

# 영상 기반의 보안 및 서비스 로봇 개발

## Development of vision-based security and service robot

김 정 년\* , 박 상 성\* , 장 동 식\*

Jung-Nyun Kim\* , Sang-Sung Park\* , Dong-Sik Jang\*

### 요 약

실내 환경에서 자율이동 로봇은 방향의 전환과 움직임에 있어서 많은 제약이 따른다. 본 연구는 이런 제약을 해결하기 위하여 수평, 대각이동이 가능한 Omni-Directional Wheel을 로봇 구동부에 적용하였다. 하지만 Slip에 의해서 동력을 얻는 Omni Directional Wheel구동방식은 Slip에 의한 오차가 발생하는 문제점이 있었다. 이 문제점을 해결하기 위해 개발된 Slip 보정 알고리즘은 하나의 타일을 지날 때마다 외곽선을 추출하고, 추출된 외곽선과 로봇의 절대방위가 이루는 각도를 비교하여 오차가 발생할 경우 로봇의 절대방위를 수정하게 한다. 또한 로봇은 보안기능과 서비스 기능을 수행한다. 보안기능은 차 영상을 이용하여 움직임을 감지한다. 서비스 기능으로는 로봇에 입력되는 영상을 일반사용자에게 다중전송 하고, 간단한 이동명령이 있다. 본 연구에서 제안한 로봇 시스템은 실제 사무실에서 사용가능한 하나의 모델이 될 수 있다.

### ABSTRACT

As we know that there are so many restrictions controlling the autonomous robot to turn and move in an indoor space. In this research, we adopted the concept 'Omni-directional wheel' as a driving equipment, which makes it possible for the robot to move in horizontal and diagonal directions. Most of all, we eliminated the slip error problem, which can occur when the system generates power by means of slip. In order to solve this problem, we developed a 'slip error correction algorithm'. Following this program, whenever the robot moves in any directions, it defines its course by comparing pre-programmed direction and the current moving way, which can be decided by extracted image of floor line. Additionally, this robot also provides the limited security and service function. It detects the motion of vehicle, transmits pictures to multiple users and can be moved by simple orders. In this paper, we tried to propose a practical model which can be used in an office.

*Key Words*: : Omni-Directional-Wheel , image processing , autonomous robot , Wireless Lan Community

## I. 서 론

로봇은 오랜 기간 동안 인간의 관심사였으며 산업용 로봇으로부터 서비스 로봇까지 많은 발전을 거듭해 왔다. 이제 로봇의 기능은 산업용 로봇의 수준을 넘어선 인간의 기능을 대신하는 기능의 개발까지 그 수준이 올라서

게 되었다. 보안 로봇, 안내로봇, 복지로봇, 탐색 로봇 등 인간의 지능수준을 가지고 움직일 수 있으며 각각의 임무에 맞게끔 기능을 가지게 되었다.

이러한 여러 가지 로봇들이 기능을 다하기 위해서는 여러 가지 데이터를 입력받을 수 있는 감각기관을 필요로 한다. 이 중에서도 로봇 시각기능을 담당하는

Vision 기술은 현대로봇의 가장 중요한 기술이다. 본 논문에서는 구동 형 로봇의 이동시에 탁월한 문제 해결능력을 가지고 있는 Omni-Directional Wheel 구동 방식을 제안한다. Omni-Directional Wheel 구동 방식으로 제작

\*고려대학교 산업시스템정보공학과

접수 일자 : 2004. 7. 30      수정 완료 : 2004. 10. 12

논문 번호 : 2004-2-6

된 로봇은 선회 없이 수평이동과 대각이동이 자유로운 로봇이다[1]. 센서부에서는 초음파센서로서 초음파의 반향을 이용해 물체의 유무를 판단 한다. 자이로스코프(Gyro Scope)는 로봇이 어느 활동영역상의 어떤 지점에 있더라도 항상 절대 방향을 유지할 수 있게 한다. 로봇 자체의 프레임과 하중 등의 영향을 고려하여 기계적인 요소가 가미되었으며 대화 형 로봇의 형태를 가지게 된다. 실내 환경은 고정물체와 유동물체로 구분하여 자체 개발한 맵(map)에디터를 통하여 robot에게 다운로드 되고, 새로운 실내 환경에서 동작할 때에는 맵 에디터를 통하여 새로운 맵 환경을 다운로드 받게 된다. 로봇의 제어에 있어서는 Wireless Lan을 이용한 서버클라이언트 방식으로 서버에서 모든 로봇기능을 조절하며 인터넷을 통해서도 로봇을 컨트롤 할 수 있게 된다. 로봇에는 보안기능시에 동작을 하는 무선 CCD카메라가 있다. 사용자는 로봇의 가시영역을 실시간으로 볼 수 있다. 무선 CCD카메라를 통하여 실시간으로 입력된 영상은 MPEG4 CODEC을 이용하여 압축 전송된다. 위치보정 시스템은 로봇의 정중앙 하단 부분에 탑재되어 있으며, 조도의 영향을 최대한 줄이기 위해서 암실공간으로 제작되었다. 암실공간에는 일정한 조도를 위한 조명이 있고 바닥의 이미지를 입력받기 위한 카메라가 있다. 카메라를 통해서 입력된 바닥 이미지 데이터는 Slip 보정 알고리즘을 통하여 수정되어 로봇의 절대방위를 항상 올바르게 유지하게 한다. Slip 보정 알고리즘은 타일경계선의 기울기와 로봇의 절대방위의 각도차를 이용하여 보정을 실시한다. 최초로 타일경계선과 로봇이 이루는 각도를 초기 값으로 하고, 한 블록을 지날 때 마다 Slip에 의해서 틀어진 각도를 오차 값으로 하고, 오차 값을 엔코더의 회전수로 환산 하여 로봇의 절대 위치를 보정하게 된다. 야간에는 보안모드 기능을 수행 하는데, 미리 정해진 일정 구역에서 로봇 상부에 탑재되어 있는 무선 RF카메라를 이용하여 움직임을 감지하고, 움직임을 감지되면 화면을 저장하고 서버로 파일을 전송하게 된다.

## II. 시스템의 구성

본 연구에서 개발된 로봇은 크게 하드웨어 구동부와 Micro-Processor로 구성된 제어부, 그리고 통제와 정보 전송에 관련된 소프트웨어 시스템 제어부로 구성된 자율이동 주행로봇이다. 이동시에는 초음파 센서를 통해서 장애물 회피 능력을 가지고 있으며, 다수의 사용자가 PC에 설치되어있는 클라이언트 소프트웨어를 이용하여 로봇에 명령을 전달할 수 있다. 목표지점으로 이동시에는 Omni-Directional Wheel의 특수한 구동방식을 이용하는데, 공간이 협소하거나 최단거리로 움직여야 할 경우에 제자리 회전, 수평, 대각 이동을 통해 로봇의 선회 없이 목표지점으로 이동하게 된다. 소프트웨어 제어시스템부에서는 로봇에 탑재되어 있는 노트북을 통하여 명

령을 처리하고, Wireless Lan으로도 명령을 전달할 수 있도록 설계되어 있다.

### 1. 소프트웨어 제어시스템

소프트웨어 제어시스템 부는 로봇의 모든 상황을 감시하고 명령을 수신하는 로봇서버(Robot Server)부분과 영상전송 기능을 담당하는 카메라 서버(Camera Server)부분, 그리고 서비스 기능을 담당하는 로봇 클라이언트(Robot Client)부분이 있다. 로봇서버는 노트북에 탑재되어 있다. 구동과 제어 부분을 담당 하

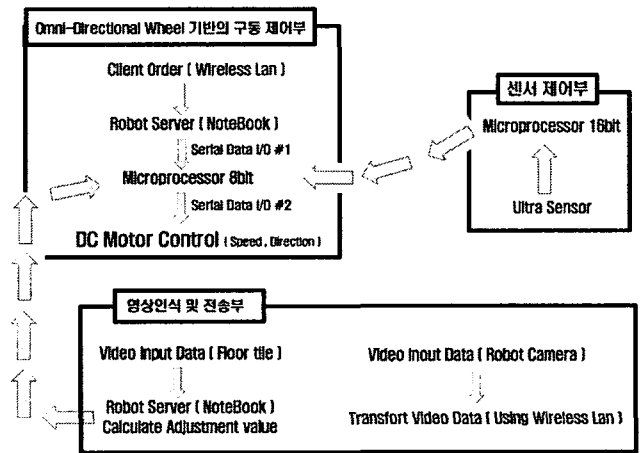


그림 1 . 시스템 전체 구조

Fig.1 A total structure of system

고 있는 프로세서(DSP,AVR)와 센서부분을 담당하고 있는 프로세서(80196KC)를 모니터링(Monitoring)하고, 상호간의 직렬 통신(Serial Communication)을 통하여 메인 프로세서와 센서 프로세서간의 통제기능을 담당한다. 또한 로봇서버에는 새로운 사용자를 위한 서비스 기능으로 일반사용자의 로봇 클라이언트와 무선 랜(Wireless Lan)을 이용하여 TCP/IP 프로토콜로 무선채팅(Chatting)을 할 수 있는 기능이 있다. 로봇서버의 핵심 기능은 하드웨어 컨트롤러 프로세서 통신을 담당하는 부분과 자율이동에서의 로봇 절대방위를 유지하기 위한 Slip 보정기능이 있다. Slip 보정기능은 로봇의 정중앙 하단부에 장착되어 있는 USB 카메라로 바닥 타일의 경계선을 추출하여 선형화 시키고, 이를 기반으로 로봇의 절대 방향을 지시하고, Slip에 의한 오차가 있을시 틀어진 각도를 엔코더의 회전수 값으로 환산한다. 환산된 회전수 값은 각각의 모터 컨트롤 프로세서(AVR)로 전달되어 모터의 회전수를 보정함으로써 절대방위를 유지하게 된다. 로봇상부에 장착되어 있는 보안용 카메라는 RF 무선카메라 모듈을 사용하였고, 무선 카메라에서 입력되는 영상은 영상전송기능을 담당하는 카메라 서버 프로그램에 의해서 일반 사용자들에게 실시간으로 다중 전송된다. 영상은 일반적으로 압축을 통하여 전송을 해

야 하는데, 비트맵 그래픽 파일의 압축은 MPEG4 CODEC를 사용하여 압축되고, 안정성이 우수한 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 일반 사용자에게로 전송한다.[2,3] 로봇 클라이언트에서는 카메라 서버에서 보낸 압축된 영상을 MPEG4 CODEC를 통하여 압축을 풀고 일반 사용자에게 로봇의 입력 영상이 보여 지게 된다. 모든 Application은 Microsoft Windows 2000/XP이상에서 실행 되었고, 개발환경은 Microsoft사의 Visual C++6.X이다.

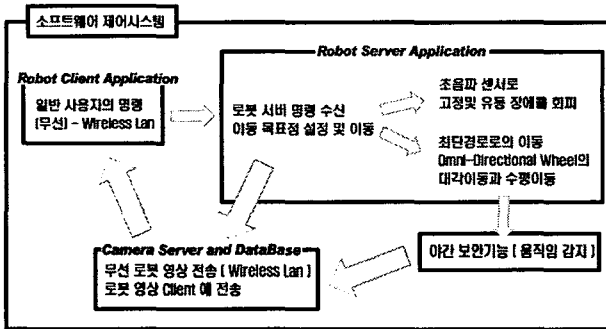


그림 2 . 소프트웨어 제어 시스템  
Fig.2 Software control system

2. Omni-Directional-Wheel기반의 구동 제어부

보안 및 서비스 로봇의 구동부는 일반 구동형 로봇의 형태인 바퀴의 형태로 제작되지 않았다. 일반 바퀴형 구동 로봇은 실내에서 이동시에 장애물 사이에서 순간적인 이동이 불가능하며, 방향의 선회가 필요할 때에 커다란 회전반경을 필요로 한다. 이러한 대안으로 본 연구에서는 Omni-Directional Wheel을 제작하여 로봇의 제자리 선회, 수평, 대각이동이 가능하게 하였다. 주요소재는 알루미늄(두랄루민계열 90%이상)이고, 로봇의 평균 이동속도는 1.7m/s~1.9m/s 이다. 본 로봇바디의 설계상 주안점은 좁은 장소에서도 신속하고 안정된 로봇이동의 자유도를 극대화 하는 것에 초점을 맞추었다 로봇 바디는 4륜구동형태로 4개의각바퀴는

4개Processor(AVR-ATMega103)에 의해 분리되어 DC 모터 4개로 구동된다.

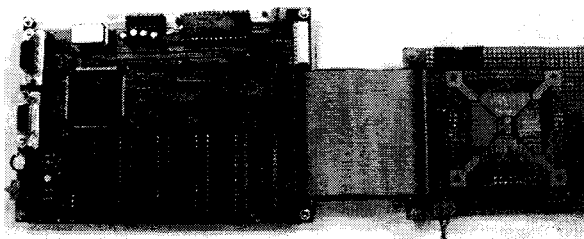


그림3 .모터 컨트롤 시스템과 메인 컨트롤 시스템  
Fig.3Motor control System (AVR) & main Control System (DSP)

일반적으로 쉽게 접할 수 있는 Microrobot처럼 2륜을 사용하지 않은 이유는 롤링(rolling), 피칭(pitching) 등 기계학적으로 기구부의 이동에 수반되는 진동현상을 최소한으로 줄이고 그에 앞서 본 연구에 사용되는 로봇 특유의 다양한 이동방식을 구현하기 위해서이다. 4개의 바퀴의 회전을 독립적으로 제어할 수 있으므로 제자리에서의 회전에 의한 방향전환이 가능하며 4개의 바퀴의 회전방향의 조합을 이용하여 로봇의 방향 전환 없이 전후좌우로 수평이동은 물론 전방위의 수평이동도 가능하다.

Omni-Directional Wheel의 장점은 차체의 회전이 불가능한 좁은 지역에서도 로봇의 진입이 가능한 것이며, 그 외 주행 중 방향전환에 의한 시간적인 손실을 줄일 수 있다.



그림 4 . 로봇의 제자리 선회  
Fig.4 Turning of robot in original place



그림 5 . 로봇의 수평이동  
Fig.5 Horizon moving of robot

Actuator는 Geared DC Brush motor(24v, 1.5A) 4개를 사용하였고 XL계열의 타이밍 벨트를 이용하여 구동한다. Omni-Directional Wheel의 피드백(feed back) 제어를 위하여 2048pulse/rate의 incremental형 엔코더(encoder)를 탑재하였다. 수평이동은 전후바퀴의 상대적인 역방향 회전에 의한 Slip을 이용하여 동작 한다. 예를 들자면 자전거의 핸들을 일정한 각도로 틀어놓고 뒤에서 수평하중을 가하면 자전거는 하중의 방향대로 이동하지 못하고 틀어진 각도로 이동하는 것과 유사하다. 로봇의 설계는 AUTO DESK사의 Autocad2002와 ANSYS사의 Ansys를 이용하였고, 설계상의 주안점은 바퀴의 형태에 의한 진동을 최소한으로 줄이기 위하여 Omni-Directional Wheel이 측면에서 완전한 원형의 모습을 가지게끔 기구학적인 해석에 기반을 두고 설계되었다. [4,5,6]

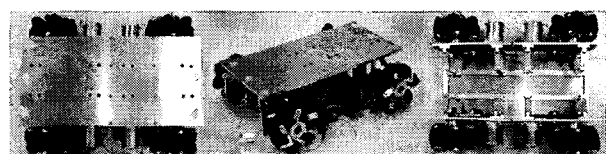


그림 6 로봇의 기구부  
Fig.6 An instrument of robot

로봇의 자유도를 높이기 위해서 각 축(바퀴)에 모터를 장착하고, 제어 하는 방식을 사용한다. 모터의 제어 방식은 PWM방식과 PID 제어 법을 사용한다. PWM 방식은 구동전압을 바꾸고 있는 것과 같은 효과를 내고 있지만, 그 방법이 펄스폭에 따르고 있으므로 펄스폭 변조(PWM : Pulse Width Modulation)라 부른다. 모터의 구동전원을 일정주기로 on/off하는 펄스 형상으로 하고, 펄스의 Duty비(On시간과 Off시간의 비)를 바꿈으로써 모터를 제어하고 있다. 본 연구에서는 전력의 효율을 높이기 위해 선형제어보다 PWM제어 방식을 채택하였다.

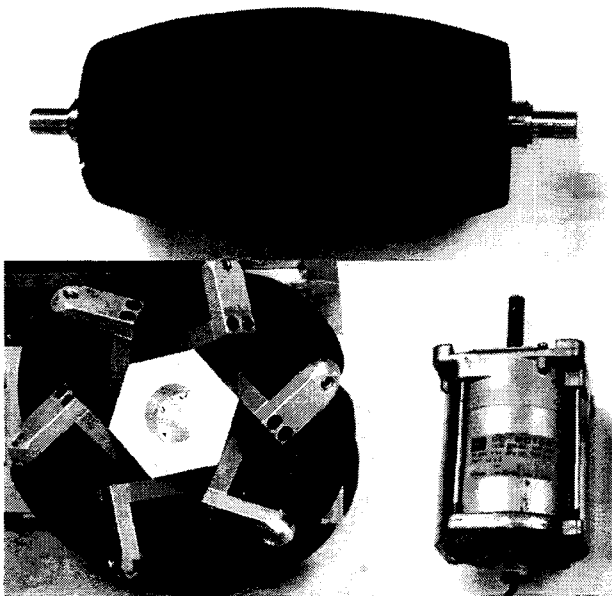


그림 7. 전 방향 바퀴, 롤러 와 모터  
Fig.7 Omni-Directional Wheel , Roller & Motor

3. 영상 전송부 및 영상 인식부

영상 전송부는 카메라 서버부분과 로봇 클라이언트 부분으로 나누어진다. 로봇 상부에 장착되어 있는 무선 RF 카메라에서 입력되는 영상을 카메라 서버로 전송하게 되면 카메라 서버는 MPEG 4 CODEC을 이용하여 영상을 압축한다. 압축된 영상은 Lan 환경에서 카메라 서버와 연결되어 있는 다수의 사용자에게 실시간으로 전송된다.[7] 전송하기 위한 프로토콜은 TCP/IP를 사용하였다. TCP/IP 프로토콜은 다른 프로토콜보다 속도와 정보전송의 안정성이 우수하여 사용하였다.[8] 전송된 영상은 MPEG4 CODEC을 이용하여 로봇 클라이언트에서 압축이 해제되고 보이게 된다. Omni-Directional Wheel은 Slip에 의해서 구동되는 특성 때문에, 이동시 Slip에 의한 오차가 발생한다. 이러한 부분을 보정하기 위해서 바닥 영상 인식부가 있다. 로봇의 구동부인 모터를 제어 하는데 있어서 정해진 맵에서 최단거리만을 이용하여,

거리에 대한 모터의 회전수를 이용하면 Slip에 의한 오차가 생길 수 있다. 이로 인해서 프로그램에서의 목표치와 실제의 지점이 오차 누적으로 인하여 예상치 못한 목표지점에 도달 할 경우가 있다. 이점을 보정하기 위해서 바닥 영상을 이용한 타일의 경계선 추출법을 채택하였다. 초기에 로봇의 절대방위와 바닥 타일경계선은 정확한 직각을 유지하고 있다고 가정 한다. 바닥의 경계선을 추출하는 이유는 실내 환경의 대부분이 타일의 형태를 가지고 있으며, 이동을 하고 오차가 발생할 경우 기준이 되는 바닥 타일경계선을 고려하여 오차를 보정할 수 있기 때문에 선정하게 되었다. 타일의 크기는 변하지 않는 절대적인 값으로 하였다. USB카메라에 의해서 입력되는 영상은 CCD센서의 특성상 빛에 대한 왜란이 심하다. 그러므로 본 연구에서는 일정한 조도하의 타일 경계 값을 추출하기위해, 암실을 제작하고 전구를 장착하여 일정한 환경에서의 영상을 얻게 하였다.

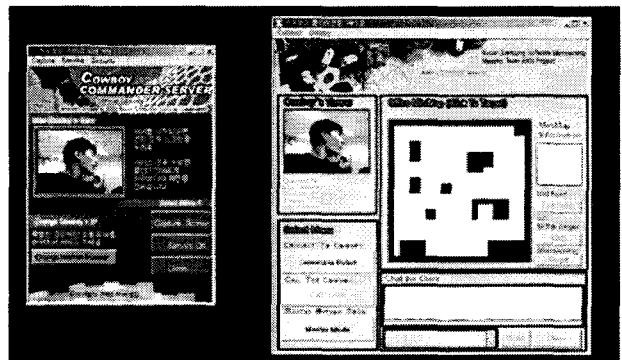


그림 8. 카메라 서버와 클라이언트 프로그램  
Fig.8 Camera server and Client Application  
(Left : Camera Server, Right : Client Application)

4. 센서 제어부

고정 및 유동 장애물의 감지를 위한 초음파 센서는 KOMAN TECHNICS사의 PT/R40-18S를 사용하였고 전,후,좌,우 각각 2조씩을 사용하였다. 초음파 센서의 제어에는 Intel사의 80196KC를 사용하였다. 초음파 센서의 역할은 벽이나, 사람, 다른 물체의 접근으로부터 즉각적인 대처를 위해서인데, 유동장애물이 갑자기 로봇의 감지거리에 나타나게 되면 로봇은 즉시 정지를 하게 된다. 초음파 센서는 벽이나, 물체로부터 반사되는 음파를 카운터해서 거리를 알아낸다. 이 원리를 이용하여, 이동시에 전방에 어떤 물체나, 벽이 있는지 감지하고 물체나 사람 접근 시에 효율적으로 대처할 수 있다.

III. 로봇에 사용된 알고리즘

본 연구에서 사용된 로봇은 초기 동작모드에서 사무실 또는 실내 환경의 맵 데이터를 서버로부터 다운로드 후

입의 시작지점에서 대기하게 된다. 대기 상태에서는 서비스 모드가 작동하는데 사용자의 명령에 의해서 동작된다. 가장 일반적인 서비스 기능은 외부 방문자가 로봇에 접근하여, 탑재 되어 있는 노트북을 통해 가고 싶은 지형으로 안내를 요구한다. 이때 로봇은 입력된 시작지점에서 목표지점 까지 최 단 거리를 구하고, 목표지점으로 이동을 하게 된다. 이동시에는 초음파 센서를 통해서 고정 장애물을 회피하면서 이동한다.

Omni-Directional Wheel을 이용하여 방향의 선회 없이 대각이동과 수평이동을 사용해서 이동한다. 이동시에는 각 타일의 블록을 지날 때마다 Slip에 의해서 생기는 오차를 보정하고, 절대방위를 정확히 유지한다.

타일과 직교를 이루지 않는 경우는 제시한 Slip 보정 알고리즘을 통해 직교를 맞춘다. 본 연구에서는 실내 환경에서 로봇의 절대방위를 알아내고 보정할 수 있는 Slip 보정 알고리즘을 제안하고, 보안 기능에서는 차 영상을 이용한 보안기능 알고리즘을 제안하였다.

### 1. Slip 보정 알고리즘

자율이동 로봇이 정확한 절대 방위를 인지하는 것은 매우 중요하다. 실내용 바퀴 구동형 로봇의 경우 실내 환경의 특성상 많은 오차를 수반할 수 있다. 일반적인 구동형 로봇은 엔코더(encoder)값에 의해서 구동부의 모터를 제어하지만, 본 연구에서 제시한 Omni-Directional Wheel 방식의 바퀴에서는 Slip에 의해서 이동의 에너지를 얻는 원리이기 때문에 Slip에 의한 오차가 많이 발생한다. 그러므로 로봇의 구동부인 Omni-Directional Wheel의 특성상 Slip에 대한 로봇 절대방위 값을 보정하기 위한 수단이 필요하다. 본 연구에서 제시한 방법은 실내 환경에서 사용이 가능하며 영상처리 이론을 적용하여 로봇의 절대방위를 보정하는 방법을 제시하였다. 이러한 역할을 하는 기구부로는 로봇중심 하단부에 설치되어 있는 바닥 보정용 CCD 카메라가 수행하게 된다.

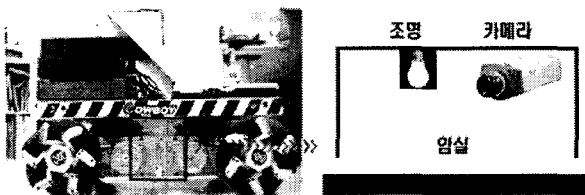


그림 9. 로봇의 Slip 보정 시스템  
(Fig.9) Slip revision system of robot

CCD 카메라에서 실시간으로 얻어지는 바닥 타일 이미지의 x축과 로봇의 전(Front) 방향이 직각을 이루고 있을 때 로봇은 정상적인 상태이며 Slip에 의한 오차가 없는 것이다. CCD 카메라에서의 입력영상은 조도에 대하여 민감하다. 본 연구에서는 이러한 영향을 고려하여 빛

의 왜란이 없는 암실을 만들고 일정한 조도를 위하여 램프를 설치하여 항상 같은 조도에서 영상을 얻을 수 있도록 하였다. 실내 환경의 바닥의 타일은 일반적으로 30x30cm이므로 고정크기로 하였다. 일정한 조도를 위해 12V DC 램프를 사용했다. AC 램프일 경우, 60Hz로 빛의 세기가 변하기 때문에 DC 램프를 이용하였다. 여러 번의 실험에 의해서 타일과 타일의 경계부분을 가장 확실하게 보일 수 있는 조도를 선택하였다. 실제 CCD 카메라를 통하여 들어온 영상은 여러 가지 영상처리 과정을 거친 후에 알고리즘을 적용할 영상이 된다. 다음은 로봇이 바닥의 경계선을 이용하여 바닥 보정을 실시하는 과정을 순서대로 나타내었다.

Step 1. 입력된 영상에 Median Filter를 이용하여 기본적인 노이즈 제거를 연속 2회 실시한다.

Step 2. 히스토 그래프를 이용하여 전체 영상의 표준 Threshold 값과 조도가 상대적으로 높은 가운데 영역을 검출 할 수 있는 Threshold를 찾는다.

Step 3. 잔여 노이즈를 제거하기 위하여 확장/수축 필터 (Opening/Clothing)를 이용하여 완전한 영상을 얻는다.

Step 4. 얻어진 영상의 x성분의 양 끝점과 y성분의 양 끝점을 잇는 직선의 식을 구하여 선형화 시키고 틀어진 각도를 추출한다.

Step 5. 틀어진 각도를 실험에 의해 제작된 Look up table을 기반으로 엔코더에 값을 수정한다.

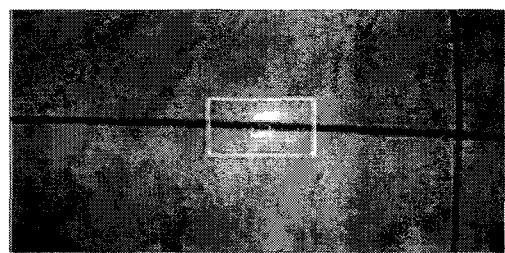


그림 10. 조도가 높은 부분의 검출  
(Fig.10) Detection of high light region

카메라를 통한 영상은 250msec 단위로 영상을 입력 받는다. 입력된 영상에는 많은 노이즈가 있는데, 노이즈를 제거하기 위한 일차적인 처리로서 미디언 필터링 (Median Filtering)을 2번에 걸쳐 노이즈를 제거한다. 영상 처리영역인 윈도우 내에 n개의 화소 값이 존재하고, 이를 정렬한 값을  $\alpha$ 라 한다. 화소n의 개수에 따라 아래의 식과 같이 표현 될 수 있다.

$$med(x_i) = \begin{cases} x_{u+1}, & n = 2u + 1 \\ (x_u + x_{u+1})/2, & n = 2u \end{cases} \quad (1)$$

필터링 된 영상의 히스토 그래프를 이용하여, 실험에 필요한 2개의 경계(Threshold)값을 찾는다. 첫 번째 경계(Threshold)값은 조도가 밝은 부분을 찾는 역할을 한다. 램프의 중앙값기는 전체 영상의 평균값기보다 밝기 때문에 전체 영상의 히스토 그래프를 이용하여, 조도가 밝은 경계선 영역의 경계(Threshold)값을 찾는다. 두 번째 경계(Threshold)값은 램프 중앙영역을 제외한 일정한 평균조도의 영역 중에서 히스토 그래프를 이용하여 찾는다.

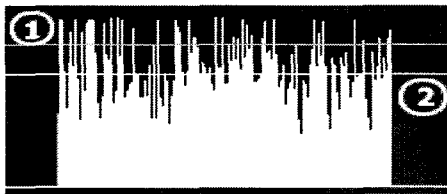


그림 11. 히스토 그래프 임계 값  
Fig 11 Threshold of Histo Graph

위의 그림에서 영상 평균에 대한 경계선의 히스토 그래프의 경계(Threshold)값은 2번이고, 상대적으로 조도가 높은 가운데 영역의 경계(Threshold)값은 1번이다.

이렇게 Median Filter를 통하여 노이즈가 1차적으로 제거된 영상은 잔여 노이즈를 제거하여야 한다. 이를 위하여 Dilation, Erosion 연산을 사용한다. Dilation 과 Erosion 연산은 영상의 기하학적인 특징은 보존하면서 불필요한 요소들을 제거해주어 영상을 단순화시킴과 동시에 유용한 기하학정보를 추출하는데 뛰어난 기능을 가지고 있다. Dilation 연산은 집합 요소들의 벡터 덧셈을 이용한 두 집합을 결합하는 수리 형태론 변환이다. 만약 A와 B가 N-공간( $E^N$ ) 상의 집합이고, 원소 a와 b는 각각  $a=(a_1, \dots, a_n)$ ,  $b=(b_1, \dots, b_n)$ 라면, A를 B로 Dilation 연산한 것은 A로부터의 한 원소와 B로부터의 한 원소를 이용한 원소상의 모든 가능한 벡터 합들의 집합이다. A와 B를  $E^N$ 의 부분집합이라 두면, A를 B로 Dilation 연산하는 것은  $A \oplus B$ 로 표기되며 다음과 같이 정의된다.

$$A \oplus B = \{c \in E^N \mid c = a + b \text{ for some } a \in A \text{ and } b \in B\} \quad (2)$$

Erosion 연산은 Dilation 연산의 상대적인 연산으로서 영상에서 밝은 부분을 축소시키면서 고립점을 제거하는 기능을 가지고 있다. 이 연산은 집합 원소들의 벡터감산을 사용하여 두 집합을 결합하는 수리형태론 연산이다. A와 B가 유클리드 N공간의 집합이라면 A를 B로 Erosion 연산한 것은 모든  $b \in B$ 에 대하여  $x + b \in A$ 인 모든 x 원소의 집합이다.

$$A \ominus B = \{x \in E^N \mid x + b \in A \text{ for every } b \in B\} \quad (3)$$

실제 바닥 보정을 구현할 때 Dilation연산과 Erosion연산은 쌍을 이루어 사용된다. 즉 Erosion연산 후에 Dilation 연산을 사용하든지, 또는 Dilation 연산 후에 이어서 Erosion 연산이 사용된다. 이들 연산들은 영상의 전체적인 기하학적 구조에 변화를 가하지 않으면서 형태소보다 작은 미세한 부분을 제거하는 기능을 가지고 있다. 전자를 Opening 연산이라 하고 경계 면을 부드럽게 하며, 작은 고립점이나 날카로운 꼭지 부분을 제거한다. 반면에 후자를 Closing 연산이라 하고 경계면을 부드럽게 하며, 길고 얇은 만 부분을 제거하고 작은 구멍이나 경계 부분의 틈을 채워 준다. 영상 A를 형태소 B로 Opening 연산하는 것은  $A \circ B$ 로 표현되며, 다음의 수식으로 정의된다.

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (4)$$

영상 A를 형태소 B로 Closing 연산하는 것은  $A \bullet B$ 로 표현되며, 다음의 수식으로 정의된다.

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (5)$$

최종적으로 잔여 노이즈를 제거하기 위해서 확장/수축(opening/closing) 필터를 사용하여 잔여 노이즈를 제거하였다. 노이즈가 제거된 영상은 직선 모습에 가까운 모양을 가진다. 로봇 뒤틀림을 보정하기 위해서 영상을 선형화시켜 각도를 알아내야 한다. 선형화를 시키는 과정은 바닥 타일의 x축 성분의 양 끝점을 지나가는 하나의 직선과 y축 성분의 양 끝점을 지나가는 하나의 직선을 구하였다.

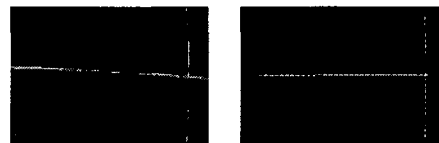


그림 12. 노이즈 제거 영상과 선형화 영상  
Fig.12 Noise Deletion & Linear image

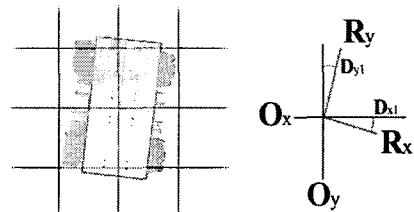


그림 13. 타일에서 로봇의 뒤틀림 각도  
Fig.13 Angle of Robot with floor tile

그림 13에서 Rx 와 Ry는 로봇의 절대 방위이고, Ox와 Oy는 맵의 절대방위이다. 로봇은 개개의 바닥 블록을 로봇의 절대 방위인 Rx 와 Ox, Ry와 Oy가 0도를 이루면서 지나가야 절대방위가 정확한 상태이다. 한 블록을 지날 때 마다 입력되는 영상의 기울기가 0도를 벗어나면 로봇은 Rx 와 Ox의 기울기 차(Dx1)와 Ry 와 Oy의 차(Dy1)를 자이로스코프(Gyro Scope)를 이용하여 오차각도를 구한다. 자이로스코프는 Slip 보정 알고리즘에 필요한 오차각도만을 구하는데 사용된다. 오차각도에 대한 알맞은 엔코더 회전수는 여러 번의 실험에 의해서 Look up table에 미리 기록되어 있다. 오차의 각도에 따라 얻어진 알맞은 엔코더 회전수만큼 각각의 모터를 회전시킴으로써 로봇은 항상 절대방위인 0도를 유지할 수가 있다. 이러한 모든 영상처리 기능과 로봇 절대방위 보정 기능은 로봇 Server 프로그램에서 실 시간으로 수행하게 된다.

2. 로봇의 보안 기능 알고리즘

로봇에는 보안기능이 있다. 보안기능은 실내 환경에서 유동장애물이 없는 야간에 자동으로 동작을 한다. 이동은 미리 정해진 맵의 고정 좌표에서 로봇에 상부에 장착된 무선 RF 카메라를 이용하여 일정 시간동안 입력 영상의 변화를 감시하여 유동 물체가 있는지 검사를 한다. 실시간으로 입력되는 영상에서 움직임을 감지하기 위해서는 다양한 방법이 있다. 첫째, 이전 영상과 현재 영상의 히스토 그래프 차이를 이용한 방법이 있고, 둘째, 이전 영상과 현재 영상의 픽셀과 픽셀의 차이를 이용한 방법이 있다. 본 연구에서는 픽셀과 픽셀의 차이를 이용한 차 영상을 이용한 움직임 감지를 적용하였다. 보안기능의 알고리즘은 이전의 영상과 현재 영상의 차를 이용한 차 영상을 이용한다. 현재 프레임과 이전 프레임간의 영상 값의 차를 이용하는 것이 차 영상이다. 실험에 의한 경계(Threshold) 값을 넘은 수치가 감지가 될 경우 동작을 한다. 차 영상은 고정된 배경에서 물체가 이동할 때, 이동 물체가 포함된 영상과 이동 물체가 없는 고정된 배경영상과의 차를 말한다. 이동 물체가 없는 배경 영상을  $R(x, y)$  라고 하고 입력된 영상을  $Fi(x, y)$  라 하면 차 영상  $Di(x, y)$  는 다음과 같다.

$$Di(x, y) = |Fi(x, y) - R(x, y)| \quad (6)$$

이전 영상과 현재 영상에 잡음이 유입되지 않는 경우엔 차 영상에서 이동물체 부분을 제외한 모든 화소 값은 0이 된다. 실제 영상에서는 조명에 의한 영향과 노이즈로 인한 움직임이 없는 경우에도 감지를 하게 된다. 따라서 여러 실험에 의한 경계(Threshold)값을 기준으로 초당 15Frame 기준으로 움직임 감지를 실시하였다. 움직임 감지는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$B(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } Di(x, y) > Threshold \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

위의 모든 기능은 로봇서버에 구현되어 있으며, 유동물체가 감지되는 순간부터 10초간의 영상을 Bitmap의 그래픽 파일 형태로 저장하고 카메라 서버로 그래픽 파일을 자동 전송한다.

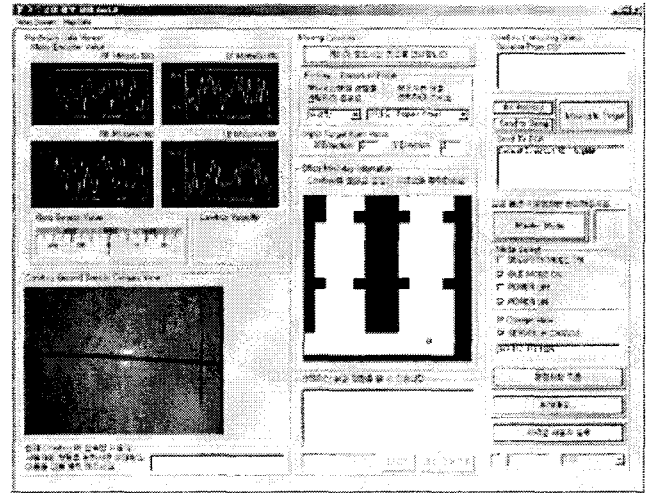


그림 14 . 로봇 서버 프로그램  
Fig.14 Robot Server Application

IV. 실험 결과

본 로봇의 실험은 실내 환경에서 절대위치의 오차정도에 대하여 실험을 실시하였다. 실험에서는 PDA가 사용되었는데, 이는 Wireless Lan 환경에서도 로봇을 제어할 수 있는 시스템을 제공하였다. PDA에서 구현된 프로그램은 Microsoft Embedded VC3.0 버전에서 구현되었으며, OS는 WinCE이다. 실험은 사용자가 Wireless Lan 환경에서 PDA를 이용하여 이동 명령을 주었을 때, 최초 지점에서 목표지점까지의 거리는 시간측정과 목표지점의 절대위치 오차정도에 대하여 실험하였다. 오차정도를 측정하는 실험에서는 바닥 이미지 보정알고리즘을 적용하여 제어하였을 때와 보정 알고리즘 없이 엔코더(encoder)값만으로 제어했을 때 얼마나 오차가 생기는지를 측정하였고, 이 실험 결과는 앞으로 바퀴 구동형태의 로봇 위치보정에 대한 하나의 방법론이 될 수 있다. 실제 맵 환경의 크기는 가로30m 세로 50m 되는 사무실에서 실험을 하였으며, 각각 15회씩 실험을 하였다. 로봇의 평균속도는 전진일 경우 그리고 대각일 경우와 수평이동의 경우에 평균적으로 각각 0.17~0.19m/sec , 0.15~0.16m/sec , 0.2m/sec 이다. 실험에서 사용된 로봇의 이동모드는 대각과 직선이동만을 사용하여 이동하였다. 실제 이동거리는 전진 모드로 80m, 대각 이동모드로 15m 총 95m를 이동하였다. 최초 로봇이 주어진 맵을 이

용하여 최단거리를 찾아낸 후, 목표지점 까지 이동하게 되는데, 모터에 부착된 엔코더(encoder)의 값만으로 목표 지점의 위치로 주행할 때에 비해서 위치보정 알고리즘을 적용하고 주행한 결과, 위치보정을 적용하지 않은 경우가 위치 보정을 적용한 경우보다 평균 28cm정도 벗어남을 알 수 있었다. 이때 엔코더 값만으로 제어 한 경우가 목표지점에서 벗어난 것은 본 연구에서 개발된 로봇의 구동부인 Omni-Directional Wheel이, 고무소재로 이루어져 있으며 실내 환경의 바닥의 마찰력이 균일하지 않기 때문에 Slip에 의한 오차가 생기는 것이다. 이러한 오차가 이동시에 계속해서 누적될 때에는 프로그램상의 이동거리와 절대좌표 그리고 실제 목표 지점에서 고정 장애물을 통로로 인식하는 등의 오류가 발생할 수 있다. 실험에서처럼 하나의 타일을 지날 때 마다 실시간으로 로봇의 Slip에 의한 절대방위를 보정을 함으로써 로봇은 목표지점에 커다란 오차 없이 도달 할 수 있었다. 로봇 이동은 사전에 맵 데이터를 로봇에 저장한 후, 목표지점이 정해지면 미리 정해진 경로로 이동한다. 다음은 실험 결과이다.

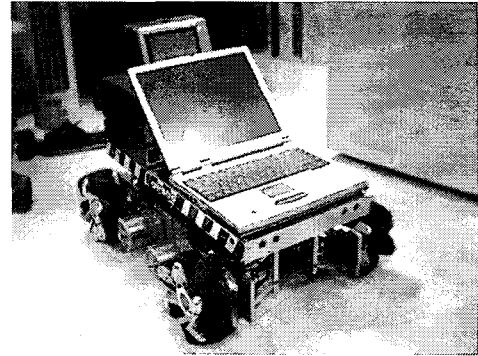


그림 15 . 보안 및 안내 로봇  
Fig.15 Security and Service Robot

V. 결 론

본 연구에서는 기존의 구동로봇의 일반적인 형태의 원형바퀴의 모형이 아닌 Omni-Directional Wheel을 사용함으로써 실내 환경에 적합한 로봇의 형태를 디자인 하였다. 실내 환경에서 실제로 구동 가능한 로봇을 구현하였으며, 자율 이동 로봇에서 기존 맵 데이터를 기반으로 한 로봇의 단점인 맵과 로봇실제위치의 오류를 막아내기 위한 영상 보정 알고리즘을 제시하고, 서버 클라이언트 기술을 더해서 사용자가 로봇을 수동으로 명령을 전달하고 제어할 수 있는 시스템을 구현 하였다. 향후 연구과제로서는 맵 데이터를 기반으로 한 로봇이 아닌 레이저 센서 등을 이용한 자율적으로 로봇의 주변 환경 인식능력이 있는 로봇의 모델이 필요하다.

참 고 문 헌

[1]Mori,Y. Nakano,E. Takahashi, T. Takayama, "A study on the mechanism and control of omni-directional vehicle" Intelligent Robots and Systems 1996  
[2]Gupta,S. Williamson, C.L., "An experimental study of video traffic on an Ethernet local area network" The Global Bridge', 1994  
[3]Ohchi,M. Furukawa,T. Takayama,M. Yanagi, S., "Development of autonomously mobile robot with control system connected by TCP/IP network" Industrial Electronics Society, 2001.  
[4]Dickerson, S.L. Lapin, B.D., "Control of an omni-directional robotic vehicle with Mecanum wheels" Telesystems Conference, 1991.  
[5]Leow, Y.P. Low, K.H. Loh, W.K., " Kinematic modelling and analysis of mobile robots with omni-directional wheels" Control, Automation, Robotics and Vision, 2002.

실험회수	주행 속도 (m/sec) 직선/대각	오차 거리 (절대거리) (cm)
1회	0.18/0.15	32
2회	0.17/0.15	26
3회	0.19/0.15	24
⋮		
14회	0.18/0.15	31
15회	0.17/0.16	30
평균	0.178/0.152	28.6

표 1. 엔코더 값만으로 보정할 경우

실험회수	주행 속도 (m/sec) 직선/대각	오차 거리 (절대거리) (cm)
1회	0.17/0.16	3
2회	0.19/0.15	6
3회	0.19/0.16	2
⋮		
14회	0.18/0.14	7
15회	0.18/0.16	3
평균	0.182/0.154	4.2

표 2 .영상 알고리즘 적용 후 보정할 경우



[6]Loh, W.K. Low, K.H. Leow, Y.P., "Mechatronics design and kinematic modelling of a singularityless omni-directional wheeled mobile robot" Robotics and Automation, 2003.

[7]Jae-Won Kim, Byeong-Doo Choi, Sang-Hee Park, Kyoung-Keun Kim, Sung-Jea Ko," Remote control system using real-time MPEG-4 streaming technology for mobile robot" Consumer Electronics, 2002.

[8]Jau Hsiung Huang, Chi-Wen Chen, "On performance measurements of TCP/IP and its device driver" Local Computer Networks, 1992.



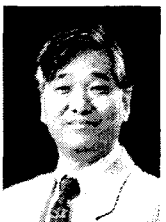
김 정 년(Jung-Nyun Kim)  
2002년 동아대학교 산업공학과 졸업(공학사)  
2003~현재 고려대학교 산업시스템  
정보 공학과 석사과정

관심분야 얼굴인식, 컴퓨터비전



박 상 성(Sang-Sung Park)  
2001년 동양대학교 산업공학과 졸업  
2003년 고려대학교 산업공학 석사  
2003~현재 고려대학교  
산업시스템정보 공학과 박사과정

관심분야 패턴 인식, 뉴럴 네트워크, 컴퓨터 비전



장 동 식(Dong-Sik Jang)  
1979년 고려대학교 산업공학과 졸업  
1985년 텍사스 주립대 산업공학 석사  
1988년 텍사스 A&M 산업공학 박사  
1989~현재 고려대학교 산업시스템  
정보공학과 교수

관심분야 컴퓨터 비전, 멀티미디어시스템, 로보틱스

---