

논문 2010-4-14

전방향 이동로봇을 이용한 네트워크기반 원격 감시시스템 구현

Development of Network based Remote Surveillance System Using Omni-Directional Mobile Robot

서용호*

Yong-Ho Seo*

요 약 본 논문은 전방향 이동로봇과 로봇에 탑재된 카메라를 이용한 네트워크기반 원격 감시시스템의 구현에 대하여 기술한다. 제안된 감시시스템은 기존의 건물 곳곳에 설치된 감시 카메라의 영상이 고정된 및 시야에서 침입탐지를 수행하는데 비해 이동로봇을 이용해 원격으로 로봇을 자유롭게 조종해 감시하는 것이 특징이다. 감시시스템 구현에 사용된 이동로봇은 전방향 제어가 가능한 세 개의 바퀴를 가지고 있으며, 이를 네트워크 환경에서 원격으로 제어하고 영상을 획득하기 위해 마이크로소프트사의 MSRDS를 이용해 로봇 기능들을 네트워크 노드에서 실행되는 서비스들로 구현하였다. 실험을 통해 개발된 전방향 이동로봇 원격 감시시스템은 유무선 네트워크 환경에서 자유롭게 이동로봇을 조종하며 원격 모니터링이 가능함을 보여주었다. 또한 개발된 감시시스템은 획득된 원격 영상을 네트워크에 연결된 다른 PC에서 실시간으로 전송받아 색상기반 물체탐지 및 움직임 검출을 수행하였다.

Abstract This paper describes a development of an network based remote surveillance system using omni-directional mobile robot. the proposed surveillance system can control a mobile robot to move and examines the given place closely while the conventional surveillance system uses a fixed camera. The mobile robot in the proposed system has three omni-directional wheels to move to any given direction freely. We also developed the proposed system as robot services using Microsoft's MSRDS for a user to control the mobile robot and monitor the remote scene captured from the robot. Finally we verified the feasibility and effectiveness of the proposed system by conducting the remote operating the mobile robot and monitoring experiments in a networked environment. We also conducted a color based object detection and motion detection on image sequences acquired from a remote mobile robot in an another PC in a network environment.

Key Words : Omni-Directional Robot, Surveillance System, Network based Control, Mobile Robot

1. 서 론

최근 보안기술의 발전과 더불어 각 빌딩, 공장건물 등에 다수의 카메라들이 감시시스템으로 사용되고 있다. 특히 다수의 카메라에서 입력된 영상을 인식해 자동으로

저장하고 영상에서 움직임 영역 추적 및 침입탐지 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 하지만 건물 내에 설치된 감시카메라 기반 보안시스템은 카메라가 고정된 장소에 설치되어 있어 스스로 보행자들의 상황을 인지하고 그 순간에 맞는 적절한 서비스를 제공하는데 한계가 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 최근 이동로봇과 사용자추적 시스템을 이용한 새로운 감시시스템에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다^[2]. 기존 감시카메라

*정회원, 목원대학교 지능로봇공학과
접수일자 2010.5.11, 수정일자 2010.7.31
게재확정일자 2010.8.13

영상기반의 보안시스템에 이동로봇의 추적기술을 결합하는 것은 특히 자유로운 움직임을 통한 정밀한 상황 인식과 응급 및 돌발상황에 대한 적극적인 대처에 있어 매우 큰 장점이 있어 주목받고 있다.

본 논문에서는 자유로운 움직임이 가능하고 원격작업을 통해 감시 현장에서 적절한 조치가 가능한 전방향 이동로봇을 이용한 네트워크기반 원격 감시시스템을 제안한다.

2장에서는 제안된 이동로봇 원격 감시시스템 개요를 설명한다. 3장에서는 감시시스템에 사용된 이동로봇에 대한 구성 및 전방향 제어기법에 대해 설명한다. 4장에서는 분산 네트워크 환경에서 로봇 소프트웨어의 손쉬운 개발이 가능한 마이크로소프트의 MSRDS(Microsoft Robotics Developer Studio)를 이용한 감시시스템의 세부 기능들을 네트워크 노드에서 실행되는 서비스들로 모델링하여 유무선 네트워크 환경에서 이동로봇을 원격으로 제어하고 원격지의 영상을 모니터링 하는 기능에 대해 설명한다.

5장에서는 구현된 전방향 이동로봇 원격 감시시스템을 이용해 사용하는 유무선 네트워크 환경에서 자유롭게 이동로봇의 조작과 원격 모니터링이 가능함을 실험을 통해 보여주었다. 또한 개발된 감시시스템은 획득된 원격 영상을 네트워크에 연결된 다른 PC에서 실시간으로 전송받아 색상기반 물체탐지 및 움직임 검출을 수행하였으며, 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 이동로봇 감시시스템 개요

본 논문에서 제안된 이동로봇 감시시스템은 상하 움직임이 가능한 카메라 탑재된 전방향 이동이 가능한 이동로봇과 이를 블루투스 및 ZigBee를 통해 근거리에서 원격으로 조종하는 1대의 PC 그리고 인터넷을 통해 연결된 원격지PC에서 사용자의 로봇조작 및 원격 모니터링을 위한 PC로 구성된다. 이 감시시스템을 이용해 사용자는 로봇에 내장된 카메라에서 촬영된 영상을 보며 자유로이 로봇구동이 가능하며 현장 상황에 대한 탐지 및 대응을 손쉽게 할 수 있다. 또한 외부의 사용자가 없을 경우 로봇에서 보내진 센서 및 영상정보를 바탕으로 원격지 PC에서 색상기반 물체탐지 및 움직임 검출 등 간단한 영상처리를 통해 자율감시 및 침입탐지 기능이 가능함을

보여준다.



그림 1. 이동로봇 감시시스템 개요

Fig. 1. Overview of Mobile Robot Surveillance System

III. 이동로봇 KR2008과 전방향 제어기법

1. 이동로봇 KR2008

본 시스템에서는 전방향으로 움직임이 가능한 Mobile Robot으로 KMC에서 제작된 KR2008을 사용하였다. KR2008은 전방향 주행이 가능한 3개의 구동바퀴를 가지는 원통형 구조의 로봇으로 다양한 입출력 단자 및 PSD 센서를 장착하여 다양한 미션을 보다 정확하고 정교하게 수행가능하다. 또한 주변기기의 확장이 쉬우며 다양한 형태의 응용기능을 수행할 수 있는 구조로 라인트레이서 로봇, 마이크로 마우스 로봇, 보안감시용 로봇, Vision로봇 등 다양하게 활용할 수 있는 형태의 로봇 플랫폼이다 [3].

본 연구에서는 추가로 이동로봇 KR2008에 상하 회전 움직임이 가능한 모터와 무선 카메라(DRC)를 추가로 장착해 무선으로 로봇영상을 PC에서 수신하고 블루투스를 이용해 및 로봇 센서 정보와 모션 명령을 PC에서 무선으로 송수신하도록 하여 원격제어가 가능하도록 하였다. 그림 2는 KR2008의 의형 및 전방향 구동을 위한 바퀴의 외형을 보여준다. 로봇의 사양은 표 1과 같다.

표 1. 이동로봇 KR2008의 세부사양
Table 1. Specification of Mobile Robot KR2008

항목	세부항목	세 부 사 양
로봇 시스템	이동방식	- 전방향(omni-directional) 이동방식
	제어방식	- 임베디드 마이콤기반 제어
	직선최대주행 속도	- 50cm/초 이하
제어부	MCU	- 주제어기 : ATmega128 (별도의 모터제어용 MCU를 사용해도 무방함)
	모터	- DC모터(엔코더 부착, 25rpm/1회전 이상)
	배터리	- 사용시간 60분이상 - 모터인가전압 12VDC이하
	I/O	- 1개 LCD(20x2문자 LCD) - 입력용 스위치 2개 - 전원표시용 LED1개 - 8개 아날로그 input단자(거리센서등) - 8개 디지털 입력단자(접촉센서등) - 6개 모터 출력단자(정.역방향 255단계 출력 변화)
	이동형태	- 전방향 로봇(omnidirectional mobility)
기구부	구동바퀴 개수	- 3개
	로봇 외형형상	- 원통형
	로봇 외형치수	- 지름 : 250mm ±5mm - 높이 : 200~250mm
센서부	바닥감지용 센서	- IR 센서 5개(바닥라인 폭 : 약 19mm±1mm)
	전방감지용 거리센서	- PSD 센서 3개(위치:정면(0°), ±30°) - 감지거리 : 10~80cm



그림 2. 이동로봇 KR2008의 외형
Fig. 2. Shape of Mobile Robot KR2008

가. 이동로봇 제어부

이동로봇의 제어부는 그림 3와 같이 ATmega128 CPU를 탑재하고 있으며 3개의 DC 모터를 구동할 수 있는 Driver를 가지고 있다. 또한 8개의 Analog to Digital interface를 가지고 있어 전방에 3개의 PSD 센서와 아래쪽에 5개의 Infrared Sensor를 연결하여 다양한 동작을 구현할 수 있도록 되어져 있다.

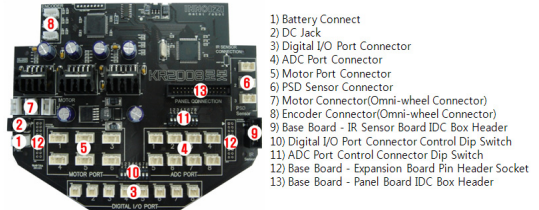


그림 3. 이동로봇 KR2008의 제어부
Fig. 3. Control Part of Mobile Robot KR2008

나. 무선 카메라 및 블루투스 통신 모듈

영상을 송수신하기 위해서 KR2008 위에 장착된 Camera Module은 (주)바랩 시스템의 DRC Black 이라는 제품을 사용하고 있다^[4]. 기존의 무선 카메라와는 달리 2.4GHz대역을 이용한 양방향 통신이 가능하여 영상 전송은 물론 로봇의 움직임 데이터를 전송할 수 있는 장점을 가지고 있어 다양한 로봇개발에 많이 사용되고 있다. 하지만 본 시스템에서는 무선 카메라 모듈에 내장된 데이터 송신기능이 로봇의 다양한 센서 데이터 획득 및 원격 제어 명령을 모두 처리하기에 부족하여 이를 위해 추가로 블루투스 모듈을 탑재하였다. 표2는 이동로봇에 탑재된 무선 카메라의 세부사양을 보여준다.

표 2. 무선 카메라 세부사양
Table 2. Specification of Wireless Camera

항목	사양
USB	USB 1.1(Full Speed)
UART	1CH(2400 bps ~ 115200 bps)
Camera	COMS(30 Frame at VGA)
영상 Format	MJPEG 압축(160 x 120 Pixel)
Wireless	2.4 Ghz(2Mbps) 양방향 통신
Input Voltage	5~9V
Size	43.6 x 33.9
Software	DRC BLACK Manager

다. 전방향 제어기법

이동로봇 KR2008은 전방향 구동을 위한 세개의 전방향 바퀴를 가지고 있다. KR2008에 장착된 전방향 구동을 위한 모터는 3개가 달려 있다. 그림 4는 이동로봇에 장착된 바퀴의 구조와 배치를 보여준다. 장착된 바퀴의 기구적 사양은 표 3과 같다.

그림 4에서 "F" 부분을 앞 쪽으로 두었을 경우 위에서 바라본 모터의 번호이다. 기존의 두 개의 바퀴를 이용한 로봇은 제자리에서 주시방향을 고정시킨 상태로 어진 세개의 모터를 이용해 각각의 로봇을 좌,우로 움직일 수 없으며 회전만 가능하나 위의 구조로 이루도와 방향을 제어하게 되면 로봇이 어느 방향으로든지 움직일 수 있는 장점을 가지고 있다.

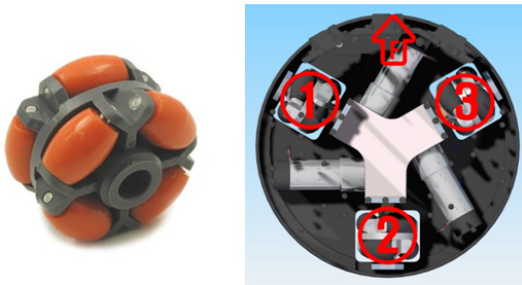


그림 4. 이동로봇 KR2008의 바퀴 외형 및 배치
Fig. 4. Wheel Shape and Arrangement of Mobile Robot KR2008

표 3. 전방향 바퀴 사양
Table 3. Specification of Omni-Directional Wheel

항목	사양
Dimension	60mm/2.375" O.D.
Weight	4 oz
Hub	49mm/1.9"
Axle Bore	8mm
Roller Capacity	50 lbs.

다음의 그림 5에서 위쪽에 도시된 세 개의 모터를 각각 Wheel A, B, C로 표현하였을 때 A, B, C 모터는 중심점을 기준으로 120도씩으로 나누어 배치되어 있다. 이 때 각 모터를 같은 방향으로 움직이면 우측 상단의 그림과 같이 각 모터가 회전하게 된다. 그리고 각 모터의 회전방향은 정면을 기준으로 반시계방향으로 150도, 30도 60도를 나타내게 된다.

이 때 전방향 로봇의 움직이는 속도와 방향은 세 개 모터의 회전하는 속도와 방향의 합으로 나타나게 된다. 이를 벡터로 표현된 수식으로 표현하면 다음의 수식과 같다.

$$\vec{F}_T = \{ \vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C \} \quad (1)$$

이를 다시 전방향 로봇의 움직일 방향과 속도에 대해 세 모터 각각의 수식으로 표현하면 아래쪽의 수식과 같이 나타난다[5].

$$F_A = velocity \cdot \cos(150 - DesiredDirection) \quad (2)$$

$$F_B = velocity \cdot \cos(30 - DesiredDirection) \quad (3)$$

$$F_C = velocity \cdot \cos(270 - DesiredDirection) \quad (4)$$

전방향 로봇이 움직일 방향에 대한 세 개 모터 각각의 움직임을 수식에 따라 그래프로 표현하면 그림5의 아래 부분과 같이 나타나게 된다.

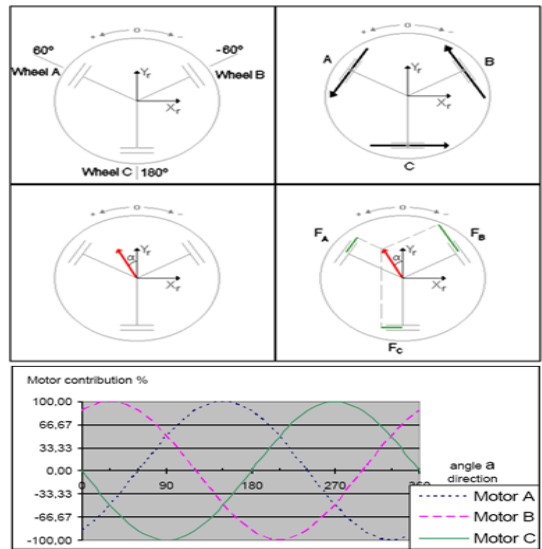


그림 5. 로봇의 방향과 세 개 모터 움직임의 상관관계
Fig. 5. Relationship between Desired direction and Contributions of Three motors

IV. 네트워크 감시환경 구성

제안된 감시시스템은 네트워크 기반의 로봇조작 및

원격모니터링을 위한 네트워크 환경에서 로봇 소프트웨어를 개발하고 운용하기 위해 최근 제안된 마이크로소프트의 MSRDS(Microsoft Robotics Developer Studio)를 이용하였다^[6,7].

MSRDS는 개발자가 손쉽게 로봇 애플리케이션을 개발하기 위한 윈도우 기반 개발환경으로 서비스 모델기반의 프로그램 개발이 이루어지도록 하며, 시뮬레이션을 통해 개발된 서비스를 로봇에 쉽고 빠르게 적용할 수 있는 개발환경이다. 이 개발 툴은 특히 C++, C#등의 기존 프로그래밍언어 뿐만 아니라, 다이어그램 방식으로 데이터와 서비스를 손쉽게 조합하여 표현하는 비주얼프로그래밍언어(VPL)를 내장한 것이 그 특징이다.

MSRDS는 네트워크기반 로봇 애플리케이션의 기본 단위로 서비스를 이용한다. 로봇을 위한 서비스들은 크게 다음 세 가지 기능들로 나누어 표현된다. 첫째는 센서와 액츄에이터와 같은 하드웨어 기본 구성 서비스, 둘째는 유저 인터페이스, 기억 장치, 디렉터리 서비스, 등과 같은 소프트웨어 구성 요소로서의 서비스, 마지막으로 센서 융합, 매쉬업(Mash-ups)등과 같은 서비스의 집합체로서 서비스와 로봇의 기본 서비스를 관리하는 코디네이션 기능의 서비스이다.

MSRDS는 로봇 소프트웨어를 용이하게 개발하기 위해 로봇에 사용되는 기능과 역할을 위한 분류하고, 각 로봇 디바이스별 입출력 사양을 기준으로 이를 표준화하여 기본 서비스를 제공하고 있다. 센서서비스의 경우, 범퍼, 터치 등 접촉을 통해 정보를 획득하는 서비스로 그 내부 상태로 하드웨어 식별자, 사용자에 의해 정해지는 센서의 이름, 감지된 상태, 센서의 위치 및 센서의 감지시간을 제공한다. 이러한 기능의 조합은 센서의 현재 상태를 확인하여 로봇에 적용하기에 적당하다.

각 서비스들은 Dsshost라는 호스팅 노드에서 실행된다. 이 호스팅 노드는 서비스를 생성 및 관리해주는 하부 런타임 엔진이다. 서비스는 기본적으로 네트워크 기능을 가지고 있다. 따라서 서비스는 한 개의 노드 내에서 뿐만 아니라 네트워크 상의 다른 노드에 이르기 까지 동일한 방법으로 서로 상호작용할 수 있다. 이러한 서비스 모델은 서비스의 재사용이 용의하고 서비스들 사이의 느슨한 연결 구조를 이루게 되어 조립 및 사용하기 매우 용이하다. MSRDS의 각 서비스는 그림 6과 같이 세부 서비스 컴포넌트들로 구성된다.

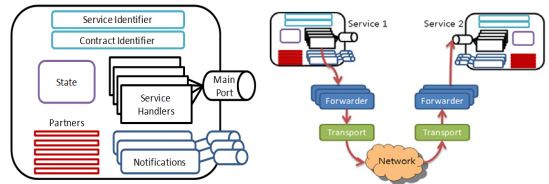


그림 6. 서비스 구성요소 및 네트워크 통신
Fig. 6. Service Components and its Communication

V. 실험 및 결과

1. 이동로봇 KR2008의 원격 조작 및 모니터링 실험

제안된 감시시스템이 네트워크 환경에서 제대로 동작하는지를 검증하기 위해 이동로봇 KR2008의 네트워크 환경에서 조작 및 모니터링 실험을 수행하였다. 다음 그림 7은 로봇이 무선으로 연결된 PC에서 센서데이터 및 카메라영상을 포워드 하고 사용자의 조정 명령을 받기 위해 개발된 MSRDS 서비스들이 호스팅환경에서 실행 및 웹브라우저에서 제어 되는 것을 보여준다.

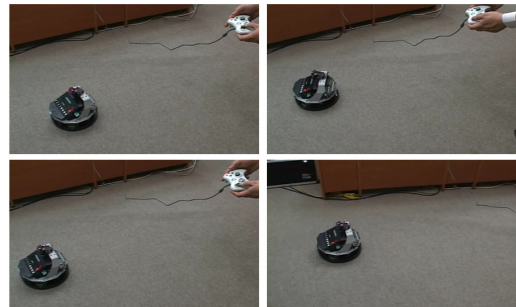
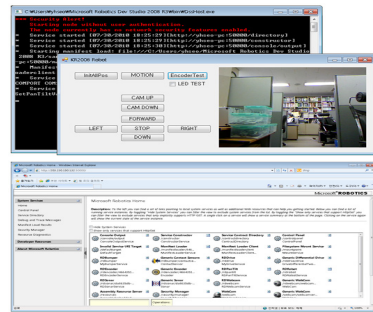


그림 7. 로봇이 연결된 PC에서 서비스 실행 및 제어화면
Fig. 7. Screen shot of Execution and Control of Services in a Robot connected PC

다음으로 그림 8과 같이 Xbox Controller를 이용해서 로봇을 조종해보는 VPL다이어그램을 작성해 KR2008의 세 개의 모터 속도를 제어해 사용자가 원하는 방향을 Xbox Controller의 Thumbstick으로 손쉽게 조종할 수 있도록 하였다. 그리고 네트워크에 접속된 원격 PC에서 로봇과 연결된 PC에 접속하여 로봇의 카메라에서 촬영된 영상을 웹캠 서비스로 원격 모니터링하는 실험을 그림 9의 위와 같이 수행하였다.

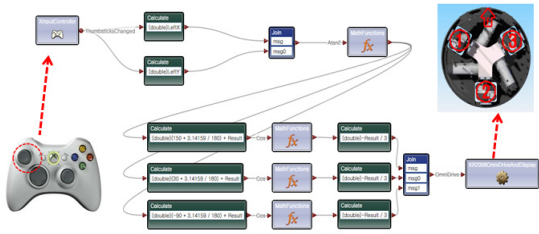


그림 8. 전방향 로봇 원격 조종을 위한 VPL다이어그램
Fig. 8. VPL Diagram for Remote Control of Omni-Directional Robot

2. 원격 색상기반 물체탐지 및 움직임 검출 실험

본 논문에서 구현된 이동로봇기반 감시시스템이 사용자 부재시 원격으로 로봇구동을 통한 자율 감시 및 침입 탐지가 가능함을 검증하기 위해 색상기반 물체탐지 및 움직임 검출물체 추적을 위한 칼라 및 움직임 트래커 서비스를 구현하였다.

로봇에 내장된 카메라 영상을 네트워크 환경의 원격 노드에서 실시간으로 입력받아 여러 개의 색영상을 동시에 추적할 수 있는 칼라 추적 서비스를 제작하였다. 먼저 검출할 물체의 색상정보를 유저인터페이스에서 선택영역 선택을 통해 해당 물체의 색상을 미리 등록해 두고 이를 기준으로 입력된 영상에서 Normalized RGB칼라 필터링과 미디언 필터를 이용한 노이즈 제거한 후 조명변화에 강인한 이진영상을 획득한다. Normalized RGB는 변화하는 조명환경에서 독립적이기 위해 다음의 주어진 식으로 nr, ng, nb 컴포넌트를 얻게 된다. 또한 계산된 현재 픽셀에서의 각 Normalized 컴포넌트들의 합은 1이 된다[8].

$$nr = \frac{R}{R + G + B} \quad (5)$$

$$ng = \frac{G}{R + G + B} \quad (6)$$

$$nb = \frac{B}{R + G + B} \quad (7)$$

해당 픽셀에서의 얻어진 Normalized RGB는 칼라공간 상에서 (nr, ng, nb)의 삼차원 벡터로 표현되며, 이전에 선택영역 지정을 통해 미리 저장된 검출할 물체의 평균 칼라벡터와의 차이를 계산해 이진화 영상을 획득하게 된다. 이 때 두 칼라벡터 사이의 상관(Correlation)을 두 벡터의 사이의 각도 차이로 정하여 입력영상을 스캔하며 픽셀의 벡터 값과 검출 영상의 벡터간의 관계를 다음과 같이 계산하였다. 즉 유클리드 공간(Euclidean geometry)에서 두 벡터 a와 b가 존재할 때 이 두 벡터사이의 각도를 두 Normalized RGB 칼라 벡터의 차이로 둘 때 그 식은 벡터의 내적(dot product)과 크기(magnitude)와 관계된다. 따라서 두 칼라벡터사이의 차이는 다음의 식으로 표현된다.

$$\theta = \arccos\left(\frac{a \cdot b}{|a||b|}\right) \quad (8)$$

여기서 |a|와|b|는 벡터의 크기(magnitude)를, a · b는 두 벡터 a와 b의 내적(dot product)을 의미한다. 다음으로 얻어진 이진영상에 대해 영역분할(Image Segmentation)을 수행한 후 크기순으로 임의의 개수만큼 검출후보군을 선택한 후 물체 형상인식을 통해 최종 물체를 검출해 낸다. 그림 9의 아래와 같이 원격PC에서 얻어진 영상을 영상처리하여 지정된 색상의 물체와 움직임이 검출을 성공적으로 수행하였다.

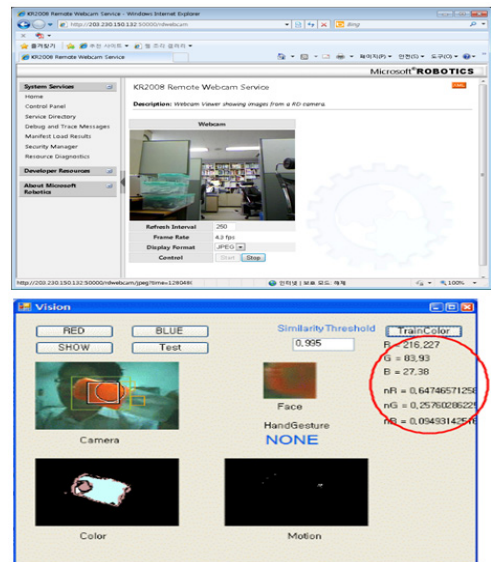


그림 9. 원격 모니터링과 영상처리 실험
Fig. 9. Remote Monitoring and Image Processing

VI. 결 론

본 논문에서는 전방향 이동로봇과 로봇에 탑재된 카메라를 이용한 네트워크기반 원격 감시시스템을 제안하였다. 제안된 이동로봇 감시시스템은 기존 감시 카메라의 영상이 고정된 및 시야에서 침입탐지를 수행하는데 비해 이동로봇을 이용해 자유로운 움직임을 통한 정밀한 상황 인식과 응급 및 돌발상황에 대한 적극적인 대처가 가능한 장점이 있다.

감시시스템 구현에 사용된 KR2008 이동로봇은 전방향 제어가 가능한 세 개의 바퀴를 가지고 있으며, 이를 네트워크 환경에서 원격으로 제어하고 영상을 획득하기 위해 마이크로소프트사의 MSRDS를 이용해 로봇 기능들을 네트워크 노드에서 실행되는 서비스들로 구현하였다.

실험에서는 구현된 이동로봇 감시시스템을 통해 사용자가 유무선 네트워크 환경에서 자유롭게 이동로봇을 조작하며 원격 모니터링을 할 수 있음을 보여주었다. 또한 이동로봇에서 획득된 원격 영상을 제안된 감시시스템과 네트워크로 연결된 원격PC에서 실시간으로 전송받아 색상이나 물체탐지 및 움직임 검출이 가능함을 성공적으로 보여주어 향후 원격 자율 감시 및 침입탐지에 적용 가능성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Sehchan Oh, Sunghyuk Park and Changmu Lee, "Platform Surveillance Monitoring System using Image Processing for Passenger Safety in Railway Station", International Conference on Control, Automation and Systems 2007, Seoul, Korea, 2007
- [2] C. Schlegel, J. Illmann, H. Jaberg, M. Schuster, and R. Worz., "Vision based person tracking with a mobile robot", In Ninth British Machine Vision Conference, BMVC '98, Southampton, pp. 418-427, 1998
- [3] <http://www.kmrobot.com>
- [4] <http://www.varramsystem.com>
- [5] F. Ribeiro, I. Moutinho, P. Silva, C. Fraga, N.

- Pereira, "THREE OMNI-DIRECTIONAL WHEELS CONTROL ON A MOBILE ROBOT", Control 2004, University of Bath, UK, September 2004
- [6] Microsoft Robotics Developer Studio, <http://msdn.microsoft.com/en-us/robotics>.
 - [7] <http://cafe.naver.com/msrskorea.cafe>
 - [8] Aryuanto SOETEDJO and Koichi YAMADA, "Skin Color Segmentation Using Coarse-to-Fine Region on Normalized RGB Chromaticity Diagram for Face Detection", IEICE Transactions on Information and Systems, 2008

저자 소개

서 용 호(정회원)



강사

- 1999. KAIST 전산학 학사
 - 2001. KAIST 전자전산학 석사
 - 2007. KAIST 전자전산학 박사
 - 2007. 미국 MS로보틱스그룹 인턴연구원
 - 2008. 미국 쉐일드 과장
 - 2009. 남서울대학교 컴퓨터학과 전임
 - 2010~현재 목원대학교 지능로봇공학과 전임강사
- <주관심분야 : 지능로봇, 휴머노이드, 유비쿼터스 컴퓨팅, 임베디드시스템>