

이동로봇의 자율주행을 위한 전방향 비전 시스템의 구현에 관한 연구

고 민 수, *한 영 환, **이 응 혁, 홍 승 홍

인하대 전자공학과, *상지대 전자계산공학과, **한국산업기술대 전자공학과
전화 : 032-868-4691 / 핸드폰 : 019-616-8021

A Study on the Construction of Omnidirectional Vision System for the Mobile Robot's the Autonomous Navigation

Min Soo Go, Young Hwan Han, Eung Hyuk Lee, Seung Hong Hong
Dept. of Electronic Engineering , Inha University
E-mail : gomins@netian.com

Abstract

This study is regarding the autonomous navigation of the mobile robot which operates through a sensor ,the Omnidirectional Vision System which makes it possible to retrieve the real-time movements of the objects and the walls accessing the robot from all directions and to shorten the processing time.

After attempting to extend the field of view by using the reflection system and then learning the point of all directions of 2π from the robot at the distance, robot recognizes three-dimensional world through the simple image process, the transform procedure and constant monitoring of the angle and distance from the peripheral obstacles.

This study consists of 3 parts: Part 1 regards the process of designing Omnidirectional Vision System and part 2 the image process, and part 3 estimates the implementation system through the comparative study process and three-dimensional measurements.

I. 서론

공학 기술의 발달로 인간생활의 편리를 도모하고 복지향상을 위해서 로봇을 이용하는 연구가 다방면으로 진행되고 있으며 이러한 로봇은 산업현장에서 뿐만 아니라 가정용, 산업용, 의료용 등 여러 분야에서 응용되고 있다. 또한, 계속되는 컴퓨터의 발달에 의하여 주변

정보와 목표점을 주고 스스로 판단하여 목표점까지 이동하는 자율주행 로봇이 1980년대 후반부터 활성화되기 시작하였다.

로봇의 실내주행을 위한 인식 시스템의 구성은 여러 가지 센서를 이용하여 많은 시도가 있었다. 초음파 센서를 이용하여 장애물을 인식할 경우 초음파 센서의 고유특성인 지향성, 거울효과, 산란 등과 이동물체로 인한 오차의 발생에 의해 물체의 예지에서 간단하게 물체와의 거리를 정확하게 구할 수 없고 이로 인해 장애물의 폭을 정확하게 검출하는데 문제점이 있다. 카메라를 이용한 비전 시스템을 통한 구현시도 역시 많은 시도가 있었다. 카메라상의 시계의 한계를 극복하기 위하여 회전하는 카메라를 이용한 비전 시스템, 어안 렌즈를 이용한 비전 시스템 등이 있다. 어안렌즈에 의해서 획득되어진 이미지는 보여진 장면의 왜곡이 없는 투영된 이미지를 구성할 수 없으며 반구의 시점을 갖는 어안렌즈는 너무 복잡하고 크며, 비싸다[1]. 회전하는 시스템의 첫번째 단점은 움직이는 부분들과 정확한 위치지정을 요구한다는 것이다. 더 큰 단점은 전체 시야의 이미지를 얻기 위해서 소요되는 시간이 크다는 것이다. 이러한 단점 때문에 회전하는 이미지 시스템은 정지되어있는 광경과 비실시간 애플리케이션에서만 사용되어지도록 제한되어진다[2].

간단한 반사장치를 이용한 전방향 비전 시스템(Omnidirectional Vision System)은 단 하나의 영상을 분석함으로써 360° 의 시계를 확보할 수 있고 로봇의 위치정보를 쉽게 획득할 수 있어서 감시용이나 로봇의 주행과 추적[3] 등의 응용분야에서 넓은 범위의 시계를 빠르게 포착할 수 있게 하여 실시간 처리를 하는데

유용하다[4][5].

본 논문에서 구현된 시스템은 이동중인 로봇의 모든 방향으로부터 접근하는 물체와 벽면의 실시간 검색을 위하여 빠른 처리시간을 충족하는 센서인 전방향 비전 시스템을 통하여 이동로봇의 자율주행을 구현한다. 블록거울을 통하여 시계의 확장을 시도하여 로봇 주위의 모든 방향의 시점을 획득한 후 이미지 처리 및 이미지 변환과정을 통하여 주변 물체와의 거리와 방위각의 지속적인 모니터링을 한다. 본 논문은 전방향 비전 시스템을 이용한 실시간 영상처리를 통하여 가정 내의 적용을 목적으로 주행 성능이 우수한 동기식 이동 로봇의 주행 시스템 설계와 미지의 환경 내에서의 자율주행에 관한 연구이다.

II. 전방향 비전 센서

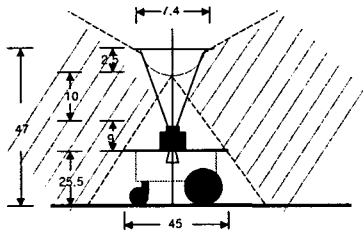


그림 1 전방향 비전 시스템 구성도

곡률반경 8mm의 반구형 블록거울과 시계 50°, 최소 초점 거리가 10cm 이상인 일반 PC용 Intel(R) Delux USB PC 카메라를 이용하여 로봇의 윗부분에 카메라와 거울을 바닥평면과의 수직축에 위치시킴으로써 2π의 방향과 카메라의 시계를 180° 까지 확장시킨 전방향 비전 센서를 구현하였다.

3차원상의 사물과 전방향 비전 시스템상의 카메라에 의해서 2차원 투영된 이미지와의 상관 관계는 간단한 수식에 의해서 표현될 수 있다.

로봇을 기준으로 XY 축의 2차원 형태로 표현하였을 때 점(x,y,z)상에 존재하는 사물은 이미지상에서 상이 맺히는 지점은 이미지의 중심으로부터 사물의 방위각 상에 위치하는 이미지 지점에 상이 맺히게 된다.

로봇으로부터 사물과의 거리의 관계와 이미지상의 투영위치의 관계는 다음의 식으로 표현될 수 있다.

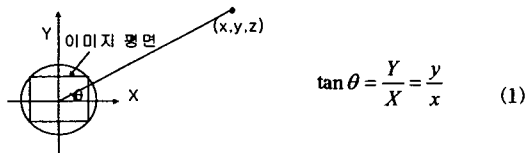


그림 2 사물의 방위각과 이미지와의 관계

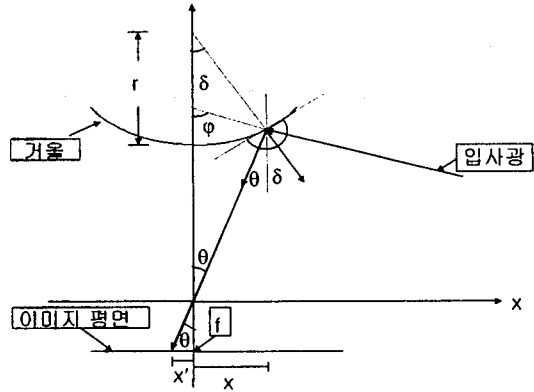


그림 3 이미지와 사물과의 기하학적 관계

그림 3은 실제 사물과의 거리와 이미지상에 투영되는 지점과의 상관 관계를 표현하기 위하여 전방향 비전 시스템의 수직 단면을 간략화한 그림이다.

빛은 방위각이 0° 인 지점으로부터 일정하게 입사되어진다고 가정한다. r은 거울의 반지름, f는 카메라의 렌즈 중심과 CCD와의 거리, θ는 Z축을 기준으로 카메라의 핀홀을 향한 입사각, δ는 Z축을 기준으로 법선벡터의 각, φ는 Z축을 기준으로 입사광에 대한 입사각이다. x'는 이미지평면상에서의 이미지 중심으로부터 떨어진 지점의 거리이며 x는 입사되어진 빛이 블록거울과 만나는 점의 x좌표이다.

블록거울의 중심점을 (0,z)라고 하였을 때 블록거울의 직각좌표계상의 수식은 아래와 같은 간단한 원의 방정식에 의해서 구해질 수 있다.

$$x^2 + (z - z')^2 = r^2 \quad (2)$$

거울에 의해서 반사되어진 광에 대한 수식은

$$z = \frac{x}{\tan \theta} \quad (3)$$

으로서 표현될 수 있다.

위의 식에 반사광에 대한 수식을 대입하면 입사광과의 접점에 대한 식이 성립된다.

$$x^2 + \left(\frac{x}{\tan \theta} - z'\right)^2 = r^2 \quad (4)$$

이 식의 해는 아래의 수식과 같고 이로서 블록거울과 빛의 접점의 위치를 파악할 수 있다.

$$x = \frac{2z' \frac{1}{\tan \theta} - \sqrt{\left(2z' \frac{1}{\tan \theta}\right)^2 - 4\left(1 + \frac{1}{\tan^2 \theta}\right)(z'^2 - r^2)}}{2\left(1 + \frac{1}{\tan^2 \theta}\right)(z'^2 - r^2)} \quad (5)$$

거울의 식을 원의 방정식으로 계산하였기에 두개의 해가 나오지만 반구이므로 x의 값은 1차 접촉한 거울의 앞쪽에 위치한 값이다. 따라서 접점의 z에 대한 값이 계산이 가능하여진다.

이미지 평면의 Z축상의 거리는 카메라에 의한 초점 거리f에 해당된다. 따라서 접점 x에대한 이미지 평면상

의 위치 x 는 아래의 식으로 결정되어진다.

$$x' = \frac{x}{z} \cdot f \quad (6)$$

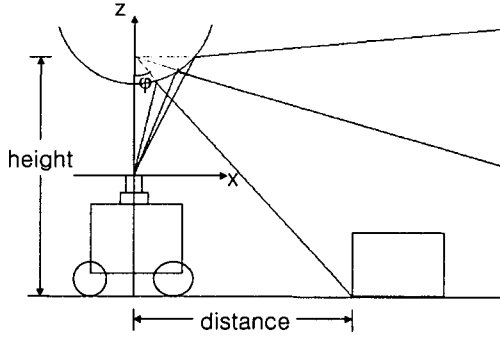


그림 4 로봇과 사물과의 관계

실제 물체와 로봇과의 실거리는 입사광의 입사각과의 관계에 의해서 표현되어진다.

$$distance = \tan \phi * height \quad (7)$$

III. 전방향 비전 시스템의 구현

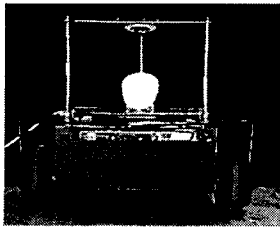


그림 5 전방향 비전 시스템

구현된 전방향 비전 시스템에 의해 왜곡된 이미지 자체만으로서 실제 3차원 세계를 이해하는 것은 어려운 일이다. 본 논문에서는 1차적인 이미지 처리 과정을 통하여 왜곡된 이미지를 일반적인 카메라에 의해 얻을 수 있는 원근법적 이미지로 변환하는 과정을 통하여 로봇의 주행지도를 구현하게 된다.

전방향 비전 시스템의 입력은 실시간 처리를 위하여 320*240의 이미지를 입력 받게 되며 소벨 마스크를 이용한 에지 검출에 의하여 최근접 사물을 판별하게 된다. 그림 5와 그림 6은 각각 입력 이미지와 에지가 검출된 이미지이다. 입력 이미지상의 직각좌표계상의 지점 (x,y) 는 원통좌표계로서 표현하면 각각의 지점에 대한 원근법적 이미지로의 투영 관계식은 아래와 같다.

$$x = \rho \cos \theta, \quad y = \rho \sin \theta \quad (8)$$

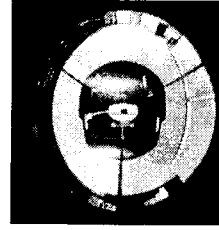


그림 5 입력 이미지

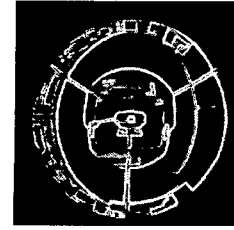


그림 6 에지 검출



그림 7 원근법에 의한 전방 이미지



그림 8 원근법에 의한 후방 이미지

IV. 전방향 비전 시스템의 구현

로봇을 1.85*1.85m²인 정사각형의 공간의 중심에 위치시킨 상태에서 로봇의 이미지상의 위치 측정의 실거리와의 정확도를 측정하였다. 총 4프레임간의 데이터를 평균을 취한 로봇이 인식한 실거리와 실제 공간의 측정치와의 비교를 통하여 검증하였다.

로봇을 중심으로 360°의 전방향에 대한 최근접 거리 정보를 1°씩 분해시켜 360개의 데이터의 좌표상의 위치를 비교하였다.

단위(mm)							
방위각	측정치	계산치	오차	방위각	측정치	계산치	오차
0	881.6468	925	-4.68683	180	958.1291	925	6.824765
10	917.4233	939.2696	-2.32588	190	935.5697	939.2696	-0.39391
20	933.5732	984.3644	-5.1598	200	941.1727	984.3644	-4.38778
30	974.3272	1068.098	-8.77923	210	1033.516	1068.098	-3.23772
40	1104.554	1207.502	-8.52572	220	1156.723	1207.502	-4.20524
50	1148.47	1207.502	-4.88873	230	1194.118	1207.502	-1.10841
60	974.0945	1068.098	-8.80102	240	1038.426	1068.098	-2.778
70	966.8362	984.3644	-1.78067	250	958.2894	984.3644	-2.64892
80	903.8181	939.2696	-3.77438	260	931.0234	939.2696	-0.87794
90	870.2469	925	-5.91926	270	906.8362	925	-1.96366
100	870.2469	939.2696	-7.34855	280	893.5065	939.2696	-4.87221
110	936.8362	984.3644	-4.82832	290	967.0771	984.3644	-1.75619
120	986.0252	1068.098	-7.68401	300	1082.618	1068.098	1.359477
130	1109.284	1207.502	-8.13399	310	1135.949	1207.502	-5.92569
140	1236.612	1207.502	2.410761	320	1135.975	1207.502	-5.92353
150	1016.344	1068.098	-4.84544	330	962.9723	1068.098	-9.84233
160	1001.331	984.3644	1.723632	340	938.6251	984.3644	-4.64658
170	988.1291	939.2696	5.201857	350	865.1416	939.2696	-7.8921
오차평균							-3.67838

표 1. 전방향 비전 시스템의 계산치와 실제 측정치

표 1은 360°의 전방향에 대해서 10°씩 표본데이터를 추출하여 오차율을 계산하였다. 총 36개의 거리 데이터에 대해 실제 데이터와의 평균 오차는 -3.78(%)가 측정되었다.

참고문헌

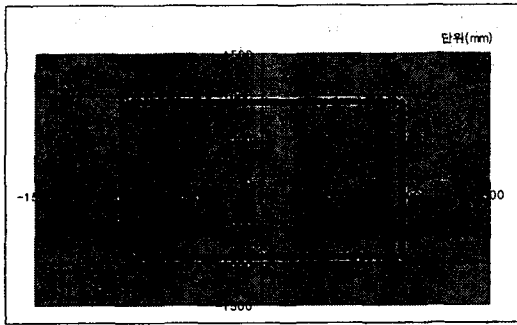


그림 9 실험 환경 공간의 실제 측정치

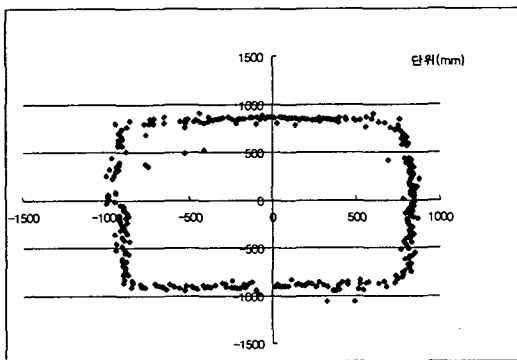


그림 10 전방향 비전센서의 실험 공간에 대한 계산치

V. 결론

본 논문에서는 3차원 실세계에 대한 공간정보를 전방향 비전 시스템을 통하여 로봇에게 인식시키기 위한 주행지도의 구현을 목적으로 전방향 비전 시스템을 설계, 구현 하였다.

그림 9와 그림 10은 실험환경 공간의 실제 측정치와 전방향 비전 시스템에 의해 습득된 계산치를 2차원 평면상에 그래프화한 그림이다. 구현되어진 전방향 비전 시스템은 $1.85 \times 1.85m^2$ 의 공간의 2π 방향의 모든 사물과의 거리 정보에 대해서 4 frames/sec의 320×240 크기의 이미지를 분석하여 그 결과 평균 오차율 -3.678(%)로서 측정되었다. 이러한 결과는 실거리에서 6.8cm정도에 해당하는 값으로서 전방향 비전 시스템은 실내 환경내에서 실시간으로 사물을 인식하여 주행지도를 구성할 수 있는 시스템이라는 점이 증명되었다.

본 논문에서 연구되어진 시스템은 실내 자동 주행을 목적으로 하는 모든 시스템들에 대해 3차원 공간 이해에 대한 도구로서 쉽게 적용되어질 수 있을 것으로 사료된다.

[1] S. J. Oh and E. L. Hall, "Guidance of a mobile robot using an omnidirectional vision navigation system." in Proc. SPIE 852 Mobile Robots II. 1987

[2] H. Ishiguro, M. Yamamoto, and S. Tsuji. "Omnidirectional stereo for making global map." in Proc. 3rd Int Conf. Computer Vision. 1990

[3] Bonarini, A., Aliverti, P., Lucioni, M. "An omnidirectional vision sensor for fast tracking for mobile robots." Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on, June 2000

[4] Nayar, S. K. "Omnidirectional Vision." The Eighth International Symposium of Robotics Research Hayama, October, 1997

[5] Hicks, R.A., Bajcsy, R. "Catadioptric sensors that approximate wide-angle perspective projections." Omnidirectional Vision, 2000. Proceedings. IEEE Workshop on, 2000

※ 본 연구는 (주)한울로보틱스의 연구지원으로 수행되었습니다.