센서 네트워크 기반의 홈 보안로봇 시스템 구현

Ubiquitous Home Security Robot System based on Sensor Network

김 윤 구[1] · 이 기 동[2]

Kim Yoon-Gu[1] · Lee Ki-Dong[2]

Abstract We propose and develop Home Security robot system based on Sensor Network (HSSN) configured by sensor nodes including radio frequency (RF), ultrasonic, temperature, light and sound sensors. Our system can acknowledge security alarm events that are acquired by sensor nodes and relayed in the hop-by-hop transmission way. There are sensor network, Home Security Mobile Robot (HSMR) and Home Server(HS) in this system. In the experimental results of this system, we presented that our system has more enhanced performance of response to emergency context and more speedy and accurate path planning to target position for arriving an alarm zone with obstacle avoidance and acquiring the context-aware information.

Keywords: Home Security, Sensor Network, Mobile Robot, Path Planning

1. 서 론

최근 다양한 분야에서 다양한 형태의 보안 및 서비스 로봇 또는 시스템이 연구, 개발되고 소개되어왔다. 특별히 이러한 자동화 시스템을 일반 가정이나 실내 환경에 적용함에 의해 삶의 질적 향상을 가져올 뿐만 아니라 안전 및 편리성에도 향상을 가져왔다. 또한 신체적 정신적 장애를 가진 사람들에게는 보다 편리한 생활공간을 조성해 도움을 줄 수 있었다[1]. 본 연구는 홈 보안 문제에 그 초점을 맞추고 새로운 패러다임의 보다 지능적인 보안로봇 시스템을 구현하고자 한다. 전형적인 실내 보안 시스템에서는 침입감지센서, 화재감지센서 등이 설치되어 중앙집중식 보안관리가 이루어지고 있지만 다양한 형태의 제약과 결점들이 발견되고 있다. 본 논문에서는 RF, 초음파, 온도, 조도 및 음향 센서 등을 포함하는 센서 노드들에 의해 구성되는 센서네트워크 기반의 홈 보안 시스템(HSSN: Home Security robot system based on Sensor Network)을 제안한다. 본 시스템은 센서네트워크, 홈 보안 로봇(HSMR: Home Security Mobile Robot) 그리고 홈 서버(HS: Home Server)로 구성되며 센서네트워크의 각 센서 노드들에 의해 실내의 상황인식정보를 획득하고 Hop-by-Hop 전송방식으로 전달되어 서버에서 보안경보 이벤트를 발생하고 이를 원격지의 사용자에게 사용자 인터페이스 장비(UID: User Interface Device)인 PDA (Personal Device Assistant)나 Cellular Phone으로 통지하게 된다. 이에 대해 원격지의 사용자는 UID로 적절한 대응을 하게 된다.

이렇게 센서 네트워크와 편재형(Pervasive) 컴퓨팅환경을 로봇시스템에 융합하여 보다 향상된 홈 보안 로봇 시스템을 제안함에 있어 본 연구에서는 효율적 자원 관리형 홈 보안 및 센서 네트워크를 위한 시스템 구조를 제안한다. 기존의 연구들[1-3]에서 볼 수 있듯이 보안 및 서비스 로봇에 관한 많은 연구들이 소개되어 왔지만 대부분이 로봇이 해야 할 모든 일들을 하나의 시스템에 집중함으로써 많은 자원들을 요구하게 되는 결과를 초래하였다. 본 연구에서 개발한 시스템은 전체 시스템의 부담을 3개의 부분으로 분산시켜 홈 서버, 센서 네트워크 그리고 모바일 로봇으로 각각 나누어 그 역할을 분담하도록 하였고 무선 랜, RF 그리고 블루투스와 같은 무선기술과 인터넷을 융합하여 각 부분들이 유기적으로 연결되도록 하였다. 또한 기존 모바일 로봇 연구[4]에서도 마찬가지로 또

※ 본 연구는 2007 학년도 영남대학교 학술진흥조성연구비에 의하여 연구되었습니다.
[1] 영남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
(E-mail: ryankim8@yumail.ac.kr
[2] 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
(E-mail: kdrhee@yu.ac.kr)

하나의 중요한 이슈인 모바일 로봇의 위치인식, 효율적인 경로계획과 추종 및 장애물 회피 문제에 대 본 논문의 연구를 기술하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 HSSN 시스템의 구성을 소개하고 3장에서 HSSN의 작동 프로시저 및 모드 전환과정, 센서 네트워크의 구성, 홈 서버의 구성 및 역할, HSMR의 위치인식, 경로계획 및 추종제어, 장애물 회피 알고리즘 등을 논의한다. 4장에서는 구현 시스템의 시뮬레이션 결과 및 실험적 결과에 대하여 기술한다. 5장에서는 본 연구의 결론 및 향후 연구방향을 논하는 것으로 끝을 맺는다.

2. System Architecture

기존 연구들에서 다양한 형태의 홈 보안 로봇 또는 시스템들이 소개되었다. 그 대표적 예로 자율적 안내로봇(Autonomous Guard Robot), 보안로봇의 목표추종 시스템, 소방방재로봇 등이 있다. 본 논문에서는 센서네트워크 기반의 홈 보안 시스템을 제안한다. 그림 1은 HSSN 시스템 구성을 보여주고 있다. 아래의 그림에서 보듯이 기본적인 시스템 구성은 센서네트워크, 홈 서버, 홈 보안 모바일 로봇(HSMR)으로 구성되며, 각 구성부의 기능은 우선, 센서 네트워크를 구성하는 각 센서 노드들은 온도, 조도, 음향 등의 센서를 내장하고 있어 실내의 상황정보를 수집하며, 그 임계값 이상의 센싱 정보에 대해서는 이벤트를 발생하여 홈 서버에 전달한다. 또한 모바일 로봇의 이동경로를 최적화해주기 위한 초음파 센서와 RF 송신기가 있어 모바일 로봇의 센서 노드, 리스너(Listener)에 각 노드의 절대위치정보를 제공해주는 역할도 하게 된다. 홈 서버는 센서네트워크를 통해 전달되어온 각종 이벤트에 대해 무선랜을 통해 홈의 주인인 사용자에게 UID 장비인 PDA나 Cellular Phone으로 메시지를 알려준다. 또한 그 이벤트에 대한 정확한 상황정보를 인식하기 위해 홈 모바일 로봇에게 지령을 내리면 HSMR은 그 이벤트를 전송한 센서노드의 절대위치정보를 받아 절대위치로 이동하게 된다. 이때의 HSMR의 이동은 센서네트워크에서 형성된 최단 이동경로를 따라 이동하게 되며 각 센서 노드의 위치정보와 거리정보를 사용하여 절대적 자기위치인식과 경로계획 및 추종이 이루어지게 된다. HSMR이 이벤트 발생 지점에 도달하면 그곳의 상황에 대한 영상정보를 Cam으로부터 얻고 그 정보를 홈 서버에 전달한다. 서버로 보내진 센싱정보 및 영상정보는 사용자의 UID에서의 요청에 따라 사용자에게 무선랜 통신과 인터넷망으로 통해 사용자에 전송되게 된다. 사용자는 이러한

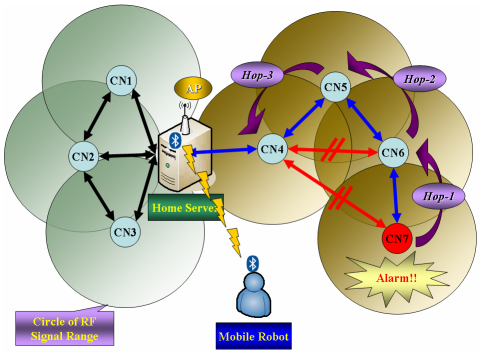


그림 1. HSSN 시스템 구조

정보를 통해 집안의 상황을 판단하고 자신의 UID로 원격지에서 서버에 지령을 내려 원하는 조치와 부가적인 기능들을 요구할 수 있다. 부가적으로 홈 모바일 로봇은 집안 가전의 원격제어 기능을 가지며 기본적인 위급상황의 조치 기능을 가진다.

이러한 시스템 구성요소들의 역할들이 유기적 이루어지기 위해 본 시스템은 3가지 동작모드, 즉 이벤트 센싱 보드(ESM: Event Sensing Mode), 통신모드(CM: Communication Mode), 홈 보안 활성모드(HSAM: Home Security Activation Mode)로 구성하여 시스템 자원 관리를 효과적으로 하였다. 어떠한 경보상황이 발생하지 않는 상태에서는 ESM 모드로만 동작하여 센서노드의 전력소모를 최소화하고 특정 노드에서 경보상황을 감지 시 ESM 모드에서 CM 모드로 전환하여 전체 센서 네트워크가 통신이 이루어지도록 하였다. 또한 서버에서 모바일 로봇으로 동작지령을 내린 상태에서는 CM 모드에서 HSAM모드로 전환하여 전체 시스템이 활성 화되어 유기적으로 동작하게끔 하였다. 이에 대한 세부 적인 내용은 다음 절에서 논의한다.

3. HSSN System

전체적인 HSSN시스템은 아래 그림2에서와 같이 3 가지 동작 모드, ESM, CM, 그리고 HASM에 의해 전환되면서 운영되는 절차를 가진다. 우선적으로 ESM모드에서는 각 센서 노드들이 센서보드에 내장된 센서들에 의해 온도, 조도, 음향 등의 센싱 정보를 수집하는 상태로 특정 임계값 이상의 센싱정보가 감지되었을 때 경보이벤트 상황으로 판단하여 홈 서버로 이벤트 메시지를 보내게 된다. 이때 시스템의 동작모드는 ESM 모드에서 CM 모드로 전환되어 전체 센서 네트워크의 센서 노드간 통신이 가능케 되고 메시지는 Hop-by-Hop 방식으로 전파되면서

서버에 도달하게 된다. 서버는 이벤트메시지의 상황을 무선랜과 인터넷망을 통해SMS로 원격지의 사용자 인터페이스 디바이스에 전달하여 사용자가 집안 보안 상황을 인지하도록 한다. 이와 동시에 서버는 모바일 로봇에 지령하여 경보이벤트를 발생한 센서노드의 영역으로 이동하게 하여 현재 상황에 대한 센싱정보와 영상정보를 수집하여 서버에 보내도록 한다. 이 때 시스템의 동작모드가 CM모드에서 HSAM 모드로 전환하게 된다. 모바일 로봇에서 보내온 정보는 사용자의 요청에 따라 사용자에게 보내지며 사용자는 이 정보를 바탕으로 집안의 상황을 판단하고 적절한 조치를 취하게 된다. 위에서 언급한 절차들이 유기적으로 연결되고 무선통신기술과 인터넷 망이 융합되어 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 홈 보안 로봇 시스템을 구현하고 그 신뢰성과 타당성을 검증하고자 하였다.

3.1 센서 네트워크

현재 주요 연구 이슈가 되고 있는 센서네트워크의 주된 관심사는 저전력, 저비용, 극소형화된 시스템이다. 본 논문에서는 이러한 센서 네트워크를 기반으로 한 보다 지능적인 홈 보안시스템 구현에 그 궁극적인 목적을 둔다. 이에 본 논문에서 구성된 센서네트워크의 역할은 우선 배치된 위치에서의 센싱정보 수집, 홈 서버에 전달, 그리고 모바일 로봇의 이벤트 추적 경로 계획에 필요한 거리정보를 얻기 위한 초음파 센서 및 RF 센서 신호 전송 등의 역할을 담당한다. 그 역할 수행에 있어서 전력문제를 최적화하기 위해 센서 노드의 활성화/비활성화 모드를 그림 2에서의 절차에 따라 구성하였다. 즉, 평상시에는 이벤트 감지모드로 최소한의 전력만을 소모하며, 이벤트 감지 후에는 이벤트 정보를 홈 서버에 알려주기 위해

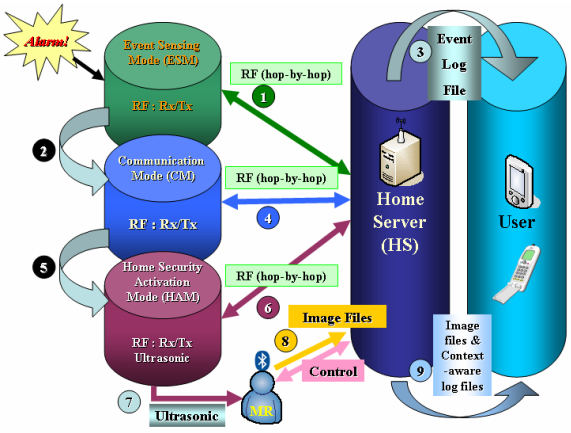


그림 2. HSSN 시스템 프로시저

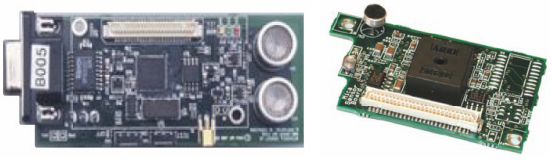


그림 3. 센서노드 하드웨어 Unit 및 센서보드

RF signal를 활성화시키는 통신모드로 되며, 통신모드에서 홈 서버가 사용자의 요구에 대응하기 위해 모바일 로봇 이동 및 동작을 명령한 후에는 RF 와 Ultrasonic signal을 동시에 활성화 시키는 Home Security Activation Mode로 전환하여 전체시스템이 활성화되도록 한다.

그림3은 본 논문에서 적용한 센서모듈인 Cricket과 센서보드를 보여주고 있다. Cricket은 2가지의 위치정보(공간 인식자와 위치좌표)를 제공해 주어 실제 배치에서 1~3cm의 거리측정오차를 가지는 (x, y, z) Cartesian 좌표계의 실내 위치 시스템이다. Cricket을 사용하는 가장 보편적인 방법은 벽이나 천정 등에 송신 비콘 (Transmitting beacon)을 배치하고 현재위치를 얻고자 하는 호스트 디바이스에 리스너(Listener)를 연결하여 각 노드들과의 거리를 측정하고 이를 이용하여 현재의 위치를 삼각측량법에 의해 계산하여 얻게 된다 [5, 6]. 각 노드들은 RF, 초음파와 센서보드에서 측정 가능한 온도, 빛, 소리 등의 센서들을 갖추고 있다. RF가 초음파보다 10^6배 빠른 속도로 전달되는 기본 전제하에 리스너는 하나의 비콘에서 오는 RF메시지의 시작과 그에 상응하는 초음파 펄스 사이의 도달 시간 차(TDOA: Time Difference of Arrival)를 이용하여 해당 비콘과 리스너 사이의 거리를 측정하게 된다. 각 노드들은 집안의 주요한 영역에 배치되어 센서보드를 통해 집안의 상황인식 감지정보를 수집하고 이를 홈 서버에 전달되게 한다. 이때 홈 서버는 센싱정보를 분석하여 집안의 보안경보상황을 판단하고 경보정보를 감지한 노드의 경보이벤트 메시지와 좌표를 브로드캐스트(Broadcast)하게 된다.

3.2 홈 서버

그림 4에서는 본 시스템의 주요 구성요소들, 센서네트워크, 홈 서버, 모바일 로봇, 사용자 인터페이스 장비(UID) 간 무선통신 연결방법을 보여주고 있다. 홈 서버는 각 센서노드로부터 온도, 조도, 음향 등의 센싱정보를 얻고 또한 유선으로 연결된 센서들에 의해 가스, 침입 감지 정보를 얻을 수 있다. 홈 서버는 이러한 정보를 분석하고 현재 실내의 보안 상황을 판단하게 된다. 홈 서버

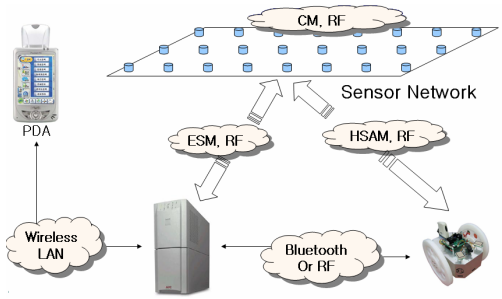


그림 4. HS, HSMR, UID & 센서 네트워크 간 무선통신

는 UID, 센서네트워크 그리고 홈 모바일 로봇과 각각 무선LAN, RF, 블루투스의 무선통신방식에 의해 통신하게 된다. 우선 홈 서버는 집에서 멀리 떨어져 있는 사용자에게 사용자 인터페이스 장비인 PDA나 Cellular Phone에 집안의 상황인식감지정보와 이미지 정보를 전달할 수 있다. 전체적인 집안의 보안 센싱정보는 센서 네트워크를 통해 수집되고 이러한 정보는 RF로 홈 서버에 전달 되어진다. 또한 서버는 상황판단에 따라 홈 모바일 로봇에 지령을 내려 적절한 대응하도록 명령한다. 이때 서버와 로봇과의 통신은 블루투스로 이루어지게 된다.

그림 5는 홈 서버, PDA와 Cellular Phone에서의 사용자 인터페이스 화면을 보여주고 있다. 사용자는 원격에서 홈 보안과 위급 상황을 인지할 수 있게 되며 이를 대처하기 위한 적절한 명령을 내릴 수 있다. 그림 6에서는 Cellular Phone에서의 사용자 명령을 내리기 위한 Wireless Application Protocol(WAP) 페이지 구현을 위한 시나리오를 보여주고 있다. 현재 시나리오에서는 서버에서 전송된 Short Message Service(SMS) 메시지 통보를 확인한 사용자가 WAP서버[13]에 접속하고 그림 6의 화면 인터페이스 메뉴를 필요에 따라 선택하고 그에 상응하는 조치를 하게 되는 것이다. 선택 가능한 메뉴에는 경보울림, 긴급신고, 원격로봇제어가 있다. 경보울림 선택은 그 명령이 서버로 전달되어 모바일 로봇의 경보음을 울리게 하는 것이 가능하며, 긴급신고의 경우는 바로 112로 전화연결이 되도록 하였다. 그리고 로봇제어 메뉴의 선택 시 서브메뉴로 들어가 로봇을 전, 후, 좌, 우, 멈춤, 그리고 영상 정보의 요청 등의 명령을 내릴 수 있다. 이에 서버는 각 명령을 다시 로봇에 내려 로봇이 상응하는 동작이 이루어지게 하였다.

교육 현장에서는 수많은 교수법 또는 학습법이 사용

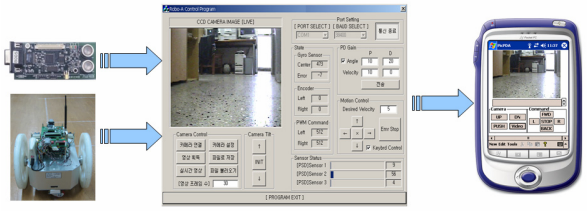


그림 5 홈 서버와 PDA의 사용자 인터페이스

그림 6. WAP 페이지 시나리오

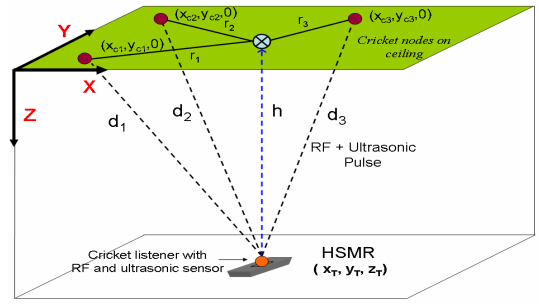
3.3 모바일 로봇(HSMR)

실내 및 실외 환경에서 모바일 로봇의 위치인식은 가장 중요한 부분으로 이전의 연구들에서는 일반적으로 절대 적인 위치인식에는 삼각측량법을 사용하였고, 상대적인 위치인식에는 추측항법(DR: Dead-Reckoning) 방법을 사용 하였다. 본 논문에서는 앞선 연구들에서 언급한 두 가지 방법을 모두 사용하여 HSMR의 위치를 파악하였다. 더 나아가 본 연구에서 사용하고 있는 센서노드 Cricket이라 불리는 active beacon을 적용한 삼각측량법 및 추측항법을 사용하여 실험을 실시하였다[6]. 여기서 Cricket시스템은 위치 추적 시스템이 아닌 위치 지원 시스템으로 우리는 천정이나 벽에 붙여진 각각의 Cricket Node들로부터 거리 값들을 획득하여 HSMR의 위치 파악을 하였다. 또한, 이전에 언급했던 빛, 온도, 소리를 감지할 수 있는 센서 모듈을 각 Cricket Node에 추가하여 홈 보안에 필요한 센서들을 장착하였다. 거기다 HSMR은 이용 가능한 최적의 경로를 찾고 장애물 회피 작업에 사용하기 위해 IrDA 센서와 초음파 센서들을 장착했다. 그리고 2개의 광학식 엔코더 (Endcoder)를 장착하여 각각의 DC 모터들로부터 각도 값을 획득하였다. 이러한 센서들 및 Cricket Node 들을 이용해 위치인식의 정도를 보다 높일 수 있었고 아래에 언급하는 위치 인식방법들을 이용해 HSMR 에 적용하였다.

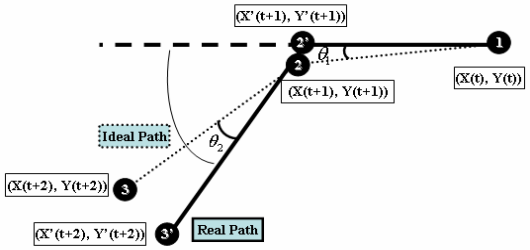
3.3.1 위치인식과 추측항법

삼각측량법은 위치인식분야에서 절대위치정보를 획득할 수 있는 가장 일반적인 방법이다. 본 논문에서는 이 삼각측량법을 이용해 HSMR과 센서노드 사이의 거리 값들을 이용해 최종적으로 HSMR의 절대위치를 구하게 된다. 삼각측량법에서는 센서노드(Beacon)들이 가지고 있는 다양한 센서들 중에서 RF 신호와 초음파 신호를 사용하여 HSMR의 수신부인 리스너(Listener) 에 도달하는 두 신호의 도달 시간차(Time Difference of Arrival)를 이용하여 HSMR과 송신 센서노드 간 거리값을 계산하게 된다. HSMR은 이동 중에 가까운 영역내의 노드들로부터 얻게 되는 절대 좌표값과 각각의 거리값들을 이용해 아래 그림7(a)에서 보여지는 바와 같이 기본적인 삼각측량법을 수행하게 된다[7-9]. 이 때 여러 노드들의 값들 중 가장 최근에 갱신된 기본 3개 센서노드의 거리값을 가지고 기본적인 삼각 측량법 계산식에 의해 HSMR의 현재 위치를 계산하게 된다.

추측항법은 모바일 기기의 상대적인 위치정보를 구해내는 가장 보편적인 방법이다. DR은 주로 자동차나 배 그리고 항공기 등에 많이 사용이 되어 왔다. HSMR에서는 각각의 DC모터에 장착되어져 있는 두 개의 광학식 엔코더들과 전자콤파스를 이용해 DR을 수행하게 된다. 그림 7(b)는 이러한 DR의 기본적인 수행방식을 표현해 주고 있다. 그림7(b)에서 보는 바와 같이 HSMR은 1번 위치에서 엔코더와 전자콤파스를 가지고 주어진 경로 추적을 시작하게 된다. 초기 출발위치인 (X, Y)는 이상적인 위치로써 진행 초기 시간인 t초에 실제 위치인 (X', Y') 와 동일한 좌표값을 가지고 있다. HSMR은 DR방법을 이용해 시간이 *t*, *t+1* 그리고 *t+2* 와 같이 계속 진행이 될 때마다 각각의 다음 추정 위치값 1, 2 그리고 3을 구하고 움직이게 된다. 먼저 초기위치 (X, Y) 는 이미 알고 있다고 가정한다. *t+1*시간이 되면 각각의 엔코더들과 전자 콤파스로부터 받은 신호를 이용해 시간이 *t* 초 때인 위치 값과 방향 값 그리고 속도 값을 구한 뒤 그 값들을 계산하여 다음 *t+1*시간일 때의 위치 값을 추론하게 된다. 하지만, 그림7(b)에서 보여진 것처럼 시간이 지날수록 위치와 회전에 대한 오차 값들은 점점 더 커지게 된다. 이처럼 DR은 오차에 상당히 민감한 특성을 가지고 있다. 다시 말해 매 시간이 지날 때 마다 DR 방법은 그 전에 획득한 현재의 위치 및 회전 값에 포함된 오차 값들을 계속 누적하여 계산을 하게 되어 결국은 시간에 비례하여 오차도 증가하게 된다. 따라서 이러한 DR방법을 통해 발생되는 위치에러를 보정할 수 있는 방법을 적용하여 당면한 문제를 해결해야만 한다. 일반적으로 DR방법의 발생오차



(a)



(b)

그림 7. 기본 삼각측량법(a)과 추측항법(b)

에 대한 보상 방법으로 Kalman Filter, Extended Kalman Filter 등의 방법들을 사용한다. 본 논문에서는 센서노드의 특성상 가지는 위치 보정 방법과 일반적인 Kalman Filter를 이용하여 최종 보상된 위치 값을 획득하였다.

3.3.2 경로계획 및 추종제어

HSMR이 경로계획과 위치인식을 수행하기 전에 고려해야 할 사항으로 크게 두 가지 형태의 위치 오차가 존재한다. 첫 번째로 물리적인 오차가 있다. 이 물리적인 오차에는 바퀴(Wheel)의 직경 차에 의해 발생되는 에러와 센서의 측정 범위오차에 의해 발생되는 에러 등 계산 가능하고 측정 가능한 오차가 존재한다. 만약 본 논문에서 이러한 물리적인 오차들까지 고려를 하게 되면 그 효율성은 증대될 것이다. 실제로 이러한 물리적 오차는 이전에 기술한 바와 같이 대부분 측정 가능한 형태의 오차들로 존재하게 된다. 하지만 이러한 오차들을 계산하는데 드는 비용은 그리 만만치 않게 발생을 하게 된다. 따라서 본 논문에서는 그러한 물리적 오차들을 따로 보상할 방법들을 배제한 상태에서 실험을 진행하였다. 사실 그 이유는 이미 우리가 사용하고자 하는 위치 오차 보상 방법들은 그러한 물리적 오차들을 자연스럽게 우리가 적용할 수 있을 만큼의 범위 내에서 보상을 해주기 때문이다. 두 번째 오차는 알고리즘 오차이다. 이미 언급하였듯이 본 논문에서는 삼각측량법과 DR방법을 HSMR에 적용하여 위치인식을 수행하게 된다. 삼각측량법은 자체적으로 물

리적인 에러를 적용 가능한 범위 내에서 가지고 있지만, DR방법은 그 에러에 추정을 하며 발생되는 에러까지 누적을 하며 위치에러의 크기를 점차 증가시켜 나간다. 따라서 이러한 위치오차들을 보상하기 위해 우리들은 아주 단순하면서도 높은 정도를 가지는 방법을 제안하였다. 그림8은 제안된 보상방법에 대한 가장 쉬운 예를 보여준다. 그림에서 보여지는 것처럼 HSMR이 가장 가까운 Cricket Node에 특정 오차허용범위 내에 위치하게 되면 해당 Cricket Node가 전송하는 RF신호가 포함하고 있는 Node의 절대위치 좌표정보를 이용해 HSMR가 현재 가지고 있는 누적오차를 포함한 자신의 위치정보를 새롭게 획득한 Cricket Node의 위치정보로 갱신을 하게 되어 보다 정확한 현재 자신의 위치정보를 가지게 된다. 여기서 오차 허용범위는 모바일 로봇과 센서 노드간의 TDOA에 의한 거리값(D_d)과 센서 노드가 가지고 있는 절대 좌표값(x,y,h)의 높이값(h)으로 계산되는 센서 노드와 HSMR간의 거리(D_l)가 모바일 로봇의 구륜 반경(15cm) 이내의 범위로 들어오는 경우를 의미한다. 자세하게 언급하자면, 초기에 Cricket Node는 거의 동시에 RF와 초음파 신호들을 전송한다. HSMR은 Cricket Node로부터 전송되어 온 두 신호간의 시간차를 주기적으로 측정하여 Cricket Node와 HSMR 자신과의 거리를 시간에 따라 단계적으로 계산하게 된다. 두 기기 사이의 거리가 Cricket Node의 높이 값에 허용오차 범위 내로 근접하게 되면 HSMR은 자신의 위치가 Cricket Node의 바로 수직아래에 위치했다고 감지를 하고는 RF신호에 포함되어 있는 Cricket Node의 절대위치정보로 자신의 현재위치 정보를 갱신하게 된다. 이러한 위치오차 보정작업이 끝나고 나면 HSMR은 또다시 삼각측량법과 DR방법을 이용해 경로를 따라 진행하게 된다. 이 일련의 작업이 우리가 제안한 위치 보상방법이다.

그림9은 HSSN의 경로 계획에 대한 설명을 해주고 있다. 경로계획을 위해 HS와 HSMR은 실내의 통로와 각 방들, 부엌, 문 그리고 가구 등의 실내 구조의 주요한 위치 좌표값들을 홈 맵(Map) 정보로 가지는 Home Map Table(HMT)과 센서노드의 배치정보를 가진다. HSMR이 HS로부터 경보이벤트가 발생한 목표지점을 향해 이동하라는 지시를 받았을 때 HSSN은 Home Security Activation Mode(HSAM)로 모드 변경을 수행하게 된다. 이 때 HSMR은 HMT과 센서 노드의 배치정보 그리고 목표위치정보를 이용해 최적의 목표지점 이동 경로계획을 수행하게 된다. 우선 자신이 움직여야 하는 목표 방향 값을 결정하고 HMT에 저장되어 있는 다음 방향전환 지점의 위치와 현재 HSMR의 위치 사이의 거리를 계산하여

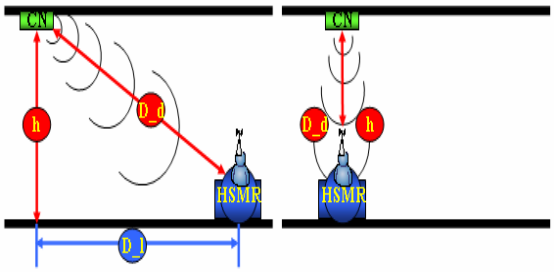


그림 8. 위치오차보상

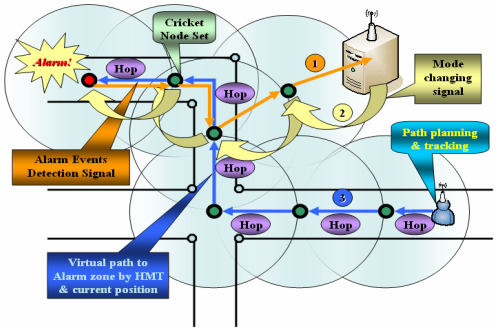


그림 9. HSSN 경로계획

현재 HSMR에 알맞은 속도를 결정하게 된다. 진행경로상에 장애물이 발견되면 HSMR은 경로계획을 장애물 회피 모드로 바꾸고 진행속도를 일정 저속으로 변화시키고 HSMR에 탑재되어 있는 마이크로 콘트롤러(Atmega128L)에 프로그램 되어 있는 장애물 회피 알고리즘에 따라 회피하게 된다. 장애물 회피를 위한 로컬환경 인식작업은 HSMR이 탑재하고 있는 초음파 센서, 전자 콤파스 그리고 각각 1.0m, 0.3m의 측정거리를 가지고 있는 2개의 IR과 5개의 IR 센서들로부터 획득한 거리정보들과 HSMR 방향각정보의 조합을 통해서 이루어지도록 하였다[10, 11]. 또한 일반적인 Fuzzy 알고리즘을 장애물 회피 작업에 사용하여 위에서 언급한 일련의 방법들과 병행하여 주기적으로 장애물 회피작업과 위치인식을 수행하게 된다.

또한 일반적인 Fuzzy 알고리즘을 장애물 회피 작업에 사용하여 위에서 언급한 일련의 방법들과 병행하여 주기적으로 장애물 회피작업과 위치인식을 수행하게 된다.

4. 실험과 고찰

제안된 시스템의 신뢰성과 타당성을 검증하기 위한 실제 실험은 홈 보안 경보상황에 대한 응답, 사용자의 대응방법, 모바일 로봇의 성능 등을 평가하였다.

4.1 홈 보안경보 이벤트의 응답 성능

본 논문에서 제안된 시스템의 성능을 테스트 하기 위해 다양한 실험을 수행했다. 특히 경보이벤트 상황에 대한 응답률과 시간에 중점을 두어 테스트를 해보았다. 알람 상황은 주로 화재, 조도, 음향 그리고 침입으로 가정했다. 표 1에서 보여지는 바와 같이 HSSN의 실험 결과는 각 경보이벤트 상황의 100번씩 시도에 대해 98%정도에 근접한 응답률을 보여주었다. 홈 보안과 안전을 고려해 볼 때 100%의 응답률을 보이는 것이 이상적일 수 있어나 실험적 신뢰도를 고려해 볼 때 이미 개발 되어 있는 다른 보안 시스템들과 비교해서 개발 및 운영 비용적인 면에서나 필요한 자원적인 면에서 보다 효율적이고 대안적 시스템이라 평가된다. 표 1은 앞서 언급했던 각 경보상황에 대한 응답률을 보여주고 있다. 그리고 그림 10에서는 본 시스템에서 구현한 홈 보안 경보상황의SMS통지 및 UID에서의 원격제어 가능한 상황을 보여 주고 있다.

4.2 모바일 로봇의 위치인식 및 경로계획

모바일 로봇의 성능평가를 위해 센서네트워크를 통한 거리 정보에 기반한 위치인식의 정확성을 검증하고 경로계획 및 추종, 그리고 장애물 회피 성능을 실험하였다. 우선 그림11에서 보여지는 실험장소에서 반원, 직선, 사인곡선 그리고 대각선 형태의 궤적을 따라 움직이는 HSMR의 경로추종 위치인식 테스트를 수행하였다. 본 실험을 위해 9개의 센서 노드를 가로 4.5m, 세로 4.5m의 실험실 천정에 격자 형태로 설치하였고 그 위치는 노드 1번의 위치를 원점(0,0) 기준으로 하여 상대적 좌표로 계산하여 배치하였다. 그림12에서 보듯이 특정 패턴을 가진 경로를 따라 움직이는 HSMR의 위치정보를 매 샘플링 시간마다 센서네트워크를 통해 획득하여 점으로 표시한 결과를 나타내었다. 이 실험을 통해서 측정된 위치정보의 평균제곱오차의 평방근(Root mean square error)값들이 ±10cm 보다 적게 나오는 것을 확인했다. 이러한 결과 값은 제작한 모바일 로봇의 양쪽 구륜 직경이 30cm, 구륜 간격이 30cm로 본 실험에서의 위치인식 오차는 HSMR의 구륜 회전반경 이내로 HSMR의 경로 이동에 는 큰 영향을 미치는 오차는 아니라고 확인하였다.

HSMR의 경로 추적과 장애물 회피에 대한 시뮬레이션 결과는 그림13을 통해 볼 수 있다. 이러한 시뮬레이션 결과들을 도출해 내기 위해 Y. Yamamoto et al [12]에서 사용된 운동방정식과 시뮬레이션에 퍼지제어기와 장애물 회피 방법을 수정 보완하여 적용한 테스트를 실시하였다. 그림 13에서 보여지는 작은 원들은 HSMR의 전면 왼쪽과 오른쪽에 부착된 IR센서들의 측정 위치를 표시해주고 있고 지정 경로에 장애물을 원활히 회피하여 원래의 경로로 복귀함을 보였다.

표 1. 각 경보 이벤트 별 응답률

Event type	Fire	Light	Sound	Intrusion
Response Rate (%)	98.9	98.2	95.3	99.1

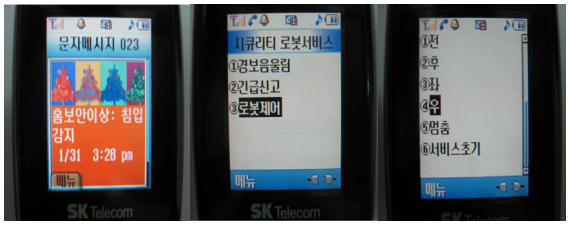


그림 10. SMS 및 Cellular 폰 원격제어

그림 11. HSMR 위치인식을 위한 실험공간

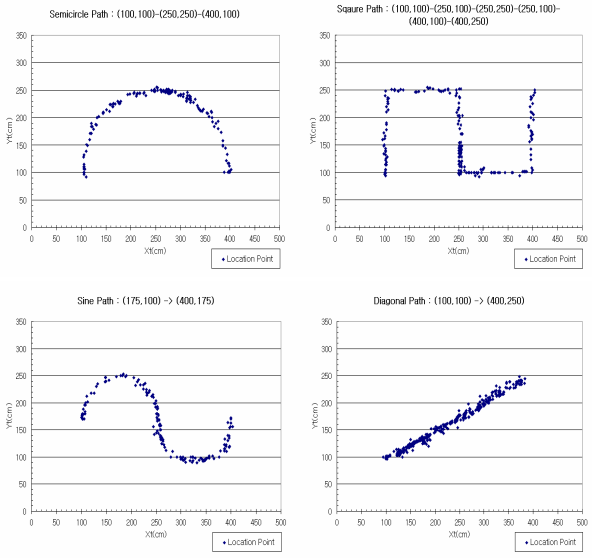


그림 12. HSMR의 위치인식

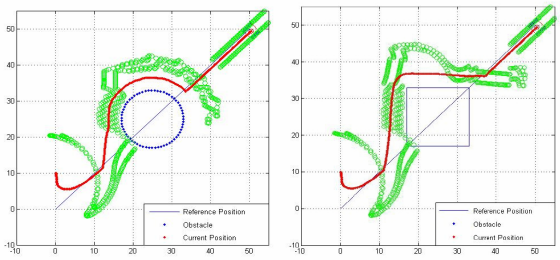
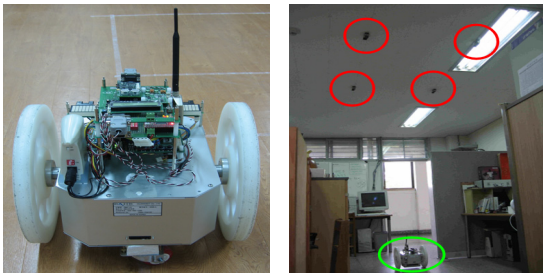


그림 13. HSMR의 경로 추종 및 장애물 회피

그림 14은 HSMR과 실제 센서네트워크가 설치된 연구실의 테스트 환경을 보여준다. 실제 HSMR의 경로 계획 및 경로 추적에 대한 성능 비교는 현재 보여주기는 힘들지만 우리는 센서네트워크를 통해 획득한 위급상황인지에 대한 응답률 및 HSMR을 통해 전송되어는 영상정보들을 통해 HSSN 시스템의 효용성을 확인할 수 있었으며 더 나아가 위급상황에 대한 SMS 긴급 메시지 통지와 무선인터넷을 통해 PDA또는 Cellular Phone으로 전송 되어지는 영상정보를 통해서 보다 신속한 위급상황 인지를 할 수 있고 이에 따른 원격지에서 응급상황조치를 실험적으로 검증하였다.



(a) (b)

그림 14. HSMR(a)와 센서 노드들의 실내 배치(b)

5. 결 론

본 논문에서는 센서네트워크를 통한 홈 보안 시스템의 가능성을 보여주었다. HSSN 은 실내 센서네트워크, 홈 서버 그리고 홈 보안 로봇을 포함하고 있다. 우리가 적용한 보안 모드 변환을 통해서 자원 및 전원 소비를 줄일 수 있었고 또한, 센서네트워크와 모바일 로봇에 탑재된 센서들을 통해 획득된 정보를 이용해 빠르고 정확한 경로 계획이 가능함을 보여주었다. 앞으로 보다 보안 신뢰성을 높일 수 있는 센싱 기능과 보안 기능들을 추가하여 실용적 홈 보안 로봇으로 널리 사용될 수 있는 저가형 서비스 로봇 시스템 개발에 주력하고자 한다.

참고문헌

[1] Ren C. Luo, Tung Y. Lin, Kuo L. Su, “The Development of Intelligent Home Security Robot”, Proc. of the 2005 IEEE Inter-national Conference on Mechatronics, pp.422-427, July 2003.

[2] W. St Moscibrodzki, S. Kwiatkowski, A. Malinowski, “A reference implementation of the Internet-supported home security system”, IECON '01:The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.1838-1843 Vol. 3, November 2004.

[3] Jun Miura, Yoshiaki Shirai, Nobutaka Shimada,Yasushi Makihara, Masao Takizawa, and Yoshio Yano, “Development of a Personal Service Robot with User-Friendly Interfaces”, Springer Tracts in Advanced Robotics, Volume 24/2006, pp.427-436.

[4] Sangwon Kim and Chongkug Pak, “A Design of Fuzzy-Neural Network Controller of Wheeled-Mobile Robot for Path-Tracking”, Journal of Control Automation and System Engineering Vol. 10, No.12, December 2004.

[5] Yasuhiro FUKUJU, Masateru MINAMI “DOLPIN: An Autonomous Indoor Positioning System in Ubiquitous Com-puting Environment”, Proc. Of the IEEE WSTFES’03, 2003.

[6] Cricket v2 User Manual Cricket Project MIT Computer Science and Artificial Intelligence Lab, http://cricket.csail. mit.edu, July 2004.

[7] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan, “The Cricket Location-Support System”, 6th ACM MOBICOM, August 2000.

[8] Olle Wijk and Henrik Christensen, “Triangulation based fusion of sonar data for robust robot pose tracking”, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1999.

[9] Nissanka B. Priyantha, Allen K. L. Miu, Hari Balakrishnan, and Seth Teller, “The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications”, 7th ACMConf. MOBICOM, July 2001.

[10] Ron Peterson and Daniela Rus, “Interacting with Sensor Networks”, Proc. of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation,

pp.180-186, April 2004.
[11] Maxim A. Batalin and Gaurav S. Sukhatme, “Using a Sensor Network for Distributed Multi-Robot Task Allocation”, Proc. of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.158-164, April 2004.
[12] Yoshio Yamamoto and Xiaoping Yun, “Coordinating Locomotion and Manipulation of a Mobile Manipulator”, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.39, No. 6, pp. 1326-1332, June 1994.
[13] 김기조, 최윤석, 최은정, 임경식, “무선 응용 프로토콜 기술”, 정보처리학회논문지 제7권 3호, 2000년 5월.

김 윤 구

1996 계명대학교 경영정보학과 졸업
2005 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사)
2005~현재 동 대학원 박사수료

관심분야: 로보틱스, 센스네트워크, 자동제어 및 GPS

이 기 동

1985 서울대학교 제어계측학과 졸업
1987 동 대학원 석사
1994 동 대학원 박사
1995~현재 영남대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야: 로보틱스, 센스네트워크, 인공지능, 정보보안