

이동형 머니플레이터의 숫자버튼 조작을 위한 시각제어 시스템 개발

박민규*, 이민철#, 주원동*

Development of a Visual Servo System in a Mobile Manipulator for Operating Numeral Buttons

Min Gyu Park*, Min Cheol Lee# and Won Dong Joo*

ABSTRACT

A service robot is expected to be useful in indoor environment such as a hotel, a hospital and so on. However, many service robots are driven by wheels so that they cannot climb stairs to move to other floors. If the robot cannot use elevators. In this paper, the mobile manipulator system was developed, which can operate numeral buttons on the operating panel in the elevator. To perform this task, the robot is composed of an image recognition module, an ultrasonic sensor module and a manipulator. The robot can recognize numeral buttons and an end-effector in manipulator by the vision system. The Learning vector quantization (LVQ) algorithm is used to recognize the number on the button. The barcode mark on the end-effector is used to recognize the end-effector. The manipulator can push numeral buttons using informations captured by the vision system. The proposed method is evaluated by experiments.

Key Words : mobile manipulator (이동형 머니플레이터), visual servo system (시각제어 시스템), operating numeral button (숫자버튼 조작), learning vector quantization (학습 벡터 양자화)

1. 서론

이동형 로봇에서 시각 센서는 주변 환경에 대해서 직접적인 접촉 없이 측정할 수 있고 인간의 시각과 같은 역할을 하기 때문에 동적 환경에서 작업을 수행하는데 중요한 역할을 담당한다.¹ 특히 시각 센서에서 얻은 정보를 통해 로봇의 동작을 제어하는 시각제어(visual servoing)를 이용하면 이동 로봇

의 활용영역은 더욱 넓어진다. 시각 센서를 가지는 서비스 로봇은 병원, 호텔 등에서 환자 및 방문객 안내용도우미 로봇으로 유용하게 사용될 수 있다.

한편 대표적인 서비스 로봇 형태인 바퀴 구동(wheel vehicle) 방식의 로봇은 계단을 오를 수 없어 층간 이동이 자유롭지 못하고 단층에서만 작업이 가능하다는 단점을 가지고 있다. 바퀴 구동 방식의 로봇이 빌딩 내에서 층간 이동을 하기 위한 방법으

접수일: 2003년 11월 7일; 게재승인일: 2004년 4월 9일

* 부산대학교 지능기계공학과 대학원

교신저자: 부산대학교 기계공학부

E-mail: mclee@pusan.ac.kr, Tel: (051) 510-2439

로 빌딩 내에 설치되어 있는 엘리베이터를 이용하여 원하는 층으로 이동하는 방법이 있다. 이를 구현하기 위해서는 로봇이 스스로 엘리베이터의 버튼을 인식하고 이를 조작할 수 있는 시각제어 기술이 요구된다.^{2,4}

본 연구에서는 이동로봇의 자유로운 층간 이동을 위한 기본 연구로서 이동로봇에 다관절 머니플레이터와 영상인식 모듈을 장착하고 이를 통해 엘리베이터의 조작판과 유사한 형태의 숫자 판의 조작이 가능하도록 시각제어(visual servo control) 알고리즘을 개발한다. 이를 위해 주위환경을 검출하기 위한 기본적인 센서로 CCD 카메라를 장착하고, 시각 센서를 통해 검출된 정보를 이용하여 숫자버튼을 인식할 수 있는 영상인식 모듈을 구성한다. 버튼의 숫자인식을 위해서는 CCD 카메라로부터 들어오는 입력 영상을 분석하여 영상 평면상에서 버튼영역을 추출하는 방안을 제안한다. 추출한 버튼영역으로부터 숫자영역을 분리하고 분리된 버튼상의 숫자를 인식한다. 영상 평면상의 버튼의 위치와 초음파 센서에 의해 검출된 벽면과 로봇과의 상대적인 거리를 이용하여 기하학적으로 3차원 공간상의 버튼의 위치를 추출한다. 머니플레이터의 끝단(end-effect) 부분에 바코드(barcode) 형태의 마크를 표시하여 영상 좌표 상에서 그 위치정보를 추출하고 이를 머니플레이터의 위치 제어에 사용한다. 영상 평면상에 원하는 버튼의 위치로 머니플레이터 끝단의 위치가 수렴하도록 머니플레이터를 제어함으로써 로봇은 버튼을 누를 수 있다.

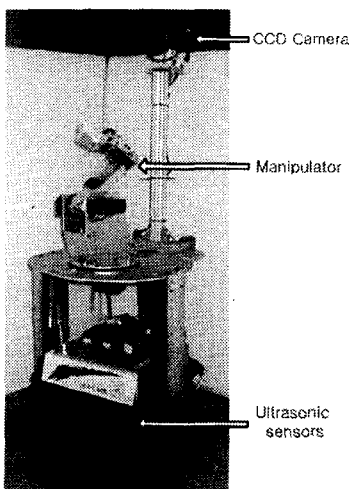
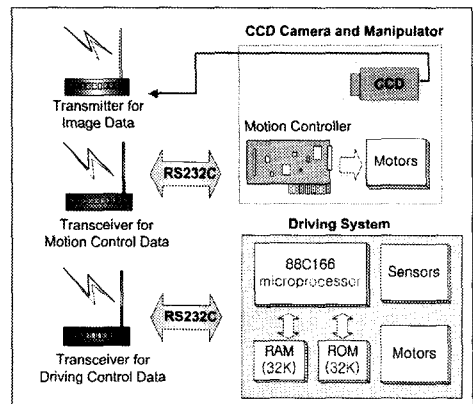


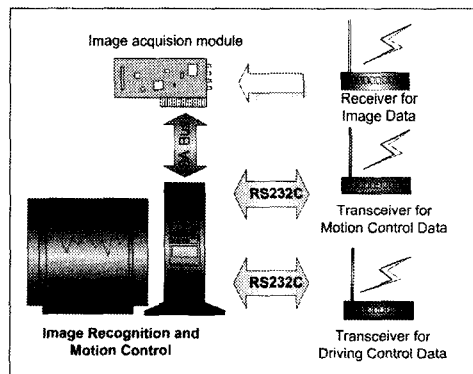
Fig. 1 Structure of the mobile manipulator

2. 이동형 머니플레이터의 구조 및 동작

개발된 이동형 머니플레이터의 외관은 Fig. 1과 같으며 CCD 카메라, 머니플레이터, 초음파 센서, 무선 통신 모듈 등으로 구성되어 있다. 영상획득 모듈의 CCD 카메라는 로봇 상판으로부터 80cm 높이에 장착되어 있으며 640 × 480의 해상도를 지원한다. Fig. 2는 개발된 로봇 시스템의 구성을 보여준다. 로봇은 크게 Fig. 2 (a)의 이동형 머니플레이터 시스템과 Fig. 2 (b)의 제어 및 모니터링 시스템으로 나뉜다. 제어 및 모니터링 시스템은 세 조의 무선 송수신기에 의해 이동형 머니플레이터 시스템과 통신을 하며 영상인식, 로봇의 경로 계획, 머니플레이터의 궤적 생성 등을 수행한다. CCD 카메라에 의해 획득된 영상은 무선 영상 송수신 모듈을 통해 제어 및 모니터링 시스템에 전달된다.



(a) Mobile manipulator system



(b) Control and monitoring system

Fig. 2 Structure of mobile manipulator system

로봇 전면에는 8조의 초음파 센서가 장착되어 있으며 이는 로봇이 이동할 때 장애물을 검출하여 회피하면서 목표점에 도달하기 위해 사용되며, 로봇이 엘리베이터의 조작 패널을 조작 할 때는 패널과 자신과의 거리를 측정하는데 사용된다.

로봇은 숫자버튼 조작을 위해 CCD 카메라로부터 획득된 조작 패널의 영상을 분석하여 패널에 배열된 버튼들의 숫자 및 위치를 인식한다. 또한 머니플레이터의 끝단 위치를 검출하고, 그 끝단이 목표 버튼의 위치에 놓이도록 머니플레이터를 제어함으로써 로봇은 원하는 숫자버튼을 누르는 동작을 수행할 수 있다. 영상인식 과정에서 CCD 카메라로부터 획득된 영상을 이진화 하기 위해 반복적 임계값 설정방법(iterative thresholding method)을 사용하였으며, 버튼이나 머니플레이터 등의 오브젝트(object)를 검출하기 위해 레이블링(labeling)작업을 한다. 레이블링 된 오브젝트의 기하학적인 특성을 이용하여 버튼영역을 찾고 버튼 영역내의 숫자 영역을 추출하여 LVQ 알고리즘에 의한 숫자인식을 하게 된다. 머니플레이터의 끝단인식을 위해 끝단 부분에 바코드 마크를 표시하고 이를 통해서 머니플레이터의 끝단을 인식하게 된다. 인식된 머니플레이터 끝단의 위치가 목표 버튼의 위치를 추종하도록 머니플레이터의 각 관절을 순차적으로 제어함으로써 로봇이 원하는 숫자버튼을 누를 수 있다.

3. 영상인식을 통한 환경인식

로봇이 버튼 및 머니플레이터의 끝단을 인식하기 위해 CCD 카메라에 의해 획득된 영상을 통한 영상인식과정을 거치게 된다. 본 장에서는 영상인식을 위한 전처리 과정인 영상의 이진화 처리 및 레이블링, 엘리베이터의 버튼영역 추출, 버튼영역에서 숫자영역 분리, LVQ에 의한 숫자인식, 그리고 머니플레이터의 끝단인식 과정을 설명한다.

3.1 입력 영상의 이진화

로봇은 숫자버튼을 인식하고 머니플레이터의 끝단의 위치를 추출하는데 이러한 과정은 실시간으로 이루어 져야 한다. 한편 정보량이 많은 칼라 영상처리 방법이나 명암 영상처리 방법은 계산량이 많기 때문에 실시간성을 가지는 고속영상처리 시스템에 적용하기가 힘들다. 반면 문자나 도면, 물체의 외형 등에서 보면 대부분 대상 물체는 이진영상으

로 식별이 가능하며, 이진 영상인식은 최소한의 정보만으로 문자나 사물을 인식하기 때문에 인식 속도가 빠르며 실시간 구현이 용이하다. 특히 영상인식을 서비스 로봇에 적용하기 위해서는 실시간성이 중요한 요구 조건이 된다. 따라서 본 영상인식 시스템은 흑백 명암을 이진화 한 이진 영상처리방식을 이용한다.

영상의 명암 정보를 가지는 흑백 영상은 임계값을 기준으로 이진화 된다. 본 연구에서는 입력영상에 대한 최적의 임계값을 얻기 위해 반복적으로 임계값을 추정하는 반복적 임계값 결정 방법을 사용한다.⁵ 최초의 임계값은 영상의 평균 밝기로 설정되고 이를 통해 만들어진 이진 영상은 더 나은 임계값을 선택하는데 쓰이며, 그 과정은 다음과 같다.

Step 1 Fig. 3과 같이 영상의 평균 밝기를 임계값의 처음 추정치 τ 로 선정한다.

Step 2 추정 임계값 τ 를 이용하여 영상을 2개의 영역 R_1 과 R_2 로 구분 한다.

Step 3 영역 R_1 과 R_2 의 평균 그레이 값 μ_1 과 μ_2 를 구한다.

Step 4 새로운 임계값을 식 (1)을 이용하여 결정한다.

$$T = \frac{1}{2} (\mu_1 + \mu_2) \tag{1}$$

Step 5 평균 그레이 값 μ_1 과 μ_2 가 더 이상 변하지 않을 때까지 Step 2 에서 Step 4까지를 되풀이한다.

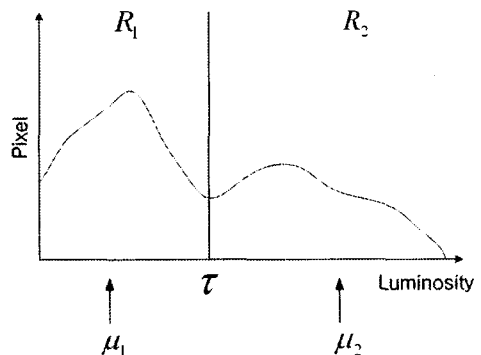


Fig. 3 Iterative thresholding method

3.2 오브젝트 추출을 위한 레이블링

영상에서 각 물체를 추출할 때 화소들이 서로 연결되어 있는지 떨어져 있는지를 조사하는 과정이 요구되는데 이 과정을 레이블링(labeling)이라 한다.⁶ Fig. 4와 같이 연결되어 있는 모든 화소(연결 성분)에 같은 라벨을 붙이고, 다른 성분에는 다른 라벨을 붙이는데 이 과정을 통하여 물체들을 개개의 연결 성분으로 나눌 수 있고, 각 연결 성분의 특성을 조사할 수 있다. 레이블링에 의한 영상처리 과정은 다음과 같다.

Step 1 영상을 살펴 라벨이 붙지 않은 화소 P를 발견하고, 새로운 라벨을 붙인다.

Step 2 화소 P와 연결되어 있는 화소에 같은 라벨을 붙인다.

Step 3 라벨이 붙여진 화소와 접하는 화소를 찾아 같은 라벨을 부여한다.

Step 4 라벨을 붙여야 할 화소가 없어질 때까지 Step 3을 반복한다. 이것으로 하나의 연결성분 전체에 같은 라벨을 붙일 수 있게 된다.

Step 5 모든 화소에 라벨이 붙여질 때까지 Step 1, Step 2, Step 3, Step 4를 반복한다.

3.3 버튼영역과 숫자영역의 위치 검출

버튼 형태의 기하학적인 특징인 크기, 가로 길이와 세로 길이의 비율 등에 제약 조건을 두어서 버튼을 인식하는 방법을 제안한다. Fig. 5는 숫자버튼 인식을 위해 사용된 영상들의 예를 보여준다. 로봇이 숫자버튼의 조작을 위해 조작 패널 앞에 위치했을 때 획득된 영상 상의 숫자버튼은 거의 동일한 크기의 정사각형 형태이다. 따라서 레이블링 된 오브젝트 중 다음의 조건을 모두 만족하는 오브젝트를 버튼이라 판단한다.

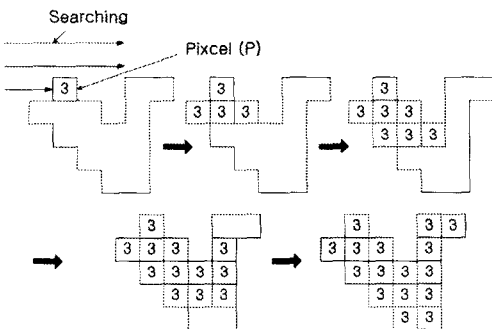


Fig. 4 Labeling process

조건 1: 각 버튼의 크기는 일정 범위 안에 있으므로, 각 버튼의 가로 폭(W_i) 크기는 아래의 조건식을 만족한다.

$$30 < W_i < 100 \text{ Pixel}$$

조건 2: 버튼은 정사각형 형태이므로, 영상 왜곡을 감안하여 각 버튼의 가로와 세로의 비율은 아래의 조건식을 만족한다.

$$W_i < 1.5 \times H_i \text{ and } H_i < 1.5 \times W_i$$

위 조건식에서 W_i 와 H_i 는 각 오브젝트의 최대 가로 세로 길이이다. 레이블링 된 오브젝트 중 위 조건식을 만족하는 오브젝트를 버튼이라고 판단한다. 버튼 추출 과정에서 버튼이 아닌 오브젝트가 버튼으로 인식 될 수도 있는데 오인식된 버튼은 다음 단계인 LVQ를 이용한 숫자인식을 통해 버튼이 아닌 것으로 확인된다.

3.4 LVQ에 의한 숫자인식

숫자인식을 위해서는 버튼 내에서 숫자 영역만을 추출하는 과정이 선행 되어야 한다. 이를 위해서 버튼으로 판단된 각 오브젝트의 픽셀들을 수직 열 방향과 수평열 방향으로 탐색한다. 이 과정에서 버튼내의 픽셀 값을 참고하여 숫자에 외접하는 사각형을 추출할 수 있으며, 이는 숫자인식을 위한 입력으로 사용된다.

본 연구에서는 다양한 폰트의 숫자를 실시간으로 빠르게 인식하기 위한 방법으로 LVQ 알고리즘을 사용하였다. LVQ 알고리즘은 잡음이나 왜곡, 크기의 다양성, 위치의 변화 등에 잘 적응할 수 있으며 특히 계산량이 적어 실시간 인식에 유리하다.^{7,8}

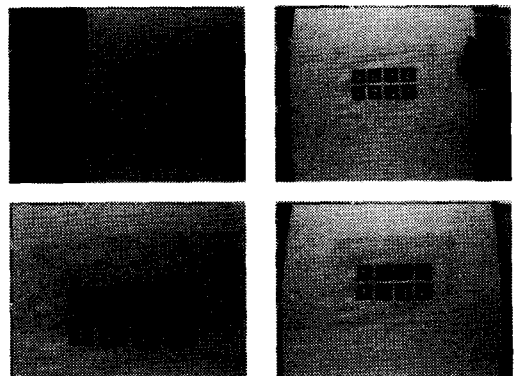


Fig. 5 Images for searching buttons

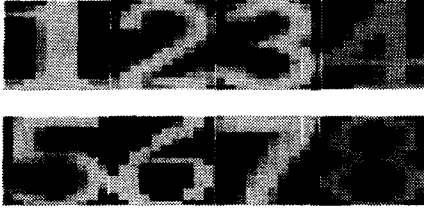


Fig. 6 Reference pattern in LVQ algorithm

LVQ는 입력패턴 X 를 C 개의 출력층으로 클러스터링(clustering)하는 네트워크로 K-mean 알고리즘 및 Kohonen의 SOM(self-organizing map)과 유사하다. 그러나 학습 방법에 있어서 입력벡터와 참조벡터에 대하여 군집의 유사성 여부를 결정하여 그에 맞게 참조패턴을 갱신한다는 점이 다르다. LVQ는 입력층과 출력층을 가지는 네트워크 구조를 가지는데 입력층에는 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$ 으로 구성된 패턴벡터(pattern vector)가 입력되고, 출력층은 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_C\}$ 으로 구성된 참조벡터(reference vector)를 가진다. 학습을 위해서 입력패턴 벡터와 참조패턴 벡터들과의 거리를 계산하여 그 거리가 최소가 되는 i 번째 출력노드가 승자 노드가 되며 이 승자 노드에 연결된 참조패턴 v_i 에 대해서만 식 (2)에 있는 학습규칙에 의하여 학습을 한다.

$$v_{i,t+1} = v_{i,t} + \alpha_i(x_k - v_{i,t}) \quad (2)$$

여기서, $v_{i,t}$ 는 반복 과정에 있는 t 시점에서의 승자 참조패턴 벡터이며 α 는 학습률이다. 참조패턴의 초기값은 0과 1 사이의 임의의 난수로 결정하였다. 식 (2)는 학습을 반복함에 따라 참조패턴이 입력패턴을 추종함을 뜻한다.

학습을 위해 사용한 데이터는 22가지 글꼴(글림, 궁서, 돋움, 명조, 바탕, 산세리프, 샘물, 신명조, 안상수, 중고딕, 필기, 휴먼옛체, Arial, Courier, Fixdays, Impact, LED, Orbit-B, Symbol, Times New Roman, Verdana)로 총 176개의 숫자 영상 파일을 사용하였고 입력 영상의 크기를 20x30 pixel이 되도록 축소 또는 확대하여 사용하였다. 학습의 반복 횟수는 500회로 설정하였다. Fig. 6은 학습을 통해 생성된 숫자의 참조패턴을 보여준다. 로봇은 입력 영상에서 원하는 숫자버튼을 찾기 위해, 숫자영역의 이진화 된 픽셀 값들과 참조패턴 벡터들과의 거

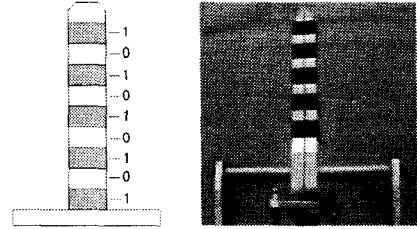


Fig. 7 End-effect with barcode

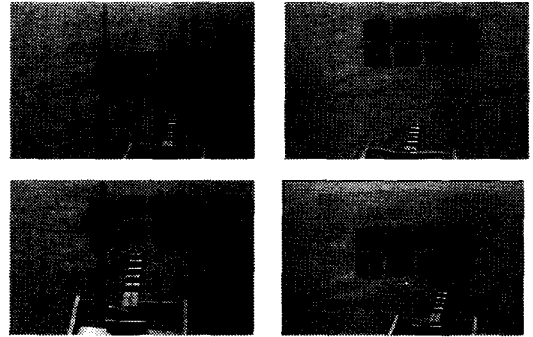


Fig. 8 Images for searching the end-effect

리를 계산하여 그 거리가 최소가 되는 참조패턴을 검출한다. 이때 검출된 참조패턴 벡터의 거리가 인식 숫자가 된다.

3.5 머니플레이터의 끝단인식

머니플레이터의 끝단을 인식하기 위해 Fig. 7과 같이 바코드(bar code)형태의 마크를 사용하였다. 영상인식 과정에서 머니플레이터가 버튼을 가리지 않도록 머니플레이터의 초기 위치는 항상 버튼의 밑에 있도록 설정하였다. Fig. 8은 머니플레이터 인식을 위해 추출된 영상의 예를 보여준다. 바코드를 인식하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

Step 1 머니플레이터의 초기 위치는 숫자버튼 아래에 있으므로 레이블링 된 오브젝트 중 버튼 영역 아래에 있는 오브젝트를 찾는다.

Step 2 바코드의 크기는 거의 일정하므로 step 1에서 검색된 오브젝트 중 픽셀의 개수가 30에서 40개가 되는 오브젝트를 찾는다.

Step 3 step 2에서 검색된 오브젝트 중 일정한 간격으로 5개가 배열된 오브젝트의 열을 찾는다.

Step 4 step 3에서 검출된 오브젝트의 열 중에 가장 위에 있는 오브젝트의 위치를 로봇 끝단의 위치로 설정한다.

4. 머니플레이터의 시각제어

로봇이 머니플레이터를 통해 원하는 숫자의 버튼을 누르기 위해 영상으로부터 추출된 영상 평면상의 버튼 및 머니플레이터 끝단의 위치 정보를 이용한다. 이미 알고 있는 CCD 카메라의 특징을 이용하여 버튼의 위치를 추정하는데, 이때 초음파 센서에 의해 측정된 조작 패널과 로봇과의 거리를 이용한다. 머니플레이터가 버튼을 누르기 위해 제어되는 관절은 머니플레이터의 베이스에서 θ_1 방향으로 회전 운동을 하는 제1관절과 첫 번째 링크를 θ_2 방향으로 회전시키는 제2관절, 두 번째 링크를 θ_3 방향으로 회전시키는 제3관절이다. 로봇은 각 관절을 순차적으로 제어하는데 제1관절, 제3관절, 제2관절의 순서로 관절을 제어한다.

4.1 머니플레이터의 제1관절 제어

머니플레이터의 제1관절은 θ_1 방향의 운동을 한다. Fig. 9는 위에서 내려다 본 카메라와 대상 물체와의 관계를 보여준다. 실제 환경에서는 영상 평면과 조작 패널이 정확하게 평행하지는 않으나 이로 인한 오차는 무시할 수 있을 만큼 작으므로 영상평면과 조작 패널은 평행하다고 가정하며 영상의 왜곡에 따른 오차는 무시한다.

카메라의 위치를 원점으로 하는 관성 좌표계 상의 버튼의 X 방향 좌표를 B_x 라 두고, CCD 카메라에 의해 획득된 영상 평면상에 버튼의 좌표 값을 b_x 라 할 때 기구학적으로 관계식 (3)이 성립한다.

$$B_x = (b_x \times D \tan \frac{\alpha}{2})/320 \quad (3)$$

여기서 D 는 카메라에서 엘리베이터 버튼까지의 거리인데 로봇 전면의 초음파 센서를 통해 검출되며 α 는 카메라의 시야각으로 CCD 카메라의 고유한 특성이다. 이때 θ_1 은 식 (4)와 같은 기구학적 관계를 가진다.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{B_x}{D-a} \right) \quad (4)$$

여기서 a 는 카메라와 머니플레이터 중심축 사이의 거리이며 항상 일정한 값을 가진다. 머니플레이터가 버튼을 누르는 동작의 첫 단계로서 θ_1 이 식 (4)를 만족하는 값을 가지도록 제1관절을 제어한다.

Fig. 10은 식 (4)에 의해 θ_1 이 결정될 때 관절을 제어하는 제어구조를 보여준다. 시간에 따른 θ_1 의 디지털 궤적은 제어 및 모니터링 시스템에서 생성되는데 이 때 선형 보간법이 사용된다. 생성된 궤적은 무선 통신 모듈을 통해 로봇의 머니플레이터 제어기에 전달된다. 머니플레이터의 제어기는 PID 제어에 의해 각 관절의 모터를 제어하는데 이 때 관절의 회전 변위를 측정하는 센서로 전위차계 (potentiometer)가 사용되었다. 제2관절과 제3관절의 제어 또한 Fig. 10과 동일한 제어구조로 제어된다.

4.2 머니플레이터의 제3관절, 제2관절의 제어

Fig. 11에서 카메라의 중심을 원점 (0, 0)으로 하는 좌표계에서, 좌표 $B(B_z, B_y)$ 는 식 (5), 식 (6)과 같다.

$$B_z = D \quad (5)$$

$$B_y = -\tan(\gamma - \beta)D \quad (6)$$

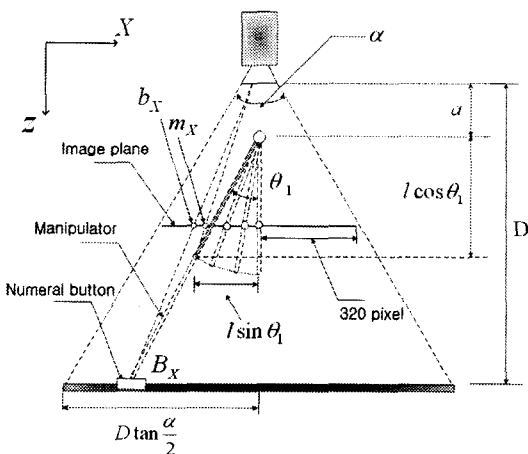


Fig. 9 Top view of the camera and objects

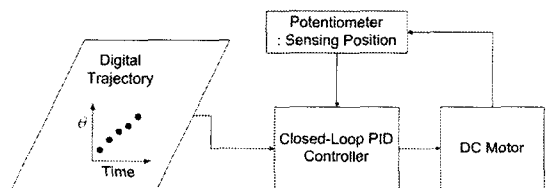


Fig. 10 Control architecture for a manipulator

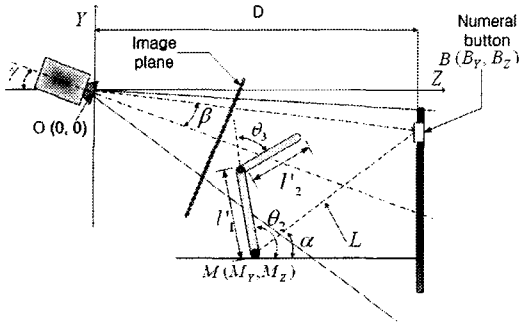


Fig. 11 Left view of the camera and objects

머니플레이터 베이스의 좌표 M 과 목표 버튼의 좌표 B 사이의 거리 L 과 x 축에 대한 각도 α 는 식 (7), 식 (8)과 같다.

$$L = \sqrt{(B_Y - M_Y)^2 + (B_Z - M_Z)^2} \quad (7)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{M_Y - B_Y}{M_Z - B_Z} \right) \quad (8)$$

Fig. 11에서, 머니플레이터는 X 축으로 θ_1 만큼 회전하므로, 머니플레이터의 링크 길이가 l_1, l_2 일 때 YZ 평면에서는 l'_1 과 l'_2 는 각각 $l'_1 = l_1 \cos \theta_1$, $l'_2 = l_2 \cos \theta_1$ 이 된다. 머니플레이터가 버튼을 누르기 위해서 θ_2 와 θ_3 는 식 (9), 식(10)의 기하학적 관계식을 만족하여야 한다.

$$l'_1 \cos \theta_2 + l'_2 \cos(\theta_2 - \theta_3) = L \cos \alpha \quad (9)$$

$$l'_1 \sin \theta_2 + l'_2 \sin(\theta_2 - \theta_3) = L \sin \alpha \quad (10)$$

위 조건을 만족하는 θ_3 는 식 (11)과 같다.

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{L^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \right) \quad (11)$$

로봇의 제3관절이 식 (11)에서 구해진 각도 값을 가지도록 Fig. 10의 제어 구조에 의해 제어한다.

로봇의 제2관절 제어를 위한 θ_2 는 역기구학에 의해 구하지 않고 영상 평면에서 추출된 로봇 끝단

의 Y 방향 위치인 m_Y 가 버튼의 위치인 b_Y 를 추종하도록 제어한다. 즉 로봇은 제1관절과 제3관절을 역기구학을 통해 구해진 위치로 움직여 버튼을 누르기 위한 자세를 취한 후 제2관절을 동작하여 최종적으로 버튼을 누르는데 이 때는 기구학적 정보를 이용하지 않고 영상정보를 이용하여 영상에서 머니플레이터의 끝단이 목표 버튼의 위치에 추종하도록 하는 것이다. 영상 평면상의 끝단 위치가 식 (12)를 만족하는 방향으로 θ_2 를 제어함으로써 로봇이 버튼을 누를 수 있다.

$$|b_Y - m_Y| \leq \text{tolerance} \quad (12)$$

이는 기구학적인 해석과정에서 발생하는 오차나 초음파 센서 값에서 발생하는 오차를 보정하여 로봇이 정확하게 버튼을 누를 수 있도록 하기 위함이다. 일반적으로 엘리베이터 버튼의 크기는 $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ 정도이므로 실제 버튼을 누르는데 있어서 θ_1 과 θ_3 에 약간의 오차가 있다라도 로봇의 끝단은 버튼 위에 놓이게 된다. 하지만 버튼을 누르는 마지막 단계인 θ_2 에서 오차가 발생하게 되면 머니플레이터가 버튼에 미치지 못하거나 버튼을 과도하게 누르는 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 θ_2 는 기구학적 해석 결과를 이용하지 않고 영상인식을 통해 획득된 위치 정보를 이용하여 보다 정확하게 제어하게 된다. 제2관절의 궤적이 식 (12)를 만족하기 위해 궤적은 실시간 영상정보에 따라 실시간적으로 갱신 되며, 궤적이 생성될 때 제어 구조는 Fig. 10과 동일하다.

5. 실험 및 고찰

실험은 Fig. 12와 같은 모의 엘리베이터 환경에서 로봇이 장애물을 회피하며 조작 패널로 이동하도록 하였다. Fig. 13은 실험 중인 로봇의 사진을 보여준다. 주행을 위해서 가상 퍼텐셜(artificial potential) 기법을 이용해 엘리베이터 내에 사람이나 장애물이 있더라도 이를 피해 엘리베이터의 버튼의 위치를 추종할 수 있도록 하였다.⁹⁻¹¹

제안된 방법을 검증하기 위하여 로봇이 영상인식을 통해 특정 번호를 가진 버튼을 추종하는 실험을 수행하였다. Table 1은 실험 결과 나타난 각 숫자별 인식률을 보여준다. 각 숫자별 인식률을 살펴

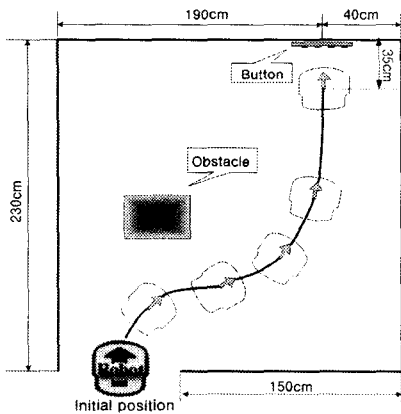


Fig. 12 The environment for the experiments

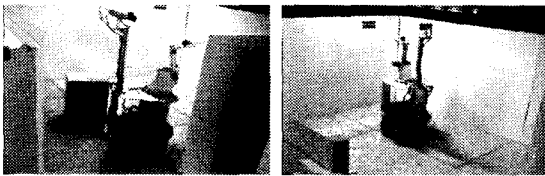
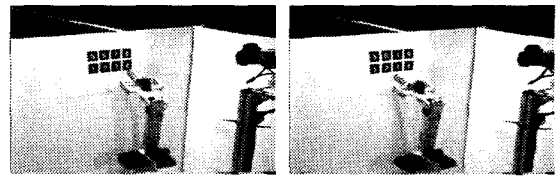
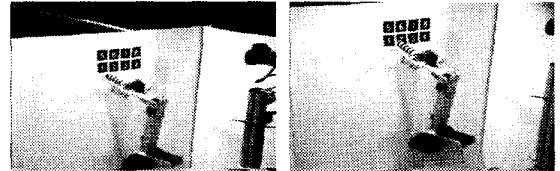


Fig. 13 Pictures for the navigation



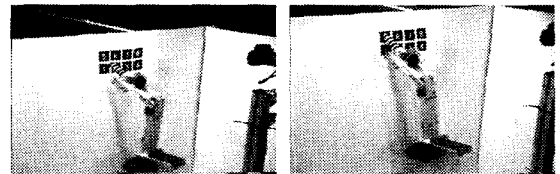
(a) Time = 0sec

(b) Time = 1.5sec



(c) Time = 3sec

(d) Time = 4sec



(e) Time = 4.5sec

(f) Time = 6sec

Fig. 14 Pictures for operating a numeral button

Table 1 The results of the experiments for recognizing numeral buttons

Number	Success	Fail	Success rate
1	45	5	90%
2	49	1	98%
3	48	2	96%
4	45	5	90%
5	45	5	90%
6	48	2	96%
7	48	2	96%
8	43	7	86%
Total	371	29	92.75%

Table 2 The results of the experiments for pushing buttons

Position of button in x-axis	Success	Fail	Success rate
-7cm	45	5	90
-3cm	49	1	98
0	50	0	100
3cm	48	2	96
7cm	43	7	86
Total	235	15	94.0%

보면 숫자 '8'의 경우 인식률인 86%로 최저 인식률을 보였으며, 숫자 '2'의 경우는 98%로 최대 인식률을 보였다. 이는 '8'과 같이 영상 평면상의 가장 자리에 있을 경우 CCD 카메라의 특성에 따른 왜곡 현상의 이유로 인식률이 상대적으로 떨어지고, '2'와 같이 영상 평면상의 중앙에 있는 버튼은 왜곡 현상이 없어 비교적 높은 인식률을 보여준다.

영상인식을 통한 버튼인식이 성공하였을 경우에 한하여 로봇이 머니플레이터를 통해 버튼을 누르는 실험을 하였다. 그림 8의 x축 방향으로 버튼의 위치를 변화시키며 각 50회씩 시각 제어 실험을 수행하였다. Table 2에서 첫 열은 로봇의 중심을 원점으로 할 때 버튼의 x축 상에서의 좌표를 나타낸다. 버튼의 x축에 대한 위치 값이 0일 때 로봇은 100%의 성공률로 버튼을 조작하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 버튼이 로봇의 중심에서 x축을 따라 멀어지면서 버튼 조작 성공률이 낮아짐을 확인할 수 있다. 이는 버튼의 위치가 로봇의 중심에서 벗어날수록 영상처리 및 제어 알고리즘을 통해 추출되는 버튼의 위치가 오차를 가지기 쉽기 때문인 것으로 판단된다. 향후 버튼 조작 성공률을 향상시키기 위해서는 획득되는 영상의 왜곡을 보완하는 알

고리즘과 로봇과 숫자판 사이의 거리를 정확하게 예측하기 위한 시스템이 개발되어야 할 것이다. Fig. 14는 로봇이 숫자버튼 '5'를 누르는 동작을 시간에 따라 보여준다. 버튼 하나를 조작하는데 소요되는 시간은 6초 정도이며 로봇이 각 관절을 순차적으로 제어함으로써 버튼을 누르는 것을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 엘리베이터의 조작이 가능한 이동형 머니플레이터 개발을 위한 기초 연구로서 시각제어에 의한 숫자버튼 조작 알고리즘을 개발하였다. 제안된 영상처리 방법으로 엘리베이터의 버튼을 성공적으로 인식하였고, 실시간성이 요구되는 이동 로봇에서 효과적으로 로봇이 숫자버튼을 누를 수 있음이 확인되었다. 이를 통해 서비스 로봇이 엘리베이터의 버튼을 조작함으로써 층간 이동 안내 서비스나 층간 이동 작업 등을 수행할 수 있는 가능성을 제공하였다. 향후 숫자버튼 조작 성능을 위해서는 영상의 왜곡을 보완할 수 있는 알고리즘과 로봇과 버튼 사이의 거리를 보다 정확하게 예측할 수 있는 시스템의 개발이 요구된다.

후기

본 연구는 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음

참고문헌

- Hager, D. and Corke, P. I., "A Tutorial on Visual Servo Control," *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, Vol.12, No.5, pp. 651-670, 1996.
- Song, K. T. and Wu, T. Z., "Visual servo control of a mobile manipulator using one-dimensional windows," *IECON '99 Proceedings*, Vol. 2 pp. 686-691, 1999.
- Luo, R. C. and Chen, T. M., "Supervisory control of multisensor integrated intelligent autonomous mobile robot via Internet," *Proc. of the 2nd IEEE International Cnference on Intelligent Processing System*, Gold Coast Australia, pp. 12-16, Aug. 1998.
- Nagatani, K. and Yuta, S., "Designing a behavior of a mobile robot equipped with a manipulator to open and pass through a door," *Robotics and Autonomous System*, Vol. 17, pp. 53-64, 1996.
- Gargasha, M. and Panchanathan, S. "Face detection from color images by iterative thresholding on skin probability maps," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Vol. 5, pp. 673-676, May 2002.
- Sanjay Gopal, S. and Hebert, T. J., "Maximum likelihood pixel labeling using a spatially variant finite mixture model," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 44 , pp. 1578 - 1582 Aug. 1997.
- Pitas, I., Kotropoulos, C., Nikolaidis, N., Yang, R. and Gabbouj, M., "Order statistics learning vector quantizer," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 5, No. 6, pp. 1048-1053, June 1996.
- Burrascano, P., "Learning vector quantization for the probabilistic neural network," *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 2, No. 4, pp. 458-461, July 1991.
- Park, M. G. and Lee, M. C. "Experimental Evaluation of Robot Path Planning by Artificial Potential Field Approach with Simulated Annealing," *SICE2002*, pp. 1718-1723, Aug. 2002.
- Lee, B. B., "Development of Potential-Function Based Motion Control Algorithm for Collision Avoidance Between Multiple Mobile Robots," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering* Vol. 15, No. 6, pp. 107-115, 1998.
- Cha, Y. Y. and Gweon, D. G., "A Local Path Planning Algorithm for Free-Ranging Mobil Robot," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering* Vol. 11, No. 4, pp. 88-98, 1994.