

# 무선 멀티 홉 센서 네트워크와 이동로봇을 이용한 통합 화재 감시 시스템

## Integrated Fire Monitoring System Based on Wireless Multi-Hop Sensor Network and Mobile Robot

김 태 형, 서 강 래, 이 재 연, 이 원 창\*

(Tae Hyoung Kim, Gang Lae Seo, Jae Yeon Lee, and Won Chang Lee)

**Abstract:** Network technology has been developed rapidly for digital service in these days. ZigBee, one of the IEEE 802.15.4 protocols, supporting local communication has become the core technology in the wireless network area. In this paper we designed an integrated fire monitoring system using a mobile robot and the ZigBee sensor nodes which are deployed to monitor fires. When a fire breaks out, the image information of the scene of a fire is transmitted by an autonomous mobile robot and we also monitor the current position of the robot. Furthermore, the data around the place where the fire breaks out and the positions of the sensor nodes can be transmitted to a server via the multi-hop communication in the real time.

**Keywords:** sensor network, multi-hop, ZigBee, mobile robot

### I. 서론

많은 수의 센서 노드가 사용자의 조작을 필요로 하지 않고 네트워크 형태를 이루는 것이 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)이다. 무선 센서 네트워크의 응용 분야는 관심 지역의 사건을 모니터링 하기 위하여 센서 노드들이 감지한 데이터를 수집한다[1-6].

본 논문에서 구현한 시스템은 공장이나 무인 산업화 시설이 밀집된 곳에서 화재가 발생하였을 때 신속한 조기 진압 및 경보를 위한 통합 화재 감시 시스템이다. 구성된 네트워크에서 관심 지역의 사건을 모니터링하기 위한 데이터 수집 및 전송은 센서 네트워크에서 매우 중요한 요소이다 [7,8]. 이에 본 논문에서는 앞서 말한 시스템의 구현을 위하여 센서 노드들과 자율이동로봇간의 멀티홉 통신이 가능하도록 구현하였다[9].

개별 센서 노드들을 통해 특정 임계값 이상의 온도, 습도 변화가 발생하면 자율이동로봇에게 멀티홉 통신을 통해 화재 발생 여부와 현재 온도를 알리고 자율이동로봇은 자신의 웹 카메라를 통한 주변 영상 및 현재 센서 노드의 정보를 서버로 무선전송하게 된다. 또한 자율이동로봇은 적외선 센서를 이용한 장애물 자동 회피는 물론 odometry방식을 이용하여 이동 중 자신의 현재위치도 실시간으로 알 수 있다. 이를 바탕으로 로봇의 현재 위치와 로봇의 주변 영상을 비롯한 화재 정보 등을 외부 서버를 통해 관리자로 하여금 실시간으로 모니터링이 가능하도록 구현하였다.

### II. 본론

#### 1. 개요

화재 감시를 위한 센서 노드들은 고정되어 있다고 가정하고 각각의 센서 노드들은 ZigBee 프로토콜을 이용하여 자율이동로봇과 통신하게 된다. 특정 임계값 이상의 온도와 습도 변화가 발견되면 센서 노드는 화재가 발생했다고 인식하여 화재가 발생한 구역과 온도, 습도 정보를 ZigBee를 이용하여 로봇에게 무선 전송하게 된다. 이때 로봇과 센서 노드의 거리가 먼 경우가 있으므로 인접노드 간에 멀티홉 통신을 통해 데이터를 전송하게 된다. 이렇게 데이터를 수신한 로봇은 화재가 발생한 구역으로 자율이동하게 되는데 이동 중 장애물을 만났을 때는 로봇의 전면부에 장착된 4개의 IR 센서를 이용하여 스스로 장애물을 회피하며 주행하게 된다. 또한 로봇은 이동하면서 DC모터의 엔코더 값을 피드백 하여 자신의 위치를 인식하는 이른바 odometry방식을 이용한다. 이렇게 연산된 로봇의 위치는 우리가 임의로 정한 좌표를 나타내게 되고, 이 좌표는 로봇의 현재위치를 나타내는 파라미터로서 실시간으로 모니터링이 가능하다.

자율이동로봇에는 모터의 주행과 장애물 회피를 위한 적외선 센서 제어 목적으로 ATmega128이 있고 이 마이크로 프로세서는 서버와 TCP/IP 소켓통신을 위한 AP (Access Point)와 USB 웹카메라를 사용하기 위해 S3C2440 ARM9 프로세서를 장착한 임베디드 보드와 시리얼 방식으로 연결되어 있다. 웹카메라로부터 들어오는 영상은 보드의 이더넷 포트와 연결된 AP의 TCP/IP 소켓통신을 통해 서버에게 영상을 무선 전송하고 서버에 있는 모니터링 프로그램을 통해 로봇 주변의 영상 및 odometry를 이용한 로봇의 현재위치, 그리고 화재 발생 구역의 온도 등 센서 노드의 정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있게 된다. 그림 1에 전체 시스템의 구성도를 나타내었다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 11. 13., 수정: 2009. 12. 15., 채택확정: 2009. 12. 30.

김태형, 서강래, 이재연: 부경대학교 대학원 전자공학과

(thkim83@pknu.ac.kr/seo55@pknu.ac.kr/ljyijc@gmail.com)

이원창: 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부(wlee@pknu.ac.kr)

※ 본 논문은 지식경제부 지방기술혁신사업(B0009720)에서 지원하여 연구하였다.

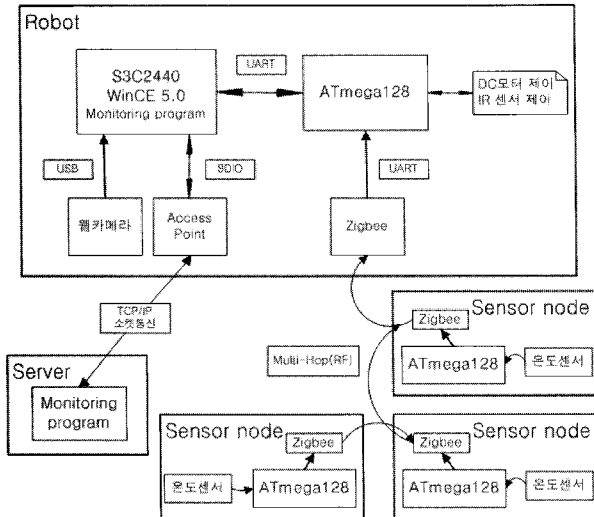


그림 1. 전체 시스템 구성도.  
Fig. 1. Overall system structure.

2. 개별 센서 노드

본 시스템에서 화재 감지와 무선 통신을 위해 사용한 ZigBee 모듈은 한백전자사의 ZigbeX이다. 이 모듈은 Atmel사의 ATmega128L과 Chipcon사의 CC2420을 적용한 센서 네트워크 모듈이다. 이 모듈은 임베디드 무선 센서 네트워크용 운영체제인 TinyOS가 포팅 되어 있으며 내부 소스는 모두 NesC로 작성되어 있다[10]. 그림 2는 본 논문에서 사용한 한백전자의 ZigbeX 모듈이다.

화재 감시를 위한 온·습도 센서는 Sensirion사의 SHT11을 사용하였다. SHT11은 온도와 습도를 동시에 측정할 수 있는 Multi-Sensor Device로 내장된 14Bit ADC를 통해 데이터들을 디지털 형태로 출력한다. 표 1은 SHT11 온·습도 센서의 규격을 나타낸 것이다.

본 실험을 테스트한 환경에서는 화재 발생 임계값을 온도 60°C 이상, 습도 35% 이하로 두었고, 센서규격이 허용하는 범위에서 온·습도를 변화시키며 데이터를 1초 단위로

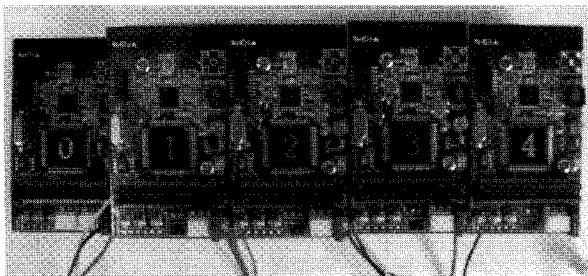


그림 2. ZigBee 모듈(ZigbeX).  
Fig. 2. ZigBee module(ZigbeX).

표 1. SHT11 규격.

Table 1. SHT11 specification.

Sensor Channels	Temperature	Humidity
Range	-40 ~ 80°C	0 ~ 8100%
Accuracy	± 2°C	± 3.5% RH
Operation Voltage	2.4V ~ 3.6V	

```
[RCV (20)] <- 7E 42 7D 5E 00 0A 7D 5D 08 01 00 27 00 41 00 1C 00 29 54 7E
[RCV (20)] <- 7E 42 7D 5E 00 0A 7D 5D 08 01 00 26 00 30 00 2A 00 86 32 7E
[RCV (20)] <- 7E 42 7D 5E 00 0A 7D 5D 08 01 00 25 00 1A 00 3D 00 27 75 7E
```

그림 3. 수신된 패킷.

Fig. 3. Received packet.

송수신하도록 하였다. ZigbeX 모듈로부터 무선 수신된 데이터를 시리얼 패킷 테스트 프로그램으로 PC에서 확인한 결과는 그림 3에 나타내었다.

StartByte와 EndByte의 7E는 시리얼 데이터임을 뜻하는 것이고 42는 NonACK, 7D 5E 00은 시리얼 어드레스인 7E를 StartByte와 EndByte의 7E와의 혼동을 막기 위해 XOR 연산을 거친 결과물, 0A는 MsgType, 7D 5D 또한 GroupID인 7D를 뜻하는 것으로 이것 또한 혼동을 막기 위해 연산한 것이다. 그리고 08은 실제 데이터의 길이를 뜻하는 것이고 그 뒤의 8바이트는 소스 어드레스(01 00), 시퀀스 넘버(25 00), 온도(1A 00 = 26°), 습도(3D 00 = 61%)를 뜻한다. 그리고 CRC(27 75), EndByte(7E)가 따라 붙는다. 온도, 습도 부분을 10진수로 환산해서 보면 대기 상태에선 온도 26°, 습도 61%지만 주위 온도를 올리면 온도 65°, 습도는 28%까지 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

3. 멀티 홉 통신

기본적으로 노드간의 통신을 비롯한 노드와 로봇간의 통신은 Chipcon사에서 개발한 CC2420 통신 칩을 이용하여 무선 멀티홉 통신을 한다. CC2420은 2.4GHz ~ 2.4835GHz 대역의 RF transceiver로써 IEEE 802.15.4에서 5MHz 간격으로 나뉜 Ch11(2.4505GHz) ~ Ch26(2.480GHz) 중 Ch11 (2.480GHz)을 기본 대역폭으로 이용한다. 표 2는 CC2420의 규격을 나타낸 것이다. IEEE802.15.4를 따르므로 이상적인 경우 데이터 송수신 속도는 250kbps이고 열린 공간에서 높이가 1m 이상이면 전송거리가 60m 이상 가능하다. 표 3은 테스트에 사용한 ZigbeX 모듈의 안테나 규격을 나타낸 것이다. 안테나의 길이가 높으면 데이터 송수신율은 더욱 좋아지

표 2. CC2420 규격.

Table 2. CC2420 specification.

Parameter	Value	
Ideal 송수신율	250kbps	
전송거리	60m 이상	
Current Consumption	RX	19.7mA
	TX	17.4mA
Operation Voltage	2.1V ~ 3.6V (Typ. 3.3V)	
Data Buffering	RX	128 byte
	TX	128 byte

표 3. 안테나 규격.

Table 3. Antenna specification.

Parameter	Value	
Type	Inverted F-type	
반경	실외	75m ~ 100m
	실내	20m ~ 30m

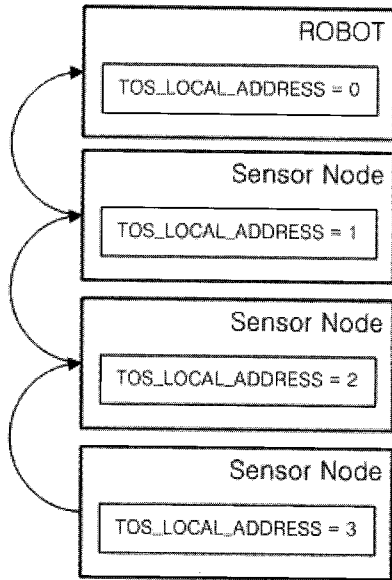


그림 4. 멀티 홉 전송시나리오.  
Fig. 4. Multi-hop relay scenario.

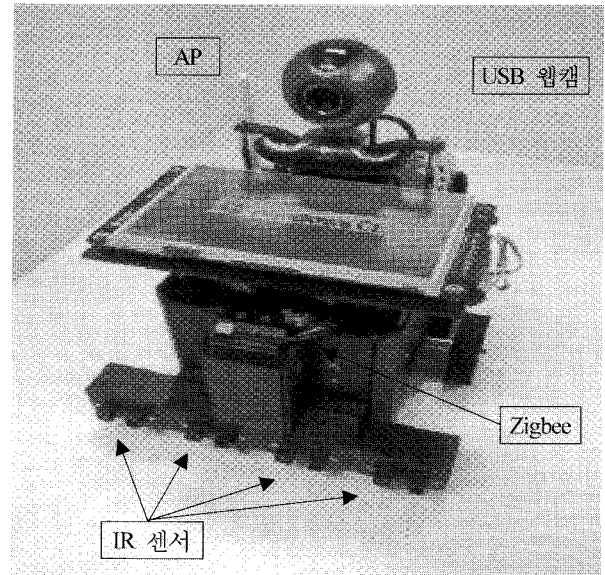


그림 6. 로봇 시스템.  
Fig. 6. Robot system.

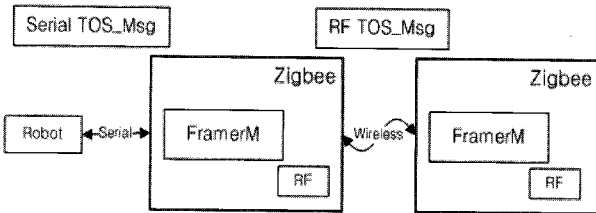


그림 5. TOS\_Msg 포맷.  
Fig. 5. TOS\_Msg format.

만 본 논문에서 테스트한 ZigbeeX 모듈의 안테나는 내장된 PCB Antenna를 사용하였다.

로봇과 각각의 센서 노드들 간에는 멀티홉 방식으로 데이터를 송수신하는데 개별 센서 노드마다 고유한 TOS\_LOCAL\_ADDRESS를 지정하고 센서 노드는 고정되어 있다고 가정했으므로 유니캐스트 방식으로 통신 하도록 하였다. 그림 4는 이런 멀티 홉 릴레이 통신의 시나리오를 나타내고 있다.

이때 로봇에 장착된 ZigBee 모듈과 로봇의 마이크로프로세서인 ATmega128과는 시리얼 통신을 통해 데이터를 송수신 하게 되는데 무선 멀티홉 방식으로 전송된 TOS\_Msg 포맷 (IEEE 802.15.4)과 시리얼 상에 사용하는 TOS\_Msg는 그 포맷 (RFC 1662)이 다르므로 메시지 포맷 변환을 해줘야 한다. 그러나 본 시스템에서는 이런 포맷의 변환을 자동으로 해주는 Framerm 컴포넌트를 사용하기 위해 GenericComm 컴포넌트를 사용하여 무선 및 시리얼 통신을 수행하도록 하였다. 무선 통신과 시리얼 통신의 TOS\_Msg에 대한 개괄적인 개념을 그림 5에 나타내었다.

4. 로봇

로봇의 자율 이동 주행과 적외선 센서 제어 및 Zigbee 모듈과의 시리얼 통신을 위한 메인 프로세서는 Atmel사의 ATmega128을 사용하였고, USB 웹카메라를 이용한 영상 정보 처리 및 서버와의 무선 통신(IEEE 802.15.4)을 위한 메

인 프로세서는 CLABSYS社의 LN2440SBC 임베디드 보드를 사용하였다.

이 임베디드 보드는 400MHz ARM9 프로세서인 S3C2440 이 장착되어 있고 운영체제는 WinCE5.0을 사용한다. 또한 800 X 480 pixel의 WVGA 터치스크린도 장착되어 있어 서버의 모니터링 프로그램은 물론 로봇의 터치스크린 상에서도 주변 영상 및 화재정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있다. ATmega128과 임베디드 보드 사이의 통신은 시리얼방식으로 통신하도록 하였다. 또한 로봇은 좌우 양쪽 DC 엔코더 기어 모터를 이용해 주행하게 되는데 모터는 모터뱅크社의 기어드 DC 모터를 사용하였다. 그림 6은 본 시스템에서 사용한 자율이동로봇의 전체 사진이다.

한 편 로봇의 주행 방법에는 두 가지가 있다. 첫 번째는 자동 주행 모드이다. 자동 주행 모드는 목적지가 정해지면 로봇은 그 목적지의 최단 거리 방향으로 회전하여 그 목적지를 향해 가게 된다. 만약 주행 도중 센서 노드의 화재 감지에 의해 이벤트가 발생하면 로봇의 목적지는 이벤트가 일어난 노드가 되어서 그 노드 방향으로 방향전환 하여 주행하게 된다. 로봇이 주행 도중 장애물을 만나게 되면 IR 센서를 통해 임시 노드가 정해지고 임시 노드 도착 시 원래 노드로 가게 되어 장애물을 회피하게 된다.

두 번째는 수동 주행 모드이다. 수동 주행 모드는 사용자가 직접 로봇의 주행을 조정할 수 있는 수동모드이다. 만약 화재가 발생한 노드로 이동 중에 온도가 높은 곳으로 이동하게 될 때나 로봇이 접근하기엔 위험한 곳에 가까워지면 로봇 보호 차원에서 수동모드로 전환해야 된다는 경고 메시지를 띄우고 더 이상 주행하지 않게 된다. 이후 관리자는 서버의 모니터링 프로그램을 통해서 로봇을 수동조정 하여 로봇을 안전한 곳으로 이동시킴으로써 화재 발생에 대해 더욱더 유연성을 가질 수 있도록 하였다.

4.1 기본 이동 경로 설정 알고리즘

엔코더 값을 통한 모바일 로봇이 위치를 이동할 때에는

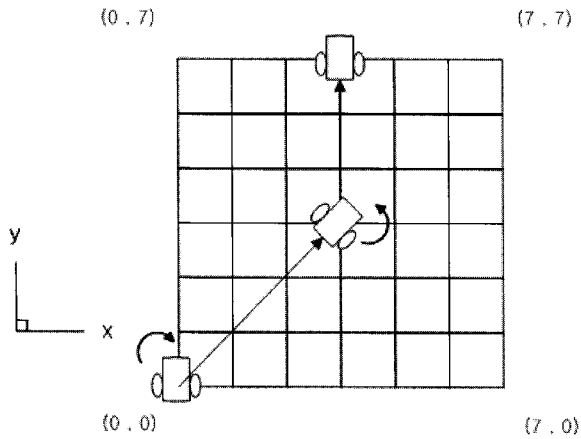


그림 7. 로봇의 이동 경로.  
Fig. 7. Navigation path of robot.

좌표 개념을 사용한다. 바로 로봇이 현재 위치하고 있는 좌표와 목적지 좌표를 비교하여 로봇 스스로 이동해야 할 방향과 거리를 설정하는 것이다. 로봇이 목적지까지 이동하는 방법으로 본 논문에서는 다음과 같은 알고리즘을 구상하여 사용하였다.

기본적으로 로봇이 방향 전환 할 수 있는 8방향 (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)을 정해놓고 그에 따른 최단거리를 계산해 이동하는 방법이다. 각 방향에 대한 엔코더 값을 테이블로 정해두게 되고 로봇이 0°에서 45°씩 방향이 전환될 때마다 방향 상태 변수를 두어 1씩 증가시키고 다시 0°로 돌아오게 되면 초기 값은 0의 값을 가지게 한다. 거리는 그리드와 그리드 사이의 길이와 대각의 길이를 정해놓고 실험적인 방법으로 그에 따른 값을 테이블로 정해두게 된다. 그리고 각 테이블에 대한 값으로 로봇이 한 칸씩 좌표를 이동하게 되는 것이다.

그림 7은 로봇의 초기위치와 목적지 간의 각도가 미리 정해둔 8방향과 차이가 있을 때의 이동경로를 나타낸 것이다. 로봇은 최초 위치인 (0, 0)과 목적지인 (3, 7)로 로봇이 이동해야 할 거리와 방향을 결정하게 된다. 하지만 여기에서는 기존 8방향과 차이가 있는 방향이 계산되기 때문에 로봇은 목적지를 임의로 재설정하게 된다. 임의로 설정된 목적지는 X축과 Y축을 비교하여 작은 값과 같은 값을 가지는 좌표로 구성되게 되고 이것은 (3, 3)으로써 초기 위치와의 방위 차는 45°가 되게 된다. 로봇은 재설정된 목적지로 테이블 값에 따른 엔코더 값으로 이동하게 되고 방향상태 변수는 1의 값을 가지게 된다. 목적지로 이동이 완료되면 최초 목적지였던 (3, 7)과 현재 위치인 (3, 3)을 비교하게 되고 X축의 값이 동일하고 목적지 좌표의 Y축의 값이 더욱 크므로 방위 차는 90°가 되게 된다. 하지만 현재 로봇이 가지고 있는 방향상태변수는 1이기 때문에 로봇은 45°만큼 방향 전환을 한 뒤 목적지로 이동하게 된다.

4.2 장애물 인식에 따른 로봇 이동 경로

로봇이 자율이동 중에 장애물을 만났을 경우를 대비하여 로봇의 전면부에 4개의 적외선 센서를 설치하였다. 적외선 센서는 Sharp社의 PSD 센서를 사용하였고 전방 80cm 까지 장애물을 감지할 수 있다. 1ms 마다 한 번씩, 총 20번의 아

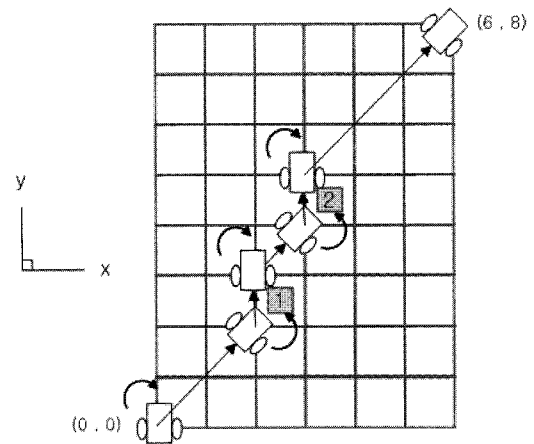


그림 8. 장애물 인식에 따른 이동 경로.  
Fig. 8. Navigation path according to obstacle recognition.

날로그 값을 받아 평균을 낸 것을 최종 값으로 결정하였다. 주행 도중 중앙 적외선 센서에 장애물이 포착될 경우 좌, 우 적외선 센서의 ADC 값을 비교하여 장애물이 좀 더 멀리 있거나 없는 곳으로 45° 회전하여 이동하게 된다.

만약 좌우 45° 방면 모두 장애물이 있을 경우 90°회전하여 장애물을 피하게 된다. 1ms마다 적외선 센서가 센싱을 하여 한 방향 이동 할 때 혹은 좌표 한 칸 전진 할 때 임시로 목적지 좌표를 바꾸어 임의로 로봇의 이동경로를 바꾼다. 바뀐 좌표에 도착 후 다시 원래 목적지 좌표로 돌아가게 하는 방식을 사용하였다. 그림 8은 로봇이 장애물을 인식하였을 때에 대한 로봇의 이동 경로를 나타내는 그림이다.

최초 로봇의 위치는 (0, 0)이고 목적지의 좌표는 (6, 8)이다. 로봇이 (6, 8)로 이동하기 위해 먼저 45°를 방향 전환하고 방향상태변수는 1로 변하게 된다. 로봇이 전진하다 장애물 1을 만났을 때, 로봇은 전방에 장애물을 인식하고 임시 목적지 노드를 설정하게 된다. 좌, 우 적외선 센서의 값에 따라 로봇은 (2, 3)이라는 좌표를 임시 목적지 좌표로 인식하고 로봇은 다시 45°를 방향 전환하고 이제 로봇의 임시 목적지 노드로 이동을 끝마쳤을 때 기존의 목적지 좌표로 목적지가 재설정되게 된다. 목적지와 현재 위치 사이의 관계에 따라 로봇은 45° 방향 전환을 하게 되고 로봇의 방향 상태변수는 1이 된다.

로봇이 이동하다 다시 장애물 2와 마주하게 되면 로봇은 장애물 1을 만났을 때와 같이 목적지를 재설정하게 되고 임시 목적지에 도착하였을 때는 똑같은 방법으로 기존의 목적지와 현재 로봇의 위치를 비교하여 목적지로 이동을 완료하게 된다. 이와 같은 방법으로 로봇은 장애물을 회피하게 되고 목적지까지 최단거리로 주행하게 된다.

그러나 로봇이 엔코더 값만으로 일정한 방향 전환 및 위치 이동하는 것은 현실적으로 불가능하다. 모터에게 제공되는 전압이 충분히 안정하지 못한 경우 및 회전이나 이동 중의 바닥과의 마찰 등에 의해 원하는 각도 및 속도가 안 나오기 때문이다. 이러한 경우 오차가 누적되어 결국엔 로봇이 현재 위치를 잃어버리는 경우가 생긴다. 이러한 점을 보완하기 위해 우리는 PID 제어를 사용하여 모터의 동작을

안정화 시켜 로봇이 최대한 일정하게 방향 전환 및 위치 이동을 할 수 있게 하였다.

5. 실험 결과

실험을 위해 사용된 시스템은 ARM9 계열의 삼성 S3C2440 CPU 임베디드 보드, ATmel社 ATmega128 MCU, 한백전자社 ZigbeX 온습도 감지 및 무선 통신 모듈, 로지텍社 쥬캠 Pro5000 웹카메라, NETGEAR社 WG602V3 Access Point, 모터뱅크社의 GM35B-E 기어드 엔코더 DC 모터, IR 센서는 Sharp社의 10~80cm까지 거리 측정이 가능한 PSD 센서(GP2Y0A21YK) 등을 사용하였다.

전체 시스템은 크게 서버, 클라이언트 구조로 되어 있다. 서버는 모니터링 프로그램이 설치된 메인 컴퓨터이고 클라이언트는 로봇이다. 추후 클라이언트 로봇의 개수를 늘려 좀 더 광범위한 지역을 커버하기 위해 기본적으로 서버, 클라이언트 구조로 통신 하도록 구성하였다. 클라이언트인 로봇이 서버인 메인 컴퓨터에 접속되면 클라이언트의 정보인 로봇의 현재 위치와 화재 발생여부, 현재 온도, 그리고 영상정보가 TCP/IP 소켓 통신을 통해 서버의 모니터링 프로그램으로 무선 전송하게 된다.

그림 9는 화재가 발생하지 않은 안전한 상태의 모니터링 프로그램 화면이다. 모니터링 프로그램의 영상은 로봇의 웹 카메라로부터 얻은 영상을 AP를 통해 서버에서 받고 있는 영상이다. 그리고 영상 옆의 화면에서 보듯이 로봇의 현재 위치와 온도 또한 실시간으로 모니터링 하고 있다. 앞서 설명했듯이 로봇의 주행모드는 자동 주행 모드와 수동 주행 모드가 있는데 Auto 버튼을 누르면 자동 주행 모드로, Manual 버튼을 누르면 버튼 아래의 방향키를 이용하여 영상을 보면서 수동으로 주행이 가능하다.

이때 2구역에 설치된 2번 센서 노드 주위에서 휴대용 드라이기를 통해 주위 온도를 임의로 지정해 놓은 특정 임계값(온도 60° 이상 또는 습도 35% 이하)이 넘을 때 까지 작동 시킨다. 임계값이 넘으면 센서 노드는 화재가 발생하였다고 인식하고 즉시 멀티홉 통신을 통해 로봇에게 해당 노드와 화재 정보를 알리게 되고 데이터를 수신한 로봇은 화재가 발생한 노드로 장애물 회피 자율 이동을 하게 되면서

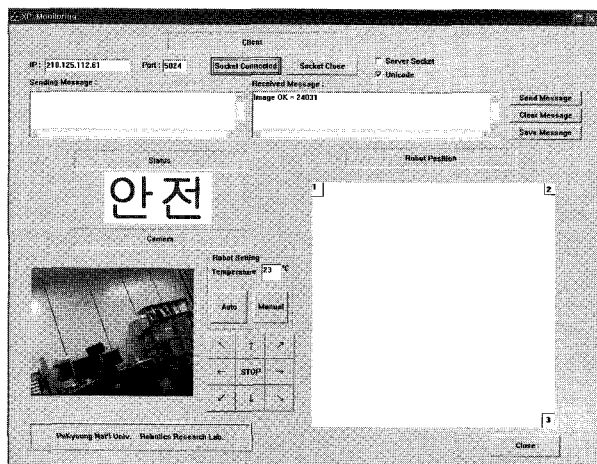


그림 9. 서버의 사용자 인터페이스(안전한 상태).  
Fig. 9. User interface of server(safe state).

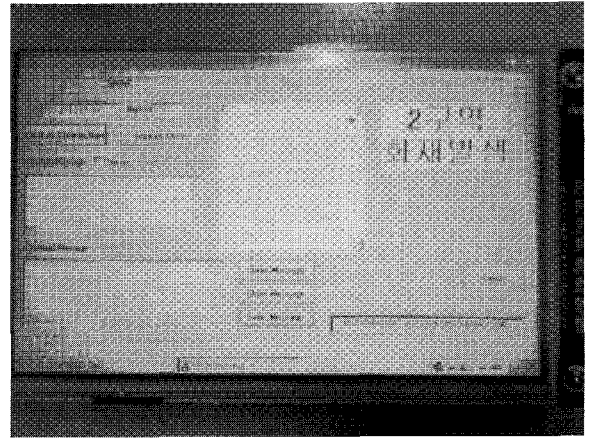


그림 10. 클라이언트의 사용자 인터페이스(2구역 화재 발생).  
Fig. 10. User interface of client(fire in the second zone).

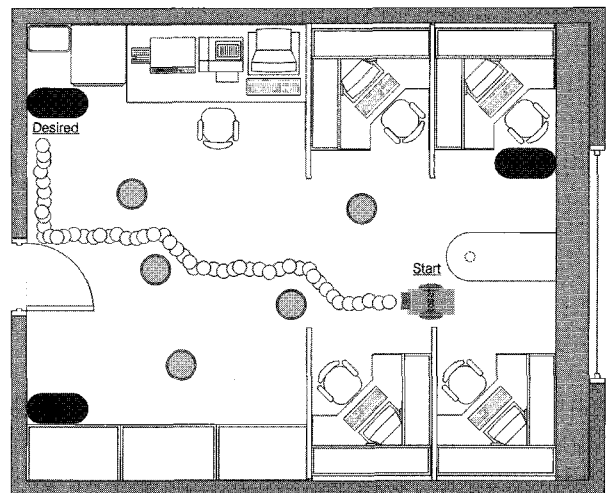


그림 11. 실험 결과 (로봇의 이동 경로).  
Fig. 11. Experimental result (navigation path of robot).

주위의 영상 및 온습도 정보, 로봇의 현재 위치 등을 무선 전송하게 된다.

그림 10은 로봇의 임베디드 보드에 포팅된 WinCE5.0 상에서 실시간으로 화재감시 모니터링 하는 모습이다. 그림에서 보듯이 2구역에 화재가 발생하게 되어 화재가 발생한 노드를 나타내고 로봇의 현재 위치까지 보여주고 있다. 만약 2구역에 화재가 난 동시에 다른 구역에 화재가 발생한다면 로봇은 관리자에게 다른 구역에도 화재가 났음을 알리고 2구역에 도착한 후 다른 화재 발생구역으로 이동하며 주변 영상 정보 및 주변 온도를 서버로 무선 전송하게 된다. 실시간 로봇의 위치를 출력하는 부분과 현재 화재 정보 상태 2가지 정보는 서버에서도 모니터링이 가능해야 하므로 WinCE의 모니터링 프로그램에 띄우는 동시에 서버에도 AP를 이용해 무선 전송하게 된다.

이렇게 해서 자율이동로봇이 화재가 발생한 곳에 도착하게 되고 그 이동경로를 그림 11에 나타내었다. 실험 환경은 6m X 4m 공간에 일반 짐들을 제외한 가운데 공간에 임의의 10cm X 10 cm의 원기둥 모양의 장애물 5개를 임의의 장소에 두고 시작하였다.

2번 센서 노드가 설치된 곳을 2구역이라 정하고 임계값 이상의 온도도 변화 발견으로 화재가 발생했다고 인지하면 즉시 로봇은 화재 발생 노드로 장애물 회피 자율 이동을 하게 된다. 전방에 장애물을 발견하면 45° 방향 전환하여 임시 목적 노드를 설정한 후 임시 목적 노드에 도착하면 기존의 목적지 좌표로 재설정되고 다시 최종 목적지와 현재 노드간의 관계에 따라 주행하게 된다.

현재위치에서 최종 목적 노드까지 최단거리로 이동하기 위해선 일렬로 있지 않다면 무조건 대각선으로 가는 것이 제일 좋은 방법이지만 현재 로봇이 방향 전환 할 수 있는 방향은 8개(0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)로 설정하였으므로 여기에 맞춰서 이동하기 위해 임시목적지 재설정 단계가 필요하게 된다.

**III. 결론**

현재 무선 센서 네트워크에서 많은 응용 연구가 수행되고 있는데 그 응용의 일환으로 본 논문에서는 멀티 홉이 가능한 무선 센서 네트워크에서 실시간으로 화재 감지가 가능하도록 하는 시스템을 구현하였다. 무선 센서 네트워크에서 원거리의 데이터를 신속하고 에너지 효율적으로 전송하기 위해서는 멀티 홉 통신이 필수적이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 모든 센서노드의 위치는 고정되어 있다고 가정하고 센서 노드의 ID를 구별하여 고정적인 유니캐스트 방식으로 통신하고 있으므로 약간의 제약이 따른다고 볼 수 있으나, 이동로봇과 ZigBee 센서 네트워크 노드를 이용하여 화재 현장을 감시하고 주변 상황을 판단할 수 있는 화재 감시 시스템의 프로토타입을 구현하였다는데 의미를 둘 수 있다.

**참고문헌**

[1] J. M. Kahn, R. H. Katz, and K. S. J. Pister, "Mobile networking for smart dust," *Proceedings of 5th annual ACM/IEEE international Conference on Mobile computing and networking*, 1999.

[2] I. F. Akyildiz and Weilian Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.

[3] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Guest editors' introduction: Overview of sensor networks," *IEEE Computer Magazine*, vol. 37, no. 8, pp. 41-149, 2004.

[4] M. Sayanarayanan, "Pervasive computing: vision and challenges," *IEEE Personal Communications*, vol. 8, no. 4, pp. 10-17, 2001.

[5] K. I. Hwang, J. S. In, Y. H. Yun, and D. S. Eom, "Dynamic sink oriented tree algorithm for efficient target tracking of multiple mobile users in wide sensor field," *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 7, pp. 4607-4610, 2004.

[6] M. Weiser, "Some computer science issues in ubiquitous computing," *Communications of the ACM*, vol. 36, no. 7,

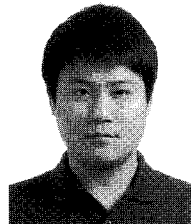
pp. 75-84, 1993.

[7] Y. B. Jo and N. H. Vaidya, *Wireless Networks*, Springer Netherlands, 2000.

[8] X.-Y. Li, P.-J. Wan, and O. Frieder "Coverage in wireless ad hoc sensor networks," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 52, no. 6, pp. 753-763, June 2003.

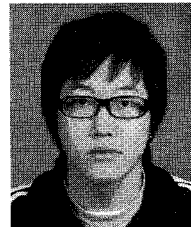
[9] J. Cho and Z. J. Haas, "On the throughput enhancement of the downstream channel in cellular radio networks through multihop relaying," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 22, no. 7, pp. 1206-1219, 2004.

[10] 서창수, 이철희, 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템, (주)한백전자, 2007.



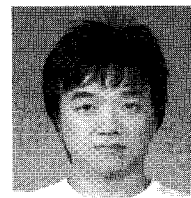
**김 태 형**

2009년 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 졸업. 2009년~현재 동 대학원 전자공학과 석사과정. 관심분야는 로보틱스, 센서 네트워크, 임베디드 시스템.



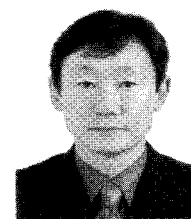
**서 강 래**

2009년 부경대 전자정보통신공학과 졸업. 2009년~현재 동 대학원 전자공학과 석사과정. 관심분야는 지능시스템, 로보틱스.



**이 재 연**

2008년 부경대 전자컴퓨터정보통신공학부 졸업. 2008년~현재 동 대학원 전자공학과 석사과정. 관심분야는 로보틱스, 인공지능.



**이 원 창**

1983년 서울대 제어계측공학과 졸업. 1985년 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사. 1992년 포항공과대학교 전자전기공학과 박사. 1993년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수. 관심분야는 로보틱스, 임베디드 시스템.