

스테레오 영상을 이용한 이동형 머니플레이터의 시각제어

Visual Servoing of a Mobile Manipulator Based on Stereo Vision

이현정, 박민규, 이민철*
(Hyun Jeong Lee, Min Gyu Park, and Min Cheol Lee)

Abstract : In this study, stereo vision system is applied to a mobile manipulator for effective tasks. The robot can recognize a target and compute the position of the target using a stereo vision system. While a monocular vision system needs properties such as geometric shape of a target, a stereo vision system enables the robot to find the position of a target without additional information. Many algorithms have been studied and developed for an object recognition. However, most of these approaches have a disadvantage of the complexity of computations and they are inadequate for real-time visual servoing. Color information is useful for simple recognition in real-time visual servoing. This paper addresses object recognition using colors, stereo matching method to reduce its calculation time, recovery of 3D space and the visual servoing.

Keywords : stereo vision, mobile manipulator, color information, stereo matching, computer vision, visual servoing

I. 서론

로봇의 기능이 보다 다양하고 복잡한 작업 방향으로 변해감에 따라 환경 인식의 정확성과 확장성이 중요시되고 있다. 시각 센서는 주변 환경에 대해서 직접적인 접촉 없이 물체 및 위치 인식을 용이하게 하고, 다른 센서에 비해 넓은 범위의 환경에 대한 다양한 정보를 제공한다.

스테레오 영상은 인간의 시각 체계와 유사한 원리로 물체의 거리를 추출해내고자 하는 컴퓨터 비전의 한 분야이다. 서로 다른 위치에 있는 카메라 두 대의 기하학적 특성을 기반으로 두 영상의 정합 과정을 통해 물체의 3차원 정보를 구해 낼 수 있다[1-3]. 하지만 처리 과정이 복잡하고, 계산량이 많다는 문제가 있어 실시간성을 높여줄 수 있는 연구가 요구된다[4].

본 연구에서는 영상 인식과 스테레오 정합 처리속도를 높일 수 있는 알고리즘을 제안하고, 스테레오 영상을 통해 획득한 거리정보를 기반으로 한 이동형 머니플레이터의 시각 제어 실험으로 실제 적용의 효용성을 검증한다. 물체의 형상을 이용하는 복잡한 영상 인식 과정을 간소화 하기 위해 색(color) 정보를 이용한다. 목표물의 특정한 색에 대한 정보를 조사하여, 입력영상에서 목표물의 색 정보와 유사한 정보를 가진 픽셀들을 목표물의 영역으로 간주한다. 스테레오 정합을 이용한 거리계측의 과정은 영상획득, 물체 인식, 특징점(feature point)추출, 스테레오 정합을 통한 일치점(matching point)검출, 두 카메라의 기하학적인 관계를 이용한 거리계산 순서로 이뤄진다. 본 연구에서 제안한 시각제어 알고리즘은 눈에 보이는 목표물의 거리와 방향을 인식하여 접근하는 동작과정을 단순화한 것으로 기구학 해석 없이 영상정보만을

사용하여 머니플레이터 끝단과 목표물사이의 위치오차를 허용오차 이내로 추종하도록 머니플레이터를 동작시킨다.

II. 이동형 머니플레이터의 시스템 구성

이동형 머니플레이터의 전체 시스템이 그림 1에서 보여진다. 이동형 머니플레이터 시스템과 PC사이에는 RS232C 및 영상 무선데이터 송수신 체계를 갖추고 있다. 머니플레이터 시스템은 영상 및 초음파 센서 데이터, 엔코더(encoder) 값 등을 PC로 송신하고, 로봇과 머니플레이터에 대한 제어 명령을 PC로부터 수신 받는다. 시스템은 다음의 세 부분으로 나눠 설명될 수 있다.

1. 이동 로봇

이동 로봇의 본체는 ActiveMedia사의 Pioneer II 모델로, 구동 전압 12V, 최대 허용전류 2.5A인 2개의 구동 서보 모터와 2개의 엔코더, 16조의 초음파 센서가 로봇에 장착되어있다. 초음파 센서는 25Hz 주기로 10cm~5m까지 측정 가능하다. 또한 PC와의 무선통신을 위해서는 InfoWave 9008/9208 무선 통신 모듈이 사용된다.

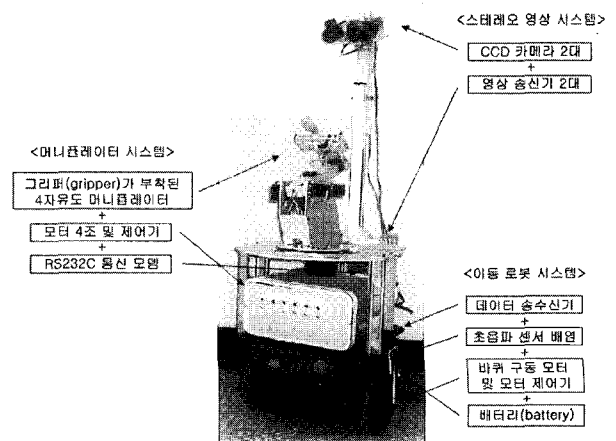


그림 1. 이동형 머니플레이터 시스템.

Fig. 1. System configuration of a mobile manipulator.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 8. 30., 채택확정 : 2004. 12. 29.

이현정 : 부산대학교 지능기계공학과(lhjeong@pnu.edu)

박민규 : 부산대학교 기계기술연구소(pmg@pnu.edu)

이민철 : 부산대학교 기계공학부(mclee@pnu.edu)

※ 본 연구는 정보통신부 대학 IT연구센터 육성, 지원사업의 연구 결과로 수행되었음.

표 1. 카메라 사양.

Table 1. Camera specification.

Camera Specification	
Image Sensor	1/3" Color CCD SONY
Effective Pixel	510(H) × 492(W)
Cell Size	9.6μm(H) × 7.5μm(W)
TV Type	NTSC
Sync. Type	Internal
Lens (Auto IRIS)	6-12mm Vari focal, F1.4

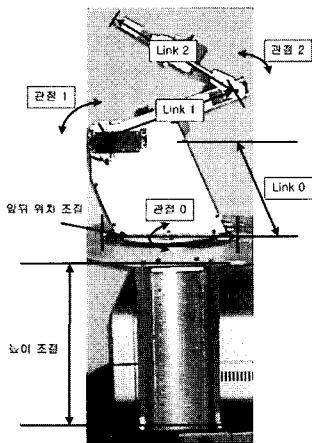


그림 2. 머니플레이터 형상.

Fig. 2. Figure of the manipulator.

2. 스테레오 영상 시스템

스테레오 영상 시스템은 로봇 후두부의 상판에서 60cm 높이에 설치된 두 대의 CCD카메라와 무선 영상 송신 모듈로 구성되어 있다. 카메라는 1/3인치 칼라 CCD카메라로 640×480의 해상도를 지원하며, 자동조리개 기능을 지원한다. 6~12mm사이에서 초점거리를 임의로 조절할 수 있으며, 본 실험에서는 머니플레이터의 작업 공간을 고려해 6mm로 설정하였다. 카메라 사양은 표 1과 같다.

3. 머니플레이터 시스템

머니플레이터는 4자유도로 3개의 축과 그리퍼(gripper)로 구성되어 있으며, 각 관절은 RC 서보 모터에 의해 구동되어진다. 총 4조의 모터 각각은 약 0.7°의 분해능을 가지며, -90°~90° 범위 내에서 제어가 가능하다. 로봇의 상판은 25~45cm까지 자유로이 높이 조절이 가능하며, 동시에 상부 프레임위의 머니플레이터 중심이 전후 10cm범위 내에서 위치 조절이 가능하도록 설계되었다. 머니플레이터의 모습이 그림 2에 보여지며, Link0, Link1, Link2의 길이는 각각 15, 20, 20cm이다.

III. 스테레오 영상을 이용한 물체 인식 및 3차원 거리정보 복원

머니플레이터 작업 수행에 필요한 목표물의 위치정보를 획득하기 위해, 색 정보를 이용해 목표물을 인식하고, 스테레오 정합을 통해 3차원 거리를 측정하는 영상 처리 과정을 거친다.

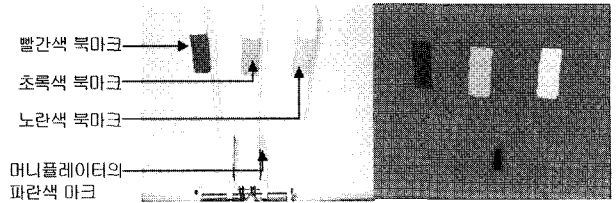


그림 3. 색 정보를 이용한 목표물 추출.

Fig. 3. Objects extraction by color information.

1. 색 정보를 이용한 물체 인식

본 논문에서는, 물체 영역을 검출하기 위해 그 물체의 색 정보를 이용한다. 목표물과 머니플레이터 끝단에 특정한 색을 갖는 마크(mark)를 부착하고, 목표물 영상에서 마크 영역 내 픽셀의 빨간색(R), 녹색(G), 파란색(B) 값에 대해 조사한다. 조사한 색깔 특성을 기반으로, 입력영상에서 마크와 유사한 색깔 특성(R, G, B)을 갖는 픽셀들을 추출하고 그 영역을 목표물로 간주한다. 전처리 과정에서 영상의 밝기를 재구성하는 처리방식으로 감도가 낮은 영상을 보다 세밀하게 표현해 주는 히스토그램 평활화를 적용한다[5]. 칼라 영상 기반에서 영상의 명도 값에 대해 히스토그램 평활화를 실행하였다. 실험에서 목표물로 사용한 책과 책에 부착된 마크, 머니플레이터 끝단에 부착된 마크와 색 정보를 이용해 추출된 마크 영상이 그림 3에 보여진다.

2. 특징점 추출

스테레오 정합(stereo matching)을 구현하기 위해 우선 영상에서의 특징점(feature points) 추출이 요구된다. 특징점은 그레이 영상에 대한 명암 값의 그레디언트(gradient) 크기와 그레디언트 변화율의 곱으로, (1)과 같이 표현되어지는 'cornerness'를 통해 검출될 수 있다[6]. 여기서 g_r , g_c 는 미분 연산자를 사용해 구한 행, 열 방향의 미분 값이다. 하지만 이 방법은 영상의 2차 미분 값에 의존하므로 잡음에 약하고 검출 실패율 또한 높다. 그래서 보다 안정적으로 검출하는 여러 가지 연산 알고리즘들이 개발되어 왔다. 본 연구에서는 가장 널리 사용되는 연산자 중 하나이며 사각형의 모서리 추출에 용이한 forstner operator를 사용한다[7,8]. forstner operator를 사용한 특징점 추출 과정은 다음과 같다.

$$C = \frac{g_r^2 g_c^2 - 2g_r g_c g_{rc} + g_c^2 g_{rr}}{g_r^2 + g_c^2} \tag{1}$$

• 단계 1 : 소벨 연산자(sobel operator)를 사용해 행, 열 방향의 미분 값(g_r , g_c)를 구한다.

• 단계 2 : g_r^2 , g_c^2 , $g_r g_c$ 를 구하고, $G[r, c] = \frac{-(r^2 + c^2)}{2\sigma^2} \cdot \frac{e^{-\frac{r^2 + c^2}{2\sigma^2}}}{2\pi\sigma^2}$ 와 같은 함수식을 갖는 가우시안 스무딩 필터(Gaussian Smoothing Filter)를 이용해 정규화(normalized)된 값 $\langle g_r^2 \rangle$, $\langle g_r g_c \rangle$, $\langle g_c^2 \rangle$ 를 구한다. 가우시안 함수에서 σ 는 필터의 폭을 조절하는 상수가 된다.

• 단계 3 : 단계 2에서 구한 값들을 이용해 각 픽셀에 대한 행렬 A를 작성한다.

$$A = \begin{bmatrix} \langle g_r^2 \rangle & \langle g_r g_c \rangle \\ \langle g_r g_c \rangle & \langle g_c^2 \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

• 단계 4 : (3), (4)와 같이 W(weight)와 C(cornerness)를 구한다. W와 C값이 비교 값(threshold value) W_{th} , C_{th} 보다 큰 픽셀들은 특징점이 될 수 있다. 실험에서 W_{th} 는 모든 픽셀에 대한 W값의 평균, C_{th} 는 0.9로 설정하였다.

$$W = \frac{Det(A)}{Trace(A)} \quad (3)$$

$$C = \frac{4 Det(A)}{Trace^2(A)} \quad (4)$$

• 단계 5 : 단계 4에서 검출된 점들 중 국부최대(local maximum)인 점들이 특징점이 된다. 그림 4의 왼쪽은 원영상이며 오른쪽 영상은 색 정보를 이용해 추출된 마크영상에서 특징점을 찾아낸 결과 영상이다.

3. 그레디언트 기반의 스테레오 정합

스테레오 정합은 목표물에 대해 한쪽 영상(왼쪽 영상)에서 특징점을 추출하고, 나머지 영상(오른쪽 영상)에서 그 일치점을 찾는 과정을 말한다. 본 연구에서는 처리속도가 빠른 특징기반 정합법의 하나로 그레디언트 기반 정합법을 사용한다. 그레디언트 기반 정합법은 왼쪽 영상 특징점의 그레디언트 벡터를 기준으로 오른쪽 영상에서 가장 유사한 그레디언트 특성을 갖는 픽셀을 조사하는 방식이다[8].

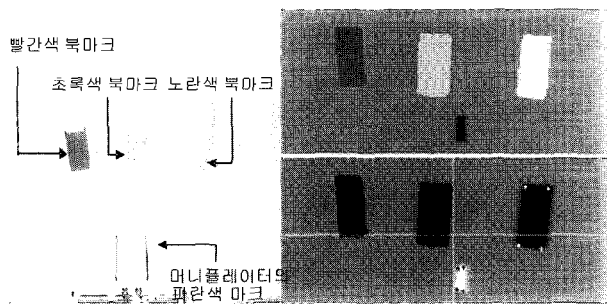


그림 4. 마니플레이터와 노란색 목표물의 특징점 추출.
Fig. 4. Feature points extraction from manipulator and a yellow target.

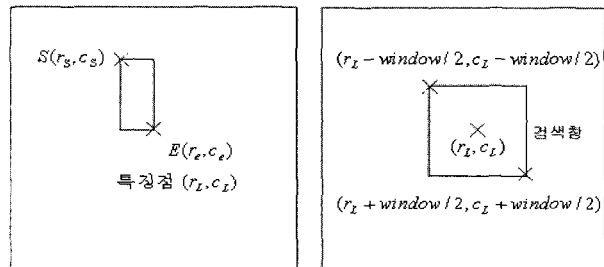


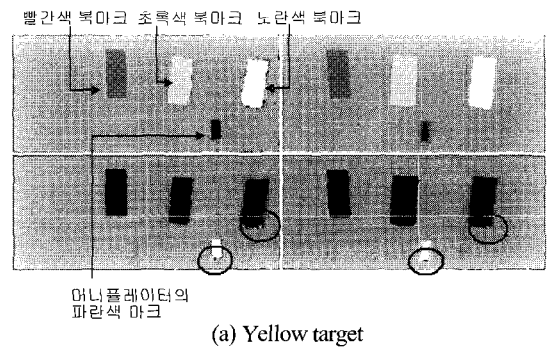
그림 5. 왼쪽 영상 특징점에 대한 오른쪽 영상에서의 검색 창.
Fig. 5. Searching window in the right image related to a feature point in the left image.

정합점 검출에 있어 본 연구에서는, 두 영상의 밝기차이로 인해 색깔 정보를 기반으로 추출된 좌, 우 영상의 마크영역이 정확히 일치되지 않으므로 생기는 검출 오류를 고려해, 좌, 우 특징점간의 정합이 아닌 탐색영역에서의 특징점 검출 방식을 사용하였다. 이때 효율적인 검색을 위해 그림 5에 보여 지는 검색창(searching window)과 마찬가지로 오른쪽 영상의 전 영역에 대해 유사성을 검사하기 보다는 특정 크기의 검색창 영역 내에서 일치점을 검사하게 된다.

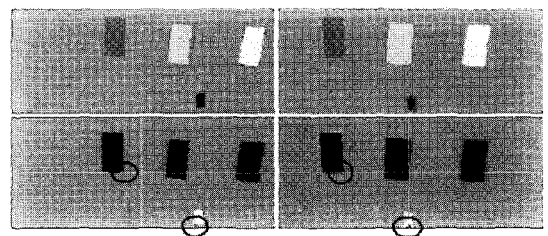
본 논문에서는 검색창의 크기가 고정되어 발생할 수 있는 문제를 해결하고 연산시간의 효율을 증가시킬 수 있는 알고리즘을 제안한다. 물체가 카메라에 가까이 있을 때 열간 위치 차이가 크므로 오른쪽 영상에서 일치점을 검출하기 위해서는 상대적으로 큰 검색창이 요구된다. 반대로 물체가 멀리 있을 때는 열간 위치 차이가 작으므로 작은 검색창으로도 충분하며, 불필요하게 큰 검색창은 연산 시간을 증가시키게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 물체가 카메라에 가까운 정도에 따라 검색창의 크기를 가변시키는 방식으로 수행한다. 목표물의 마크가 직사각 형태임을 이용해 목표물 영역의 시작점 $S(r_s, c_s)$ 와 마지막점 $E(r_e, c_e)$ 로 영역의 크기를 계산한다. 검색창의 크기를 결정하는 수식은 (5)와 같으며, a 는 실험적으로 결정되는 비례상수다. 이렇게 결정된 검색창 내의 픽셀들에 대한 특징점과의 유사도를 조사해 일치점을 검출한다. 그레디언트 값을 기반으로 한 유사도(S)는 (6)과 같다.

$$window = a(|r_s - r_e| \times |c_s - c_e|) \quad (5)$$

$$S = -\alpha |g_L(\text{left matching point}) - g_R(\text{row, column})| \quad (6)$$



(a) Yellow target



(b) Red target

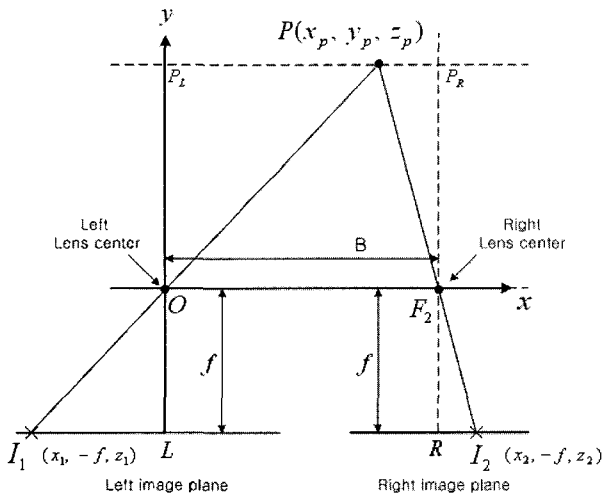
그림 6. 마니플레이터와 목표물들에 대한 일치점 검출.
Fig. 6. Detecting matching points of manipulator and targets in stereo images.

g_L (left matching point)은 왼쪽 영상 특징점에 대한 그래디언트 값이고, g_r (row, column)은 왼쪽 영상 특징점의 픽셀 위치(r_L, c_L)을 중심으로, 오른쪽 영상의 ($r_L - window/2, c_L - window/2$)와 ($r_L + window/2, c_L + window/2$)사이의 각 픽셀들에 대해 구한 그래디언트 값이다. 이 픽셀들 중 유사도가 가장 큰 픽셀을 오른쪽 영상에서의 일치점으로 간주한다. α 는 임의로 설정되는 상수 값이다. 그림 6에서는 머니플레이터 끝단과 노란색 목표물 마크, 머니플레이터 끝단과 빨간색 목표물 마크에 대한 좌, 우 영상에서 찾은 일치점에 대한 결과가 보여진다.

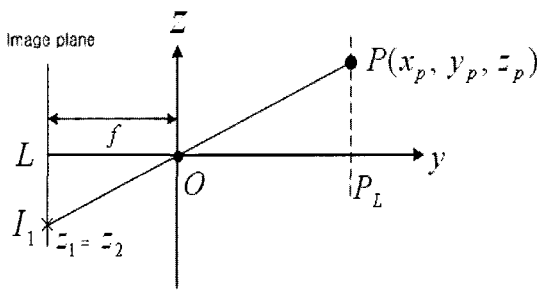
4. 3차원 거리정보 복원

좌 · 우 영상에서의 일치점 위치차이는 카메라에서 물체가 얼마나 멀리 있는가를 나타내주는 척도가 된다. 위치 계측의 신뢰성을 높이기 위해 전처리 과정에서 라인매칭(line matching)을 통한 영상의 평행화(rectification)를 수행한다. 계산에 필요한 변수는 다음과 같다.

- 영상평면에서의 일치점 : 왼쪽 특징점(x_1, z_1)
오른쪽 특징점(x_2, z_2)
- 카메라의 초점 거리(focal length) : 6 mm
- 픽셀 크기(cell size) : $9.6 \mu\text{m(H)} \times 7.5 \mu\text{m(W)}$
- 두 카메라 렌즈사이의 거리 : 65 mm



(a) Top view



(b) Side view

그림 7. 영상 평면과 카메라의 기하학적 특성.
Fig. 7. Geometric relationship between cameras and image planes.

그림 7에서 xyz 는 왼쪽 카메라 렌즈의 중심을 원점으로 하고, 왼쪽 카메라에서 오른쪽 카메라로 수평으로 향하는 방향을 x 축, 카메라에서 정면의 목표물로 향하는 방향을 y 축, 위로 수직인 방향을 z 축으로 하는 전역 좌표계이다. 좌표 $P(x_p, y_p, z_p)$ 는 물체의 위치이고, I_1 과 I_2 는 영상평면에 맺힌 물체의 위치, B 는 두 카메라 렌즈사이의 거리, f 는 초점 거리이다. (7)은 그림 7(a)에서 $\triangle PI_1I_2$ 와 $\triangle POF_2$ 의 닮음에 의해, (8)은 $\triangle OI_1L$ 와 $\triangle OPP_L$ 의 닮음에 의해, (9)는 그림 7(b)에서 $\triangle OI_1L$ 와 $\triangle OPP_L$ 의 닮음에 의해 구해진다. 그림 7(a)는 위에서 내려다본 카메라의 기하학적 특성을 묘사하고, 그림 7(b)는 측면에서 본 카메라의 기하학적 특성을 묘사한다.

$$y_p = \frac{f \cdot B}{x_2 - x_1 - B} \tag{7}$$

$$x_p = \frac{x_1 \cdot B}{x_1 - x_2 + B} \tag{8}$$

$$z_p = \frac{z_1 \cdot B}{x_1 - x_2 + B} \tag{9}$$

IV. 머니플레이터의 시각제어

본 실험에서는 이동형 머니플레이터의 끝단이 목표물에 접근하기 위해, 기구학 해석 없이 단지 영상 정보만을 이용해 실시간으로 머니플레이터 끝단이 목표물로 추종하는 방식으로 요구된 작업을 수행하는 과정을 제안한다.

1. 목표물에 대한 머니플레이터의 추종

연구에 사용된 실험 환경이 그림 8에서 간단히 묘사된다. 고정된 스테레오 카메라를 이용해 왼쪽 카메라 렌즈의 중심을 원점으로 한 좌표계상에서 머니플레이터 끝단과 목표물의 위치를 모두 계측하고 두 점 사이의 거리가 허용오차 이하가 되도록 머니플레이터를 제어한다. 목표물의 전역 좌표를 $T(x_T, y_T, z_T)$, 머니플레이터 끝단의 전역 좌표를 $M(x_M, y_M, z_M)$ 이라 한다. 카메라가 그림 9와 같이 각도 66도로 기울여진 상태이므로 계측된 거리정보에서 좌표변환 과정을 거친다.

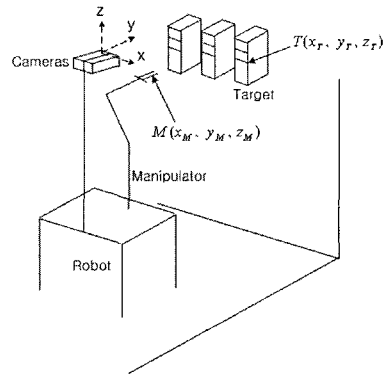


그림 8. 이동형 머니플레이터 실험 환경.
Fig. 8. Experimental environment of the mobile manipulator.

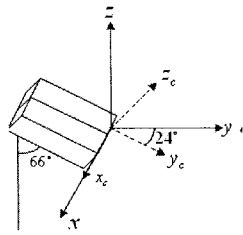


그림 9. 기울어진 카메라 형상.
Fig. 9. Figure of an inclined camera.

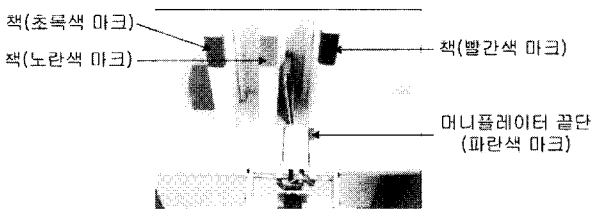


그림 10. 목표물과 마니플레이터 끝단.
Fig. 10. Targets and end-effector of manipulator.

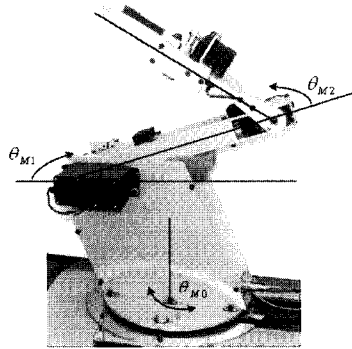


그림 11. 마니플레이터 관절각.
Fig. 11. Joints of manipulator.

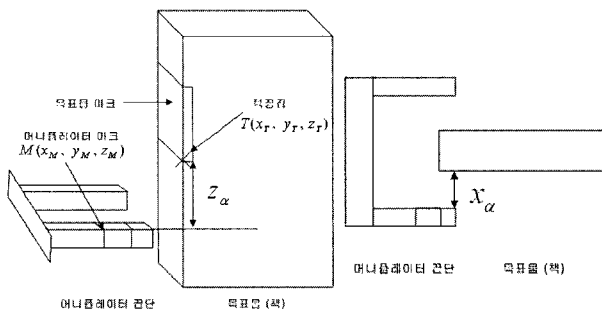


그림 12. 마니플레이터가 목표물을 잡는 위치.
Fig. 12. Position of manipulator gripping targets.

그림 10은 각기 다른 색의 마크가 부착된 3가지 목표물과 마니플레이터 끝단의 실제 모습을 보여준다. 마니플레이터는 정면에 나란히 놓인 3개의 책 형태인 물체 중 목표물로 선택된 책을 집어오기 위해 시각제어 방식으로 목표물에 접근하게 된다. 이때 목표물은 상단부에 있는 마크의 특정

점 위치로 계측된다. 본 논문에서는 시각정보만을 이용해 마니플레이터를 제어할 수 있도록 하는 시각제어의 단순화한 모델링을 제안한다. 목표물로의 마니플레이터 추종에 대한 조건식은 (11)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_{M0} &= k_0 \times (x_M - (x_T + x_\alpha)) \\ \dot{\theta}_{M1} &= k_1 \times (y_M - y_T) \\ \dot{\theta}_{M2} &= k_2 \times (z_M - (z_T - z_\alpha)) \end{aligned} \quad (11)$$

$\theta_{M0}, \theta_{M1}, \theta_{M2}$ 는 그림 11에서 보듯이 마니플레이터의 각 관절각이며 $\dot{\theta}_{M0}, \dot{\theta}_{M1}, \dot{\theta}_{M2}$ 는 마니플레이터와 목표물 사이의 변위에 따른 각 관절 회전 변위의 증가분을 뜻한다. $(x_T + x_\alpha), y_T, (z_T - z_\alpha)$ 는 마니플레이터 끝단이 추종해야 할 목표 위치이고, $(x_M - (x_T + x_\alpha)), (y_M - y_T), (z_M - (z_T - z_\alpha))$ 는 x, y, z 각각의 축에서 마니플레이터 끝단의 좌표인 (x_M, y_M, z_M) 과 목표 위치와의 차이를 나타낸다. k_0, k_1, k_2 는 인식 및 제어 속도에 따라 조정되는 상수로 각각 실험적으로 결정된 0.1, 0.3, 0.3값을 갖는다. k_0, k_1, k_2 는 x, y, z 축에서 마니플레이터와 목표물과의 위치오차 $(x_M - (x_T + x_\alpha)), (y_M - y_T), (z_M - (z_T - z_\alpha))$ 를 각 관절의 최종 목표위치와 현재위치와의 각도 오차로 변환하는 역할을 하기도 한다. 실험에 사용된 모터 제어의 입력 값은 각도 값으로, 현재의 각도 값에서 제어주기마다 $\dot{\theta}_{M0}, \dot{\theta}_{M1}, \dot{\theta}_{M2}$ 을 '0'으로 만드는 방향으로 단위각도씩 증감되어 모터를 회전시킨다. 실험에 사용된 책의 크기는 115×220[mm]이고, 그림 12에서 x_α 는 30[mm], y_α 는 80[mm], z_α 는 50[mm]로 설정한다. 계측 및 제어 오차에 의해 발생할 수 있는 진동을 없애고, 시스템 동작 가능한 영역을 넘어서는 경우를 방지하기 위한 경계조건이 요구된다. 경계조건에 대한 식은 (12)와 같다. error, max, min값은 실험적으로 결정되고, $\dot{\theta}_{M1}, \dot{\theta}_{M2}$ 에 대해서도 같은 방식으로 경계조건을 적용한다.

$$\begin{aligned} \text{if } & |\vartheta_{M0}| \leq \text{error} \text{ then } \vartheta_{M0} = 0 \\ \text{else if } & \vartheta_{M0} \geq \text{max} \text{ then } \vartheta_{M0} = \text{max} \\ \text{else if } & \vartheta_{M0} \leq \text{min} \text{ then } \vartheta_{M0} = \text{min} \\ \text{else } & \vartheta_{M0} = \vartheta_{M0} \end{aligned} \quad (12)$$

V. 실험 및 결과

스테레오 영상을 통한 계측에서는 영상 내의 잡음(noise), 일치점 검출의 오류, 카메라의 해상도와 왜곡 정도, 카메라 두 대의 특성 차이 등의 변수로 인한 오차가 발생하게 된다. 스테레오 영상에 의해 계측된 3차원 거리 정보를 이용한 마니플레이터 시각제어의 적용 가능성을 조사하기 위해 마니플레이터 제어 실험을 수행한다. 우선, 이동 로봇은 마니플레이터 작업을 위해 선행 연구되어진 포텐셜(potential) 기법에 의해 장애물을 회피하며 목표물이 있는 지점까지 이동한다[9].

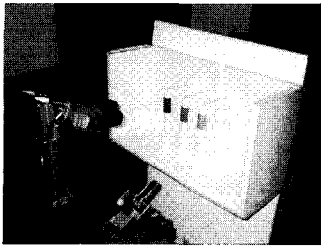


그림 13. 이동형 머니플레이터의 실제 실험 환경.
Fig. 13. The real experimental environment of the mobile manipulator.

표 2. 위치에 따른 작업 수행 성공률(%).
Table 2. The rate of success performing tasks in each position.

단위[cm]		35	30	25	20	15	y x
		목 표 물 (L:좌측) (C:중앙) (R:우측)	L	0	100	100	
C	0		0	0	0	0	
R	0		0	0	0	0	
L	0		100	100	100	100	-5
C	0		100	0	100	0	
R	0		0	0	0	0	
L	0		100	100	100	100	0
C	0		100	100	100	100	
R	0		0	0	0	0	
L	0		100	100	100	0	5
C	0		100	100	100	100	
R	0		100	100	100	100	
L	0	0	0	0	0	10	
C	0	100	100	100	100		
R	0	100	100	100	100		

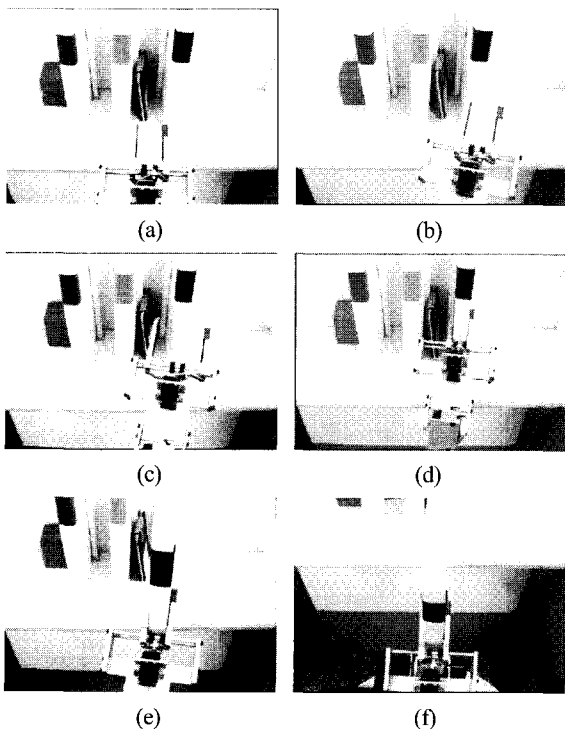


그림 14. 머니플레이터 작업 수행 과정.
Fig. 14. Procedure of manipulator's task.

이동 로봇이 목적지에 도달한 후, 정면에 놓인 마크의 색이 다른 3가지 책 중에 명령받은 목표물을 인식하고 집어내는 작업을 수행한다. 실제 실험에 사용된 임의로 설계된 책장과 책, 머니플레이터가 포함된 영상이 그림 13에 보여진다. 실험은 x축과 y축 방향으로 거리를 변화시키며 각 위치에서 5회씩 수행하였다. 각 위치에서의 작업 수행 성공률이 표 2에 보여진다. 표에서 x방향 거리는 로봇이 정면에 목표물을 두고 있을 때 가운데 위치한 목표물을 중심으로 한 좌(-), 우(+) 이동 거리이며, y방향 거리는 책장이 부착된 벽면과 머니플레이터 프레임의 가장 앞부분과의 거리를 뜻한다.

그림 6과 같이 목표물들에 대한 일치점을 검출할 때, 머니플레이터 부분의 파란색 마크 영역을 추출할 경우에는 많아진 잡음으로 인해 일치점 검출 오류가 발생하였다 이는 입력영상에서 파란색 마크 영역의 R, G, B값이 주위 영상과 확연히 차이 나지 않음으로 해서, 색 정보를 이용해 영역을 추출할 경우 파란색 영역만 정확히 추출하지 못해 발생한 오류로 판단된다. 본 실험에서와 같이 책을 집는 등의 비교적 단순한 작업을 위한 제어에 있어서는 실패율이 거의 없음을 실험적으로 확인할 수 있었다. 작업의 성공여부는 카메라의 시야각과 머니플레이터의 작업 공간 영역에 의해 좌우되었다. 로봇이 x축으로 5cm 만큼 이동해 있을 때 즉, 로봇이 오른쪽으로 이동하여 카메라 상에서 목표물이 왼쪽으로 적당히 치우쳐 있을 때 3가지 목표물에 대한 성공률이 가장 높았다. 그리퍼(gripper)의 오른쪽에 마크가 부착되어 있으므로, 머니플레이터가 우측으로 치우칠 때 마크가 영상에서 벗어나는 경우가 발생했다. 또한 머니플레이터가 벽면과 떨어져 목표물이 작업 공간 영역을 벗어날 때 작업 수행이 성공하는 일은 없었다. 목표물과 머니플레이터의 마크가 영상 내에 존재하고, 목표물이 머니플레이터 작업 공간 내에 있을 때 100%의 성공률을 보였다. 머니플레이터가 빨간색 마크가 부착된(가장 오른쪽에 위치한) 책을 집어오는 동작 과정을 나타내는 실험을 그림 14에 보인다.

VI. 결론

본 연구에서는 로봇이 스테레오 영상을 이용해 보다 효과적으로 물체의 위치를 인식하고, 요구된 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 로봇은 색 정보를 이용해서 목표물과 머니플레이터 영역을 인식하고, 특징점을 추출하였다. 스테레오 정합 시 검색창의 크기를 가변함으로써 연산의 효율을 증가시켜 효과적인 실시간 시각제어를 가능하게 하였다. 스테레오 정합점과 카메라의 기하학적 특성을 이용해 머니플레이터와 목표물 사이의 상대적 변위를 알 수 있었고, 이를 기반으로 시각 정보만을 이용한 시각제어 알고리즘을 구현할 수 있었다. 이동형 머니플레이터로 여러 가지 색의 표지를 가진 책을 골라 집어내는 작업을 실험해 보는 것으로 그 효율성을 검증하였다.

참고문헌

[1] B. Lamiroy, B. Espiau, N. Andreff and R. Horaud, "Controlling robots with two cameras: how to do it

properly," *Proc. of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation* San Francisco, pp. 2100-2105, 2000.

[2] K. S. Fu, R. C. Gonzale, and C. S. G. Lee, *Robotics: control, sensing, vision and intelligence*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 1987.

[3] D. Hager and P. I. Corke, "A tutorial on visual servo control," *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, vol. 12, no. 5, pp. 651-670, 1996.

[4] R. C Gonzalez., J. A., Cancelas, J. C., Alvarez, J. A Fernandez., and J. M. Enguita "Fast stereo vision algorithm for robotic applications" *1999 IEEE*, pp 97-104, 1999.

[5] 천인국, 윤태영, 영상처리 기초편, 기한재, 1998.

[6] J. A. Noble, *Finding corners* Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., vol. 6, no. 2, pp. 121-128, 1998.

[7] W. Forstner, "Quality assessment of object location and point transfer using digital image correction techniques" *Proc. 15th ISPRS Congress, Rio De Janeiro, Brazil* pp. 169-191, 1987.

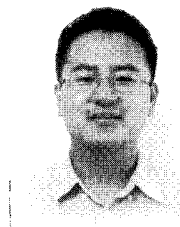
[8] 이호재, 스테레오 비전을 이용한 삼차원 형상계측을 위한 이미지 매칭 알고리즘 개발, 서울시립대학교 대학원 공학석사 학위논문, 2000.

[9] M. G. park, M. C. Lee, "A new technique to escape local minimum in artificial potential field based path planning", *KSME International Journal*, vol. 17, no. 12, pp. 1876-1885, 2003.



이 현 정

2002년 인제대학교 전자공학과 졸업. 2004년 부산대학교 지능기계공학과 대학원 공학석사. 2004년~현재 부산대학교 지능기계공학과 박사과정. 관심분야는 이동로봇, 이족보행로봇, 머신비전, 지능제어, 메카트로닉스.



박 민 규

1998년 부산대학교 정밀기계공학과 졸업. 2000년 부산대학교 지능기계공학과 대학원 공학석사. 2004년 부산대학교 지능기계공학과 공학박사. 2004년~현재 동대학 기계기술연구소 연구원. 관심분야는 이동로봇, 경로계획, 지능제어, 이

족보행로봇, 메카트로닉스.



이 민 철

1983년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1988년 일본 쓰쿠바 대학교 이공학 연구과 공학석사. 1991년 동대학 물리공학 연구과 공학박사. 2000년 8월~2001년 8월 노스캐롤라이나 주립대학(NCSU) 방문교수. 1991년~현재 부산대학교 기

계공학부 교수. 관심분야는 시스템 규명, 로봇제어, 지능형 서비스로봇, 이족보행로봇, 메카트로닉스.