
무선 센서 네트워크 기반의 모니터링 센서 로봇 시스템

최호진* · 변재영**

Monitoring Sensor Robot System based on Wireless Sensor Network

Ho-Jin Choi* · Jae-Young Pyun**

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 활용한 모니터링 센서 로봇 제어 시스템 응용에 대해서 기술한다. 저전력, 초경량의 모니터링 센서 로봇을 통해서 주변 환경을 원격 감지하며, 로봇간의 ad-hoc networking을 통하여 모니터링 센서 로봇의 방향 및 속도를 제어하도록 하였다. 이러한 무선 센서 네트워크 기반의 모니터링 센서 로봇 시스템은 인간의 접근이 어려운 유해 환경이나 공장, 발전소 등의 위험지역에서 원격 관찰 및 탐지 등의 목적으로 활용 될 수 있다.

ABSTRACT

This paper deals with monitoring sensor robot control system for the application of wireless sensor network. In order to control the direction and speed of robot via remote sensing environment, low power, low weight sensors with ad-hoc networking between robots' sensors have been used. These wireless sensor network based robot monitoring system can be used for remote observation and detection of robots in the areas such as factories, power plants and other dangerous areas which are difficult for human access.

키워드

무선 센서 네트워크(Wireless sensor network), 애드혹(ad-hoc), 지그비(ZigBee), 센서(Sensor), 로봇(Robot).

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 컴퓨팅 기술 능력과 무선 통신 능력을 지닌 센서 노드들을 이용하여 자율적인 네트워크를 형성하고, 서로 간에 정보를 전달한다. 최근 무선 센서 네트워크 기술이 유비쿼터스 사회의 핵심 기술로 부각되면서 센싱된 데이터의 활용방안에서도 많은 연구가 진행되고 있다. 실제 응용 분야로서는 무선 센서 네트워크는 국방, 조달, 건설, 교통, 물류 등 공공부분과 민간 부분의 제조, 유통, 서비스 등 비IT산업 전반에 활용

될 수 있다[1].

본 논문은 무선 센서 네트워크 주요 응용 사례 중 하나인 국방 및 환경 감시를 위한 모니터링 센서 로봇 시스템 구현에 대해서 기술한다. 모니터링 센서 로봇 시스템은 저전력, 초경량의 모니터링 센서 로봇을 통해서 주변 환경을 원격 감지하며, 로봇간의 ad-hoc networking을 통하여 모니터링 센서 로봇의 방향 및 속도를 제어하도록 하였다. 이러한 무선 센서 네트워크는 인간의 접근이 어려운 유해 환경이나 공장, 발전소, DMZ 등의 위험지역에서 원격 관찰 및 탐지 등의 목적을 수행 할 수 있다.

* 조선대학교 정보통신공학과 석사과정

** 조선대학교 정보통신공학과 조교수

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장 1절에서 모니터링 센서 로봇의 하드웨어 구조에 대해서 기술하고, 2절에서는 소프트웨어, 3절에서는 로봇 시스템 동작 제어 및 모니터링 환경에 대해서 설명 한다. 이어서, 4절에서는 본 구현의 실험 및 고찰에 대해 설명하고, 마지막으로 III장과 IV장에서 결론 및 앞으로의 연구 발전 방향을 제시한다.

II. 본 론

무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 온도, 습도, 물체 움직임 등과 같은 정보를 측정하고 이를 주기 또는 비주기적으로 싱크 노드(sink node)까지 전달한다. 이러한, 센서 노드의 설치와 재배치는 공간적인 접근성 제한의 이유로 제약을 받는 경우가 많다. 또한 넓은 지역이나 유해 환경, 위험지역에서의 센서 노드를 설치하기 위해서는 경제적, 시간적 부담이 증가되게 된다.

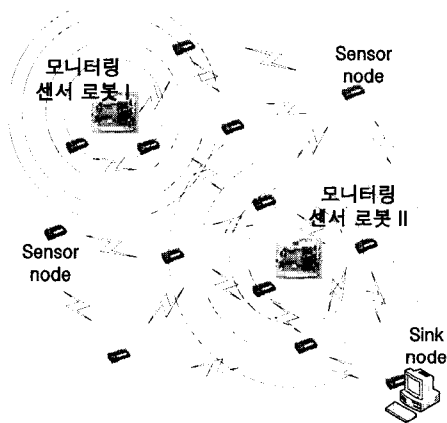


그림 1. 무선 센서 네트워크 기반의 모니터링 센서 로봇 시스템
Fig. 1. Monitoring robot system based on wireless sensor network

그림 1은 고정형 센서 노드와 동적 움직임이 보장되는 이동형 센서로봇을 통해 주위 환경을 감시하는 응용을 보이고 있다 이러한 모니터링 센서 로봇의 응용은 센서 노드의 설치 및 재배치 문제를 빠른 시간내에 경제적으로 해결할 수 있다. 특히, 전파 환경이 열악하여 전파 도달거리에 제약을 받는 환경일수록 로봇 시스템

의 이동성 기반의 ad-hoc networking을 이용하여 모니터링 효과를 극대화 할 수 있다. 즉, 센서 노드들의 멀티홉 라우팅 기능에 의해 고정 센서 노드가 가지는 통신 거리상의 제약을 극복하며, 노드들의 이동성으로 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화 할 수 있다는 장점이 있다.

2.1. 모니터링 센서 로봇의 하드웨어

(1) 하드웨어 시스템 구성

그림 2의 모니터링 센서 로봇은 크게 Micro Control Unit (MCU), Radio Frequency (RF) 통신 모듈, 로봇 바디, 각종 센서 등으로 구성되어 있다.

모니터링 센서 로봇에 사용되는 MCU로는 ATmel사의 Atmega128L(8Bit, 128KB Flash, 2KB RAM, 4KB EEPROM), ad-hoc networking으로는 Chipcon사의 CC2420를 사용하였으며, 로봇 바디에 거리측정센서인 Sharp사의 GP2Y0A21YK를 부착하여 진행로의 물체를 탐지 및 회피 할 수 있도록 하였다.

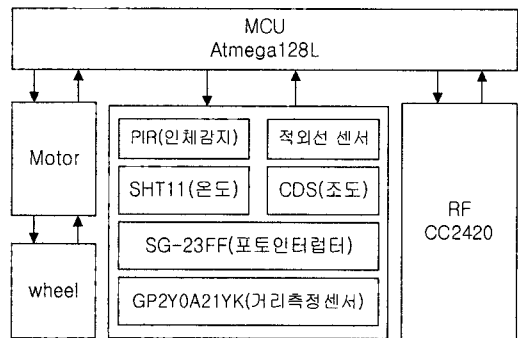


그림 2. 모니터링 센서 로봇 시스템
Fig. 2 Monitoring sensor robot system

모니터링 센서 로봇을 컨트롤 하는 MCU는 ATeml사의 Atmega128L으로써 그림 3과 같이 64개의 Pin과 A~G port로 구성 되어 있으며, ADC INPUT기능과 GPIO 연결을 갖고 있다. 각 센서와 인터페이스 제어를 위해 사용된 port는 다음과 같다. 거리측정센서는 44, 45 pin (A port)을 사용하였으며, 나머지 센서들 온도(SHT11), 조도(cds), 적외선(PIR), 연기(photo interrupter) 센서들을 각각은 36~40 pin (C port), 모터제어를 위해 29 pin (D port), 데이터를 송수신하기 위해 2, 3 pin(E port)을 사용하였다.

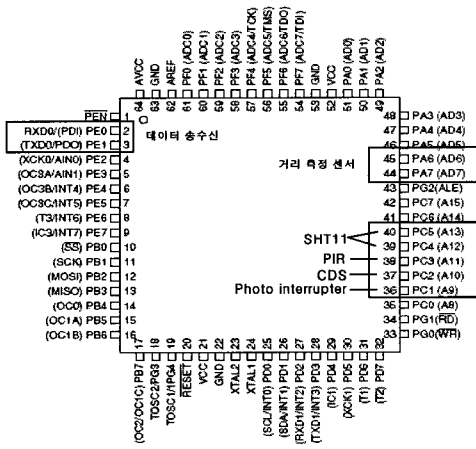


그림 3. Atmega128L 핀 구성
Fig. 3. Atmega128L pin description

(2) Ad-hoc networking RF부

앞서 언급한 바와 같이 모니터링 센서 로봇은 ad-hoc networking을 위하여 그림 4와 같은 Chipcon사의 CC2420을 사용하였다. 이 RF chip은 ZigBee를 지원한다. 즉, 무선 센서 네트워크용 저전력 MAC 프로토콜과 DSSS PHY 특성을 갖추고 있으며, 2.4 Ghz 주파수 대역을 활용한다[5][6].

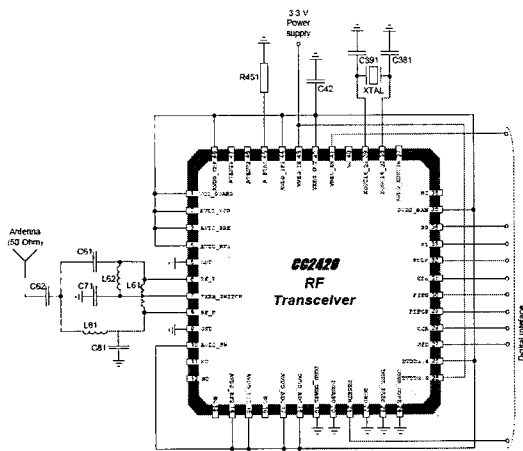


그림 4. RF CC2420 배선도
Fig. 4 RF CC2420 circuit

이러한 Chipcon사의 CC2420 칩을 통해 모니터링 센서 로봇 및 고정형 센서 노드간에 ad-hoc networking이 가

능하다. 이를 위해 각 센서 노드간의 ad-hoc이 가능한 Directed Diffusion 라우팅 프로토콜을 적용하였으며, 에너지 효율성을 고려한 S-MAC 프로토콜을 사용하였다 [2][4]. 각 센서 노드의 RF전송 메시지 포맷은 그림 5에서와 같이 구성 된다.

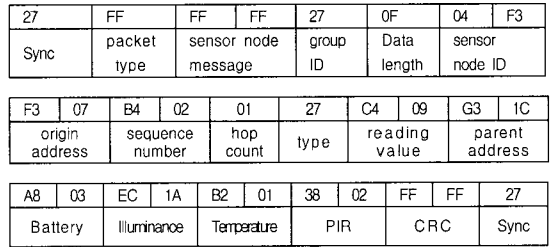


그림 5. 메시지 데이터 유닛
Fig. 5 Message data unit

그림 5의 첫 번째 데이터 유닛인 packet type, group ID, data length, sensor node ID 등은 센서 노드의 기본적인 ID 와 데이터를 의미한다. 두 번째 데이터 유닛은 본 시스템 적용을 위해 추가한 origin address, sequence number, hop count, type, reading value, parent address이다. 이는, 센서 노드의 위치 정보를 추적하기 위한 데이터 유닛으로서, 이동 센서 노드의 위치, 데이터 전달 경로 등을 예측하기 위한 용도로 사용된다. 세 번째 데이터 유닛은 센서 노드에 부착되어 있는 battery, illuminance, temperature, PIR의 데이터들을 패킷에 저장 하는 위치를 의미한다. 마지막으로 CRC 체크를 통해 데이터 유닛의 오류 정보를 확인 하게 되며, sync 유닛을 통해 이 패킷 중단점을 알 수 있게 된다. 이와 같은 센서, 통신 모듈, 모터 등의 구성은 모두 모니터링 로봇의 MCU에 의해 제어되며, 우선적으로 원격지에 위치한 제어 프로그램으로부터 ad-hoc networking으로 명령을 지시받게 된다.

그림 6은 모니터링 센서 로봇 제어 시스템의 동작과정을 보이고 있다. 이 때 2개 이상의 모니터링 센서 로봇이 있다고 가정하자. 모니터링 센서 로봇 1이 주기적인 pilot 신호와 무선 채널 약화 알림 신호를 싱크 노드의 모니터링 호스트 컴퓨터에게 전달하게 된다. 만약 정상적인 신호를 받지 못하게 되었을 경우, 모니터링 센서 로봇 2가 이동하여 로봇 1의 통신의 가교 역할을 하며, ad-hoc networking을 구성한다. 정상적인 통신이 가능하게 될 시 사용자의 명령 하달 혹은 원격 제어를 통해 상황에 따

른 조치를 한다.

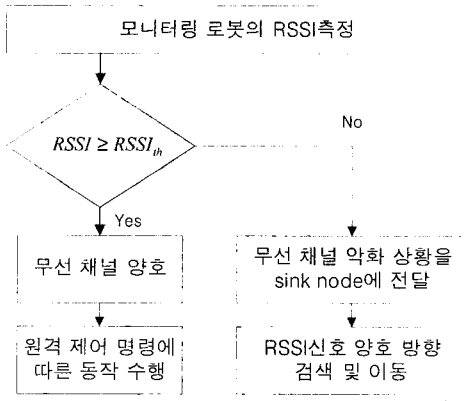
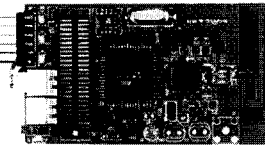


그림 6. 모니터링 센서 로봇의 ad-hoc networking 알고리즘

Fig. 6 ad-hoc algorithm of monitoring sensor robot system

(3) 모니터링 센서 로봇 센서부

모니터링 센서 로봇의 센서 노드는 그림 6의 한백전자의 ZigbeX를 기반으로 제작되었다[3].



- 범용의 ATmega128 CPU 사용(8bit Platform)
- 센서 데이터 저장장치 제공 (SDRAM, FLASH)
- TinyOS 포팅으로 실시간 센서 네트워크 구성
- 자율 통신망 구축 가능, Zigbee 지원
- 125m까지 통신 가능한 PCB패턴 안테나
- 크기 : 40mm x 70mm

그림 7. 한백전자 ZigbeX 센서 노드

Fig. 7 ZigbeX sensor node of Hanback electronics

확장된 센서 모듈은 그림 8에서 보는 바와 같이 인체 감지, 연기, 조도 센서, 온도/습도 센서로 구성된다. 인체 감지를 위해서는 적외선 센서를 사용하였으며, 연기 감지를 위해서는 photo interrupter, 조도를 감지하기 위해서는 cds sensor, 그리고, 온도를 감지하기 위한 경우는 SENSIRION사의 sht11 타입의 sensor를 사용하였다.

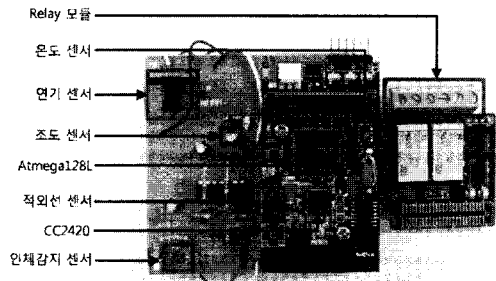


그림 8. ZigbeX를 확장한 로봇 시스템의 센서 및 모터 제어부

Fig. 8 Sensor and motor control parts of robot system based on ZigbeX

고정형 센서 노드와 모니터링 센서 로봇의 센서부설계는 그림 9와 같다. 이는 Atmega128L이 가지고 있는 A~F 포트중에 확장포트로 사용가능한 c port를 사용하였으며, 센서류로 cds는 port c 1(pin 36), photo interrupter는 port c 2(pin 37), 인체감지(PIR)는 port c 3(pin 38), sht11은 port c 4, 5(pin 39, 40)에 연결하였다.

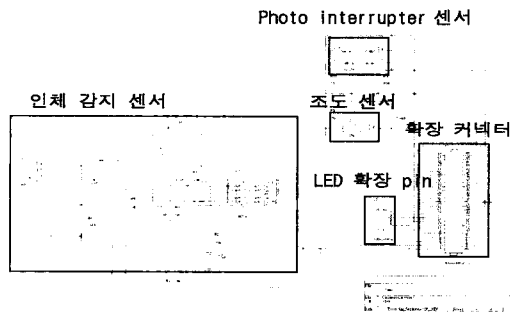


그림 9. 센서 모듈 설계도

Fig. 9 Sensor module design

2.2 모니터링 센서 로봇의 소프트웨어

(1) TinyOS 레이어 구성

모니터링 센서 로봇의 운영체제로 TinyOS를 사용했다. 이는 센서 노드를 위한 이벤트 반응형 운영체제로서, C의 확장인 network embedded system C (nesC)로 이루어져 있다. 이러한 nesC는 ad-hoc 센서 네트워크에 이용될 수 있으며, 저전력, 작은 메모리, 제한된 프로세싱으로 인해 한정된 리소스를 가지고 있다. 하지만, 센싱 및 검출, 네트워킹 및 통신, 전력 관리 등에 사용 가능하다. nesC는 컴포넌트로 결합되어 만들어진 C 언어의 확장형

이라 할 수 있는 nesC는 컴포넌트 동작에 대한 사양으로 인터페이스를 갖고 있으며, 정적인 연결 특성과 양방향성을 지니고 있다. 컴포넌트는 nesC application을 구성하는 기본 블록으로, 컴포넌트를 정의하는 configuration과 module로 구분된다. configuration은 하나의 nesC application에 사용되는 컴포넌트들을 선언하고, 이들간의 연결을 정의한다. 또한 module은 새로운 컴포넌트의 동작 및 다른 컴포넌트들과의 연동 기능을 기술한다.

그림 10은 TinyOS를 구성하는 각 계층별 컴포넌트들이다. 이 계층 구조를 통해 알 수 있듯이 적외선 센서, 온도센서, 조도 센서 등은 ADC 컴포넌트 기능에 활용하며, 모든 데이터는 RFM 또는 UART를 통해 원격지와 모니터링 호스트 컴퓨터로 전달 할 수 있다.

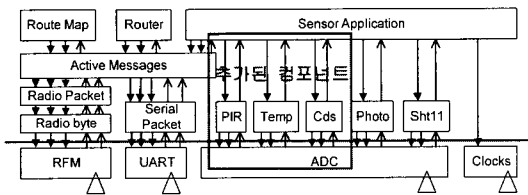


그림 10. TinyOS 레이어
Fig. 10 TinyOS layer

(2) nesC 컴포넌트와 인터페이스

그림 10에서 보는바와 같이 모니터링 센서 로봇 시스템은 PirC, TempC, CdsC, 등의 컴포넌트를 필요로하고 있다. 그림 11은 이와 같은 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.

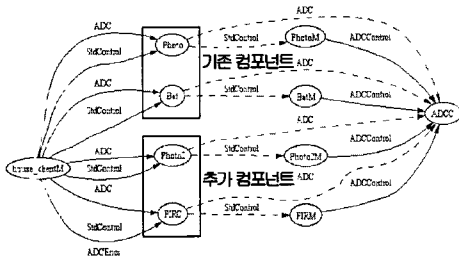


그림 11. 모니터링 센서 로봇의 TinyOS nesC 설계
Fig. 11 TinyOS nesC architecture of monitoring sensor robot

그림 12는 모니터링 센서 로봇에 탑재 되는 nesC 코드이다. 주요 센서와 ADC 컴포넌트들의 인터페이스를 보이고 있으며, 이들의 데이터 전달을 위한 MCU Pin 디스크립션을 보이고 있다. 상황과 센서에 맞는 컴포넌트 생성 후 인터페이스와의 MCU와 연결된 pin 디스크립션을 보이고 있다.

```

module Mobile_robotM
{
    provides interface StdControl;
    uses {
        interface Timer as STimer;
        interface Leds;
        interface relay as robotRelay;
        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 PIRADC; //인체감지
        // ADC와 각 컴포넌트간의 연결
        interface StdControl as BatControl;
        interface ADC as BatADC;
        interface ADCError 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 12. 모니터링 센서 로봇 nesC 코드
Fig. 12 nesC code for monitoring sensor robot

2.3. 로봇 시스템 동작 제어 및 모니터링 환경

모니터링 센서 로봇의 동작 모니터링을 위한 User interface(UI) 환경은 windows xp 환경에서 Visual C++ 6.0으로 제작하였다. 그림 13의 모니터링 호스트 컴퓨터는 모니터링 센서 로봇과 고정형 센서 노드들로부터 데이터를 송수신 하며, 수집된 데이터들을 재활용 혹은 분석하기 위하여 DB화하여 운영한다. 또한 모니터링 센서 로봇으로부터 정확한 상황 판단을 위해 음성 재생 및 녹음 할 수 있으며, 수집 데이터는 각 센서 노드들의 번호, 측정값, ad-hoc networking 동작 유무, 배터리 소모 정도 등을 표시하고 있다.

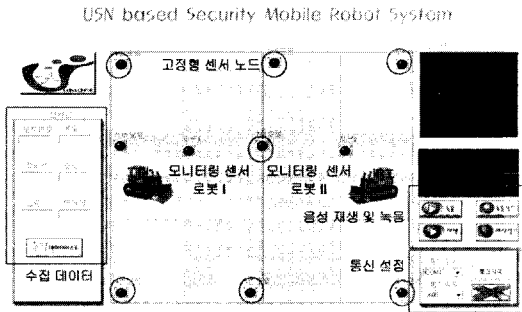


그림 13. 모니터링 센서 로봇 서버 소프트웨어
Fig 13. Monitoring sensor robot software

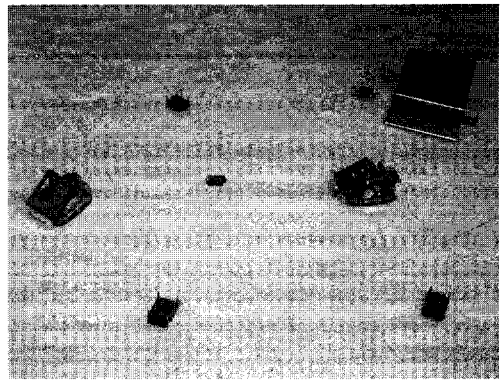


그림 15. 모니터링 센서 로봇 시스템 실험
Fig. 15 Monitoring sensor robot system experiment

2.4. 실험 및 고찰

본 무선 센서 네트워크 기반의 모니터링 센서 로봇 시스템은 온도, 조도, 연기 등을 감지 할 수 있으며, 각 센서 노드로부터 센싱된 데이터는 싱크 노드와 함께 위치한 모니터링 호스트 컴퓨터로 전송된다. 이러한 시스템의 성능 평가를 위해서 그림 15와 같은 일반 사무실 건물 내에서 측정 하였으며, 간접적인 시스템의 성능 및 결과물 예측 할 수 있었다. 콘크리트 외벽 및 사람 등의 차폐물로 인해 전파경로의 차단현상이 심할 경우 전송거리가 줄어들 수 있음을 알 수 있었다.

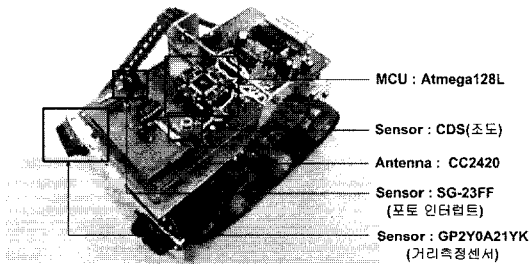


그림 14 모니터링 센서 로봇
Fig. 14 Monitoring sensor robot

표 1. 모니터링 센서로봇간의 통신 가능거리 결과
Table.1 Monitoring sensor robot communication result

실험	모니터링 센서 로봇간의 최대 통신 ad-hoc networking 평균 거리
실험 1 (건물 1)	30 m
실험 2 (건물 2)	20 m
실험 3 (건물 3)	25 m

III. 결론 및 향후 연구 방향

무선 센서 네트워크 관련 서비스는 여러 분야에 광범위하게 적용 될 수 있다. DMZ와 같은 군사적 위험지역에서의 감지 시스템을 비롯하여 교통, 보건, 환경, 복지, 위생, 안전, 산림보호, 그리고 재난 방재와 같은 모든 분야에 적용이 가능하다. 이러한 응용 분야는 무선 센서 네트워크에 이동 로봇을 적용함으로써 인간이 접근하기 힘든 유해환경, 고위험지역 등에서 응용 될 수 있다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 기반의 모니터링 센서 로봇 제어 시스템 구현에 대해서 기술하였다. 향후 연구로는 모니터링 센서 로봇의 안정성 있는 동작과 센서 노드의 전력 소비 문제, 전송 효율성을 고려한 새로운 MAC 프로토콜을 개발이 필요하다.

참고문헌

[1] 과학기술부, "2005년도 RFID/USN 기술영향평가 보고서," Dec, 2005.
 [2] 송영미, 서창수, 고영배, "무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성과 전송 지연 최소화를 동시에 고려한 MAC 프로토콜," 한국정보과학회 한국컴퓨터종합 학술대회 2005 논문집(A), Jul, 2005.
 [3] 한백전자기술연구소, "유비쿼터스 센서 네트워크 시스템," ITC, 2006..
 [4] 한정안, 김윤형, 김병기, "무선 센서 네트워크 환경에

서 노드의 에너지 소비 절감을 위한 파워 제어 프로토콜,” 한국통신학회 논문지 제30권 1A호, Jan, 2006

[5] Chalermek Intanagonwivat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, John Heidemann, and Fabio Silva, “Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking,” IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.11, p2-16, Feb, 2003.

[6] Wei Ye, John Heidemann, and Deborah Estrin, “Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks,” IEEE/ACM Transactions of Networking, Vol.12, p493-506. Jun, 2004.

저자 소개



최 호 진 (Choi Ho-Jin)

2007년 조선대학교 정보통신공학과
학사
2009년 조선대학교 정보통신공학과
석사 졸업 예정

※ 관심 분야: 무선 센서 네트워크, RFID 시스템, MAC
프로토콜



변 재 영 (Pyun Jae-Young)

1997년 조선대학교 전자공학과 학사
1999년 전남대학교 전자공학과 석사
2003년 고려대학교 전자공학과 박사
2003년~2004년 (주)삼성전자 TN
총괄 무선사업부 선임연구원

2004~2005 조선대학교 정보통신공학과 전임강사

2006~현재 조선대학교 정보통신공학과 조교수

※ 관심 분야: Multimedia Communication, 무선 센서
네트워크, 모바일 와이맥스, 무선통신