

레이저 슬릿빔과 CCD 카메라를 이용한 3차원 영상인식 3D Image Processing Using Laser Slit Beam and CCD Camera

°김동기*, 윤광의*, 윤지섭**, 강이석***

*충남대학교 기계설계공학과 (Tel: 042-821-7623 ; E-mail : s_donggi@hanbat.chungnam.ac.kr)

**한국원자력 연구소 (Tel: 042-868-2855 ; E-mail : jsyoon@nemaclis.kaeri.re.kr)

***충남대학교 기계설계공학과 (Tel: 042-821-6647 ; E-mail : eskang@hanbat.chungnam.ac.kr)

Abstracts This paper presents a 3D object recognition method for generation of 3D environmental map or obstacle recognition of mobile robots. An active light source projects a stripe pattern of light onto the object surface, while the camera observes the projected pattern from its offset point. The system consists of a laser unit and a camera on a pan/tilt device. The line segment in 2D camera image implies an object surface plane. The scaling, filtering, edge extraction, object extraction and line thinning are used for the enhancement of the light stripe image.

We can get faithful depth informations of the object surface from the line segment interpretation. The performance of the proposed method has demonstrated in detail through the experiments for varies type objects. Experimental results show that the method has a good position accuracy, effectively eliminates optical noises in the image, greatly reduces memory requirement, and also greatly cut down the image processing time for the 3D object recognition compared to the conventional object recognition.

Keywords : Image Processing, Viewing System, View Point, Transformation

상의 좌표변환을 유도하였으며 변환된 데이터를 이용하여 작업공간 및 물체에 대한 인식작업을 수행하였다.

1. 서 론

산업공정에서 생산시스템의 자동화나 물류 처리 능력은 생산품의 질 또는 경제적인 측면에서 직·간접적으로 많은 영향을 미치고 있다. 또한 사람이 작업을 행하기 어려운 환경에서의 작업이나 작업시간 등의 감소를 위해서 생산공정의 자동화는 중요하게 대두된다. 하지만 생산공정의 자동화는 작업환경이나 대상물체에 대한 인식을 필요로 하며 크레인 등의 물류 운반작업 등에서는 공정에 따른 안정성이 충분히 고려되어야 한다. 따라서 이러한 공정의 자동화를 위해서는 미지의 작업환경을 지도화하거나 대상물체를 자동적으로 인식하는 기법이 도입되어야 하며, 환경인식에 대한 정보를 생산공정에 직접적으로 적용하기 위해서는 물체 또는 환경의 인식에 걸리는 시간을 최소화하여야 한다.

본 연구에서는 대상 물체가 공간상 임의의 위치에 놓여 있을 경우에 대하여 이동로봇이나 크레인 등이 대상물체를 파지 할 수 있도록 대상물체의 특징형상을 추출하거나 공간상의 위치좌표점을 구해서 대상물체를 3차원 공간에 도시하는데 그 목적이 있다.

작업공간에 존재하는 물체에 대한 데이터 획득을 위해 실험실에서 제작한 다중센서 모듈의 레이저 슬릿빔과 CCD 카메라를 실험에 적용하였다. 공간상에 평면으로 형성된 슬릿빔을 3차원 공간에 도시하기 위해 공간

2. 3차원 형상 측정법

2.1 다중센서 시스템

그림 1은 다중센서 모듈을 보여주고 있다. 전체 구조는 데이터 획득을 위한 센싱부와 데이터 획득 위치를 결정짓는 구동부로 구성된다. 센싱부는 영상획득을 위한 CCD 카메라와 거리 측정을 위한 초음파 센서 그리고 슬릿광원으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 다중센서 모듈의 기능 중 CCD 카메라와 레이저 슬릿빔을 이용하여 물체의 거리정보 및 대상물체의 특징형상을 추출하는데 중점을 두었다. 레이저 슬릿빔은 다이오드 레이저(16mW power, 685nm)를 광원으로 하며 영상센서로는 흑백 CCD 카메라가 사용되었다. 카메라의 유효화소수는 640(H)×480(V)이다. 영상처리 유닛은 8비트 그레이 레벨을 갖는 4개의 프레임 그래버(frame grabber)가 장착된 영상보드를 이용하였고 영상처리를 위해 펜티엄 PC를 이용하였다. 초기 좌표화를 위해서 다중센서 모듈은 서보모터에 부착된 엔코더의 정보와 pan과 tilt 운동시 좌·우, 상·하에 설치된 마이크로 스위치의 정보를 받아들이도록 설계되었다. 다중센서 모듈은 이러한 정보를 이용하여 작업전 위치 초기화 운동을 한다. 초기화 상태의 위치를 카메라 좌표계의 원점으로 인지하고 지시된 방향으로 센서부가 향하도록 움직인 후 대

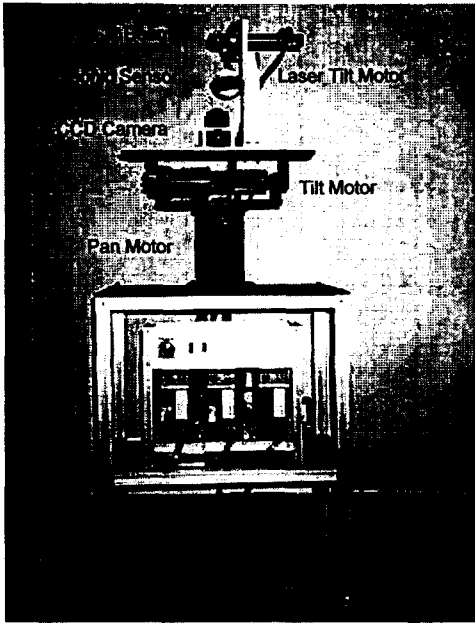


그림 1. Pan/tilt 장치

Fig. 1 Photograph of pan/tilt device

상 물체에 관한 원영상을 받아들이며 첫 번째 프레임 메모리에 저장한다. 다음은 다이오드 레이저 발진기 가 선 모양으로 집속되어 조사되는 레이저 슬릿빔을 투사하여 두 번째 영상을 얻고 두 번째 프레임 메모리에 저장한다. 세 번째와 네 번째 프레임 메모리에서는 첫 번째와 두 번째 영상의 가감법을 통하여 레이저 슬릿빔 성분만을 추출하거나 전체적인 합성 영상을 얻는다. 이때의 메모리는 DSP가 내장된 영상처리 보드가 담당하며 매 순간 다중센서 모듈의 움직임은 PC에 내장된 제어기에서 서보모터의 엔코더 신호와 마이크로 스위치의 정보를 읽어들이어 PC에 전송한다.

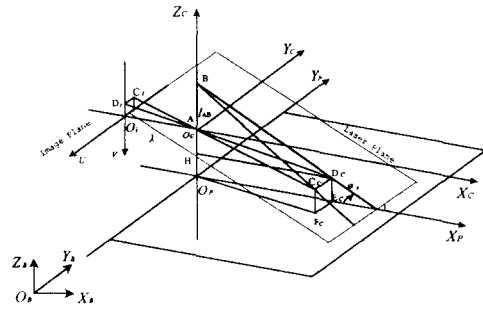
2.2 3차원 영상 추출

3차원 공간상에서 움직이는 다중센서 모듈은 카메라에 의해 2차원 좌표계의 영상만을 얻게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 프로젝터나 레이저와 같은 광원을 추가하는 구조화된 광원을 이용하는 방법들이 제안되었으며[1-4], 구조화된 광원을 이용하는 방법은 구조가 간단하고 광원으로 레이저를 이용할 경우 높은 정밀도의 거리정보[5]를 얻을 수 있기 때문에 3차원 영상 측정용으로 널리 이용될 수 있다.

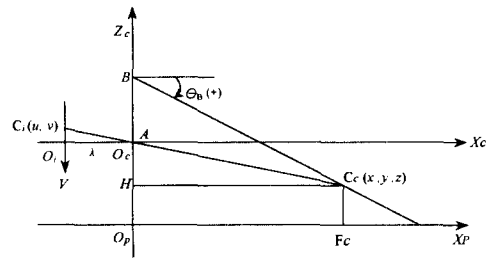
그림 2는 3차원 좌표변환을 위한 작업공간 좌표와 CCD좌표 사이의 영상 기하학적 관계를 보여준다. 여기서 3차원으로 유도되는 위치 계산식에서 다음과 같은 가정을 한다. 첫째 카메라의 왜곡은 무시한다. 둘째 카메라는 이상적인 핀-홀 모델이며, 셋째 CCD 카메라의 렌즈 중심은 Z_c 축상에 존재한다. 여기서 (B)는 작업공간의 기준좌표계(the base frame)이고 $[U, V]$ 는 영상좌표계, $[U_f, V_f]$ 는 영상 프레임 좌표계(640×480)이다.

물체표면에 맺힌 레이저 슬릿빔의 3차원 공간상의 점 $C_c(x, y, z)$ 는 영상좌표계상의 $C_i(u, v)$ 로 맵핑

된다. 점 C_c 에서 점 C_i 로의 변환은 렌즈 중심과 CCD 소자간의 거리를 나타내는 λ 와의 관계로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.



(a) 3D view



(b) X_cZ_c -plan

그림 2. 3차원 좌표계

Fig. 2 Coordinate systems of 3D view

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\lambda}{v} z \\ y &= \frac{u}{\lambda} x \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

레이저 슬릿빔이 XY 평면과 이루는 각 θ_B 와 카메라 중심까지의 거리를 나타내는 l_{AB} 는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\tan \theta_B = \frac{l_{AB} + (-z)}{x} \quad (2)$$

이를 x 에 관해서 정리하고 식(1)에 적용하면 다음과 같은 공간상의 점을 얻을 수 있다.

$$x = \frac{\lambda l_{AB}}{v + \lambda \tan \theta_B} \quad (3)$$

$$y = \frac{u l_{AB}}{v + \lambda \tan \theta_B} \quad (4)$$

$$z = \frac{v l_{AB}}{v + \lambda \tan \theta_B} \quad (5)$$

여기서 CCD 화소를 카메라 좌표계로 변환한다. CCD 각변의 길이가 u, v 방향에 대하여 l_u, l_v 를 갖는다면 1화소당 크기에 관한 scale factor $S_u = \frac{l_u}{640}$, $S_v = \frac{l_v}{480}$ 의 관계로부터 다음을 얻을 수 있다.

$$u = S_u(320 - u_f) \quad (6)$$

$$v = S_v(240 - v_f) \quad (7)$$

CCD 소자의 l_u, l_v 가 미지수인 경우는 위와 같이 정의된 식으로 보정연산이나 실험을 통해 매개변수를 추정할 수 있다.

3. 관측방향에 따른 좌표변환

측정 대상체는 원통형과 박스형 모델을 제시하였다. 측정장치는 실험실에서 제작한 다중센서 모듈을 이용하였으며 실제의 측정오차는 3차원 그래픽으로 표현하여 공간에서의 모델과 비교하였다.

일반적으로 3차원 그래픽으로 표현하고자하는 물체는 2절에서 설명한바와 같이 임의의 카메라좌표계상의 위치로 표현되며, 작업공간에 대한 관측점(view point)을 지정하면 관측좌표계가 형성되고 일련의 좌표변환이 필요하게 된다. 그림 3에서는 카메라 좌표계에서 기준좌표계로 변환하는 좌표변환을 보여주고 있다. 점 O_c 는 카메라 좌표계의 원점이며 O_b 는 기준좌표계의 원점이다. 카메라좌표계 (C)에서 작업공간의 기준좌표계 (B)로의 변환은 다음과 같이 표현되고,

$${}^B P = {}^B_C T {}^C P$$

$$\begin{bmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^B_C R & {}^B P_{CORG} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

좌표계가 Y_C 방향으로 γ 만큼 회전하고, Z_C 방향으로 α 만큼 회전한 후, Y_C 방향으로 β 만큼 회전한 경우 Y-Z-Y Euler angles로 표현되며 좌표변환에 해당하는 동차변환 행렬은 다음과 같다.

$$R_Y(\gamma) = \begin{bmatrix} c\gamma & 0 & s\gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\gamma & 0 & c\gamma \end{bmatrix},$$

$$R_Z(\alpha) = \begin{bmatrix} c\alpha & -s\alpha & 0 \\ s\alpha & c\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_Y(\beta) = \begin{bmatrix} c\beta & 0 & s\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\beta & 0 & c\beta \end{bmatrix} \quad (9)$$

기준좌표계 (B)에서 관측점좌표계 (V)로의 변환도 위

와 같은 방법을 따른다. 그림 4는 관측점좌표계 (V)에서 X_V 축 방향으로 수직인 투상면좌표계 (G)로의 변환을 보여주고 있다. 여기서 x_G 와 y_G 는 다음과 같이 표현된다.

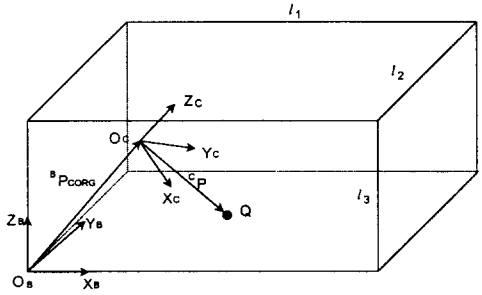


그림 3. 좌표변환

Fig. 3 Transformation of coordinate

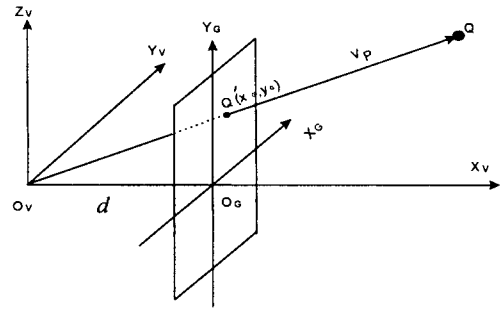


그림 4. {V}에서 {G}로의 변환

Fig. 4 Transformation from view point {V} to a view plan {G}

$$x_G = d \frac{y_V}{x_V}, \quad y_G = d \frac{z_V}{x_V} \quad (10)$$

공간상에서 투상면상의 점 (x_G, y_G) 는 $m \times n$ 화소를 갖는 모니터상에서 화소점 (x_F, y_F) 로 표시되며 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$x_G = s_x(x_F - \frac{m}{2}), \quad y_G = -s_y(y_F - \frac{n}{2}) \quad (11)$$

$$x_F = \frac{m}{2} + \frac{x_G}{s_x}, \quad y_F = \frac{n}{2} - \frac{y_G}{s_y} \quad (12)$$

여기서 s_x, s_y 는 화소의 크기에 대한 각 방향의 scale factors이다.

4. 실험

카메라 내의 매개변수를 결정짓기 위해 CCD 카메라의 보정판에 그림 5 (a), (b)와 같이 레이저 슬릿빔과

영상에 관한 보정실험을 실시하여 내부 매개 변수를 구하였으며, 실험을 통하여 초점거리가 11.46mm인 정보를 얻었다. 그림 5 (c)는 원영상에 레이저 슬릿빔을 투사한 경우이며 그림 5 (d)는 (c)에서 (e)의 영상을 뺀 물체상의 레이저슬릿빔만을 추출한 결과를 보여주고 있다. 그림 5 (f)는 (e)와 같은 원영상에 sobel edge operation을 수행하여 외곽선의 강도를 표현하였다. 이때 (f)에서 추출한 윤곽선의 좌·우측 변을 이용하여 대상물체의 높이를 결정하였다.

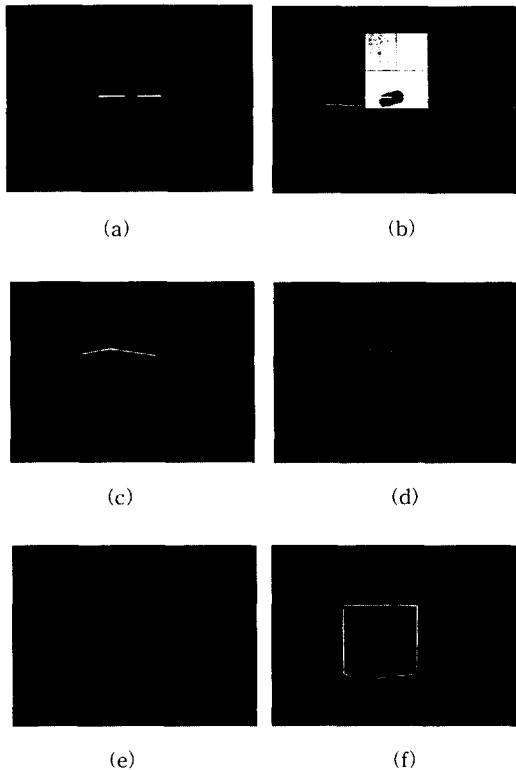


그림 5. 영상추출
Fig. 5 Image Extraction

이와 같은 실험은 임의의 공간상에 위치한 물체에 대하여 행하였으며 대상물체로 원통형과 박스형 물체를 사용하였다. 영상처리를 통해 얻어진 데이터를 이용하여 앞에서 언급한 알고리즘을 적용하고 그래픽 전시[6]를 위한 프로그램을 작성하였다.

제한된 레이저 슬릿빔이 투사된 영상을 추출하여 3차원 변환알고리즘을 적용한 결과는 그림 6에서와 같다. 슬릿빔은 대상 물체의 반쪽 표면만 투사되나 대칭성 물체임을 가정하여 추출물체의 폭 또는 지름 등의 형태를 결정하였고 물체의 높이 결정을 위해 윤곽선 추출을 통해 얻은 화상의 좌·우변을 이용하였다. 그림 6 (a)는 원통형 모델에 대해 그림 6 (b)는 사각형 모델에 대해 얻은 결과이다.

5. 결 론

본 연구에서는 이동로봇이나 자동화된 크레인 등의

물류 작업시 주어진 환경을 인식하고 작업 대상체에 대해서 시간지연을 최소화하며 대상물체의 위치와 형태를 파악하는데 관심을 두었다. 측정 시스템으로는 제작한 다중센서 모듈의 레이저 슬릿빔과 CCD 카메라를 이용하였고 공간상의 물체에 대한 3차원 영상인식을 수행하였다. 사용된 장치와 알고리즘은 스테레오 비전을 이용함으로써 발생하는 두 화상의 대응점일치 문제 등을 고려할 필요가 없이 실시간으로 작업공간에 위치한 물체에 대해 3차원 영상인식이 가능하였으며 이러한 방법은 작업공간 인식에 관한 시간지연을 최소화함으로써 이동로봇이 장애물을 회피하거나 크레인 작업시에 작업시간 절약이라는 효과를 얻는 장점이 있다.

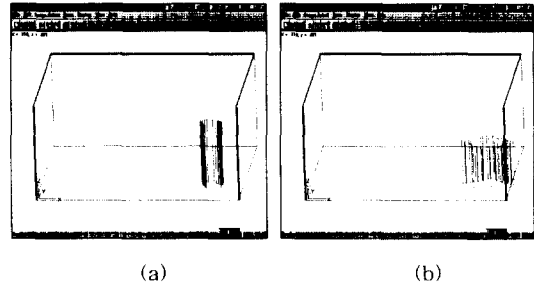


그림 6. 이미지 데이터의 복원
Fig. 6 Reconstruction of image data

참고문헌

- [1] 박현구, 김명철, 김승우, "슬릿광 3차원 형상측정에서 측정분해능 최적화를 위한 시스템설계 및 카메라 보정", 대한기계학회논문집, Vol. 18, No. 5, pp. 1182-1191, 1994.
- [2] Paul J. Besl, Ramesh C. Jain, "Three-Dimensional Object Recognition", *Computing Surveys*, Vol. 17, No. 1, pp. 75-145, 1985.
- [3] 광동식, 조형식, 권동수, "레이저슬릿광과 이미지 블럭을 이용한 경면물체 형상측정알고리즘", Proc. of 11th KACC, pp. 93-96, 1996.
- [4] Venugopal Srinivasan and Ronald Lumia, "A Pseudo-Interferometric Laser Range Finder for Robot Applications", *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol. 5, No. 1, pp. 98-105, 1989.
- [5] David G. Morgenthaler, Steven J. Hennessy, and Daniel DeMenthon, "Range-Video Fusion and Comparison of Inverse Perspective Algorithms in Static Images", *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.*, Vol. 20, No. 6, pp. 1301-1312, 1990.
- [6] S. Yuta, S. Suzuki, Y. Saito, and S. Iida, "Implementation of an Active Optical Range Sensor Using Laser Slit for In-Door Intelligent Mobile Robot", IROS '91 Japen, pp. 415-420, 1991.