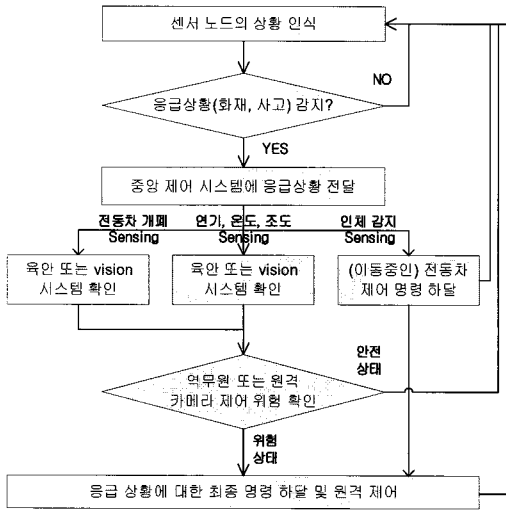
으나, 최근 크고 작은 지하철 사고가 빈번하게 발생하고 있다. 이용객들은 이용하면서 불안해하며, 근본적인 해결 방법을 요구하게 되었다. <그림 3>과 같은 지하철 응급 상황 조치 시스템은 지하철역사 내에서 일어나는 다음과 같은 응급상태에 대해서 무선 센서 네트워크를 통해 해결하고자 한다.

첫 번째, 연기 및 온도 센서를 통해 화재여부를 판단 할 수 있다. 그리고, 화재 발생 여부를 감지한 센서 노드는 응급 상황 경고 메시지를 역내 시설 및 차량 통제소에 위치한 중앙제어 시스템으로 전달하며, 지하철을 제어한다.

두 번째, 인체감지 센서를 선로에 설치하여 선로에 떨어진 사람을 육안 감지가 아닌 sensor를 통해 감지를 하였다. 중앙 제어 시스템에는 sink 센서 노드가 장착되어 있어, 각각의 센서 노드들이 보내주는 메시지를 수신하게 된다. 수신된 메시지를 통해 응급 상황 발생 여부를 판단할 수 있는 video monitoring을 실시하게 된다. 이는 원격제어 CCD 카메라를 이용하며, 센서 노드의 주변을 감지 및 관찰 할 수 있다.

세 번째, 지하철 내부에 온도센서, 적외선 센서 등을 부착하여 역사내로 진입하는 지하철 내부 환경을 실시간으로 무선 모니터링 및 제어 가능하게 하였다. 만약, 센서 노드에서 이상 징후를 감지시, 중앙통제실에서는 위험을 인지하고, 지하철 출발을 통제하는 등의 위험 상황에 대처하도록 하고 있다.

<그림 4>는 지하철 응급 상황 조치 시스템의 flow chart를 보이고 있다. 이는 각종 센서들이 부착된 센서 노드들이 응급상황을 감지 여부를 판단 후



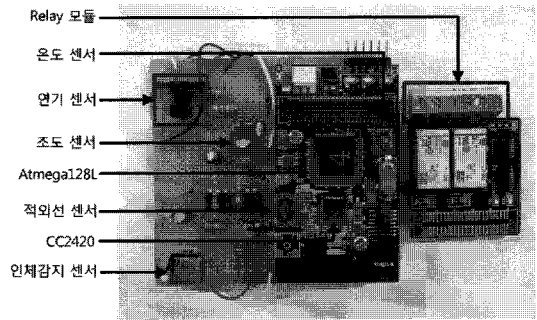
<그림 4> 지하철 응급 상황 조치 시스템의 동작 알고리즘
 <Fig. 4> Algorithm of subway emergency system

중앙 제어 시스템으로 전달하게 된다. 전달된 센서들의 데이터를 통해 중앙 제어 시스템에서는 각각의 상황을 인지 및 상황별에 적절한 행동을 하게 된다. 또한 화재, 연기 등과 같이 특수한 상황에서는 자동으로 동작이 되게 제작하였다.

1. 센서 노드 하드웨어

<그림 5>에서 보는 바와 같이 본 시스템에서 사용된 지하철 응급 상황 탐지 센서 노드는 MCU ATmel사의 Atmega128L (128KB Flash, 2KB RAM, 4KB EEPROM)이며, RF통신을 위해서는 Chipcon사의 CC2420을 사용하였다. 반면, PCB antenna를 사용하였으며, 각 센서 노드 간 10m까지 통신이 가능하다. 그리고, 외장형 antenna를 사용하였을 경우, 75m까지 통신이 가능하다. 또한 데이터 전송 속도는 250kbps, 주파수 대역은 2.4GHz를 사용하고 있으며, 사용 채널은 16CH로 구성 된다 [6].

이와 같은 구성으로는 본 논문에서 제안하는 지하철 응급 상황 시스템의 모든 기능을 만족할 수 없으므로 확장 module을 추가 제작하였다. 확장 module은 <그림 5>에서 보는 바와 같이 인체감지, 연기, 조도, 온도/습도 센서로 구성된다. 인체감지를

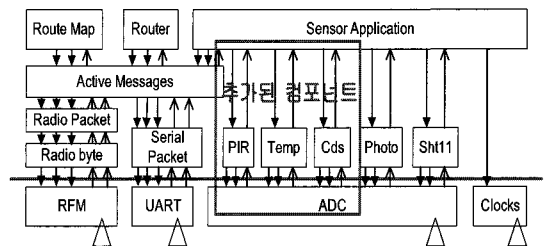


<그림 5> 2.4 GHz ZigBee 센서 노드와 확장 센서 모듈
 <Fig. 5> 2.4 GHz ZigBee sensor node and extended sensor module

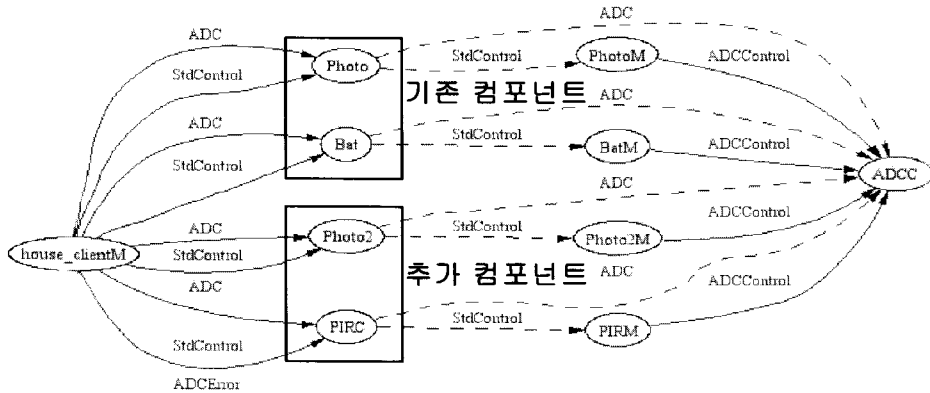
위해서는 적외선 센서를 사용하였으며, 연기 감지를 위해서는 photo interrupter 그리고, 온도 감지의 경우는 SENSIRION사의 sht11 타입의 sensor를 사용하였다. 확장 sensor module은 ATmel사의 Atmega128L CPU 각각의 port들은 ADC INPUT기능과 GPIO 연결을 갖고 있으므로, photo interrupter는 Port F 6(pin 24)과 CDS는 Port F 2(pin 32), 인체감지는 Port F 5(pin 26)에 연결되어 있다.

2. 센서 노드 운영체제

센서 노드의 운영체제로는 <그림 6>의 계층 구조를 갖는 TinyOS 1.X를 사용하였으며, 이는 nesC (network embedded system C) 기반의 프로그래밍 방식이다. 이 계층 구조를 통해 알 수 있듯이 적외선 센서, 온도센서, 조도 센서 등은 A.DC 컴포넌트 기능에 활용하며, 모든 데이터는 RFM 또는 UART를 통해 원격지와 모니터링 호스트 컴퓨터로 전달 할 수 있다.



<그림 6> TinyOS 레이어
 <Fig. 6> TinyOS layer



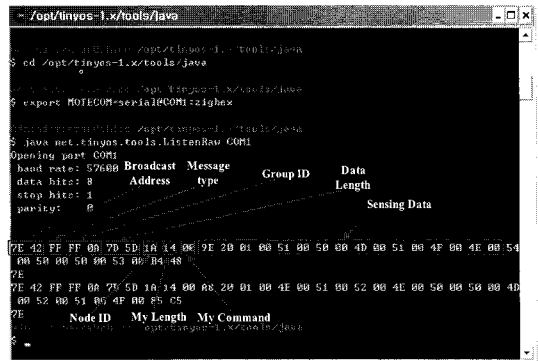
<그림 7> 지하철 응급 상황 조치 시스템의 TinyOS nesC 설계
<Fig. 7> TinyOS nesC architecture of subway emergency system

<표 1> 지하철 응급 상황 조치 시스템 nesC 코드
<Table 1> NesC code for subway emergency system

```

module AllertM
{
  provides interface StdControl;
  uses {
    interface Timer as STimer;
    interface StdControl as relayControl;
    interface StdControl as PhotoControl;
    interface StdControl as Photo2Control;
    interface StdControl as PIRControl;
    // StdControl과 각 컴포넌트간의 연결
    interface ADC as PhotoADC;//CDS센서
    interface ADC as Photo2ADC;//연기센서
    interface ADC as PIRCADC;//인체감지
    // ADC와 각 컴포넌트간의 연결
    interface StdControl as BatControl;
    interface ADC as BatADC;
    interface ADCCError as STH11_Temp_Error;
  }
  ...
  TOSH_ACTUAL_PHOTO_PORT = 6
  // Photo ADC 2번 포트 50Pin(32)
  TOSH_ACTUAL_PHOTO2_PORT = 2
  // CDS ADC 6번 포트 50Pin(24)
  TOSH_ACTUAL_PIR_PORT = 5
  // PIR ADC 5번 포트 50Pin(26)
  ...
}
    
```

<그림 7>은 컴포넌트를 연결하는 인터페이스를 보이고 있으며, photo 컴포넌트의 경우, ADC와 StdControl 인터페이스를 그리고, 인체를 감지를 위한 PirC의 경우 StdControl, ADCCControl 인터페이스를 이용하고 있음을 알 수 있다.



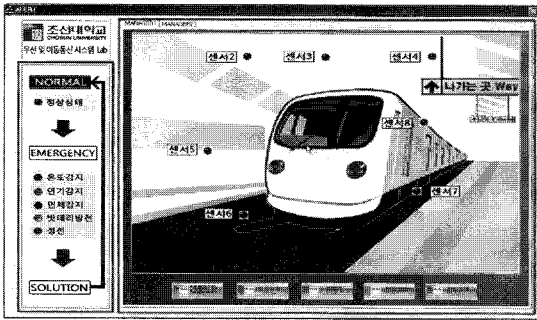
<그림 8> RF 전송 메시지 포맷
<Fig. 8> Message format for RF transmission

<표 1>은 지하철 응급 상황 조치 시스템의 센서 노드에 탑재 되는 nesC 코드이다. 주요 센서와 ADC 컴포넌트들의 인터페이스를 보이고 있으며, 이들의 데이터 전달을 위한 MCU Pin 디스크립션을 보이고 있다.

각 센서 노드간의 통신은 Chipcon사의 CC2420 칩을 통한 RF통신을 하게 된다. 각 센서 노드들의 RF 전송 메시지 포맷은 <그림 8>에서와 같이 구성 된다.

3. 지하철 응급 상황 조치 시스템의 모니터링 환경

본 지하철 응급 상황 조치 시스템은 중앙 통제실에서 지하철 및 역사내 통제 및 감시를 위해 <그림 10>과 같은 원격 제어 프로그램이 필요하다. User



<그림 9> 지하철 응급상황 조치를 위한 서버 모니터링 및 제어 시스템
 <Fig. 9> Monitoring and control for subway emergency system



<그림 10> 지하철 응급상황 조치를 위한 서버 모니터링 컨트롤
 <Fig. 10> Control for subway emergency system

interface(UI) 환경은 windows xp 환경에서 Visual C++ 6.0으로 제작하였으며, 각종 센서노드로부터 정보를 실시간으로 전송받아 DB화하고 특정 한계치이상의 데이터가 감지시 사고 발생으로 판정하여 관리자에게 알릴 수 있도록 하였다.

<그림 9>는 중앙 통제실에서 운영 할 수 있는 고정형 제어 프로그램이다. 그림의 좌측은 현재의 상황을 NORMAL 상태 혹은 EMERGENCY 상황, 그리고 이러한 상황을 해결 여부를 확인 하는 SOLUTION 으로 구분지어 설계하였다. 또한, 우측에는 각 센서 노드들의 위치를 나타내어 문제가 발생하는 센서 노드를 실시간 파악 할 수 있도록 하였다.

<그림 10>은 모니터링 프로그램의 세부 컨트롤 버튼이다. 지하철에는 센서 노드와 제어 컨트롤 모듈이 부착되어 있어, 통제실에서 지하철의 출발 및 정지를 조정 한다. 또한 선로에 인명 및 기타 응급 상황 발생시 확인 할 수 있는 카메라와 연결한다. 그리고, 화재 및 정전 발생시 전등을 켜거나 팬을 돌리는 제어를 하게 된다.

<그림 9>는 중앙 통제실에서 운영 할 수 있는 고정형 제어장치 프로그램이라면 <그림 11>은 휴대가



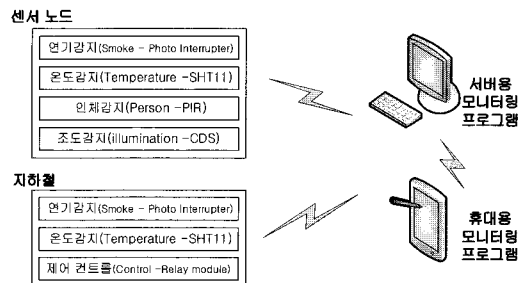
<그림 11> 휴대용 타입의 모니터링 프로그램
 <Fig. 11> Monitoring program for portable type

가능한 PDA 타입으로 제작된 모니터링 시스템이다. 본 시스템은 Linux 커널 2.6 기반에서 Qt를 이용하여 제작하였으며, 현장 근무자나 사고 발생시 대처에 용이하게 할 수 있도록 하였다. 세부적인 기능은 서버 모니터링과 유사 하며, 센서 노드의 추가 확장을 할 수 있다.

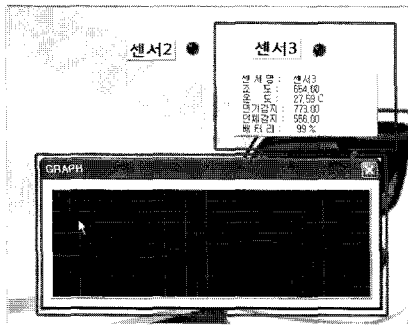
또한 각각의 UI는 sensing 정보 및 시변 정보를 보이게 구성되어 있으며, 원격 제어 CCD 카메라와의 연결을 위해 UDP 기반의 socket programming을 삽입하였다. 각각의 센서 노드로부터 <그림 12>와 같이 실시간 sensing값의 변화를 수치화하여 표현하였다.

4. 실험 및 고찰

<그림 12>와 같이 본 시스템은 연기 및 화재 등을 감지 할 수 있는 센서 노드와 이를 송수신 및 통제, 감지 판단하는 중앙의 모니터링 프로그램으로



<그림 12> 센서 노드와 모니터링 프로그램의 연결
 <Fig. 12> Connecting with sensor node and monitoring program



<그림 13> 실시간 측정 데이터
<Fig. 13> Real-time sensing data

<표 2> 실험 환경
<Table 2> Experiment environment

센서 노드	
MCU	Atmel사의 ATmega128L
RF	Chipcon사의 CC2420
Antenna	PCB Antenna(50m)
O/S	TinyOS 1.X(nesC)
sensor	인체감지 센서 - PIR 조도센서 - cds 온도센서 - sht11 연기센서 - photo interrupter 제어센서 - relay module.
모니터링 프로그램(중앙 통제실)	
운영체제	Windows xp 기반
제작 툴	Visual C++ 6.0
모니터링 프로그램(휴대용 타입)	
운영체제	리눅스 임베디드 Kernel 2.6
CPU	Intel XScale PXA-255(400MHz)
Display	6.4inch LCD
제작 툴	Embedded Qt

구성된다. 각 센서 노드들로부터 감지되어진 측정 데이터는 중앙 통제실로 ZigBee통신으로 전달되며, 이러한 메시지의 정확성을 파악하기 위해 위험 상황 발생 여부를 원격 제어 CCD 카메라가 이용된다.

지하철 시스템 환경을 위해 <그림 13>과 같은 측정 데이터의 통계, 디스플레이, 사고 판단이 가능하도록 UI환경을 구현하였다. <표 2>는 이러한 모니터링 시스템의 환경을 보여주고 있으며, 이때 각종 센서들이 측정 범위와 위험 탐지 한계값은 <표 3>과 같다.

<표 3> 실험 데이터
<Table 3> Experiment data

사고 감지 환경	평균 측정값	한계값
온도 감지(화재)	20 ~ 40도	50도 이상
연기 감지(화재)	600 ~ 900	400 이하
조도 감지(화재)	500 ~ 1000	300 이하
적외선 감지(인체)	300~ 800	10000 이상

IV. 결론 및 향후 연구 방향

무선 센서 네트워크는 각종 센서기술을 통해 사회의 유비쿼터스화를 가속화하기 위한 기반 인프라망이다. 무선 센서 네트워크는 IT839의 3대 인프라의 하나이자 그 독특한 기술적 특징으로 인하여 현존하는 모든 유·무선 통신+정보+방송+인터넷+상거래 등의 융합 서비스이다. 여러 응용 될 수 있는 분야 중에 본 논문에서는 지하철 응급 상황 조치 시스템에 대해서 실험하였다. 본 시스템을 도입하게 될 경우, 지하철에서의 응급 상황 발생시 인명 및 재산 피해를 최소화 시킬 수 있다. 교통, 보건, 환경, 복지, 위생, 안전, 산림보호, 그리고 재난 방제와 같은 모든 분야에 적용이 가능하다. 이것은 무선 센서 네트워크 관련 서비스들이 여러 분야에 광범위하게 적용 될 수 있음을 보이고 있다. 향후 연구 과제로 전력소비 문제와 전송률 만족하는 새로운 mac protocol model을 제시하여 효율적인 시스템을 개발 하고자 한다.

참고문헌

- [1] 과학기술부 KISTEP, 2005년도 RFID/USN 기술 영향평가 보고서, 2005. 12.
- [2] J. Schiller, *Mobile Communications*, 2nd Edition, Addison Wesley, 2003.
- [3] 서창수, "USN overview 기술 교육 방안," 한국컴퓨터정보학회 학술발표논문집, 제14권, 제1호, pp. 99-125, 2006. 6.
- [4] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium access control with coordinated adaptive sleeping

for wireless sensor networks," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 12, no. 13, pp. 493-506, June 2004.

- [5] 이해림, 정민영, 이태진, "IEEE 802.15.4 무선 PAN 의 Slotted CSMA/CA MAC 시뮬레이션," 한국시

물레이션학회 논문지, 제14권, 제3호, pp. 101-108, 2005. 9.

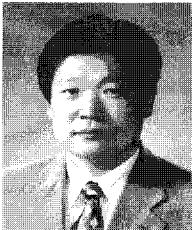
- [6] 한백전자기술연구소, *유비쿼터스센서네트워크시스템*, 2006. 5.

저자소개



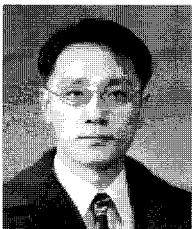
최 호 진 (Choi, Ho-Jin)

2006년 : 조선대학교 학사과정 졸업(정보통신공학전공)
2006년 3월 ~: 조선대학교 공학석사(정보통신공학전공)



박 종 안 (Park, Jong-An)

1975년 ~: 현재 조선대학교 정보통신공학부 교수
1990년 ~ 1991년 : 영국 Surrey 주립대학 전기 & 전자공학과 객원교수
1983년 ~ 1984년 : 미국 Massachusetts 주립대학 전기 & 전자공학과 객원교수
1986년 : 조선대학교 전기공학과 공학박사
1978년 : 조선대학교 전기공학과 공학석사
1975년 : 조선대학교 전자공학과 공학사



변 재 영 (Pyun, Jae-Young)

1997년 : 조선대학교 학사과정 졸업(전자공학전공)
1999년 : 전남대학교 석사과정 졸업(전자공학전공)
2003년 : 고려대학교 박사과정 졸업(전자공학전공)
2003년 ~ 2004년 : (주)삼성전자 TN총괄 무선사업부 선임연구원
2004년 ~ 2005년 : 조선대학교 정보통신공학과 전임강사
2006년 ~ 현재 : 조선대학교 정보통신공학과 조교수