

능동 스테레오 비전을 시스템을 이용한 자율이동로봇의 목표물 추적에 관한 연구

이희명*(울산대 대학원 기계자동차공학부), 이수희*(울산대 대학원 기계자동차공학부),
이병룡** (울산대 기계자동차공학부), 양순용** (울산대 기계자동차공학부),
안경관** (울산대 기계자동차공학부)

Study on the Target Tracking of a Mobile Robot Using Active Stereo-Vision System

Hee-Myung Lee(School of Mechanical and Automotive Engineering),
Soo-Hee Lee(School of Mechanical and Automotive Engineering),
Byung-Young Lee(School of Mechanical and Automotive Engineering),
Soon-Yong Yang(School of Mechanical and Automotive Engineering),
Kyoung-Kwan Ahn(School of Mechanical and Automotive Engineering).

ABSTRACT

This paper presents a fuzzy-motion-control based tracking algorithm of mobile robots, which uses the geometrical information derived from the active stereo-vision system mounted on the mobile robot.

The active stereo-vision system consists of two color cameras that rotates in two angular dimensions. With the stereo-vision system, the center position and depth information of the target object can be calculated. The proposed fuzzy motion controller is used to calculate the tracking velocity and angular position of the mobile robot, which makes the mobile robot keep following the object with a constant distance and orientation.

Key Words : Mobile Robot(자율이동로봇), Stereo Vision(스테레오비전), Target Tracking (목표물추적)

1. 서론

요즘 들어서 이동로봇에 대한 연구는 산업계 여러 분야에 응용되는 중요한 과제가 되고 있다. 이것은 고임금으로 인한 원가 상승과 인력난 등의 문제를 해소하기 위해 공장 자동화의 개념이 도입되면서 위험하고 유해한 작업환경에서도 인간을 대신하는 로봇의 이용이 필연적으로 요구 되고 있음을 알 수가 있다. 로봇의 환경인식을 위한 센서로는 적외선 센서, 초음파 센서, 레이저 센서, 비전 센서 등이 있다. 적외선 센서나 초음파 센서는 인식범위가 좁고 주위환경에 영향을 많이 받으며, 선명도(resolution)가 상대적으로 낮은 단점이 있다. 일단 하드웨어로 완성 되면 그 적용 대상을 확장하거나 변경시킬 수 없다.[1] 레이저 센서는 선명도나 정확성이 상대적으로 높지만, 하드웨어의 복잡성과 경편성(portability)이 좋지 않고 가격이 비싸다.[2] 그러나, 비전 센서는 사람이 활동할 수 있는 장소에서 별 다른 제한이 없이 동작한다.[3,4,5,6]

이미 여러 응용분야에서 다양한 용도로 쓰이고 있으며 많은 연구들이 행해졌고, 현재에도 진행되고 있다. 실외에서 동작하는 이동 로봇 및 차량(AGV, Automatically Guided Vehicle)에도 적용되고 있

다.[5,7,8] 이용되는 비전 센서는 하드웨어와 영상처리 소프트웨어의 적당한 선택, 구현에 따라 적용범위를 확장시키거나 변경시킬 수 있다. 또 비전 센서를 통해 얻은 영상은 다른 센서를 이용한 자료보다 더 많은 정보를 담고 있기 때문에 이동 로봇의 환경인식에 적합하다고 할 수 있다.[9]

비전 센서로부터 얻어진 2 차원 영상으로부터 3 차원 공간의 물체 위치를 알려고 할 때, 한 장의 영상으로부터 깊이 정보를 추출하는 단안시법(monocular vision)과 두 장의 영상으로부터 깊이 정보를 추출하는 복안시법(stereo vision)이 있다. 이 방법으로 제한된 환경에서는 어느 정도 정확한 깊이 정보를 얻을 수 있다.

본 논문은 스테레오 시각을 이용하여 주변 인식을 하는 이동 로봇이 목표물을 추적하고자 한다. 그러기 위해서는 먼저 실시간 영상처리를 할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 알고리즘은 먼저 목표물을 찾아서, 그것의 중심점을 찾아낸다. 여기서 사용되는 알고리즘은 퍼지 제어를 이용한다. 그리고 나서 깊이 정보를 획득하기 위해 효과적인 스테레오 영상을 이용하여 이동 로봇이 목표물을 추적할 수 있도록 한다.

2. 컴퓨터 비전을 이용한 영상처리

영상처리과정은 먼저 영상획득을 하고, 전처리 과정을 통하여 경계선을 추출하고 이진화를 시킨 후 특징 점을 추출한다. 그리고 나서 매칭을 통해서 영상을 인식하여 우리가 원하는 목표물과 바탕을 분리해 낸다.

2.1 Least Square Estimates 를 이용한 선 검출

매칭을 하기 위해서는 우선 영상에 직선 edge 가 존재한다는 가정이 필요하다. 또한 직선의 방정식을 구하는 알고리즘이 필요하다. 직선을 구하는 방정식은 Least Square Estimates 를 이용한 선 검출을 이용한다. 이 방식은 직선의 방정식을 근사로 구하는 방법이다.

추정된 직선의 방정식은 식(2.1)와 같다고 한다.

$$y = \hat{a} + \hat{b}x \quad (2.1)$$

이 때 실제 측정된 직선의 데이터와 오차 제곱의 합(sum of square error, SSE)은 식(3.3)과 같이 표시 된다.

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{a} + \hat{b}x_i)]^2 \quad (2.2)$$

식(2.2)에서 \hat{a} 와 \hat{b} 값을 결정하기 위해 위 식은 각각의 계수에 대해서 편미분을 취하면 식(2.3)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial SSE}{\partial \hat{a}} &= -2 \cdot \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{a} - \hat{b}x_i] \\ \frac{\partial SSE}{\partial \hat{b}} &= -2 \cdot \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{a} - \hat{b}x_i] \cdot x_i \end{aligned} \quad (2.3)$$

식(2.3)의 식에서 편미분들을 0 이 되도록 한다는 것은 SSE 를 최소화한다는 것을 의미한다. 따라서 식(2.3)식을 식(2.4)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} 0 &= \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n \hat{a} - \sum_{i=1}^n \hat{b}x_i \\ 0 &= \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n \hat{a}x_i - \sum_{i=1}^n \hat{b}x_i^2 \end{aligned} \quad (2.4)$$

식(2.4)에서 $\sum_{i=1}^n \hat{a} = n\hat{a}$ 으로 표현 할 수 있다.

그리고, 식(2.4)을 \hat{a} 와 \hat{b} 에 대한 2 원 1 차 연립 방정식으로 다시 정리 하면, 식(2.5)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} n\hat{a} + \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)\hat{b} &= \sum_{i=1}^n y_i \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)\hat{a} + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)\hat{b} &= \sum_{i=1}^n y_i x_i \end{aligned} \quad (2.5)$$

식(2.5)을 연립적으로 풀면, \hat{a} 와 \hat{b} 를 식(2.6)과 같이 된다.

$$\hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x}$$

$$\hat{b} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{j=1}^n y_j}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \quad (2.6)$$

식(2.6)에서, \bar{y} 와 \bar{x} 는 각각 y 의 평균과 x 의 평균이다.

2.2 매칭

스테레오 영상의 매칭의 방법 중의 대표적인 correlation 함수를 이용한다. 여기서 한쪽 영상에 macro-window 를 설정하고 다른 한쪽 영상에 가장 비슷한 부분을 찾는 기준으로 correlation 을 쓰는 방법이다

먼저 좌우 영상의 최소 변형 방향을 이용한 좌우영상의 매칭을 설명하면 다음과 같다 스테레오 영상의 크기가 수평으로 H, 수직으로 V 만큼일 때, U 를 $M \times N$ 의 중속 블록으로 둔다. 그리고 U_R 은 U 와 같은 중심을 가지고, $(M + 2p) \times (N + 2p)$ 의 크기를 가진 중속 블록으로 둔다. 여기서 p 는 최대 이동을 의미한다.

원도우 U 와 U_R 사이에서 평균 변형 함수(mean distortion function)을 식(2.7)과 같이 정의한다.

$$D(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N g(U(m, n) - U_R(m + i, n + j)) \quad (2.7)$$

, $-p \leq i, j \leq p$

여기서 $g(x)$ 는 주어진 양의 증가 함수로써, $g(x) = x^2$ 일 경우에 $D(i, j)$ 을 평균제곱 에러 함수 (mean square error function, MSEF)이라고 한다. 식(2.7)에서 나타낸 것처럼, MSEF 의 값이 최소가 될 때, i, j 을 disparity 로 정한다.

그리고 나서, 특징을 무시하고 좌우 영상의 비슷한 영역을 찾고자 한다. stereo 영상의 특성상 좌우 영상이 정확히 같을 수 없고 척도가 되는 함수를 이용하여 어느 정도 shift 되었을 때 가장 비슷한지 결정한다. 크게 cross-correlation function 과 mean square difference function 이 있다.

우선 왼쪽 영상을 X, 오른쪽 영상을 Y 라고 하면, cross-correlation function 과 mean square difference function 은 식(2.8)와 식(2.9)으로 표현할 수 있다.

$$\alpha = \frac{E(X_{ij} \times Y_{ij}) - E(X_{ij}) \cdot E(Y_{ij})}{S_d(X_{ij}) \times S_d(Y_{ij})} \quad (2.8)$$

식(2.8)에서 E 는 윈도우 전체의 평균값, S_d 는 표준 편차를 의미한다. 완벽하게 좌우영상이 일치할 때는 α 는 1 이다.

$$M.S.D. = \frac{\sum (X_{ij} - Y_{ij})^2}{\left(\sum X_{ij}\right) \times \left(\sum Y_{ij}\right)} \quad (2.9)$$

Cross-correlation function 은 Mean square difference function 보다 계산량은 적지만 자유 영상의 밝기가 다를 경우 성능이 감소된다.

3 자율이동로봇의 위치추적 알고리즘

자율이동로봇의 이동 경로 및 위치 추적은 먼저, 비전을 이용하여 목표물의 중심점을 찾아, 상부 모터로 이동하고, 스테레오 비전을 이용하여 목표물과 로봇 사이의 거리를 측정한다. 이를 하부에 정보를 보내어 일정한 거리를 유지 하도록 한다. 그리고 목표물의 중심점을 찾기 위해서 퍼지 제어 알고리즘을 사용한다.

3.1 퍼지논리 제어기의 구성

퍼지논리제어기의 구성은 그림 3.1 과 같이 4 개의 모듈(module)로 나누어질 수 있으며 이들의 각 모듈들이 상호 작동하여 원하는 제어 값을 추론하는 시스템 형태이다.

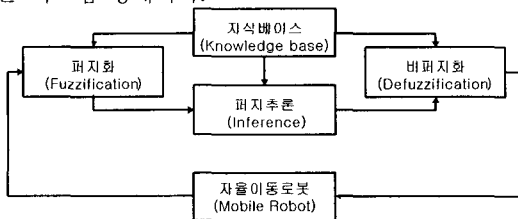


Fig. 3.1. 퍼지 논리 제어기의 구성

본 논문에서는 간단하면서도 많이 사용되는 Mamdani 의 min 연산방법을 사용하였으며 비퍼지화 방법으로 일반적으로 많이 쓰이고 있는 무게 중심법을 사용하였다.

3.2 중심점 알고리즘

목표물의 중심점을 알아내기 위한 방법으로 퍼지 제어알고리즘을 사용하였다. 화상의 중심에서 목표물의 중심까지의 거리를 측정한다. 여기에서 목표물의 영상중심과 화상의 중심점 사이의 x 축의 거리와 y 축의거리를 입력변수로 이용하고, 목표물의 중심점과 화상의 중심점 사이의 수정각 $\Delta\theta$ 을 출력변수로 잡아서 상부의 비전 시스템을 이동시킨다.

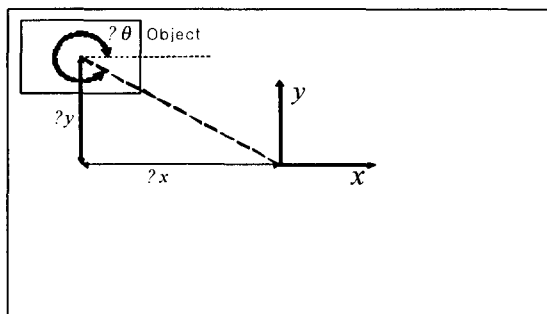


Fig. 3.2 영상의 목표물과 중심점 사이의 관계

그림 3.2 에서 입력변수 Δx , Δy 로 나타나고, 출력변수는 $\Delta\theta$ 로 나타내어진다. 입력변수의 퍼지 세트 Δx 는 NB, NS, ZE, PS, PB 으로 선정하였고,

다른 입력변수 Δy 는 NB, NS, ZE, PS, PB 으로 선정하였다. 출력변수에 대한 퍼지세트 $\Delta\theta$ 는 NB, NS, ZE, PS, PB 으로 선정하였다. 사용된 퍼지 소속함수는 그림 3.3 에 나타나 있다.

입력 및 출력변수의 퍼지세트에 대한 퍼지 제어 규칙인 FAM 은 표 3.1 에 나타나 있다.

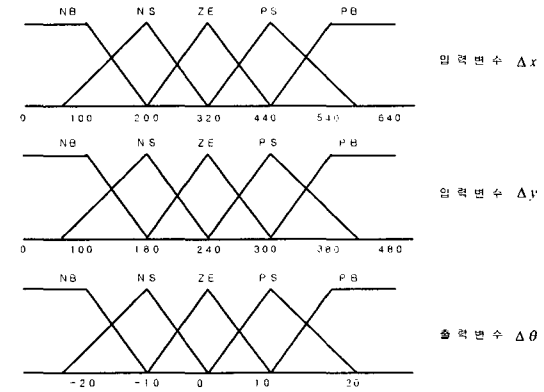


Fig. 3.3 입출력함수의 소속함수

그리고 퍼지 제어기는 FAM 을 이용하여 임의의 입력변수가 입력 되었을 때, 비 퍼지화 방법 (defuzzification method)을 이용하여 $\Delta\theta$ 명확한 출력 값을 제공하게 된다. 여기서 나온 $\Delta\theta$ 를 스텝모터의 입력 값인 pulse 로 다시 환산하여 모터에 전달 된다.

표 3.1 Fuzzy Associative Memory (FAM)

		Δx				
		NB	NS	ZE	PS	PB
Δy	NB	NB	NB	PS	PB	PB
	NS	NB	NS	ZE	PS	PB
	ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
	PS	NB	NS	ZE	PS	PB
	PB	NB	NS	NS	PB	PB

3.3 스테레오 비전을 이용한 깊이 정보 측정

스테레오 비전시스템을 설치하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 두 대의 카메라 광축을 서로 평행하게 설치하고, 두 대의 카메라 사이의 거리를 기준선(Baseline)으로 정하고, 이 기준선을 조정하여 카메라와 카메라 사이를 조정하도록 하였다..

그림 3.4 은 실제적인 3 차원 공간상의 물체와 각각의 영상평면에 맺히는 상을 3 차원적으로 표현한 그림이다. 그림 3.4 에서 x,y 는 영상평면이고, X,Y,Z 는 실제 물체를 나타내기 위한 기준 좌표계이다. B 는 두 대의 카메라 사이의 거리이다.

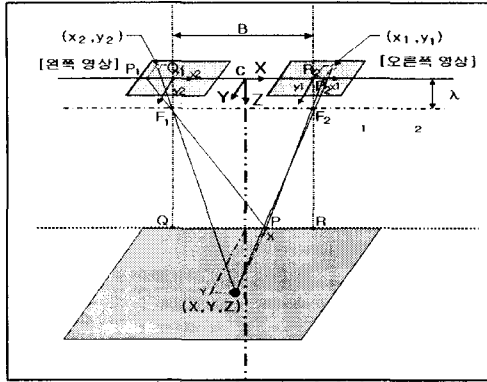


Fig. 3.4 스테레오 비전의 기하학적 구조

그림 3.4 에서 (x_1, y_1) 은 오른쪽 카메라의 영상 좌표이고, (x_2, y_2) 는 왼쪽 카메라에서의 영상 좌표이다. 이차원 영상의 획득은 스테레오 영상의 기하학적 구조를 이용하여 좌표를 변환할 수 있다. 초점거리 λ 에 의해서, ΔPQF_1 과 $\Delta P_1Q_1F_1$ 및 ΔPRF_2 과 $\Delta P_2R_2F_2$ 를 잘 보면, 영상좌표와 실제좌표의 상호관계를 얻어 낼 수 있다.

$$\frac{B}{2} - X : Z - \lambda = x_1 : \lambda$$

$$\frac{B}{2} + X : Z - \lambda = -x_2 : \lambda \quad (3.5)$$

식(3.5)을 X 에 관해 풀면 다음과 같다.

$$X = \frac{B}{2} - \frac{Z - \lambda}{\lambda} x_1$$

$$X = -\frac{B}{2} - \frac{Z - \lambda}{\lambda} x_2 \quad (3.6)$$

식(3.6)으로부터 3 차원 물체의 높이 정보를 구하기 위하여 x_1, x_2 를 Z 에 대하여 정리하면 다음 식과 같다.

$$Z = \lambda + \frac{\lambda B}{x_1 - x_2} \quad (3.7)$$

같은 방법으로 Y 의 값을 구하면,

$$Y : Z - \lambda = -y_1 : \lambda$$

$$Y : Z - \lambda = -y_2 : \lambda \quad (3.8)$$

$$Y = -\frac{y_1}{\lambda} (Z - \lambda)$$

$$= -\frac{y_2}{\lambda} (Z - \lambda) \quad (3.9)$$

식(3.9)에서 $y_1 = y_2 (= y)$ 임을 알 수 있다.

$$Y = -\frac{y}{\lambda} (Z - \lambda) \quad (3.10)$$

결과적으로 2 개의 2 차원 영상으로 3 차원정보를 얻는 결과는 식(3.11), 식(3.12) 와 식(3.13)과 같다.

$$Z = \lambda + \frac{\lambda B}{x_1 - x_2} \quad (3.11)$$

$$X = -\frac{x_1}{\lambda} (Z - \lambda) + \frac{B}{2} \quad (3.12)$$

$$Y = -\frac{y_1}{\lambda} (Z - \lambda) \quad (3.13)$$

3.4 전체 알고리즘

그림 3.5 에서 보듯이, 영상인식을 하고 목표물 검색이 이루어진다. 만약 목표물이 없다면 상부 모터 운동을 통하여 목표물 검색하고, 목표물이 있다면 중심점 판단 알고리즘인 퍼지 운동제어기로 넘어간다. 퍼지운동제어기 출력 값을 받은 값은 다시 상부 모터를 움직이게 하고, 다시 화상을 받는다. 만약 목표물이 중심점에 있다면 거리판단을 하게 된다. 이 때 목표물과 로봇 사이의 거리가 일정 범위 안에 있지 않다면 하부 모터 운동을 통해서 일정 거리 안에 있도록 한다. 끝으로 상부와 하부의 모터 각을 비교하여 일정 범위를 넘어 가게 되면, 상부와 하부를 움직여서, 중심에 오도록 조정한다.

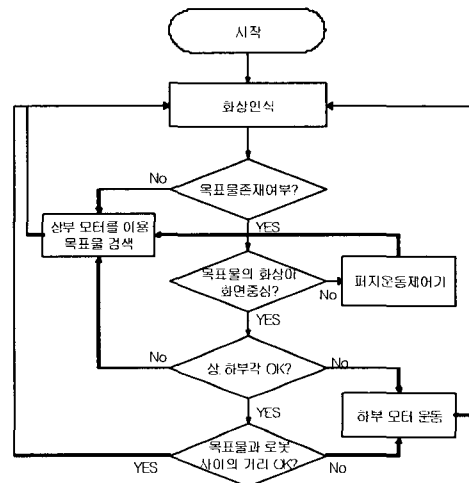


Fig. 3.5 전체 시스템의 구성도

4. 실험

먼저 실험은 고정된 목표물에 거리 측정 실험과 이동하는 목표물에 대한 스테레오 비전 실험을 한다. 그리고 상부와 하부를 결합한 자율이동로봇의 목표물이 직선으로 이동하는 실험과 직각으로 이동하는 물체 대한 실험을 했다.

4.1 고정된 목표물의 거리 측정 실험

그림 4.1 프로그램을 통해서, 거리 측정 한 모습을 보여 주고 있다. 실제거리는 50cm 하여 측정하였고, 실험상은 49.9cm 가 나왔다. 이 실험으로 스테레오 비전을 통한 목표물과 카메라 사이의 거리를 측정할 수가 있었다.

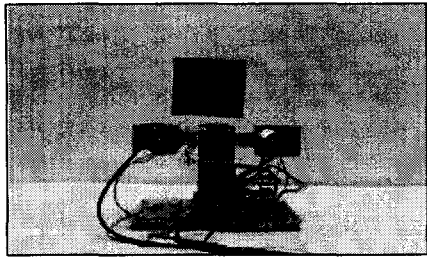


Fig. 4.1 고정 목표물의 거리 측정화면

4.1 이동 목표물 추적 실험

본 실험에서는 우선 목표물을 좌우 60° 씩 움직여 상부 추종 성능을 확인하였고 목표물을 전후방향으로 움직여 하부의 움직임을 확인한 다음 직각으로 이동하는 목표물을 추적하는 실험을 하였다.

목표물과의 거리는 50cm 로 두고 실험하였고 추적시 직각으로 꺾이는 지점에서 목표물과 로봇은 원래 이동하고자 하는 길에서 조금 벗어났다. 이것은 목표물과 로봇 사이가 일정 거리를 유지하면서 이동하기 때문이다.

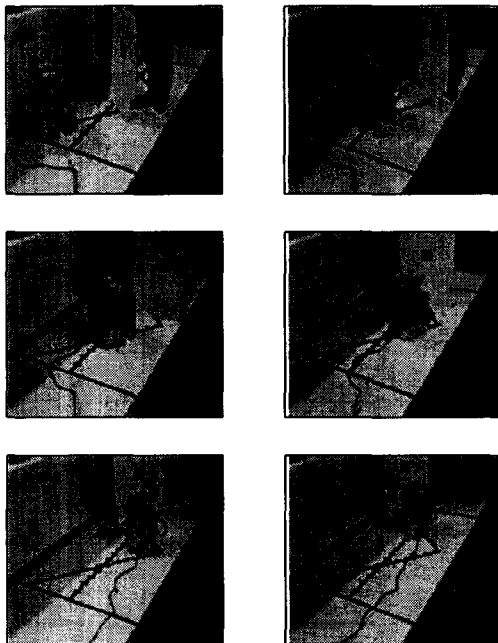


Fig. 4.2. 이동 목표물 추적 실험

5. 결론

본 논문에서는 Active-Stereo-Vision System 을 이용하여 목표물을 인식하고, 목표물의 중심점과 화상의 중심점을 비교한다. 이때 퍼지 제어를 사용했다. 또한 스테레오 비전을 이용하여 거리를 측정한다. 만약 이동로봇과 목표물이 일정거리 내에 있지 않다면, 로봇이 이동하여 로봇과 목표물 사이의 거리를 일정 거리 안에 있도록 하였다. 마지막으로

로봇의 상부의 Active-Stereo-Vision System 과 하부가 일정한 각도를 유지하도록 하였다.

먼저 실험은 Active-Stereo-Vision System 을 이용하여 목표물과 카메라 사이의 거리를 측정 할 수가 있었다. 하나의 카메라를 이용하여 테이블을 만드는 것보다 좀 더 효과적이라는 사실을 알 수가 있었다. 두 번째 실험은 직각으로 이동하는 부분에서 Active-Stereo-Vision System 이 먼저 움직여서, 목표물을 추적하였고, 하부는 목표물을 일정 거리를 유지 한다는 사실을 알 수가 있었다. 전체적으로 로봇이 목표물을 잘 추적함을 알 수가 있었다.

향후 과제로는 영상 처리에 있어서 조명의 영향을 많이 받고 있기 때문에 잡음 문제를 처리해야 한다. 또한 하드웨어의 성능 향상이나 영상 축소를 시켜 처리속도를 증가시켜야 할 것이다.

후 기

본 연구는 한국 과학재단 지정 울산대학교 기계 부품 및 소재 특성 평가 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. J.Borenstein, Y.Korea, "Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol.19, No.5, pp 1179-1186, 1989.
2. R. M. Haralick, L. G. Shapiro, "Computer and robot vision", vol.1 & 2, 4th ed., Addison-Wesley P.C., 1989.
3. Y.C.Cho, H.S.Cho, "A stereo vision-based obstacle detecting method for mobile robot navigation", Robotica, vol.12, pp 203-216, 1994.
4. K. Storjohann, T. Zielke, H.A. Mallot, W.V.Seelen, "Visual obstacle detection for automatically guided vehicles", Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol.4, pp 761-766, 1990.
5. R.M. Inigo, E.S. Mcvey, B.J. Berger, M.J. Wirtz, "Machine vision applied to vehicle guidance", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.6, pp 820-826, 1984.
6. C. Bidlack, A.Hampapur, A.Katkere, "Visual robot navigation using flat earth obstacle projection", IEEE International conference on Robotics and Automation, vol 4, pp 3374-3381, 1994.
7. K.Onoguchi, M. Watanabe, Y. Okamoto, "A visual navigation system using a multi-information local map", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp 767-774, 1990.
8. C. Thorpe, M. H. Hebert, T. Kanade, "Vision and navigation for the Carnegie-Mellon navlab", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.10, pp362-373, 1988.
9. X. Lebegue and A.K. Aggarwal, "Significant Line Segments for Indoor Mobile Robot", IEEE Transaction on Robotics and Automation, vol.9, No6, pp 801-815, Dec 1993
10. M. E. Boudihir, M. Dufaut, R. Husson, "A vision system for mobile robot navigation", Robotica, vol.12, pp 77-89, 1994.