

전시장 안내용 로봇 개발

정 연기, 한 민홍
고려 대학교 산업 공학과

Development of an autonomous mobile robot for an exhibition guide

Youn-Ki Jeong, Min-Hong Han
Department of Industrial Engineering
Korea University

An autonomous mobile robot has been developed which can follow a travel map drawn on a monitor screen using a software. The robot works as an exhibition guide making announcement regarding the events to take place or introducing the products on display.

This mobile robot computes the world position and heading direction through camera image, ultrasonic and infrared sensors in real time using specially designed algorithm.

This mobile robot will be exhibited at '93 Tae-Jeon EXPO for an exhibition guide, and will be used in a plant or a hospital for materials handling purposes.

I. 서론

자율 이동 로봇트는 생산 현장에서 기계와 기계 사이의 물건 운반, 가내 청소, 음식점이나 병원등에서의 용품 운반, tractor를 사용한 자동 경작등 인간의 삶을 보다 풍요롭게 만들 수 있는 매우 전략적인 연구 분야이다.

자율 이동 로봇트의 실내 주행에 관한 연구는 컴퓨터 비전(Computer Vision)을 사용한 자율 이동 로봇트의 주행에 관한 연구의 일환으로서 큰 의미를 지닌다. 자율 이동 로봇트가 주행을 하기 위해서는 로봇트의 현재 위치와 주행 방향을 계산할 수 있어야 한다. 자율 이동 로봇트가 주어진 경로를 따라 주행할 때, 경로에서의 현재 위치와 주행 방향의 수정이 필요한 지를 알 수 있어야 한다. 주행 방향의 수정은 주기적으로 계속해서 또는 curve point와 같은 경로 상의 어떤 특징점에서 수행될 수 있다.

안내표식을 이용하여 로봇트의 위치를 찾기위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 이러한 연구의 목적은 주로 인위적으로 고안된 표식으로 부터 위치와 주행방향에 대한 정보를 얻는데 있다. 표식을 사용해서 위치를 찾는 문제는 많은 사람들에 의해서 연구된 [6,11] 물체

의 특징을 이용해 카메라 calibration을 하는 문제와 매우 유사하다.

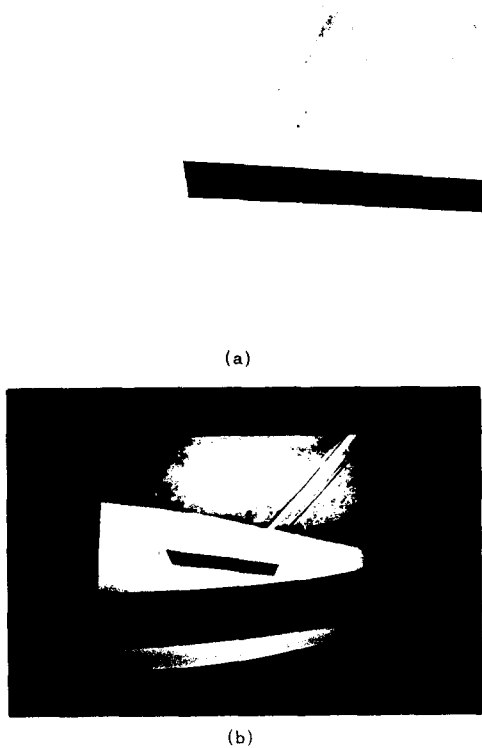
Fukui[5]는 표식으로서 다이아몬드 형태를 사용했다. 그가 사용한 방법에서는 카메라의 시축을 다이아몬드 형태의 가운데에 위치시키면서, 카메라와 표식이 같은 높이에 위치해야 한다. Courtney, Magee and Aggarwal[3]은 Fukui의 방법의 단점을 제거하기 위해서 Fukui가 사용한 표식의 일정한 높이 위에 또 다른 표식을 두어 사용하였다. Magee and Aggarwal[10]은 수평축과 수직축에 큰 원이 그려진 구(sphere)를 사용하였다. 카메라의 시축은 구의 중심을 향하게 하였으며, 구의 영상으로부터 위치를 결정하기 위해서 4개의 특징점이 얻어진다. Kabuka and Arenas[8]는 표식으로 반은 검고 반은 흰 원을 사용하였다. 그들의 방법에서, 표식이 놓여진 축의 그림자가 카메라의 위치와 방향을 결정하는데 이용된다. Min-Hong Han and SnagYong Rhee[12]는 중심점과 방향을 나타내는 direction dot을 갖는 원 표식을 사용하였다. 이 방법에서는 원안의 두 점과 로봇트의 위치에 따른 원의 타원화의 정도로 카메라의 위치와 방향을 계산한다.

본 연구에서는 한대의 카메라를 사용하여 주변에서 쉽게 볼 수 있는 두 특징점을 갖는 자연표식(natural landmark)를 사용해서 위치를 찾는 방법을 제시한다. 본 연구에서 사용한 표식은 일차 모양의 검은색 표식으로 로봇트의 주행에 필요한 정보를 얻는데 빠르고 효율적인 방법을 제공한다. 또한 로봇트가 주행하는 동안 표식의 특징점을 잃지 않도록 하기 위해서 계속해서 카메라로 표식을 추적하는 방법을 사용하였다.

II. 안내표식(guide mark)의 탐색과 추출

안내표식을 이미지로부터 추출해 내기 위하여는 일

정한 간격으로 화소의 명암(Pixel Intensity)에 변화가 있는 점들을 샘플링(sampling) 한다. 샘플링된 점들간의 상대적인 변화를 계산하고 신뢰할 만한 범위(threshold)내에서 가이드 표식의 존재가 확인되면 이를 근거로 하여 주행에 필요한 정보를 추출한다. 하지만, 이동로봇의 주행오차나 영상의 노이즈 등에 의해 가이드 표식의 탐색에 실패하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서, 이 때에는 2개의 스탬핑 모터를 사용하여 카메라의 pan과 tilt를 조정하며 주위를 탐색함으로써 영상을 얻을 수 있게 된다. 예로서, <그림 1>은 벽면에 부착된 표식과 카메라로 잡은 영상을 나타낸다.



<그림 1> 벽면 표식과 카메라 영상

Guide Mark의 설계

본 연구에서 채택한 표식은 가급적 자연적인 표식을 사용할 목적으로 우리 주위에서 가장 많이 발견되는 직선형을 채택하는 방안을 모색하였다. 직선이라 함은 예로서 형광등, 문틀, 천정 모서리 등 많이 찾아 볼 수 있다. 이번 연구에서는 확실한 표식을 사용하기 위하여 <그림 1> (a)에서 보는 바와 같이 임의의 두께 및 임의의 길이를 갖는 일자표식을 벽면의

일정한 높이에 설치하여 사용하였다.

여러 가지 표식 중에도 일자표식은 그 영상인식이 간단하여 매우 짧은 시간에 자료처리를 할 수 있을 뿐 아니라 noise에 매우 강하다는 장점을 갖고 있다.

또한, 그간 발표되어 왔던 방법에서는 표식 전체를 카메라 영상 내에 포착하여야 하는 관계로 원거리에서의 거리 판단을 위하여 표식을 크게 만들게 되면 근 거리에 왔을 때는 영상 전체를 잡을 수 없고 표식을 작게 만들면 원거리에서 표식을 식별하기가 어려워 주행범위에 제한을 갖어 왔다.

그러나, 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하여 일자 표식을 사용함으로써, 영상의 일부분만 사용해서도 로봇이 주행하는데 필요한 위치 및 방향을 계산할 수 있기 때문에 표식에 가까울 때나 또는 멀리 떨어져 있을 때에도 무리없이 주행을 할 수 있다.

표식 인식 방법

카메라 구동 장치에 의하여 카메라는 항상 표식의 하단이 화면의 중앙에 오도록 시속의 방향을 실시간 제어 시키는 real-time target tracking 방법을 사용한다. 그러나, 때로는 로봇의 급격한 회전 또는 미끄러움 등으로 표식을 잃을 수 있는데 이 때는 현재 시속의 주위를 탐색하여 표식을 찾을 수 있는 특별한 알고리즘을 사용하였다.

<그림 1>의 (b)에 표시된 영상에서 추출하여야 할 정보는 좌단 끝 중앙부의 화면상 위치 및 표식 영상의 화면상의 기울기이다. 따라서, 표식영상의 어느 점을 채택하든 이로부터 계산되는 기울기에는 변함이 없기 때문에 본 표식 설계의 장점이 여기에 있다.

우선 화면의 중앙 하단으로 부터 위쪽으로 화소의 명암도를 검사하게 되면 밝은 부분에서 어두운 부분으로 명암의 변화가 급격한 부분을 만나게 되고 어두운 부분의 중심점을 찾아낼 수 있다. 만약 일정한 간격으로 위와 같은 작업을 수행하여 얻어진 중앙점들을 이으면 이는 표식 영상의 기울기 값을 제공하며 이 기울기를 따라 좌측으로 진행하면 어두운 부분에서 밝은 부분으로 급격하게 변화하는 부분이 발생하는데 이점이 바로 우리가 구하고자 하는 표식 영상의 좌단 중앙점이 된다.

로봇의 위치와 진행방향의 결정을 위하여는 앞서 구한 표식의 영상기울기와 좌단 중앙점의 위치가 필요한 정보의 전부이다.

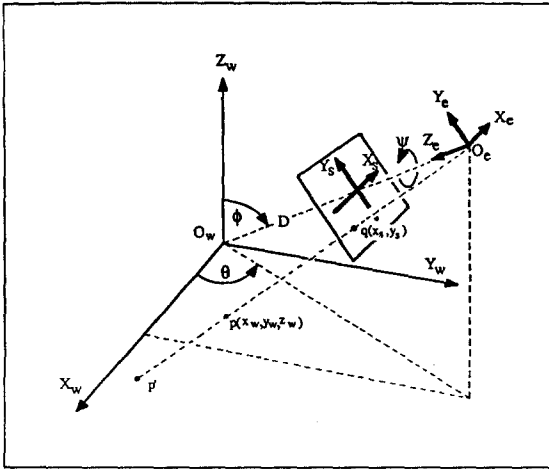
지금까지의 설명에서 알 수 있듯이 표식의 두께나 길이가 문제가 되지 않으며 좌단의 중앙점만 파악이

된다면 표식의 영상이 화면의 어느 부분에서 잘려 있
든지 상관이 없게 된다.

주변에는 직선으로 나타낼 수 있는 물체가 많아 우
리가 찾는 표식으로 오인 할 수도 있게 된다. 이와 같
은 오인을 방지하는 방법으로는, 바로 직선의 직선 정
보를 갖고 있다가 현재 계산된 직선 정보와 비교함으
로서 방지할 수 있다. 이는 차량의 주행이 점진적으로
이루어 지므로 매번의 정보 계산상 앞뒤의 값의 변화
는 어느 정도내에 머무른다는데 가정을 두고 있다.

III. 위치및 방향 계산

로봇의 위치및 방향 계산을 위하여는 <그림 2>에



<그림 2> 로봇 위치및 방향 좌표

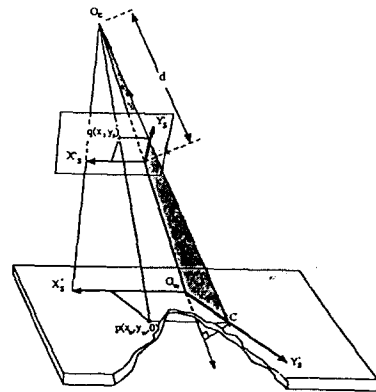
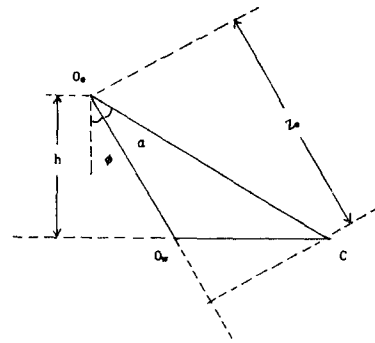
표시된 바와 같은 3개의 좌표시스템을 설정한다. 첫번
째 좌표계는 카메라좌표계(X_c, Y_c, Z_c)이다. 두번째 좌
표계는 화면좌표계(X_s, Y_s)로서 영상면에서 정의되어
진다. 세번째는 월드좌표계(X_w, Y_w, Z_w)로서, 주행평면
에 평행한 가상 평면과 카메라 시축이 만나는 점을 원
점으로 하고 카메라의 시축이 가상평면에 사영
(projection)된 선을 Y축으로, 가상 평면에 수직인 축
을 X축으로 하여 설정되는 좌표계이다. 만약 안내표식
이 로봇에 장치된 카메라의 위치보다 높은 곳에 부
착되었다면 이 좌표계는 로봇 주행평면보다 높은 곳
에 존재하게 된다. 물론 표식은 이 가상좌표의 X_s, Y_s 평
면위에 위치하게 된다. 이미 알고 있는 지점에 설치된
표식으로 부터 어느 지점에 현재 로봇트가 주행하고
있는가를 알기 위하여는 영상내의 임의의 한점이 월드
좌표상 어느점에 해당하는가를 알아 내는 back
projection방법을 알아야 한다. 화면좌표계, 카메라좌
표계, 그리고 월드좌표계간의 관계는 다음의 두가지
식에 의해 일의적으로 결정되어 지므로 화면좌표계 내

의 임의의 한점에 대한 월드좌표는 유일하게 결정되어
질 수 있다.

만약 카메라 시축이 가상 평면으로의 정사영
(Projection Line)된 선분과 World Coordinate의 X축
이 이루는 각도가 θ 로 정의되며 틸트(tilt)각 ϕ 는 카
메라 시축과 World Coordinate의 Z축이 이루는 각도로
정의된다면 다음과 같은 식이 성립된다. 한가지 특기
할 사항은 θ 각은 항상 270도로 일정하게 유지된다는
사실이다.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = (X_w, Y_w, Z_w, 1) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} -\sin(\theta) & -\cos(\theta)\cos(\phi) & -\cos(\theta)\sin(\phi) & 0 \\ \cos(\theta) & -\sin(\theta)\cos(\phi) & -\sin(\theta)\sin(\phi) & 0 \\ 0 & \sin(\phi) & -\cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & D & 1 \end{bmatrix}$$



<그림 3> 화면상의 점 $q(X_s, Y_s)$ 에 대응하는
작업대상의 점 $p(X_w, Y_w, Z_w)$

<그림 3>에서 화면위의 점 $q(X_s, Y_s)$ 에 대응하는 작업
대 위에 놓여진 P점의 월드좌표(X_w, Y_w, Z_w)를 구하기 위
해서는 P점에 대한 카메라좌표(X_c, Y_c, Z_c)가 먼저 구해

져야 한다.

여기서 x_w, y_w 그리고 z_w 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} z_w &= l \cdot \cos \alpha \\ &= h \cdot \cos \alpha / \cos(\varphi + \alpha) \end{aligned}$$

여기서 $\alpha = \tan^{-1}(y_w/d)$

일단 z_w 가 결정되면 아래의 식으로 x_w, y_w 가 결정 된다.

$$\begin{aligned} x_w &= x_w z_w/d \\ y_w &= x_w z_w/d \end{aligned}$$

윗 식에서 d 는 focal length이다.

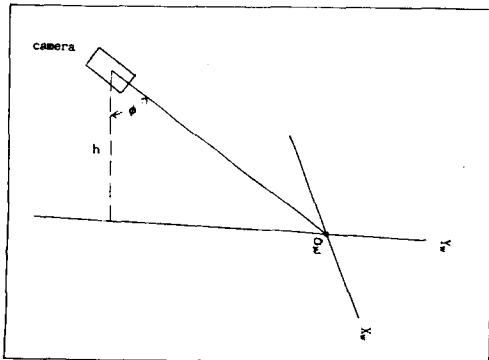
화면좌표계의 임의의 한점에 대해 카메라 좌표 (x_c, y_c, z_c)가 결정되면 다음의 식을 이용하여 그 점에 대한 월드좌표를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_w &= -\sin(\theta)x_c - \cos(\theta)\cos(\varphi)y_c \\ &\quad -\cos(\theta)\sin(\varphi)z_c + \cos(\theta)\sin(\varphi)D \end{aligned}$$

$$y_w = \frac{x_w + \sin(\theta)x_c}{\cos(\theta)}$$

$$z_w = \frac{y_w + \cos(\theta)\cos(\varphi)x_w + \sin(\theta)\cos(\varphi)y_w}{\sin(\theta)}$$

World 좌표계에서 카메라의 위치는 카메라의 tilt각과 표식과 카메라간의 높이에 의하여 결정되며 camera의 world좌표값 (X_c, Y_c, Z_c)은 항상 $(0, -h \cdot \tan \varphi, h)$ 가 성립된다. 이러한 configuration의 한 예가 <그림 4>에 나타나있는데 이는 $X_w Y_w$ 평면에 수직되는 방향(Z_w 축에 평행)에서 내려다 본 좌표형태이다.

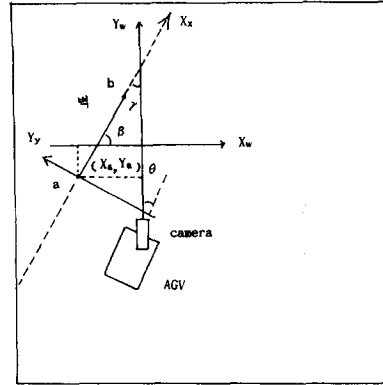


<그림 4> 카메라의 위치 World 좌표

화면상의 표식에서 얻어진 두 점의 World 좌표가 앞서 설명한 방법에 의하여 계산되고 <그림 5>에서 이는 a점과 b점으로 표시된다고 가정한다. 점 a는 표식의

좌단 중앙점을 나타내기 때문에 이 그림에서 표식과 현재 카메라의 위치 및 이의 시축의 상호관계를 알아낼 수가 있다.

지금까지 정의하였던 World좌표는 카메라의 위치나 시축방향이 변화하면 이에 따라 변화하게 된다. 그러나 우리가 최종적으로 관심이 있는 것은 World좌표상에서 표식이 어디에 있는지가 아니고 표식으로부터 카메라의 현재위치가 어디냐로 변환시킬 필요가 있다. 이와 같은 목적을 위하여 또 다른 하나의 좌표계 (X_x, Y_y)를 설정할 필요가 발생한다.



<그림 5> 화면상 표식에서 얻어진 두점의 World 좌표

X_x 좌표는 표식의 두점 a와 b를 잇는 직선의 연장으로 정의하며 표식의 좌단인 a점을 좌표의 원점으로 하며 X_x 축에 normal인 Y_y 축을 설정한다. 쉽게 이야기하여 X_x 축은 표식이 부착된 벽면과 동일하다고 생각할 수 있으며 로보트는 항상 $X_x Y_y$ 좌표계의 제 3및 제 4상한에서 주행하게 된다고 생각하면 된다.

표식을 기준으로한 좌표계 $X_x Y_y$ 상에서의 카메라의 위치를 계산하기 위해서는 월드 좌표계를 x_w 및 y_w 만큼 이동(translation)시킨 후 ab선분의 기울기각도 β 만큼 Z_w 축을 중심으로 회전(rotation)시킴으로써 계산된다.

이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_x \\ Y_y \\ Z_z \end{bmatrix} = R(\beta) T_{X_a} T_{Y_a} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix}$$

이때 카메라 시축이 벽면과 이루는 각도 γ 는

$$\gamma = \pi/2 - \beta \text{ 로 주어짐을 알 수 있다.}$$

만약 카메라의 시축이 이동로봇의 차축과 평행하지 않고 θ 만큼의 방위각을 이루고 있다면 로봇은 실제 현재 카메라의 시축방향에서 $-\theta$ 만큼 회전시킨 방향으로 주행하고 있음을 나타내게 된다.

IV. 실험

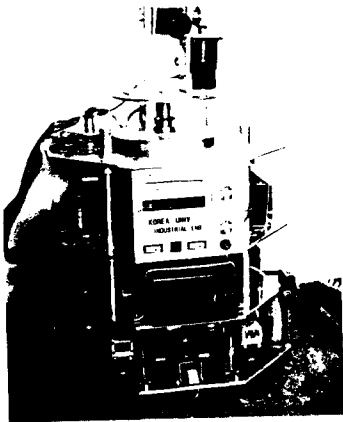
자율이동로봇이 진행하고 있는 동안 카메라는 가이드표식을 쫓아 움직이게 됨으로써 언제나 가이드표식의 영상을 포착할 수 있으며 필요한 때에 현재의 이동로봇의 위치와 진행방향을 계산할 수 있게 된다.

목적지까지의 주행경로를 결정하기 위하여는 최단거리 혹은 장애물 회피경로등을 자율적으로 내부생성할 수 있는 시스템기능이 바람직하다 하겠다.

본 연구에서는 주행경로의 자율생성대신 컴퓨터 화면상에 로봇이 주행하여야 할 경로를 키보드를 통하여 입력시키는 방법을 택하였다. 컴퓨터는 이로부터 경로의 각 지점의 좌표를 읽어들인 후 카메라 정보로부터 계산된 로봇의 현재위치와 비교하게된다.

만약, 로봇의 현재위치가 주어진 경로로부터 어느 정도 이상 이탈되어 있을 때는 주어진 경로로 다시 진입하기 위하여 진행방향을 수정토록 한다.

자율이동로봇이 진행하고 있는 동안 카메라는 표식을 쫓아 pan과 tilt각을 조절함으로써 가이드표식의 영상포착이 항상 가능토록 하였다. <그림 6>은 저자의 연구실에서 직접 제작해서 사용 중인 로봇을 보여주고 있다.



<그림 6> 고려대학교 산업공학과 의 KUBOT

본 연구에서는 IBM PC-386/AT 호환기종을 사용하였고, ITEX사의 512x480의 해상도를 갖는 Image Board를 사용하였다. 이 Image Board는 초당 약 30 frame을 찍어낼 수 있는데, 로봇의 위치와 진행방향을 초당 8 회 이상 계산할 수 있는 결과를 얻었다. 이는 무인 로봇의 실시간 주행제어를 위하여 충분한 system 능력을 실험적으로 알아냈다.

V. 결론

본 연구에서 수행한 이동로봇의 실내 주행 실험은 물류자동화의 실현을 위해 일보 가까이 갔다는 점에서 큰 의의를 갖는다. 현재 본 연구에서는 Stereo Vision 을 사용하여 계산된 image depth로써 obstacle의 크기와 높이를 인식할 수도 있고 이에 따른 주행 계획의 변화를 check할 수 있는 algorithm을 개발하였으며, sonar에 의존하는 방법도 연구되어 건물내의 한 지점에서 다른 지점까지 복도를 따라 주행하여 우편물을 전달한 뒤, 다시 제자리로 돌아와 업무를 수행하였음을 음성으로 보고하는 시스템을 완료하여 사용중이다.

References

- [1] R.A.Brooks, "A robust layered control system for a mobile robot", IEEE J. Robotics and Automation, Vol.RA-2, pp.14-23, March 1986.
- [2] Zen Chen, Din-Chang Tseng, and Jenn-Yee Lin, "A simple algorithm for 3-D position determination using a single calibration object", Pattern Recognition, Vol.22, pp. 173-187, 1989.
- [3] J.W.Courtney, M.J.Magee, and J.K.Aggarwal, "Robot guidance using computer vision", Pattern Recognition, Vol.17, pp.85-92, 1984.
- [4] J.L.Crowley, "Navigation for an intelligent mobile robot", IEEE J. Robotics and Automation, Vol.RA-1, pp.1-41, 1985.
- [5] I.Fukui, "TV image processing to determine the position of a robot vehicle", Pattern Recognition, Vol.14, pp.101-109, 1981.
- [6] R.M.Haralick, "Determination camera parameters from the perspective projection of a rectangle", Pattern Recognition, Vol.22, pp.225-230, 1989.
- [7] R.A.Jarvis, "A perspective on range finding techniques for computer vision", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., Vol.PAMI-5, pp.122-230, 1983.
- [8] M.R.Kabuka and A.E. Arenas, "Position verification of a mobile using standard pattern", IEEE J. Robotics and Automation, Vol.RA-3, pp.505-516, December 1987.
- [9] A.C.Kak, "Depth perception for robots", In handbook of Industrial Robotics, Edited by S.Nof,

Wiley, New York, pp.185-218, 1986.

[10] M.J.Magee and J.K.Aggarwal, "Determining the position of a robot using a single calibration object", Proceedings of International Conference on Robotics, pp.140-150, 1984.

[11] I.Sobel, "On calibrating computer controlled camera for perceiving 3-D scenes", Artificial Intelligence, Vol. 5, pp.185-198, 1974

[12] Min-Hong Han and Sangyong Rhee, "Camera calibration for 3-D measurement", Pattern Recognition, Vol. 25, No. 2, pp.154-164, 1992