

스마트 폰과 이동 로봇을 이용한 지능형 감시 시스템의 구현

박현선*, 김영대*, 김민준*, 오휘경**, 김인철†

*경기대학교 컴퓨터과학과 학부

**경기대학교 컴퓨터과학과 대학원

†경기대학교 컴퓨터과학과 교수

e-mail:{onlytake1004, mobiustrip, zenithmj, ohkv770, kic}@kgu.ac.kr

Implementation of An Intelligent Surveillance System Using Smart Phones and Mobile Robots

Hyeon-Sun Park*, Young-Dae Kim*, Min-Jun Kim*, Hui-Kyoung Oh**, In-Cheol Kim†

*Undergraduate Course, Dept of Computer Science, Kyonggi University

**Graduate Course, Dept of Computer Science, Kyonggi University

†Faculty, Dept. of Computer Science, Kyonggi University

요 약

본 논문에서는 스마트 폰과 가정 내의 이동 로봇을 결합하여, 스마트 폰 사용자가 이동 로봇을 통해 원격으로 가정의 수상한 침입자나 거동이 불편한 노약자 혹은 어린 아이들을 살펴볼 수 있도록 개발된 지능형 감시 시스템의 설계와 구현에 대해 소개한다. 이동 로봇의 제한적인 인식 능력과 계산 능력을 고려하여, 이동 로봇의 완전한 자율성에만 의존하여 감시 작업을 수행하지 않고, 사용자와 로봇의 혼합 제어 방식으로 감시 로봇을 제어하도록 설계하였다.

1. 서론

최근 들어 스마트 폰과 같은 스마트 휴대 단말기들의 보급이 확산됨에 따라, 직장에서도 외출 중에도 휴대 단말기와 무선 인터넷 망(3G 혹은 WiFi)을 이용해 가정 내의 여러 가지 가사 일을 처리할 수 있는 다양한 서비스들이 개발되고 있다. 특히 청소 로봇과 같이 간단한 가사 일을 해줄 수 있는 가정용 로봇의 보급도 늘어남에 따라, 이동 중인 사용자의 스마트 폰과 가정 내의 로봇과 결합한 새로운 서비스의 개발이 관심을 모으고 있다. 본 논문에서는 스마트 폰과 가정 내의 이동 로봇을 결합하여, 스마트 폰 사용자가 이동 로봇을 통해 원격으로 가정의 수상한 침입자나 거동이 불편한 노약자 혹은 어린 아이들을 살펴볼 수 있도록 개발된 지능형 감시 시스템(Intelligent Surveillance System)의 설계와 구현에 대해 소개한다.

일반적으로 지능형 원격 감시 시스템을 구현하기 위해 스마트 폰과 이동 로봇을 결합하는 다양한 방식이 있을 수 있으나, 본 논문에서는 이동 로봇의 제한적인 인식 능력과 계산 능력을 고려하여, 감시 작업을 이동 로봇의 완전한 자율성에만 의존하여 수행하지 않고, 사용자의 원격 조종(Teleoperation)에 주로 의존하도록 설계하였다. 그러나 멀리 떨어져 있으면서 로봇 카메라가 보내주는 영상으

로만 현장을 파악해야 하는 사용자의 제한적인 현장감(Telepresence)을 고려하여, 사용자와 로봇의 혼합 제어(Hybrid Control) 방식으로 감시 로봇을 제어한다. 본 논문에서는 안드로이드(Android) 폰과 Lego Mindstorm NXT 로봇을 이용하여 혼합 제어 방식의 지능형 감시 시스템을 구현하고, 실험을 통해 이 시스템의 성능을 평가해 본다.

2. 스마트 폰을 이용한 로봇 원격 조종

일반적으로 스마트 폰을 이용해 로봇을 제어하는 방식은 여러 가지가 있을 수 있다. 먼저 사용자가 로봇과 같은 공간 안에 있으면서 사용자의 눈을 통해 로봇이 처한 상황을 파악하고, 또 사용자의 머리를 통해 로봇이 취해야 할 행동을 결정한 다음, 직접 사용자가 로봇을 조작하여 작업을 수행하는 원격 제어(Remote Control) 방식이 있다. 이와는 반대로, 사용자의 간섭이나 개입 없이 로봇 스스로 자신의 센서 데이터를 해석하여 상황을 파악하고, 행동을 결정하여 수행하는 자율 제어(Autonomous Control) 방식이 있다. 이 두 가지 극단적인 제어 방식과 달리, 일정한 정도의 로봇 자율성과 사용자 개입이 혼합된 혼합 제어(Hybrid Control) 방식이 있다[1, 2]. 이밖에도 원격 제어와 유사한 원격 조종(Teleoperation) 방식이 존재한다. 원격 조종은 로봇 대신 사용자가 로봇의 상황을 파악하고 로봇을 조작한다는 면에서는 원격 제어와 비슷하나, 사용자가 로봇이 놓여 있는 공간과는 멀리 떨어진 곳에서 로

※ 본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터사업의 일환으로 수행하였음

봇의 카메라를 통해 로봇이 놓인 상황을 파악해야 하고, 또 지연시간(Delay Time)이 존재하는 네트워크를 통해 로봇에게 제어 명령을 전달한다는 점이 원격 제어와 다르다. 따라서 로봇에 인접해 있으면서 상황을 파악하고 로봇을 제어하는 원격 제어에 비해, 원격 조종의 경우 멀리 떨어져 있는 로봇의 상황을 사용자가 정확히 파악하는 일은 더욱 어렵다. 또, 데이터/제어명령 전송의 지연과 현장감(Telepresence)의 부족으로 인해, 만약 로봇에게 응급 상황이 발생하면 이에 대응하는 신속하고 정확한 로봇 제어가 어려울 수 있다. 따라서 본 논문에서는 작업 현장에서 마주할 수 있는 돌발 상황에는 로봇 스스로 신속히 대응 행동을 취할 수 있도록 혼합 제어 방식의 하나인 혼합 원격 조종(Hybrid Teleoperation) 방식을 채택하였다.

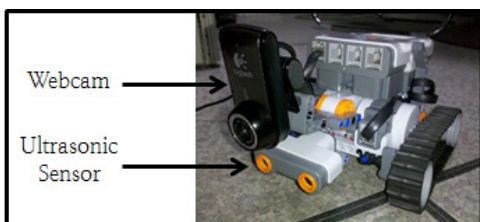
3. 시스템 설계

스마트 폰과 이동 로봇을 결합한 지능형 원격 감시 시스템의 설계에 대해 설명한다.

3.1 시스템 기능

개발하고자 하는 시스템은 로봇을 이용한 지능형 원격 감시 시스템으로서, 외부에서 활동 중인 사용자가 스마트폰을 통해 원격지의 가정 내 이동 로봇을 원격 조종하여 가정의 구석구석을 돌아다니며 감시 활동을 수행할 수 있도록 하는 시스템이다. 이 시스템에서 사용자는 가정용 이동 로봇에 설치된 카메라가 보내오는 실시간 영상을 분석함으로써 로봇의 현재 위치와 주변 상황을 파악하고, 스마트폰과 무선 네트워크를 이용해 로봇에게 이동 동작과 보안 동작(사진 촬영과 전송, 경고음 발생, 경고 멘트 발화 등)을 지시한다. 이 시스템은 사용자의 스마트폰과 이동 로봇간의 비디오 스트림(Video Stream) 전송과 사용자 명령(User Command) 전달을 위해 무선 인터넷을 이용한다. 따라서 무선 네트워크에 의한 데이터 및 명령 전송의 지연과 원격 사용자의 현장감 부족을 고려하여, 사용자의 원격 조종에 의해 로봇이 감시 활동을 수행하는 중에도 예기치 못한 장애물이 등장하면 로봇이 자율적으로 장애물 회피 동작들을 수행할 수 있도록 혼합 원격 조종 방식을 이용한다.

3.2 로봇 및 시스템 구성



(그림 1) 로봇 구성

원격 감시 시스템에 이용되는 이동 로봇의 구성은 (그림 1)과 같다. Lego Mindstorm NXT Kit[3]로 구현되는 로봇에는 전면부에 초음파 센서(Ultrasonic Sensor)를 장착하여 장애물과의 충돌을 미리 피할 수 있도록 장애물과의 거리를 측정할 수 있게 하였고, 센서 위에 웹캠(Webcam)을 장착하여 사용자가 로봇의 전방을 관찰할 수 있도록 구성하였다. 또한, 로봇의 웹캠을 회전 가능한 별도의 모터 위에 설치함으로써, 다양한 각도에서 영상 촬영이 가능하도록 구성하였다.



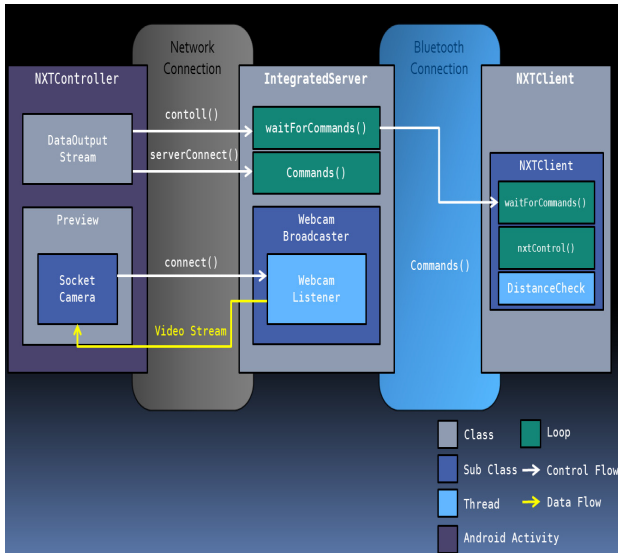
(그림 2) 시스템 구성

지능형 원격 감시 시스템의 전체 구성은 (그림 2)와 같다. 그림의 우측은 가정 내에서 실제 감시 활동을 수행하는 로봇(Robot)과 제어 서버(Control Server)를 나타내고, 그림의 좌측은 로봇을 원격 조종하는 사용자와 클라이언트 머신(Client Machine)인 스마트폰을 나타낸다. Lego Mindstorm NXT 로봇 그 자체로는 원격지의 스마트폰과 무선 인터넷 통신을 할 수 없기 때문에, 중간에 별도의 가정용 제어 서버를 이용한다. PC로 구현된 이 제어 서버는 스마트폰 사용자 쪽에서 보내오는 동작 명령을 무선 인터넷을 통해 수신한 다음, 이것을 세부적인 저수준의 제어 명령(Low-Level Control Command)들로 변환하여 다시 블루투스(Bluetooth) 통신을 통해 NXT 로봇에게 전달하는 역할을 한다. 또한, 제어 서버는 로봇에 설치된 웹캠으로부터 실시간 영상을 받아, 이 비디오 스트림을 역시 무선 인터넷을 통해 스마트폰에 전달하는 역할도 수행한다. 이와 같이 사용자가 주도하는 원격 조종의 중개자 역할을 수행하는 일 이외에도, 제어 서버는 로봇에서 보내오는 초음파 센서 데이터, 즉 장애물까지의 거리 측정치를 토대로 장애물과의 충돌을 미리 감지해내고, 자율적으로 장애물 회피를 위한 제어 명령을 로봇에게 전달하는 역할도 수행한다. 다시 말해, 제어 서버에는 혼합 원격 조종을 위한 로봇의 자율 인식 및 제어 기능이 포함된다.

한편, (그림 2)의 좌측에 위치한 스마트폰에는 사용자가 무선 인터넷을 통해 원격지에서도 로봇을 원격 조종하기 편리하도록 로봇에 장착된 웹캠으로부터 전송받은 비디오 스트림을 화면에 보여줄 뿐 아니라, 그를 통해 사용자가 버튼을 눌러 손쉽게 로봇의 움직임을 제어할 수 있도록 설계된 클라이언트 프로그램이 동작한다.

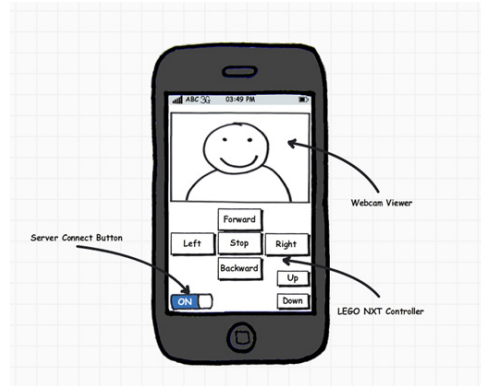
3.3 프로그램 설계

지능형 원격 감시 시스템의 프로그램 구성은 (그림 3)과 같이 크게 사용자가 스마트 폰을 조작하는 안드로이드로 구현된 NXTController와 스마트 폰과 로봇 사이에서 스마트 폰으로 영상을 전송하고 스마트 폰으로부터 받은 명령을 로봇으로 전송하는 IntegratedServer와 IntegratedServer에서 전송받은 명령으로 로봇을 동작하는 NXTClient 등으로 구성된다.



(그림 3) 프로그램 구성

NXTClient는 leJOS 프레임워크[4, 5]로 구현된다. 먼저 스마트 폰(NXTController)이 원거리 통신이 가능한 3G나 Wifi 네트워크를 이용하여 서버(IntegratedServer)에 접속하게 되면 서버(IntegratedServer)에서는 근거리 통신인 블루투스를 이용하여 로봇(NXTClient)과 연결을 한다. 블루투스 연결이 완료되면 로봇(NXTClient)은 장애물과의 거리를 측정하는 쓰레드(DistanceCheck)를 생성해 로봇 전방의 장애물의 유무를 판단한다. 이와 동시에 서버(IntegratedServer)의 WebcamBroadcaster에서 또 다른 쓰레드(WebcamListener)를 생성하여 웹캠을 통하여 서버로 들어오는 영상을 스마트 폰(NXTController)으로 스트리밍하고 루프를 돌며 명령을 기다린다. 이때 사용자가 스마트 폰을 통해 명령을 내리게 되면 해당 명령이 서버와 소켓 통신을 하여 서버로 전달한다. 명령을 받은 서버는 블루투스로 연결된 로봇으로 해당 명령을 전송하여 NXTClient에서 leJOS API를 이용하여 로봇에게 전달된다. 로봇은 그 명령에 해당하는 작업을 수행하게 되고, 수행 도중 전방에 장애물이 발견되면 행하던 작업을 멈추고 10cm 후진을 하도록 구현하였다. 이러한 서버와 로봇의 블루투스 통신은 초음파 센서를 사용하기 위해 icommand 라이브러리를 사용하지 않고 pccomm과 bluecove 라이브러리를 이용하여 구현되었다.



(그림 4) 스마트 폰 프로그램의 화면 구성

3.4 사용자 인터페이스 설계

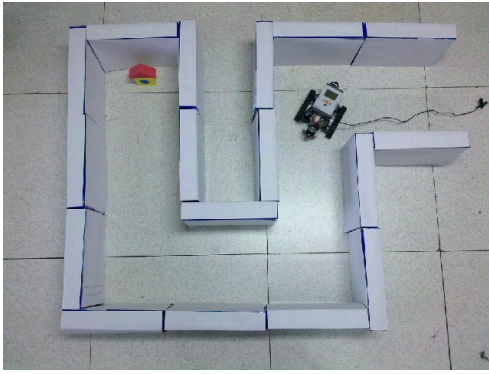
원격 조종을 위한 스마트 폰 프로그램의 화면 구성은 (그림 4)와 같다. 사용자가 로봇의 상황을 인식하고 제어 명령을 내리는 스마트 폰 프로그램의 사용자 인터페이스는 로봇이 처한 현재의 상황을 인식하기 쉽고, 또 로봇에 대한 원격 조종이 편리하도록 설계하였다. 스마트 폰 화면의 상단 절반에는 비디오 스트리밍 영상을 표시하고, 그 하단에는 로봇의 조작 버튼을 배치하였으며, 화면의 가장 하단 부분에는 서버접속 버튼과 웹캠 각도 조절 버튼을 각각 배치하여 스마트 폰의 작은 화면 크기를 최대한 활용할 수 있도록 사용자 인터페이스를 설계했다.



(그림 5) 실행중인 지능형 원격 감시 시스템

4. 실험 및 평가

(그림 5)는 사용자가 구현된 지능형 원격 감시 시스템을 실제로 실행해보면서, 시스템의 기능과 성능을 점검하고 있는 모습을 보여주고 있다. 지능형 원격 감시 시스템에 내장된 혼합 원격 조종 방식의 우수성을 효과적으로 입증하기 위해 (그림 6)과 같이 인공적으로 만든 환경들을 이용한 실험을 전개했다. 실험은 (그림 6)의 좌측 상단에 놓인 것과 같은 특정 목표물까지 이동 로봇이 찾아가 감시 활동을 펼치는 작업들을 수행하는 것으로서, 본 논문에서 제안한 혼합 원격 조종(Hybrid Teleoperation) 방식과 사용자에만 의존하는 순수 원격 조종(Pure Teleoperation) 방식을 적용했을 때 각각의 작업 성공률을 서로 비교해보았다.



(그림 6) 실험 환경

<표 1>은 실험에 사용한 10 가지의 서로 다른 감시 작업에 두 가지 서로 다른 로봇 제어 방식이 각각 적용되었을 때, 작업 성공(O), 작업 실패(X), 목표 미달(Δ) 등으로 실험 결과를 보여주고 있다. 실험에서는 로봇이 정해진 목표물에 정확히 도달한 경우를 작업 성공으로, 중도에 벽이나 코너에 충돌한 경우를 작업 실패로, 충돌은 발생하지 않았으나 로봇이 최종적으로 도달한 지점이 목표물에서 일정 거리이상 떨어진 경우를 목표 미달로 판정하였다.

<표 1> 실험 결과

작업구분	제어 방식	
	순수 원격 조종	혼합 원격 조종
작업 1	X	X
작업 2	X	○
작업 3	X	○
작업 4	X	Δ
작업 5	X	○
작업 6	X	○
작업 7	Δ	Δ
작업 8	X	○
작업 9	X	○
작업 10	X	○
○ : 성공, Δ : 목표 미달, X : 실패		

<표 1>의 실험 결과를 살펴보면, 순수 원격 조종 방식을 적용한 경우, 총 10 개의 작업들 중 단하나만 목표 미달로 끝나고 나머지 모든 작업들은 실패하였다. 반면에, 본 논문에서 제안한 혼합 원격 조종 방식을 적용한 경우, 총 10 개의 작업들 중 단하나만 실패로 끝나고, 나머지 대부분의 작업들은 성공 또는 목표 미달로 완료되었음을 알 수 있다. 이러한 실험 결과는 예상한대로 작업 환경의 복잡도와 네트워크의 지연 등으로 인해 사용자가 로봇을 정확하고 세밀하게 원격 조종하기 어려운 경우에는, 본 논문

에서 제안한 것과 같이 장애물과의 충돌과 같은 응급 상황에 스스로 대처할 수 있는 정도의 제한적인 로봇 자율성을 허용하는 혼합 원격 조종 방식이 작업 성공률을 더 높일 수 있음을 입증해주었다.

5. 결론

본 논문에서는 스마트 폰과 이동 로봇을 결합한 지능형 원격 감시 시스템의 설계와 구현에 대해 소개하였다. 이 원격 감시 시스템에서는 감시 활동을 수행하는 이동 로봇에 일정한 정도의 자율성을 허용하는 혼합 원격 조종 방식을 적용하였다. 구현된 시스템의 실제 수행과 실험을 통해 본 논문에서 제안한 지능형 원격 감시 시스템의 성능과 효과를 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 위험 상황으로부터 감시 로봇의 안전성을 보장할 수 있는 보다 다양한 자율 기능들을 추가하는 일과 효과적으로 감시 활동을 수행할 수 있도록 보안 동작들을 추가 구현하는 일들을 계획하고 있다.

참고문헌

- [1] Seung-Hun Kim, et al, "A Hybrid Autonomous / Teleoperated Strategy for Reliable Mobile Robot Outdoor Navigation", Proc. of SICE-ICAE-2006, 2006.
- [2] Paul Scerri, Katia Sycara, and M. Tambe, "Adjustable Autonomy in the Context of Coordination", Proc. of AIAA-2004, 2004.
- [3] Lego Mindstorms, MINDdroid, <http://www.appbrain.com/app/minddroid/>, 2010.
- [4] Brian Bagnall, Maximum Lego NXT: Building Robots with Java Brains, Varinat Press, 2007.
- [5] Brian Bagnall, et al, leJos: Java for Lego Mindstorms, <http://lejos.sourceforge.net>, 2009.